MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYIN NO : 672
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ YAYIN NO : 17

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE RENK ÖLÇÜMÜ

Doç.Dr. Erhan ÖNER

İSTANBUL – 2001

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYIN NO: 672
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ YAYIN NO: 17

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE RENK ÖLÇÜMÜ

Doç.Dr. Erhan Öner

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

İstanbul – 2001

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ÖNSÖZ

"Tekstil Endüstrisinde Renk Ölçümü" kitabı, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tekstil Eğitimi Bölümü'nde 1992 yılından itibaren tarafımdan verilmekte olan "Renk Ölçümü" dersine bir kaynak olması amacıyla hazırlanmıştır. Bu konudaki Türkçe kaynakların son derece sınırlı olması bu kitabın hazırlanışında göz önünde tutularak, kapsamı içindeki konular örnek problemler ve orijinal veriler ile desteklenmiştir.

Rengin algılanması için gerekli olan ögelerin her biri, ayrı bir bölüm olarak ele alınmıştır. Birinci bölüm, elektromanyetik radyasyonun temellerine, ikinci bölüm, ışık kaynaklarının özelliklerine, üçüncü bölüm, ışığın madde ile etkileşimine ayrılmıştır. Dördüncü bölüm de, rengin ölçülmesinde kullanılan cihazların temel özelliklerine yer verilmiştir. Beşinci bölümde, CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)'nu tarafından tanımlanan "standart gözlemci"ye ait özelliklerden bahsedilmiştir. Endüstriyel uygulamalarda büyük bir problem teşkil eden "metameri" olayına, altıncı bölümde kısaca değinilmiştir. Renk farklılıklarının sayısal olarak ifade edilmesi için geliştirilen CIELab sistemine Bölüm 7'de yer verilmiştir. Bölüm 8'de, renk ölçümü yoluyla kalite kontrolunun nasıl yapıldığı aktarılmıştır. Bölüm 9 ve Bölüm 10, sırasıyla çözeltilerde ve mat yüzeyler üzerindeki boyarmadde miktarlarının tesbit metodlarına ayrılmıştır. Renk ölçümünde özel bir uygulamaya gereksinim duyan "flüoresans" özellikteki maddelere ve bu materyallere ait renk ölçüm işlemlerinin yapılış şekillerine bölüm 11'de yer verilmiştir. Bölüm 12, ticari donanım ve yazılımlardan bazıları hakkında bilgi içermektedir.

Bu kitabın hazırlanması aşamasında pek çok kişinin desteği ve katkısı bulunmaktadır. Özellikle, çalışmalarıma her zaman destek olan Marmara Üniversitesi Rektörü Sayın Prof.Dr. Turay Yardımcı'ya, basım aşamasında ilgilerini esirgemeyen Marmara Üniversitesi Rektör Yardımcısı ve Yayın Kurulu Başkanı Sayın Prof.Dr. Emre Dölen'e, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dekanı Sayın Prof.Dr. İrfan Güney'e, Tekstil Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr. İnci Başer'e ve Boya-Apre-Baskı Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof.Dr. Yusuf İnanıcı'ya, Tekstil Bölümü'ndeki mesai arkadaşlarıma, kitabın basımında katkıları bulunan değerli dostlarım Y.Doç.Dr. Mehmet Oktav ve Y.Doç.Dr. Ş. Cem Özakhun'a ve Matbaa Bölümü çalışanlarına şükranlarımı arzederim.

Bu konuya beni yönlendiren ve akademik hayatımda her zaman katkılarını gördüğüm değerli hocam ve MÜTEF Tekstil Bölümü'nün kurucu Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr. İnci Tezcan'a, çalışmalarımda her zaman katkısını gördüğüm sevgili eşime ve oğlum Bora'ya da bu vesile ile teşekkür eder, kitabın okuyuculara faydalı olmasını dilerim.

Erhan Öner

İstanbul, Haziran 2001

İçindekiler

ÖNSÖZ _____ *i*

İçindekiler _____ *iii*

1. RENK ÖLÇÜMÜNÜN TEMEL UNSURLARI _____ *1*

1.1 Renk Kavramı _____ 1

1.2 Işık ve Spektrum _____ 1

1.3 Elektromanyetik Radyasyon _____ 2
1.3.1 Dalga Teorisi _____ 2
1.3.2 Kuantum Teorisi _____ 3

1.4 Moleküler Uyarılma (Eksitasyon) _____ 3

1.5 Işık Şiddetini Tanımlayan Terimler _____ 5

2.IŞIK KAYNAKLARI _____ *6*

2.1 Giriş _____ 6

2.2 Gün Işığı _____ 6

2.3 Yapay Işık Kaynakları _____ 7
2.3.1 Yapay Işığın Eldesi _____ 7
2.3.2 Işık Kaynağı ve İllüminant _____ 8
2.3.3 Siyah Cismin Işıması _____ 9
2.3.4 Renk Sıcaklığı _____ 13
2.3.5 Korelatif Renk Sıcaklığı _____ 13
2.3.6 Lamba Tesiri _____ 13
2.3.7 Lambanın Renk Oluşturma İndeksi _____ 14
2.3.8 Çeşitli Işık Kaynakları ve Bunların SED Değerleri _____ 14

2.4 CIE Standart Kaynakları _____ 17

3. CİSME AİT ÖZELLİKLER VE IŞIĞIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ _____ *19*

3.1 Işığın Kırınımı _____ 19

3.2 Işığın Yansıması _____ 19

3.3 Işığın Absorpsiyonu _____ 22

3.4 Işığın Saçınımı _____ 22

3.5 Ölçüm Geometrisi _____ 22

4. RENK ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN CİHAZLAR _____ *23*

4.1 Giriş _____ 23

4.2 İlk Kolorimetreler _____ 23

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

4.3 İlk Fotoelektrik Kolorimetreler 23

4.4 Transmisyon Spektrofotometreleri 24

4.5 Reflektans Spektrofotometreleri ve Kolorimetreler 25

5. STANDART GÖZLEMCİ VE CIE RENK SPESİFİKASYON SİSTEMİ 28

5.1 Giriş 28

5.2 Standart Gözlemci ve Renk Eşleme Fonksiyonları 28

5.3 Aditif (Eklemeli) ve Substraktif (Çıkarmalı) Olarak Renklerin Karıştırılması 30

5.4 Işığın Aditif Karıştırılmasına Ait Matematik 31

5.5 R,G ve B'nin X,Y ve Z'ye Dönüşümü 34

5.6 Ölçülen Reflektans Değerlerinden Tristimulus Değerlerinin Hesaplanması 39

5.7 Kromatisite Diyagramı 45

6. METAMERİ 51

6.1 Giriş 51

6.2 Aydınlatıcı Metamerisi 51

6.3 Gözlemci Metamerisi 51

6.4 Alan Boyutu Metamerisi 51

6.5 Geometrik Metameri 51

7. RENK SINIFLAMA SİSTEMLERİ VE RENK UZAYLARI 52

7.1 Renk Sınıflama Sistemleri 52

7.1.1 Munsell Renk Düzlemi 52

7.1.2 CIELab Sistemi 52

7.1.3 Hunter Lab Sistemi 57

8. SPEKTROFOTOMETRİK YÖNTEMLERLE KALİTE KONTROLU 59

8.1 Giriş 59

8.2 Renk Farklılığının Ölçümü 59

8.2.1 CIELab Renk Farklılığı Formülü 59

8.2.2 CMC Renk Farklılığı Formülü 59

8.2.3 CIE 1994 Renk Farklılığı Formülü 60

8.3 Beyazlığın Ölçümü 61

8.3.1 CIE Beyazlık Formülü 61

8.3.2 Berger Beyazlık Formülü 62

8.3.3 Taube Beyazlık Formülü 62

8.3.4 Hunter Beyazlık Formülü 62

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

8.3.5 Stensby Beyazlık Formülü 62
8.3.6 Stephansen Beyazlık Formülü 64

8.4 Sarılık İndeksi 64

8.5 Renk Haslıklarının Enstrümantal Yöntemle Değerlendirilmesi 65
8.5.1 Renk Değişimi ve Lekeleme Haslıklarının Değerlendirilmesi 65
8.5.2 Işık Haslığının Değerlendirilmesi 68

8.6 Renk Kuvvetinin Değerlendirilmesi 68

9. ÇÖZELTİLERDE BOYARMADDE MİKTARLARININ TESBİTİ 70

9.1 Beer-Lambert Kanunu 70

9.2 Bir Boyarmadde İçeren Çözeltilerde Miktar Tesbiti 73

9.3 İki Boyarmadde İçeren Çözeltilerde Miktar Tesbiti 78

9.4 Üç Boyarmadde İçeren Çözeltilerde Miktar Tesbiti 82

10. BOYAMA REÇETELERİNİN BİLGİSAYAR YARDIMIYLA HESAPLANMASI 83

10.1 Giriş 83

10.2 Manuel Yöntem 83

10.3 Kubelka-Munk Analizi 84

10.4 Boyanmış Tekstil Materyali Üzerindeki Boyarmadde Miktarının Tesbiti 87

10.5 Reçete Hesaplama İşleminin Spektrofotometrik Yöntemle Yapılması 94

10.6 Reçete Hesaplama İşleminin Kolorimetrik Yöntemle Yapılması 95

10.7 Reçete Hazırlama İşleminde Maliyet ve Metamerinin Azaltılması 96

10.8 Boyama Reçetesi Hesaplarını Etkileyen Faktörler 99

11.FLÜORESANS ÖZELLİĞE SAHİP MATERYALLERDE RENK ÖLÇÜMÜ 101

11.1 Giriş 101

11.2 Konvansiyonel Ölçüm Tekniklerindeki Problemler 101

11.3 Spektroflüorimetrik Metodlar 102

12. RENK ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN DONANIM VE YAZILIMLAR 107

12.1 Giriş 107

12.2 Donanım Özellikleri 108

12.3 Yazılım Özellikleri 109

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

KAYNAKLAR ____ *111*

Kitaplar ____ 111

Makaleler ____ 112

Standartlar ____ 113

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

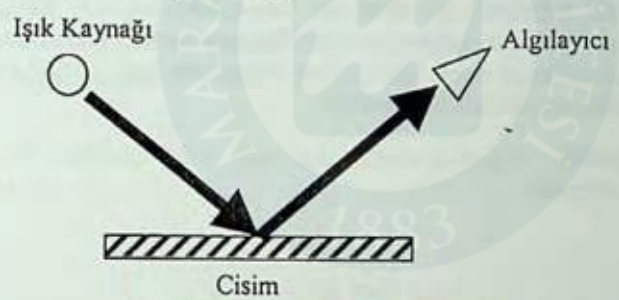
1. RENK ÖLÇÜMÜNÜN TEMEL UNSURLARI

1.1 Renk Kavramı

Renk, belli bir ışık türü, bu ışığın insan gözü üzerine etkisi veya algılayıcının zihninde bu etkinin sonucu olarak tanımlanabilir. İnsan gözünün, yaklaşık 10 milyon farklı rengi birbirinden ayırtedebildiği tahmin edilmektedir. Renk ölçüm bilimi, fizik ve kimya gibi yalnızca malzemeye ait olan bilimleri değil, bunların yanında, psikoloji ve fizyoloji gibi biolojik bilimleri de içine almaktadır. Bu kitap, "rengin ölçülmesi", başka bir ifadeyle "sayısal olarak ifade edilebilmesi" ile ilgilidir.

Bir rengin fiziksel anlamda oluşturulması, aşağıdaki üç temel komponente gereksinim duymaktadır:

- Işık kaynağı,
- Işık kaynağının aydınlattığı bir cisim,
- Rengi algılayacak olan göz/beyin veya ışığı algılama özelliğine sahip bir cihaz (Şekil-1.1).



Şekil-1.1: Renk ölçümünün üç temel unsuru.

1.2 Işık ve Spektrum

Işığın doğası ve renk kavramının anlaşılmasına ait temeller, Isaac Newton'un 1666 yılında gerçekleştirdiği ünlü deneylerine dayanmaktadır. Bu tarihten önce, renklerin doğasına ve aralarındaki ilişkilere ait görüşler belirgin değildi. Bu görüşler, Newton'un çalışmasından sonra belirginlik kazanmış ve deneysel temeller üzerinde ilerleme yoluna kavuşmuştur.

Newton tarafından gerçekleştirilen tarihi deney, tamamen karartılmış bir odanın bir duvarı üzerinde açılan 9 mm çapındaki bir deliğe yerleştirilen bir cam prizmadan güneş ışığının geçirilmesi esasına dayanmaktadır. Prizmadan geçen gün ışığının, odanın karşı duvarı üzerinde yaklaşık 25 cm uzunluğunda ve kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, lacivert (indigo) ve mor renklerde, bu uzunluk boyunca yelpaze şeklinde yayıldığı gözlenmiş, buna "spektrum" (ışık şeridi) adı verilmiştir. Spektrum, bileşik bir ışığın bileşenlerine ayrılmasından doğan renkli ışınların tümü olarak da tanımlanabilir. Newton'un bu deneyden çıkardığı sonuç, beyaz ışığın, sanıldığı gibi basit, homojen bir yapıda olmadığı, fakat, spektrumun tüm renklerinin bir karışımından oluştuğu şeklindedir. Bu deneyin sonucunda, akla gelebilecek diğer bir soru ise, bu spektral renklerin (kırmızı, yeşil, vb.), ayrıca karışımlardan meydana

gelip gelmediği ve daha başka temel renklere ayrılıp ayrılamayacağı şeklindedir. Bir sonraki deneme, bu soruyu cevaplandırmak için yapılmıştır ve üzerinde çok küçük bir aralık bulunan bir kart, dar bir kısmı hariç, spektrumun diğer tüm ışığını gizlemek için kullanılmış, bu kısmın ikinci bir prizmadan geçirilerek başka renklere ayrılıp ayrılmadığı gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, kartın deliğinden çıkan ışık ile gönderilen ışığın aynı olduğu, farklı alt bileşenlere ayrılmadığı gözlenmiştir. Başka bir ifade ile, spektral renklerin beyaz ışığın temel renkleri olduğu sonucuna varılmıştır. Bir çok insan tarafından, kırmızı ve sarı arasındaki turuncu renkte olduğu şekilde mavi ve mor arasında kesin bir ayırım gözlenememesine rağmen, Newton tarafından spektral renkler listesine "indigo" renginin alınması olayı oldukça karmaşıktır ve bu konuda çeşitli açıklamalar mevcuttur. Bir yoruma göre, Newton'un indigo (lacivert) rengini listeye almasının sebebi, yedi farklı notadan oluşan müzik skalasındaki notalara karşılık gelen yedi farklı renge ihtiyaç duymasından olduğu şeklindedir.

1.3 Elektromanyetik Radyasyon

Radyasyon, bir enerji cinsidir ve absorplandığında ısı açığa çıkarır. Elektromanyetik radyasyonun özellikleri hakkında çok fazla şey bilinmesine rağmen, ne içerdiği konusu tam anlamıyla kesinlik kazanmamıştır. Bugüne kadar, elektromanyetik radyasyonun doğasını açıklamak üzere öne sürülen çok sayıda teori mevcut olmakla birlikte, bunlar iki temel grup altında toplanabilir:

- Dalga Teorisi
- Kuantum Teorisi

1.3.1 Dalga Teorisi

Dalga teorisi, birbirlerine ve hareketin yönüne dik açılarda salınım yapan elektrik ve manyetik alan kavramları ile radyasyonu açıklamakta olup, radyasyonun tipine göre, atom veya molekülün farklı parçacıklarından kaynaklanan bir dalga serisinden oluştuğunu ifade etmektedir. Dalga teorisi vasıtasıyla ışığın ancak belli özellikleri (interferans, kırınım, polarizasyon, vb.) açıklanabilir. Bu teori, Huyghens, Fresnel, Maxwell, Hertz ve Einstein gibi bilim adamları tarafından desteklenmiştir.

Işık, boşlukta 3.10^8 m/s'lik bir hıza sahiptir ve belli bir ortamdan geçtiğinde hızı azalmaktadır:

Işığın ortamdan geçiş hızı = c/n şeklinde gösterilebilir.
Burada;
c: Işık hızı, 3.10^8 m/s,
n: Ortamın refraktif (kırınım) indeksidir.

Işığın karakterizasyonuna ait olan diğer önemli parametreler; dalgaboyu, frekans, periyod ve dalgasayısıdır.

Dalgaboyu (λ): Dalga pikleri (tepe noktaları) arasındaki mesafedir. Dalgaboyu genellikle "nanometre" (nm, 1nm = 10^{-9} m) birimi ile ifade edilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Frekans (ν): Her saniye oluşan tam dalgaların sayısıdır ve Hertz (Hz, s^{-1}) ile ifade edilmektedir.

Hız = ν.λ şeklinde yazılır.

Period (T): Belirli bir dalganın yeniden meydana gelmesi için geçen zamandır.

T = 1/ν

Dalgasayısı (ν'): Metredeki dalga adedidir (m^{-1}).

ν' = 1/λ şeklinde ifade edilebilir.

1.3.2 Kuantum Teorisi

Özellikle ışığın absorpsiyonuna ve yayınımına ait pek çok özellik Dalga Teorisi ile tam anlamıyla açıklanamamaktadır. Kuantum Teorisi'nde, ışığın, E enerjili fotonlar olarak bilinen bir enerji paketleri serisi olarak açığa çıktığı kabul edilmektedir:

E = h.ν

Burada,
h = Planck sabiti = 6.62×10^{-34} J.s
ν= ışığın frekansıdır (Hz).

Düşük frekansa sahip olan ışık, düşük enerjiye ve daha uzun dalgaboyuna sahiptir.



Şekil-1.2: Elektromanyetik spektrum.

1.4 Moleküler Uyarılma (Eksitasyon)

Bir atom veya molekül radyasyonu absorpladığında, radyasyonun enerjisinin miktarına bağlı olarak "uyarılmış" (eksite) hale gelir ve yüksek enerji seviyesine ulaşır. Bu enerji, atom veya molekül orijinal (eski) haline döndüğünde geri verilmektedir. Yapılan ışıma, uyarılan merkeze bağlı olarak değişir (Çizelge-1.1).

Çizelge –1.1: Uyarılan merkez ve yapılan ışıma arasındaki ilişki.

Radyasyon	Uyarılan Merkez
γ - ışınları	çekirdek
x - ışınları	elektronlar (iç kısım)
u.v.- görünür bölge	elektronlar (dış kısım)
i.r. (kızıl ötesi)	atom veya molekülün tümü

Elektromanyetik alan, dalga boyları 10^{-14} metre olan kosmik ışınlar ile metrelerce uzunlukta olan radyo dalgalarına kadar çok farklı tipte radyasyonu içermektedir (Şekil-1.2). Elektromanyetik spektrumda insan gözünün algılayabildiği bölge yalnızca 380-780 nm aralığındaki ışınlardır ki bu ışınlar, "görünür ışık", "polikromatik ışık (farklı dalgaboylarındaki ışınları içeren ışık)" veya kısaca "ışık" olarak adlandırılmaktadır. Tek bir dalgaboyuna sahip ışığa ise "monokromatik" ışık adı verilir. Görünür spektrum, kesin olmamakla birlikte, Çizelge-1.2'de görüldüğü şekilde altı farklı bölgeye ayrılmaktadır.

Çizelge-1.2: Spektral bölgede dalgaboyu aralığı ve renk ilişkisi.

Absorplanan Işığın Rengi	Dalgaboyu Aralığı (nm)
Mor	400 - 450
Mavi	450 - 490
Yeşil	490 - 560
Sarı	560 - 590
Turuncu	590 - 630
Kırmızı	630 - 700

Elektromanyetik spektrumun farklı bölgeleri, fiziksel ve organik kimyada farklı enstrümantal teknikler için kullanılmaktadır (Çizelge-1.3). Renk ölçümü açısından önem taşıyan, uv.-görünür bölgede çalışılan "spektrofotometri" tekniğidir.

Çizelge-1.3: Elektromanyetik spektrumun fiziksel/organik kimyada kullanımı.

Radyasyonun Cinsi	Tekniğin Adı	Kullanım Yeri
x- ışınları	Differaksiyon Flüoresans	Kafes yapı içindeki atomların pozisyonunun belirlenmesinde
u.v.-görünür bölge	Spektrofotometri	Konjügasyon ve renk derecesinin tayininde ; Kaynakların spektral enerji dağılımlarının tayininde
i.r. (kızıl ötesi)	Spektroradyometri	Moleküler yapı tayininde
Mikrodalga	Elektron Spin Rezonans	Serbest radikaller hakkında bilgi edinmede
Radyo dalgaları	Nükleer Manyetik Rezonans	Moleküler yapının tayininde.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

1.5 Işık Şiddetini Tanımlayan Terimler

Renk ölçümünde kullanılan ve ışık şiddetini ifade eden tanımlardan bazıları Çizelge-1.4'de verilmiştir. Bu konuda Türkçe bir terminoloji birliği bulunmamasından dolayı, renk ölçümüne ait kavramlar çok sayıda yabancı terimi içermektedir.

Çizelge-1.4: Işık şiddetine ait tanımlar.

Radyant Enerji	Birimi	Lümenli Enerji	Birimi
Radyant Akış	W	Lümenli Akış	lm
Radyant Şiddet	$W.sr^{-1}$	Lümenli Akışın Şiddeti	cd ($lm.sr^{-1}$)
Radyans	$W.sr^{-1}.m^{-2}$	Lüminans	$cd.m^{-2}$
İrradyans	$W.m^{-2}$	İllüminans	$lm.m^{-2}$
Radyant Pozlama	$J.m^{-2}$	Lümenli Pozlama	lx.s

- Radyant Akış (W): Radyasyon olarak, yayılan, transfer edilen veya alınan güç (birim zaman başına enerji).
- Radyant Şiddet ($W.sr^{-1}$): Birim steradyan başına radyant akış.
- Radyans ($W.sr^{-1}.m^{-2}$): Belli bir yönde, ışık hüzmesinin yolu üzerindeki bir noktada, bu yöne dik açı ile aydınlatılmış alanın birim alanı başına radyant şiddet.
- İrradyans ($W.m^{-2}$): Bir yüzeyin birim alanı üzerine düşen radyant akış.
- Radyant Pozlama ($J.m^{-2}$): Birim alan başına alınan radyant enerji miktarı.
- Lümenli Akış (lm): $V(\lambda)$ fonksiyonu ile ifade edilen radyant akış.
- Lümenli Akışın Şiddeti (cd, $lm.sr^{-1}$): Steradyan başına lümenli akış.
- Lüminans ($cd.m^{-2}$): Termal radyasyonun fazlalığından kaynaklanan radyasyonun emisyonu.
- İllüminans ($lm.m^{-2}$): Bir yüzeyin birim alanı başına düşen lümenli akış.
- Lümen (lm): Lümenli akışın birimi. Frekansı $540x10^{12}$ Hz. ve radyant akışı 1/683 Watt olan bir monokromatik ışık hüzmesinin lümenli akışı'dır.
- Lüks (lx): Bir metrekare başına 1 lümen'e eşdeğer aydınlatma birimi.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

2.IŞIK KAYNAKLARI

2.1 Giriş

Bir cismin renginin ölçümünün yapılabilmesi için öncelikle bir ışık kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Işığın olmaması durumunda renk kavramından söz edilemez. Dolayısıyla, rengin algılanmasında ve ölçümünde ışık kaynakları önemli bir role sahiptir ve ışık kaynaklarının özellikleri, cisimlerin algılanan renkleri ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin, normal aydınlatma koşullarında kırmızı renkte görünen bir cisim, sokak aydınlatmalarında kullanılan sarı renkli düşük-basınçlı sodyum lambaları altında koyu kahverengi veya siyah olarak görünebilmektedir.

Renk ölçümünde kullanılacak ışık kaynağı standart özelliklere sahip olmalı, kolaylıkla bulunabilmeli veya oluşturulabilmeli ve *tekrarlanabilir* ölçümler yapabilmemize imkan sağlamalıdır. Renk ölçümünde, rengi sayısal olarak ifade edebilmek için, öncelikle ışık kaynağını sayısal olarak ifade edebilmemiz gerekmektedir.

Esas olarak ışık kaynaklarını doğal ışık kaynakları ve yapay ışık kaynakları olarak ikiye ayırmak mümkündür. Renk ölçüm çalışmalarının ilk dönemlerinde, doğal ışık kaynağı olan gün ışığı kullanılmış olmakla birlikte, gün ışığının yapısından kaynaklanan problemlerden dolayı ölçümlerin tekrarlanabilmesi mümkün olamamaktadır. Kolay tanımlanabilmeleri ve tekrarlanabilir ölçüm yapabilmemize imkan tanımaları nedeniyle, renk ölçümünde kullanılan ışık kaynakları, "yapay ışık kaynakları"dır.

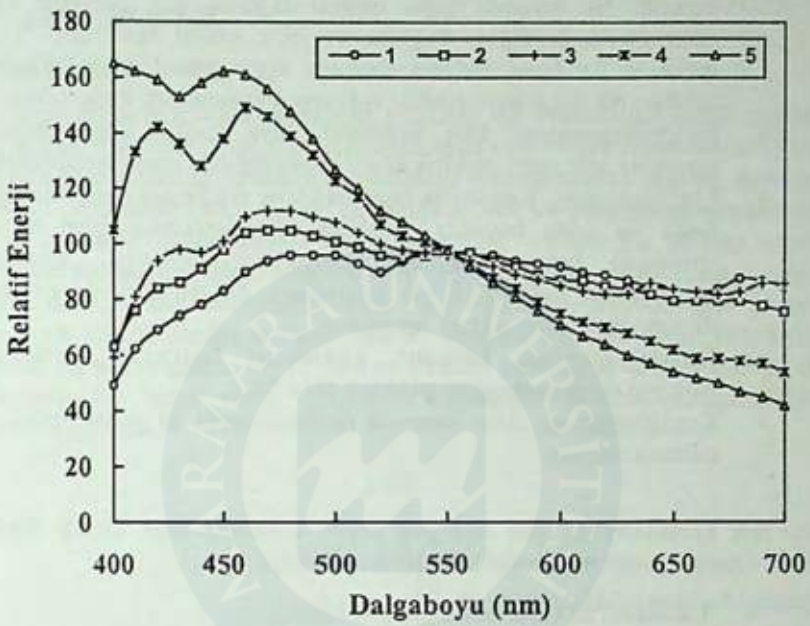
2.2 Gün Işığı

Doğal ışık kaynağı olan "gün ışığı", güneşten bize ulaşıncaya kadar dünya atmosferinde ozon tabakası, su buharı, hava, endüstriyel atıklar vb. gibi diğer etkenler ile karşılaşır, saçınıma ve absorpsiyona uğratılmasından dolayı da önemli bir miktarda enerjisini kaybeder. Gün ışığının doğası, ayrıca aşağıdaki hususlara göre de değişmektedir:

- Ölçüm yerinin enlemi ve yılın mevsimi,
- Hava koşulları ve
- Günün saati.

Bu yukarıda sayılan hususların tümü, güneş ışınlarının saçınma ve absorplanma derecesine etki etmektedir. Yerküreden de görüldüğü şekilde, güneşin yüzeyinin farklı kısımlarından yayılan radyasyon miktarı farklıdır ve merkezindeki radyasyon, çevresindekinden çok daha yoğundur. Ayrıca, onbir yıl süreli tam bir çevrim boyunca, güneş yüzeyinin kararsız düzeninden açığa çıkan radyasyon miktarının seviyesi zamanla değişmektedir. Kaynakta ve atmosferik koşullarda meydana gelebilecek değişikliklerin bir sonucu olarak, "spektral enerji dağılımı" (SED) eğrileri, yani gün ışığının farklı formlarının görünür ve yakın u.v spektrumundaki herbir dalga boyunda yaydığı toplam enerjinin oranı önemli bir şekilde değişmektedir (Şekil-2.1).

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-2.1: Gün ışığının farklı formlardaki Spektral Enerji Dağılım değerleri.
(1) Direkt gün ışığı (2) Güneşli, açıkgökyüzü (3) Bulutlu gökyüzü
(4) Kuzey günışığı (5) Doruk noktasında gökyüzü

2.3 Yapay Işık Kaynakları

2.3.1 Yapay Işığın Eldesi

Yapay ışık, aşağıda belirtilen çeşitli metotlar yardımıyla elde edilebilir:

- Akkor Halde Işıma: Katı veya sıvıların sıcaklıkları yaklaşık 1000 Kelvin'in üzerine çıktığında ışıma yaparlar. Bu durumda, maddenin atomları veya molekülleri uyarılmış hale gelerek birbirleri ile çarpışır ve bunu takiben yeniden uyarılarak görünür radyasyonu açığa çıkaracak şekilde ısıtılır. Akkor halde ışıma durumda, belli bir aralık boyunca, tüm dalga boylarına ait radyasyonun bulunduğu "sürekli (kesiksiz) bir spektrum" elde edilir. Metalik bir cisim ısıtıldığında, çok kısa bir süre içinde elle dokunulamayacak bir duruma gelir; bu durum i.r (kızıl ötesi) radyasyonun açığa çıkmasındandır ve bu cisim daha fazla ısıtılırsa, akkor halde ışımaya başlar, önce koyu kırmızı bir renkte ışıma yapar ve daha yüksek sıcaklıklarda, sırasıyla parlak kırmızı, sarı, beyaz ve hatta mavi renkte ışıma yapabilir. Açığa çıkan ışığın ortalama dalgaboyu, metalin sıcaklığı arttıkça azalmaktadır. Radyasyon enerjisinin dağılımı

ve dolayısıyla cisimden yayılan ışığın rengi, cismin sıcaklığı ile kontrol edilebilmektedir.

- Gaz Deşarjı: Gazlar, içerisinden elektrik akımı geçirildiğinde ışıma yaparlar. Bu durumda ışığın spekral dağılımı, gaz içerisinde mevcut elementlerin özelliğine bağlıdır ve elde edilen spektrum, "çizgisel spektrum"dur (yani, radyant enerjinin açığa çıkarılmadığı bölgeler ile ayrılmış tek dalga boylarındaki radyasyon durumu söz konusudur).
- Elektrolüminesans: Yarı iletkenler veya fosfor içeren bazı katı maddeler, içlerinden elektrik akımı geçirildiğinde ışıma yapabilirler.
- Fotolüminesans: Radyasyon bazı maddeler tarafından absorplandığında, farklı bir dalga boyunda emisyona uğratılmaktadır. Eğer bu ışıma (emisyon) hemen meydana geliyorsa, *flüoresans*, absorplanan radyasyonun uzaklaştırılması sonrasında da ışımanın devam etmesi durumu *fosforesans* olarak tanımlanır.
- Katodolüminesans: Fosforun, elektronlar tarafından bombardıman edilmesi durumunda ışıma yapması olayıdır.
- Kemilüminesans: Bazı kimyasal reaksiyonlarda ısı yerine ışığın açığa çıkması olayıdır.

Yapay ışık kaynakları da, gün ışığı gibi çeşitli koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir. Örneğin, tungsten filamanlı bir lambanın radyasyonu

- Lambanın ne kadar kullanılmış olduğuna,
- Boyutlarına ve
- Uygulanan voltaja bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Ölçüm amaçlı kullanılan lambaların belli bir kullanım ömrü olup (300, 500, 2000 saat vb.), bu kullanım süreleri sonrasında lamba ışıma yapıyor olsa bile, SED değerlerinde sapmalar meydana geleceğinden ölçüm amaçlı kullanılmaları sakıncalıdır.

2.3.2 Işık Kaynağı ve İllüminant

Işık kaynağı, spektral enerji dağılımı (SED) deneysel olarak tanımlanabilen, fiziksel olarak gerçekleştirilebilecek bir ışıktır (Örnek: evlerimizde aydınlatmada kullandığımız tungsten filamanlı lamba veya flüoresans lambalar). Bir ışık kaynağının Spektral Enerji Dağılım Değeri (SED) kesin olarak belirlendikten sonra, bu ışık kaynağı renk ölçümü için kullanılabilecek bir "standart ışık kaynağı" olarak tanımlanabilir.

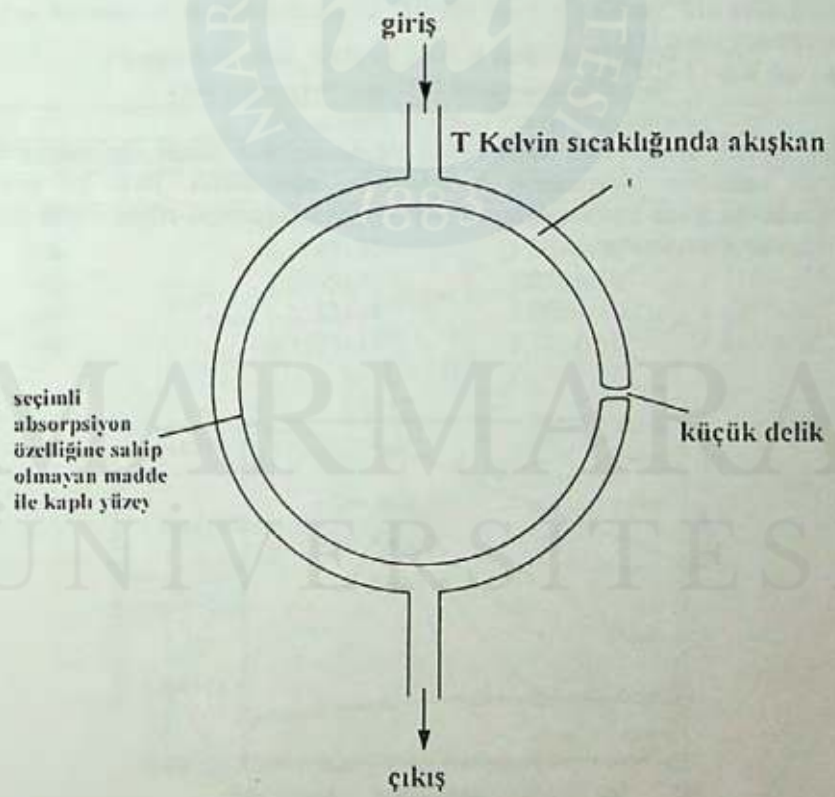
İllüminant ise, belli bir spektral enerji dağılımı (SED) ile tanımlanan, bir ışık kaynağı gibi fiziksel olarak gerçekleşirilebilen (tungsten filamanlı lamba ve bu lambanın önüne konan renkli bir jelatin veya sıvı filtre ile oluşturulan sistem) veya gerçekleştirilemeyen (teorik olarak Spekral Enerji Dağılım değerleri ile ifade edilebilen) bir kaynaktır. Eğer illüminant, fiziksel formda meydana getirilebilirse

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

(gerçek bir ışık kaynağı ve bunun önüne yerleştirilen bir filtre gibi), bir "standart kaynak" haline dönüşebilir.

2.3.3 Siyah Cismin Işıması

Bir siyah cisim radyasyon kaynağının sıcaklığı, bir illüminantın enerji dağılımını sayısal olarak ifade edebilmek için kullanılabilmektedir. *Siyah cisim* kavramı, teorik bir kavram olup, kendisini istenilen bir sıcaklığa yükseltebilecek şekilde, içerisinden bir akışkan geçirilebilen bir ceket ile çevrilmiş içi boş bir küre olarak düşünülebilir. Kürenin içerisinde oluşan termal (ısıl) radyasyon, tekrarlı bir şekilde seçimsiz absorpsiyon ve yansıma işlemlerine uğramaktadır. Eğer cismin üzerinde, küçük bir delik (bu delik, hemen absorplanabilecek miktardaki radyasyonun içeri girmesine izin verecek küçüklüktedir) açılacak olursa, delikten dışarıya çıkan radyasyonun miktarının cismin yapısına değil, sadece cismin sıcaklığına bağlı olacağı ifade edilmektedir. Bir "siyah cisim" radyasyon kaynağının şematik görünümü Şekil-2.2'de verilmektedir.



Şekil-2.2: Siyah cisim.

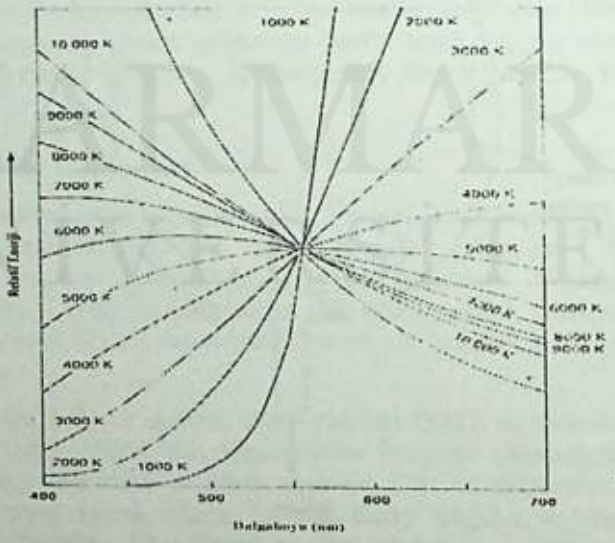
Planck radyasyon kaynağı olarak da adlandırılan siyah cisim radyasyon kaynağının oluşturulması, birçok materyalin u.v.(mor ötesi), görünür bölge ve i.r. (kızıl ötesi) bölgelerdeki bazı noktalarda ışığın şeçimli absorplanmasına eğilim göstermelerinden dolayı, pratikte çok zordur. Bununla beraber, bu bölge boyunca cismin teorik enerji dağılımı, herhangi bir sıcaklık değeri için Planck formülü yardımıyla hesaplanabilir:

$$M_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5\left[e^{\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right)} - 1\right]} \qquad [2.1]$$

Burada:

M: Bir siyah cismin spektral ışınımı (W/m^3)
T: Mutlak sıcaklık (K)
λ: Radyasyonun dalga boyu (m)
c_1: $2\pi c^2 h = 3.7415 \times 10^{-16}$ (W/m^2)
c_2: 1.4388×10^{-2} (m.K)
h : Planck sabiti (J.s)
c : ışık hızı= 3×10^8 m/s

Bu formül, dalgaboyuna karşı belirli bir sıcaklıktaki gerçek bir siyah cismin spektral emitansını (yayınımını) hesaplamada kullanılabilir. Belli bir sıcaklık aralığında, bir siyah cisim radyasyon kaynağı için dalgaboyu-relatif enerji grafiği Şekil-2.3'de gösterilmektedir.



Şekil-2.3: Planck radyasyon kaynakları.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem: 3000 K, 5000 K ve 7000 K renk sıcaklıklarında çalışan siyah cisim radyasyon kaynaklarının 400 nm, 500 nm, 560 nm, 600 nm ve 700 nm'deki Spektral Enerji Dağılımlarını hesaplayınız, elde edilen değerleri 560 nm'de normalize ederek bu üç siyah cisim radyasyon kaynağına ait SED grafiklerine çiziniz.

Çözüm: Her bir ışık kaynağının SED, Planck formülü yardımıyla hesaplanır. Buna göre,

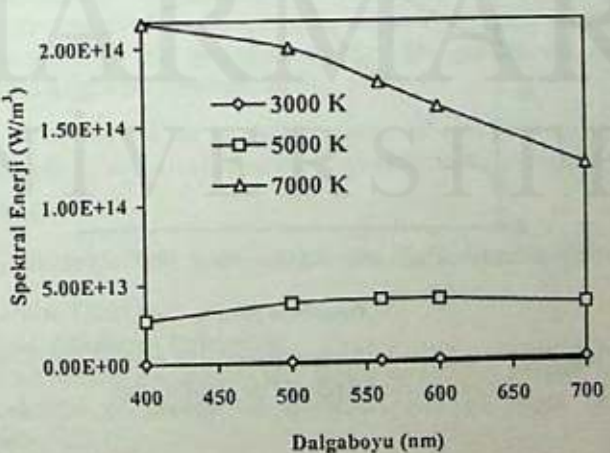
T = 3000 K ve 400 nm için,

$$M_{400} = \frac{3.7415\times10^{-16}}{\left(400\times10^{-9}\right)^5\left[e^{\frac{1.4388\times10^{-2}}{(400\times10^{-9})(3000)}}-1\right]} = 2.2676\times10^{11} \ \ W\,m^{-3}$$

olarak hesaplanır. Benzer şekilde farklı sıcaklıkların ve dalga boylarının formülde yerlerine konması ile aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

Çizelge-2.1: 3000, 5000 ve 7000 K renk sıcaklığında çalışan ışık kaynakları için SED hesaplama sonuçları.

	Hesaplanan Spektral Enerji Dağılımları (W/m^3)		
Dalga boyu (nm)	Renk Sıcaklıkları (K)		
	3000	5000	7000
400	2.2676×10^{11}	2.7464×10^{13}	2.1559×10^{14}
500	8.1747×10^{11}	3.8030×10^{13}	1.9954×10^{14}
560	1.2965×10^{12}	4.0086×10^{13}	1.7753×10^{14}
600	1.6255×10^{12}	4.0086×10^{13}	1.6177×10^{14}
700	2.3577×10^{12}	3.7102×10^{13}	1.2474×10^{14}



Şekil-2.4: Planck ışık kaynaklarının hesaplanan SED değerleri.

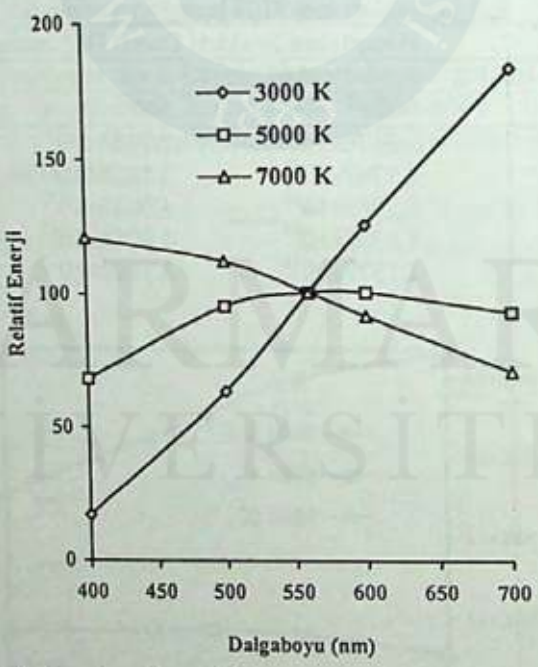
Eğrilerin birbiri ile ilişkilerini daha iyi gözlemleyebilmek için 560 nm'de normalizasyon yaparız. Bu durumda her bir ışık kaynağının 560 nm'deki değeri 100 birim olarak alınırsa:

T=3000 K için, $M_{560} = 1.2965 \times 10^{12}$ W/m^3 idi. $M_{560} = 100$ birim dersek,

$M_{400} = 17$ birim, $M_{500} = 63$ birim, $M_{600} = 125$ birim ve $M_{700} = 182$ birim olarak hesaplanır. Benzer hesaplamalar 5000 K ve 7000 K renk sıcaklıklarında çalışan ışık kaynakları içinde yapılır ve grafik çizilir.

Çizelge-2.2: 3000, 5000 ve 7000 K renk sıcaklığında çalışan ışık kaynakları için normalize edilmiş SED hesaplama sonuçları.

	Relatif Enerji		
Dalga boyu (nm)	Renk Sıcaklıkları (K)		
	3000	5000	7000
400	17	68	121
500	63	95	112
560	100	100	100
600	125	100	91
700	182	92	70



Şekil-2.5: Planck ışık kaynaklarının normalize edilmiş SED değerleri. Normalizasyon 560 nm'de yapılmıştır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

2.3.4 Renk Sıcaklığı

Akkor halinde ışıma yapan bazı ışık kaynakları, mesela tungsten filamanlı lamba, bir siyah cisim radyasyon kaynağınınkine çok yakın bir SED'na sahiptir. Bu benzerlik, lamba radyasyonunun rengini tek bir değer (yani, kaynağın meydana getirdiği radyasyonun SED'nı, siyah cisim radyasyon kaynağının SED'na en yakın olanı ile) tanımlamada yardımcı olmaktadır. Bununla beraber, tüm kaynakların spektral enerji dağılımları (SED), bunlara en yakın olan siyah cisim radyasyon kaynağınınkinden belli bir ölçüde fark göstermektedir ve bu durum yukarıdaki tanımlamanın tamamen geçerli olamayacağını ortaya çıkarmaktadır.

Bu problem, deney kaynağının rengini, aynı "kromatisite"ye (lamba renginin, rengi ve doygunluğunun bir kombinasyonu olarak tanımlanan bir kavram) sahip siyah cisim radyasyon kaynağınınkine dayalı olarak tanımlandıktan sonra çözülmüştür. Bununla beraber, eğer deney kaynağı, en yakın siyah cisim radyasyon kaynağının kromatisitesinden çok farklı bir kromatisiteye sahipse, "renk sıcaklığı"na dayalı olarak ifade edilemez. Böylece, "renk sıcaklığı" terimi, sürekli bir spektruma sahip tüm lambaların rengini tanımlamada kullanılmamalıdır, ayrıca çizgisel spektrumlara sahip kaynakların rengini tanımlamada da kullanılamaz.

Işık kaynağının ve siyah cisim radyasyon kaynağının aynı kromatisiteye sahip olduğu noktada, lamba filamanının gerçek sıcaklığı, ait olduğu "renk sıcaklığı"ndan daima düşüktür. Sıcaklık, SI (System International) birimi Kelvin (K) ile ifade edilmektedir.

2.3.5 Korelatif Renk Sıcaklığı

Flüoresans tüplerinden ve akkor lambalarının filtreler ile kombinasyonundan elde edilen ışık, herhangi bir siyah cisim radyasyon kaynağınınkine yakın bir kromatisiteye sahip değildir. Bunun sonucu olarak, bu lambaların rengi, daha önce açıklanan "renk sıcaklığı" kavramına dayalı olarak açıklanamaz. Bunun yerine, her biri, kaynağınkine en yakın renkteki siyah cisim radyasyon kaynağının sıcaklığı (korelatif renk sıcaklığı) ile tanımlanmaktadır. Bu şekilde de, lambanın enerji dağılımı hakkında bilgi edinilememektedir.

Fluoresans lambaları çok az ısı açığa çıkartır ve esas çalışma renk sıcaklıkları, aynı renkteki gerçek siyah cisim radyasyon kaynaklarınınkinden daha düşüktür.

2.3.6 Lamba Tesiri

Yapay ışık kaynakları ile ilgili iki önemli kavram söz konusudur. Bunlar,

- Lamba Tesiri ve
- Renk Oluşturma İndeksi'dir.

Bilinen bir elektriksel güç girdisi için lamba tarafından yayılan ışığın miktarı ile kontrol edilmektedir ve normal bir gözlemci için bu ışığın ne derece kolay algılanabildiğidir.

Bazı ışık tipleri, diğerlerinden daha kolaylıkla görünebilir.

Belirli bir radyant akış için, 555 nm'deki yeşil ışık, aynı radyant akış için mavi veya kırmızı ışığın daha donuk görünmesine karşılık, daha kolaylıkla algılanabilmektedir.

V_λ Eğrisi: Sağlıklı bir insan gözünün, görünür radyasyona karşı relatif hassasiyetini tanımlamaktadır.

V_λ eğrisinin değerlerinin, lambanın herbir dalga boyundaki radyant akışı (P) ile modifiye edilmesi yoluyla, çıkış, lümenli akışa (F, lümen, lm) dönüştürülebilir:

$$F = K_m \int P_\lambda V_\lambda d\lambda \qquad [2.2]$$

Burada,

λ: 380-780 nm aralığındaki dalga boyları.

K_m: V_λ nın maksimum olduğu 555 nm'deki radyasyonun aydınlatma tesiridir ve yaklaşık 680 lm.W'lık bir değere sahiptir.

K= F/P

K: Bir lamba için, lambanın elektriksel gücünün (P, watt), lümenli akışa dönüşümünün bir ölçüsüdür.

2.3.7 Lambanın Renk Oluşturma İndeksi

Seçilen referans bir ışık kaynağı altında bir lambanın, standart renkler serisindeki renkleri, "gerçek renklerinden" ne derece değiştirebildiğidir.

Renk Oluşturma İndeksi, (R_a), bu özelliği tanımlamada kullanılmaktadır.

R_a = 90-100: Test kaynağının renk oluşturma özelliklerinin, hemen hemen referans kaynağınki ile aynı olduğu düşünülmektedir.

R_a = 80-90 : Yeterli olarak değerlendirilebilir.

R_a < 70 : Referans kaynak ile denenmekte olan kaynağın arasında en azından bir standart renkte önemli bir farkın olduğunun işaretidir.

2.3.8 Çeşitli Işık Kaynakları ve Bunların SED Değerleri

Tungsten Filamanlı Lamba

Planck dağılımından çok az sapma gösterirler. Radyasyon, tungstenden yapılmış bir telden elektrik akımının geçmesi ile meydana getirilmektedir. Lamba içerisinde, filamanın oksidasyonunu azaltmak için, inert gaz veya vakum mevcuttur. Radyasyon yayınımı (renk sıcaklığı), uygulanan voltajın mertebesi ile değişmektedir. Renk sıcaklıkları, 2800 K (normal lamba) ve 3400 K (projektör lambası) arasındadır.

Tungsten-Halojen Lambası

Lamba içerisine yerleştirilen az miktardaki brom ve iyot, buharlaşan tungstenin yeniden filaman üzerinde toplanmasını ve böylece lamba cidarında toplanmamasını temin etmektedir. Bu durum, lamba geometrisini, lambanın tesirliliğini ve ömrünü

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

arttıracak şekilde üretilmesini sağlamaktadır. Daha yüksek filaman ve renk sıcaklıklarının sonucu olarak, böyle lambalar, u.v. bölgesinde daha yüksek bir güç çıkışını temin edebilirler.

Siyah Cismin Radyasyonuna Benzer Diğer Işık Kaynakları

Güneşin enerji dağılımı 6565 K'deki siyah cismin SED'na yaklaşır, günün saati ve hava durumuna göre yer küre üzerinde SED'nda değişiklik olmaktadır. Kibrit ve mum alevinin spektral enerji dağılımı 1800 K'deki siyah cisim radyasyon kaynağının SED'na eşdeğerdir.

Gaz Deşarj Tüpleri

Bunlara örnek olarak yüksek-basınçlı bir civa lambası gösterilebilir. Mavi-yeşil rengi 405, 436, 546 ve 577 nm'deki piklerden dolayıdır. Işığın şiddeti ve bu piklerin kalınlığı, uygulanan voltaj ve buhar basıncı ile kontrol edilebilmektedir. 1960'lı yıllarda yüksek-basınçlı sodyum lambaları geliştirilmiştir. Çalışma basınçlarının arttırılması ile 589 ve 589.6 nm'deki pikler geliştirilmiştir. Civa ve sodyum lambaları, sokak aydınlatmalarında kullanılmaktadır. Yüksek basınç ve sıcaklıkta çalışan sodyum lambaları daha beyaz ışık verdiklerinden ve "renk oluşturma özellikleri" iyi olduğundan, iç ve dış cephe aydınlatmalarında da kullanılmaktadırlar.

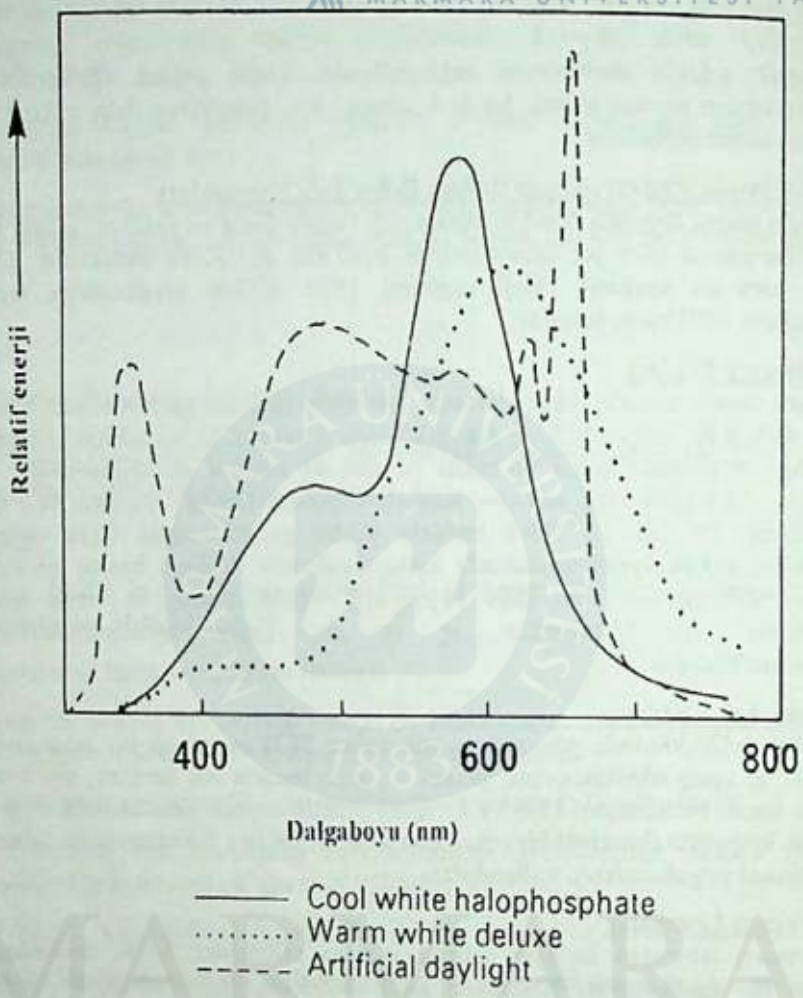
Ksenon Ark Lambası

İyi filtre edildiklerinde gün ışığına çok yakın SED'na ve iyi bir *renk oluşturma indeksi*'ne sahip olduklarından, yüksek basınçlı ksenon ark lambası, son birkaç yıl içinde önem kazanmıştır. U.v. ve i.r. bölgelerinin önemli kısımlarında ve görünür-alanda kesintisiz (kontinü) bir enerji çıktısına sahiptirler. Sinematografi, laboratuvar ve bilimsel uygulamalarda kullanılırlar.

Flüoresans Lambalar

Gaz deşarj lambaları ile aynı çalışma esasına sahiptirler. İçleri, fluoresanslı bir madde ile kaplanmıştır. Kullanılan aktif maddeler, fosforlar, metal tungstatlar, silikatlar, boratlar, arsenatlar, halofosfatlardır. Halofosfatlar, gözün en hassas olduğu yeşil-sarı spektrum bölgesinde ışıma yaparlar. Halofosfatlı lamba'nın (Cool White) veriminin iyi olmasına rağmen, "kırmızı" miktarının az olduğu görülmüş ve bu açığın kapatılması için "Warm White deluxe" lambası üretilmiştir. Fluoresans lambalarından "Artificial Daylight", D_{65}'in aydınlatmasına çok yakın, benzer renk sıcaklığı ve u.v. miktarına sahiptir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

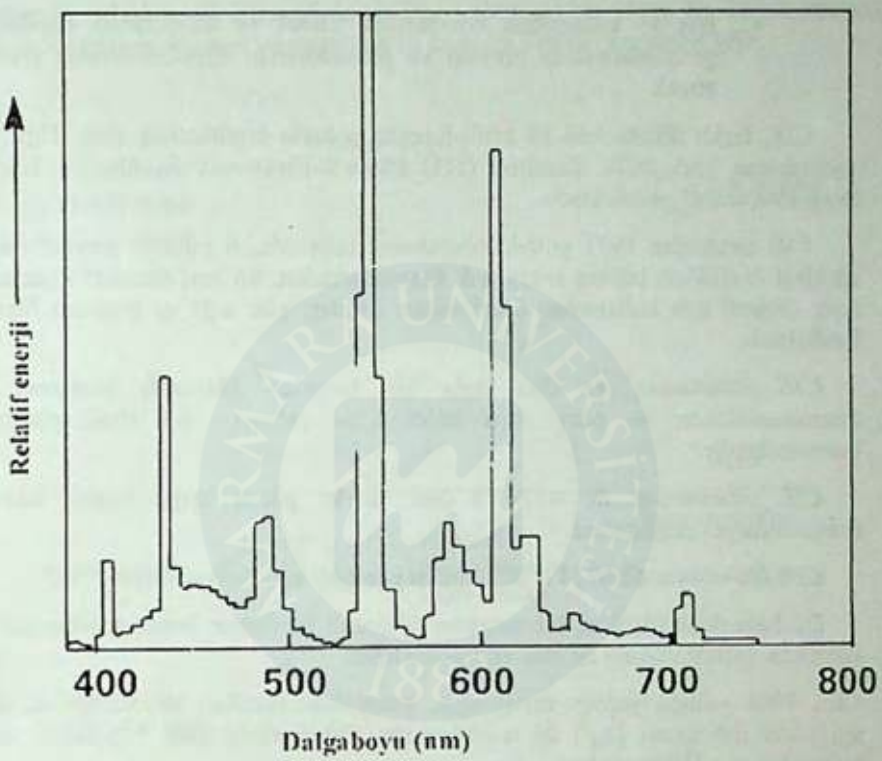


Şekil-2.6: Flüoresans lambalar..

Temel Renkleri Kullanan Lambalar

Gün ışığına yakın bir ışık elde edebilmek için (özellikle aydınlatma tesiri/renk oluşturma özellikleri açısından), kırmızı, yeşil ve mavi hatların karışımı kullanılmıştır. İdeal dalga boyları, mavi için 450 nm, yeşil için 540 nm ve kırmızı için 610 nm olarak alınmıştır. Ultralume (Westinghouse, ABD) ve TL84 (Philips, İngiltere) bu lambalara örnek olarak verilebilir. Bunların aydınlatma tesiri/renk oluşturma dengesi, fluoresans tüplerinkinden daha iyidir. SED'ları, gün ışığınınkinden farklı olup, dükkan ve iç cephe aydınlatmalarında problem ortaya çıkardıklarından dolayı kullanılmazlar.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-2.7: TL84 Lambası.

2.4 CIE Standart Kaynakları

Günümüzde hemen hemen tüm modern renk ölçümü, renk spesifikasyonu, CIE (Commission Internationale de l'Eclairage - Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) Sistemi'ne dayanmaktadır. Bu sistem, 1931'de oluşturulmuştur, buna rağmen temel yapı ve prensiplerde değişiklik yapılmaksızın bu tarihten itibaren sisteme yeni eklemeler yapılmıştır. CIE sistemi, renk algılamanın teorik esaslarından ziyade, deneysel gözlemlere dayanmaktadır. Renk ölçümünde, ışık kaynağı, gözlemci ve yüzey daima göz önünde tutulmalıdır. CIE sistemi, bir rengin nasıl tanımlayacağından ziyade, nasıl yeniden oluşturulabileceği durumu ile ilgilidir.

CIE, teknik, bilimsel ve kültürel bir sivil toplum kuruluşu olup aşağıdaki hedefleri amaçlamaktadır:

- Işık ve aydınlatma konuları ile ilgili, bilim, teknoloji ve sanattaki her mesele hakkında ülkeler arası bilgi değişimini sağlamak ve uluslararası bir tartışma zemini hazırlamak,

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

- Işık ve aydınlatma alanında ölçüm prosedürlerini ve temel standartları hazırlamak ve geliştirmek,
- Işık ve aydınlatma konularında ulusal ve uluslararası standartların geliştirilmesinde prensip ve prosedürlerin uygulanmasında rehberlik etmek

CIE, farklı ülkelerdeki 39 Milli Komite yoluyla örgütlenmiş olup, Türkiye'de Aydınlatma Türk Milli Komitesi (İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi – İstanbul) tarafından temsil edilmektedir.

CIE tarafından 1931 yılında oluşturulan sistemde, o yıllarda mevcut olan ve spektral özellikleri bilinen temel ışık kaynaklarından, bir seri standart illüminantın renk ölçümü için kullanımını önerilmiştir. Bunlar, gün ışığı ve tungsten filamanlı lambalardır.

CIE İlluminant A: Gaz dolu bir tungsten filamanlı lambanın ışığı tanımlanmaktadır ve çıkış güçü 2856 K'de çalışan bir siyah cisminkine benzemektedir.

CIE İlluminant B: 4874 K'deki direkt güneş ışığı simüle edilmeğe (benzetilmeye) çalışılmıştır.

CIE İlluminant C: 6774 K'deki ortam gün ışığı simüle edilmiştir.

Bu kaynaklar pratikte, bir tungsten filamanlı lambanın önüne mavi renkli sıvı filtrelerin yerleştirilmesi ile elde edilmektedirler.

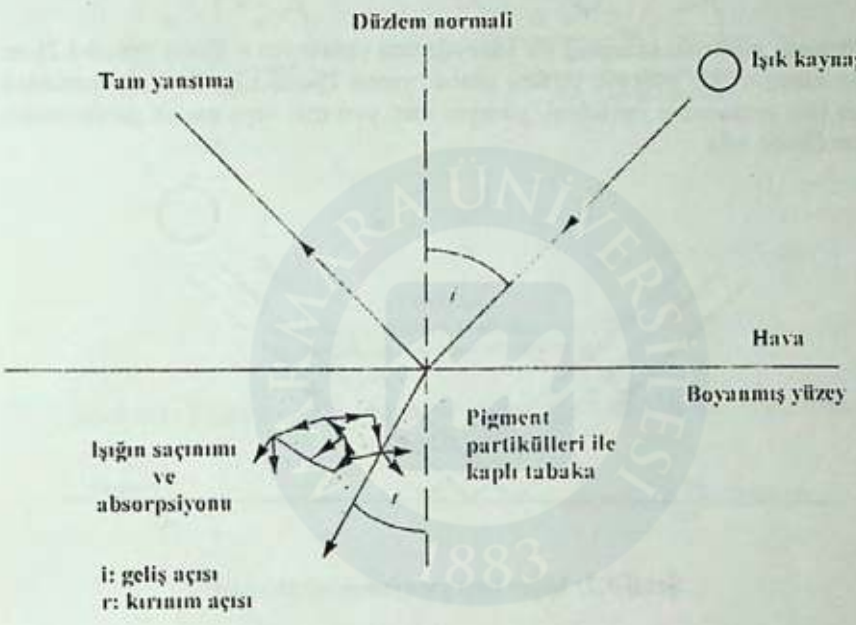
CIE, 1964 yılında yaptığı revizyonda, yukarıdaki standart kaynaklara ek olarak aşağıdaki illüminant D_{65}'i de tanımlamıştır. Günümüzde renk ölçümünde en sık kullanılan standart kaynaktır.

CIE İlluminant D_{65}: Renk sıcaklığı yaklaşık 6500 K'dir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3. CİSME AİT ÖZELLİKLER VE IŞIĞIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

Bir ortamda yol alan ışık hüzmesinin geçirgen olmayan bir yüzey ile karşılaşması durumunda yansıma, kırınım, absorpsiyon ve saçınım olayları meydana gelir.



Şekil-3.1: Işığın yansıması, krınımı, absorpsiyonu ve saçınımı.

3.1 Işığın Kırınımı

n_1 refraktif (kırınım) indeksine sahip bir ortamda yol alan ışık, n_2 refraktif indeksine sahip bir ortamla karşılaşır ve içerisinde yol alırsa kırınıma uğrar (Snell Kanunu):

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \qquad [3.1]$$

Her malzemenin refraktif (kırınım) indeksi, kullanılan ışığın dalga boyuna bağımlıdır.

3.2 Işığın Yansıması

Işığın tamamı veya bir kısmı, yol almakta olduğu ortama geri yansıtılmaktadır.

Yüzey normali ile 0° lik bir açı yapan polarize olmayan ışık için reflektans değeri (ρ) Fresnel Kanunu yardımıyla hesaplanır:

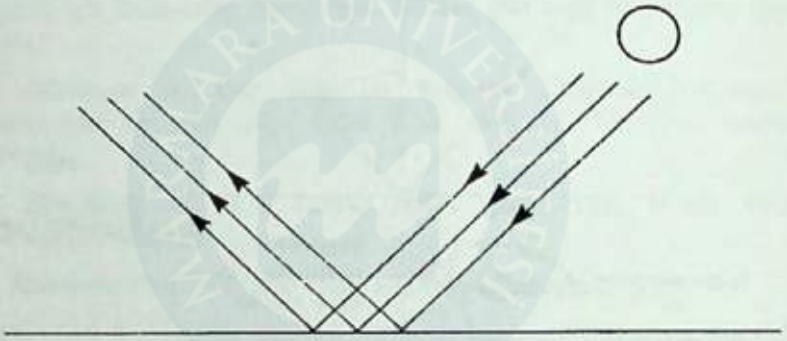
$$\rho = [(n_2 - n_1)/(n_2 + n_1)]^2 \qquad [3.2]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

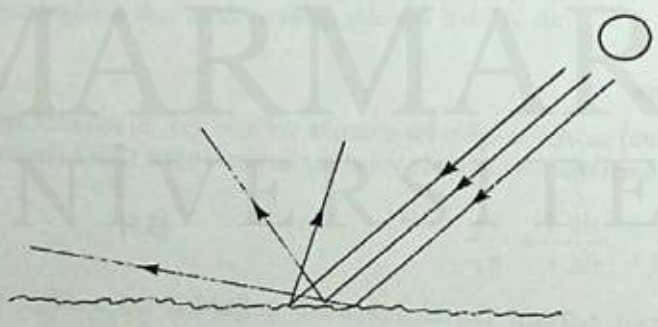
Örnek: Havanın ve tipik bir boya reçinesinin yaklaşık kırınım indeksleri sırasıyla 1.0 ve 1.5'dur. Böylece, film tabakasının yüzey normali ile karşılaşan ışık miktarının ne kadar azalacağını hesaplayınız.

$$\rho = \left[\frac{(1.5 - 1.0)}{(1.5 + 1.0)}\right]^2 = 0.04 \text{ veya } \%4$$

Işık hüzmesi, pürüzsüz (düzgün) bir yüzeyde tam yansımaya uğratılır (Şekil-3.2) ve düzgün olmayan bir yüzeyde diffüze olarak yansır (Şekil-3.3). Cisim yüzeyinden yapılan tam yansımanın mertebesi, yüzeyin mat, yarı-mat veya parlak görünmesine yol açar (Şekil-3.4).

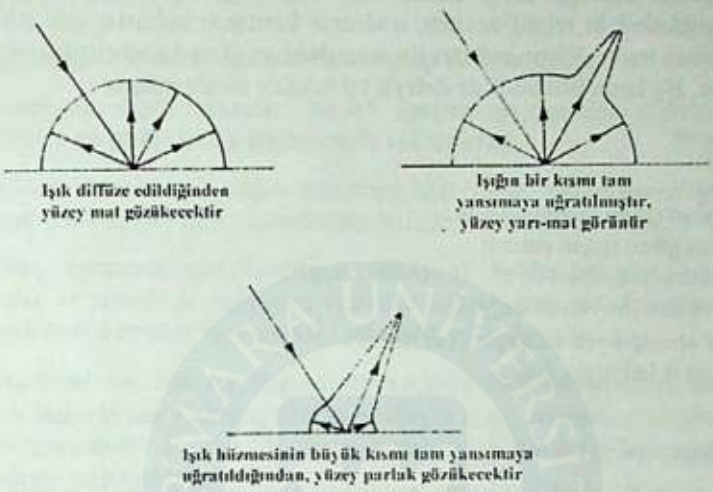


Şekil-3.2: Işığın tam yansımaya uğratılması.

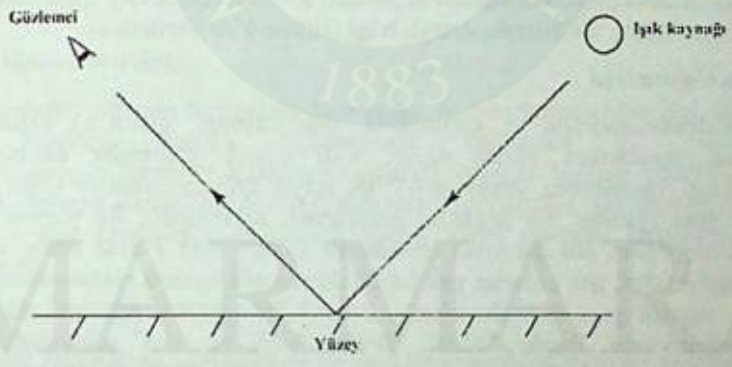


Şekil-3.3: Işığın diffüze yansımaya uğratılması.

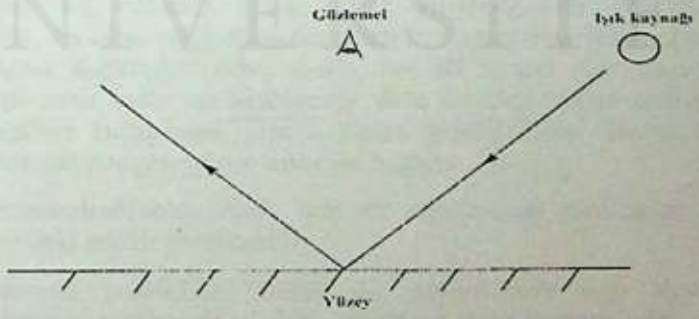
Parlaklığın değerlendirilmesinde, Şekil-3.5'deki gözlem şekli, rengin değerlendirilmesinde ise, Şekil-3.6'deki gözlem şekli önerilmektedir.



Şekil-3.4: Yüzeyin mat, yarı-mat ve parlak görünümü ile ışığın yansıması arasındaki ilişki.



Şekil-3.5: Parlaklığın gözlenmesi.



Şekil-3.6: Rengin gözlenmesi.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3.3 Işığın Absorpsiyonu

Işık absorplama özelliğe sahip maddelerin bulunduğu bir ortamdan geçen ışık demetinin şiddetindeki relatif azalma, malzeme kesitinde bulunan, ışık absorplama özelliğine sahip moleküllerin miktarı ile orantılıdır ve Beer-Lambert ifadesi ile ifade edilmektedir. Bu konu Bölüm-8'de detaylı bir şekilde incelenmiştir.

$$I = I_0 10^{-\varepsilon c l} \qquad [3.3]$$

Burada:

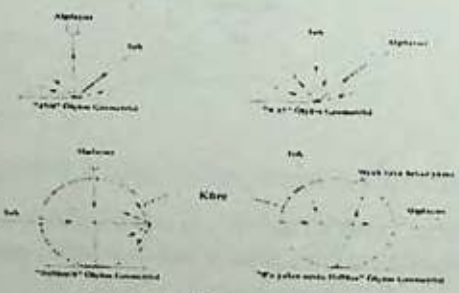
I: ortamdan çıkan ışığın şiddeti
I_0: ortama giren ışığın şiddeti
c: konsantrasyon, (mol/m^3),
A: absorbans, (boyutsuz değer),
ε: molar absorpsiyon katsayısı, (m^2/mol),
L: ışık geçiş kalınlığı, (m).

3.4 Işığın Saçınımı

Bir ortamda yol alan ışınlar, dalgaboylarının on katından daha fazla çaptaki pigment partikülleri ile karşılaştığında, Fresnel denklemine göre, ışığın yol aldığı ortam ve pigment partikülleri arasındaki kırınım indeksi farkına bağlı olarak belli bir miktarda saçınıma uğramaktadırlar. Bu yüzden saçınımın seviyesi (derecesi), ışığın dalgaboyu ile değişebilmektedir. Bu konuda detaylı bilgi Bölüm-9'da verilmiştir.

3.5 Ölçüm Geometrisi

Rengin gözlemlenmesinde ve ölçümünde, ışık kaynağı, cisim ve algılayıcının konumlarını standardize etmek üzere, CIE çeşitli yöntemler önermektedir. Bunlardan biri, numunenin, yüzeyine 45°'lik açıyla aydınlatılması ve ışığın düzlem normaline göre (yüzeye dik açılarda) gözlenmesi şeklindedir. Bu yöntem "45/0" şeklinde ifade edilir. Bu durumun tersinin de (yani "0/45") aynı sonuç vereceği düşünülmüştür fakat, ışık polarize ışık ise bu durum söz konusu olamamaktadır. CIE tarafından yapılan yeni düzenlemelerde, Şekil-3.7'de gösterildiği gibi dört farklı koşul önerilmektedir. Bunlar "45/0", "0/45", "d/0" ve "0/d" şeklindedir. "d/0" durumunda, numune, diffüze ışık ile aydınlatılmaktadır, "0/d" durumunda ise her açıda yansıtılan ışık toplanmaktadır.



Şekil-3.7: Ölçüm Geometrisi.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

4. RENK ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN CİHAZLAR

4.1 Giriş

Renk ölçümünde kullanılan cihazlar iki ana grup altında toplanırlar:

- Transmisyon ölçen cihazlar: Şeffaf (geçirgen) cisimler (filtrler, vb.) ve çözeltilere ait renk ölçümü işlemlerinde kullanılırlar,
- Reflektans (yansımayı) ölçen cihazlar: Mat (ışığı geçirmeyen) yüzeylerdeki (kumaş, plastik, vb.) renk ölçümü işlemlerinde kullanılan cihazlar.

Pratikte, tamamen mat (geçirgen olmayan) halde bulunan cisimler ışığı geçirmezler ve genellikle ışığı hem saçınıma uğratır hem de absorplarlar. Ortaya çıkabilecek özel durumlar ise aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Beyaz renkli mat cisimler, ışığı saçınıma uğratır fakat absorplamazlar.
- Siyah renkteki mat cisimler, üzerlerine düşen ışığın tümünü absorpladıklarından siyah görünürler. Bu özellik, mevcut olabilecek herhangi bir saçınım olayını tamamen gizlemektedir.
- Renkli şeffaf cisimler, ışığı absorpsiyona uğratırlar, fakat saçınıma uğratmazlar.
- Renkli mat cisimler, ışığı hem absorplarlar hem de saçınıma uğratırlar.

4.2 İlk Kolorimetreler

Işığın absorpsiyonunun ölçümünde kullanılan ilk enstrümanlardan biri hiç şüphesiz insan gözüdür. Rengin ölçülmesinde kullanılan ilk cihazlar ise "absorpsiyometre"lerdir ve transparant (şeffaf) veya az bulanık çözeltilerde ışığın absorpsiyonunun ölçümünde kullanılmışlardır. Bu cihazlar, iki çözeltinin renginin tayininde ışık detektörü (algılayıcısı) olarak insan gözünün kullanılmasını esas almaktadır.

4.3 İlk Fotoelektrik Kolorimetreler

1930'larda fotosellerin geliştirilmesi ile yeni tip absorpsiyometreler geliştirilmiştir ve bu cihazlarda ışık detektörü olarak insan gözü yerine fotoseller kullanılmaya başlanmıştır. Bu cihazlara örnek olarak Hilger-Spekker Absorpsiyometresi gösterilebilir. Bu cihaz çift-hüzmeli bir cihazdır. Absorplama yapan çözeltiden ışık geçiş yolunun değiştirilmesinden ziyade, her iki fotosel üzerindeki elektriksel voltajın eşit olana kadar ayarlanabileceği, daha önceden kalibre edilmiş bir "ışık geçiş-aralığı"nın kullanılması yoluyla ölçüm yapılmaktadır. Ölçüm hassasiyeti, optik ve mekanik komponentlerin kalitesine bağlıdır.

Absorpsiyometrelerde hem teorik hem de enstrümantal problemler mevcuttur. Bunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- *Enstrümantal problemler:* Düşük ışık seviyelerinde ışığı algılayabilecek hassasiyetdeki detektörlere (algılayıcı ünitelere) sahip olmamalarıdır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

- *Teorik problemler:* Yalnızca monokromatik ışığın absorpsiyonuna uygulanabilen Beer-Lambert Kanunu'na bağımlı kalmamalarıdır.

4.4 Transmisyon Spektrofotometreleri

Bir spektrofotometre iki kısımdan oluşur:

- Işık kaynağı ve monokromator,
- Fotometre.

Işık Kaynakları: Monokromator, farklı dalgaboylarına sahip radyasyonu açığa çıkarabilen bir ışık kaynağına bağlanmıştır. Spektrumun görünür bölgesi için kullanılan en yaygın ışık kaynakları, tungsten filamanlı lamba ve halojen lambalardır. Ultra-viole (mor ötesi) spektrofotometrelerinde kullanılan en yaygın ışık kaynakları ise, hidrojen ve döteryum gaz deşarj lambalarıdır.

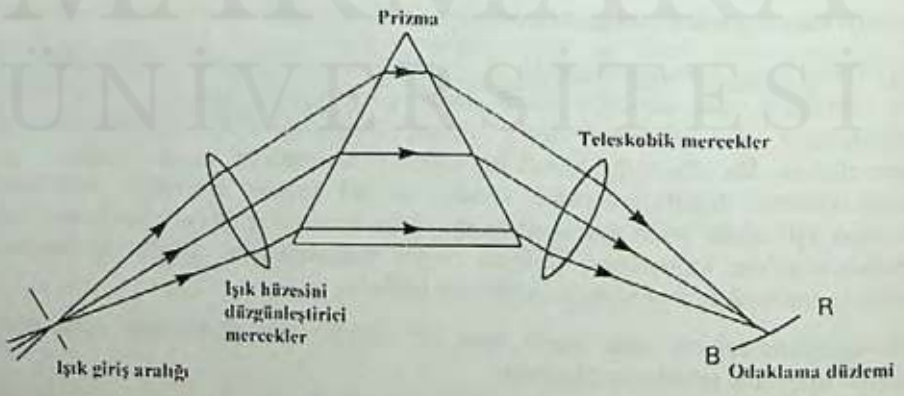
Monokromatorlar: Bir monokromatorun en önemli parçası "dispersleme elemanı"dır. Bu eleman, ışık kaynağı tarafından yayılan çeşitli dalga boylarına sahip ışınlardan, istenilen monokromatik ışığı seçme işlemini yapmaktadır. Bu eleman, ya "prizmatik" ya da "gratör" tipinde olabilir.

Bir prizmatik monokromatorun komponentleri:

- Işık giriş aralığı,
- Işınları paralel hale getimek için kullanılan kollimatör mercek,
- Disperleme elemanı (60° 'lik prizma)
- Teleskopik merceklerdir.

Teleskopik mercekler, her bir dalgaboyundaki ışık hüzmesini, odak düzlemi üzerinde farklı bir noktada odaklama işlemini yaparlar.

Monokromatik radyasyon, ya ışığın "çıkış aralığını" odak düzlemi üzerinde istenilen noktaya doğru hareket ettirmekle veya "çıkış aralığını" sabit bir noktada tutup, prizmanın, üzerine yerleştirildiği platformu (düzlemi) döndürmek sureti ile seçilebilmektedir.



Şekil-4.1: Prizmatik monokromator.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Spektrofotometrelerin Fotometrik bölümü: Kararlı (stabil) bir şekilde monokromatik radyasyonun elde edilmesinden sonra, bir numunenin transmisyonunun (geçirgenliğinin) ölçümü, I/I_0 oranının fotometre tarafından ölçülmesi yoluyla gerçekleşmektedir.

Reflektans ölçümleri, numunenin reflektansının (R_s), beyaz renkli bir standardın (mesela saf baryum sülfat, vb.) reflektansına (R_w) aynı aydınlatma ve ölçüm koşullarında oranının ölçümü yoluyla yapılmaktadır.

Spektrofotometreler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir:

- Tek-hüzmeli fotometrik sistemler
- Çift-hüzmeli fotometrik sistemler
- Tek detektörlü olanlar
- Çift detektörlü olanlar.

Detektörler: Eski cihazlarda detektör olarak insan gözü ve fotoğraf plakaları (200 nm'ye kadarlık hassasiyette) kullanılmıştır. Yeni spektrofoto-metrelerde "fotoelektrik detektörler" mevcuttur.

Fotoelektrik detektörler:

- *Fotoseller:* Fotovoltaik etkinin ölçümünün esasına dayanırlar. Selenyumlu bir tabaka üzerine düşen ışık, iki elektrod arasında bir galvanometreyi çalıştıracak yeterlilikte bir potansiyel fark yaratır. Bu elemanlar, basit yapılı kolorimetrelerde kullanılmışlardır ve hassasiyetleri genelde azdır. 400-750 nm'lik kısıtlı bir spektral aralıkta çalışırlar ve genellikle günümüzde fotoğrafçılıkta kullanılmakta olan pozometrelerde mevcutturlar.

- *Vakum fototüpleri:* Modern detektörler, fotoemisyonu veya üzerlerine radyasyon düşürüldüğünde dirençlerinde bir değişiklik gösteren çeşitli fotokondüktif cihazların kullanımı esasına dayanırlar. Bir vakum fototüpü, dışarısı ile iyice izole edilmiş ve içi boşaltılmış bir cam tüptür. Radyasyonun etkisi altında elektron yayan bir madde ile kaplanmış bir fotokatod mevcuttur. Vakum fototüplerinin hassasiyetleri, fotokatod üzerindeki kaplamanın yapısına bağımlıdır. Potasyum/sezyum/ antimon kaplamalar yaklaşık 380 nm'de yüksek hassasiyete sahiptirler. Görünür-alandaki hassasiyeti arttırmak için, bizmut/gümüş ve sezyum veya sodyum/potasyum ve sezyum kaplamalar kullanılmaktadır. En yüksek hassasiyet, sırasıyla 420 nm ve 380 nm'dedir, ve 800 nm ile daha ötesine uzanmaktadır.

4.5 Reflektans Spektrofotometreleri ve Kolorimetreler

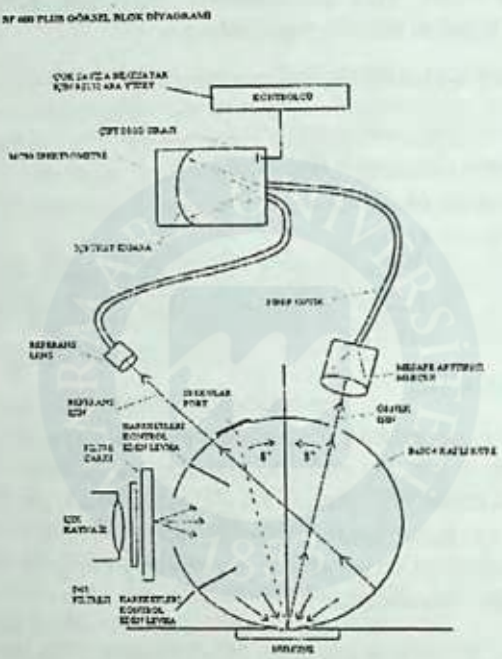
Mat cisimler tarafından yansıtılan görünür ışığın miktarını ölçmek için kullanılabilecek iki tip cihaz mevcuttur. Bunlar:

- reflektans spektrofotometreleri ve
- trikromatik kolorimetrelerdir.

Reflektans spektrofotometreleri ile ölçüm yapıldığında, mat bir numunenin renginin ölçülmesi sadece numunenin 400-700 nm aralığında reflektans/dalgaboyu eğrisinin çıkarılması ile yapılabilmektedir. Datacolor Spectraflash 600 Plus, çift

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

hüzmeli modern bir spektrofotometreye örnek olarak verilebilir. Bu cihaz, görünür spektrumda (380-780 nm) 10 nm aralıklarla hem reflektans hem de transmitans olarak renk ölçümü yapmak amacıyla tasarımlanmıştır, ölçüm alanı 360-390 nm kadar genişletilebilmektedir. SF600 PLUS, d/8° geometrisi ile ölçüm yapabilmek amacıyla yaklaşık 15 cm yarıçapındaki entegre bir küre ile teçhizatlandırılmıştır.



Şekil-4.2: Modern bir spekrofotometre.

SF600 PLUS'ın ışık kaynağı bir xenon ark lambası olup, beyazlık ölçümleri için gerekli olan UV dalgaboylarını da içeren D65 illüminasyonunu sağlamaktadır. İsteğe bağlı otomatik filtre tekerleği optik beyazlığın, flüoresan boyaların ve pigmentlerin ölçümü için kullanılabilir. Bu filtre sistemi, illüminasyonu 400, 420 yada 460 nm aralıklarla kesmek için kullanılan filtreleri içerir. 400 nm filtresi UV komponenti kalibre etmek için kullanılır. Işığı toplayan optik düzenek, hem referans kanalında hem de numune kanalında mercekleri ve fiber optiği içerir. Numuneye ait kanal merceği 2.5 mm (USAV) yarıçaptan 26 mm (LAV) yarıçapa kadar ölçüm yapmak için ayarlanabilen motorize büyüteç merceğini kullanır. Referans kanal merceği sabitleştirilmiş olup küre duvarından ışık toplar. Referans dalganın kullanımı, cihazın devamlılığı ve doğruluğunu sağlamak için ayırıcı ölçümü sağlar. Reflektans ve transmitans bilgileri 360nm'den 700nm'ye 3nm aralıklarla ölçülür. Karışık dalga boyu dizilme tekniği MC90'ı kalibre etmek için kullanılan spektral ışık kaynaklarının ölçümüne dayanır. Bu bilgi daha sonra 10nm bilgiyi hesaplamak için kullanılır. Üç adet görüş alanı plakası mevcuttur. Geniş Alan Görüş Plakası,

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

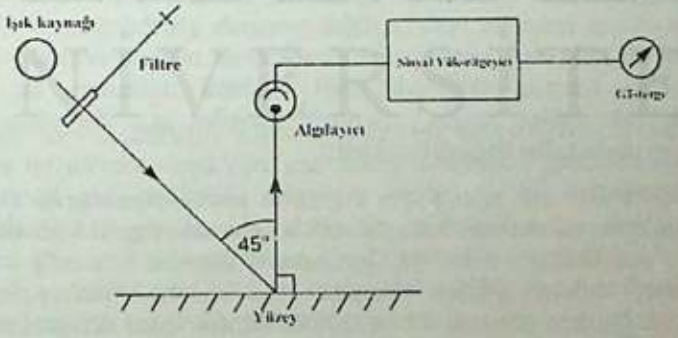
düzensiz ve dokunmuş numuneler için tavsiye edilirken; Küçük ve Ultra Küçük Plakalar, küçük ve çok küçük numunelerin doğru olarak ölçülmesini sağlar.

	Ölçen	*Aydınlatılan*
USAV	2.5 mm	6.6 mm
SAV	5.0 mm	9.0mm
LAV	26.0 mm	30.0mm



Aydınlatılan çapın, yarı şeffaflık hatalarını azaltmak için her zaman ölçenden 4mm daha büyük olmasına dikkat edilmelidir.

Trikromatik kolorimetreler (Şekil-4.3) ise, bir ışık kaynağına, geniş band aralığına sahip üç farklı filtre serisine (genellikle kırmızı, yeşil ve mavi olarak adlandırılırlar) ve bir göstergesi bulunan algılayıcılara sahiptirler. Işık hüzmesinin önüne renkli filtrelerden biri yerleştirilerek (mesela "kırmızı" filtre), ışık beyaz standardın üzerindeyken gösterge %100'e ayarlanır. Ayarlamada hiçbir değişiklik yapmaksızın, rengi ölçülecek numune "standard" ile yer değiştirir ve numune tarafından yansıtılan kırmızı ışık yüzdesi (R) okunarak, beyaz standardınki ile karşılaştırılır. Kırmızı filtre, mavi ve yeşil filtreler ile değiştirilir ve bu filtrelerin kullanımı ile ölçülen B (mavi) ve G (yeşil) yansıma değerleri aynı işlem yoluyla elde edilir.



Şekil-4.3: Trikromatik kolorimetre.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5. STANDART GÖZLEMCİ VE CIE RENK SPESİFİKASYON SİSTEMİ

5.1 Giriş

Renk ölçümünde, ışık kaynağının ve cisme ait özelliklerin tanımlanmasından sonra, renk ölçümünün üçüncü unsuru olan "gözlemci-algılayıcı"yı tanımlamamız gerekmektedir.

Bir cismin renginin doğru olarak algılanması; cismin nasıl ışıklandırıldığına, cismin boyutuna, arka tarafındaki ve etrafındaki renkler gibi birçok faktöre bağlıdır. Bir cismin görünüşünün tanımlanmasında ise, cismin dokusu, parlaklığı ve rengi önemli faktörler olarak ortaya çıkmaktadır.

5.2 Standart Gözlemci ve Renk Eşleme Fonksiyonları

Rengin algılanması, gözün retina tabakasındaki üç farklı tipteki konik hücrelerin ve dördüncü farklı bir spektral algılayıcı olan çubuksu hücrelerin faaliyetinden oluşmasına karşılık, esasen üç değişkenin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır ve rengin spektral verilere göre değerlendirilmesi işlemi üç farklı spektral fonksiyonun kullanımı ile olabilmektedir. Rengin algılanmasını sağlayacak yeterlilikteki aydınlatmalarda, çubuksu hücreler tarafından yapılan faaliyetin etkisiz kılındığı bilinmektedir. Konik hücrelerin ve çubuksu hücrelerin beraberce faaliyet gösterdiği aydınlatma seviyelerinde rengin algılanması, konik ve çubuksu hücrelere ait, farklı dört spektral hassasiyete bağlıdır. Fakat bu seviyelerde renk farklılığının algılanması çok iyi değildir ve çubuksu hücrelere ait faaliyetin rolü pratik olarak bir öneme sahip olmamaktadır. Dolayısıyla, rengin spektral güç verilerinden algılanması üç farklı tipteki konik hücrenin spektral hassasiyet eğrilerinin kullanımına dayanmaktadır. Rengin ölçümünde uluslararası kabul görmüş olan metot, "üç renk kullanımı ile eşleme" veya "trikromatik eşleme" olarak adlandırılmıştır.

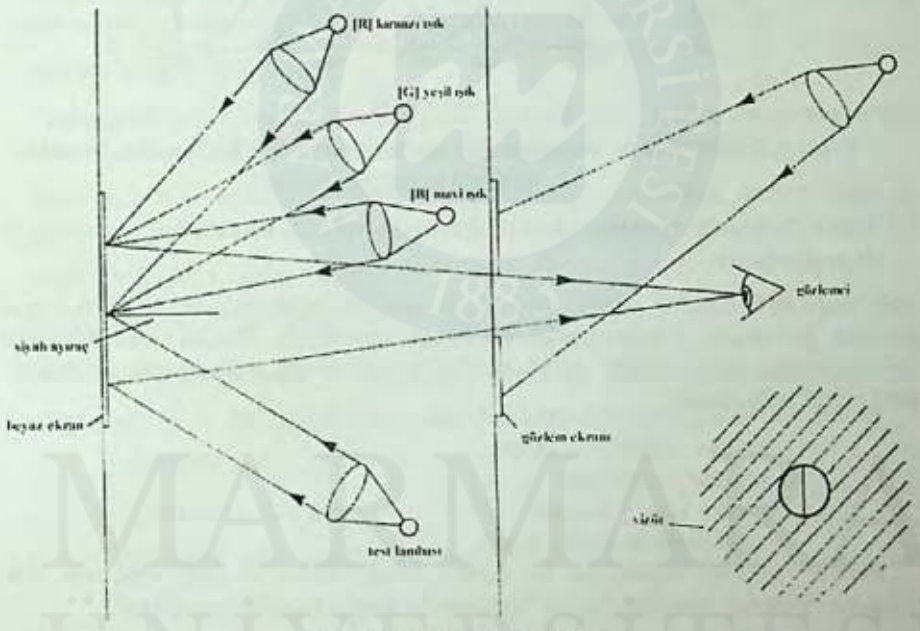
Şekil-5.1'de trikromatik renk eşleme işlemi için kullanılan deneysel düzenek (gözlemsel tristimulus kolorimetresi) diyagramatik olarak gösterilmektedir. Gözlemci, eşlenecek olan rengi (tek bir dalgaboyuna sahip monokromatik ışık hüzmesini) iki bölümlü vizörün bir kısmında; kırmızı, yeşil ve mavi ışıkların karışımından oluşan rengi ise vizörün diğer kısmında görebilmektedir. [R], [G] ve [B] ışıklarına ait miktarlar, her bir lambanın üzerine takılmış reostalar yardımıyla ayarlanmaktadır. Kırmızı, yeşil ve mavi ışıkların miktarları, bu üç ışığın karışımından elde edilen rengin, eşlenmek istenilen ışık demetinin rengi ve parlaklığına eş olana kadar değiştirilmektedir.

Bu şekilde, trikromatik eşleme için uygun bir renk ölçüm sistemi oluşturulmak istendiğinden, deneysel sistemin hassas olarak tanımlanması gereklidir. Gözün retina tabakasının özelliklerinin bir bölgesinden diğerine önemli farklılıklar göstermesinden dolayı, gözlem alanının da açısal boyutunu tanımlamak gerekmektedir. Gözlem alanları, 2° ve 10°'lik olmak üzere iki gözlem alanı ile standartlaştırılmıştır, fakat sistemin orijinali 2° gözlem alanı esas alınarak oluşturulmuştur. Gözlem alanının tanımlanmasından sonra, renk eşleme işleminde kullandığımız kırmızı, yeşil ve mavi ışıkların da tanımlanması gerekmektedir. 2°

gözlemci verilerinin elde edildiği orijinal çalışma, iki farklı araştırma grubunun 17 denek kullanarak gerçekleştirdiği sonuçlara dayanmaktadır. Bir araştırma grubu, bir tungsten lambası ve renkli filtreler kullanmış, diğer araştırma grubu ise, bir prizma sisteminin kullanımı yoluyla elde edilen monokromatik ışık demeti ile deneysel çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Farklı şekilde çalışmalar yapan bu iki araştırma grubunun elde ettiği sonuçların matematiksel olarak düzenlenmesi neticesinde renk eşleme işlemlerinde kullanılacak monokromatik renkler:

Kırmızı	700 nm
Yeşil	546.1 nm ve
Mavi	435.8 nm olarak tesbit edilmiştir.

Bu dalgaboylarındaki spektrum renkleri (700 nm'deki kırmızı, 546.1 nm'deki yeşil ve 435.8 nm'deki mavi), *primer* (birincil) renkler olarak adlandırılır.



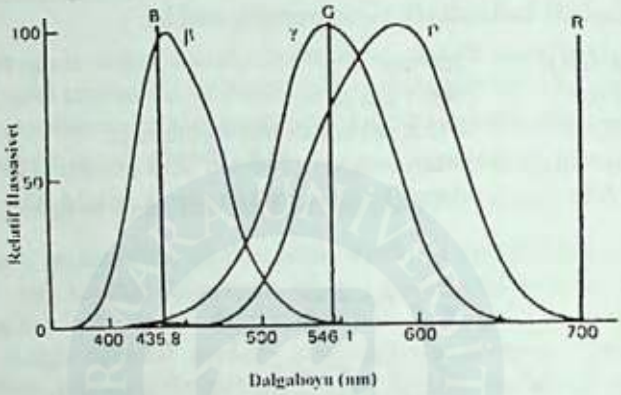
Şekil-5.1: Standart gözlemci.

"Yeşil" ve "mavi" renklerin yukarıda belirtilen dalgaboylarında seçilmelerinin nedeni, bu iki dalgaboyunun civa gaz deşarj lambasının spektrumundaki yüksek enerjili spektral güce sahip iki dalgaboyu olması ve bu değerlerin dalgaboyu kalibrasyonunda kullanılmalarından dolayıdır. "Kırmızı" renge ait dalgaboyu ise, dalgaboyuna göre renk değişiminin az olduğu spektrum bölgesinde olmasındandır, bu da dalgaboyu kalibrasyonundan kaynaklanacak etkileri en aza indirecektir. Bu üç ışığın eşit miktarlarda karışımı beyaz ışığı vermektedir.

Şekil-5.2'de üç farklı tipteki konik hücrenin hassasiyetleri görülmektedir. Burada, ρ-eğrisinin 700 nm dalgaboyunda olukça düşük bir değerde olmasına rağmen, R uyarıcısının ρ konik hücrelerini uyardığını, fakat γ ve β konik hücrelerini

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

uyarmadığını; B uyarıcısının, γ ve ρ konik hücrelerini çok az uyarmasına karşılık, esasen β konik hücrelerini uyardığı; fakat G uyarıcısının esasen γ konik hücrelerini uyarmasının yanında güçlü bir şekilde ρ konik hücrelerini de uyardığı açıkca görülmektedir.



Şekil-5.2: Gözün retina tabakasındaki üç farklı tip konik hücrenin (ρ, γ ve β) spektral hassasiyet eğrileri.

5.3 Aditif (Eklemeli) ve Substraktif (Çıkarmalı) Olarak Renklerin Karıştırılması

Daha önce de belirtildiği şekilde, beyaz ışık, eşit miktardaki primer (birincil) rengin biraraya getirilmesi (karıştırılması) ile oluşturulmaktadır. Primer renklerin ikili karışımlarından oluşan renkler de, "sekonder" (ikincil) renkler (magenta, turkuaz ve sarı) olarak adlandırılır:

kırmızı + mavi = magenta
kırmızı + yeşil= sarı
mavi + yeşil = turkuaz
mavi+kırmızı+yeşil= beyaz

Primer spektrum renklerinin bu şekilde karıştırılması ve yeni renklerin elde edilmesi işlemine, renklerin *"Aditif"* (eklemeli) olarak karıştırılması denir.

Çizelge-5.1: Renklerin karıştırılması.

Cismin rengi	Yansıtılan ışık	Absorplanan Işık
magenta	mavi+kırmızı	yeşil
sarı	kırmızı+yeşil	mavi
turkuaz	mavi+yeşil	kırmızı

Substraktif (çıkarmalı) yöntemde ise, sekonder renklerin ikili karışımlarından primer renkler elde edilmektedir:

magenta + sarı = kırmızı
magenta + turkuaz = mavi
turkuaz + sarı = yeşil
magenta + sarı + turkuaz = siyah

Bir veya birkaç sekonder rengin farklı oranlarda karıştırılması ara renkleri oluşturacaktır. Dolayısıyla, kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi-yeşil, mavi, violet ve mor'dan oluşan bir "renk çemberi"ni oluşturmak mümkündür. Bu renklerin herbirinin belli oranlarda siyah ile donuklaştırılması yoluyla da "tersiyer" (üçüncül) renkler meydana gelecektir.

5.4 Işığın Aditif Karıştırılmasına Ait Matematik

Kırmızı (red), yeşil (green) ve mavi (blue) ışıkları sırasıyla [R], [G] ve [B] ile temsil edelim. c miktardaki [C] ışığını aşağıdaki şekilde elde edebiliriz:

$$c[C] = R[R] + G[G] + B[B]$$

Yukarıdaki şekilde bir spektrum rengini eşlemek için gereken her primer rengin miktarı (R, G ve B), [C] renginin "*tristimulus değerleri*" olarak bilinir.

Rengin aditif özelliğinden dolayı $[C_1]$ ve $[C_2]$ renklerinin karıştırılması da aşağıdaki şekilde mümkündür:

$$c_1[C_1] = R_1[R] + G_1[G] + B_1[B]$$

$$c_2[C_2] = R_2[R] + G_2[G] + B_2[B]$$

$$c_1[C_1]+c_2[C_2] = (R_1+R_2)[R] + (G_1+G_2)[G] + (B_1+B_2)[B]$$

Eğer, "r", "g" ve "b", kullanılan primer renklerin oranlarını gösterecek olursa,

$r = R/(R + G + B)$,

$g = G/(R + G + B)$ ve

$b = B/(R + G + B)$ olacaktır ve

$r + g + b = 1$'dir.

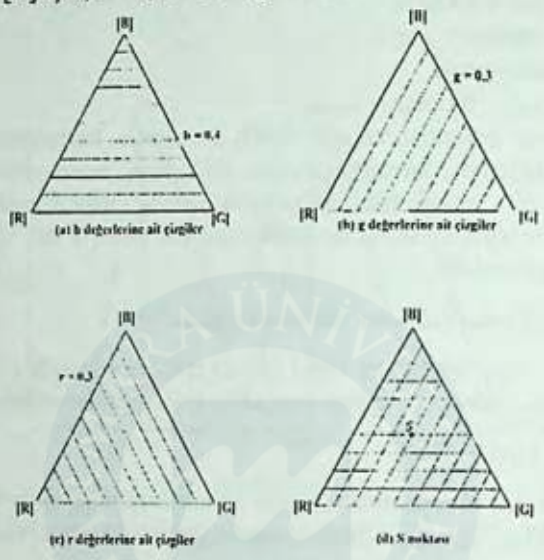
[R][G][B] üçgeninin içerisindeki her nokta, primer renklerin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilebilir. Bu tür bir eşkenar üçgen, "karışım diyagramı" veya "Maxwell Üçgeni" olarak bilinmektedir. Maxwell Üçgeni'nin her bir köşesi bir primer renge ayrılmıştır, ikili ve üçlü karışımlar üçgenin kenarları üzerinde veya içinde primer renklere ait tristimulus oranları ile ifade edilerek yer almaktadır. Her bir primer rengi temsil eden köşeden karşı kenara inilecek dikme, köşedeki değer o primer rengin oranını "1" olarak temsil edecek şekilde "0" ile "1" arasında derecelendirilmiştir. Şekil-5.3d'deki "S" noktası için; r=0.3, g=0.4 ve b=0.3'dür.

Benzer şekilde, Şekil-5.4'de ki [R][G][B] üçgenindeki bir "C" noktası için aşağıdaki oranlar hesaplanacaktır:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

r = 0.5, g = 0.5 ve b = 0'dır.

Aynı şekilde, [R] için, r = 1, b = 0 ve g = 0'dır.

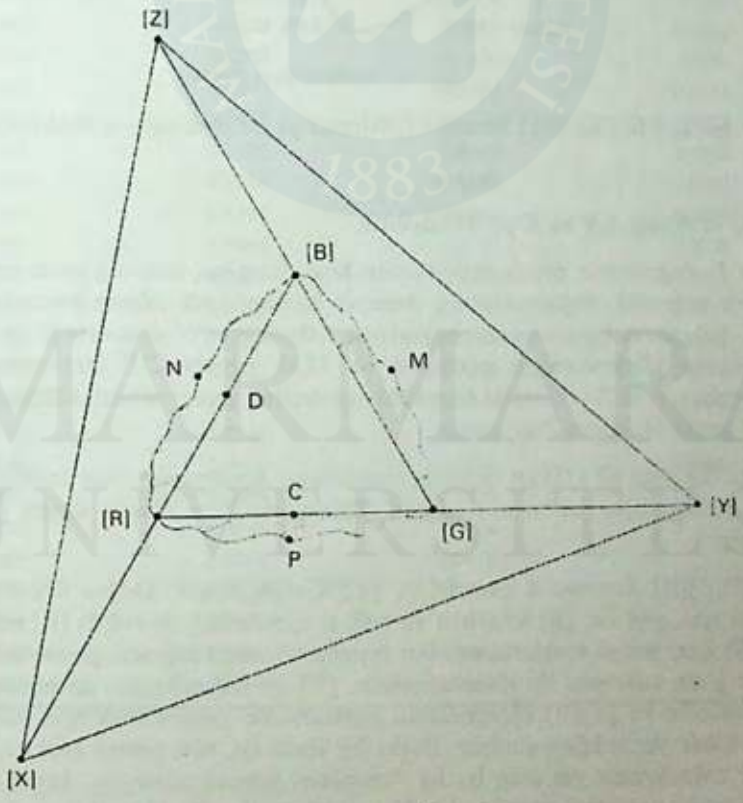


Şekil-5.3: Maxwell Üçgeni.

Gerçek renklerin sınırlarının [R]N[B]M[G]P şekli ile ifade edildiğini düşünelim. Taranmış alanın içerisindeki noktalar gerçek renklere tekabül etmektedir, fakat primer renklerin "pozitif" oranlarının karışımı yoluyla elde edilemezler. Lambaların "negatif" miktarlarının kullanımı söz konusu olamayacağından bu işlem, ancak primer renklerden birinin eşlenmekte olan renk üzerine eklenmesiyle mümkün olabilmektedir. Örneğin, bir M noktası, r=-0.2, b=0.6, g=0.6'ya gereksinim duymaktadır. Başka bir ifadeyle; [B] ve [G]'nin eşit miktarları ve [R]'nin negatif miktarının eklenmesi (bu miktarın eşlenecek renk üzerine ilavesi) ile mümkündür ve ancak bu durumda r + g + b = 1 eşitliği sağlanabilir.

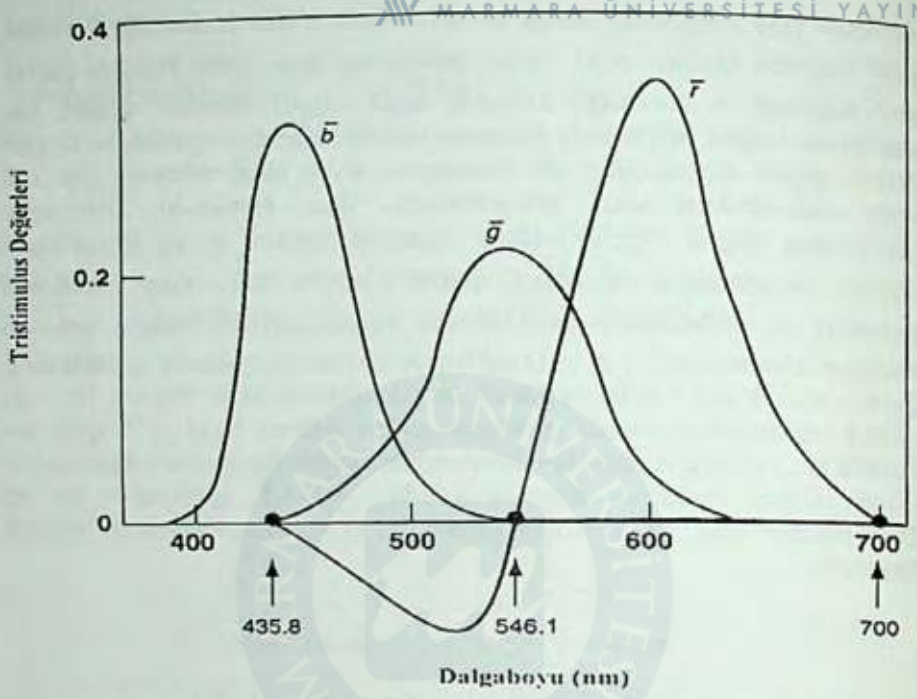
Bunu gerçekleştirmek deneysel olarak mümkündür ve eşleştirilmek istenen dalgaboyuna ulaşabilmek için elde edilecek tristimulus değerlerinden en azından bir tanesi negatif değere sahip olacaktır. Sonuçlar, "eşit enerjili bir spektrum" için tristimulus değerleri olarak ifade edilmiştir. Diğer bir ifade ile, [R], [G] ve [B] primerleri kullanılır ve sonuçlar, görünür bölge boyunca her bir dalgaboyundaki enerjinin bir birimini oluşturmak için gerekli miktarlar, renk-eşleme fonksiyonları (dağılım katsayıları) olarak bilinir ve $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ ve $\bar{b}(\lambda)$ sembolleri ile gösterilirler. $\bar{r}(\lambda)$ eğrisi, spektrumun her bir dalgaboyuna ait rengi oluşturmada R ışığından gerekli olan miktarı, $\bar{g}(\lambda)$ ve $\bar{b}(\lambda)$ eğrileri, sırasıyla G ve B ışıklarından gerekli miktarları göstermektedir. $\bar{r}(\lambda)$ eğrisi, spektrumun turuncu kısmında oldukça yüksek ve pozitif değerlere sahiptir, fakat spektrumun mavi-yeşil renkli bölgesinde negatif ve mor renkli bölgesinde ise küçük pozitif değerlere sahiptir. $\bar{g}(\lambda)$ eğrisi,

spektrumun yeşil bölgesinde yüksek pozitif değerlere, mor renkli bölgede küçük negatif değerlere sahiptir. $\bar{b}(\lambda)$ eğrisi, spektrumun mavi renkli kısmında yüksek pozitif değerlere ve sarı renkli kısmında düşük negatif değerlere sahiptir. Işık kaynaklarının negatif miktarlarda kullanımı mümkün olamayacağından, bu megatif değerler, negatif değere sahip ışık kaynağının, ancak rengi eşlenecek olan ışık üzerine düşürüldükten sonra eşlenebileceğini ifade etmektedir. Dolayısıyla, $\bar{g}(\lambda)$ eğrisinin negatif değerde olduğu spektrum renkleri, R ve B ışıklarının karışımları ve yalnızca az miktarda G ışığının eşlenecek renk üzerine düşürülmesi (eklenmesi) ile edilebilmesi; $\bar{b}(\lambda)$ eğrisinin negatif değerde olduğu spektrum renklerinin eşlenmesinde ise R ve G ışıklarının karışımının, yalnızca az miktarda B ışığının eşlenecek renk üzerine eklenmesi ile elde edilebilecektir. 700 nm, 546.1 nm ve 435.8 nm dalgaboylarındaki spektrum renkleri yalnızca R, G ve B ışıklarının herbirinin tek başlarına kullanımları ile eşlenebilmektedir. Bu durumda diğer ışıklara ait renk eşleme fonksiyon değerleri sıfırdır. Şekil-5.5, spektrumun her bir dalgaboyundaki rengi eşlemek için gerekli R, G ve B ışıklarının miktarlarını vermektedir.



Şekil-5.4: RGB Üçgeni.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-5.5: CIE 1931 Standart Gözlemci'ye ait renk-eşleme fonksiyonları.

5.5 R,G ve B'nin X,Y ve Z'ye Dönüşümü

R,G ve B değerlerine dayalı renk-eşleme hesaplamaları, insanoğlunun rengi ifade edebilme sistemini oluşturmaktadır. Bununla beraber renk eşleme fonksiyonlarında negatif değerlerin bulunmasının hesaplama hatalarına yol açabileceği ve sistemin anlaşılmasını güçlendireceği gerekçesi ile 1931 yılında CIE tarafından gözden geçirilerek X,Y ve Z şeklindeki simgelerle gösterilen yeni tristimulus değerlerinin R, G ve B yerine kullanımı önerilmiştir.

Şekil-5.4'deki [R][G][B] üçgenin sınırlarının spektrumun tüm renklerini içine alacak şekilde birer birim uzatıldığını düşünelim. Yeni oluşan üçgen [X][Y][Z] üçgenidir.

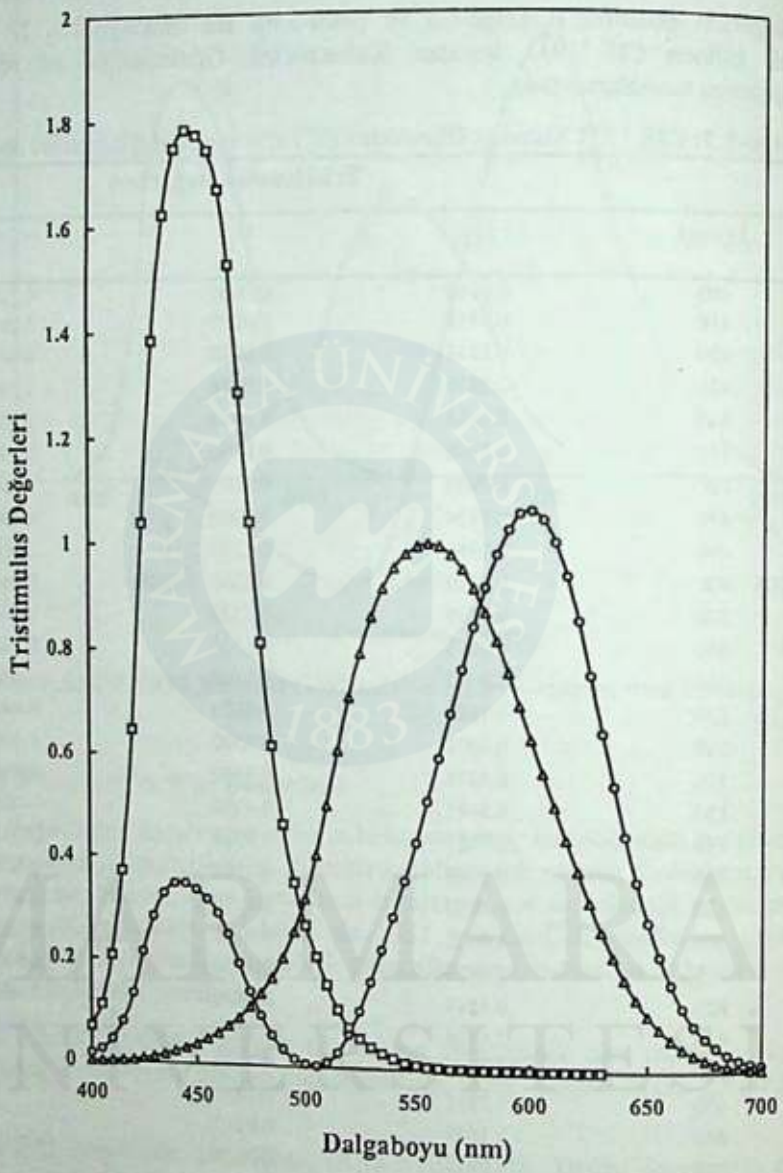
[B]D[R][X] doğrusunu ele alalım, [R][X]=[B][R]'dir. Doğru üzerindeki tüm noktalar için, g=0'dır. [B] için, b=1 ve r=0; D için, b=0.5 ve r=0.5; [R] için b=0 ve r=1; [X] için, gerçek renklerin sınırları dışında olmasına rağmen, pozisyonu, basitçe r, b ve g'nin kullanımı ile ifade edilebilir. [Y] ve [Z] noktaları da benzer şekilde tanımlanabilir ve [X][Y][Z] üçgeninin çizilmesi ile gerçek renklerin tümünün bu üçgen içinde yer aldığını görürüz. Başka bir ifade ile, tüm gerçek renkler, [X], [Y] ve [Z] noktalarında yer alan bu üç *"imajiner (gerçek olmayan, hayali) rengin"* pozitif oranlarının kullanılması ile elde edilebilmektedir. [X], [Y] ve [Z] primer renklere ait olan "renk eşleme fonksiyonları" $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ ve $\bar{b}(\lambda)$'ye benzer

şekilde, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ ve $\bar{z}(\lambda)$ değerleri *CIE renk-eşleme fonksiyonları* olarak bilinir ve değerleri pozitiftir (Çizelge-5.2 ve Şekil-5.6). Bu fonksiyonlar, 2° Gözlemci olarak bilinen CIE 1931 Standart Kolorimetrik Gözlemci'ye ait renk-eşleme özelliklerini tanımlamaktadır.

Çizelge-5.2: CIE 1931 Standart Gözelemci (2°) için spektral tristimulus değerleri.

	Tristimulus Değerleri		
λ(nm)	$\bar{x}_\lambda$	$\bar{y}_\lambda$	$\bar{z}_\lambda$
400	0.0143	0.0004	0.0679
410	0.0435	0.0012	0.2074
420	0.1344	0.0040	0.6456
430	0.2839	0.0116	1.3856
440	0.3483	0.0230	1.7471
450	0.3362	0.0380	1.7721
460	0.2908	0.0600	1.6692
470	0.1954	0.0910	1.2876
480	0.0956	0.1390	0.813
490	0.0320	0.2080	0.4652
500	0.0049	0.3230	0.272
510	0.0093	0.5030	0.1582
520	0.0633	0.7100	0.0782
530	0.1655	0.8620	0.0422
540	0.2904	0.9540	0.0203
550	0.4334	0.9950	0.0087
560	0.5945	0.9950	0.0039
570	0.7621	0.9520	0.0021
580	0.9163	0.8700	0.0017
590	1.0263	0.7570	0.0011
600	1.0622	0.6310	0.0008
610	1.0026	0.5030	0.0003
620	0.8544	0.3810	0.0002
630	0.6424	0.2650	0.0000
640	0.4479	0.1750	
650	0.2835	0.1070	
660	0.1649	0.0610	
670	0.0874	0.0320	
680	0.0468	0.0170	
690	0.0227	0.0082	
700	0.0114	0.0041	

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-5.6: 2° Standart Gözlemci için renk eşleme fonksiyonları.

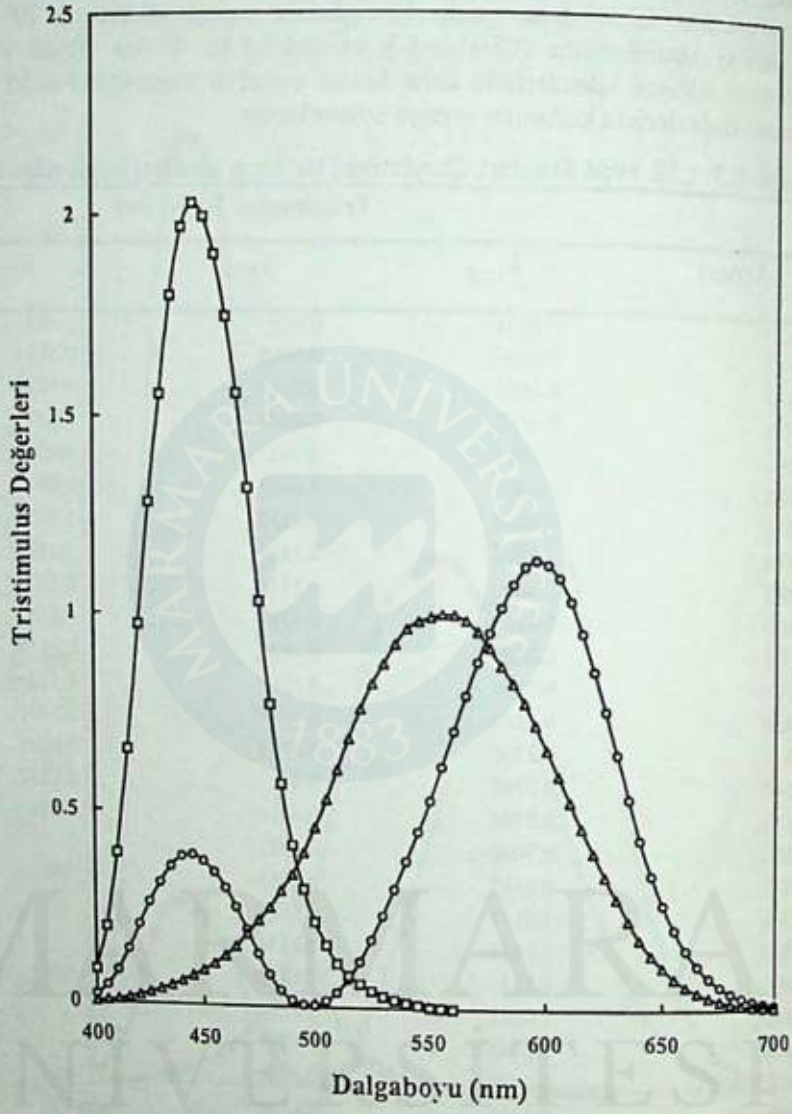
o - $\bar{x}_\lambda$ Δ - $\bar{y}_\lambda$ □ - $\bar{z}_\lambda$

CIE, 1931 yılında tanımladığı 2° Standart Gözlemci'ye ek olarak 1964 yılında benzer şekilde fakat daha geniş bir gözlem açısını kullanan 10° Standart Gözlemci'yi tanımlamıştır (Çizelge-5.3 ve Şekil-5.8). 4°'den büyük alanlardaki görsel renk eşleme işlemlerinde daha hassas sonuçlar vereceğinden 10° Standart Gözlemci değerlerinin kullanımı tavsiye edilmektedir.

Çizelge-5.3: CIE 1964 Standart Gözelemci (10°) için spektral tristimulus değerleri.

	Tristimulus Değerleri		
λ(nm)	$\bar{x}_{10,\lambda}$	$\bar{y}_{10,\lambda}$	$\bar{z}_{10,\lambda}$
400	0.0191	0.002	0.086
410	0.0847	0.0088	0.3894
420	0.2045	0.0214	0.9725
430	0.3147	0.0387	1.5535
440	0.3837	0.0621	1.9673
450	0.3707	0.0895	1.9948
460	0.3023	0.1282	1.7454
470	0.1956	0.1852	1.3176
480	0.0805	0.2536	0.7721
490	0.0162	0.3391	0.4153
500	0.0038	0.4608	0.2185
510	0.0375	0.6067	0.112
520	0.1177	0.7618	0.0607
530	0.2365	0.8752	0.0305
540	0.3768	0.962	0.0137
550	0.5298	0.9918	0.004
560	0.7052	0.9973	0
570	0.8787	0.9555	
580	1.0142	0.8689	
590	1.1185	0.7774	
600	1.124	0.6583	
610	1.0305	0.528	
620	0.8563	0.3981	
630	0.6475	0.2835	
640	0.4316	0.1798	
650	0.2683	0.1076	
660	0.1526	0.0603	
670	0.0813	0.0318	
680	0.0409	0.0159	
685	0.0286	0.0111	
690	0.0199	0.0077	
695	0.0138	0.0054	
700	0.0096	0.0037	

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-5.8: 10° Standart Gözlemci için renk eşleme fonksiyonları.

o - $\bar{x}_{10,\lambda}$ Δ - $\bar{y}_{10,\lambda}$ □ - $\bar{z}_{10,\lambda}$

5.6 Ölçülen Reflektans Değerlerinden Tristimulus Değerlerinin Hesaplanması

Rengi sayısal olarak ifade edebilmemiz için üç ögenin; ışık kaynağının, cismin ve gözlemci'nin sayısal tanımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Işık kaynaklarının, matematiksel formda ifadesi, ışık kaynağının Spektral Enerji Dağılım (SED) değerleri ile ve isimlendirilmeleri ise renk sıcaklığı kavramı ile yapılmıştır. Cisme ait özelliğin ifade edilmesinde ise, yüzeyden yansıyan ışık miktarı tanımlanmış (% reflektans) ve "ışık kaynağı-cisim-gözlemci" üçgeninde her bir ögenin konumu "ölçüm geometrisi"nin kullanımı ile standart olarak belirlenmiştir. Son olarak, gözlemciye ait özellikler "Standart Gözlemci"ye ait renk eşleme fonksiyonları yoluyla matematiksel olarak ifade edilmiştir. Eğer, boyanmış bir yüzeyden λ dalgaboyunda ölçülen reflektans değeri "R" ve yüzey üzerine düşen ışık miktarı "E" ise, bu dalgaboyunda yansıyan ışığın miktarı E.R olur. Bu dalgaboyundaki enerjinin 1 birimini elde etmek için:

$$E\,\bar{x}\,R[X] + E\,\bar{y}\,R[Y] + E\,\bar{z}\,R[Z]$$

miktarı gereklidir. Görünür bölgeye ait dalgaboylarında yansıtılan enerjinin toplam miktarı:

$$\sum_{\lambda=380}^{780} E_\lambda R_\lambda$$

veya

$$\int_{\lambda=380}^{780} E_\lambda R_\lambda d\lambda$$

olacaktır.

Aynı şekilde [X], [Y] ve [Z] miktarlarını hesaba katarsak, yüzeyden yansıyan ışık aşağıdaki şekilde eşleştirilebilir:

$$\Sigma E_\lambda\,\bar{x}_\lambda\,R_\lambda + \Sigma E_\lambda\,\bar{y}_\lambda\,R_\lambda + \Sigma E_\lambda\,\bar{z}_\lambda\,R_\lambda$$

Aynı ışık, aşağıdaki şekilde de eşleştirilebilmektedir:

$$X[X]+Y[Y]+Z[Z]$$

Dolayısıyla aşağıdaki denklemleri yazabiliriz:

$$X = \Sigma E_\lambda\,\bar{x}_\lambda\,R_\lambda$$

$$Y = \Sigma E_\lambda\,\bar{y}_\lambda\,R_\lambda$$

$$Z = \Sigma E_\lambda\,\bar{z}_\lambda\,R_\lambda$$

Eğer ışık kaynağının 380-780 nm dalgaboyu aralığındaki SED değerleri "E", Standart Gözlemci değerleri "$\bar{x}$", "$\bar{y}$", "$\bar{z}$" ve herbir dalgaboyundaki reflektans değeri "R" biliniyorsa, X, Y ve Z tristimulus değerleri yukarıdaki denklemlerden kolayca hesaplanabilir.

Mat numuneler, numune yüzeyinin normalinden 45°'lik açıyla aydınlatılmakta ve düzlem normaline yakın bir açıyla gözlem yapılmaktadır. Buna alternatif olarak, numune, düzlem normaline yakın bir açıyla aydınlatılıp, normale 45°'lik bir açıyla da gözlemlenebilmektedir. Mat numuneler için tristimulus değerleri aşağıdaki şekilde normalize edilerek hesaplanabilir:

$$X = k\Sigma E_\lambda \bar{x}_\lambda R_\lambda$$

$$Y = k\Sigma E_\lambda \bar{y}_\lambda R_\lambda$$

$$Z = k\Sigma E_\lambda \bar{z}_\lambda R_\lambda$$

Burada, $k = \dfrac{100.0}{\Sigma E_\lambda \bar{y}_\lambda}$ olarak alınır.

R, % olarak ifade edilmektedir, Y, 0 ile 100 arasında bir değere sahiptir. X ve Z aralığı, illüminanta (CIE standart kaynağına) bağımlı olarak değişir.

Çizelge-5.5'de ve Şekil-5.10-Şekil-5.12'de bir rengin ölçülen reflektans değerlerinden tristimulus değerlerinin nasıl hesaplandığının gösterildiği bir örnek verilmiştir. Benzer şekilde, ışık kaynaklarına ait tristimulus değerleri de hesaplanabilir. Işık kaynakları, "ideal yansıtıcı" gibi düşünüldüklerinden bu hesaplamalar da, her dalgaboyu için reflektans değeri %100 alınacaktır.

Çizelge-5.6'da D65 illüminantına ait tristimulus değerlerinin ne şekilde hesaplandığı gösterilmektedir. Çizelge-5.4'de ise, standart kaynakların 2° ve 10° gözlemci için tristimulus değerleri verilmiştir. Standart kaynaklara ait tristimulus değerleri "X_n", "Y_n" ve "Z_n" notasyonları ile gösterilmektedir.

Çizelge-5.4: Standart ışık kaynaklarının tristimulus değerleri.

İllüminant	Gözlemci	X_n	Y_n	Z_n
A	2°	109.9	100.0	35.6
	10°	111.1	100.0	35.2
C	2°	98.1	100.0	118.2
	10°	97.3	100.0	116.1
D_{65}	2°	94.0	100.0	108.9
	10°	94.8	100.0	107.3

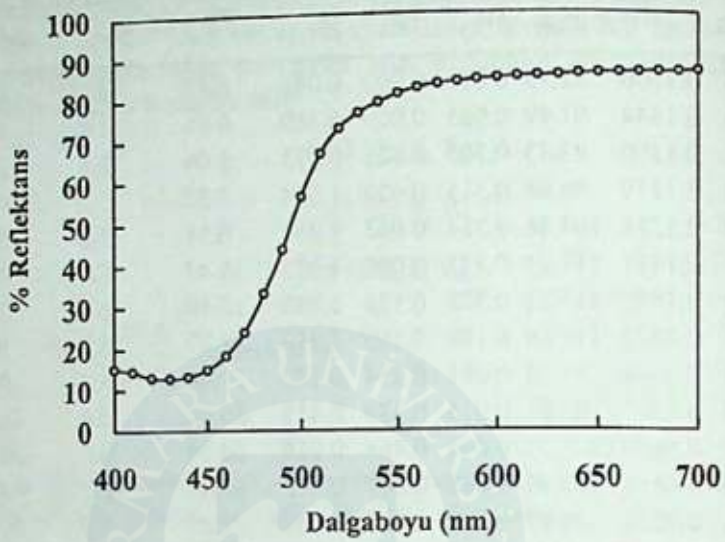
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çizelge-5.5: %Reflektans değerlerinden tristimulus değerlerinin hesaplanması.

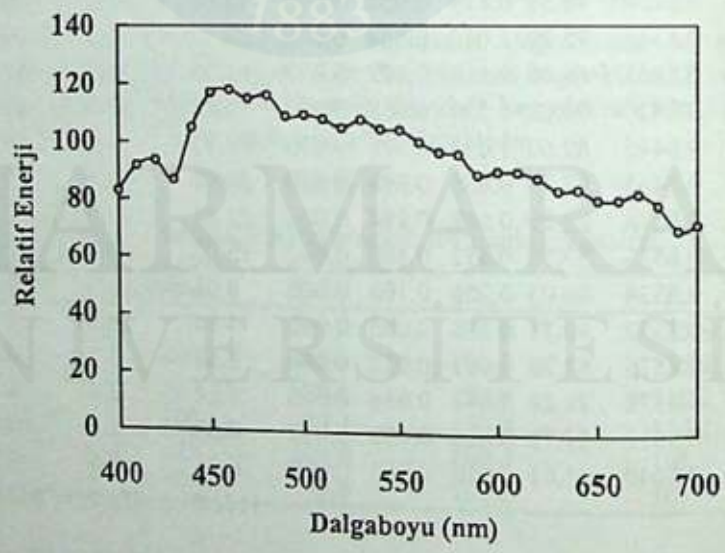
λ (nm)	R	E (D_{65})	$\bar{x}_{10}$	$\bar{y}_{10}$	$\bar{z}_{10}$	E. $\bar{y}_{10}$	R.E. $\bar{x}_{10}$	R.E. $\bar{y}_{10}$	R.E. $\bar{z}_{10}$
400	0.1506	82.75	0.019	0.002	0.086	0.17	0.2	0.0	1.1
410	0.1444	91.49	0.085	0.009	0.389	0.81	1.1	0.1	5.1
420	0.1300	93.43	0.205	0.021	0.973	2.00	2.5	0.3	11.8
430	0.1279	86.68	0.315	0.039	1.554	3.35	3.5	0.4	17.2
440	0.1314	104.86	0.384	0.062	1.967	6.51	5.3	0.9	27.1
450	0.1481	117.01	0.371	0.090	1.995	10.47	6.4	1.6	34.6
460	0.1820	117.81	0.302	0.128	1.745	15.10	6.5	2.7	37.4
470	0.2372	114.86	0.196	0.185	1.318	21.27	5.3	5.0	35.9
480	0.3308	115.92	0.081	0.254	0.772	29.40	3.1	9.7	29.6
490	0.4367	108.81	0.016	0.339	0.415	36.90	0.8	16.1	19.7
500	0.5629	109.35	0.004	0.461	0.219	50.39	0.2	28.4	13.4
510	0.6651	107.80	0.038	0.607	0.112	65.40	2.7	43.5	8.0
520	0.7251	104.79	0.118	0.762	0.061	79.83	8.9	57.9	4.6
530	0.7613	107.69	0.237	0.875	0.031	94.25	19.4	71.8	2.5
540	0.7877	104.41	0.377	0.962	0.014	100.44	31.0	79.1	1.1
550	0.8076	104.05	0.530	0.992	0.004	103.20	44.5	83.3	0.3
560	0.8211	100.00	0.705	0.997	0.000	99.73	57.9	81.9	0.0
570	0.8294	96.33	0.879	0.956	0.000	92.04	70.2	76.3	0.0
580	0.8343	95.79	1.014	0.869	0.000	83.23	81.1	69.4	0.0
590	0.8385	88.69	1.119	0.777	0.000	68.95	83.2	57.8	0.0
600	0.8420	90.01	1.124	0.658	0.000	59.25	85.2	49.9	0.0
610	0.8445	89.60	1.031	0.528	0.000	47.31	78.0	40.0	0.0
620	0.8468	87.70	0.856	0.398	0.000	34.91	63.6	29.6	0.0
630	0.8478	83.29	0.648	0.284	0.000	23.61	45.7	20.0	0.0
640	0.8513	83.70	0.432	0.180	0.000	15.05	30.8	12.8	0.0
650	0.8534	80.03	0.268	0.108	0.000	8.61	18.3	7.3	0.0
660	0.8552	80.21	0.153	0.060	0.000	4.84	10.5	4.1	0.0
670	0.8575	82.28	0.081	0.032	0.000	2.62	5.7	2.2	0.0
680	0.8578	78.28	0.041	0.016	0.000	1.24	2.7	1.1	0.0
690	0.8610	69.72	0.020	0.008	0.000	0.54	1.2	0.5	0.0
700	0.8640	71.61	0.010	0.004	0.000	0.26	0.6	0.2	0.0
					Σ	1161.7	776.1	853.9	249.4

$k = 100.0/1161.7 = 0.0861$
$X = (776.1)(0.0861) = 66.82$
$Y = (853.9)(0.0861) = 73.52$
$Z = (249.4)(0.0861) = 21.47$
$x = 0.413,\ y = 0.454$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

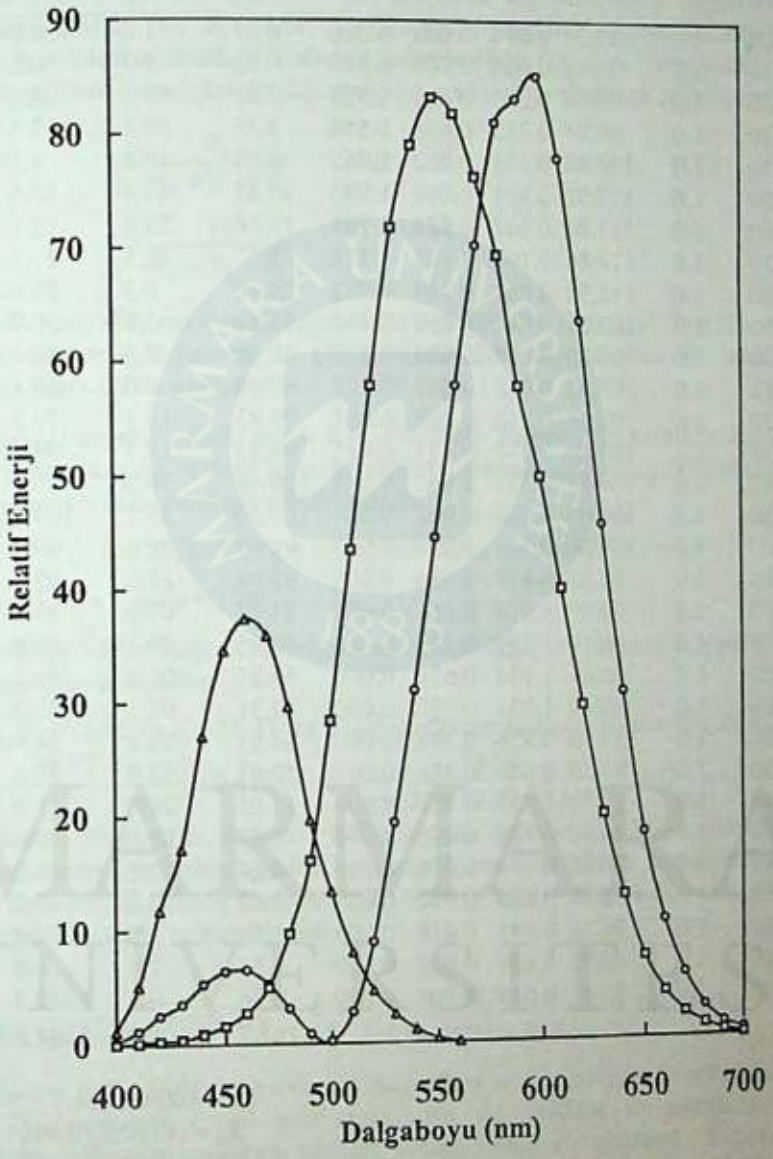


Şekil-5.10: D_{65} ışık kaynağı altında ölçülen % reflektans değerleri.



Şekil-5.11: D_{65} ışık kaynağının Spektral Enerji Dağılım (SED) değerleri.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-5.12: XYZ Tristimulus değerleri.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çizelge-5.6: D_{65} İllüminantı'na ait tristimulus değerlerinin hesaplanması.

λ (nm)	R	E (D_{65})	$\bar{x}_{10}$	$\bar{y}_{10}$	$\bar{z}_{10}$	E. $\bar{y}_{10}$	R.E. $\bar{x}_{10}$	R.E. $\bar{y}_{10}$	R.E. $\bar{z}_{10}$
400	1.0	82.75	0.019	0.002	0.086	0.17	1.6	0.2	7.1
410	1.0	91.49	0.085	0.009	0.389	0.81	7.7	0.8	35.6
420	1.0	93.43	0.205	0.021	0.973	2.00	19.1	2.0	90.9
430	1.0	86.68	0.315	0.039	1.554	3.35	27.3	3.4	134.7
440	1.0	104.86	0.384	0.062	1.967	6.51	40.2	6.5	206.3
450	1.0	117.01	0.371	0.090	1.995	10.47	43.4	10.5	233.4
460	1.0	117.81	0.302	0.128	1.745	15.10	35.6	15.1	205.6
470	1.0	114.86	0.196	0.185	1.318	21.27	22.5	21.3	151.3
480	1.0	115.92	0.081	0.254	0.772	29.40	9.3	29.4	89.5
490	1.0	108.81	0.016	0.339	0.415	36.90	1.8	36.9	45.2
500	1.0	109.35	0.004	0.461	0.219	50.39	0.4	50.4	23.9
510	1.0	107.80	0.038	0.607	0.112	65.40	4.0	65.4	12.1
520	1.0	104.79	0.118	0.762	0.061	79.83	12.3	79.8	6.4
530	1.0	107.69	0.237	0.875	0.031	94.25	25.5	94.3	3.3
540	1.0	104.41	0.377	0.962	0.014	100.44	39.3	100.4	1.4
550	1.0	104.05	0.530	0.992	0.004	103.20	55.1	103.2	0.4
560	1.0	100.00	0.705	0.997	0.000	99.73	70.5	99.7	0.0
570	1.0	96.33	0.879	0.956	0.000	92.04	84.6	92.0	0.0
580	1.0	95.79	1.014	0.869	0.000	83.23	97.2	83.2	0.0
590	1.0	88.69	1.119	0.777	0.000	68.95	99.2	68.9	0.0
600	1.0	90.01	1.124	0.658	0.000	59.25	101.2	59.3	0.0
610	1.0	89.60	1.031	0.528	0.000	47.31	92.3	47.3	0.0
620	1.0	87.70	0.856	0.398	0.000	34.91	75.1	34.9	0.0
630	1.0	83.29	0.648	0.284	0.000	23.61	53.9	23.6	0.0
640	1.0	83.70	0.432	0.180	0.000	15.05	36.1	15.0	0.0
650	1.0	80.03	0.268	0.108	0.000	8.61	21.5	8.6	0.0
660	1.0	80.21	0.153	0.060	0.000	4.84	12.2	4.8	0.0
670	1.0	82.28	0.081	0.032	0.000	2.62	6.7	2.6	0.0
680	1.0	78.28	0.041	0.016	0.000	1.24	3.2	1.2	0.0
690	1.0	69.72	0.020	0.008	0.000	0.54	1.4	0.5	0.0
700	1.0	71.61	0.010	0.004	0.000	0.26	0.7	0.3	0.0
					Σ	1161.7	1100.9	1161.5	1247.1

$k = 100.0/1161.7 = 0.0861$

$X_n = (1100.9)(0.0861) = 94.8$

$Y_n = (1161.5)(0.0861) = 100.0$

$Z_n = (1247.1)(0.0861) = 107.3$

$x_n = 0.314$, $y_n = 0.331$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5.7 Kromatisite Diyagramı

Rengin sayısal ifade olan tristimulus değerleri, rengi sayısal olarak ifade etmelerinin dışında bize görünen renk hakkında kolay anlaşılabilir bir bilgi vermezler. Her bir dalgaboyunda 2° veya 10° Standart Gözlemci'lere ait tristimulus değerlerinin oranlarından çizilecek bir diyagram "kromatisite diyagramı" olarak adlandırılır. Hesaplamada kullanılan Standart Gözlemci belirtilmelidir (2° veya 10° olarak). Bu diyagramda gözlemcinin algılayabildiği spektrum renklerinin tümü yer almaktadır.

$$x = \frac{\bar{x}_\lambda}{\bar{x}_\lambda + \bar{y}_\lambda + \bar{z}_\lambda}$$

$$y = \frac{\bar{y}_\lambda}{\bar{x}_\lambda + \bar{y}_\lambda + \bar{z}_\lambda}$$

2° ve 10° Standart Gözlemci'ye ait kromatisite koordinatları Çizelge-5.7 ve Çizelge-5.8'de, bu değerlerin kullanımı ile çizilen kromatisite diyagramları da sırasıyla Şekil-5.7 ve Şekil-5.8'de verilmiştir.

Bir rengi iki boyutunu ifade etmek için, öncelikle "kromatisite koordinatlarının" (x, y ve z) hesaplanması ve daha sonra kromatisi koordinatlarının (x,y) kullanımı ile rengin diyagramda ifade edilmesi gerekmektedir.

$$x = X/(X+Y+Z),\ y = Y/(X+Y+Z),\ z = Z/(X+Y+Z)$$

Tüm renkler için $x + y + z = 1$'dir.

Örnek: Çizelge-5.5'de tristimulus değerlerini hesapladığımız rengin için kromatisite koordinatlarını hesaplayalım:

$X = 66.82$, $Y = 73.52$ ve $Z = 21.47$'dir. Bu değerlerden kromatisite koordinatları

$$x = \frac{66.82}{66.82 + 73.52 + 21.47} = 0.413 \qquad y = \frac{73.52}{66.82 + 73.52 + 21.47} = 0.454$$

olarak bulunur. Tristimulus değerleri 10° gözlemci değerleri ve D_{65} standart ışık kaynağı kullanılarak hesaplandığından, ışık kaynağının kromatisite koordiantları x_n ve y_n'i del yukarıdaki şekilde hesaplarız. $X_n = 94.8$, $Y_n = 100.0$ ve $Z_n = 107.3$'dir. Işık kaynağının kromatisite koordinatları:

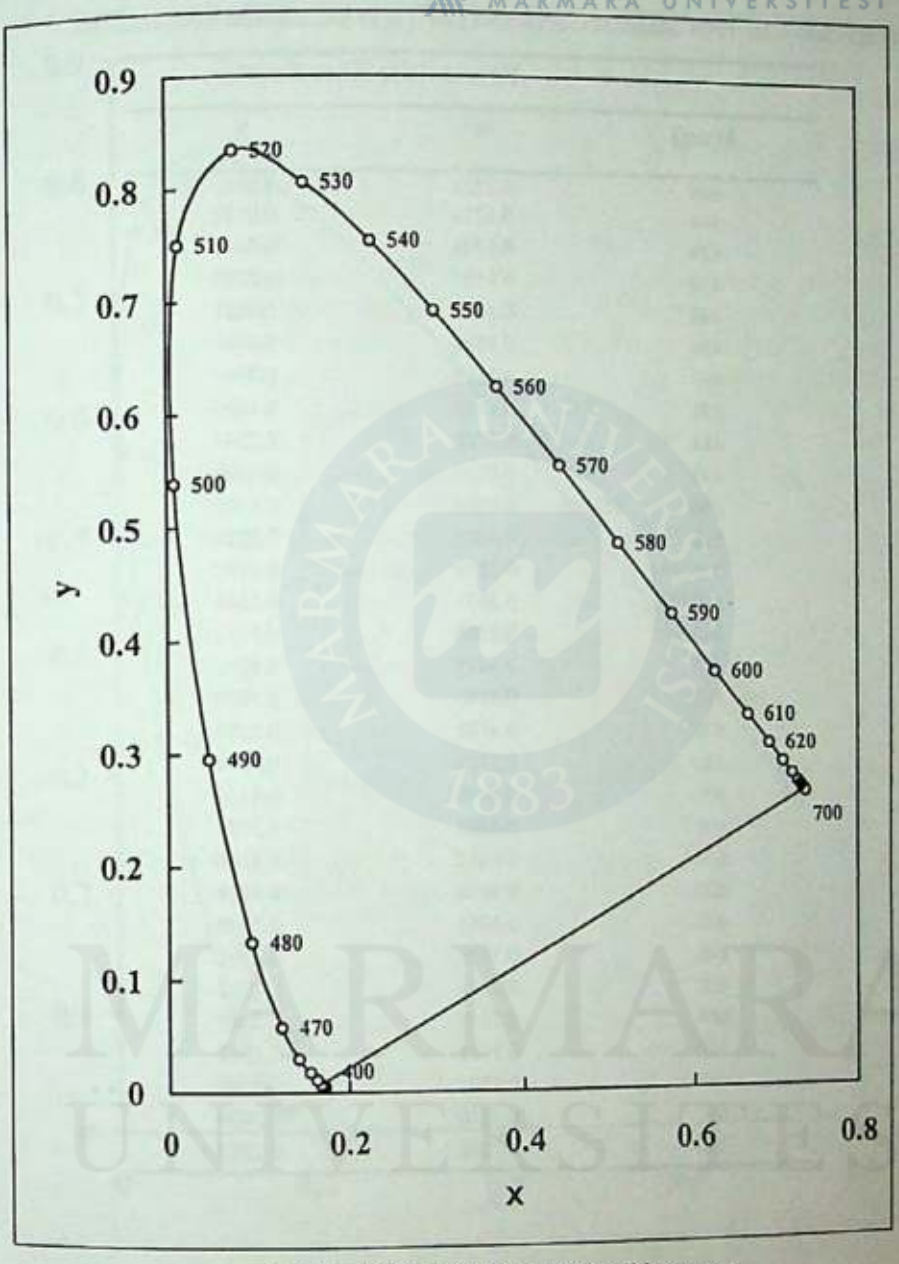
$$x_n = \frac{94.8}{94.8 + 100.0 + 107.3} = 0.314 \qquad y_n = \frac{100.0}{94.8 + 100.0 + 107.3} = 0.331$$

olarak bulunur. Şeil-5.9'da, renge ve ışık kaynağına ait kromatisite koordiantlarını "F" ve "S" noktaları temsil etmektedir. Bu iki noktayı birleştiren doğru uzatıldığında, doğrunun spektrum eğrisini kestiği nokta (G noktası) "dominant" (baskın) dalgaboyu olarak adlandırılır ve λ_d ile gösterilir. Bu doğru üzerindeki tüm renkler aynı dominant daşgaboyuna sahiptir. Bu spesifik renk için $\lambda_d = 568$ nm bulunmuştur. Bu dalgaboyuna sahip bir renk "sarı" renge karşılık gelmektedir. Aynı zamanda, SF uzunluğunun SG uzunluğuna oranı "eksitasyon saflığı" olarak tanımlanır.

Çizelge-5.7: CIE 1931 Standart Gözelemci (2°) için kromatisite koordinatları.

	Kromatisite Koordinatları	
λ(nm)	x	y
400	0.1731	0.0048
410	0.1726	0.0048
420	0.1714	0.0051
430	0.1689	0.0069
440	0.1644	0.0109
450	0.1566	0.0177
460	0.1440	0.0297
470	0.1241	0.0578
480	0.0913	0.1327
490	0.0454	0.2950
500	0.0082	0.5384
510	0.0139	0.7502
520	0.0743	0.8338
530	0.1547	0.8058
540	0.2296	0.7543
550	0.3016	0.6924
560	0.3731	0.6245
570	0.4441	0.5547
580	0.5125	0.4866
590	0.5752	0.4242
600	0.6270	0.3725
610	0.6658	0.3340
620	0.6915	0.3084
630	0.7080	0.2920
640	0.7191	0.2809
650	0.7260	0.2740
660	0.7300	0.2700
670	0.7320	0.2680
680	0.7335	0.2665
690	0.7346	0.2654
700	0.7355	0.2645

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

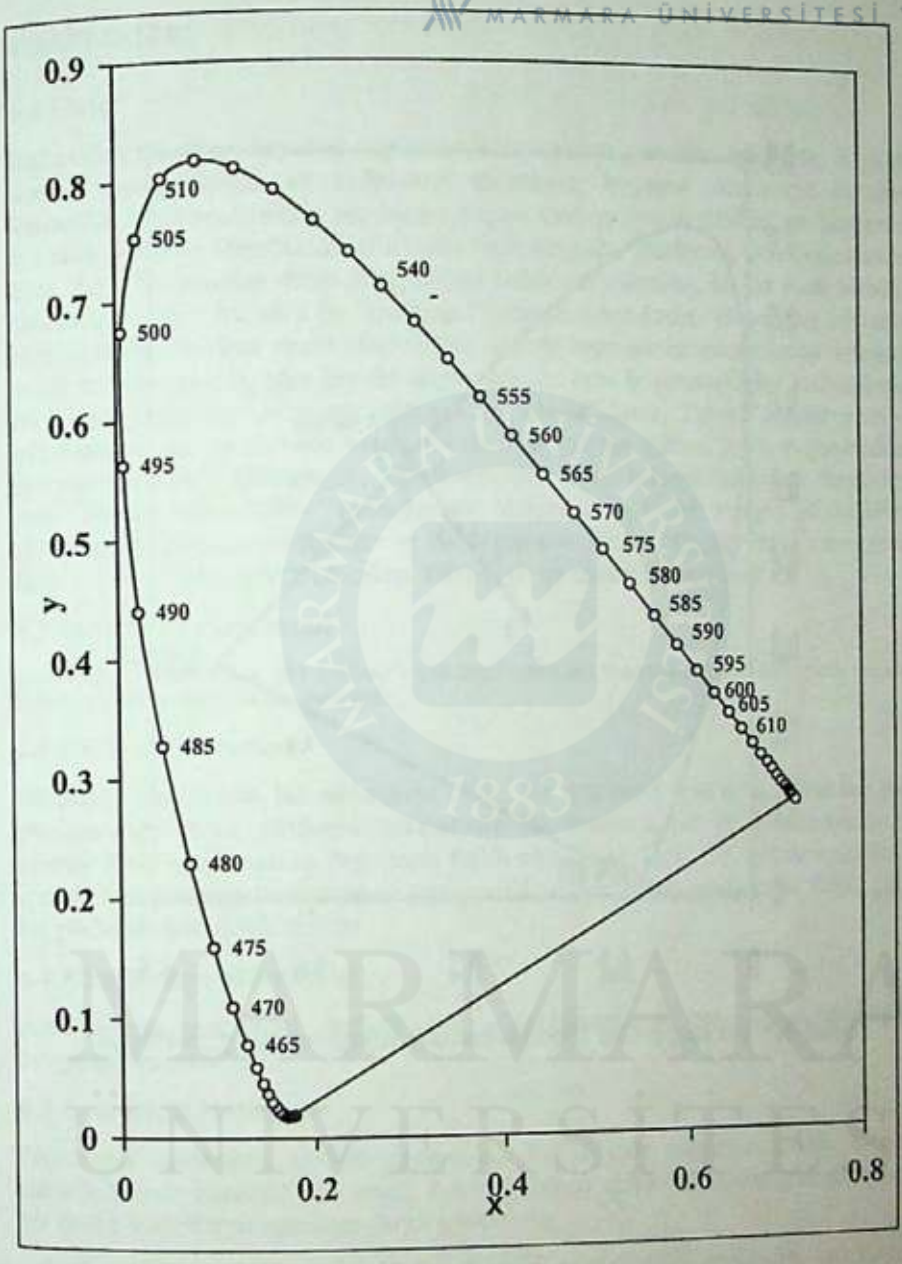


Şekil-5.7 CIE 1931 Kromatisite Diyagramı.

Çizelge-5.8: CIE 1964 Standart Gözelemci (10°) için kromatisite koordinatları.

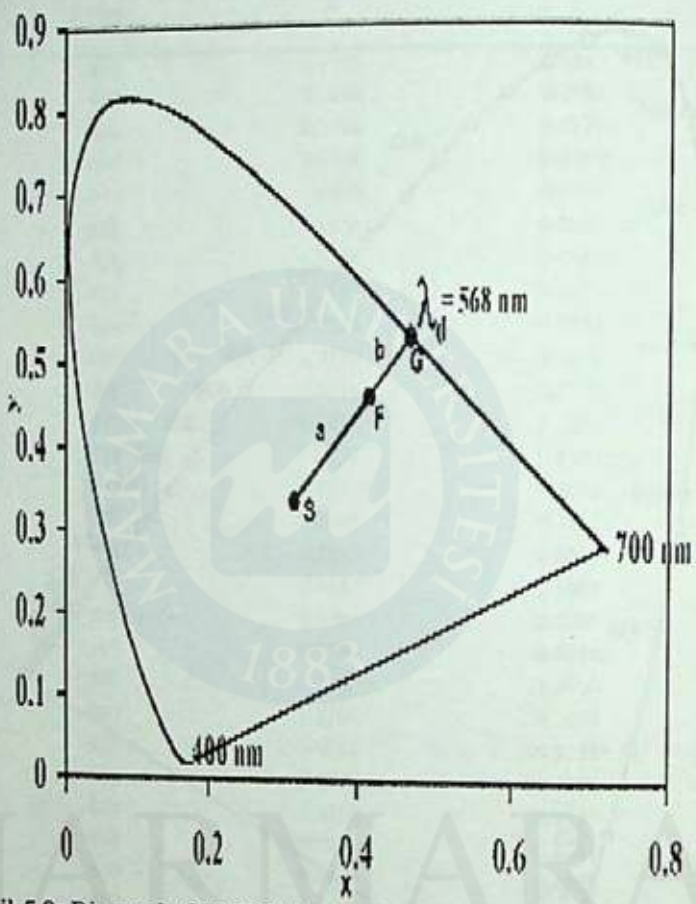
	Kromatisite Koordinatları	
λ(nm)	x	y
400	0.1783	0.0187
410	0.1754	0.0182
420	0.1706	0.0179
430	0.1650	0.0203
440	0.1590	0.0257
450	0.1510	0.0365
460	0.1389	0.0589
470	0.1152	0.1090
480	0.0728	0.2293
490	0.0210	0.4400
500	0.0056	0.6746
510	0.0496	0.8023
520	0.1252	0.8103
530	0.2071	0.7662
540	0.2786	0.7113
550	0.3473	0.6501
560	0.4142	0.5858
570	0.4791	0.5209
580	0.5386	0.4614
590	0.5900	0.4100
600	0.6306	0.3694
610	0.6612	0.3388
620	0.6826	0.3174
630	0.6955	0.3045
640	0.7059	0.2941
650	0.7138	0.2862
660	0.7168	0.2832
670	0.7188	0.2812
680	0.7201	0.2799
690	0.7210	0.2790
700	0.7218	0.2782

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-5.8 CIE 1964 Kromatisite Diyagramı.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-5.9: Bir rengin CIE 1964 kromatisite diyagramında gösterilmesi.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

6. METAMERİ

6.1 Giriş

Kullanılan tekstil materyaline özgün özellikler göz önüne alınmadığında, boyanmış tekstil materyallerine ait reflektans ölçümleri, boyama işleminde beraberce kullanılan boyarmaddelerin her birine özgün absorpsiyon özelliklerine bağımlıdır. İki renk belli bir koşullar dizisi altında (ışık kaynağı, gözlemci, gözlem alanı vb.) aynı, fakat bu koşullar dizisi değiştiğinde farklı görünüyorsa, bu iki renk birbirinin "metameri çifti", bu olay da "metameri" olarak adlandırılır. Boyanmış bir tekstil numunesinin renginin spektrofotometrik olarak reçetesinin çıkartılması işleminde (renk eşleme işlemi), eğer her iki boyamada da aynı boyarmaddeler kullanılmışsa, bu işleme "metameri olmayan renk eşleme işlemi" denir. Tekstil endüstrisinde bu uygulamaya çok az rastlanır ve genellikle renk eşleme işlemi farklı boyarmaddeler ile yapılmaktadır. Dolayısıyla, gerçekleştirilen renk eşleme işlemine "metamerik renk eşleme işlemi"dir. Metamerinin derecesi, her iki renge ait reflektans eğrilerindeki değişim ile ilgilidir ve bu değişim ne kadar büyük olursa metamerinin derecesi de o kadar büyük olacaktır. Dört çeşit metameri mevcuttur:

6.2 Aydınlatıcı Metamerisi

En önemli metameri tipidir. Bir metamerik çift için tristimulus değerleri iki veya daha fazla illüminant kullanılarak hesaplanmışsa meydana gelir.

6.3 Gözlemci Metamerisi

Gözlemci metamerisi, bir metamerik çiftin, bir gözlemci için aynı, fakat bir başka gözlemci için farklı gözükmesi şeklindedir. Bu durumda, her iki gözlemcinin renk-eşleme fonksiyonlarına ait değerlerin farklı olduğu söylenebilir. Metamerik bir çift için tristimulus değerleri standart gözlemci için hesaplandığında aynı fakat gerçek bir gözlemci için farklı olabilir.

6.4 Alan Boyutu Metamerisi

Alan boyutu metamerisi, gözlem alanına ait boyutun 2°'den 10°'ye değiştiğinde ortaya çıkmaktadır.

6.5 Geometrik Metameri

Geometrik metameri, gözlem geometrisi değiştiğinde gözlenmektedir. Örneğin, metalik boyalı materyallerin rengi, bir aydınlatma açısından eşmiş gibi görünse de, bir başka aydınlatma açısından farklı görülebilir.

Metamerinin sayısal olarak ifade edilmesi zordur. CIE metameri indeksi, test illüminantları altında numunelerin ΔE değerlerinin farkı olarak ifade edilmektedir.

7. RENK SINIFLAMA SİSTEMLERİ VE RENK UZAYLARI

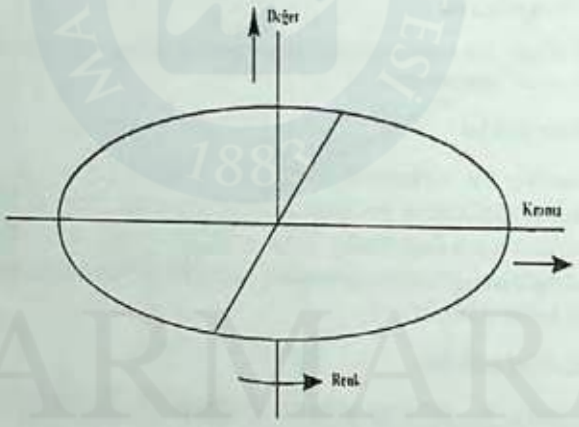
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

7.1 Renk Sınıflama Sistemleri

Renk sınıflama sistemleri, rengin tanımlanmasında ve renk ile ilgili her türlü iletişimin kurulmasında bize yardımcı olmaktadırlar. Renk sınıflandırma sistemleri, renk seçimi ve kontrol amaçlı olmak üzere yaygın olarak kullanılırlar. Bu sistemler, renkli plakalardan veya renkli kartelalardan oluştuklarından anlaşılmaları ve kullanımları kolaydır. Numunelerin yan yana mukayesesi herhangi bir cihaza gereksinim duyulmadan gerçekleştirilebilir. Renk sınıflandırma sistemlerinin dezavantajlarından birisi, çok sayıda sistemin kullanımda olması ve bir sistemden diğerine geçişin zor olmasıdır.

7.1.1 Munsell Renk Düzlemi

Bu sistemde herhangi bir rengin pozisyonu üç silindirik koordinat ile tanımlanmaktadır. Bunlar, "renk", "değer" ve "kroma" olarak adlandırılırlar. Beş temel renk esas alınmıştır: Kırmızı, sarı, yeşil, mavi ve mor. Bu renkler sırasıyla, 5R, 5Y, 5G, ve 5P olarak işaretlenmiştir.



Şekil-7.1: Munsell sistemi.

7.1.2 CIELab Sistemi

1976 yılında CIE, görsel olarak uniform kabul edilen iki renk sisteminin kullanımını tavsiye etmiştir. Bu sistemlerden CIELab sistemi, tekstil endüstrisinde yaygın kullanım alanı bulmuştur. CIELab sistemi, rengin daha kolayıkla anlaşılabilir bir tanımını yapmak üzere X, Y ve Z tristimulus değerlerinden hesaplanabilen L^*, a^*, ve b^* şeklindeki üç koordinatı kullanmaktadır. Bu parametrelerde " * " işareti, daha önce geliştirilmiş farklı sistemlerdeki benzer işaretlerden bu notasyonları ayırt edebilmek için kullanılmaktadır.

İki numune, eğer aynı tristimulus değerine sahipse, belirli bir ışık kaynağı altında ve ölçüm geometrisi ile gözlemlendiğinde, standart gözlemciye birbirlerine benzer

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

olarak gözükeceklerdir. Bunun karşıtı olarak, eğer tristimulus değerlerinden herhangi biri farklı ise, numuneler benzer olarak algılanmayacak ve tristimulus farklılıklarının tümü, numuneler arasında gözlemlenen renk farklılığının bir ölçüsü olacaktır. Farklılık, Euclid renk düzlemindeki koordinatlar olarak XYZ'nin alınması yoluyla kolayca hesaplanabilmektedir. Böylece, renk farklılığı, bu düzlemde standart numune ve ölçüm yapılan (standart numune ile karşılaştırılan) numuneye ait değerler arasındaki mesafedir ve Pythagoras teoreminin üç boyuta uygulanması ile hesaplanabilmektedir:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2}$$

Burada Δ , *farklılığı* göstermektedir ve E harfi, Almanca *hissetme* anlamına gelen *Empfindung* kelimesinden gelmektedir.

Renk düzleminin farklı bölgelerinin karşılaştırılmasında ve renk farklılıklarının ölçülmesinde, XYZ düzleminin üniform bir yapıda sahip olmamasından dolayı yukarıdaki formülün kullanımı, farklı renklerin hassas olarak kuantifiye edilmesinde (ölçülmesinde) kullanılabilmesine rağmen, bazı renk farklılıklarının belirlenmesinde yeterli olamamaktadır.

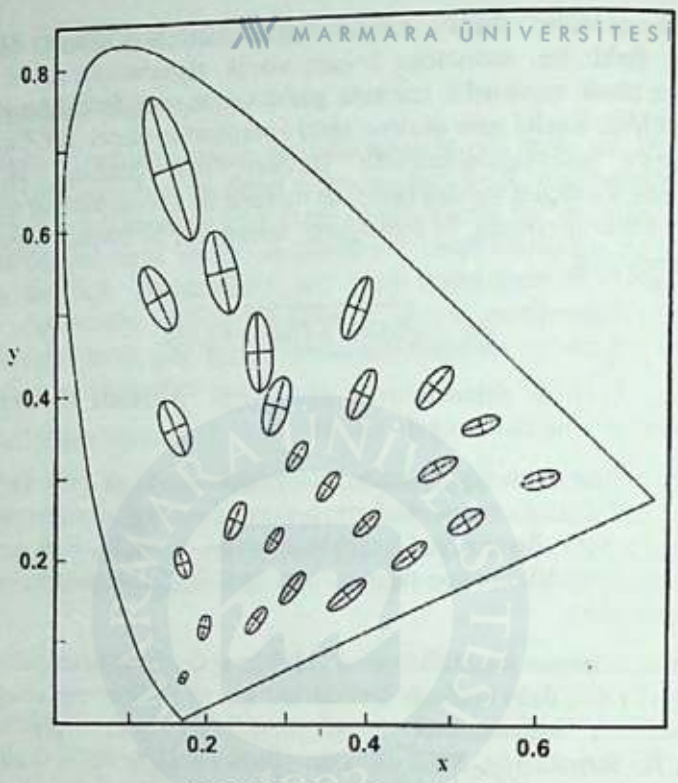
"Renk farklılıklarının kuantifikasyonu" problemi üzerinde uzun yıllar çalışılmış ve XYZ değerlerinin, daha üniform özellikteki bir renk düzleminde tanımlanan L, a ve b değerlerine matematiksel transformasyonunu içeren çeşitli formüller türetilmiştir. Bu formüllerde, XYZ değerleri görsel olarak üniform özellik gösteren bir sisteme dönüştürülmüş olup, Şekil-7.2'deki elipsler (MacAdam elipsleri olarak adlandırılırlar), aynı boyutlardaki dairelere dönüşmektedir. Böyle bir sistemde iki renk arasındaki geometrik mesafe, bunların arasındaki renk farklılığının genliğinin bir ölçüsü olmaktadır. Bu şekildeki görsel bir üniform sistemin oluşturulması, oldukça fazla sayıda görsel deneyin yapılmasını gerekli kılmaktadır ve oldukça zaman gerektiren bir işlemdir.

MacAdam elipslerinin her biri aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

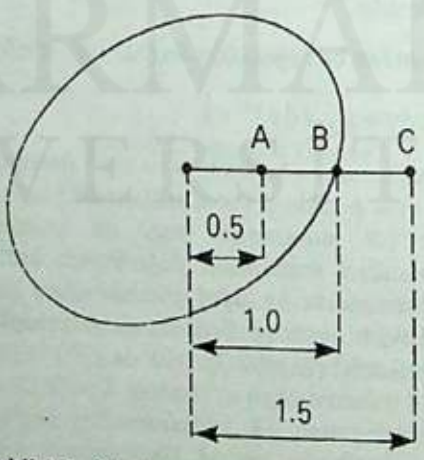
$$g_{11}(dx)^2 + 2g_{12}dxdy + g_{22}(dy)^2 = 1$$

Burada, dx, elips merkezinin x-koordinatı ve elips üzerindeki herhangi bir nokta arasındaki mesafe; dy, aynı şekilde y-koordinatlarındaki fark; g_{11}, g_{12} ve g_{22}, metrik katsayılardır. Standart bir numunenin rengi ile karşılaştırılan herhangi bir numunenin konumu, standart numunenin değerlerinin kullanımı ile çizilen xy-diagramı üzerinde belirlenmekte ve aynı yöndeki elips yarıçapına göre elipsin merkezinden olan uzaklık, birleşik *renk* ve *kroma (kromatiklik)* farkını MacAdam birimleri cinsinden vermektedir (Şekil-7.3).

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

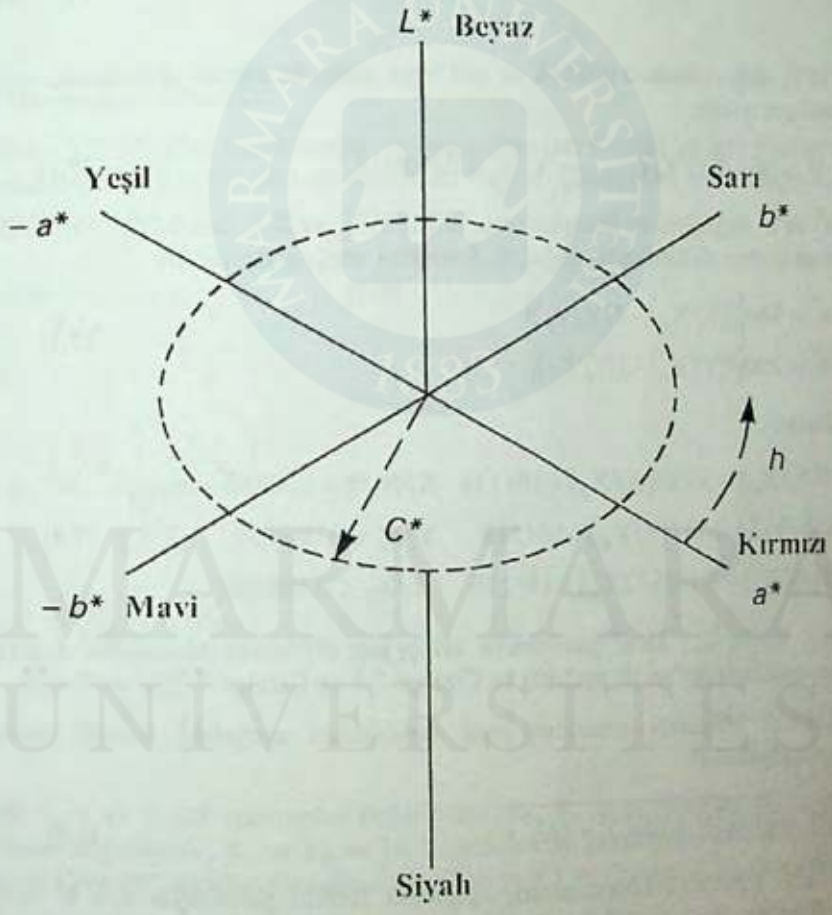


Şekil-7.2: MacAdam elipsleri.



Şekil-7.3: Standart ve numune arasındaki fark.

Şekil-7.4'de, birbirlerine dik açı yapan ve nötral noktada kesişen (parlaklığa bağlı olarak gri veya beyaz) a^* ve b^* eksenleri görülmektedir. Üçüncü eksen L^*, parlaklığın (açıklık/koyuluğun) bir ölçüsüdür ve a^* ve b^* eksenleri tarafından oluşturulan düzleme dik olup bu düzlemi nötral noktada kesmektedir. Aynı rengin farklı tonları, a^* ve b^* eksenleri tarafından oluşturulan düzlem içerisinde nötral noktadan dışarıya doğru uzanan bir hat üzerinde yer almaktadır. Burada, kırmızıdan sarıya doğru artış gösteren dönme açısı "h" (derece cinsinden), rengin bir ölçüsüdür. Örneğin, $h = 0°$ kırmızı bir renk tonuna, $h = 90°$ sarı bir renk tonuna, $h = 270°$ mavi bir renk tonuna tekabül etmektedir. Nötral noktadan uzaktaki bir nokta, "kroma"yı (C^*) ifade eder ve bu da belirli parlaklıktaki (L^* değerindeki) bir rengin canlılığının bir ölçüsüdür.



Şekil-7.4: CIELab renk uzayı.

Bir renk, ya L^*, a^* ve b^* koordinatları ile ya da L^*, C^* ve h değerleri yardımıyla belirlenebilmektedir. Genel olarak, koloristik açıdan düşünüldüğünde rengin a^* ve b^* koordinatları yoluyla tanımlanmasından çok renk açısı h ve kroma C^*'nin kullanımı yoluyla tanımlanması daha uygundur. Her iki durumda da L^*, rengin parlaklığının

bir ölçüsünü ifade etmektedir. L^*'nin değerleri, siyah için 0 değeri ile beyaz için 100 değeri arasında değişmektedir. Çok parlak renkler için a^* ve b^*'nin en yüksek değerleri, yaklaşık +80 ve -80 arasındadır. Nötral nokta ($a^* = b^* = 0$) etrafında çizilen bir çember, sabit kromaya sahip bir renk çemberini tanımlamaktadır ve kırmızıdan başlamak üzere h açısı (derece cinsinden) rengin bir ölçüsüdür.

CIELab denklemleri aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 && Y/Y_n > 0.008856 \\ a^* &= 500\left[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}\right] && X/X_n > 0.008856 \\ b^* &= 200\left[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}\right] && Z/Z_n > 0.008856 \end{aligned} \qquad [7.1]$$

Y/Y_n değerlerinin 0.008856'ya eşit veya daha az olması durumunda aşağıdaki formül geçerlidir:

$$L^* = 903.3(Y/Y_n) \qquad Y/Y_n \le 0.008856 \qquad [7.2]$$

a^* ve b^* değerlerinin hesaplanması X/X_n, Y/Y_n ve Z/Z_n'nin 0.008856'ya eşit veya daha az olması durumunda aşağıdaki formüller yardımıyla yapılır:

$$\begin{aligned} a^* &= 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\ b^* &= 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \end{aligned} \qquad [7.3]$$

Burada,

$$\begin{aligned} f(X/X_n) &= 7.787(X/X_n) + 16/116 && X/X_n \le 0.008856 \\ f(Y/Y_n) &= 7.787(Y/Y_n) + 16/116 && Y/Y_n \le 0.008856 \\ f(Z/Z_n) &= 7.787(Z/Z_n) + 16/116 && Z/Z_n \le 0.008856 \end{aligned} \qquad [7.4]$$

X_n, Y_n ve Z_n, ideal yansıtmaya sahip bir diffüzerin tristimulus değerleridir (illüminantın değerleri ile aynıdır) ve Çizelge-7.1 ve Çizelge-7.2'de verilmiştir.

CIELab birimleri cinsinden renk farklılıkları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \qquad [7.5]$$

$L^*a^*b^*$ Cartesian koordinatları, aşağıdaki formül yardımıyla $L^*C^*h^*$ silindirik koordinatlara dönüştürülebilmektedir:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \qquad [7.6]$$

$$h = \arctan b^*/a^* \qquad [7.7]$$

Renk farklılıklarının ΔL^*, Δa^* ve Δb^* şeklinde üç komponente ayrılmasına rağmen, öncelikle bu komponentlerden birincisi önemlidir ve

L^*_{numune}-$L^*_{standart}$ işleminin değerinin pozitif olması numunenin standartdan daha parlak olduğunu, negatif olması ise daha koyu olduğunu göstermektedir.

ΔC^*, (C^*_{numune}-$C^*_{standart}$), değeri hesaplandığında, ΔC^*'nin pozitif olması, numunenin daha yüksek bir kromaya (doygunluğa) sahip olduğunun, negatif olması ise numunenin daha düşük bir kromaya (doygunluğa) sahip olduğunun göstergesidir.

Açısal fark Δh, CIELab birimlerine sahip değildir ve bu yüzden ΔH komponenti ile ifade edilmesi uygundur:

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \qquad [7.8]$$

7.1.3 Hunter Lab Sistemi

CIE 2° ve 10° Standart Gözlemciler ve farklı Standart Kaynaklar için Hunter Lab renk skalası ve CIE XYZ skalası arasındaki bağıntı Çizelge-7.1 ve Çizelge-7.2'de verilmiştir:

$$L_H = 100\sqrt{\frac{Y}{Y_n}} \qquad [7.9]$$

$$a_H = K_a \cdot \frac{\left(X/X_n\right) - \left(Y/Y_n\right)}{\sqrt{Y/Y_n}} \qquad [7.10]$$

$$b_H = K_b \cdot \frac{\left(Y/Y_n\right) - \left(Z/Z_n\right)}{\sqrt{Y/Y_n}} \qquad [7.11]$$

Burada X, Y ve Z CIE tristimulus değerleridir. X_n, Y_n ve Z_n, Standart Kaynağa ait tristimulus değerleridir, K_a ve K_b ise bu kaynaklara ait kromatisite katsayılarıdır ve değerleri 2° ve 10° Standart Gözelmci için Çizelge-7.1 ve Çizelge-7.2'de verilmiştir.

Çizelge-7.1: CIE 1931 2° Standart Gözlemci için Standart Kaynakların tristimulus değerleri.

Standart Kaynak	X_n	Y_n	Z_n	K_a	K_b
A	109.9	100.0	35.6	185.20	38.40
C	98.1	100.0	118.2	175.00	70.00
D_{65}	94.0	100.0	108.9	172.30	67.20
F2	98.09	100.0	67.53	175.00	52.90
TL84	101.40	100.0	65.90	178.00	52.30
UL3000	107.99	100.0	33.91	183.70	37.50
D_{50}	96.38	100.0	82.45	173.51	58.48
D_{60}	95.23	100.0	100.86	172.47	64.72
D_{75}	94.96	100.0	122.53	172.22	71.30

Çizelge-7.2: CIE 1964 10° Standart Gözlemci için Standart Kaynakların tristimulus değerleri.

Standart Kaynak	X_n	Y_n	Z_n	K_a	K_b
A	111.1	100.0	35.2	186.30	38.20
C	97.30	100.0	116.1	174.30	69.40
D_{65}	94.83	100.0	107.3	172.10	66.70
F2	102.13	100.0	69.37	178.60	53.60
TL84	103.82	100.0	66.90	180.10	52.70
UL3000	111.12	100.0	35.21	186.30	38.20
D_{50}	96.72	100.0	81.45	173.82	58.13
D_{60}	95.21	100.0	99.60	172.45	64.28
D_{75}	94.45	100.0	120.70	171.76	70.76

8. SPEKTROFOTOMETRİK YÖNTEMLERLE KALİTE KONTROLU

8.1 Giriş

Spektrofotometrik yöntemler, tekstil materyallerinin renk farklılıklarının, beyazlık derecelerinin, sarılık derecelerinin tesbitinde, boyanmış kumaşların yıkama, sürtme ve ışık haslığına ait sonuçların değerlendirilmesinde, boyarmaddelerin üretim partileri arasındaki farklılığın gözlenmesinde kullanılmaktadır.

8.2 Renk Farklılığının Ölçümü

8.2.1 CIELab Renk Farklılığı Formülü

CIELab sistemine göre toplam renk farklılığı aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \qquad [8.1]$$

Burada ΔL^*, Δa^* ve Δb^*, standart ve numuneye ait CIELab koordinatlarının farkıdır.

8.2.2 CMC Renk Farklılığı Formülü

Boyama ve Renk Bilimcileri Derneği'nin (SDC) "Renk Ölçüm Komitesi" (CMC), 1984 yılında CIELab sistem parametrelerine dayanan aşağıdaki renk farklılığı formülünü önermiştir:

$$\Delta E_{CMC(l:c)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{lS_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{cS_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{S_H}\right)^2} \qquad [8.2]$$

Burada, l ve c; açıklık/koyuluğa ve kroma'ya ait toleranslardır. Sayısal değerleri bilindiğinde formül CMC(2:1) şeklinde gösterilebilir.

Eğer $L^* \geq 16$ ise $S_L = \dfrac{0.040975L^*}{1 + 0.01765L^*}$

$L^* < 16$ ise $S_L = 0.511$

$$S_C = 0.638 + \frac{0.0638C^*}{1 + 0.0131C^*}$$

$$S_H = S_C(TF + 1 - F)$$

Burada, $F = \sqrt{\dfrac{(C^*)^4}{(C^*)^4 + 1900}}$

$$T = 0.36 + |0.4\cos(h + 35)|$$

Eğer h, 164° ve 345° arasında ise, $T = 0.56 + |0.2\cos(h + 168)|$ dir. Burada, L^*, C^* ve h; standarda ait CIELab değerleridir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

8.2.3 CIE 1994 Renk Farklılığı Formülü

CIE 1994 formülü aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\Delta E^*_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{k_H S_H}\right)^2} \qquad [8.3]$$

Burada ΔL^*, ΔC^*_{ab} ve ΔH^*_{ab}, numuneye ve standar arasındaki CIELab parlaklık, kroma ve renk farklarıdır. k_L, k_C ve k_H, CMC(l:c) formülündeki l, c ve h'ye benzerlik gösterirler ve "parametrik faktörler" olarak adlandırılırlar. S_L, S_C ve S_H, ağırlık fonksiyonları olarak ifade edilirler ve elipsoid yarı-eksenlerinin uzunluklarıdır:

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + (0.045)C^*_{ab,X}$$

$$S_H = 1 + (0.015)C^*_{ab,X}$$

Optimize formülün asimetrik olmasından, başka bir ifadeyle; A ve B gibi iki numunenin renk farklılığının hesaplanmasında, A'nın standart alınması ile elde edilen renk farklılığının B standart alındığında farklı olmasından dolayı $C^*_{ab,X}$, bu çift için CIELab kromalarının geometrik ortalaması olarak tanımlanmaktadır:

$$C^*_{ab,X} = \sqrt{(C^*_{ab,A} \cdot C^*_{ab,B})}$$

Problem: Kırmızı renkteki iki kumaşın D_{65} Standart Kaynağı altında 10° Gözlemci değerleri ile hesaplanan CIELab renk koordinatları aşağıdaki şekildedir:

D65/10°	L^*	a^*	b^*	C^*	h
Renk 1 (Standart)	44.98	60.65	-7.48	61.11	352.97
Renk 2 (Numune)	39.97	59.52	-3.96	59.65	356.20

Bu iki renk arasındaki renk farklılığını:

a) CIELab renk farklılığı formülüne göre,
b) CMC(2:1) formülüne göre hesaplayınız.

Çözüm:

a)

$$\Delta L^* = L^*_N - L^*_S = 39.97 - 44.98 = -5.01$$

$$\Delta a^* = a^*_N - a^*_S = 59.52 - 60.65 = -1.13$$

$$\Delta b^* = b^*_N - b^*_S = -3.96 + 7.48 = +3.52$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} = \sqrt{(-5.01)^2 + (-1.13)^2 + (3.52)^2} = 6.226$$

bulunur.

b)

Eğer $L^* \geq 16$ olduğundan $S_L = \dfrac{(0.040975)(44.98)}{1+(0.01765)(44.98)} = 1.027$

$$S_C = 0.638 + \frac{(0.0638)(61.11)}{1+(0.0131)(61.11)} = 2.165$$

$$F = \sqrt{\frac{(61.11)^4}{(61.11)^4 + 1900}} = 1.0$$

h=352.97 olduğundan, $T = 0.56 + |0.2\cos(352.97 + 168)| = 0.749$

$S_H = S_C(TF + 1 - F) = 2.165[(0.749)(1) + 1 - 1)] = 1.622$

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} = \sqrt{(6.226)^2 - (-5.01)^2 - (-1.46)^2} = 3.396$$

$$\Delta E_{CMC(l:c)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{lS_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{cS_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{S_H}\right)^2}$$

$$\Delta E_{CMC(2:1)} = \sqrt{\left(\frac{-5.01}{2\times 1.027}\right)^2 + \left(\frac{-1.46}{1\times 2.165}\right)^2 + \left(\frac{3.396}{1.622}\right)^2} = 3.284$$

8.3 Beyazlığın Ölçümü

Ağartma işlemine uğratılmış veya yıkama işleminden geçirilmiş kumaşların beyazlık ölçümleri çeşitli şekillerde yapılabilmektedir.

8.3.1 CIE Beyazlık Formülü

CIE Beyazlık İndeksi, W (2°'lik Standart Gözlemci için) veya W_{10} (10°'lik Standart Gözlemci için), aşağıdaki formüller ile ifade edilmektedirler:

$$W = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y) \qquad [8.4]$$

$$W_{10} = Y_{10} + 800(x_{n,10} - x_{10}) + 1700(y_{n,10} - y_{10}) \qquad [8.5]$$

Burada x, x_{10}, y, y_{10}, Y ve Y_{10}, numunenin D_{65} illüminantı altında, 2° veya 10° Standart Gözlemci'ye ait değerlerin kullanımı ile hesaplanan kolorimetrik değerleridir. x_n, $x_{n,10}$, y_n ve $y_{n,10}$, D_{65} illüminantının 2° ve 10° Stadart Gözlemci'lere ait kromatisite koordinatlarıdır. İdeal bir yansıtma özelliğine sahip olan bir diffüzleyicinin beyazlık indeksi 100.0'dür.

Optik ağartıcılar ile muamele edilmiş materyaller, 150.0 gibi yüksek bir beyazlık değeri verebilirler. Bu tür maddelerin beyaz materyallere fazla miktarlarda uygulanması durumunda, bu materyallerin beyazlığı artmaktadır. Parlaklığın artmamasına rağmen, kroma da mavi yönünde bir artış meydana gelmektedir. Bununla beraber, bu mavilik yalnızca materyalin gün ışığı altında aydınlatılması durumunda belirgindir. Optik ağartıcı madde tarafından materyale kazandırılan spesifik renk önemlidir ve bu durumda indekse, bir "Tonlama Faktörü" (veya "Tonlama Değeri"), T_w ve T_{w10} (sırasıyla 2° ve 10° Standart Gözlemciler için), eklenmektedir:

$$T_w = 1000(x_n - x) - 650(y_n - y) \qquad [8.6]$$

$$T_{w_{10}} = 900(x_{n_{10}} - x_{10}) - 650(y_{n_{10}} - y_{10}) \qquad [8.7]$$

Eğer T_w veya $T_{w,10}$ değerleri sıfıra yakınsa, numune, 466 nm'lik dominant dalgaboyuna sahiptir. Tonlama Faktörü'nün daha büyük pozitif değerleri, daha fazla yeşil renkliliğin ve büyük negatif değerler, daha fazla kırmızı renkliliğin göstergesidir.

8.3.2 Berger Beyazlık Formülü

Berger Beyazlık Formülü aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir:

$$W_{Berger} = Y + (3.452)Z - (3.908)X \qquad [8.8]$$

Burada X, Y ve Z, numunenin D_{65} Standart Kaynak altında 10° Standart Gözlemci değerleri ile hesaplanmış tristimulus değerleridir.

8.3.3 Taube Beyazlık Formülü

Taube Beyazlık Formülü aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir:

$$W_{Taube} = (3.727)Z - (3)Y \qquad [8.9]$$

Burada Y ve Z, numunenin D_{65} Standart Kaynak altında 10° Standart Gözlemci değerleri ile hesaplanmış tristimulus değerleridir.

8.3.4 Hunter Beyazlık Formülü

Hunter beyazlık formülü aşağıdaki şekildedir:

$$W_{Hunter} = L_H - (3)b_H \qquad [8.10]$$

Burada L_H ve b_H, Hunter açıklık/koyuluk ve sarılık koordinatlarıdır ve Bölüm-7'de anlatıldığı şekilde hesaplanır.

8.3.5 Stensby Beyazlık Formülü

Stensby Beyazlık Formülü, Hunter formülüne benzer şekildedir:

$$W_{Stensby} = L_H + (3)a_H - (3)b_H \qquad [8.11]$$

Burada L_H, a_H ve b_H , Hunter açıklık/koyuluk, kırmızılık ve sarılık koordinatlarıdır ve Bölüm-7'de anlatıldığı şekilde hesaplanır.

Problem: Optik ağartıcılar ile işlem görmemiş fakat kasarlama işlemine uğratılmış beyaz bir kumaşın D_{65} lambası altında ve 10° Standart Gözlemci değerleri kullanılarak elde edilen tristimulus değerleri aşağıdaki şekildedir:

$X = 81.55$, $Y = 86.21$, $Z = 87.99$

Bu numune için

a) CIE Beyazlık İndeksi'ni ve Tonlama Faktörü'nü,
b) Berger ve Taube'ye göre beyazlık değerlerini,
c) Hunter beyazlık değerini ve
d) Stensby beyazlık değerini hesaplayınız.

Çözüm:

a) CIE $W = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y)$ formülü kullanılır. Öncelikle numunenin tristimulus değerlerinden, aşağıdaki şekilde kromatisite koordinatları hesaplanır:

$x = X/(X+Y+Z)$, $y = Y/(X+Y+Z)$

$x = (81.55)/(81.55+86.21+87.99) = 0.3189$

$y = (86.21)/(81.55+86.21+87.99) = 0.3371$

D_{65} ışık kaynağına ait tristimulus değerleri aşağıdaki şekildedir:

$$X_n=94.8,\ Y_n=100.0,\ Z_n=107.3$$

D_{65} ışık kaynağına ait kromatisite koordinatları:

$x_n = 0.3138$ ve $y_n = 0.3310$'dur.

CIE $W = 86.21 + 800(0.3138 - 0.3189) + 1700(0.3310 - 0.3371) = 71.8$ olarak bulunur. Tonlama Faktörü ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$T_{w_{10}} = 900(x_{n_{10}} - x_{10}) - 650(y_{n_{10}} - y_{10})$$

$T_{w,10} = 900(0.3138 - 0.3189) - 650(0.3310 - 0.3371) = -0.6$ bulunur.

b) Berger ve Taube formüllerine göre beyazlık değerleri;

$W_{Berger} = 86.21 + (3.452)(87.99) - (3.908)(81.55) = 71.3$ ve

$W_{Taube} = (3.727)(87.99) - (3)(86.21) = 69.3$ olarak bulunur.

c) Hunter veyazlık değeri 10° Standart Gözlemci ve D_{65} Standart Kaynağı için aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$L_H = 100\sqrt{\frac{Y}{Y_n}} \qquad \text{ve} \qquad b_H = K_b \cdot \frac{\left(Y/Y_n\right) - \left(Z/Z_n\right)}{\sqrt{Y/Y_n}}$$

formüllerinde 10° Standart Gözlemci ve D_{65} Standart Kaynak için $K_b = 66.7$, Yn ve Zn değerleri sırasıyla 100.0 ve 107.38'dir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Dolayısıyla,

$$L_H = 100\sqrt{\frac{86.21}{100.0}} = 92.8 \qquad \text{ve} \qquad b_H = 66.7.\frac{\left(86.21/100.0\right)-\left(87.99/107.38\right)}{\sqrt{86.21/100.0}} = 3.0$$

$W_{Hunter} = L_H - (3)b_H = 92.8 - (3)(3) = 83.8$ olarak bulunur.

d) Stensby beyazlık derecesi için yukarıda hesaplanan L_H ve b_H'a ek olarak a_H'ıda hesaplamak gereklidir:

$$a_H = K_a.\frac{\left(X/X_n\right)-\left(Y/Y_n\right)}{\sqrt{Y/Y_n}}$$

$$a_H = (172.1)\frac{\left(81.55/94.83\right)-\left(86.21/100.0\right)}{\sqrt{86.21/100.0}} = -0.4$$

$W_{Stensby} = 92.8 + (3)(-0.4) - (3)(3) = 82.6$ olarak bulunur.

8.3.6 Stephansen Beyazlık Formülü

Stephansen'a göre beyazlığın hesaplanmasında, beyaz kumaşın 430 nm ve 670 nm'deki % reflektans değerleri kullanılır ve aşağıdaki formüle göre hesaplama yapılır:

$$W_{Stephansen} = (2)(R_{430}) - R_{670} \qquad [8.12]$$

Problem: Beyaz bir kumaşın spektral ölçümü ile 430 nm ve 670 nm'de ölçülen % reflektans değerleri sırasıyla %80.24 ve %88.11'dir. Bu kumaşın beyazlığını Stephansen formülü yardımıyla değerlendiriniz.

Çözüm:

$W_{Stephansen} = (2)(80.24) - (88.11) = 72.4$ bulunur.

8.4 Sarılık İndeksi

Beyaz materyaller özellikle ışığa maruz bırakıldıklarında ve kirlendiklerinde sararırlar. Sarılığın, kolorimetrik metodlar yardımıyla ölçümü yapılabilir ve ölçüm metodları özellikle tekstil materyalleri dışındaki plastik ve boyanmış metal yüzeylerine uygulanmaktadır. En yaygın olarak kullanılanı, ASTM-D1925'de tanımlanan sarılık indeksi ölçüm metodudur:

$$(YI) = \frac{128X - 106Y}{Y} \qquad [8.13]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Burada, X, Y ve Z, illüminant C altında ölçülmüş, 2°'lik gözlemciye ait değerler ile hesaplanmış tristimulus değerleridir.

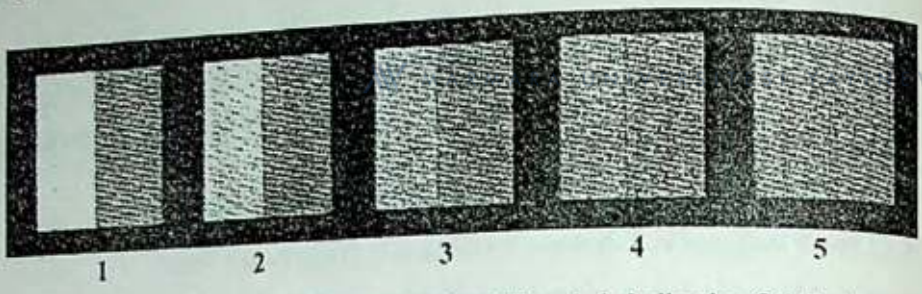
8.5 Renk Haslıklarının Enstrümantal Yöntemle Değerlendirilmesi

8.5.1 Renk Değişimi ve Lekeleme Haslıklarının Değerlendirilmesi

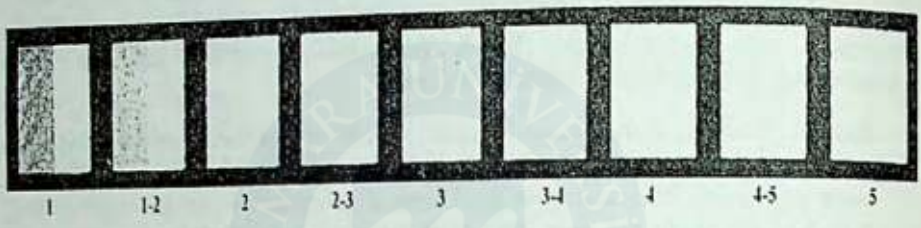
Renk haslıkları (boyanmış yüzeydeki renk değişiminin ışık, sürtme, ısı, su, yıkama, kimyasal maddeler, vb. çeşitli dış etkenlere maruz bırakıldıklarında renk değişimine karşı gösterdikleri direnç), boyanmış tekstil materyallerin en önemli karakteristik özelliklerindendir. Boyanmış tekstil materyallerinde renk değişimini ve aynı materyalin veya bu materyale bitişik durumdaki materyalin yakın çevresini lekelemesini etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- Renkli Maddenin Kimyasal Yapısı: Elyaf içerisindeki renkli maddenin parçalanarak renksiz veya başka renkte bir bileşiğe dönüşmesi; bir boyarmadde veya pigmentin, kimyasal veya fotokimyasal saldırılara karşı gösterdiği direnç, bir elyaf içerisinde iki veya daha fazla sayıda boyarmaddenin mevcudiyeti ve birinin diğerinin bozunmasını katalizlemesi,
- Elyaf içerisinde renkli maddenin durumu, renkli maddenin elyaftan kopması,
- Elyaf üzerinde mevcut boyarmadde miktarı,
- Elyafın fiziksel karakteri, kimyasal yapısı ve
- Boyanmış kumaş içerisindeki yabancı madde mevcudiyeti.

Merkezi İngiltere'de bulunan *Society of Dyers and Colourists* (Boyama ve Renk Bilimcileri Derneği) 1927 yılında Haslık Testleri Komitesi'ni oluşturmuş ve bu komite, 1934 yılında ilk kez ışık, ter ve yıkama haslıklarına ait testleri yayınlamıştır. Bu test metodları, 1942 yılında geliştirilerek önce İngiliz Standartlar Enstitüsü (BSI) tarafından İngiliz standartları ve daha sonraki yıllarda da Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından uluslararası standartlar olarak yayınlanmışlardır. Haslık testi sonuçlarının görsel değerlendirilmesinde "Gri Skala" denilen renk cetvelleri kullanılmaktadır. Bu renk cetvelleri sayesinde işlem sonrası "renk değişimi" ve "lekeleme" özellikleri değerlendirilmektedir ve 1954 yılında yayınlanan ISO R105'in bir kısmını oluşturmaktadır. 1970'li yıllarda Haslık Testleri Komitesi, görsel değerlendirmelerden kaynaklanabilecek hataları engellemek üzere, görsel değerlendirmelere ait metodların "enstrümantal" metodlar ile değiştirilmesi yönünde çalışmalar başlatmıştır. "Gri Skala" değerleri, önce ANLAB(40) birimleri olarak tanımlanmıştır (Çizelge-8.1). 1977 yılında, *yarımşar basamakları* da hazırlanmış olan bu cetvellerin, D_{65} illüminantı kullanılarak 10° gözlemcinin değerleri ve CIE "toplam/0" ölçüm geometrisi ile elde edilen reflektans değerlerinden hesaplanmış CIELab değerleri, ISO 105-J01'de tanımlanmıştır (Çizelge-8.2).



Şekil-8.1: Renk değişiminin değerlendirilmesinde kullanılan Gri Skala.



Şekil-8.2: Lekeleme haslığının değerlendirilmesinde kullanılan Skala.

Çizelge-8.1: ANLAB(40) birimleri cinsinden Gri Skala değerleri.

Derece	Renk Değişimi Skalası (birimler)	Lekeleme Skalası (birimler)
5	0	0
4	1.5	4
3	3	8
2	6	16
1	12	32

Çizelge-8.2: CIELab birimleri cinsinden Gri Skala değerleri.

Derece	Renk Değişimi Skalası (ISO 105-A02)	Lekeleme Skalası (ISO 105-A03)
5	0	0
4-5	0.8	2.2
4	1.7	4.3
3-4	2.5	6.0
3	3.4	8.5
2-3	4.8	12.0
2	6.8	16.9
1-2	9.6	24.0
1	13.6	34.1

Bununla birlikte, haslık testlerine ait sonuçların enstrümantal değerlendirmesine yönelik çalışmalar, haslık testlerinin *görsel* değerlendirmesi ile *enstrümantal* değerlendirmesi arasında bir korelasyon bulmak üzere devam etmiş ve özellikle 11 ölçüm cihazının kullanıldığı, 350 *lekelenmemiş* ve *lekelenmiş* numune çiftinin renk farklılıklarının değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki formül çıkarılmıştır:

$$SSR = 7.05 - 1.43\ln(4.4 + \Delta E^*_{ab}) \qquad [8.14]$$

Burada, SSR, Lekeleme Skalası Değeri'ni ifade etmektedir ve ΔE_{ab}, "lekelenmiş" ve "lekelenmemiş" numunelere ait CIELab renk farklılığıdır. Yukarıda formül modifiye edilmek suretiyle, "ISO 105 - Bölüm 04: Refakat Kumaşının Lekelenme Derecesinin Enstrümantal Değerlendirilmesi Metodu"nda aşağıdaki formüller ile tanımlanmıştır:

$$\text{Eğer } SSR_c \le 4 \text{ ise, } \quad SSR_c = 6.1 - 1.45\ln(\Delta E_{GS}) \qquad [8.15]$$

$$\text{Eğer } SSR_c > 4 \text{ ise, } \quad SSR_c = 5.0 - 0.23\Delta E_{GS} \qquad [8.16]$$

Burada,

$$\Delta E_{GS} = \Delta E^*_{ab} - 0.4\sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2} \qquad [8.17]$$

şeklindedir. Ölçümler, d/0, 0/45° veya 45°/0 ölçüm geometrisine sahip cihazlarda C veya D_{65} illüminantları kullanılarak yapılacaktır, ΔE^*_{ab} ve ΔL^*, C/2° ve D_{65}/10° kullanılarak hesaplanacaktır.

Renk Değişimi'ne ait Gri Skala Değerleri'nin (GSR) hesaplanması ise, "ISO 105 - Bölüm A05: Bir Numunenin Renk Değişiminin Enstrümantal Değerlendirilmesi Metodu"nda tanımlandığı şekilde, ΔE_F değerinin GSR değerine dönüşümü ile yapılmaktadır:

$$\Delta E_F = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_F)^2 + (\Delta H_F)^2} \qquad [8.18]$$

Burada,

$$\Delta C_F = \frac{\Delta C_K}{1 + (20C_M/1000)^2}$$

$$\Delta C_K = \Delta C^*_{ab} - D$$

$$C_M = \frac{C^*_{ab,t} + C^*_{ab,u}}{2}$$

$$D = \frac{\Delta C^*_{ab} C_M \exp(-X)}{100}$$

$$\text{eğer } |h_M - 280| \le 180 \text{ ise } \quad X = \left(\frac{h_M - 280}{30}\right)^2$$

eğer $|h_M - 280| > 180$ ise $X = \left(\frac{360 - |h_M - 280|}{30}\right)^2$

$h_M = \frac{h_{ab,t} + h_{ab,u}}{2} + 180Y$ burada $|h_{ab,t} - h_{ab,u}| \leq 180$ ise $Y = 0$ dır.

fakat $|h_{ab,t} - h_{ab,u}| > 180$ ise, $(h_{ab,t} + h_{ab,u}) < 360$ olduğunda $Y = 1$ ve $(h_{ab,t} + h_{ab,u}) \geq 360$ olduğunda $Y = -1$ dir.

$$\Delta H_F = \frac{\Delta H_K}{1 + (10C_M / 1000)^2}$$

$$\Delta H_K = \Delta H^*_{ab} - D$$

"t" ve "u" indisleri, işlem görmüş ve işlem görmemiş numunelere ait değerleri göstermektedir. ΔE_F değeri, yukarıdaki formülden hesaplandıktan sonra aşağıdaki formülyarımıyla "Gri Skala Derecelerine" (GSR) dönüştürülür:

Eğer $\Delta E_F > 3.4$ ise;

$$GSR = 5.0 - \frac{\ln(\Delta E_F / 0.85)}{\ln 2} \qquad [8.19]$$

Eğer $\Delta E_F \leq 3.4$ ise;

$$GSR = 5.0 - \frac{\Delta E_F}{1.7} \qquad [8.20]$$

CIELab parametreleri, $D_{65}/10°$ altında hesaplanmalıdır. $D_{65}/2°$, $C/10°$ ve $C/2°$ şeklinde elde edilen ölçüm sonuçları da kabul edilmektedir.

8.5.2 Işık Haslığının Değerlendirilmesi

Işık haslığının enstrümantal metodlar ile belirlenmesine yönelik ilk standart 1982 yılında yayınlanmıştır, bununla beraber bu konudaki çalışmalar sürdürülmektedir.

Işık haslığının enstrümantal değerlendirilmesinde, standart numune ile test numunesi arasındaki renk farklılığı gözlenmekte (ΔE_F) ve bu değerlerin [8.19] ve [8.20] denklemlerinde kullanımı ile elde edilen GSR değerleri (Gri Skala Değerleri), ışığa maruz bırakılma süresine karşı çizilen bir grafik ile ifade edilmektedir.

8.6 Renk Kuvvetinin Değerlendirilmesi

Boyarmadde üreticileri, aynı ticari isim altında ürettikleri her parti boyanın, identik boyama koşullarında aynı "renk kuvvetinde" bir performans göstermesini isterler ve

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

boyarmadde partilerini müşterilerinin kullanımına sunmadan önce testlerden geçirirler. Bu rutin çalışma, bir boyahane için de kaçınılmaz olup, aynı ticari isim altında boyahaneye giren her yeni parti boyarmaddenin "renk kuvveti" ve "boyama kuvveti" değerlendirilmeli, laboratuvar sonuçlarının uygunluğu durumunda boyarmadde, işletmede kullanılmaya başlanmalıdır. Reletif Renk Kuvveti, boyarmaddeye ait maksimum absorbans değerinde, aşağıdaki formül ile verilmektedir:

$$\% \text{ Renk Kuvveti} = \frac{c_S}{c_N} \times 100 \qquad [8.21]$$

Burada, c_S ve c_N, sırasıyla standart ve numuneye ait konsantrasyonlardır.

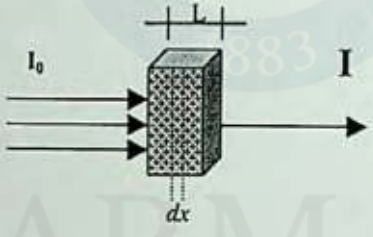
9. ÇÖZELTİLERDE BOYARMADDE MİKTARLARININ TESBİTİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Boyama proseslerinde, boyama çözeltisinden elyaf üzerine alınan boyarmadde miktarının tesbit edilmesi, boyama prosesinin nasıl gerçekleştiği ve belli bir boyama zamanında hangi aşamada olduğunun bilinmesi açısından önem kazanmaktadır. Bu çalışma, araştırma amaçlı olarak da çok sık gerçekleştirilir. Bu çalışma genellikle boyama banyosundan alınan çözeltilerin uygun bir çözücü ile seyreltilmesi ile ve spektrumun görünür bölgesinde bir transmisyon spektrofotometresi (380-780 nm) ile çalışılarak gerçekleştirilir.

9.1 Beer-Lambert Kanunu

Işık absorpsiyonunun sayısal olarak ifade edilmesine yönelik tüm çalışmalar, monokromatik ışığın absorpsiyonuna dayanmaktadır ve en genel adıyla Beer-Lambert kanunları olarak anılmaktadırlar. İçerisinde ışık absorplama özelliğine sahip renkli moleküllerin bulunduğu bir kabın (genellikle ölçüm küveti olarak adlandırılır) içerisinde monokromatik (tek bir dalga boyundaki) ışık hüzmesinin (demetinin) geçtiği durumu göz önüne aldığımızda (Şekil-9.1), *dx* kalınlığındaki diliminin içerisinden geçen monokromatik bir ışık demetini şiddetindeki relatif azalmanın malzeme kesitinde bulunan ve ışık absorplama özelliğine sahip moleküllerin miktarı ile orantılı olduğu bulunmuştur. Bu sözel ifadeyi aşağıdaki şekilde formülize edebiliriz:



Şekil-9.1: İçerisinde renkli moleküller içeren ölçüm küveti.

İçerisinde ışığı absorplama özelliğine sahip renkli moleküllerin bulunduğu, ışık geçişine izin veren ve L (cm) kalınlıktaki ölçüm küvetinin, *dx* kalınlığındaki çok ince bir diliminde meydana gelen absorplamayı diferansiyel formda aşağıdaki formül yardımıyla ifade edebiliriz:

$$-\frac{dI}{dx} = kcI \qquad [9.1]$$

Burada:
k: Orantı sabiti,
c: Konsantrasyon (mol/m^3)
dx: Işık geçiş (dilim) kalınlığı (m)'dır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Küvetin içerisinde birden fazla türde farklı renkli moleküllerin bulunması durumunda yukarıdaki denklem aşağıdaki şekli alacaktır:

$$-\frac{dI}{I} = (k_1c_1 + k_2c_2 + ...)dx \qquad [9.2]$$

Burada k_1, k_2, ..., ışık absorplama özelliğine sahip farklı maddelerin karakteristik sabitleridir.

Her madde için k değeri, dalgaboyuna bağımlıdır. Eğer bir madde belirli bir dalgaboyunda geçirgen ise (absorplama yapmıyorsa), tüm ışığı geçirir ve k=0 olur. Eğer belirli bir dalga boyunda bir tanesi hariç diğer tüm maddeler geçirgen ise yukarıdaki denklem geçerlidir.

Işık absorplama özelliğine sahip maddelerin bulunduğu kesitten geçen ışık hüzmesinin şiddetindeki azalmayı, ışık geçiş yolunun 0 ve L kalınlıkları arasında denkleminin integrasyonunu alarak hesaplayabiliriz:

$$-\int_{I_0}^{I}\frac{dI}{I} = kc\int_0^L dx \qquad [9.3]$$

Burada, I_0, küvetin içerisine giren ışık hüzmesinin başlangıçtaki şiddeti, I ise, giren ışık hüzmesinin L uzunluğundaki kesiti geçtikten sonraki çıkan ışığın şiddetidir. Yukarıdaki denklemde aşağıdaki düzenlemeler yapılabilir:

$$\ln\frac{I}{I_0} = -kcL \quad , \quad \frac{I}{I_0} = e^{-kcL} \text{ veya}$$

$$I = I_0e^{-kcL} \qquad [9.4]$$

olacaktır. Eğer "tabii" logaritma yerine "ondalıklı" logaritma kullanarak formülü yeniden düzenlersek "e" değerinin 10 tabanına göre değerini aşağıdaki formüle yazmamız gerekecektir:

$e = 10^{0.4343.....}$ olduğundan,

denklem aşağıdaki şekilde yazabiliriz:

$$I = I_010^{-0.4343kcL} \qquad [9.5]$$

İki sabit sayının çarpımı yeni bir sabit sayı olacağından yeni sabiti, ε (epsilon) ile gösterelim:

$$\varepsilon = 0.4343k \qquad [9.6]$$

ε, ışık absorplama özelliğine sahip maddenin "molar absorpsiyon katsayısı" veya "sönüm katsayısı" olarak adlandırılır ve ışık absorplama özelliğine sahip maddeye ait karakteristik bir sabit olup, dalgaboyuna bağımlıdır. Başka bir ifade ile, dalga boyuna göre değişecektir.

Molar absorplama katsayısının (ε), yukarıdaki denklemde yerine konması ile, iki bilim adamının adını taşıyan "Beer-Lambert Kanunu"na ait ifade aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-\varepsilon cL} \qquad [9.7]$$

Yeni tanımlamalar yapılarak, yukarıdaki denklem farklı şekillerde de ifade edilebilir. Dolayısıyla, ışık absorplama özelliğine sahip maddenin bulunduğu kesitten çıkan ışığın şiddetinin, bu kesite giren ışığın şiddetine oranı "transmitans", T (0 ile 1 arasında, boyutsuz bir değer) veya bu değerin 100 ile çarpımı, "% transmitans, %T, olarak gösterilir:

$$T = \frac{I}{I_0} \qquad [9.7] \qquad \text{veya} \quad \%T = \frac{I}{I_0} x100 \qquad [9.8]$$

Beer-Lambert ifadesindeki üstel ifade; molar absorpsiyon katsayısı (ε), ışık absorplama özelliğine sahip maddelerin konsantrasyonu (c) ve ışık geçiş kalınlığının (L) çarpımı, "absorbans" olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$A = \varepsilon cL \qquad [9.9]$$

Böylece Beer-lambert ifadesi kısaca aşağıdaki şekillerde gösterilebilir:

$$T = 10^{-A} \qquad [9.10] \quad \text{veya} \quad A = -\log T \qquad [9.11]$$

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan büyüklüklerin S.I.'e göre birimleri aşağıdaki şekildedir:

c: konsantrasyon, (mol/m^3),
A: absorbans, (boyutsuz),
ε: molar absorpsiyon katsayısı, (m^2/mol),
L: ışık geçiş kalınlığı, (m).

Eğer, konsantrasyon, "mol/litre", ışık geçiş yolu, "cm" birimlerinde ise, molar absorpsiyon katsayısı, ε, "litre/(mol.cm)" birimine sahiptir.

İçerisinde, ışık absorplama özelliğine sahip birden fazla sayıda farklı maddenin bulunduğu bir çözeltinin absorbansı aşağıdaki ifadeye göre hesaplanır:

$$A = \varepsilon_1 c_1 L + \varepsilon_2 c_2 L + \varepsilon_3 c_3 L + \ldots\ldots\ldots \qquad [9.12]$$

Burada,
L : Işık geçiş yolu,
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, .$: Renkli moleküllerin molar absorpsiyon katsayıları ve

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$c_1, c_2, ..$: Işık absorplama özelliğine sahip moleküllerin konsantrasyonlarıdır.

Beer-Lambert ifadesi, yalnızca monokromatik ışık kullanımı ile yapılan ölçümlerde ve seyreltik konsantrasyonlardaki (absorbans değeri 0.2-0.9 arasındaki) çözeltilere uygulanabilir. Yüksek konsantrasyonlarda, absorbans ile konsantrasyon arasındaki doğrusal bağıntısan sapmalar meydana gelmektedir. Eğer birden fazla sayıda boyarmadde içeren çözeltiler ile çalışılıyorsa, boyarmaddeler arasında bir etkileşimin olmaması da gerekmektedir.

Problem: Molar kütlesi 500 g olan bir boyarmaddenin 0.35 gramı 200 ml destile suda çözünmüştür. Elde edilen çözeltiden alınan numunenin 430 nm dalgaboyunda ve 1 cm kalınlığa sahip küvette ölçülen % transmitans değeri %45 olarak bulunmuştur.

a) Bu boyarmaddenin 430 nm'deki "molar absorpsiyon katsayısını" (litre/mol.cm) cinsinden hesaplayınız.

b) Aynı dalgaboyunda, çözeltinin transmitansı 2 cm kalınlığa sahip bir küvette ölçüldüğünde "%transmitansı" ne olacaktır?

Çözüm:

a) M= 500 g/mol-g, m=0.35 g, v=200 ml, X = 1 cm, %T=%45, ε = ? (l/mol.cm)

$n = 0.35/500 = 7.10^{-4}$ mol

$c(\text{konsantrasyon}) = (7.10^{-4})(1000)/(200) = 3.5 \times 10^{-3}$ mol/l

$T = 10^{-A}$ ve $A = -\log T = \varepsilon.c.L$

$\varepsilon = -\log 0.45 / (3.5 \times 10^{-3})(1) = 99$ l/mol.cm

b) ε = 99 l/mol.cm, L = 2 cm,

$A = \varepsilon.c.L$ $A = (99)(3.5 \times 10^{-3})(2) = 0.693$,

$T = 10^{-A}$, $T = 10^{-0.693} = 0.203$,

%T = (100)(0.203) = % 20.3

9.2 Bir Boyarmadde İçeren Çözeltilerde Miktar Tesbiti

Bir boyarmadde için, molar absorpsiyon katsayısının (ε), küvet kalınlığı (L) ile çarpımı, her bir dalga boyu için sabittir. Beer-Lambert ifadesinden açıkca görüldüğü gibi, absorplanan ışık miktarı (A) ile, renkli moleküllerin konsantrasyonu (c) arasında lineer (doğrusal) bir bağıntı mevcuttur. Renkli moleküllerin miktarı artıkça absorbans artacak, azaldıkça azalacaktır.

$$A = \varepsilon Lc$$

Problem: BM adlı boyarmaddenin, konsantrasyonu bilinmeyen sulu çözeltisindeki miktarını spektrofotometrik olarak tesbit ediniz.

Çözüm: Bu şekildeki bir çalışma için, bir u.v-görünür bölge spektrofotometresi, 1 cm'lik cam ölçüm küvetleri, 100 mL'lik balonjojeler, 10^{-4} g duyarlılıkta bir terazi, beher, huni ve diğer laboratuvar cam malzemeleri kullanılır.

Bir transmisyon spektrofotometresi genel olarak, aşağıdaki komponentlerden oluşmaktadır:



Belli bir dalgaboyunda, "çözeltinin" ve "saf çözücünün" absorbans değerleri arasındaki fark, çözeltideki renkli madde veya maddeler tarafından yapılan ışık absorplamasına aittir. Bu şekildeki bir çalışmada aşağıdaki işlem basamakları takip edilmelidir:

a) Miktarı tesbit edilecek boyarmaddenin (BM), 0.1 veya 1 g/l'lik çözeltileri hazırlanır. Bu çözeltiler "stok" çözelti olarak diğer çözeltilerin hazırlanması için kullanılır.
b) Stok çözeltiden pipetlemek yardımı ile, 100 mL'lik balonjojelerde BM'nin seyreltik çözeltileri (Örneğin: 0.001, 0.004, 0.01, 0.02, 0.04 g/l) hazırlanır ve ölçüm küvetlerine alınır.
c) Spektrofotometrede, 400-700 nm aralığında çalışılarak önce "Dalgaboyu-Absorbans grafiği" oluşturulur ve λ_{max} (maksimum absorbansın yapıldığı dalgaboyu) bulunur.
d) Seyreltik çözeltilerin λ_{max}'da yaptıkları absorbans değerleri yardımı ile "konsantrasyon-absorbans" grafiği hazırlanır. Bu grafiğin oluşturulmasında "En Küçük Kareler Metodu"ndan yararlanılır ve bu grafik, çalışılan boyarmadde için o dalga boyundaki "Kalibrasyon Grafiği" olarak bilinir.
e) BM boyarmaddesinin konsantrasyonu bilinmeyen çözeltisindeki miktarı, bu çözeltiden bir miktar alınarak λ_{max}'da absorbans değerinin transmisyon spektrofotometresinde ölçülmesi ve kalibrasyon grafiği yardımıyla (grafikten veya doğrunun formülünden) hesaplanır.

BM boyarmaddesinin bir çözücü içerisinde stok çözeltileri ve bu stok çözeltilerden de 0.001, 0.004 ve 0.01 g/l'lik seyreltik çözeltileri hazırlanarak ölçüm küvetlerine yerleştirilir. Bu çalışmada saf çözücü su'dur. Her bir çözeltinin 400-700 nm dalga boyunda absorbans değeri hesaplanır. Bu hesaplama, her bir dalgaboyunda, saf çözücünün (suyun) absorbans değerinin çözeltinin absorbans değerinden çıkartılması ile gerçekleştirilir (Çizlge-8.1). Öncelikle, 20 nm'lik aralıklar ile ölçüm yapılır, fakat hassas olarak λ_{max}'u bulmak için, değerlerin yükselti yaptığı bölgede (dalgaboylarında) 1, 2 veya 5 nm'lik artışlar ile çalışmak gerekmektedir. Bu şekilde λ_{max} kesin olarak bulunur ve bu dalgaboyunda farklı konsantrasyondaki her bir

çözeltinin absorbans değeri alınarak bir kalibrasyon grafiği (konsantrasyon-absorbans grafiği) oluşturulur.

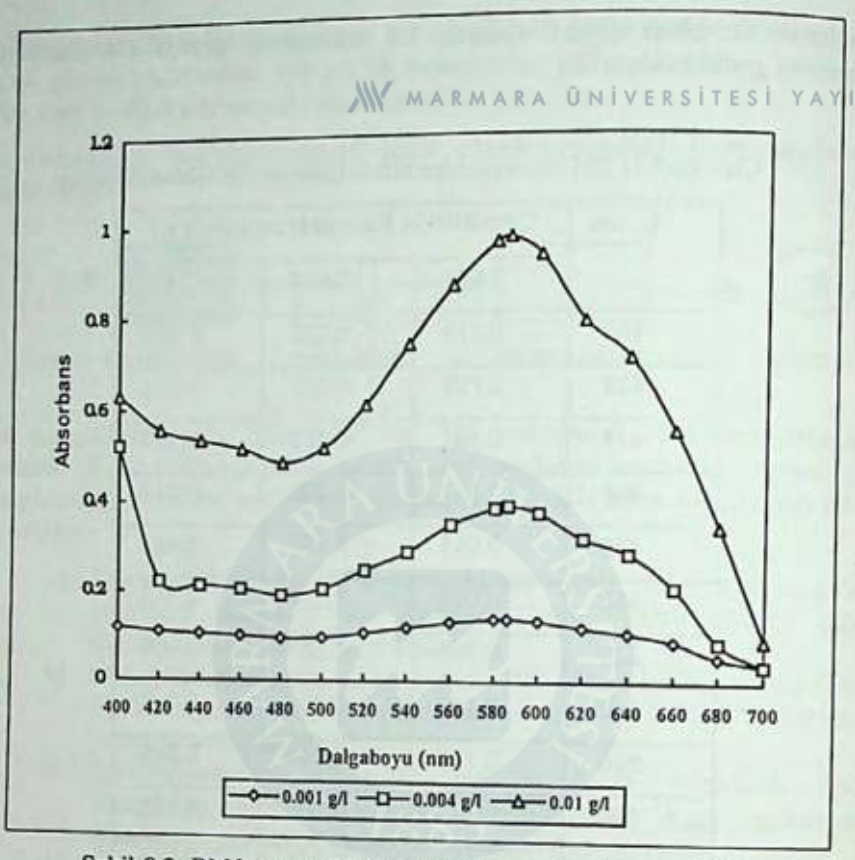
MARMARA ÜNİVERSİTESİ

Çizelge-9.1: BM boyarmaddesinin dalgaboyu-absorbans değerleri.

λ, nm	Çözeltilerin Konsantrasyonları g/l		
	0.001	0.004	0.01
400	0.119	0.522	0.630
420	0109	0.222	0.556
440	0.105	0.212	0.534
460	0.101	0.205	0.514
480	0.095	0.190	0.484
500	0.096	0.204	0.515
520	0.107	0.245	0.609
540	0.118	0.286	0.742
560	0.131	0.346	0.869
580	0.138	0.382	0.965
600	0.134	0.371	0.936
620	0.118	0.315	0.791
640	0.106	0.281	0.712
660	0.088	0.207	0.712
680	0.054	0.087	0.712
700	0.038	0.037	0.093

Çizelge-9.1'den de görüldüğü gibi, 580 ile 620 nm'lik aralıkta farklı konsantrasyonlardaki her üç çözeltinin absorbans değerlerinde önce bir artış ve bunu takip eden bir azalma mevcuttur. Bu bölge önce 5'er ve daha sonra 1'er nm'lik dalga boylarındaki artışlar ile incelenmiş ve bu BM boyarmaddesi için λ_{max}'un 586 nm olduğu tesbit edilmiştir. Bu dalgaboyunda kalibrasyon grafiği ve En Küçük Kareler metodu yardımıyla doğru denklemi oluşturulur:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-9.2: BM boyarmaddesinin dalgaboyu-absorbans grafiği.

Çizelge-9.3: En Küçük Kareler Metodu.

Çözelti No.	x [C, (g/l)]	y [A]	x^2	y^2	x.y
1	0.001	0.138	$1x10^{-6}$	0.019	$1.38x10^{-4}$
2	0.004	0.386	$1.6x10^{-5}$	0.149	0.0015
3	0.01	0.975	0.0001	0.95	$9.75x10^{-3}$
Çözelti Adedi (N)	Σx	Σy	Σx^2	Σy^2	Σxy
N = 3	S1 = 0.015	S2 = 1.5	S3 = $11.7x10^{-5}$	S4 = 1.18	S5 = 0.0114

Kalibrasyon Doğru'suna ait y=(M)x+B denklemini, aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplayabiliriz. Burada M, bu doğrunun eğimi, B, sabit sayısıdır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$M = \frac{(N)(S5) - (S1)(S2)}{(N)(S3) - (S1)^2}$$

$$B = \frac{(S2) - (M)(S1)}{N} \qquad [9.13]$$

Doğru denkleminin geçerliliğini ve güvenilirliğini bulmak için korelasyon katsayısını (r) hesaplamamız gerekmektedir. Bu da aşağıdaki formülden hesaplanabilir. Korelasyon katsayısı –1 ile +1 değerleri arasında olup ($-1 \leq r \leq +1$), ölçüm değerleri arasında bir ilgi (korelasyon) varsa bu değerlere yakındır. Korelasyon katsayısının düşük olması durumunda doğrunun (dolayısıyla denklemin) geçerliliği olmayacak, elde edilen doğru denklemi ile fiziksel ölçüm değerleri arasında bir ilişki bulunmayacaktır.

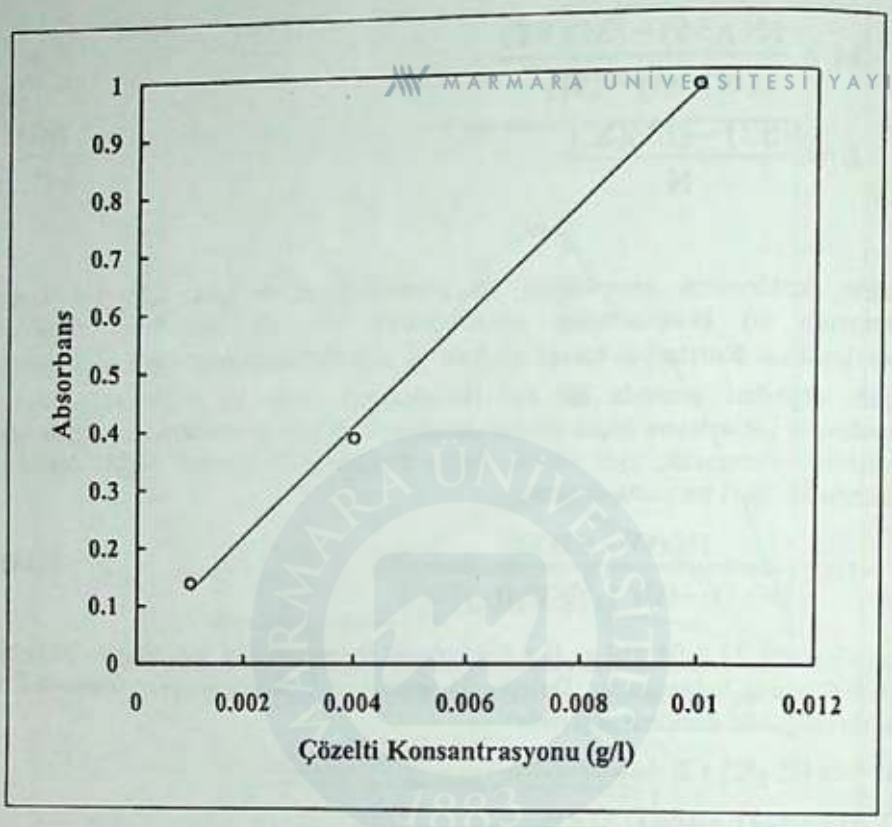
$$r = \frac{(N)(S5) - (S1)(S2)}{\sqrt{\left[(N)(S3) - (S1)^2\right]}\sqrt{\left[(N)(S4) - (S2)^2\right]}} \qquad [9.14]$$

Bu çalışmada, M = 93.738 ve B = 0.03 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısı r, 0.999 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla absorbans ve konsantrasyon arasında 586 nm'de aşağıdaki denklem geçerlidir:

[A] = M [C, g/L] + B denkleminden,

[C, g/L] = ([A] - 0.03) / 93.738

Konsantrasyonu bilinmeyen çözeltiden alınan numunenin absorbans değeri 586 nm'de ölçülür. Saf çözücünün bu dalga boyundaki absorbans değeri çözeltinin absorbans değerinden çıkartılmalıdır. Denklem den veya grafikten, elde edilen absorbans değerine karşılık gelen konsantrasyon değeri hesaplanır.



Şekil-9.3: Kalibrasyon grafiği.

9.3 İki Boyarmadde İçeren Çözeltilerde Miktar Tesbiti

Boya banyosu, iki boyarmaddeyi içeriyorsa, hesaplama işlemi bir boyarmadde olması durumundakine benzer şekilde, fakat aşağıdaki çalışma yöntemi ve formüller yardımıyla hesaplanır:

a) Verilen BM1 ve BM2 boyarmaddelerinin 0.05 veya 0.1 g/l'lik çözeltileri hazırlanır.
b) Spektrofotometrede, 400-700 nm aralığında çalışılarak her bir boyarmadde çözeltisinin "dalgaboyu-absorbans" değerleri kaydedilir ve elde edilen değerlerden her bir boyarmaddeye ait "dalgaboyu-absorbans grafiği" çizilir. Boyarmaddelere ait λ_{max} değerlerini bulunur.
c) Karışım çözeltinin 400-700 nm aralığındaki "Dalgaboyu-Absorbans" değerleri kaydedilir. Elde edilen değerlerden karışım çözeltilere ait "dalgaboyu-absorbans" grafikleri çizilir.
d) Elde edilen değerler yardımıyla karışımlardaki her bir boyarmaddenin miktarı aşağıdaki formüllerin kullanımı yardımıyla tespit edilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\lambda_1\text{'de} \qquad A_1 = \frac{x}{C_x}A_x + \frac{y}{C_y}a_y$$

$$\lambda_2\text{'de} \qquad A_2 = \frac{x}{C_x}a_x + \frac{y}{C_y}A_y \qquad [9.14]$$

x ve y: BM1 ve BM2 boyarmaddelerinin karışım çözeltideki miktarı

C_x ve C_y : BM1 ve BM2 boyarmaddelerinin konsantrasyonları bilinen çözeltileri

A_x, a_x : BM1 boyarmaddesinin λ_1 ve λ_2'deki absorbans değerleri

A_y, a_y : BM2 boyarmaddesinin λ_2 ve λ_1'deki absorbans değerleri

Yukarıdaki denklemlerin kullanımı ile x ve y değerleri hesaplanır.

Problem: BM1 ve BM2 boyarmaddelerinin karışımlarından oluşan bir karışım çözelti içerisinde her bir boyarmaddenin miktarını tesbit ediniz.

Çözüm:

Öncelikle her bir boyarmaddenin bilinen konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanır ve bir transmisyon spektrofotometresi yardımıyla dalgaboyu-absorbans değerleri hesaplanır. Bu ölçüm sonuçları Çizelge-8.4'de verilmiştir.

BM1 için $\lambda_1 = 520$ nm ve $C_x = 0.04$ g/l; BM2 için $\lambda_2 = 620$ nm ve $C_y = 0.04$ g/l'dir.

$A_x = 0.920$, $a_x = 0.0007$, $A_y = 0.414$ ve $a_y = 0.110$'dir.

Karışım çözeltinin spektral değerlerinden $\lambda_1 = 520$ nm'de $A_1 = 0.642$

$\lambda_2 = 620$ nm'de $A_2 = 0.110$

değerleri elde edilir.

[9.14]'deki denklemlerin kullanımı ile x ve y değerlerini kolyalıkla tesbit edebiliriz:

$$\lambda_1 = 520 \text{ nm için: } 0.642 = \frac{x}{0.04}0.920 + \frac{y}{0.04}0.110$$

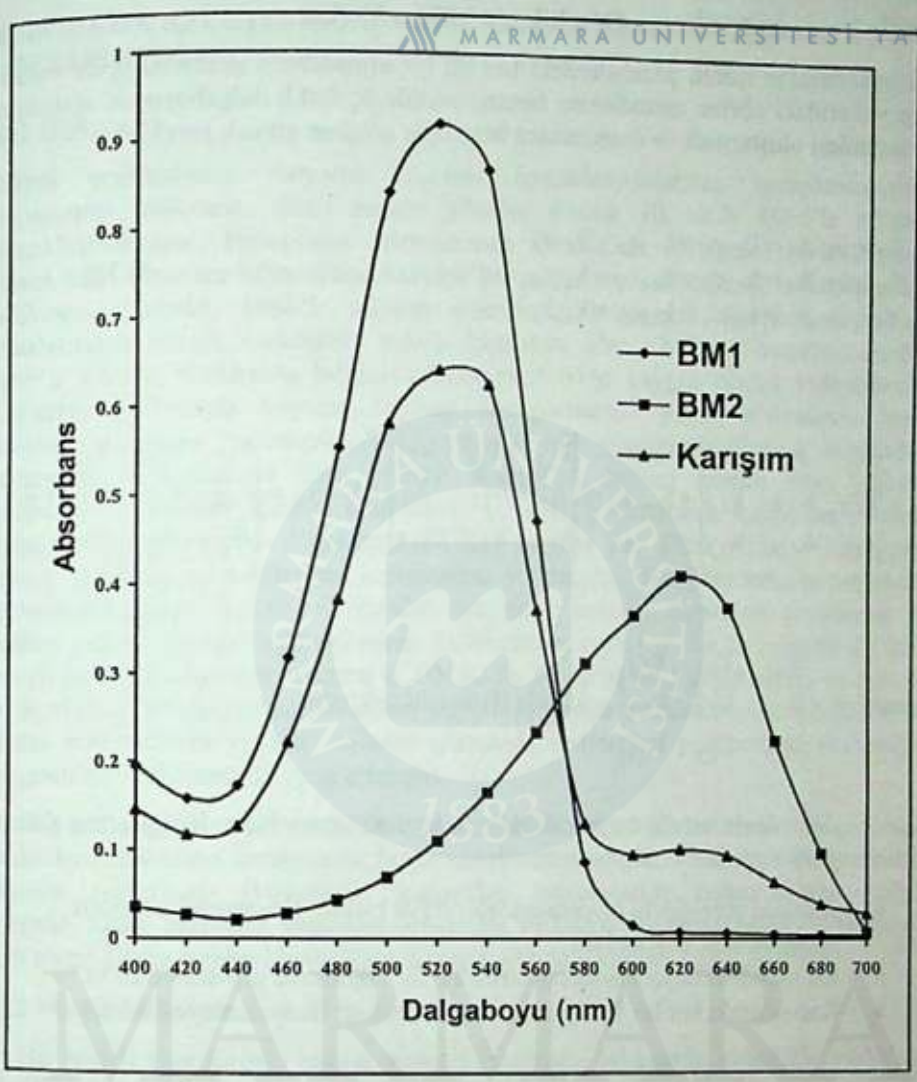
$$\lambda_2 = 620 \text{ nm için: } 0.101 = \frac{x}{0.04}0.007 + \frac{y}{0.04}0.414$$

Bu iki denklem taraf tarafa toplanırsa x ve y değerleri sırasıyla 0.027 g/l ve 0.009 g/l olarak bulunur.

Çizelge-9.4: BM1 ve BM2 boyarmaddelerinin absorbans değerleri.

λ, nm	Boyarmadde Çözeltileri		
	BM1 (0.04 g/l)	BM2 (0.04 g/l)	Karışım
400	0.195	0.035	0.145
420	0158	0.027	0.117
440	0.173	0.021	0.126
460	0.317	0.028	0.222
480	0.553	0.043	0.383
500	0.842	0.069	0.582
520	0.920	0.110	0.642
540	0.869	0.165	0.626
560	0.473	0.234	0.373
580	0.086	0.313	0.130
600	0.015	0.368	0.095
620	0.007	0.414	0.101
640	0.006	0.378	0.094
660	0.005	0.227	0.064
680	0.004	0.097	0.039
700	0.003	0.007	0.029

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-9.4: Boyarmaddelerin ve karışım çözeltinin dalgaboyu-absorbans grafikleri.

9.4 Üç Boyarmadde İçeren Çözeltilerde Miktar Tesbiti

Üç boyarmadde içeren çözeltilerdeki her bir boyarmaddenin miktarını tesbit etmek için yukarıdaki çözüm metodlarına benzer şekilde üç farklı dalgaboyunda aşağıdaki denklemleri oluşturmak ve determinant hesabı ile çözüme gitmek gereklidir:

$$\begin{aligned} &\lambda_1 \text{ için; } A_1 = k_{1,1}c_1 + k_{1,2}c_2 + k_{1,3}c_3 \\ &\lambda_2 \text{ için; } A_2 = k_{2,1}c_1 + k_{2,2}c_2 + k_{2,3}c_3 \\ &\lambda_3 \text{ için; } A_3 = k_{3,1}c_1 + k_{3,2}c_2 + k_{3,3}c_3 \end{aligned} \qquad [9.15]$$

$$c_1 = \begin{vmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ k_{1,2} & k_{2,2} & k_{3,2} \\ k_{1,3} & k_{2,3} & k_{3,3} \end{vmatrix} \div K,\ c_2 = \begin{vmatrix} k_{1,1} & k_{2,1} & k_{3,1} \\ A_1 & A_2 & A_3 \\ k_{1,3} & k_{2,2} & k_{3,3} \end{vmatrix} \div K,\ c_3 = \begin{vmatrix} k_{1,1} & k_{2,1} & k_{3,1} \\ k_{1,2} & k_{2,2} & k_{3,2} \\ A_1 & A_2 & A_3 \end{vmatrix} \div K$$

burada $K = \begin{vmatrix} k_{1,1} & k_{2,1} & k_{3,1} \\ k_{1,2} & k_{2,2} & k_{3,2} \\ k_{1,3} & k_{2,3} & k_{3,3} \end{vmatrix}$ şeklinde ifade edilmektedir.

Boyarmadde çözeltilerinde boyarmaddelerin konsantrasyonlarını hesaplarken dikkat edilmesi gereken kriterler şunlardır:

- Karışım çözeltideki boyarmaddelerin her birinin absorpsiyon eğrileri birbirine benzememelidir,
- Karışımdaki boyarmaddeler birbirleri ile etkileşime girmemelidir ve
- Karışımdaki her bir komponent Beer-Lambert ifadesine uymalıdır.

10. BOYAMA REÇETELERİNİN BİLGİSAYAR YARDIMIYLA HESAPLANMASI

10.1 Giriş

Tekstil endüstrisinde boyama reçetesi formülasyonlarının hesaplanmasında bilgisayarın kullanımı, ticari amaca yönelik olarak ilk defa 1960'lı yıllarda gerçekleştirilmiştir. Hesaplama işlemlerinde kullanılan matematiksel metotların esasen daha önceden bilinmesine karşılık bu metotların endüstriyel kullanımındaki gecikmenin sebebi, 1960'lı yılların öncesinde bilgisayar fiyatlarının yüksek olmalarından dolayı endüstride sınırlı kullanım alanı bulmuş olmalarındandır. 1960'lı yılların sonlarında bilgisayarların endüstride yaygın olarak kullanılması, bilgisayar yardımıyla boyama reçetesi hesaplamasını yapan sistemlerin hızla gelişmesine imkan tanımıştır. 1963 yılında ICI (İngiltere) firması tarafından geliştrilen "enstrümental renk eşleme sistemi"ni hemen hemen aynı yıllarda geliştirilen "Colorant Mixture Computer" (COMIC) sisteminin kullanıma sunumu takip etmiştir. American Cyanamid (ABD) firması da, 1965 yılında CCM renk eşleme sistemini müşterilerinin kullanımına sunmuştur. Bu dönemde, boyarmadde üreticilerinin çoğu, kendi kullanımları için renk eşleme sistemleri geliştirmiş ve bunları sınırlı sayıdaki müşterilerinin kullanımına açmıştır. 1970 yıllarda da özel amaçlı pek çok bilgisayar sistemi (COMIC II, Pretema vb.) geliştirilmiş ve son 30 yıl içerisinde bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasına paralel olarak modern renk ölçüm sistemlerinin ve renk eşleme işleminde kullanılan yazılımların (bilgisayar programları) kullanımı da hızla artmıştır.

Boyanmamış kumaşın özellikleri, kullanılan boyarmaddeler ve proses gibi bazı özelliklerin bilinmesi durumunda, boyama reçetesi hesaplanacak renge ait hassas bir boyama reçetesinin (boyamada kullanılan boyarmadde miktarlarının) tesbiti kolaydır, fakat malzeme yapısının değişmesi ve farklı boyarmaddeler kullanımı ile aynı renge ait bir reçeteyi hesaplama durumu oldukça kompleks bir işlemdir.

10.2 Manuel Yöntem

Bir tekstil yüzeyindeki rengin manuel eşlenmesi işleminde genellikle aşağıdaki adımlar takip edilmektedir:

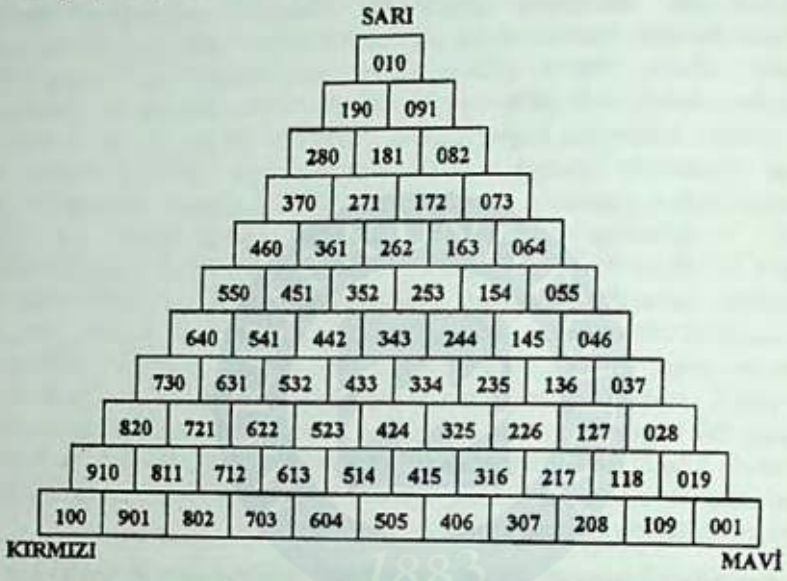
- Boyanacak materyalin cinsi, istenilen haslık özellikleri, kullanılacak proses şekli ve maliyet unsuru dikkate alınarak uygun boyarmadde sınıfının seçimi,
- Boyama reçetesi hesaplanacak rengin farklı ışık kaynakları altındaki görünümünü esas alarak, kullanımına karar verilen boyarmadde sınıfı içerisindeki uygun boyarmaddelerin tek tek belirlenmesi,
- Deneme boyamasının gerçekleştirilmesi ve elde edilen renk ile istenilen (standart) rengin karşılaştırılması ve
- İstenilen renge ulaşılana kadar boyama reçetesinde gerekli düzeltmelerin yapılması.

Yukarıda aktarılan işlem adımlarının sayısı, standardın rengine, renk eşleme işlemini yapan personelin deneyimine ve eşlenecek renge ne kadar hassasiyette

ulaşılmak istendiğine (kalite gereksinimine) bağlıdır. Bu işlemlerde genellikle 3 veya 4 boyarmadde içeren bir kombinasyon kullanılmakta ve sonuca 6-12 deneme gerçekleştirilerek ulaşılabilmektedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Modern renk ölçüm sistemine sahip olmayan işletmelerin çoğu manuel olarak ve Şekil-10.1'de gösterilen şekildeki bir kartela sistemi oluşturarak renk eşleme işlemlerini gerçekleştirmektedirler.



Şekil-10.1: Renk eşleme işleminde kullanılan üçgen kartela.

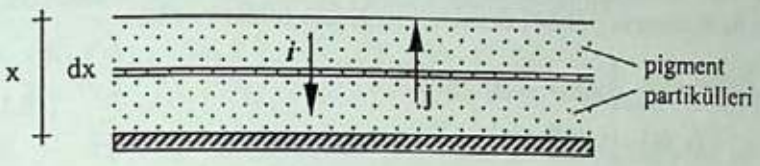
Eğer Şekil-10.1'deki her kutu içerisinde toplam %renk şiddeti (100 gram materyali boyamak için gerekli gram cinsinden boyarmadde miktarı) %1 olarak alındığında, "145" kutusu, %0.1 kırmızı, %0.4 sarı ve %0.5 mavi; "235" kutusu, %0.2 kırmızı, %0.3 sarı ve %0.5 mavi; "010" kutusu, %0 kırmızı, %1 sarı ve %0 mavi'yi ifade edecektir. Bu üçgen, seçilen üç farklı renkteki (kırmızı, mavi ve sarı gibi) boyarmadde ile ve farklı %renk şiddetlerindeki boyamalar için hazırlanır, eşlenecek olan standart renk, üçgen kartela üzerinde kendisine en yakın renkteki kutuya ait reçeteye göre boyanır. Gerekli görüldüğü şekilde reçetede düzeltmeler yapılır. Bu şekilde hazırlanacak bir renk kartelasında toplam 66 renk mevcuttur.

10.3 Kubelka-Munk Analizi

Boyanmış yüzeyler üzerindeki boyarmaddenin konsantrasyonu ve reflektans fonksiyonu arasındaki lineer (doğrusal) bağıntıyı ifade eden çeşitli teoriler ve kavramlar geliştirilmiş olmasına karşılık, bunlardan en yararlı olanı "Kubelka-Munk" fonksiyonudur.

Pigment partikülleri içeren, boyanmış çok ince bir yüzey üzerine monokromatik bir ışık hüzmesinin düşürüldüğü ve bu ışık hüzmesinin ince tabaka içerisinde yol

aldığı bir durumu göz önüne aldığımızda (Şekil-10.2), aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:



Şekil-10.2: Kubelka-Munk analizi.

Burada,

i = aşağıya doğru yol alan ışık hüzmesinin şiddeti,
j = yukarıya doğru yol alan ışık hüzmesinin şiddeti,
di ve dj, bu akışlarda meydana gelen değişiklikleri ifade etmektedir.

Aşağıya doğru yol alan ışık hüzmesinin şiddetindeki değişiklik:

- Absorpsiyon ile azalma: -K.i.dx
- Şaçınım ile azalma: -S.i.dx
- Yukarıya doğru yol alan ışık hüzmesinin geri saçınımı ile ışık şiddetindeki artma: +S.j.dx

Toplam: $di = -K.i.dx - S.i.dx + S.j.dx$ veya $di = -(K+S).i.dx + S.j.dx$ olacaktır.

Yukarıya doğru yol alan ışık hüzmesinin şiddetindeki değişiklik:

- Absorpsiyon ile azalma: -K.j.dx
- Saçınım ile azalma: -S.j.dx
- Aşağıya doğru yol alan ışık hüzmesinin geri saçınımı ile ışık şiddetindeki artma: +S.i.dx

Toplam: $dj = -K.j.dx - S.j.dx + S.i.dx$ veya $dj = -(K+S).j.dx + S.i.dx$ olacaktır.

Burada, K ve S, renkli partiküllere ait "absorpsiyon" ve "saçınım" katsayıları olarak tanımlanmaktadır. Kubelka-Munk analizinin en kısıtlayıcı tarafı, sadece iki yönde akışı ele alması ve yalnızca "monokromatik radyasyon" için geçerli olmasıdır.

Yukarıdaki diferansiyel denklem takımlarının çözümü aşağıdaki sonucu verecektir:

$$R = \frac{1 - R_g(a - b\coth bSx)}{a - R_g + b\coth bSx} \qquad [10.1]$$

Burada,
a: $1 + (K/S)$
b: $(a^2-1)^{1/2}$
R: "x" kalınlığındaki film tabakasının reflektansı (fraksiyon olarak)

K ve S = Film tabakasının absorpsiyon ve saçınım katsayıları.
R_g: Film tabakasının üzerinde bulunduğu zeminin reflektansıdır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Eğer "x" kalınlığının "sonsuz kalınlıkta" olduğu düşünülürse (x sonsuza giderken limit alınırsa), [10.1] denklemi aşağıdaki şekli alacaktır:

$$R_\infty = 1 + (K/S) - \left[(K/S)^2 + 2(K/S)\right]^{1/2} \qquad [10.2]$$

$$R_\infty = 1 + (K/S) - (K/S)\left[(K/S) + 2\right]^{1/2}$$

$$K/S = \frac{(1 - R_\infty)^2}{2R_\infty} \qquad [10.3]$$

olur.

R_∞ : Belli bir dalgaboyundaki ışık hüzmesi altında, sonsuz kalınlıktaki bir numunenin reflektansı olup, fraksiyon cinsinden alınacaktır (Örnek: %R = %25 ise R = 0.25; %R = %3 ise R = 0.03, vb.).

Eğer boyanmış tabaka içerisinde birden fazla sayıda renkli partikül mevcutsa [10.4] denklemi yazılabilir:

$$K/S = \frac{c_1K_1 + c_2K_2 + c_3K_3 + \ldots\ldots\ldots + K_s}{c_1S_1 + c_2S_2 + c_3S_3 + \ldots\ldots\ldots + S_s} \qquad [10.4]$$

Burada,

c : Renklendirici maddelerin konsantrasyonları,
K : Absorpsiyon katsayıları,
S : Saçınım katsayıları,
"s" indisi boyanmamış malzeme yüzeyine ait değerleri göstermektedir.

Klasik Kubelka-Munk analizinde, renk veren partiküllerin hem monokromatik ışığı absorplama ve hem de saçınıma uğratma gücü olduğu düşünülmektedir. İnce film tabakasındaki pigment parçaları için durum gerçekten böyledir. Pigment partikülleri içeren bir boya ile boyanmış bir yüzey üzerinde bu renkli partikülleri izole etmek, mikroskop altında gözlemleyebilmek mümkündür. Buna karşılık, bir tekstil boyarmaddesi ile boyanmış bir yüzey için bu durum faklıdır. Tekstil boyarmaddelerinin lifin içerisinde "çözüldüğü", ortamda bireysel olarak bulunmadıkları ve böylece kendi bireysel saçınım güçlerine sahip olamayacakları, ışığın herhangi bir şekilde saçınıma uğratılmasının, sadece lifin kendisinden kaynaklandığı söylenebilir. Böylece, her bir boyarmaddeye ait bireysel saçınım katsayıları S_1, S_2, S_3, ... sıfıra eşit olacaktır. Dolayısıyla, [10.4] denklemi aşağıdaki şekli alacaktır:

$$K/S = \frac{c_1K_1 + c_2K_2 + c_3K_3 + \ldots\ldots + K_s}{S_s} \qquad [10.5]$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

[10.5] denklemini aşağıdaki şekilde yeniden düzenleyebiliriz:

$$K/S = c_1\left(K_1/S_s\right) + c_2\left(K_2/S_s\right) + \ldots\ldots + \left(K_s/S_s\right) \qquad [10.6]$$

Burada K/S_s değerleri, "absorpsiyon katsayıları" olarak adlandırılır ve "a" ile gösterilirler.

Boyanmış materyale ve boyanmamış yüzeye ait K/S değerlerinin her biri "reflektans fonksiyonu" olarak adlandırılır ve aşağıdaki denklemlerdeki gibi f(R) ve $f(R_s)$ şeklinde ifade edilirler:

$$f(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \qquad [10.7]$$

$$f(R_s) = \frac{(1-R_s)^2}{2R_s} \qquad [10.8]$$

Reflektans fonksiyonları, dalgaboyuna bağımlıdır.

Eğer, renklendirme işlemi birden fazla sayıda boyarmadde ile yapılmışsa, belli bir dalgaboyu (λ) için aşağıdaki eşitlik geçerlidir:

$$f(R_\lambda) = a_{1,\lambda}c_1 + a_{2,\lambda}c_2 + a_{3,\lambda}c_3 + \ldots\ldots + f(R_{s,\lambda}) \qquad [10.9]$$

10.4 Boyanmış Tekstil Materyali Üzerindeki Boyarmadde Miktarının Tesbiti

Tek bir boyarmadde ile boyanmış bir tekstil yüzeyinin üzerindeki boyarmadde miktarının tesbiti aşağıda belirtilen adımlarda gerçekleştirilebilir:

- Öncelikle söz konusu boyarmadde ile identik (aynı) koşullarda farklı renk şiddetlerinde (konsantrasyonlarda) boyamalar yapılır. Bu boyamalar, "kalibrasyon boyamaları" olarak adlandırılır. Kalibrasyon boyamaları için en az sekiz farklı konsantrasyonda boyama yapılması uygun olacaktır (Çizelge-10.1). Bu boyama işlemleri sırasında boyama parametrelerinin değiştirilmemesine (pH, sıcaklık, vb.) ve işlemlerin tekrarlanabilirliğinin yüksek olmasına büyük önem göstermek gerekmektedir.
- Kalibrasyon boyamalarında kullanılan tekstil materyaline ait bir numune, aynı (identik) koşullarda fakat boyarmadde içermeyen (%0 konsantrasyonda boyarmadde içeren) bir boyama banyosunda da işlem görmelidir. Bu işleme "kör boyama", bu işlem sonucunda elde edilen numuneye de "kör boyama numunesi" adı verilir.
- Bir reflektans spektrofotometresi yardımıyla, boyanmış numunelerin ve kör boyamadan elde edilen beyaz kumaşın 400-700 nm dalgaboyları

arasında 20nm'lik aralıklarda 16 farklı dalgaboyunda (400, 420, 440, vb.) % reflektans ölçümleri yapılır (Şekil-10.3).

- Boyanmış numunelere ait spektral eğrilerden (Şekil-10.3), boyarmaddeye ait maksimum absorbansın yapıldığı (minimum reflektans değerindeki) dalgaboyu, λ_{max} tesbit edilir.
- λ_{max} dalgaboyunda, her bir konsantrasyona karşılık gelen reflektans değerleri tesbit edilir.
- Elde edilen reflektans değerlerinden, her bir numuneneye ve kör boyama ile elde edilen numuneye ait reflektans fonksiyonları hesaplanır.
- Boyanmış ve kör boyama yolula elde edilmiş numunelerin reflektans fonksiyonları arasındaki fark, konsantrasyon değerlerine karşılık çizilir. Oluşturulan grafik (Şekil-10.5), kalibrasyon grafiği olarak adlandırılır.
- Kalibrasyon grafiğinin tanımlandığı konsantrasyon aralığında, aynı boyarmadde ile boyanmış bir numunenin üzerindeki boyarmadde konsantrasyonu grafikten veya kalibrasyon grafiğine ait denklemden kolaylıkla tesbit edilebilir.

Renkli tekstil materyalinin tek bir boyarmadde ile boyanmış olması durumunda, [10.9] ifadesi her bir dalgaboyu için aşağıdaki şekilde yazılacaktır:

$$f(R_\lambda) = f(R_{s,\lambda}) + a_\lambda c \qquad [10.10]$$

Burada,

a: Absorpsiyon katsayısı'dır. Absorpsiyon katsayısı dalgaboyuna bağımlıdır (Şekil-10.4).

Aynı koşullarda yapılan herhangi bir boyama işlemine ait absorpsiyon katsayısı bilindiğinde, boyanmış materyal üzerindeki boyarmadde konsantrasyonu, belli bir dalgaboyu için **[10.11]** denkleminden kolaylıkla hesaplanabilir:

$$c = \frac{f(R_\lambda) - f(R_{s,\lambda})}{a_\lambda} \qquad [10.11]$$

c: % konsantrasyon (% renk şiddeti),

f(R) : Boyanmış ve boyanmamış yüzeylerin reflektans fonksiyonları,

a_λ: Absorpsiyon katsayısı.

Denklem **[10.12]**'de görüldüğü gibi, boyanmış ve boyanmamış numunelere ait reflektans fonksiyonlarının farkı ile konsantrasyon arasında lineer bir bağıntı mevcuttur:

$$f(R_\lambda) - f(R_{s,\lambda}) = a_\lambda c \qquad [10.12]$$

Bu doğrusal (lineer) ifade, genellikle teorik olarak mümkündür ve pratikte doğrusallıktan sapmalar mevcuttur. Kubelka-Munk ifadesi, aynı Beer-Lambert ifadesinde olduğu gibi düşük boyarmadde konsantrasyonlarında doğrusal yapıdadır, bu doğrusallıktan sapmalar özellikle yüksek boyarmadde konsantrasyonlarda ve

düşük reflektans değerlerinde görülmektedir. Deneysel verilerden lineer bağıntının eldesi, En Küçük Kareler Metodu yardımıyla (Bölüm-9'a bakınız) gerçekleştirilir. [10.12]'deki şekliyle lineerliğin sağlanamaması durumlarında logaritmik eksenlerin kullanılması gerekebilmektedir.

Çizelge-10.1: Kalibrasyon boyamaları için tavsiye edilen konsantrasyon değerleri.

Boyama	% Renk Şiddeti													
8 seviyeli	0.02	0.05	0.10	0.200	0.5	1.00	2.0	3.0						
12 seviyeli	0.02	0.05	0.10	0.200	0.5	0.75	1.0	2.0	3.00	4	6.0	8		
15 seviyeli	0.01	0.02	0.05	0.075	0.1	0.15	0.2	0.5	0.75	1	1.5	2	4	6 8

Problem: %1.2'lik renk şiddetinde BM1 boyarmaddesi ile boyanmış bir numunenin 540 nm'de ölçülen reflektans değeri %6'dır. Aynı dalgaboyunda yapılan ölçümde boyanmamış numunenin reflektans değeri %80'dir. Boyarmadde konsantrasyonu hariç, diğer boyama şartlarını değiştirmeksizin yapılan ikinci bir boyama ile elde edilen nununenin 540 nm'deki reflektansı ise %15 olarak bulunmuştur. İkinci numune üzerindeki boyarmadde konsantrasyonunu hesaplayınız.

Çözüm: Boyanmış ve boyanmamış numunelere ait reflektans fonksiyonları hesaplanır.

Birinci numunenin reflektans fonksiyonu:

$f(R_1) = (1 - R)^2 / (2R) = (1 - 0.06)^2 / (2)(0.06) = 7.363$

Boyanmamış numunenin reflektans fonksiyonu:

$f(R_s) = (1 - R_s)^2 / (2R_s) = (1 - 0.8)^2 / (2)(0.8) = 0.025$

540 nm'de kalibrasyon katsayısı hesaplanır:

$a_\lambda = [f(R_1) - f(R_s)] / c$

$a_\lambda = (7.363 - 0.025)/1.2 = 6.115$

İkinci numunenin üzerinde mevcut boyarmadde miktarı:

$f(R_2) = (1 - R)^2 / (2R) = (1 - 0.15)^2 / (2)(0.15) = 2.408$

$c = [f(R_2) - f(R_s)] / a_\lambda = (2.408 - 0.025)/6.115 = \%\ 0.39$

Problem: Boyanmamış pamuklu kumaşın, bir kırmızı ve bir mavi boyarmadde ile boyanmış pamuklu numunelerin % reflektans değerleri aşağıdaki şekildedir:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Materyal	500 nm'de ki % Reflektans
Boyanmamış pamuklu kumaş	88.5
% 0.25 Kırmızı boyarmadde ile boyanmış	14.7
% 1.75 Mavi boyarmadde ile boyanmış	20.8

a) %1.2 renk şiddetinde kırmızı boyarmadde ile %0.15 renk şiddetinde mavi boyarmadde karışımı ile boyanmış pamuklu numunenin 500 nm'deki reflektans değerini hesaplayınız.

b) Bu şekilde hesaplanacak olan reflektans değerinin niçin hassas olamayacağını yorumlayınız.

Çözüm:

a) Her bir boyarmadde için Kubelka-Munk absorpsiyon katsayılarının hesaplanması gereklidir.

$f(R_s) = (1 - R_s)^2/2R_s = (1 - 0.885)^2/(2)(0.885) = 0.0073$

Kırmızı Boyarmadde ile boyanmış kumaşın reflektans fonksiyonu:

$f(R_k) = (1 - R_k)^2/2R_k = (1 - 0.147)^2/(2)(0.147) = 2.4749$

$f(R_k) = f(R_s) + a_\lambda . c_k$

$a_{\lambda,k} = (2.4749 - 0.0073)/0.25 = 9.8704$

Mavi Boyarmadde ile boyanmış kumaşın reflektans fonksiyonu:

$f(R_m) = (1 - R_m)^2/2R_m = (1 - 0.208)^2/(2)(0.208) = 1.5078$

$f(R_m) = f(R_s) + a_\lambda . c_m$

$a_{\lambda,m} = (1.5078 - 0.0073)/1.75 = 0.8574$

Boyarmadde karışımı ile boyanmış kumaşın reflektans fonksiyonu:

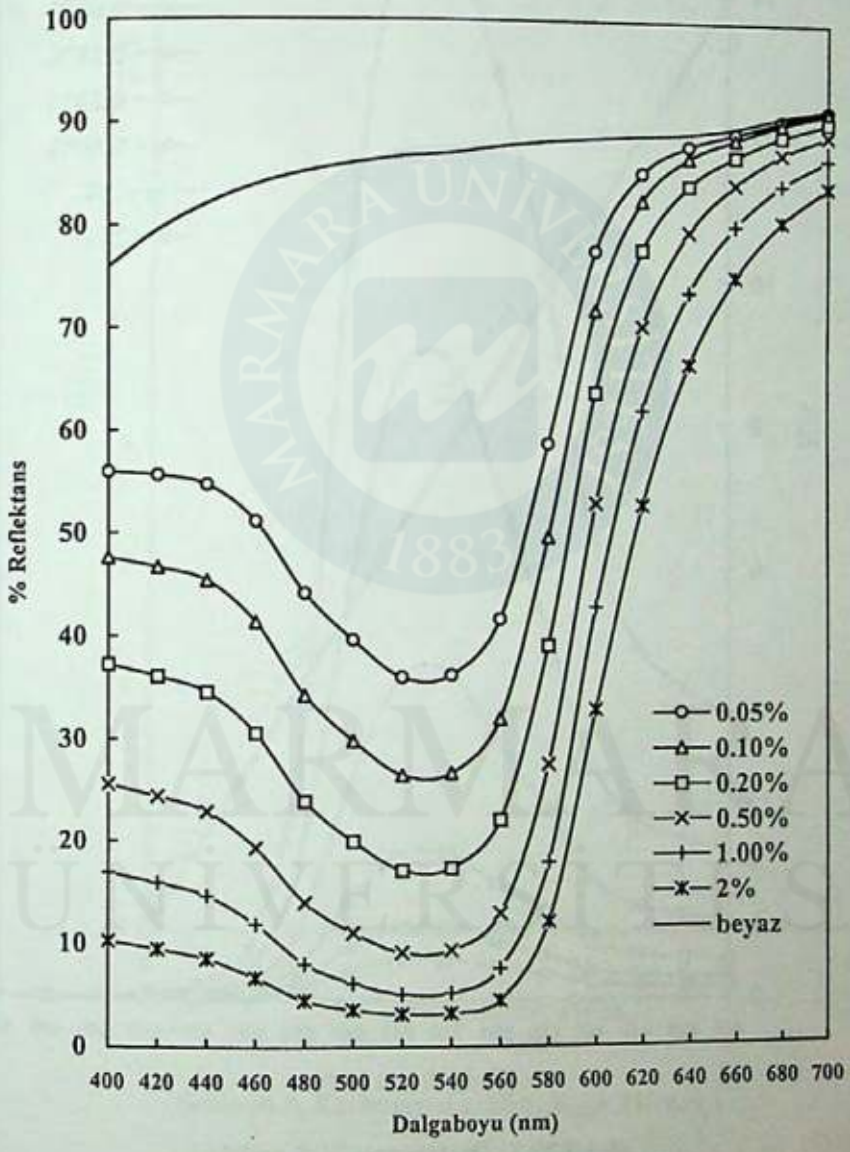
$f(R_{mix}) = (1 - R_{mix})^2/2R_{mix} = f(R_s) + a_{\lambda,m} . c_m + a_{\lambda,k} . c_k$

$(1-R_{mix})^2/2R_{mix} = 0.0073 + (0.8574)(0.15) + (9.8704)(1.2) = 11.9804$

$1 - 2R + R^2 = 23.9608R \quad R^2 - 25.9608R + 1 = 0$

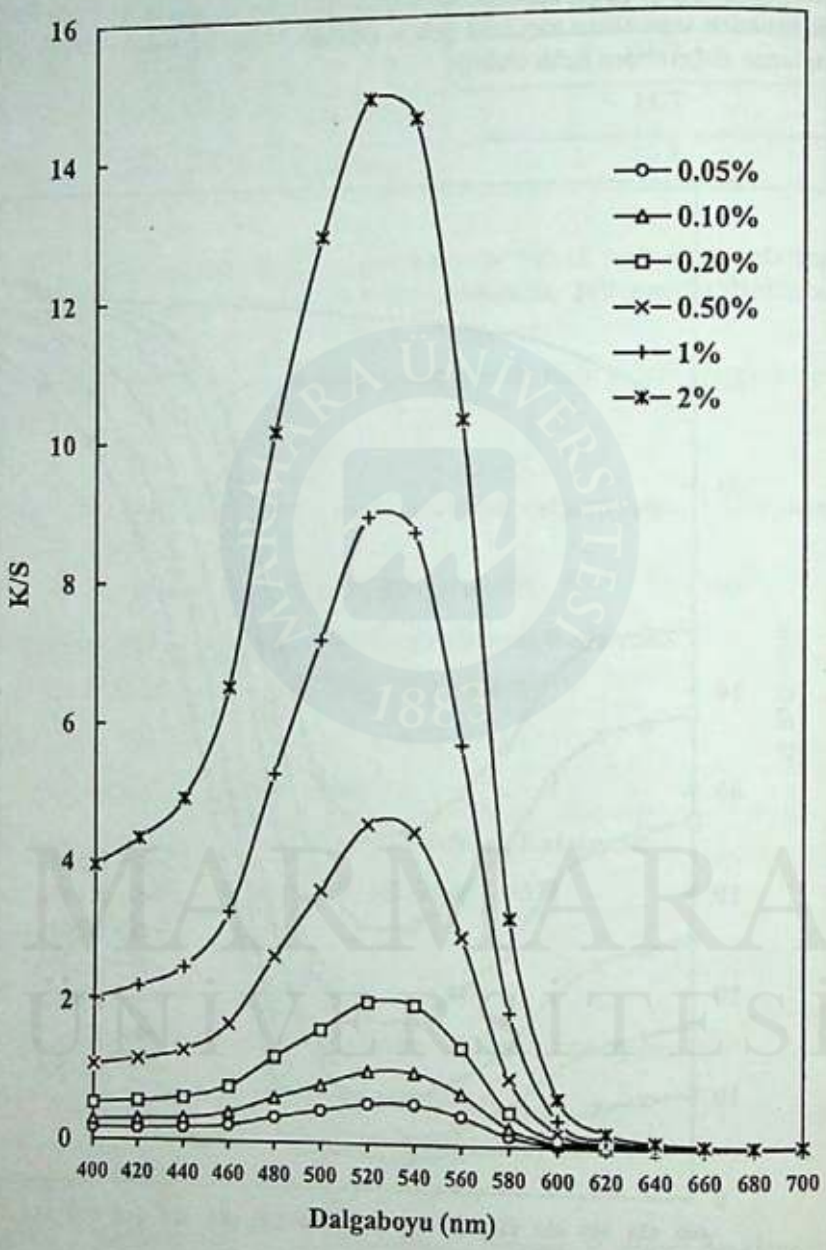
Denklemin kökleri: 25.9222 ve 0.0386 olarak bulunur. R değeri denklemlerde "fraksiyon" cinsinden verildiği için elde edilen değerler %2592 ve %3.9 değerlerine karşılık gelecektir. %Reflektans değerleri 0-100 arasında olduğundan doğru değer % 3.9'dur.

b) Her bir boyarmaddenin Kubelka-Munk denklemine uyumlu olduğu varsayımı ile hesaplama yapılmıştır. Problemde, düşük ve yüksek konsantrasyonlarda elde edilen "kalibrasyon katsayıları" kullanıldığından ve bu durumda da Kubelka-Munk denkleminden sapmaların meydana gelme ihtimali bulunduğundan, gerçek değerler hesaplanan değerlerden farklı olabilir.



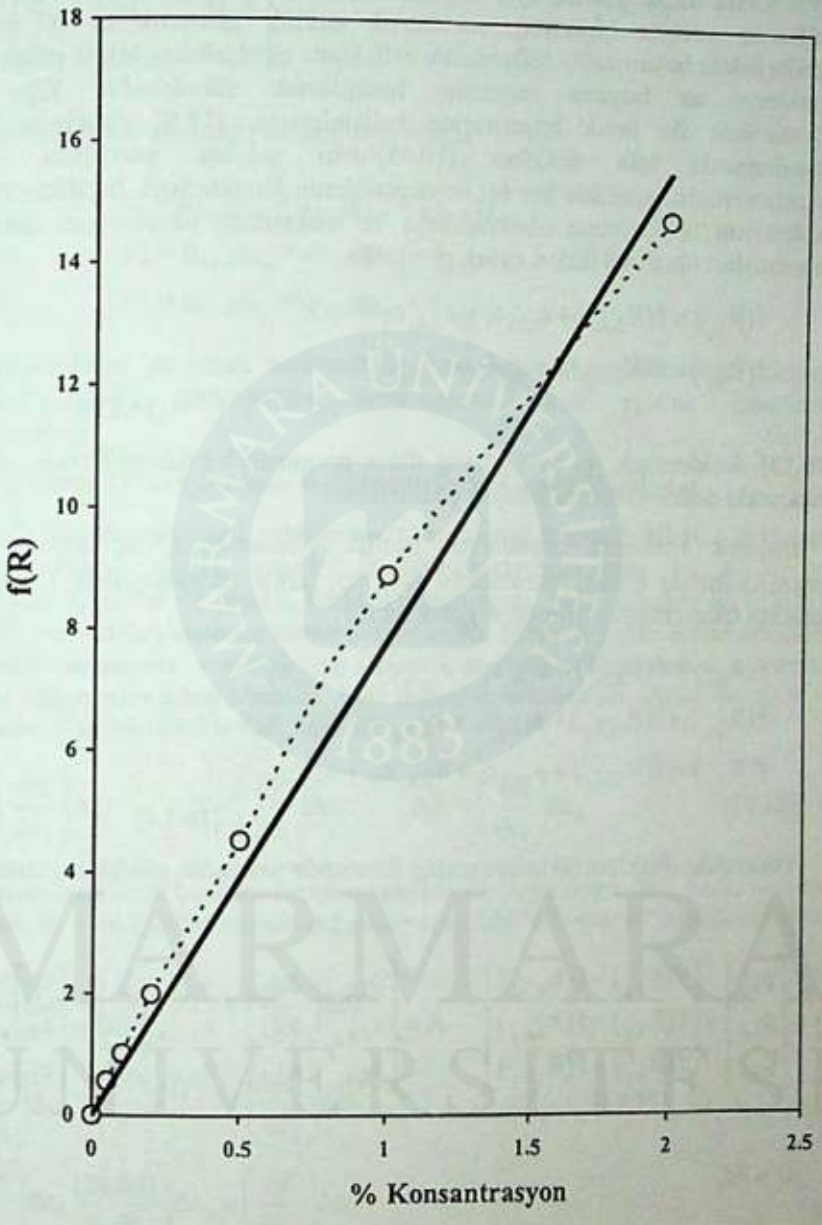
Şekil-10.3: Dalgaboyu-% reflektans grafikleri.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-10.4: Dalgaboyu – K/S grafiği.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil-10.5: Kalibrasyon grafiği, λ_{max}= 520 nm.

(.....) Deneysel , (___) Teorik

10.5 Reçete Hesaplama İşleminin Spektrofotometrik Yöntemle Yapılması

Aynı tekstil malzemesinin, aynı boyarmaddelerin, yardımcı maddelerin ve prosesin kullanımı yoluyla boyanmış, metamerik özellik göstermeyen iki numunenin üzerlerindeki boyarmadde miktarlarını reflektans eğrilerinden tespit etmek ve ikinci numuneye ait boyama reçetesini hesaplamak mümkündür. Eğer boyama işlemlerinde iki farklı boyarmadde kullanılmışsa, [10.9] denklemi iki farklı dalgaboyunda için denklem [10.13]'deki şekilde yazılabilir. Seçilecek dalgaboylarının, özellikle her bir boyarmaddenin karakteristik özelliklerini taşıyan, kalibrasyon denkleminin oluşturulduğu ve maksimum absorbansın elde edildiği dalgaboyları olmasına dikkat etmek gereklidir.

$$f(R_{\lambda_1}) = f(R_{S,\lambda_1}) + a_{1,\lambda_1} c_1 + a_{2,\lambda_1} c_2$$
$$f(R_{\lambda_2}) = f(R_{S,\lambda_2}) + a_{1,\lambda_2} c_1 + a_{2,\lambda_2} c_2 \qquad [10.13]$$

[10.13] denkleminde, c_1 ve c_2 hariç diğer parametreler bilinmektedir, dolayısıyla yukarıdaki denklem takımı kolayca çözülebilir.

Boyama işleminin, metamerik özellik göstermeyen üç boyarmadde ile gerçekleştirilmiş olması durumunda ise, üç farklı dalgaboyunda (λ_1,λ_2 ve λ_3) denklem takımlarının seçilmesine gerek vardır:

$$f(R_{\lambda_1}) = f(R_{S,\lambda_1}) + a_{1,\lambda_1} c_1 + a_{2,\lambda_1} c_2 + a_{3,\lambda_1} c_3$$
$$f(R_{\lambda_2}) = f(R_{S,\lambda_2}) + a_{1,\lambda_2} c_1 + a_{2,\lambda_2} c_2 + a_{3,\lambda_2} c_3$$
$$f(R_{\lambda_3}) = f(R_{S,\lambda_3}) + a_{1,\lambda_3} c_1 + a_{2,\lambda_3} c_2 + a_{3,\lambda_3} c_3 \qquad [10.14]$$

Yukarıdaki denklem takımları matris formunda yazılarak çözüm sağlanır:

$$G = \begin{bmatrix} g_{\lambda_1} \\ g_{\lambda_2} \\ g_{\lambda_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(R_{\lambda_1}) - f(R_{s,\lambda_1}) \\ f(R_{\lambda_2}) - f(R_{s,\lambda_2}) \\ f(R_{\lambda_3}) - f(R_{s,\lambda_3}) \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} a_{1,\lambda_1} & a_{2,\lambda_1} & a_{3,\lambda_1} \\ a_{1,\lambda_2} & a_{2,\lambda_2} & a_{3,\lambda_2} \\ a_{1,\lambda_3} & a_{2,\lambda_3} & a_{3,\lambda_3} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \qquad [10.15]$$

$$G = AC \qquad [10.16]$$

ve

$$C = A^{-1}G \qquad [10.17]$$

olacaktır. Eğer Q, A'nın ters matrisi ise,

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$Q = A^{-1} = \begin{bmatrix} q_{\lambda_1,1} + q_{\lambda_2,1} + q_{\lambda_3,1} \\ q_{\lambda_1,2} + q_{\lambda_2,2} + q_{\lambda_3,2} \\ q_{\lambda_1,3} + q_{\lambda_2,3} + q_{\lambda_3,3} \end{bmatrix} \qquad [10.18]$$

[10.17] denkleminden aşağıdaki sonucu elde ederiz:

$$\begin{aligned} c_1 &= q_{\lambda_1,1}g_{\lambda_1} + q_{\lambda_2,1}g_{\lambda_2} + q_{\lambda_3,1}g_{\lambda_3} \\ c_2 &= q_{\lambda_1,2}g_{\lambda_1} + q_{\lambda_2,2}g_{\lambda_2} + q_{\lambda_3,2}g_{\lambda_3} \\ c_3 &= q_{\lambda_1,3}g_{\lambda_1} + q_{\lambda_2,3}g_{\lambda_2} + q_{\lambda_3,3}g_{\lambda_3} \end{aligned} \qquad [10.19]$$

Yukarıdaki denklem bir hesap makinası ile hesaplanacak nitelikte olup, yalnızca metamerik özellik göstermeyen numunelerin renk eşleme işleminde kullanılmaktadır.

10.6 Reçete Hesaplama İşleminin Kolorimetrik Yöntemle Yapılması

Numuneler arasında metameri mevcutsa, renk eşleme işlemi Şekil-10.6'daki akış diyagramına uygun olarak yapılır. Başlangıçtaki hesaplama c_1, c_2 ve c_3 konsantrasyon değerleri ile yapılır, fakat istenilen sonuç elde edilemez ise (ΔX, ΔY ve$\Delta Z < 0.01$ olana kadar) başlangıç konsantrasyonlarında düzeltme yapılır. Boyarmaddelerin birinin konsantrasyonunda yapılacak Δc_1 kadarlık değişiklik, hesaplanacak tristimulus değerlerinin değişmesine sebep olacaktır. Eğer değişimlerin miktarları $\Delta X/\Delta c_1$ ise, X, Y ve Z'ki değişimler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\Delta X = \left(\frac{\partial X}{\partial c_1}\right)\Delta c_1 \qquad \Delta Y = \left(\frac{\partial Y}{\partial c_1}\right)\Delta c_1 \qquad \Delta X = \left(\frac{\partial Z}{\partial c_1}\right)\Delta c_1 \qquad [10.20]$$

Eğer üç boyarmaddenin konsantrasyonundaki küçük değişimleri (Δc_1, Δc_2 ve Δc_3) göz önüne alırsak, X, Y ve Z değerlerindeki değişimler aşağıdaki "etki matrisi" ile ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \Delta X &= \left(\frac{\partial X}{\partial c_1}\right)\Delta c_1 + \left(\frac{\partial X}{\partial c_2}\right)\Delta c_2 + \left(\frac{\partial X}{\partial c_3}\right)\Delta c_3 \\ \Delta Y &= \left(\frac{\partial Y}{\partial c_1}\right)\Delta c_1 + \left(\frac{\partial Y}{\partial c_2}\right)\Delta c_2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial c_3}\right)\Delta c_3 \\ \Delta Z &= \left(\frac{\partial Z}{\partial c_1}\right)\Delta c_1 + \left(\frac{\partial Z}{\partial c_2}\right)\Delta c_2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial c_3}\right)\Delta c_3 \end{aligned} \qquad [10.21]$$

Etki matrisinin tersi, c_1, c_2 ve c_3 miktarlarındaki düzeltmeleri vercektir:

$$\Delta c_1 = \left(\frac{\partial c_1}{\partial X}\right)\Delta X + \left(\frac{\partial c_1}{\partial Y}\right)\Delta Y + \left(\frac{\partial c_1}{\partial Z}\right)\Delta Z$$

$$\Delta c_2 = \left(\frac{\partial c_2}{\partial X}\right)\Delta X + \left(\frac{\partial c_2}{\partial Y}\right)\Delta Y + \left(\frac{\partial c_2}{\partial Z}\right)\Delta Z \qquad [10.22]$$

$$\Delta c_3 = \left(\frac{\partial c_3}{\partial X}\right)\Delta X + \left(\frac{\partial c_3}{\partial Y}\right)\Delta Y + \left(\frac{\partial c_3}{\partial Z}\right)\Delta Z$$

Dolayısıyla yeni düzeltilmiş reçete:

yeni c_1 = orijinal $c_1 + \Delta c_1$
yeni c_2 = orijinal $c_2 + \Delta c_2$
yeni c_3 = orijinal $c_3 + \Delta c_3$

olacaktır.

10.7 Reçete Hazırlama İşleminde Maliyet ve Metamerinin Azaltılması

Boyama reçetelerinin bilgisayar kullanımı ile hazırlanması işlemi, hesaplama işlemini hızlandırmasının yanında, düşük maliyet ve hedeflenen renge en az metameri ile ulaşılabilecek optimum reçeteyi elde etmemizi de sağlayacaktır.

Üç veya dört boyarmaddenin kullanımı ile elde edilebilecek treçete adedi (kombinasyon) aşağıdaki formülden tesbit edilebilir. Bununla birlikte, her kombinasyon mantıklı bir sonuç vermeyecektir (Listedeki üç mavi boyarmadde ile kırmızı bir rengi eşlemeye çalışmak gibi).

$$^{n}C_{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} \qquad [10.23]$$

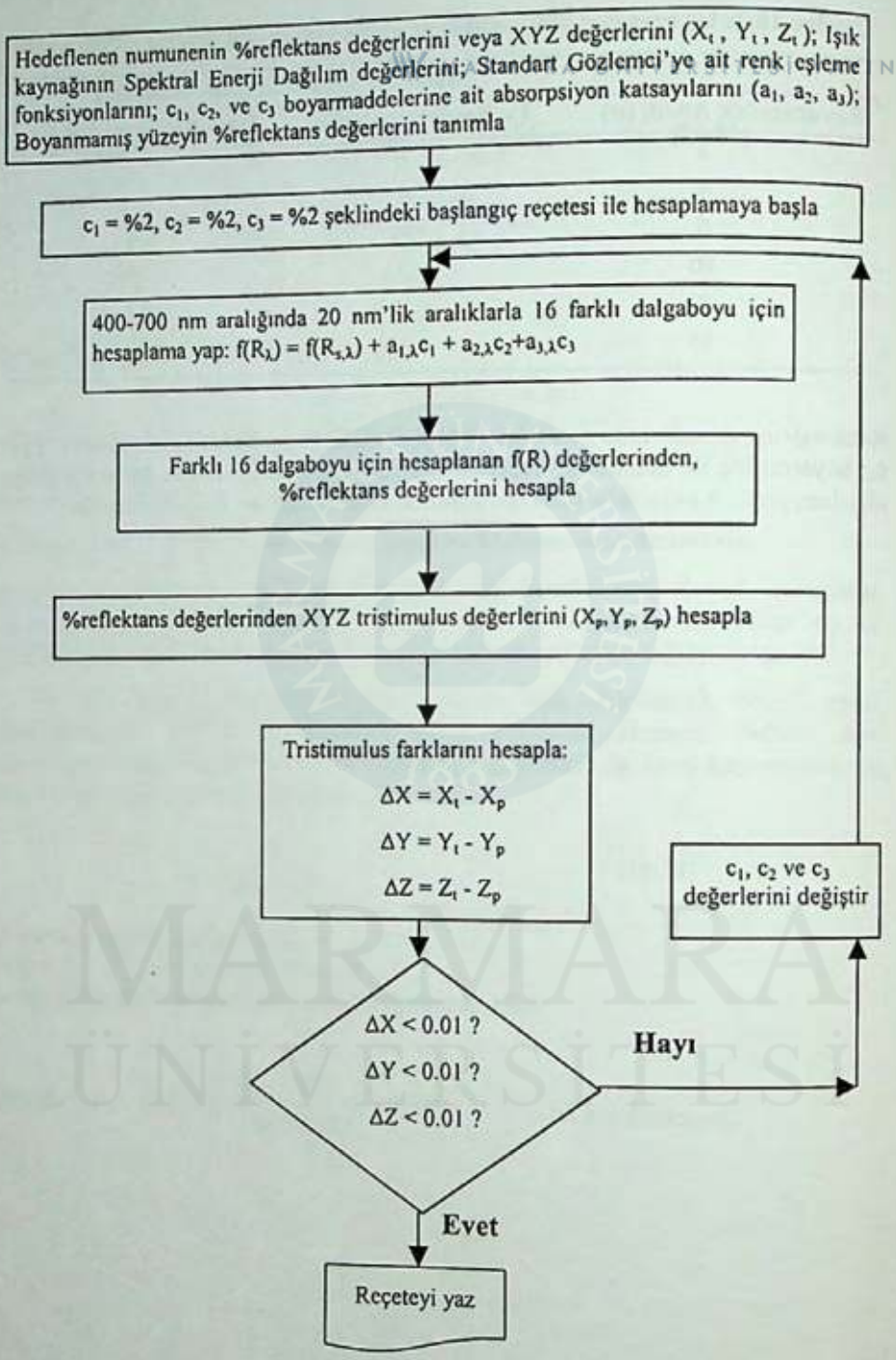
C: mevcut kombinasyon adedi,
n: listeden seçilen boyarmadde adedi
r: reçete hesabında kullanılabilecek boyarmadde adedi

Örnek: $^{20}C_{4} = \frac{20!}{4!(20-4!)} = 4{,}845$ adet kombinasyon.

Çizelge-10.2: Üç veya dört boyarmadde ile elde edilebilecek mevcut reçete adedi.

	Mümkün Kombinasyon Adedi (C)	
Boyarmadde Adedi (n)	Üç Boyarmadde İle	Dört Boyarmadde İle
3	1	0
4	4	1
6	20	15
10	120	210
20	1,140	4,845
30	4,060	27,405

Renk eşleme işlemlerinde genellikle 3 boyarmadde karışımı kullanılmaktadır. Eğer üç boyarmadde ile hesaplanan reçeteler ile yeterli derecede düşük bir metameriye ulaşılamıyorsa, 4 veya daha fazla boyarmadde kombinasyonu ile çalışılmalıdır.



Şekil-10.6: Kolorimetrik renk eşleme işlemine ait akış diyagramı.

10.8 Boyama Reçetesi Hesaplarını Etkileyen Faktörler

ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Bilgisayar kullanımıyla elde edilen reçetelerin, bunlara göre yapılan boyama işlemleri sonucunda istenilen renk eşleme işlemini gerçekleştirmekte başarısız olmalarının çeşitli sebepleri mevcuttur:

- Renk Eşleme Teorisinden Kaynaklananlar
  - Boya banyosundan kumaş üzerine çektirilen boyarmadde miktarı ve reflektans arasındaki bağıntının (korelasyonun) lineer (doğrusal) olmaması ve bu şekilde renk-eşleme teorisinin ihlal edilmesi
- Tekstil Materyalinden Kaynaklananlar
  - Elyaf Özellileri (Cinsi, temin edildiği yer, fiziksel özellikleri, vb.)
  - İplik Özellikleri (Yapısı, temin edildiği yer, rengi, iplik numarası, fiziksel özellikleri, vb.)
  - Kumaş Özellikleri (Yapısı, dokusu, temin edildiği yer, fiziksel özellikleri, vb.)
  - Ön Terbiye İşlemi (Hangi terbiye işlemlerine hangi koşullarda uğratıldığı, vb.)
  - Parti (Lot) Karakteristikleri (Lotlar arası değişimin mertebesi, vb.)
- Boyarmaddelerden Kaynaklananlar
  - Genel Özellikler (İsimleri, tedarik yerleri, kullanım miktarları, yapıları, saflıkları, nem miktarları, vb.)
  - Kimyasal Özellikleri (Çözünürlük, haslık, pH hassasiyetleri, vb.)
  - Boyarmaddeler arasındaki etkileşimin bulunması, boyarmadde çekimlerinin tek başlarına ve beraberce uygulandıklarında farklı olmaları, vb.
- Yardımcı Kimyasal Maddelerden Kaynaklananlar
  - Genel Özellikleri (İsimleri, tedarik yerleri, miktarları, saflıkları, fiziksel ve kimyasal özellikleri, vb)
- Boyahane Donanımından Kaynaklananlar
  - Kontrol Üniteleri (Yazılım, donanım özellikleri, vb.)
  - Kimyasal Madde Mutfak Donanımı
  - Depolama Tankları (Adet, kapasite, vb.)
  - Boyama Makinaları İle Bağlantılar (Pompalar, borular, bunların temizliği, vb.)
  - Tartım Üniteleri (Mevcudiyet, kalibrasyonları, hassasiyetleri, vb.)
  - Boyama Makinaları (Üretici firma, makina modeli, adet, kapasite, temizlik, kontrol edilebilirlik, malzeme taşıma ve aktarma donanımları, vb.)
- Muayene Teçhizatından Kaynaklananlar
  - Spektrofotometre (Mevcudiyeti, kalibrasyonu, vb.)
  - Renk Kabini (Mevcudiyeti, vb.)
  - Haslık Testleri Cihazları (Mevcudiyeti, vb.)
- Boyama Prosesinden Kaynaklananlar
  - İş sırası, prosedürlerin mevcudiyeti, nasıl kontrol edildiği, vb.
- Boyama Banyosunun Hazırlanması Prosesinden Kaynaklananlar

- Tartım İşlemi (Tartım operatörünün eğitimi, tartım işleminin nasıl yapıldığı, tartım teçhizatı, laboratuvar formülleri, reçete düzeltme işlemi, vb.)

- Boyama Sırasındaki Muayeneden Kaynaklananlar (Numune alma işlemi, kontrolör, boyarmadde çözeltisindeki ölçümler, çevre şartları, aydınlatma, toleranslar, vb.)
- Boyama Sonrasındaki Muayene İşleminden Kaynaklananlar (Haslık testlerinin yapılıp yapılmadığı, vb.)
- Personele Ait Faktörlerden Kaynaklananlar
  - Muayeneyi Yapan Personel (Göz kusuru olup olmadığı, yaşı, eğitimi, deneyimi, vb.)
  - Boya Mutfağı Operatörü (Eğitimi, diğer personel ile iletişimi, vb.)
  - Kontrol Ünitesi Operatörü (Eğitimi, deneyimi, diğer operatörler ile iletişimi, vb.)
  - Boyama Vardiya Operatörü (Eğitimi, deneyimi, vb.)
- Yardımcı Hizmetlerden Kaynaklananlar (Zamanlama, prosedürlerin mevcudiyeti, toleranslar, vb.)
- Yardımcı Ünitelerden Kaynaklananlar
  - Su Kalitesi (Su analizleri, vb.)
  - Ortam Koşulları (Klima ortamı, havalandırma, kontaminantlar, nem, sıcaklık, vb.)
- Kontrollerden Kaynaklananlar
  - Sirkülasyon işlemi, durulama işlemi, boşaltma zamanları, vb.
  - Mekanik işlemler
  - Karıştırma işlemi
  - Kumaş dönüş hızı
  - Yıkama çevrimlerinin adedi
  - Donanımın temizliği
  - Banyo nisbeti (Kumaş miktarı, dolum seviyesi, su miktarı, vb.)
  - Sıcaklık (Durulama ve soğutma hızları, vb.)
  - Banyo sirkülasyon hızı
  - Kimyasal Madde İlavesi (Zamanı, miktarı, hızı, vb.)
  - Boyarmaddelerin İlaveleri (Miktarları, dozajlama zamanları, dozajlama hızları, vb.)

Yukarıdaki faktörler göz önüne alındığında, eşlemeye çalıştığımız renklere ait "renk farklılığını" ortaya çıkaracak pek çok unsurun mevcut olduğunu görmekteyiz. Başarılı bir renk eşleme işlemi için bu unsurların her biri dikkate alınmalı ve kontrol altında tutulmalıdır.

11.FLÜORESANS ÖZELLİĞE SAHİP MATERYALLERDE RENK ÖLÇÜMÜ

11.1 Giriş

Günümüzde flüoresans materyallerin kullanımında önemli bir artış mevcut olup, bu materyaller genellikle emniyet/uyarı amaçlı kullanılan ceketlerde ve eşyalarda (polis ceketi, itfaiye elbisesi, bisiklet sürücüsünün beline bağladığı şerit, vb.), yol uyarı levhalarında, tehlike potansiyelinin olduğu yerlerdeki levhalarda/posterlerde, matbaa endüstrisinde uyarı levhalarının hazırlandığı mürekkeplerde yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadırler. Dolayısıyle bu maddeler ile kaplı yüzeylerin ölçümünde kullanılan metodların belirlenmesi önem taşımaktadır. Flüoresans, fotolüminesans olayının bir çeşidi olup, görünür bölgede veya u.v (mor ötesi) bölgede absorplama yapan bir materyalin yaydığı ışık olarak tanımlanabilir. Yayılan ışık, genellikle flüoresanslığı başlatan radyasyondan daha uzun dalga boylarından oluşmaktadır. Mat flüoresans yüzeylerdeki emisyon, materyalden yansıyan radyasyonu da içermektedir. Genellikle flüoresans özelliğe sahip materyalleri iki temel gruba ayırmamız mümkündür:

- Optik ağartıcı (flüoresans özellik gösteren beyazlatma maddesi, FWA) içeren materyaller ve
- Renkli flüoresans özelliğe olan pigment veya boyarmaddeler ile boyanmış materyaller.

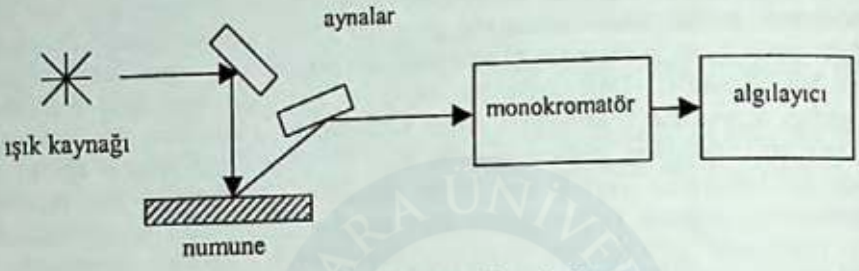
Optik ağartıcılar, kağıt, tekstil, plastik, boya, sabun ve deterjan endüstrilerinde yaygın olarak kullanılırlar. Bir optik ağartıcı (flüoresans beyazlatma maddesi), spektrumun mor ötesi ve mor bölgelerin radyasyonu absorblar ve radyasyonu görünür bölgede mavi ışığa dönüştürür. Deterjanların içerisine katıldıklarında, optik ağartıcılar kumaşın gri veya sarı renkli görünmesine karşı bir faaliyette bulunurlar. Beyaz renkli materyallerin üretiminde optik ağartıcılar, "mavimsi" bir beyaz renk elde edebilmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, genel amaçlarının yanında, tekstil boyamacılığında kumaşa yeni bir "renkli efekt" verebilmek üzere flüoresans özellikteki boyarmaddeler, flüoresans özelliği olmayan boyarmaddeler ile karıştırılarak da kullanılmaktadırlar.

Flüoresans özelliğe sahip mat yüzeyli (ışığı geçirmeyen) materyallerin kalite kontrol amaçlı renk ölçümleri yapılmak istendiğinde ve konvansiyonel renk ölçüm metodlarının kullanılması durumunda problemler ortaya çıkmaktadır ve bu ölçümlerin doğru olarak yapılabilmesi ancak spektroflüorimetrik metodların kullanımı ile mümkün olmaktadır. Spektrofotometrik tekniklerde yapılacak değişikliklerle de ölçülen değerlerin düzeltilmesi mümkün olabilmektedir.

11.2 Konvansiyonel Ölçüm Tekniklerindeki Problemler

Renk ölçümü işleminde genellikle spektrofotometreler veya fotoelektrik kolorimetreler kullanılmaktadır. Flüoresans özellik gösteren bir materyalin renk ölçümünde, numune Şekil-11.1'de gösterildiği gibi polikromatik olarak aydınlatılmalı, monokromatör veya kolorimetrenin ölçüm filtresi test örneği ile algılayıcı arasına konmalıdır. Bir u.v.-görünür bölge spektrofotometresindeki klasik düzenleme ile, başka bir değişle monokromatörün ışık kaynağı ile numune arasında

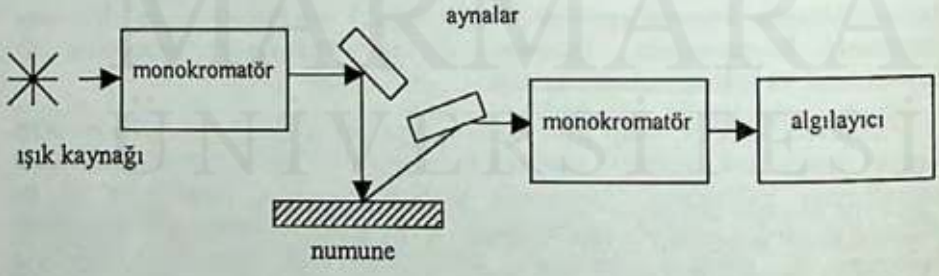
bulunması durumunda elde edilen değerler, flüoresans özellik gösteren malzemelerin ölçümünde kullanılırsa, bu değerler direkt olarak renk ölçüm hesaplamalarında kullanılamaz. Bu düzenlemede ölçülen değerler, test örneğinin "toplam spektral radyans faktörü" değerleri, $\beta_T(\lambda)$ olarak bilinir ve eğer ölçüm CIE D_{65} İlluminantı kullanılarak gerçekleştirilmişse renk spesifikasyonu hesaplamalarında kullanılabilirler.



Şekil-11.1: Polikromatik aydınlatma.

11.3 Spektroflüorimetrik Metodlar

Flüoresans özellik gösteren bir materyalin renk ölçümünde, elde edilen değerlerin ışık kaynağından bağımsız olması isteniyorsa bir "spektroflüorimetre" veya bir "flüoresans spektrofotometresi" kullanılmalıdır. Bu cihaz esasen, bir ışık kaynağı, iki monokromatör ve bir algılayıcıdan (detektör) oluşmaktadır ve numune iki monokromatörün arasında yer almaktadır (Şekil-11.2). Burada iki ayrı monokromatör kullanıldığından, numune monokromatik ışık hüzmesi ile aydınlatılmakta ve bunun sonucu olan yansıma ve flüoresans ışıma ikinci monokromator yardımıyla analiz edilmektedir.



Şekil-11.2: Monokromatik aydınlatma.

Flüoresans özelliğe sahip olmayan bir numunenin reflektans eğrileri, ister monokromatik isterse polikromatik aydınlatma yoluyla ölçülmüş olsun birbirine benzer şekildedir. Bununla beraber, flüoresans özelliğe sahip bir numunenin ölçümü

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

monokromatik aydınlatma yoluyla yapılırsa, elde edilen reflektans eğrisi doğru olmayacak ve numunenin gerçek rengini temsil etmeyecektir.

Şekil-3'de flüoresans özellik gösteren kırmızı bir boyarmadde ile boyanmış numunenin monokromatik ve polikromatik aydınlatma koşullarında ölçülmüş reflektans eğrileri gösterilmiştir. Monokromatik aydınlatma koşullarını göz önüne aldığımızda, eğer numune örneğin 500 nm dalgaboyuna sahip monokromatik ışık hüzmesi ile aydınaltılıyorsa ve bu da flüoresans olayını başlatıyorsa, bu ışığın bir kısmı yansıtılarak cihazın fotodetektörü tarafından algılanacak, fakat bir kısmı flüoresans radyasyona dönüştürülecek ve daha uzun dalga boylarında yeniden emisyona uğratılacaktır. Bu cihaz, 500 nm dalga boyundaki numunenin gerçek reflektans değerini ve daha uzun dalga boylarında flüoresans emisyonun her ikisini de kaydederek 500 nm dalga boyunda yüksek bir değer verecektir. Bunun yanında, daha uzun bir dalga boyunda, örneğin, flüoresans emisyonun gerçekleştiği 650 nm.'de, eğer numune flüoresans olayını başlatmayacak olan 650 nm'lik monokromatik ışık hüzmesi ile aydınlatılıyorsa, flüoresans olayı meydana gelmeyecek ve 650 nm'de ölçülen reflektans değeri çok düşük olarak kaydedilecektir.

Polikromatik aydınlatma tekniğini göz önüne alırsak, numunenin aydınlatıldığı ışığın tüm dalga boylarını içermesinden dolayı flüoresans olayı doğru bir şekilde meydana gelir. Eğer cihaz 500 nm'ye ayarlanmışsa, cihazın detektörü tarafından algılanacak olan yalnızca bu dalga boyundaki ışıktır. 500 nm'de hiç flüoresans emisyonu olmadığından, bu dalga boyunda materyalin gerçek reflektans değeri kaydedilmil olacaktır. Bununla beraber, cihaz 650 nm'ye ayarlanırsa, kaydedilen reflektans değeri, hem numune tarafından yapılan reflektans hem de flüoresans emisyonunun toplamına eşit olacaktır. Polikromatik aydınlatma ile bu şekilde gerçekleştirilen eğri, reflektans değerini ve flüoresans emisyona ait komponenti içerdiğinden bu eğirinin "reflektans eğrisi" olarak adlandırılması doğru olmayacatır. Bu şekildeki eğri, "Spektral Radyans Faktörü, SRF" olarak adlandırılmaktadır. SRF, β_T sembolü ile gösterilir, fraksiyon olarak veya % ile ifade edilir.

Polikromatik aydınlatma altında, SRF, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\beta_T = \beta_R + \beta_F \qquad [11.1]$$

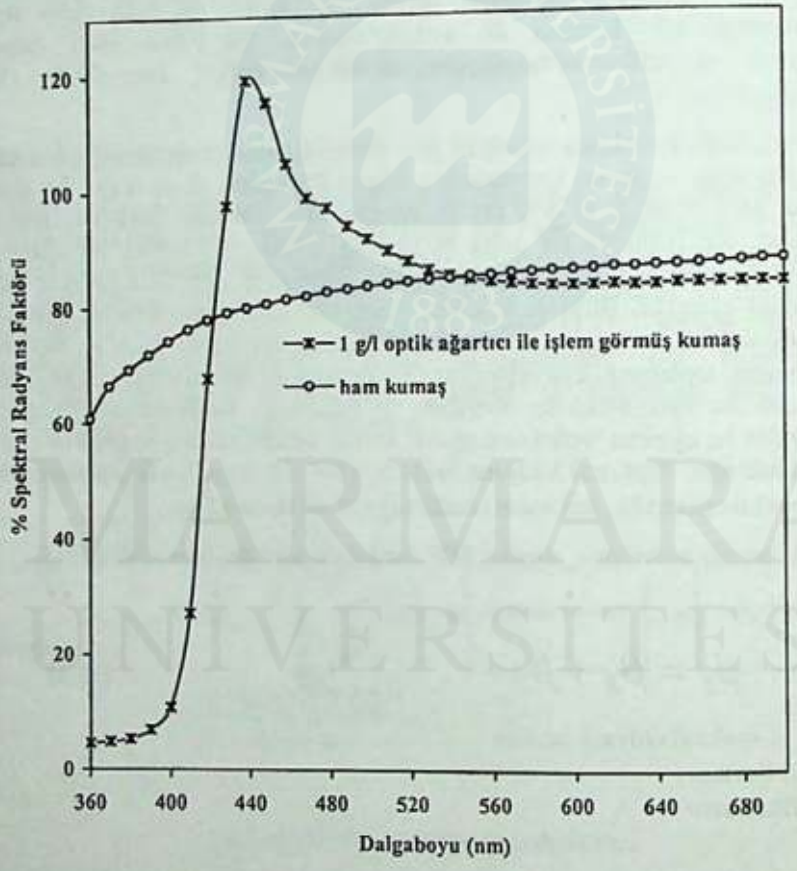
β_T : % spektral radyans faktörü
β_R : reflektans
β_F : flüoresans

Bu tekniğin kullanımı ile elde edilen sonuçlar, aynı dalga boyunda hem absorplama hem de flüoresans olayından dolayı az da olsa hata içermektedir.

Flüoresans emisyon, aydınlatma kaynağının spektral enerji dağılımına bağımlı olduğundan, spektrofotometrede gün ışığına yakın bir ışık kaynağı (örneğin, xenon lambası) ve mümkün olan en küçük "numune ölçüm alanı" kullanılmalıdır.

Şekil-11.3'de optik ağartıcı ile işlem görmüş bir kumaşın SRF eğrisi gösterilmiştir. Flüoresans emisyonun olmadığı spektrumun mavi bölgesinde, her bir boyamaya ait reflektans, boyarmadde konsantrasyonu arttıkça azalmaktadır. Bununla beraber, flüoresans emisyonun olduğu spektrumun sarı bölgesinde, SRF değerleri önce boyarmadde konsantrasyonu arttıkça maksimum bir noktaya gelir, daha sonra boyarmadde konsantrasyonunun artması ile azalır. Spektrumun mavi bölgesinde, boyarmadde normal bir davranış gösterir ve SRF değerleri f(R) değerlerine dönüştürülebilir. Spektrumun flüoresans emisyonun olduğu bölgesinde ise boyarmaddenin davranışı beklenilen şekilde değildir ve burada iki problem mevcuttur:

SRF artar ve daha sonra boyarmadde konsantrasyonu artıkça azalır ve SRF, %100'ün üzerine çıktığından Kubelka-Munk fonksiyonu kullanılamaz.



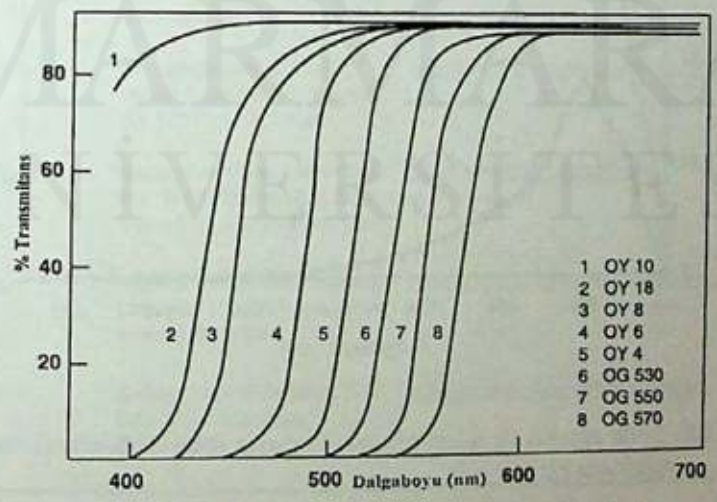
Şekil-11.3: Optik ağartıcı ile işlem görmüş kumaşın SRF eğrisi.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Hesaplamalarda flüoresans etkinin ortadan kaldırılmasında özel filtreler kullanılabilir. Filtreler, spektrofotometrenin ölçüm kısmında numunelerin önüne veya ışık kaynağının önüne konmak suretiyle kullanılabilir.

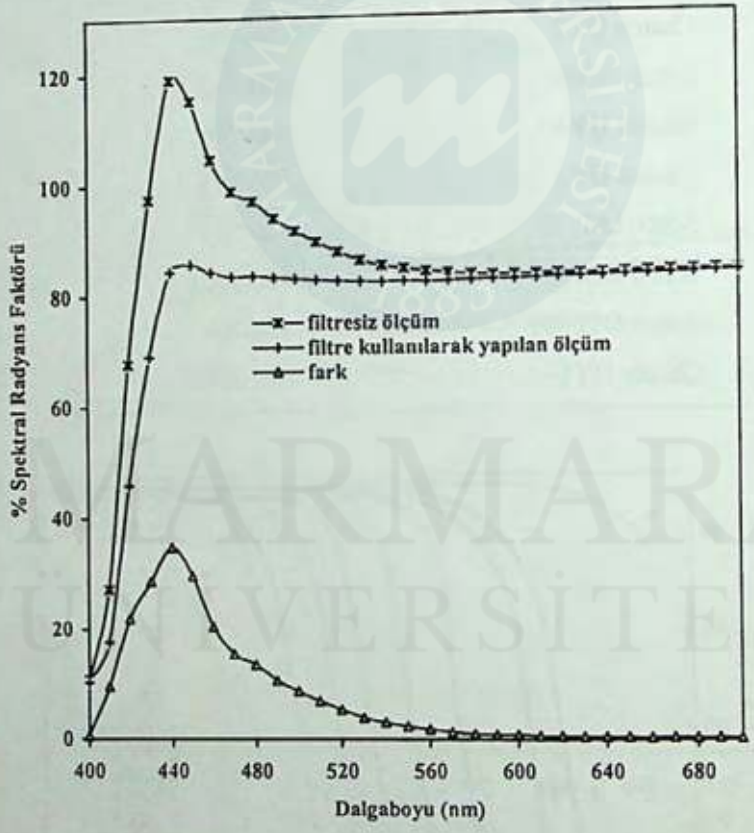
Çizelge- 11.1: Çeşitli filtreler ve kullanıldıkları dalga boyları.

Filtre	> %50 transmitans/nm aralığındaki dalga boyu
Chance OY10	390-700
Schott FG10	420-700
Chance OY18	440-700
Chance OY8	470-700
Chance OY6	500-700
Schott GG495	510-700
Chance OY4	520-700
Chance OY3	530-700
Schott OG530	540-700
Schott OG550	560-700
Schott OY570	590-700
Chance OY1	600-700



Şekil-11.4: Bazı filtrelerin transmisyon ölçümleri.

Flüoresans özellik gösteren materyallerin filtreler yardımıyla ölçümünde, önce xenon ışık kaynağı altında filtre kullanılmadan SRF değerleri ölçülür. Flüoresans emisyonu başlatan dalgaboylarını ortadan kaldırmak için, numune ve ışık kaynağı arasına filtreler, 700 nm'den başlamak suretiyle, filtre transmisyonu %50'ye düşüne kadar sırasıyla yerleştirilir. Şekil-11.5'deki gibi eğriler elde edilir. Her bir dalga boyunda filtrelenmiş ve filtrelenmemiş ışığa ait değer flüoresanslığı (β_F) belirler. Eğer kullanılan spektrofotometrenin ışık kaynağı "ölçüm küresi"nin içinde ise, filtre ışık kaynağının önüne yerleştirilemez ve burada başka bir tekniğin kullanılması gerekir. Böyle bir durumda, filtr direkt olarak ölçümü yapılacak numunenin üzerine yerleştirilir. Işık filtre içerisinden geçerek flüoresans eksitasyonunu engeller. Yansıyan ışık ikinci kez yeniden filtrenin içerisinden geçerek ölçüm küresinin içerisinde ölçülür. Böylece, filtrelerin yansıtma ve transmisyon özellikleri spektrofotometre tarafından kaydedilen reflektansı etkiler.



Şekil-11.5: Optik ağartıcı ile işlem görmüş kumaşın filtre kullanılarak ölçülmüş reflektans eğrisi.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

12. RENK ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN DONANIM VE YAZILIMLAR

12.1 Giriş

Bir işletmede "renk ölçümü ve reçete hazırlama sistemi"nin olmaması, mevcudiyeti durumunda ise sistemin yetersizliği (yeteneklerinin kısıtlı olması) veya hatalı kullanımı, işletmeyi önemli ölçüde zarara uğratacaktır. Renk ölçüm sistemlerinin alım ve bakım maliyetleri yüksek olup, renk ölçümüne ait teorik bilgiler ile donatılmış ve kullandığı donanım/yazılım özelliklerini iyi bilen personel tarafından kullanılmalıdır. Yüksek maliyetlerine karşılık, verimli ve etkili kullanımları durumunda aşağıda belirtilen, yalnızca renk eşleme işlemine dayalı "hatalı boyama"dan kaynaklanan kalitesizlik maliyetlerini azaltacağından veya tümüyle ortadan kaldıracağından dolayı tercih edilmelidirler:

- Doğru rengin eşlenememesinden kaynaklanan tekrar boyama ve üretim kayıpları
- Üretim, kalite kontrol, vb. aşamalardaki işçilik kayıpları ve
- Hatalı boyamadan kaynaklanan malzeme (tekstil materyali, boyarmadde, yardımcı maddeler, vb.) kayıpları ve bunlara ait maliyetler.

Bir renk ölçümü sistemi genellikle iki temel komponenti içerir; "spektrofotometre ve bu spektroftometrenin bağlı olduğu bir mikroişlemci" ve hesaplamaların ve sunumun gerçekleştirildiği bir "yazılım" (bilgisayar programı). Tekstil işlemlerinde kullanılan renk ölçüm sistemlerini üreten ve dünya pazarında önemli bir paya sahip firmaların adresleri Çizelge-12.1'de verilmiştir.

Çizelge-12.1: Renk ölçüm sistemlerini üreten firmalar.

Firma Adı	Firma Adresi	İnternet Adresi
Datacolor	Datacolor International, Brandbachstrasse 10, CH-8305 Dietlikon, SWITZERLAND	http://www.datacolor.com/home.htm
GretagMacbeth	GretagMacbeth, 617 Little Britain Road, New Windsor, NY 12553-6148, USA	http://www.gretagmacbeth.com/Source/Gm.asp
HunterLab	Hunter Associates Laboratory, Inc., 11491 Sunset Hills Road, Reston, VA 20190-5280, USA	http://www.hunterlab.com/
Minolta	Minolta, Instrument Systems Division, 101 Williams Drive, Ramsey, NJ 07446, USA	http://www.minoltaspectrophotometers.com/
X-Rite	X-Rite, 3100 44th Street S.W. Grandville, Michigan, 49418 USA	http://www.xrite.com/homepage.asp

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

12.2 Donanım Özellikleri

Spektrofotometreleri kullanımlarına göre, el tipi (portatif) ve masaüstü cihazlar olmak üzere iki kategoride değerlendirebiliriz. Bazı el tipi ve masaüstü spektrofotometrelerin özellikleri Çizelge-12.2 ve Çizelge-12.3'de verilmiştir.

Çizelge-12.2: Portatif (El Tipi) Spektrofotometrelerin Özellikleri.

	El Tipi Spektrofotometreler			
Üretici Firma	**Datacolor**	**GretagMacbeth**	**Minolta**	**X-Rite**
Model	**Mercury 1000**	**ColorEye XTH**	**CM-2600d**	**SP64**
Teknik Özellikler				
Ölçüm Prensibi	Çift hüzmeli	Çift hüzmeli	Çift hüzmeli	Çift hüzmeli
Işık Kaynağı	Xenon	Xenon		Tungsten
Lamba Ömrü (flaş adedi)		> 3,000,000		500,000
Boyut (cm)	9.7x9.5x24.6	19.5x8x7	69x96x193	10.9x8.4x19.6
Ağırlık (g)	1,000	810	670	1,100
Ölçüm Geometrisi	d/8°	d/8°	d/8°	d/8°
Spektral Aralık(nm)	360-750	360-750	360-740	400-700
ÖlçümAlanları(mm)	2.5, 6.5, 11	2, 5	3, 8	4, 8, 14
Ölçüm Aralığı	%0-200 reflektans	%0-200 reflektans	%0-175 reflektans	%0-200 reflektans
Tekrarlanabilirlik,ΔE	0.03 CIELab	0.05 CIELab	0.04 CIELab	0.05 CIELab
Hassasiyet, ΔE	0.15 CIELab	0.15 CIELab		0.13 CIELab
Güç Kaynağı	Lityum İon	Nikel Metal-hidrit	Alkali-Mangan	Nikel Metal-hidrit
Arayüz	RS232	RS232	RS232	RS232
Monokromator Tipi	Konkav holografik optik ağ	Optik ağ		
Detektör Tipi	Çift 256 elemanlı diyod		Çift 40 elemanlı silikon fotodiyod	Silikon fotodiyod
Gösterge Tipi	160x160 pixel LCD	LCD		128x256 pixel LCD
Ölçüm Süresi (s)	< 2.5	1	3	2
Fonksiyonel Özellikler				
Veri Depolama	100 ölçüm	400 ölçüm	700 ölçüm	2,000 ölçüm
İlluminantlar	A, C, F2, D_{50}, D_{65}, D_{75}, TL84, U3000,	A, C, F2, F7, F11, TL83, TL84,TL85, D_{50}, D_{55}, D_{65}, D_{75}, U30	A, C, F2, F6, F7, F8, F10, F11,F12, D_{50}, D_{65}	A, C, F2, F7, F11, F12, D_{50}, D_{65}, D_{75}
Gözlemciler	2°, 10°	2°, 10°	2°, 10°	2°, 10°
Renk Farklılıkları ve Toleranslar		CIE 94 CMC XYZ, xy, CIELCH, FMC-II, CIELAB, Lab	CIELab,CMC, CIE94,HunterLab, Yxy,Munsell, XYZ,MI,WI, YI	CIE XYZ, CIE Yxy, CIELab,HunterLab, CIE LCH, CMC, CIE94,WI,YI, MI

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çizelge-12.3: Masaüstü tipteki spektrofotometrelerin özellikleri.

Üretici Firma	Masaüstü Spektrofotometreler		
	Datacolor	GretagMacbeth	Minolta
Model	Spectraflash 600 Plus CT	ColorEye 7000A	CM-3700d
Teknik Özellikler			
Ölçüm Prensibi	Çift hüzmeli	Çift hüzmeli	
Işık Kaynağı	Xenon	Xenon	Xenon
Boyut (cm)	37x29x47	39x28x71	27x26x50
Ağırlık (kg)	14		18
Ölçüm Geometrisi	d/8°	d/8°	d/8°
Spektral Aralık(nm)	360-700	360-750	380-740
ÖlçümAlanları(mm)	2.5, 5, 16, 26	0.3, 0.75,1:5,2.5	3, 5,11, 25
Ölçüm Aralığı	%0-200 reflektans	%0-200 reflektans	%0-200 reflektans
Tekrarlanabilirlik,ΔE	0.01 CIELab	0.01 CIELab	0.01 CIELab
Hassasiyet, ΔE	0.1 CIELab	0.08 CIELab	
Arayüz	RS232	RS232	RS232
Monokromator Tipi	Holografik optik ağ	Optik ağ	
Detektör Tipi	Çift 128 elemanlı diyod		Silikon fotodiyod
Ölçüm Süresi (s)	< 4	< 1	< 0.8
Transmisyon Ölçümü	Evet		Evet
Diğer	UV Kontrol		

12.3 Yazılım Özellikleri

Yukarıdaki çizelgelerde tanıtılan spektrofotometreler ile birlikte renk ölçümü, kalite kontrol ve reçete hesabı işlemlerinde kullanılan yazılımlardan bazıları Çizelge-12.4 ve Çizelge-12.5'de verilmiştir.

Çizelge-12.4: Renk ölçümü ve kalite kontrolu için kullanılan yazılımlar.

Üretici Firma	Yazılımın Adı	Bazı Özellikleri
Datacolor	ColorTools® QC	- Pass/Fail kriteri - Veri paylaşımı - Rapor tasarımı - Program veri giriş ve çıkış ekranlarının isteğe bağlı düzenlenmesi - Veri tabanında yeni veri alanlarının yaratılması - Windows tabanlı Paradox veritabanı ve istendiğinde verilerin ASCII dosyaları olarak transferi - 2-D ve 3-D grafikler
GretagMacbeth	Optiview® QC	- Pass/Fail kriteri - Lisan Editörü - Rapor tasarımı ve 3-D grafik - İstatistik analiz - Veri paylaşımı ve e-posta ile komünikasyon - Microsoft Access veri tabanı formatı
HunterLab	Universal® Software	- Kolay kullanım - Microsoft programları ile uyum
Minolta	SpectraMagic®	- Microsoft Access uyumlu format - Verilerin korunması için parola girişi - Pass/Fail kriteri - Ekran bilgilerinin isteğe bağlı düzenlenmesi
X-Rite	QA-Master® 2000	- Windows tabanlı - Kullanıcıya özgün rapor ve ekran tasarımları - Veri transferi, MS Exel ile uyum

Çizelge-12.5: Boyama reçetesi hesabı için kullanılan yazılımlar.

Üretici Firma	Yazılımın Adı
Datacolor	Datamatch®600
GretagMacbeth	ProPalette® Gold
HunterLab	EasyMatch®
X-Rite	Textile Master®

Bu bölümde bahsedilen donanım ve yazılım özellikleri hakkında detaylı ve güncel bilgi, üretici firmaların Çizelge-12.1'de verilen internet adreslerinden ve yurtiçi temsilciliklerinden temin edilebilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

KAYNAKLAR

Kitaplar

1. McDonald R (Ed.), *Colour Physics for Industry*, Second Ed., The Society of Dyers and Colourists, 1997.
2. Hunt R W G, *Measuring Colour*, 2nd. Ed., Ellis Horwood Ltd., 1991.
3. Duff D, Sinclair R, *Giles's Laboratory Course in Dyeing*, 4.Ed., The Society of Dyers and Colourists, 1989.
4. Agoston G A, Colour Theory and Its Application in Art and Design, 2nd. Ed., Springer-Verlag, 1987.
5. McLaren K, *The Colour Science of Dyes and Pigments*, 2nd Ed., Adam Hilger Ltd., 1986.
6. MacAdam D L, Colour Measurement: Theme and Variations, 2nd. Ed., Springer-Verlag, 1985.
7. Billmeyer F W Jr., Saltzman M, *Principles of Colour Technology*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 1981.
8. Wright W D, *The Measurement of Colour*, 4th Ed., Van Nostrand Reinhold Company,1969.
9. Committee on Colorimetry - Optical Society of America, *The Science of Color*, Thomas Y. Crowell Co., 1953.
10. Christ H A, *Colorimetry manual*, SANDOZ, 1985.
11. Brockes A, Strocka D, Berger-Schunn A, *Colour Measurement in the Textile Industry*, BAYER AG, 1987.
12. Zahn J, *Colour Measurement in the Textile Industry*, BAYER AG, 1971.
13. Sandoz Ltd., *Colorimetry*, SANDOZ Ltd., 1989.
14. Moors R G, Westerman, *Colour Measuring Instruments for Textiles*, Shirley Institute Pamphlet, No.106, 1971.
15. Gündüz T., *İnstrümental Analiz*, 2. Baskı, Bilge Yayıncılık, 1990.
16. Castellan G. W., *Physical Chemistry*, 3rd. Edition, Addison-Wesley Publ.Co., 1983.
17. Kuehni R, *Computer Color Matching - An Introduction*, Verona Dyestuffs, 1971.
18. Minolta Camera Co. Ltd. (Japan), *Precise Color Communication*, MINOLTA Camera Co. Ltd., 1993.
19. X-Rite Inc., *A Guide to Understanding Colour Communication*, X-Rite Inc., 1993.

20. X-Rite Inc., *A Guide to Understanding Colour Tolerancing*, X-Rite Inc., 1994.

Makaleler

21. Coats E and Rigg B, Explanatory paper on colour. I- An introduction to Tristimulus Calorimetry, *"JSDC, 81, No.11, p.469-477, 1965"*.

22. Coats E and Rigg B, Explanatory paper on modern theory. The measurement of colour. II- The CIE System, *"JSDC, 83, August, p.328-339, 1967"*.

23. Hunt R W G, Colour measurement, *"Rev.Prog. Coloration, 2, p.11-19, 1967-1970"*.

24. McLaren K, Colour-difference measurement, *"Rev.Prog.Coloration, 3, p.3-10, 1967-1971"*.

25. Guthrie J C, Moir J, The application of colour measurement, *"Rev.Prog.Coloration, 9, p.1-12, 1978"*.

26. Voke J, Significance of defective colour vision, *"Rev.Prog.Coloration, 13, p.1-9, 1983"*.

27. Patterson D, Colour measurement and its application, *"Rev.Prog.Coloration, 14, p.9-11, 1984"*.

28. Nobbs J H, Kubelka-Munk theory and the prediction of reflectance, *"Rev.Prog.Coloration, 15, p.66-75, 1985"*.

29. Ulshöfer H, Colorimetric evaluation of change in colour, *"JSDC, 102, No.10, p.307-308, 1986"*.

30. Best R, Coloring by numbers, *"Textile Horizons, 6, No.8, p.28-30, 1986"*.

31. Luo M R, Rigg B, A colour difference formula for surface colours under illuminant, *"JSDC, 103, No.4, p.161-166, 1987"*.

32. McKinnon R A, Method of measuring the colour of opaque fluorescent materials, *"Rev.Prog.Coloration, 17, p.56-60, 1987"*.

33. Moradian S, Rigg B, The quantification of metamerism, *"JSDC, 103, No.5/6, p.209-213, 1987"*.

34. Park J, The exploitation of colour physics technology in the textile industry. A study in technology transfer, *"JSDC, 103, No.2, p.81-85, 1987"*.

35. Baumann W, et al, Determination of relative colour strength and residual colour difference by means of reflectance measurements (testing method for the quality control of textile dyes), *"JSDC, 103, No.2, p.100-105, 1987"*.

36. Chong T F, Instrumental measurement and control of colour, *"Rev.Prog.Coloration, 18, p.47-55, 1988"*.

37. Brockes A, Computer Color Matching: A Review of its limitations, *"Textile Chemist and Colorist, May 1974, Vol.6, No.5, p.21-26"*.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

38. Park J, Shore J, Estimation of Dyes in Solution by Transmission Measurements, *"JSDC, 102, p.330-335, 1986"*.

39. Sarmadi A.M.,Conformity of Purified and Unpurified Basic Dyes to the Beer-Lambert Law, *"Textile Chemist and Colorist, 22, No.6, p.17-20, 1990"*.

40. Duff D.G., Giles C.H., The Effects of Association on the Beer's Law of Dye Solutions, *"JSDC, 1972, p.181-184"*.

41. Werthemann D. P., Spectrophotometric Analysis of Multicomponent Dye Solutions which do not obey Beer's Law, *"JSDC, 1976, 393-396"*.

42. Tull A. G., Some Practical Observation on the Spectrophotometry of Dyes and Aggregation Effects, *"JSDC, 1973, p.132-136"*.

Standartlar

- TS 7259, *Renk Tayini Metodları*, Mayıs 1989, Birinci Baskı, Türk Standardları Enstitüsü.
- TS 7166, *Renk Farkı Tayini - Gözle*, Mayıs 1989, Birinci Baskı, Türk Standardları Enstitüsü.
- TS 7165, *Renk Farkı Tayini - Cihazla*, Mayıs 1989, Birinci Baskı, Türk Standardları Enstitüsü.
- TS 7169, *Beyazlık, Sarılık ve Yeşillik İndeksi Tayini*, Mayıs 1989, Birinci Baskı, Türk Standardları Enstitüsü.
- TS 7170, *Referans Beyaz Yansıtma Standardlarının Hazırlanması*, Mayıs 1989, Birinci Baskı, Türk Standardları Enstitüsü.
- TS 423, *Tekstil Mamullerinin: Renk Haslığı Tayinlerinde Lekelemenin (Boya Akması) ve Solmanın (Renk Değişmesi) Değerlendirilmesi İçin Gri Skalaların Kullanılma Metodları*, Ekim 1983, Birinci Baskı, Türk Standardları Enstitüsü.
- ASTM E 308-66, *Recommended Practice for Spectrophotometry and Description of Colour In CIE 1931 System*, ASTM, 1966.
- ASTM E 259-66, *Recommended Practice for Preparation of Reference White Reflectance Standards*, ASTM, 1966.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ 1883

ISBN 975 - 400 - 230 - 4