

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RENK KÖRLÜĞÜNÜN  
TANISINA YÖNELİK  
YENİ BİR ARAYÜZ**

**DOKTORA TEZİ**

**Murat IŞIK**

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM MÜH.**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cemil ÖZ**

**Ocak 2017**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RENK KÖRLÜĞÜNÜN  
TANISINA YÖNELİK  
YENİ BİR ARAYÜZ**

**DOKTORA TEZİ**

**Murat IŞIK**

Enstitü Anabilim Dalı : **BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 10 / 01 /2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**



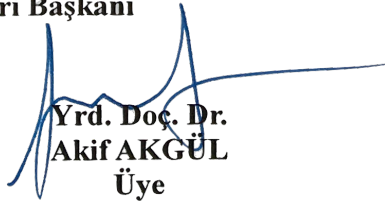
**Prof. Dr.  
Cemil ÖZ  
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.  
Cüneyt BAYILMIŞ  
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.  
Mustafa YAĞCI  
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.  
Akif AKGÜL  
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.  
İsmet KANDİLLİ  
Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Murat IŞIK

18.01.2017

## TEŞEKKÜR

Tezimin başlangıcından bitimine kadar her aşamasında sorunlarımı dinleyen, çalışmalarıma yön veren, değerli birikimlerini aktaran ve zamanını sorunlarımın çözümüne ayıran değerli tez danışmanım Prof. Dr. Cemil ÖZ 'e, tez ile ilgili araştırmaların yapılmasından, uygulamaların gerçekleştirilmesine ve tezin yazılmasına kadar yardımlarını ve birikimlerini esirgemeyen değerli arkadaşım Mustafa YAĞCI ve ailesine teőekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan, ben okurken her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Fatma ve babam Yafes 'e, çalışmalarımı sabır ile destekleyen ve her sıkıntıda yanımda olan eşim Sümevra 'ya ve kızım Fatıma 'ya ayrıca üzerimde emeği olan herkese teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET .....	ix
SUMMARY .....	x

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Tez Çalışmasının Motivasyonu.....	2
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Hedefleri .....	3
1.3. Tezin Organizasyonu .....	4

## BÖLÜM 2.

RENKLİ GÖRME VE RENK KÖRLÜĞÜ.....	6
2.1. Rengin Tarihçesi .....	6
2.2. Renkli Görme .....	8
2.3. Renk Körlüğü.....	9
2.4. Görülebilir Alan .....	14
2.5. Renk Uzayları ve Renk Alanı Karşılaştırılması .....	15
2.5.1. RGB renk uzayı .....	17
2.5.2. SRGB renk uzayı .....	18
2.5.4. AdobeRGB renk uzayı.....	19
2.5.5. ProPhotoRGB renk uzayı .....	19
2.5.6. WideGamutRGB renk uzayı.....	20

2.5.7. CMYK renk uzayı .....	21
2.5.8. Renk uzayı karşılaştırmaları .....	22
BÖLÜM 3.	
MEVCUT RENKLİ GÖRME TESTLERİ .....	27
3.1. Ishihara Renkli Görme Paletleri.....	27
3.2. Farnsworth Munsell'in 100 Hue Testi .....	30
3.3. D-15 Renk Sıralaması Testi (Dichotomous 15 Test).....	31
3.4. Anomaloskop .....	31
3.5. Holmgren Testi .....	32
3.6. Fanus Testi (Lantern Testi).....	33
BÖLÜM 4.	
LİTERATÜR TARAMASI VE ANKET ÇALIŞMASI .....	36
4.1. Literatürdeki Benzer Çalışmalar .....	36
4.2. Benzer Çalışmalar ile Alınan Patentler .....	38
4.3. Anket Çalışması .....	39
BÖLÜM 5.	
YENİ TESTİN TASRIMI VE UYGULANMASI.....	44
5.1. Yöntem ve Metot .....	44
5.1.1. Çalışma grubunun oluşturulması .....	44
5.1.3. Test geliştirme ekipmanları .....	46
5.1.4. Test sonuçlarının veri tabanında saklanması .....	47
5.1.5. Test ortam parametrelerinin belirlenmesi.....	47
5.2. Yeni Testin Uygulanması .....	47
5.2.1. Yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması (versiyon 1) .....	48
5.2.3. Yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması (versiyon 2) .....	49
5.2.4. Yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması (versiyon 3) .....	50
5.2.5. Yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması (Son versiyon) .....	54

BÖLÜM 6.	
SONUÇ ve TARTIŞMA.....	60
6.1. Test versiyonu 1 ile elde edilen bulgular .....	61
6.1.1. Test versiyonu 1 ile elde edilen sonuçların değerlendirmesi .....	62
6.2. Test versiyonu 2 ile elde edilen bulgular .....	62
6.2.1. Test versiyonu 2 ile elde edilen sonuçların değerlendirmesi .....	64
6.3. Test versiyonu 3 ile elde edilen bulgular .....	64
6.3.1. Test versiyonu 2 ile elde edilen sonuçların değerlendirmesi .....	66
6.4. Yeni test ile elde edilen bulgular ve değerlendirilmesi.....	67
6.4.1. Denek tanısının bulanık mantık ile gerçekleştirilmesi .....	77
6.5. Tartışma .....	79
6.6. İleriki Çalışmalar .....	80
KAYNAKLAR .....	81
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ .....	94

## **SİMGELER ve KISALTMALAR**

CIE	: Uluslar Arası Aydınlatma Komisyonu (International Commission on Illumination)
CMY	: Deniz mavisi, Morumsu pembe, Sarı (Cyan, Magenta, Yellow)
CMYK	: Deniz mavisi, Morumsu pembe, Sarı, Siyah (Cyan, Magenta, Yellow, Key (Black))
FM-100	: Farnsworth-Munsell 100 Hue renkli görme testinin göstermektedir.
ICC	: Uluslararası Renk Birliği (International Color Consortium)
IEC	: Nadir olarak CIE kısaltması yerine kullanılır
NTSC	: Ulusal Televizyon Standartları Komitesi (National Television System Committee)
RGB	: Kırmızı, Yeşil, Mavi (Red, Green, Blue)
SRGB	: Standart RGB (Standart RBG)
WWW	: İnternet Ortamı (Word Wide Web)

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Retina hücre yapısı.....	8
Şekil 2.2. Renkli görme bozukluklarının kalıtsal aktarımı .....	13
Şekil 2.3. Dünyada var olan tüm elektromanyetik spektrumlar .....	14
Şekil 2.4. Koni hücresi tayfsal duyarlılık.....	15
Şekil 2.5. 1931 CIE diyagramı .....	17
Şekil 2.6. SRGB renk alanı .....	18
Şekil 2.7. AdobeRGB renk alanı.....	19
Şekil 2.8. ProPhotoRGB renk alanı.....	20
Şekil 2.9. WideGamutRGB renk alanı .....	21
Şekil 2.10. CMYK renk alanı.....	22
Şekil 2.11. Renk uzayları karşılaştırılması -1 .....	22
Şekil 2.12. a. Renk gamut karşılaştırmaları, b. RGB ve yazıcı renkleri gamut karşılaştırması, c. Retina ekranın renk gamutu .....	23
Şekil 2.13. a. Retina ekranlı iPad modellerinin ve sRGB renk gamutlarının CIE-1976 renk standardında kapsadıkları alan b. Canon İPF5100 ile sRGB karşılaştırması .....	24
Şekil 2.14. SRGB ve Epson T7000 renk profilleri karşılaştırması .....	25
Şekil 2.15. sRGB ve Epson 7900 renk profilleri karşılaştırılması .....	26
Şekil 3.1. Ishihara renkli görme paletleri .....	27
Şekil 3.2. Farnsworth munsell 100 hue test paletleri .....	30
Şekil 3.3. D-15 testi.....	31
Şekil 3.4. Anomaloskop cihazı.....	31
Şekil 3.5. Holmgren testi.....	32
Şekil 3.6. Farklı lantern test cihazları.....	33
Şekil 4.1. a. Mevcut bir çevrimiçi anomaloskop test arayüzü b. Test raporu ...	37
Şekil 4.2. Ülke geneli katılımcı sayılarının dağılımı.....	40

Şekil 4.3.	a, b, c ve d; 1.Grup anket soru cevaplarının analizi .....	41
Şekil 4.4.	a, b, c ve d; 2.Grup anket soru cevaplarının analizi .....	42
Şekil 5.1.	Yeni geliştirilen testin 2.versiyonundan bir palet .....	49
Şekil 5.2.	Yeni geliştirilen testin 3.versiyonundan bir palet .....	51
Şekil 5.3.	Yeni test 3.versiyon tek düzey renk kullanımı.....	54
Şekil 5.4.	Yeni testin son versiyonu.....	56
Şekil 5.5.	Yeni testte paletlerin ilk hali .....	58
Şekil 6.1.	Yeni testten bir palet .....	68
Şekil 6.2.	Normal renkli görme yetisini sahip deneklerin 7.palette ikinci test verisini görme aralıkları.....	69
Şekil 6.3.	Kusurlu renkli görme yetisine sahip deneklerin 7.palette ikinci test verisini görme aralıkları.....	70
Şekil 6.4.	Koni hücrelerinin dalga boyu duyarlılığı.....	71
Şekil 6.5.	Bruton algoritmasına göre dalga boyundan RGB'ye dönüşümde kırmızı renk grafiği.....	73
Şekil 6.6.	Bruton algoritmasına göre dalga boyundan RGB'ye dönüşümde yeşil renk grafiği.....	73
Şekil 6.7.	Bruton algoritmasına göre dalga boyundan RGB'ye dönüşümde mavi renk grafiği.....	74
Şekil 6.8.	Bruton algoritmasına göre dalga boyundan RGB'ye dönüşümde tüm renkler .....	74
Şekil 6.9.	Sadece 7.Paletten elde sonuca göre deneğin kırmızı renkte kusurlu olduğu alan.....	75
Şekil 6.10.	Deneğin kırmızı tonlarda kusurlu olduğu bölgeler .....	75
Şekil 6.11.	Deneğin yeşil tonlarda kusurlu olduğu bölgeler .....	76
Şekil 6.12.	Bulanık mantık ile renkli görme tanısının elde edilmesi .....	79

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Renkli görme oranları .....	11
Tablo 2.2. Renklerin dalga boyları.....	14
Tablo 3.1. Mevcut kullanılan renkli görme testlerinin karşılaştırılması .....	35
Tablo 4.1. Tez çalışmasına benzer konuda alınan patentlerin incelenmesi.....	39
Tablo 4.2. Anket çalışmasına katılanların demografik dağılımı .....	39
Tablo 5.1. Testin üçüncü versiyonuna katılan denekler .....	52
Tablo 6.1. Tez çalışmasına katılan denek sayıları.....	61
Tablo 6.2. Test versiyonu 1’de renkli görme sıkıntısı olanların hatalı cevap sayıları.....	61
Tablo 6.3. Test versiyonu 2’de Ishihara’dan elde edilen sonuçlar .....	63
Tablo 6.4. Test versiyonu 2’den elde edilen sonuçlar .....	64
Tablo 6.5. Test versiyonu 3’ün sonuçları ile Ishihara test sonuçlarının karşılaştırılması .....	65
Tablo 6.6. Yeni testin 3.versiyonu sonuçları.....	66
Tablo 6.7. Ishihara ile yeni test versiyon 3 sonuçlarının bağımlı grup t-test analizi .....	67
Tablo 6.8. Bruton algoritması ile dalga boyundan RGB renk uzayına dönüşüm değerleri .....	72
Tablo 6.9. Ishihara renk paletleri ile yeni testin karşılaştırılması .....	77
Tablo 6.10. Yeni testte bulunan paletlerin amaçları.....	78

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Renk körlüğü, renkli görme, renkli körlüğünün detaylı tanısı, bilgisayar tabanlı test

Renk körlüğü, özellikle erkek nüfusu arasında yaygın olan bir görme kusurudur. Belirli meslek dallarında çalışma yeterliliği veya bazı belge ve sertifikaların temininde renk körlüğü testinden başarılı olma zorunluluğu bulunmaktadır. Ancak bu testlerin geçerliliği ve doğruluğu büyük bir tartışma konusudur. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Ishihara renk körlüğü testi deneklerin renk körü olup olmadıklarını sadece pozitif/negatif anlamında ölçen testler olup yaklaşık yüz yıl önceki teknolojik gelişmişliğe sahiptir. Bununla beraber, renk körlüğü konusunda literatürde yer almış diğer çalışmalarda önerilen birçok test; geçersiz ölçüm yöntemi, süre olumsuzlukları veya doğruluklarının yeterli olmaması gibi nedenlerden dolayı Ishihara testi kadar pratik ve yaygın kullanım alanı bulamamaktadırlar.

Günümüzde hassasiyet ve görüntü kaliteleri oldukça tatminkâr seviyelere gelen ekranlar ve bu ekranları süren yüksek performanslı donanımlar, hafif-ergonomik kasalar, düşük maliyetler ve gelişmiş bilişim altyapıları sebebiyle kişisel bilgisayarların, dizüstü bilgisayarların veya tabletlerin renk körlüğü testlerinde kullanılmasının teknolojik olarak mümkün hale gelmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, renk körlüğünün detaylı tanısına yönelik yeni bir test yazılımının geliştirilmesidir. Geliştirilen yeni test sayesinde mevcut ve yaygın kullanılan renk körlüğü testinde; renk paletlerinden ve ortam şartlarından kaynaklanan olumsuzlukların önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca deneklere uygulanan testler ve bu testlere ait kişisel veriler bir bilişim ortamında potansiyel araştırma ve analiz işlemlerine uygun olacak şekilde depolanmıştır. Bunun yanı sıra, yeni testin bilgisayar ortamında hazırlanmasıyla, mevcut olan renk körlüğü testlerine nazaran; testin taşınması, çoğaltılması, kullanılması, sonuç verilerinin çok daha kolay saklanması ve bu verilere çok daha kolay erişilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede renkli görme kusuru açısından hastalardan elde edilen verilerle analiz çalışmalarının çok daha kolay yürütülmesi amaçlanmıştır.

Yeni test dört aşamada gerçekleştirilmiş ve her aşaması denekler üzerinde uygulanmıştır. Çalışma grubu 111 renkli görme kusuru bulunan ve 137 normal renkli görme yetisine sahip, toplam 248 kişiden oluşmaktadır. Ishihara testlerine kıyasen yeni test, deneğin sadece 'renkli görme' yetisinin olup/olmadığının tanısında %100 duyarlılık ve %100 özgüllük elde edilmesinin yanı sıra deneğe hangi renk tonlarına karşı kusurlu olduğunun da yaklaşık olarak gösterilmesi sağlanmıştır. Ayrıca testten elde edilen verilerin bulanık mantık yaklaşımı ile hazırlanan bir algoritmada analiz edilerek deneğin renk körlüğü kusuru olup olmadığının tanısı gerçekleştirilmiştir.



# **A NEW SOFTWARE FOR DIAGNOSTICS OF COLOR-BLINDNESS**

## **SUMMARY**

Keywords: Colour-blindness, colour vision, detailed diagnosis, computerized test.

Colour-blindness is a vision deficiency that is prevalent on male populations. A successful colour-blindness test score is necessary in some particular professions or obtaining some certificates. However, the validity and accuracy of these tests are controversial. Ishihara colour-blindness tests, which have almost one-century background, are being used widespread to discriminate the subjects whether they have colour deficiency or not as simple as in positive/negative logic. However, the rest of the methods related to colour blindness in the related literature have not been popular since they infer some drawbacks such as invalid test equipment, time-consuming features and inadequate accuracy.

Nowadays even personal computers having modern display technologies with high performance hardware, light and ergonomic casings, low cost parts and along with advanced information systems enable colour-blindness tests applying on them feasible.

The aim of this thesis is to improve a novel colour-blindness tests which gives a detailed result about the colour that an individual cannot see besides just classifying whether the individual is colour-blind or not. With the benefits of the new test, it has been aimed to preclude that the flaws inflicted by colour plates commonly used and ambient light. All the results and demographic information gathered from the individuals have been properly stored for further studies and analyses. Additionally, the new test, developed as a computer-based test compared to conventional tests, became more portable, easier to use and has many advantageous over others especially when data storage and analysis capabilities are concerned.

The new test has designed in four phase and all the phases have been applied on individuals. 111 individuals having colour vision deficiency and 137 individuals having normal colour vision have been participated to this thesis. In the name of just diagnosis if the individual is colour blind, the new test has achieved 100% specificity and 100% sensitivity. With the final phase of the new test, it has been enabled to diagnosis of an individual in a detailed way and reveal the colour deficiency of each individual in terms of colour tones besides just classifying if the individual is colour blind. Furthermore, a fuzzy logic algorithm has been used to determine if the individuals has colour vision deficiency.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Günlük yaşamda; aktivitelerimizde, cevaplarımızda, tercihlerimizde ve önyargılarımızda renklerin etkisi büyüktür. 2006 yılında yapılan bir çalışma insanların görmüş oldukları nesne ve diğer insanlar hakkındaki fikirlerini 90 saniyede oluşturduklarını ve bu fikirlerin %62-90'ında sadece renklerin etkili olduğunu belirtmektedir (Singh, 2006). Farklı renkler insanlarda farklı psikolojik sinyaller oluşturmaktadır. Yani renkler doğrudan insanların ruh hallerini etkilemektedir (Birren, 2016). İnsanların yeşil tonlarında bir ortamda bulunduğu anda kendini rahatlamış hissetmeleri veya okulların renklerinin sıcak bir ortam oluşturmak için kahverengi tonları ile boyanması tesadüfi değildir.

Renk körlüğü veya renkli görme yetersizliğini tam olarak kavrayabilmek için öncelikle “Renk nedir?” ve “Renkli görme nasıl oluşur?” sorularının cevapları aranmalıdır. Unutulmamalıdır ki, bu kapsamda anlaşılması gereken en önemli kavram: renk beyinde oluşan bir algıdır (Harold, 2001; Laine ve Kojo, 2004; Klein, 2010). Yani renkli görme olayı gözde değil beyinde oluşur. Renkler çevremizdeki cisimlerin üzerinden yansıyan ışıkların algılanması ile ortaya çıkmaktadır ve yansıyan ışıkların dalga boyları renkleri oluşturmaktadır. Doğal olarak ışık olmayan bir ortamda renkten söz etmek imkansızdır. Renklerin oluşumunda sadece ışık olmasından ziyade, var olan ışığın rengi, aydınlık miktarı, sıcaklığı, cisimlerin üzerine vurma açısı, eğer kapalı bir ortamda ise duvarların rengi gibi kavramlarda doğrudan etkilidir.

Renkler ancak belirli bir ışık seviyesinden sonra algılanabilir seviyeye ulaşmaktadır. Bir sonraki bölümde detaylı olarak bahsedilen renkli görme olayını kısaca şu şekilde ifade edebiliriz: Cisimlerin üzerinden yansıyan farklı dalga boyundaki ışıkların beyinde algılanması olayı “Renkli Görme”, bu renkleri algılamada oluşan bozukluklar ise “Renk körlüğü” olarak isimlendirilir.

## 1.1. Tez Çalışmasının Motivasyonu

Bu tez çalışmasının beş temel motivasyonu bulunmaktadır:

İlk olarak, günümüzde renk körlüğünün tespitinde halen yaygın olarak Dr. Shinobu Ishihara'nın ilk çalışmalarını 1917 yılında yaptığı (Hardy, 1946) ve kendi adını verdiği Ishihara psödoizokromatik renkli görme paletleri kullanılmaktadır. Neredeyse bir asırlık bir geçmişi bulunan ve sonraki bölümlerde incelenecek olan bu testin bir çok olumsuzlukları bulunmaktadır. Doğal olarak "Günümüz bilim ve teknolojisine daha uygun bilgisayar tabanlı yeni bir test geliştirilebilir mi" sorusu insanın aklına gelmektedir.

İkinci olarak, günümüzde hassasiyet ve görüntü kaliteleri oldukça tatminkâr seviyelere gelen ekranlar ve bu ekranları süren yüksek performanslı donanımlar, hafif-ergonomik kasalar, düşük maliyetler ve gelişmiş bilişim altyapıları sebebiyle kişisel bilgisayarların, dizüstü bilgisayarların veya tabletlerin renk körlüğü testlerinde kullanılmasının teknolojik olarak mümkün hale gelmesidir.

Üçüncü olarak, Türkiye'de görev yapan bir çok göz hastalıkları alanında uzman doktorlarında üye olduğu, Türk Oftalmoloji Derneği'nden alınan, tezin çalışma konusu ile ilgili gereksinim yazısıdır.

Dördüncü olarak, Türkiye'nin farklı bölgelerinde çalışan birçok göz hastalıkları alanında uzman doktorlarla yapılmış online anketten elde edilen sonuca göre; bilgisayar tabanlı yeni bir testin, renk körlüğünün daha iyi teşhis edilmesinde yararlı olacağına dair kanaatleridir.

Beşinci olarak, yeni testin bilgisayar ortamında hazırlanmasıyla, mevcut olan renk körlüğü testlerine nazaran; bilişim ortamlarına daha uygun tanı sonuçlarının elde edilmesidir. Zira bu sonuç verileri ile analiz çalışmalarının daha kolay yapılması ve

belirtisi gözde renkli görme yetersizliği olarak ortaya çıkan diğer hastalıkların tespitinde öncü bir çalışma olarak kullanılması mümkün hale gelecektir.

Ayrıca günümüze kadar bilgisayar tabanlı renk körlüğü testlerinin geliştirilememesinin önündeki en büyük engeller (French ve ark., 2008; Flück, 2010):

- a. Standart ekran teknolojilerinin (CRT ve LCD) CIE-1931 renk uzayında yeterli alanı kapsamaması.
- b. Farklı ekranlarda farklı test sonuçların alınması.
- c. Ekran ve ortam şartlarının optimize edilmemesi.
- d. Bilgisayarların güvenlik açıkları, veri kaybı olasılığı, verilerin yedeklenme ihtiyacı, ekranların kalibrasyonlarının yapılması gerekliliği.

Ancak retina ekran gibi modern LCD ekranların CIE-1931 renk uzayında kapsadığı alan artmış ve kâğıt baskı standardı olan CMYK 'yı ciddi derecede geride bırakmıştır. Sonraki bölümde renk uzayları ve kapladıkları alanlar detaylı olarak anlatılarak karşılaştırılması yapılacaktır.

## 1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Hedefleri

Yapılan bu tez çalışmasının amacı, günümüzde kullanılan mevcut testlerin olumsuz yönlerini iyileştiren, bilgisayar tabanlı, bulut bilişime yatkın ve detaylı tanı özelliğine sahip yeni bir renk körlüğü test yazılımı geliştirmektir. Yeni renk körlüğü yazılımı başlangıçta retina ekranlı dizüstü bilgisayarlar ve OSX işletim sistemleri üzerinde çalıştırılacaktır ve Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları ana bilim dalında deneklere uygulanacaktır. (Hacettepe Üniversitesi'nden alınan 'Etik Kurul İzin' belgesi ekte bulunmaktadır.)

Bu amaca aşağıdaki hedefler vasıtasıyla ulaşılabilecektir:

- a. Klinik çalışmalarda yararlanılacak denek havuzunun oluşturulması (çalışma grubunun) ve kayıtlarının izlenmesini sağlamak için gerekli çalışmaların yapılması.

- b. Tez çalışması ile elde edilen yeni testin son versiyonu denekler üzerinde uygulanması. (Çalışmaya katılan tüm deneklere, bireysel onam imzalatılarak gönüllülük temeline dayanan bir klinik çalışmanın katılımcıları oldukları bilgisi sunulacaktır.)
- c. Detaylı bir tanıya imkân verecek bilgisayar tabanlı yeni renkli görme testi paletlerinin ve test arayüzlerinin OSX işletim sistemi için tamamlanması.
- d. Test senaryoların gerçekleştirilmesi ve denekler üzerinde klinik deneylerin yapılması.
- e. Yeni testin ve referans alınan Ishihara testinin her aşamasında zamanın ölçülmesi, her bir test paletine verilen cevapların kaydedilmesiyle, gerekli karşılaştırma ve başarımların analizlerinin yapılması.
- f. Aydınlatma, ekran renk doğruluğu, ekran parlaklığı gibi ortam parametrelerinin renk körlüğü testine olan etkisinin araştırılması ve denekler üzerinde klinik çalışmaların ve analizlerinin yapılması.
- g. Farklı görüntü aygıtı teknolojilerinin test sonuçları üzerindeki etkisinin incelenmesi.

### 1.3. Tezin Organizasyonu

Tez çalışması toplam olarak 6 bölümden oluşmaktadır. Bölümlerin içerikleri aşağıda açıklanmıştır:

- a. Bölüm 1. Giriş: Tez çalışması hakkında genel bilgiler, tez motivasyonu ve tezin amaç-hedefleri bulunmaktadır.
- b. Bölüm 2. Renkli Görme ve Renk Körlüğü: Renkli görmenin nasıl gerçekleştiği, renk körlüğünün anlamı ve renk körlüğü çeşitleri hakkında bilgiler bulunmaktadır. Ayrıca insan gözünün görebildiği dalga boyları ve bazı renk uzaylarının “Renk Alanı” karşılaştırmaları yapılmıştır.
- c. Bölüm 3. Renkli Görme Testleri: Literatürde bulunan renkli görme testleri incelenerek olumsuzlukları, zayıf kaldığı kısımlar ve niye tercih edildikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

- d. Bölüm 4. Literatür Taraması ve Anket Sonuçları: Daha önceden tez çalışmasına benzer olarak yapılmış ve literatürde yer edinmiş bazı renkli görme testleri ve bu konuda alınan patentler incelenerek, tez çalışmasına konu olan yeni testin bunlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Göz hastalıkları içerisinde retina hastalıkları alanında uzman, yardımcı doçent ve üstü kadro derecesine sahip doktorlar arasında yapılan, bilgisayar tabanlı yeni bir test konulu, “Renkli Görme Testleri” isimli anket çalışmasının sonuçları paylaşılmıştır.
- e. Bölüm 5. Yeni Testin Tasarımı ve Uygulanması: Yeni testin son versiyonuna ulaşabilmek toplamda dört farklı ve birbirinin öncüsü olan çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde her yapılan çalışmanın metot ve yöntemi hakkında bilgiye yer verilmiştir. Ayrıca çalışmaların kaç deneğe, hangi ortam ve şartlarda uygulandığı hakkında bilgiler verilmiştir.
- f. Bölüm 6. Sonuç ve Tartışma: Yeni test ve yeni teste ulaşmak için yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Ayrıca elde edilen sonuçlar literatürde yer edinmiş diğer testlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Yeni testin zayıf yönlerinden bahsedilerek bundan sonra yapılabilecek çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

## BÖLÜM 2. RENKLİ GÖRME VE RENK KÖRLÜĞÜ

### 2.1. Rengin Tarihçesi

1. 11.Yüzyıl: Abu Ali Mohammed Ibn al Hazen: Tasarlamış olduğu “camera obscura” sayesinde dışarıdaki görüntüyü bir ekrana yansıtmıştır. Şimdi kullanılan kamera ve fotoğraf makinelerinin alt yapısını oluşturmuştur (Zollinger, 1999).
2. 15.YY da Leonardo da Vinci, renk algılaması, 3 takım zıt renkleri (siyah-beyaz, Kırmızı-yeşil, sarı-mavi) hakkında çalışmalar yapmış ve ilk defa renk filtresi kullanarak renkleri ayırtmıştır (Vinci, 1956; Kemp, 1989; Adelson ve Bergen, 1991).
3. 18.YY da Isaac Newton (Newton ve Shapiro, 1984; Silva ve Martins, 1996; Westfall, 1962; Rodney, 2006):
  - a. Beyaz rengi bir prizma ile kırarak tayflara ayırmıştır.
  - b. Her rengin kendine ait bir dalgası olduğunu bulmuştur.
  - c. Farklı renk tayfalarını tekrar birleştirerek farklı renkler elde etmiştir.
  - d. İlk defa ışığın bir renginin olmadığını ve rengin beyinde gerçekleşen bir algılama olduğunu bulmuştur.
4. 19.YY da (Rodney, 2006)
  - a. Thomas Young: insan gözünde, yansıyan ışığın belli bir aralığına karşı duyarlı olan, 3 tip koni hücrelerinin varlığını ortaya atmıştır. Bununla beraber ilk defa 3'lü renk teorisini ortaya atmıştır. Tüm renklerin bu 3 renk ile elde edilebileceğini savunmuştur. Young buradan yola çıkarak ışığın dalga boyunu saptamıştır ve Newton tarafından belirlenen 7 rengin yaklaşık dalga boylarını hesaplamıştır. Bu çalışmasıyla, ışığın dalga teorisine basit bir kanıt ortaya koymuştur (Young, 1802).

Young yaptığı deneylerde uyguladığı eleme yöntemleriyle tayfin altı renginin, yine aynı tayfta yer alan üç temel (kırmızı, yeşil ve koyu mavi) renge indirgenebileceğini bulmuştur. Ayrıca bu üç rengi ikişer ikişer karıştırarak diğer ara üç renk olan: siyan mavisi, macenta ve sarı renklerin de elde edilebileceğini ispatlamıştır (Young, 1802; Parramon, 1991).

- b. Hermann von Helmholtz: tayf duyarlılık eğrilerini bulmuştur (Cahan, 1993).
- c. Ewald Hering: Zıt renk teorisini ortaya atmıştır. Hue renklerini açıklamıştır. Neden kırmızimsı bir yeşil veya sarımsı bir mavi olamayacağını açıklamıştır (Cahan, 1993; Rolf 2004).
- d. 1860'da Maxwell üç birincil ana rengin kullanımını araştırmıştır. Maxwell'in araştırma sonuçlarına göre: Üç ana rengin hiçbir katkı maddesi olmadan oluşturulan kombinasyonları, algılanabilen mevcut tonları kapsamamaktadır ve ana renkler tek değildir. Ama dalga boyları geniş tutulursa, daha geniş algılanan bir ara değer oluşturulabileceğini görmüştür. (Rodney, 2006; Polat, 2012).

#### 5. 20.YY da:

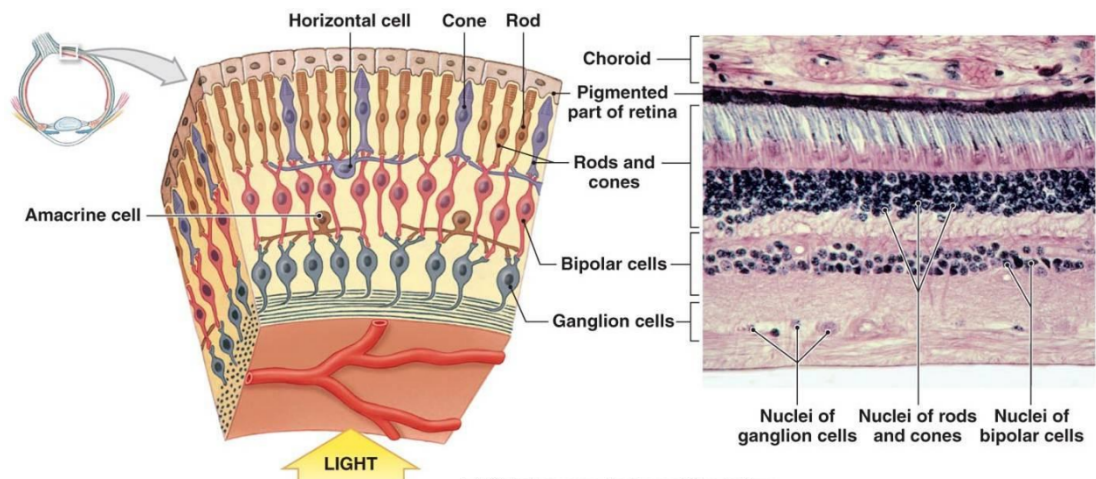
- a. Johannes A. von Kries: Kromatik uyum; gözün sürekli olarak aynı renge bakması sonucunda, söz konusu renge olan duyarlılığın azalacağını ispatlamıştır (Zollinger, 1999).
- b. G.E. Müller & Erwin Schrödinger: Bölge Teorisini geliştirmiştir (Zollinger, 1999).
- c. 1931'de Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission International de l'Eclairage) (CIE) tüm üç uyarıcı (tri-stimulus) değerlerinin x, y koordinat sisteminde pozitif değerlerle gösterilebileceği standart bir sistem oluşturmak için çalışmalar yapmıştır (Polat, 2012).
- d. Yeşil tonlardaki sorun sebebiyle 1976'da yeni standartlar oluşturulmaya çalışılmış, ancak CIE standartları fazla kabullenilmemiş,



ve bunun sonucunda 1931'da ortaya koyulan standartlar neredeyse evrensel olarak kullanılır hale gelmiştir (Polat, 2012).

## 2.2. Renkli Görme

Işık göze girdiği zaman retina üzerine düşer ve burada fotoreseptörler tarafından emilerek sinirsel sinyallere çevrilirler. Bu sinyaller optik sinirler vasıtasıyla karmaşık işlemlerin ve değerlendirmelerin yapılacağı beyne iletilir (Zollinger, 1999). Bu aşamada beyin daha önce yaşamış olduğu tecrübe ve bilgiler ile birlikte psikolojik durum ve etiksel kazanımlar gibi daha bir çok etken devreye girer ve görme gerçekleşir.



Şekil 2.1. Retina hücre yapısı (Tallitsch, 2012)

Şekil 2.1.'de bir retina hücrelerinin yapısı görülmektedir. Retina görmeyi gerçekleştirmesi için esastır ve içerisinde milyonlarca görme bilgisini aktarabilecek fotoreseptörler barındırır (Rogers, 2010). Newton 1671 yılında ilk defa rengin fiziksel bir algı olmadığından bahsetmiştir (Newton, 1671). Renkli görme birbiri arkasına beyinde gerçekleşen sinirsel aktiviteler sonucu ortaya çıkmaktadır (Zollinger, 1999). Yani görme olayı beyinde gerçekleşmektedir. Bu sebeple göze beyin öne çıkan bir küçük parçası olarak bakılabilir.

Her obje belli ve değişmez bir renge sahip değildir. Renk, objeler üzerinde daima değişen bir örtüdür. Bu değişme güneş ışığının (veya yeterli farklı ışığın) geldiği açığa ve istikamete göre daima farklı değerler kazanır. Renk, objeden ayrıdır; bir duyumdur (Çağlarca, 1993). Renkler çevredeki nesnelere yansıyan ışıkların algılanması ile ortaya çıkmaktadır. Yansıyan bu ışıkların dalga boyları renkleri tanımamızı, ayırt etmemizi ve isimlendirmemizi sağlamaktadır. Eğer bir nesne üzerine gelen tüm gün ışığını veya yeteri miktarda olan suni ışıkları olduğu gibi dağıtırsa veya yansıtırsa, o nesne insan gözüne beyaz olarak görünür. Diğer taraftan eğer tüm ışığı emerse siyah olarak görünür (Zollinger, 1999; Rackwitz ve Sterner, 2007).

Yeterli düzeyde ışık veya yansıma göze ulaştığı an öncelikle retina üzerine düşer ve burada fotoreseptörler tarafından algılanır. Retina içerisinde iki çeşit fotoreseptör bulunmaktadır: bunlar çubuk (rod) ve koni (cone) hücreleridir (Lee, 2005; Deeb ve Motulsky, 2015; Sahel ve ark., 2016). Çubuk hücreleri ışığa karşı oldukça hassastırlar ve az miktar ışıkta bile görmemizi sağlarlar ancak renklere karşı duyarlılıkları yoktur. Yani sadece tek rengin tonları ile görmemizi sağlarlar. Koni hücreleri ise ışığa karşı daha az duyarlıdır, ancak gün ışığında renklere karşı çok hassastırlar (Zollinger, 1999; Tallitsch, 2012; Carvalho ve Vandenberghe, 2016). Koni hücreleri bulundurduğu pigmentlere göre sırasıyla: kırmızıyı emen, yeşili emen ve maviyi emen olmak üzere üç çeşittir (Grondin, 2016). Koni hücrelerinde bulunan bu üç çeşit fotoreseptör tarafından emilen ışık sinyallere çevrilerek, nöronlar vasıtasıyla beyne iletilir (Beretta, 2000). Yani renkli görme olayı beyinde gerçekleşen bir algıdır.

### **2.3. Renk Körlüğü**

Renkli görmenin gerçekleşmesi için koni hücrelerinde bulunan üç tip fotoreseptörün düzgün olarak çalışması gerekmektedir (Gegenfurtner & Kiper, 2003; Parvizi ve Frith, 2008). Renkleri algılamayı sağlayan üç tip koni hücrelerinden bir veya birden fazlasının kusurlu veya eksik olması ile renkleri algılamada bozukluklar oluşur (Zollinger, 1999). Renkleri algılamada oluşan bu bozukluklar “Renk Körlüğü” veya “Renkli Görme Bozukluğu” olarak isimlendirilir.

Renk körlüğünün literatürde yer edinmiş bir kaç çeşit sınıflandırılması bulunmaktadır. Fakat bir çok kaynak ise genel olarak renk körlüğünü 3 sınıfa ayırmaktadır. Bu renk körlüğü çeşitleri, kusurlu olan fotoreseptör hücresinin ismine göre sınıflandırılır (Ridgen, 1999; Aqtum ve Qawasmeh, 2000; Poret ve ark., 2009; Lee ve Dos Santos, 2010; Ananto ve ark., 2011; Lee ve Dos Santos, 2011; Kulshrestha ve Bairwa, 2013).

1. Monokromatik (Monokromazi) (Monochromatism): Koni hücrelerinin tümü kusurludur. Koyu/Açık olarak sınıflandırmaktan başka renkleri birbirinden ayırt edemezler. Çok nadir karşılaşılan bir renk körlüğü tipidir. Bu kusura sahip kişiler her şeyi siyah-beyaz bir film gibi grinin tonları ile görürler. Bazı kaynaklarda “Renksiz tipi” olarak ta bilinmektedir.
2. Dikromatik (Dikromatizm) (Dichromatism): Koni hücrelerinden birisi tamamen kusurludur veya bulunmamaktadır, diğer ikisi normaldir. Bu sınıfın içerisinde bulunan kişi eksik olduğu koni hücresinin çeşidine göre o rengi ayırt edemez ve renk körü olmayan bir kişiye göre o rengi farklı görür. Eksik olan koni hücresi tipine göre üç sınıfa ayrılabilir.
  - a. Protanopi (Protanopia): Kırmızıyı emen fotoreseptörler tamamen kusurlu veya eksiktir. Bu kusura sahip olan kişi kırmızının tonlarında olan renkleri birbirinden ayırt edemez. Kırmızı olan renkleri ise farklı renklerde görür.
  - b. Deutanopi (Deutanopia): Yeşili emen fotoreseptörler tamamen kusurlu veya eksiktir. Bu kusura sahip olan kişi yeşilin tonlarında olan renkleri birbirinden ayırt edemez. Yeşil olan renkleri ise farklı renklerde görür.
  - c. Tritanopi (Tritanopia): Maviyi emen fotoreseptör tamamen kusurlu veya eksiktir. Bu kusura sahip olan kişi mavinin tonlarında olan renkleri birbirinden ayırt edemez. Mavi olan renkleri ise farklı renklerde görür.
3. Anormal trikromatik (Anormal trikromatizm) (Anomalous trichromacy): Renkli görmeyi sağlayan fotoreseptörlerden biri duyarlılığını kaybetmiştir, yani kusurlu çalışmaktadır. Kişi renk spektrumunda küçük bir alanı ayırt

edemez ve renk körü olmayan bir kişiye göre o alanı daha farklı tonlarda görür. Kusurlu çalışan fotoreseptörün türüne göre üç çeşide ayrılır.

- a. Protanopi (Protanopia): Kırmızıyı algılayan fotoreseptörlerinde duyarlılık azalmıştır veya kusurlu çalışmaktadır. Bu kusura sahip olan kişi kırmızı rengi kırmızı olarak görür ancak sadece kırmızının bazı tonlarını birbirinden ayırt edemez.
- b. Deuteranopi (Deuteranopia): Yeşili algılayan fotoreseptörlerinde duyarlılık azalmıştır veya kusurlu çalışmaktadır. Bu kusura sahip olan kişi yeşil rengi yeşil olarak görür ancak sadece yeşilin bazı tonlarını birbirinden ayırt edemez.
- c. Tritanopi (Tritanopia): Maviyi algılayan fotoreseptörlerinde duyarlılık azalmıştır veya kusurlu çalışmaktadır. Bu kusura sahip olan kişi mavi rengi mavi olarak görür ancak sadece mavinin bazı tonlarını birbirinden ayırt edemez.

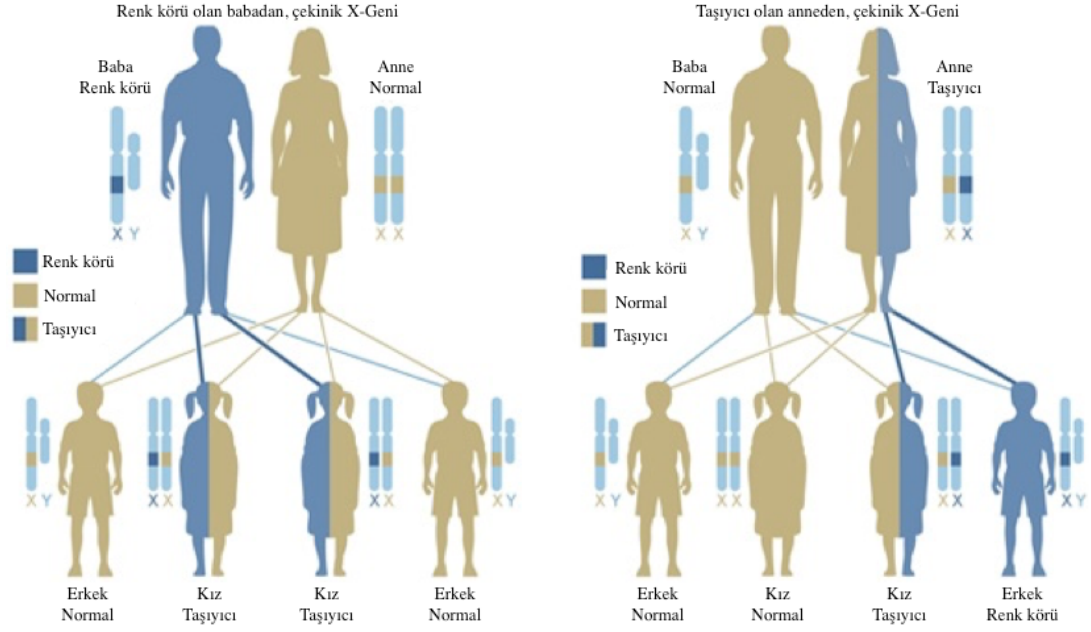
Tablo 2.1.'de renk körlüğü tipleri, türleri ve bunların cinsiyetler arasındaki yaygınlığı görülmektedir. Tabloda görüldüğü gibi renk körlüğüne erkek nüfusta, kadınlara nazaran daha çok rastlanmaktadır. Protanopi ve Deuteranopi türleri en sık karşılaşılan renkli görme bozukluklarından. Ayrıca hem erkeklerde hem de kadınlarda, Deuteranopi renkli görme kurusunun en yaygın görüldüğü gözükmektedir. Tam renkli görme bozukluğu olan Akromatopi'nin ise çok nadir olarak bulunduğu gözükmektedir.

Tip	Tür	Erkek	Kadın
Monokromatik	Akromatopi (tam renk körü)	0.00003%	
	Protanopi (kırmızı renk körü)	1.01%	0.02%
Dikromatizm	Deuteranopi (yeşil renk körü)	1.27%	0.01%
	Tritanopi (mavi renk körü)	0.0001%	
	Protanopi (kırmızı zayıf)	1.08%	0.03%
Anormal trikromatizm	Deuteranopi (yeşil zayıf)	4.63%	0.36%
	Tritanopi (mavi zayıf)	0.0002%	

Dünyada, neredeyse erkeklerin %8'inde (Ohkubo ve Kobayashi,2008; Lee ve Dos Santos, 2010; Simunovic, 2010; Chacon ve ark., 2015) ve kadınların yaklaşık

%2'sinde (Iaccarino ve ark., 2006) renkli görme bozuklukları mevcuttur. Bu oranların daha fazla olması mümkündür. Çünkü, renk körlüğü fiziksel olarak görülebilecek bir hastalık olmadığı için bireyler renkli görme kusurları tespit edilmeden yaşayabilirler ve doğal olarak, bireyler renkli görme bozukluklarının olduğunun farkına dahi varamayabilirler. Bu türde olan bireyler çevreye, kendilerine uygun şartlarda uyum sağlayarak hastalıklarının farkına varamayabilirler. Örneğin, bu türde olan bir birey için kırmızının çok koyu tonu ile bir kaç ton açığı aynı şeyi ifade eder. Fakat bu durum bireylerin farkında olmasalar da günlük yaşam kalitelerini etkiler.

Renk körlüğü insanlarda en çok rastlanan genetik ve kalıtsal bozukluklardan biridir (Aqtum ve Qawasmeh, 2000). Renk körlüğü erkeklerde kadınlara kıyasen 20 kat daha çok olasılıkla görülmektedir. Bunun sebebi renk körlüğü genetik olarak aktarılan bir hastalık olmasıdır. Koni hücrelerinin renkli görme için ihtiyaç duyduğu fotoreseptör pigmentleri X kromozomunda yer almaktadır. Bilindiği üzere kadında iki X kromozomu, erkekte ise bir tane vardır. Mesela, bir kız çocuğu dünyaya geldiğinde bir X kromozomu annesinden, bir X kromozomu ise babasından alacaktır. Bu aldığı kromozomlardan sadece bir tanesinde renk pigmentleri olması sağlıklı bir görüş için yeterlidir. Yalnız erkek çocuğu X kromozomunu annesinden, Y kromozomunu ise babasından alacaktır. Eğer almış olduğu tek X kromozomu koni hücrelerinin ihtiyaç duyduğu renk pigmentleri için gerekli olan geni barındırmıyorsa çocukta bir renkli görme bozukluğu olacaktır (Fairchild, 2013). Bu genetik aktarım durumu Şekil 2.2.'de gözükmektedir.

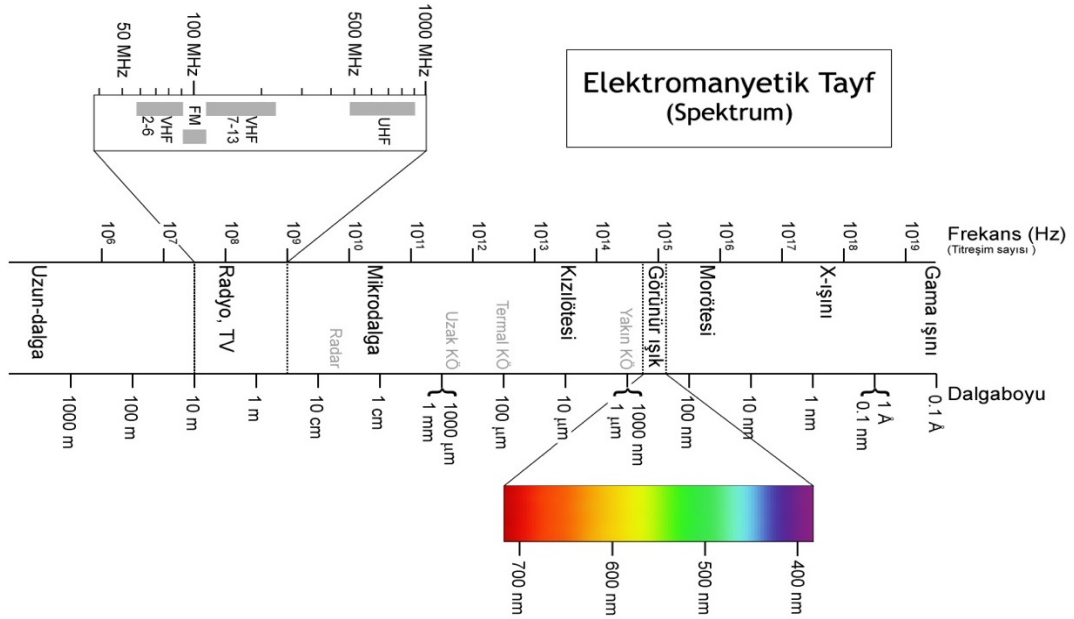


Şekil 2.2. Renkli görme bozukluklarının kalıtsal aktarımı (Anom, 2006)

Renkli görme bozuklukları her zaman kalıtsal olarak geçer diye bir şart yoktur, nadir de olsa gözde meydana gelen çok ciddi hastalıklar ile, retinada meydana gelen yaralanma/bozukluklar ile, ciddi derecede zehire maruz kalma ile veya bütün vücudu etkileyen bir hastalık sonucu ile de elde edilebilir (Benjamin, 2006; Agarwal ve Bansod, 2014; Poret ve ark., 2009). Bazen ise beyinde meydana gelen ciddi yaralanmalar sonucu da elde edilebilir (Cowey ve Heywood, 1995). Fakat bu şekillerde renkli görmede bozuklukların oluşması çok nadir olarak görülmektedir.

İnsanların çoğu renk körlüğünü 'Hiç bir rengi göremez' olarak nitelendirmektedir. Evet Monokromatik tipi (Tam renk körü) renkli görme bozukluğu olan bireyler için bu geçerli bir kavramdır. Ancak her 30.000 bireyden ancak 1'inin bu türde renkli görme bozuklukları bulunmaktadır (Pang ve ark., 2010; Kohl ve ark., 2012). Renkli görme sıkıntısı olan bireylerden büyük çoğunluğu bütün renkleri görebilir. Ancak bir kısım renklerin bazı tonlarını birbirlerinden ayırt etmekte zorlanabilirler (Heywood ve ark., 1998).

## 2.4. Görülebilir Alan



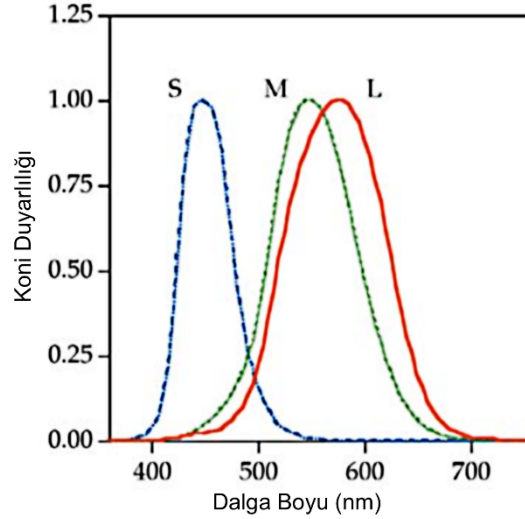
Şekil 2.3. Dünyada var olan tüm elektromanyetik spektrumlar (Keiner, 2008)

Şekil 2.3.'de elektromanyetik spektrumun'da bilinen tüm dalga boyları gösterilmektedir. İnsan gözü bu dalga boylarının arasında çok küçük bir alan olan, yaklaşık 380 nm ( $7.89 \times 10^{14}$  Hz) – 740 nm ( $4.05 \times 10^{14}$  Hz) arası dalga boylarını görebilmektedir (Lee, 2005).

Tablo 2.2. Renklerin dalga boyları (Lee, 2005)

Wavelength range (nm)	Color name
380–430	blue–purple
430–480	blue
480–490	green–blue
490–510	blue–green
510–530	green
530–570	yellow–green
570–580	yellow
580–600	orange
600–720	red
720–830	red–purple

Tablo 2.2.'de bazı renklerin dalga boyları görülebilmektedir. Burada olmayan bir rengin görülmesi, aynı anda bir den fazla dalga boyunun algılanması ile mümkün olmaktadır.



Şekil 2.4. Koni hücreleri tayfsal duyarlılık (Fairchild, 2013)

Şekil 2.4.'de 3 tip koni hücrelerinin tayfsal duyarlılıkları görülmektedir. S simgesi en düşük dalga boyu olan Mavi fotoreseptörü (Short Wavelength), M simgesi orta dalga boyu olan Yeşil fotoreseptörü (Middle Wavelength), L simgesi ise en büyük dalga boyu olan Kırmızı fotoreseptörü (Long Wavelength) temsil etmektedir. Bu dalga boyları genellikle RGB (Red-Green-Blue) olarak veya nadiren de olsa  $\rho\gamma\beta$  ile simgelenir.

Şekil 2.4.'de yeşil ve kırmızı rengin dalga boylarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu yüzden en çok karşılaşılan renk körlüğü tipi yeşil-kırmızı renkli görme bozukluğudur (Swanson ve Cohen, 2003; Pang ve ark., 2010; Geissbuehler ve Lasser, 2013).

## 2.5. Renk Uzayları ve Renk Alanı Karşılaştırılması

Literatürde yer edinmiş bir çok renk uzayı bulunmaktadır. Bu başlık altında bu renk uzayları hakkında bilgiler verilerek, insan gözünün görebildiği alanı içerisinde bu renk uzaylarının kapladığı alanlar karşılaştırılacaktır.

Renk uzayları renklerin matematiksel olarak ifade edilmesi için kullanılırlar. Renkmetri biliminin temelini oluşturan Grassmann'ın birinci kanununa göre bir rengi belirlemek için birbirinden bağımsız üç değişkene gerek vardır. Bu yüzden 3 farklı



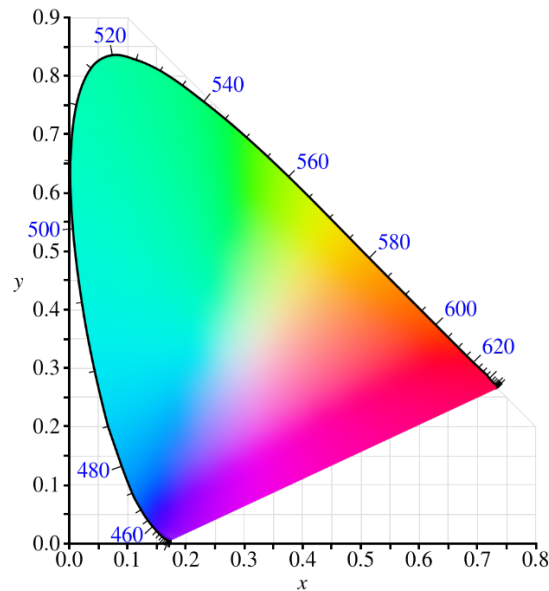
değişikenden oluşan bir matris sayesinde renkler matematiksel olarak ifade edilir (Yılmaz, 2002). Yani renk uzayları için “resimlerin ve görüntülerin dijital bir ifadesidir” demek doğru olacaktır.

Renkleri elde etmenin iki yolu vardır. Bunlardan ilki RGB olarak ifade edilir. Bu renk modeline toplamsal renk sentezi de denir. Çünkü ara renkler, ana renk olan kırmızı, yeşil ve mavinin birbirlerine eklenmesi ile elde edilir. Tüm renklerin maksimum oranda eklenmesi ile beyaz renk elde edilir. Bilgisayar, TV, tablet vb... gibi tüm cihazlar bu sentezleme yöntemini kullanır. Diğer renk modeli ise CMY olarak ifade edilir. Bu renk modeline çıkarımsal renk sentezi de denir. Çünkü tüm ara renkler, ana renk olan deniz mavisi, morumsu pembe ve sarı rengin beyaz renkten çıkarılması ile elde edilir. Bu renk modelinde tüm renklerin en üst tonlarının birleşimi ile teorik olarak siyah elde edilir. Printer, gazete baskı vb... tüm yerlerde bu sentezleme kullanılır.

RGB ve CMY renk modellerinin kalitesi kullanıldıkları cihaza bağlıdır (Rodney, 2006). Yani aynı tonlarla oluşturulan bir renk cihazdan cihaza çok farklılık gösterebilir. Buradan sonuçla, birbirinden farklı model ve marka bir kaç tane TV ekranında aynı yayının farklı gözükmesinin sebebi RGB renk uzayının cihaz bağımlı olmasıdır.

$L^*a^*b^*$ ,  $x,y,Y$ , ve CIE XYZ ise insan gözünün görebildiği tüm renk spektrumunu kapsayabilmektedir. Bu yüzden bu uzayda yapılan hesaplamalar cihaz bağımlı değildir ve her zaman aynı görünümü ifade eder (Rodney, 2006). Şekil 2.5.'de insan gözünün görebileceği bütün renklerin, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından 1931 yılında standartlaştırmış olduğu grafik gösterilmektedir. Grafikte orta noktaya doğru gelindikçe renklerin doygunluk oranı düşmektedir. Bütün renk uzayları üç boyutlu olmasına rağmen dikkat edilirse grafikte sadece  $x$  ve  $y$  bulunmaktadır. Bu durum sanki sadece  $x$  ve  $y$  koordinatları bilindiği zaman renk elde edilir diye anlaşılmalıdır. Grafikte olmayan üçüncü boyut ise  $Y$  ile gösterilen parametredir ve rengin aydınlık miktarını temsil eder.

Rengi sayılarla ifade etmeyi sağlayan bu renk uzaylarının görevi, bilgisayarın görüntülemesi ve çıktı alabilmesi için bilgisayara gerekli bilgileri sağlamaktır (Rodney, 2006). Bilgisayarlar bu renkleri dokümanın içerisine gömerken veya kaydederken ICC gibi bir profile ihtiyaç duyarlar (Rackwitz ve Sterner, 2007). Bu profillerin görevi ise doküman içerisinde gömülmüş olan bu renk uzaylarını tanımlamaktır. Yeşil tonlarında bir resmi önce sRGB renk uzayı kullanılarak kaydettikten sonra aynı resmin bir kopyasını AdobeRGB ile kaydedildiği zaman aradaki fark incelendiğinde renk uzaylarının çalıştığı cihaza bağımlı olduğu görülebilir. Çünkü karşılaştırılan resmin içerisine gömülen sayısal renk ifadeleri cihazdan cihaza değişmez.



Şekil 2.5. 1931 CIE diyagramı (Anom, 1986; Yeh ve ark., 2005)

Görüntüleme ve baskıda temel olan iki renk uzayı vardır (RGB ve CMY). Diğer tüm renk uzayları temel olan bu iki renk uzayından türetilmiştir. AdobeRGB, sRGB gibi renk uzayları RGB tabanlıdır. CMYK ise CMY tabanlı bir renk uzayıdır.

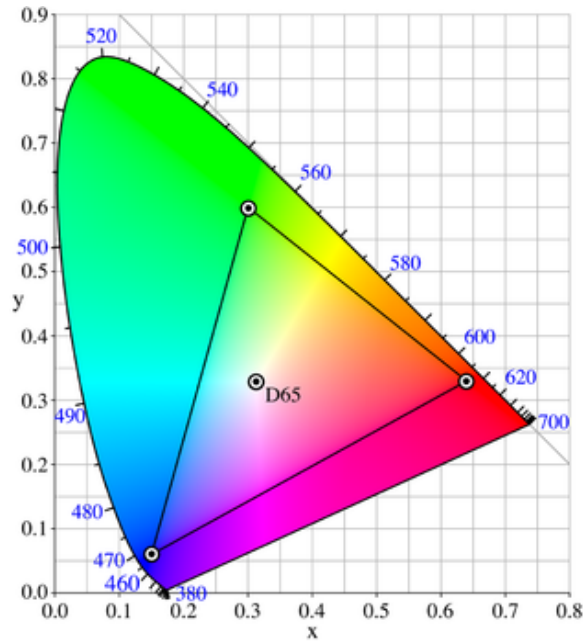
### 2.5.1. RGB renk uzayı

RGB renk uzayı dijital görüntüleme aygıtlarında kullanılır. Yaklaşık olarak insan görme sistemi ile benzer çalışır. Ana renkler Kırmızı (R), Yeşil (G) ve Mavi (M) dir. Tüm ara renkler bu ana renklerin toplamsal sentezlenmeleri ile elde edilir. Örneğin

beyaz renk, tüm ana renklerin en yüksek değerleri ile toplanması ile elde edilir. Her bir rengin 8-bitten oluştuğu bu renk uzayında toplamda  $16777216$  ( $2^8 \times 2^8 \times 2^8$ ) renk çeşidi bulunmaktadır. RGB tabanlı literatürde yer edinmiş bir çok renk uzayı bulunmaktadır. En çok kullanılan RGB renk uzayları sırasıyla sRGB, AdobeRGB, ProPhotoRGB ve WideGamutRGB dir.

### 2.5.2. sRGB renk uzayı

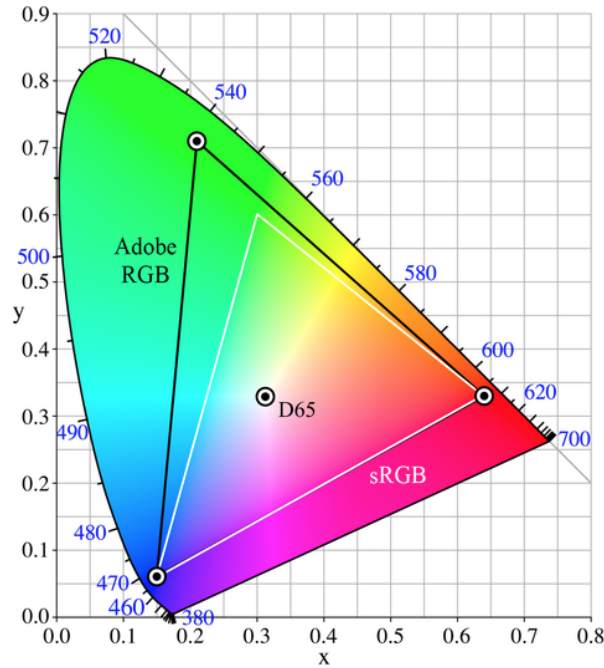
Hp ve Microsoft tarafından 1996 yılında geliştirilen ve IEC (CIE) tarafından standartlaştırılan bir renk uzayıdır (Anonim, 1999). Şekil 2.6.'da sRGB renk uzayının CIE 1931 renk diyagramında kapladığı alan görülmektedir. Grafikte dikkat edilirse sRGB görülebilir alana göre oldukça az bir alan kaplamaktadır. Kapladığı bu üçgenimsi alanda uç noktalar ilgili renklerin değerlerinin maksimuma eriştiği zaman elde edilebilecek renklendir. Örneğin en üst kısımdaki noktanın sayısal değeri R0/G255/B0 olarak ifade edilir.



Şekil 2.6. sRGB renk alanı (Palus ve Bereska, 2006; Rodney, 2006; Sakai ve ark., 2013)

#### 2.5.4. AdobeRGB renk uzayı

1998 yılında Adobe firması tarafından geliştirilen ve SMPTE-240M olarak bilinen bu renk uzayı orijinal NTSC renk uzayına oldukça yakındır (Pascale, 2003). CMYK renk uzayını kapsayacak şekilde tasarlanan bu renk uzayı neredeyse görülebilir renk uzayının (CIE 1931 Diyagrama göre) %50 sini kaplamaktadır. Şekil 2.7.'de AdobeRGB'nin CIE 1931 görülebilir renkler alanında kapladığı alan gösterilmektedir. Dikkat edilirse aynı rakamsal boyutlarla temsil edilen AdobeRGB'nin kapladığı alan sRGB'ye göre oldukça fazladır. Örneğin grafikte AdobeRGB'ye ait en üst noktasının sayısal değeri sRGB'nin yeşilde en üst noktasındaki değeri ile aynı olan R0/G255/B0'dır. AdobeRGB daha doygun ve daha farklı ölçekte yeşile sahip olmasından dolayı; yeşil noktası sRGB'ye göre daha yukarıdadır. Bu durum AdobeRGB'ye görülebilir alanda daha fazla rengi ifade edebilme özelliği kazandırır.

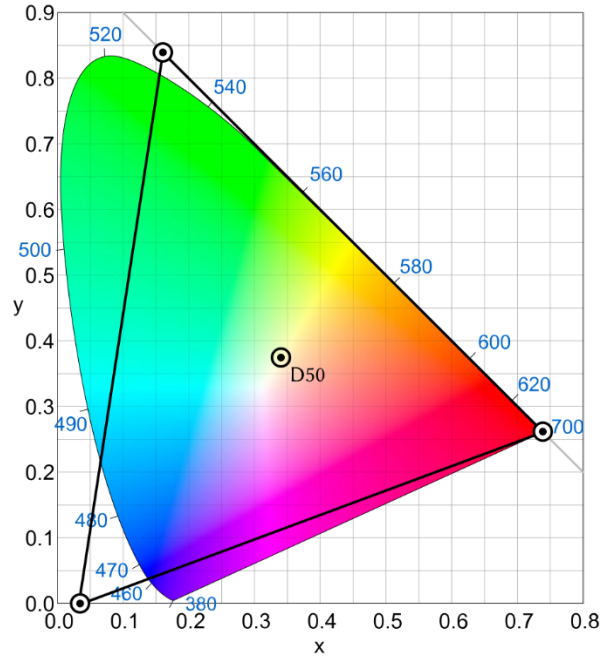


Şekil 2.7. AdobeRGB renk alanı (Rodney, 2006; Kim, 2006; Gabbard ve ark., 2010; Masaoka, 2016)

#### 2.5.5. ProPhotoRGB renk uzayı

ProPhotoRGB Kodak firması tarafından geliştirilen ve Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi CIE 1931 görülebilir alan üzerinde büyük bir kısmını kaplayan bir renk uzayıdır

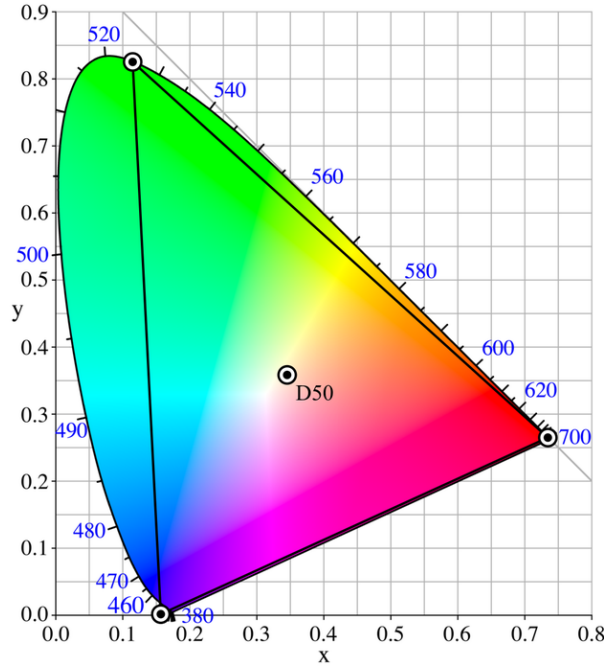
(Pascale, 2006). Renk uzayları arasında görülebilir alanda %90 ile en büyük alanı kaplayan renk uzayıdır (Polat, 2012). Ancak kapladığı alanını %13 lük kısmı görülebilir alan içerisinde yer almamaktadır (Pascale, 2006; Polat, 2012). Bu uzayda renkleri sayısal olarak ifade edebilmek için en az 16 bitlik sayılar kullanılmaktadır.



Şekil 2.8. ProPhotoRGB renk alanı (Pascale, 2006)

### 2.5.6. WideGamutRGB renk uzayı

Adobe firması tarafından geliştirilen ve renk uzayları arasında görülebilir alan üzerinde oldukça büyük bir alanı kaplayan bir renk uzayıdır. CIE 1931 standardına göre görünebilir alan üzerinden yaklaşık %77 lik bir alanı kaplamaktadır. Her bir renk 16 bitlik olarak hesaplanır (Pascale, 2003; Rodney, 2006). Ancak WideGamutRGB renk uzayı ile çalışmak veri kaydetmek ve benzeri gibi işlemler mümkün olsa da günümüzde bu kadar geniş bir renk uzayını gösterebilecek bir monitör bulunmamaktadır.

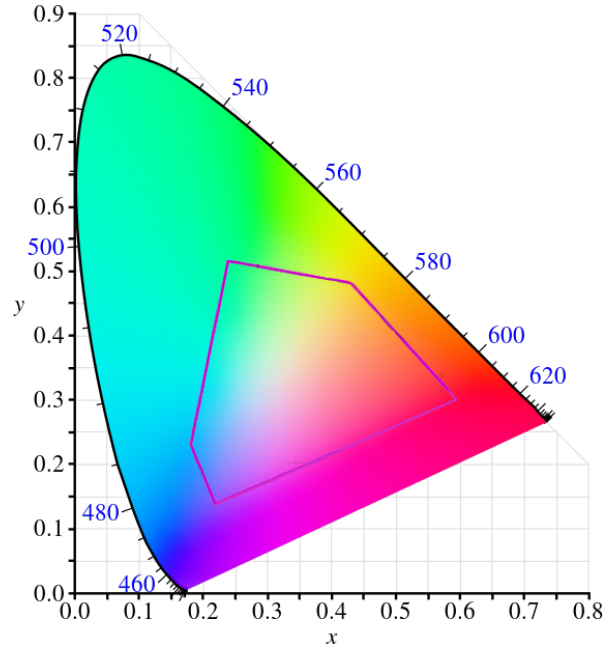


Şekil 2.9. WideGamutRGB renk alanı (Rodney, 2006)

### 2.5.7. CMYK renk uzayı

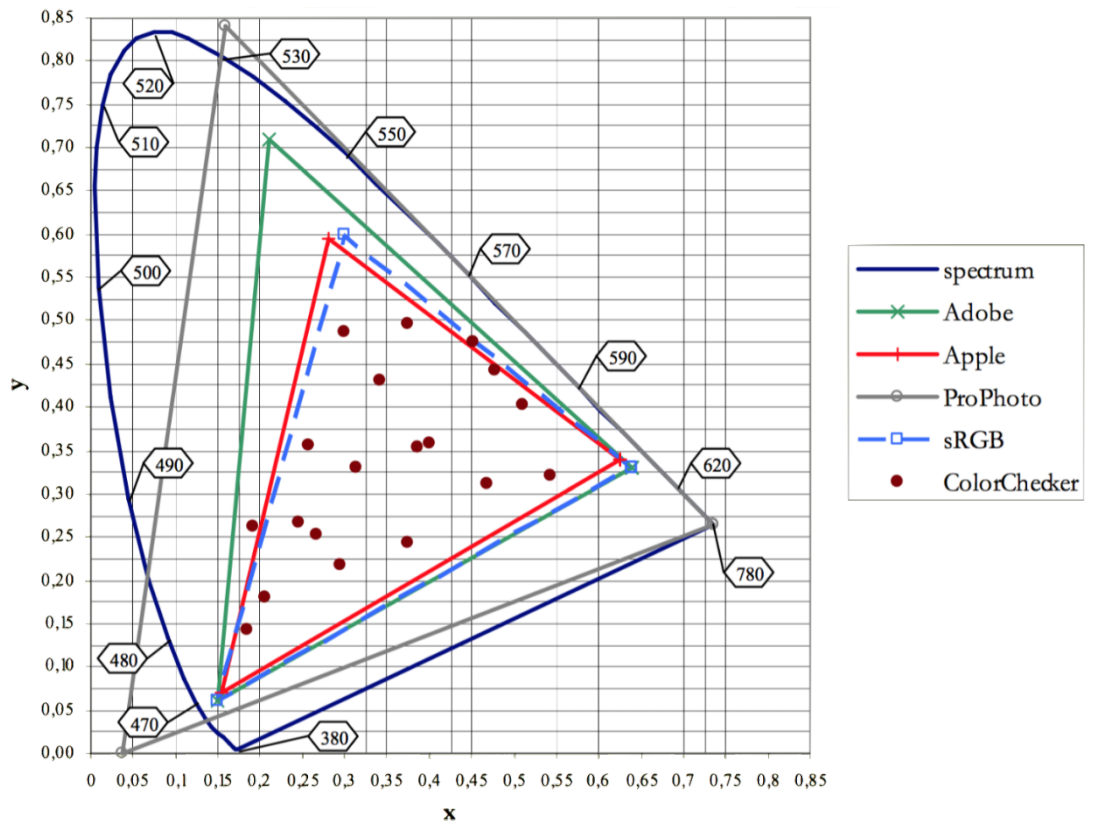
CMYK renk uzayı CMY renk uzayına siyah rengin eklenmesi ile oluşturulmuştur. CMYK içerisine sonradan eklenen 'K' harfi İngilizceden gelen "Key" kelimesinin baş harfini temsil etmektedir (Gatter, 2005). CMYK printer gibi tüm basım cihazlarında kullanan bir renk uzayıdır. Dolayısıyla, RGB renk uzayı renkleri ifade ederken, CMYK renk uzayı pigmentlerini ifade eder demek doğru olacaktır.

Teorik olarak CMY renkleri en yüksek düzeyde birleştirildikleri zaman siyah renk elde edilir. Teorikte yürütülen mantık, tüm renklerin birleştirilmesi sayesinde tüm ışık dalgalarının emilmesini sağlamak böylelikle "Üzerine düşün tüm ışıkları emen bir cisim siyah olarak göze görülmektedir" ifadesine ulaşmaktır. Ancak iş uygulamaya geçtiği zaman bunun imkansız olduğu görülmektedir. Çünkü CMY tüm görülebilir renkleri içermemektedir. Bu yüzden yazıcılarda ve basımlarda kullanılmak üzere CMY renk uzayına siyah renk eklenerek CMYK elde edilmiştir.



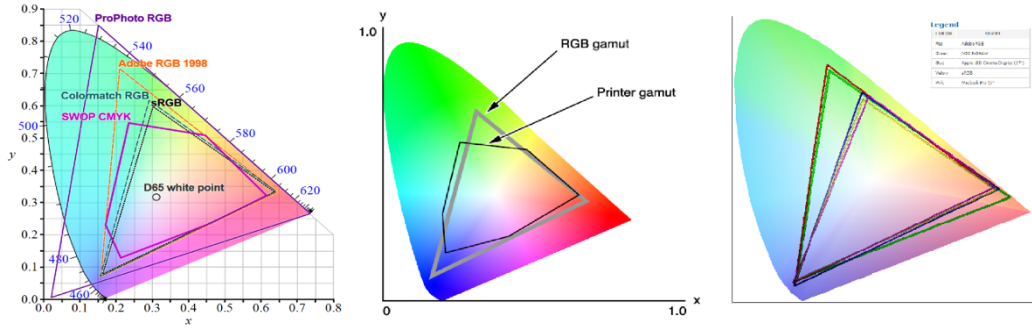
Şekil 2.10. CMYK renk alanı (McGavin ve ark., 2005)

### 2.5.8. Renk uzayı karşılaştırmaları



Şekil 2.11. Renk uzayları karşılaştırılması -1 (Pascale, 2006; Soneira, 2014)

Şekil 2.11.'de RGB tabanlı renk uzaylarının 1931 CIE görülebilir alanı üzerinde karşılaştırılması görülmektedir. Şekil incelendiği zaman görülebilir alanı en fazla kaplayan renk uzayının ProPhotoRGB olduğu anlaşılmaktadır. Ancak ProPhotoRGB renk uzayı ile çalışma yapmak mümkün olsa da günümüzde bu renk uzayını destekleyen bir monitör veya yazıcı bulunmamaktadır.



Şekil 2.12. a. Renk gamut karşılaştırmaları, b. RGB ve yazıcı renkleri gamut karşılaştırmaları, c. Retina ekranın renk gamutu. (Apple, 2005; Pascale, 2006; Altı, 2010; Tobie, 2012; Haslam, 2014; Ricchizzi, 2014; Barbur ve ark., 2009)

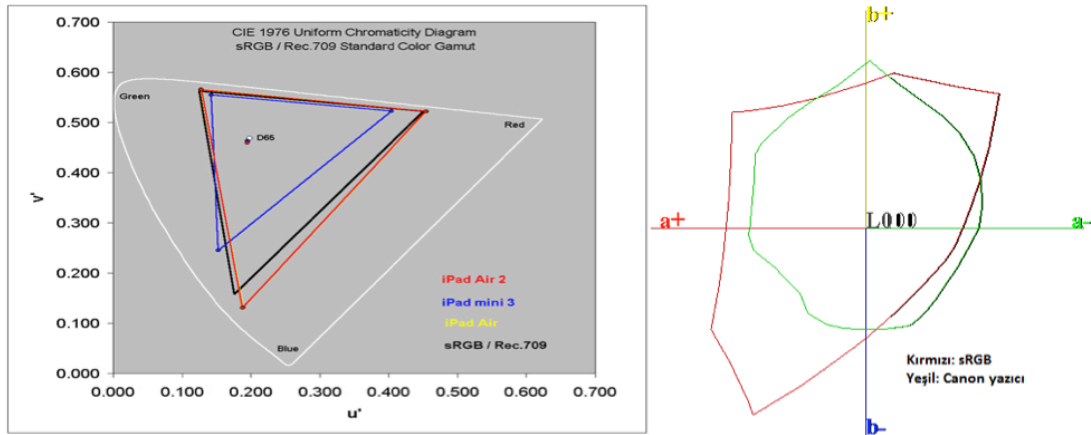
Şekil 2.12.'de farklı renk uzaylarının CIE-1931 görülebilir renk uzayında kapladıkları alanlar gösterilmektedir. Ayrıca CMYK tekniğinin görülebilir alanda kaplamış olduğu yerin RGB renk uzaylarına göre daha küçük olduğu Şekil 2.12b.'de görülmektedir. Buradan sonuç ile, CMYK renk uzayını kullanan yazıcılardan alınan Ishihara renk paletleri üzerindeki renklerin gerçekliliği, RGB renk uzaylarını kullanan monitörlerle elde edilen renklerin gerçekliliğinden daha düşüktür diyebiliriz. Renk kalitesi veya renk doğruluğu açısından, RGB renk uzayı, CMYK renk uzayına göre, görülebilir renk alanı üzerinde daha fazla alanı kaplamaktadır (Altı, 2010). Sonuç itibariyle “RGB renk uzayı ile gösterilen bir rengin, CMKY renk uzayı ile gösterilen renkten daha gerçekçidir” ifadesi doğru bir yaklaşım olacaktır.

Şekil 2.12c.'ye göre tez çalışmasına konu olan yeni testin geliştirildiği ve uygulandığı retina ekranlar sRGB renk uzayı alanının yaklaşık %96'sını kaplamaktadır, ancak CMYK renk uzayı ise bu renk uzayının yaklaşık %60'ini kaplamaktadır. Görüldüğü gibi retina ekranlar CMYK renk uzayından daha geniş bir alanı kaplamaktadır. Bununla birlikte, retina ekranlar profesyonel fotoğrafçılıkta standart olarak kullanılan AdobeRGB alanının da %80'nini kapsayabilmektedir. Retina ekran ile ilgili bu sonuçlar



dikkate alındığında, retina ekran kullanılarak yapılacak olan bir renkli görme testinin doğruluğunun, Ishihara renkli görme testlerine göre daha başarılı olmasının beklenmesi gayet doğaldır.

Farklı modellere ait retina ekranların CIE-1976 renk uzayında kapladıkları alan Şekil 2.13.'de görülmektedir. Şekil incelendiği zaman, iPad Air-2 modeline ait ekran sRGB renk uzayından bile daha fazla bir alan kapladığı rahatlıkla görülebilmektedir. Bu durum gösteriyor ki günümüz bazı tabletlerinin ekran kalitesi bile CMYK renk uzayı tekniği ile alınan renklerden daha fazla gerçeğe yakındır. Buradan sonuç ile tez çalışması ile geliştirilen yeni renkli görme testinin yeterli donanıma sahip tabletlerde gömülü bir sistem haline getirilmesi de mümkündür.



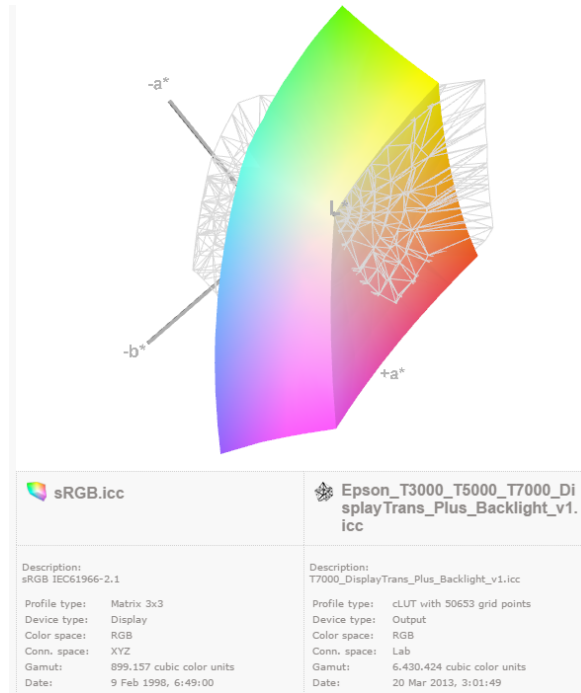
Şekil 2.13. a. Retina ekranlı iPad modellerinin ve sRGB renk gamutlarının CIE-1976 renk standardında kapsadıkları alan (Soneira, 2014) b. Canon İPF5100 (www.canon.com) ile sRGB (CIE-1931) karşılaştırması

Şekil 2.13b.'de günümüz teknolojisine göre en geniş renk alanına sahip yazıcılardan biri olan Canon-İPF5100 yazıcısının sRGB renk uzayına göre kapladığı alan görülmektedir. Görüldüğü gibi, geniş renk alanına sahip olarak bilinen bir yazıcı sRGB'nin renk alanından daha dar bir alanı temsil etmektedir. Bu yönüyle bu yazıcıdan elde edilecek renk körlüğü test paletleri, sRGB renk uzayı alanına sahip bir ekranla elde edilecek paletler ile renklerin kalitesi ve doğruluğu bakımından rekabet edemeyecektir.

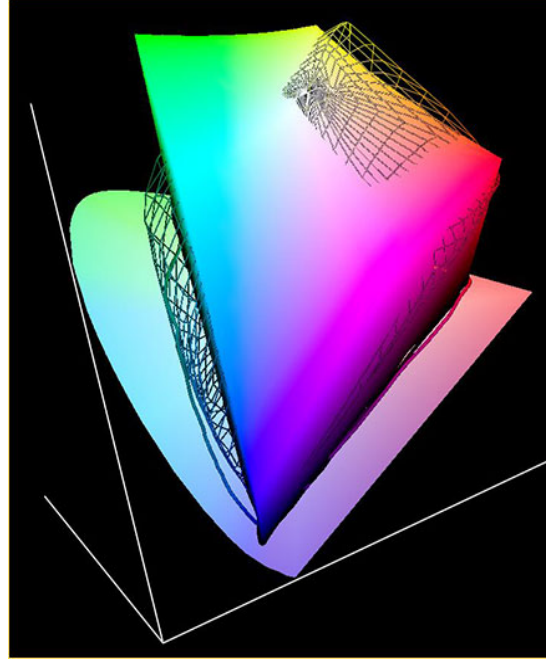
Ishihara renk paletlerinin renk alanı geniş yazıcılarla elde edilmesi de seçeneklerden biridir. Ancak geniş renk alanı olan yazıcıların maliyetleri de önemli sorunlardan

biridir. Ayrıca yazıcı ile birlikte kullanılan kağıtların kalitesi de renk paletlerini doğrudan etkileyeceği dikkat edilmesi gereken hususlardandır. Şekil 2.12.'de CIE-1931 görülebilir renk uzayında en fazla alanı kaplayan ProPhotoRGB renk uzayı olduğu görülmektedir. Ancak günümüz teknolojisinde hiç bir yazıcı bu renk uzayı kalitesinde çıktı verememektedir (Reichmann, 2009).

Şekil 2.14. ve 2.15.'de farklı marka yazıcıların bilinen renk uzayları ile karşılaştırılmaları incelendiği zaman yazıcıdan çıktı alınan bir rengin, ekrandan gösterilen renkten daha düşük kalitede olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden, bilgisayarda geliştirilecek olan yeni bir renk körlüğü testinde kullanılan renklerin, bir yazıcıdan alınan renklere daha başarılı olması beklenmektedir.



Şekil 2.14. sRGB (CIE-1931) ve Epson T7000 renk profilleri karşılaştırması (Epson, 2010; Anom, 2014)



Şekil 2.15. sRGB ve Epson 7900 renk profilleri karşılaştırılması (Koyu kısım:Adobe RGB, çizgili kısım: Epson 7900) (Reichmann, 2009)

Geniş renk alanına sahip olarak bilinen Epson Stylus 4900 yazıcısı da CMYK renk uzayına ek olarak ayrıca Turuncu ve Yeşil renkleri de eklemiştir. Bunun sonucunda sRGB alanını kapsayan bir renkli çıktı kalitesi elde etmişlerdir (Groothuis, 2015). Ayrıca yine aynı firmaya ait 10 farklı renkli kartuş ile çalışan Epson SureColor S80600 yazıcısı ile sRGB alanını kaplayan renkli çıktı aldıklarını belirtmişlerdir. Piyasada bulunan bazı yazıcıların kaplayabildikleri renk alanlarının sRGB renk uzayından daha geniş olduğu iddia edildiği halde, birçok bağımsız test sonucunda, bu yazıcıların sRGB alanını dahi yakalayamadıklarına dair raporlar bulunmaktadır.

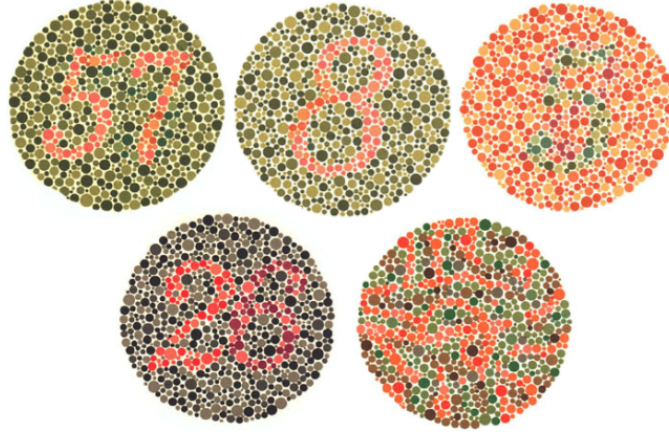
Şu unutulmamalıdır ki, günümüzde AdobeRGB kalitesini destekleyen monitörler bulunmaktadır. Yukarıda isimleri verilen en üst renk alanına sahip yazıcılar bile AdobeRGB renk uzayının ancak %60'ını kaplayabilmektedir. Bu durum her zaman monitörden gösterilen bir rengin, yazıcıdan alınan bir renge göre daha gerçek ve doğru olduğunu gösterir. Dolayısıyla uygun bir ekran kullanılmasıyla, bilgisayar tabanlı bir renkli görme testinin, renk kalitesi bakımından Ishihara testinden daha iyi olması beklenmektedir. Ayrıca tez çalışması konusu olan yeni renkli görme testinin farklı ekranlar ve donanımlarla kullanılmasıyla elde edilen sonuçların değerlendirilmesi en son bölümde yapılmıştır.

## BÖLÜM 3. MEVCUT RENKLİ GÖRME TESTLERİ

Bu bölümde en çok kullanılan renkli görme testleri hakkında bilgiler verilerek olumsuzlukları ve zayıf yönleri incelenmiştir. Ayrıca, tez çalışmasına konu olan yeni testin bu dezavantajları hangi ölçüde ve nasıl ortadan kaldıracacağı hakkında bilgiler verilmiştir.

Renk körlüğü için kullanılan dört tip test mevcuttur: Psödoizokromatik paletler (Ishihara) , Anomaloskop, Sıralama testleri (hue ayırıştırma) ve Fanuslar (lanterns).

### 3.1. Ishihara Renkli Görme Paletleri



Şekil 3.1. Ishihara renkli görme paletleri (Palet no:5,2,14,22 ve 8) (Ishihara, 1972; Ishihara, 1990)

Ishihara renkli paletleri farklı boyutta ve renkte bir çok yuvarlağın birleştirilmesi ile oluşur. Her bir renkli palet içerisinde sadece renkli görme bozukluğu olmayan bireyin görebileceği gizli bir sayı veya takip edebileceği gizli bir çizgi bulunur. Tam bir test, toplamda 38 paletten oluşmaktadır (Bajcsy ve Kooper, 2005). Bazı renkli paletlerin içerisinde ise sadece renkli görme bozukluğu olan bireyin okuyabileceği bir sayı veya

takip edebileceği bir çizgi bulunmaktadır. Bu çizgi veya sayı normal renkli görme yetisine sahip bireyler tarafından görülemez.

Geleneksel ve yaygın olarak renk körlüğü tespitinde kullanılan Ishihara testleri (Birch, 1997) kaba ve yetersiz bir sınıflandırma yapmakla birlikte renk kusurlarına sahip tüm denekleri aynı havuzda toplamaktadır. Başka bir ifadeyle, detaylı bir sonuç vermeden sadece renk körlüğü testini pozitif/negatif mantıkta değerlendirmektedir. Bununla beraber testi gerçekleştirmek üzere kullanılan renk paletleri de ezberlenmeye, yırtılmaya ve solmaya yatkın kâğıt baskı ile üretilmektedirler. Ayrıca bu testin aşağıda listelenen birçok olumsuzlukları ve zayıf yönleri de mevcuttur:

- a. Ishihara testleri ile renk körlüğünün tanısında detaylı sonuç alınması mümkün değildir (Ishihara, 1972; Frech, 2008),
- b. Defalarca kullanılan renk paletlerin zamanla yıpranması, parmak izleri oluşması, toz toplaması gibi sebeplerden dolayı test doğruluğunun düşmesi (Ishihara, 1990; Birch, 1997; Yates ve Heikens, 2001),
- c. Ishihara testlerinde kullanılan kâğıtların belirlenmiş bir standardı bulunmamaktadır. Teste kullanılan renklerin parlaklık düzeyleri ve netlikleri kullanılan kâğıdın kalitesine bağlıdır (Gündoğan ve ark., 2003),
- d. Çıktı alınan yazıcının gerekli keskinlik ve netlik düzeyini sağlayamama riski vardır (Lee, 2003),
- e. Testlerde kullanılan renkler doğruluğu ölçülmeden kişilere uygulanmaktadır (Yates ve Heikens, 2001; Frech, 2008),
- f. Test olan kişinin kararlılık veya kararsızlığını, renk seçimindeki kolaylığını veya güçlüğü belirleyememesi (Gündoğan ve ark., 2003) farklı sonuçlara sebep olmaktadır,
- g. Ishihara testlerinin uygulandığı ortamın aydınlık şiddeti ve şeklinin ölçülmemesi sonucu hatalı sonuçlar alınabilmesi mümkündür. Çünkü renklerin oluşumu doğrudan ortam aydınlığı parametresine bağlıdır,
- h. Güneş ışıklarının, günün farklı zamanlarında test odalarına farklı açı ile düşmesi sonucu, farklı test sonuçları ortaya çıkmaktadır (Yates ve Heikens, 2001),

- i. Test süresinin belirsiz olması,
- j. Kişinin hangi rengi, ne kadar ölçüde kusurlu olarak gördüğünün tespitinin yapılamaması (Lee, 2003),
- k. Ishihara ile yapılan testlerin bilimsel sistemlere uygulaması zor olduğu için, denek bilgilerinin kayıt edilememesi,
- l. Ishihara testi sabit ve belirli bir sırada olan renk paletlerinden oluştuğu için bireyler tarafından önceden ezberlenmesi mümkündür. Bu durum nadir de olsa Ishihara test sonuçlarının doğruluğunu etkilemesi,
- m. Ishihara testinde Tritanopi renk körlüğü için paletler bulunmamaktadır (Dain, 2004) dolayısıyla Tritanopi tip renk körlüğünü ölçememektedir (Fitzgerald, 1985),
- n. Kullanılan Ishihara testleri arasında görülebilir derecede farklılıklar olabilmektedir (Hardy, 1946; Hardy, 1947; Lee, 2003; Rodriguez-Carmona ve ark., 2012),
- o. Ishihara renk paletleri gün ışığına maruz kaldıklarında solmaktadır (Ishihara, 1972),
- p. Bazen, bazı Ishihara renkli paletleri renkli görme bozukluğu olmayan birey tarafından bile okunamamaktadır (Chia ve ark., 2008; Rodriguez-Carmona ve ark., 2012).

Bu kadar olumsuzlukları ve zayıf yönleri ile yapılan bir renkli görme testinin doğruluğu ayrı bir tartışma konusudur. Dünya genelinde renk körlüğünün tanısında, Ishihara renkli paletleri en yaygın olarak kullanılan testtir (Bruton,1996; Birch, 1997; Carl ve John, 1993; Birch, 2001; Dain, 2004; Deeb ve Motulsky, 2015; Shrestha ve Shrestha, 2015). Akla şu soru gelmektedir: Bu kadar zayıf yönü olduğu halde niçin tercih edilmektedir? Cevap olarak aşağıdaki avantajlar sıralanabilir:

- a. Pratikdir: Testi uygulayan kişi için profesyonel bir bilgi gerektirmez.
- b. Hızlıdır: Sadece seçilmiş bir kaç palet ile basit bir sonuç elde edilebilir (Ishihara, 1972; Ishihara, 1990).
- c. Ucuzdur: (Rodriguez-Carmona ve ark., 2012) Renkli görme testleri içerisinde un ucuz olanıdır.

- d. Basit ve sade: Uygulamanın öğrenilmesi diğer testlere nazaran oldukça kolaydır (Rodriguez-Carmona ve ark., 2012).

### 3.2. Farnsworth Munsell'in 100 Hue Testi



Şekil 3.2. Farnsworth munsell 100 hue test paletleri

Bu testte 85 adet farklı renkte ve Şekil 3.2.'de olduğu gibi küçük renk kapları bulunmaktadır. Bu renkleri taşıyan piyonlar 4 ayrı kutuda yer almakta, her renk numaralandırılmış olarak düzgün bir sıra içinde bulunmaktadır (Winston ve ark., 1986; Carl ve John, 1993). Test uygulanmadan önce bu düzenli renk sırası bozulmakta, test uygulanırken belirli standartlara göre sıraya konulması istenmektedir (Gündoğan, 2003; Karaca ve ark., 2005; Banchev, 2014).

Ancak bu testte de zamanla piyonların taşıdığı renkler değişip solmaktadır. Kullanılan renkler matbu olarak basılmış kartonlar üzerinde olduğu için elin teri veya kirinden etkilenmekte renk kalitelerinde bozukluklar oluşmaktadır. Ayrıca testin süresi şahıslara göre değişmekte, zamanı standardize etmek mümkün olmamaktadır (Gündoğan, 2003). Ayrıca 100 Hue testlerinde aydınlığı standartlaştırmak oldukça zordur ve testin uygulanması çok uzun süre aldığı için pratik değildir.

### 3.3. D-15 Renk Sıralaması Testi (Dichotomous 15 Test)



Şekil 3.3. D-15 testi

Farnsworth Munsell'in 100 Hue Testi'nin kısaltılmış bir versiyonudur. Bu testte 15 adet kare şekilli diskin belirli bir sıraya göre düzenlenmesi istenmektedir. Renkli görme bozukluğu olan bireyler bu diskleri doğru bir şekilde sıralayamazlar (Cole ve Orenstein, 2003; Laven, 2003). D-15 testi renk körlüğünün tipi ve ağırlığını tespit edebilmektedir. Ancak zayıf renkli görme bozukluğu olan ve birden fazla koni hücresi kusurlu bireyleri ayırt edememektedir.

### 3.4. Anomaloskop



Şekil 3.4. Anomaloskop cihazı

Anomaloskop, konjenital ve kazanılmış renkli görme bozukluklarının tanısı ve oranını belirlemede kullanılan bir test cihazıdır. Renk körlüğü testlerinde en doğru sonuçlar bu yöntemle elde edilebilir. Bu yüzden renkli görmede altın standart (Yates ve Heikens, 2001; Dain, 2004; Singh,2006; Chacon ve ark., 2015; Walsh ve ark., 2016) veya diğer bir deyimle 'referans test' (Formankiewicz, 2009) olarak bilinmektedir.



Diğer renkli görme testlerinden daha duyarlı olsa da test süresinin uzun olması ve cihazın yüksek maliyeti yaygın olarak kullanımını kısıtlamaktadır. Ayrıca cihaz profesyonel bir operatör gerektirmesinin yanı sıra, testin yapılacağı deneğinde cihazının kullanımı ile ilgili bilgi sahibi olması gerekmektedir. Bu yüzden yaşlı ve çocuklar üzerinde kullanılması da oldukça zordur.

Anomaloskop ile yapılan renkli görme testinin bu kadar başarılı olmasının en büyük nedenlerinden biri, cihaz test için gerekli olan ışığını kendisinin sağlaması ve deneğin renge karşı olan bakış açısının değişmesinin mümkün olmamasıdır. Rengin oluşumunda doğrudan etkili olan ortam aydınlık şiddeti veya bakış açısı gibi parametrelerin sabitlenmesi sayesinde testin doğruluğu en yüksek düzeyde olmaktadır.

### 3.5. Holmgren Testi

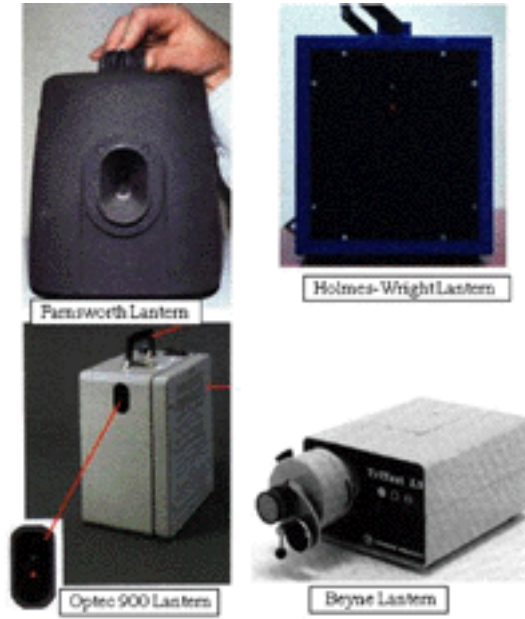


Şekil 3.5. Holmgren testi

Şekil 3.5.'de standart kullanılan bir Holmgren testi görülmektedir. Bu yöntemde test edilen kişinin eline kısa kesilmiş çok sayıda farklı renklerdeki iplikçiklerden oluşan renkli iplik yumağı verilmektedir. Renkli yumak içinde bulunan üç standart renk ayrı ayrı zamanlarda test edilen kişiye verilerek renkli yumak içinden bu standart rengi seçmesi istenir. Bu yöntemde kullanılan ipliklerin yapısı, dokunuş özelliği, sertliği, yumuşaklığı, yüzeylerinin kaygan veya pürüzlü oluşu eşit renklerin bir araya

getirilmesinde yardımcı olmaktadır. Olaya dokunma duyusu da eşlik ettiğinden şahıs renk körü olsa bile benzer iplikleri doğru olarak yan yana getirebilmektedir. Ayrıca zamanla renkli ipliklerin solması aynı iplik yumağı ile uzun süre yapılan çalışmalarda sorun oluşturmaktadır (Gündoğan, 2003).

### 3.6. Fanus Testi (Lantern Testi)



Şekil 3.6. Farklı lanter test cihazları

Fanus testleri özellikle hava, demir ve deniz yolu çalışanlarının yardımcı ışıklar ve sinyalleri ayırt edebilmesini ölçmek için tasarlanmıştır. 19. Yüzyıldan beri kullanılan bu testte renkleri ayırmanın yanı sıra, doğru olarak isimlendirilmesi de şarttır. Çalışma mantığı ışık kaynağından gelen kırmızı, beyaz veya yeşil renklerin ayırt edilmesi ve isimlerinin doğru olarak bilinmesi üzerine geliştirilmiştir. Gerektiğinde cam ve lensler yardımıyla sarı, yeşil, mavi ve pembe gibi renklerin gösterilmesi de sağlanmaktadır (Kalloniatis ve Luu, 2015). Şekil 3.6.'da farklı model ve tipte Fanus (Lantern) test cihazları görülmektedir.

Ancak bu testlerin renk körlüğünü tespitinde güvenilir olduğuna dair literatürde neredeyse hiçbir atıf bulunmamaktadır. Aksine Fanus testinin basit ve yetersiz olduğuna ilişkin raporlar bulunmaktadır (Yates ve Heikens, 2001). Fanus testleri

sadece belirli renkleri ayırt etmek üzerine geliştirilmiştir. Doğal olarak deneğin renk körlüğü tipini tespit etmesi ve detaylı sonuç vermesi mümkün değildir. Testlerde kullanılan ışık kaynağının kalibrasyonu ölçülmemektedir bu yüzden cihazdan cihaza farklı test sonuçları elde edilebilir. Ayrıca deneklerin gösterilen renkleri göremedikleri durumlarda renkleri tahmin etmeye çalışmaları hatalı sonuçlara sebep olabilmektedir (Yates ve Heikens, 2001). Üstelik düşük aralıklı bir Anomaloskop veya D15 testinden başarısız olan bir deneğin bu testi geçmesi mümkündür (Kalloniatis ve Luu, 2015).

Genel olarak incelendiğinde Ishihara testinde olan tüm zayıf yönlerin literatürde yer alan diğer renk körlüğü testleri için de geçerli olduğu kanaatine varılmaktadır. İlgili olumsuzluklar ve dezavantajlarla yapılan bir testin, doğruluğu tartışma konusudur. Ayrıca Anomaloskop yöntemi hariç diğer testler detaylı bir sonuç sağlayamadığı için, bir rengin belirli tonlarına karşı kusurlu bir denek için “Renk Körüdür” teşhisi konmaktadır. Bu sebeple, renkli görme yetersizliği olan bir bireyin bir rengi tamamıyla göremediği gibi bir yanlış tanı oluşmaktadır (Birren, 2016). Zira mevcut testlerle kişinin hangi rengin, hangi tonuna karşı ne kadar zayıf olduğunun söylenmesi mümkün değildir. Çünkü testlerin çoğu sadece renk körüdür/değildir şeklinde sonuç vermektedir (Walsh ve ark., 2016). Renk körlüğünün tanısında kullanılan literatürde yer alan bazı testlerin parametrik karşılaştırılması Tablo 3.1.’de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi Ishihara testleri diğer testlere oranla kullanım sıklığı en yüksek test olarak gözükmektedir. Tablo 3.1.’de en başarılı tanı yöntemi Anomaloskop olarak görülse de, uygulanabilirliği çok düşük ve maliyeti çok yüksek olduğundan günümüzde bu test yerine Ishihara renk paletleri tercih edilmektedir (French ve ark., 2008).

Tablo 3.1. Mevcut kullanılan renkli görme testlerinin karşılaştırılması (Cole ve Vingrys, 1983; Cole ve Maddocks, 1998; French ve ark., 2008; Flück, 2010; Picken ve ark., 2010; Rings, 2014)

Test	Kullanılma Sıklığı	Yıl	Güvenirlilik	Hassas Tanı	Kırmızı - Yeşil Kusuru bulma	Oransal Tanı	Tritan Kusuru Bulma	Maliyet	Tanı Süresi	Eğitim Süresi
Ishihara	Geniş Kullanım	1917	Hassasiyet 0.93 Özgünlük 0.98	Yok	Var	Yok	Yok	<500\$	<5 dk.	<5 dk.
FM-100	Nadir	1943	Hassasiyet 1.0 Özgünlük 0.83	Var	Var	Yok	Var	900\$	60 dk	60 dk.
D-15	Medikal ve Araştırmalarda	1947	Hassasiyet 0.74 Özgünlük 0.85	Yok	Var	Yok	Var	350\$	>10 dk.	>10 dk.
Anomaloscope (Nagel)	Çok Nadir	1967	Hassasiyet 1.0 Özgünlük 1.0	Var	Var	Var	Var	>19000\$	~10 dk.	~10 dk.
Lantern (Falant)	Sinyal ışıkları ayırmaya yönelik mesleklerde	1980	Hassasiyet 0.25 Özgünlük 1.0	Yok	Var	Yok	Var	3000\$	<5 dk.	<5 dk.
<b>Yeni Test ile (Hedeflenen)</b>	<b>Geniş Kullanım</b>	<b>2017</b>	<b>Hassasiyet 1.0 Özgünlük 1.0</b>	<b>Var</b>	<b>Var</b>	<b>Var</b>	<b>Var</b>	<b>~ 300\$</b>	<b>~ 5 dk.</b>	<b>~ 5 dk.</b>

Tez çalışmasına konu olan yeni testin uygulanabilirlik düzeyinin Ishihara'nın üzerinde, başarımlarının ise Anomaloskop seviyesinde olması hedeflenmiştir. Mevcut kullanılan testlerin ve literatürde yer alan testlerin yukarıda anılan olumsuzlukları ve zayıf noktaları yeni geliştirilecek olan test ile beraber giderilerek günümüz teknolojisine daha uygun yeni bir renk körlüğü testi geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## **BÖLÜM 4. LİTERATÜR TARAMASI VE ANKET ÇALIŞMASI**

Bu bölümde tez çalışmasına konu olan “bilgisayar tabanlı detaylı sonuç veren renkli görme testi” ne benzer literatürde yapılmış çalışmalar ve daha önceden alınmış patentler incelenmiştir. Bu incelenen çalışmalar ile geliştirilen test arasındaki farklılıklar sunulmuştur. Ayrıca, sadece alanında uzman doktorlarla birlikte yürütülen ve 10 sorudan oluşan bir anket çalışması yapılmıştır (Anket çalışmasının bir örneği eklerde yer almaktadır). Bölüm sonunda anket çalışması ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### **4.1. Literatürdeki Benzer Çalışmalar**

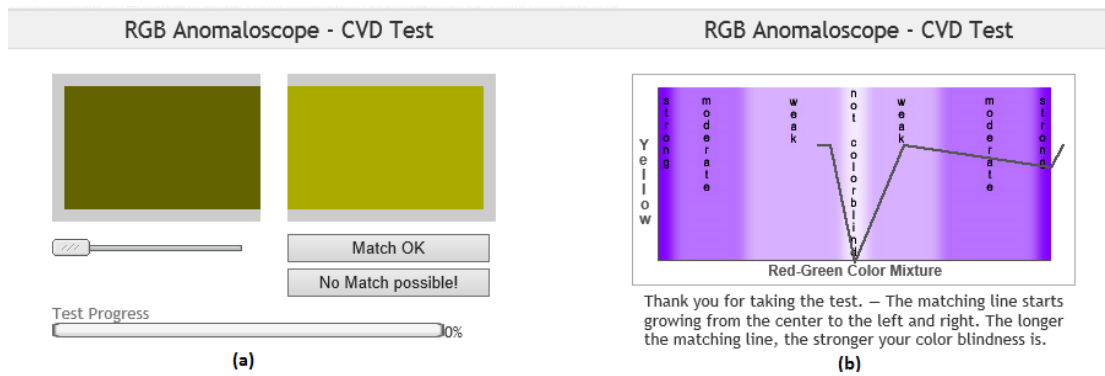
Gündoğan ve arkadaşları, Farnsworth-Munsell 100 Hue ve Holmgren testlerini değiştirerek bilgisayar ortamına uygun hale getirip denekler üzerine uygulamıştır. Öncelikle denekleri Ishihara test sonuçlarına göre renkli görme bozukluğu olan ve olmayan şeklinde ikiye ayırmıştır. Her grup 13 denek içermektedir. Her iki gruba da hem FM 100 hem de yeni geliştirmiş oldukları testi uygulamışlardır. Çalışmaları sonucunda %100 duyarlılık ve %100 özgünlük elde ettiklerini belirtmişlerdir (Gündoğan ve ark., 2003). Toplamda 26 kişi ile yapmış oldukları bu çalışma, daha güvenilir sonuçlar almak için daha fazla denek üzerinde denenmelidir. Ayrıca çalışmalarında her hangi bir monitör veya ortam parametresi standardı belirtmemişlerdir.

Anstis ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada, göz merceğinin bazı özel renklere karşı verdiği tepki/hareket ile renkli görme bozukluklarının tespitini sağlamıştır. Deneklere bir bilgisayar kontrollü CRT TV vasıtasıyla bazı özel renkler göstermişlerdir. Denekler monitörü seyredirken, deneklerin göz hareketlerini ve tepkilerini incelemişlerdir (Anstis ve ark., 1986). Testin yapılması profesyonel bir

operatör ve profesyonel düzeyde bilgi gerektirdiği için pratik değildir ve günümüzde deneklere uygulanması oldukça zordur. Ayrıca test ekipmanları oldukça pahalıdır.

Marey ve arkadaşları, 38 paletlik Ishihara testinden sadece ilk 21 Ishihara paletini 600 DPI tarayıcıyla taramış ve elde edilen resimlerin üzerinde herhangi bir düzeltme veya benzeri çalışmalar yapmadan bir LCD monitör vasıtasıyla deneklere uygulamışlardır. Çalışmalarını 23 denek üzerinde uygulamışlardır. Çalışmaları sonucunda %100 duyarlılık ve %98.78 özgünlük elde etmişlerdir (Marey ve ark., 2015). Çalışmada daha fazla denek kullanılması, testin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırabilirdi. Fakat sonuç itibari ile bu çalışma artık bilgisayar ekranlarının, Ishihara renkli paletler yerine kullanılabilceği gerçeğini vurgulamaktadır.

Pardo ve arkadaşları çalışmalarında, Anomaloskop'un çalışma prensibine dayanarak bunu bilgisayar üzerinde tasarlamışlardır. Bilgisayar tabanlı tasarlanan bu renkli görme testinde asıl amaç Pickford-Nicolson Anomaloskop tekniğini bilgisayarda simüle ederek en çok karşılaşılan kırmızı – yeşil görme kusurlarını tespit etmektir. Bu teknikte eski teknoloji olan CRT monitörler kullanılmıştır ve Ishihara renk paletleri ile yaklaşık aynı sonuçlar alınmıştır (Pardo ve ark., 2000). Fakat bu testte, test ekipmanları doğrulukları ölçülmeden yapılmıştır ve testlerde kullanılan CRT monitör teknolojisi oldukça eski olmakla beraber, herhangi bir ekran standardı belirlenmemiştir. Bu yüzden farklı ekranlarda farklı test sonuçları elde edilmesi mümkündür. Bu testte diğer kullanılan testlerde olduğu gibi ölçümü doğrudan etkileyecek ortam değişkenleri kontrol edilmemiştir.



Şekil 4.1. a. Mevcut bir çevrimiçi anomaloskop test arayüzü b. Test raporu (Flück, 2010)

Şekil 4.1.'de çevrimiçi bir anomalaskop testinin benzetimi görülmektedir. Denek, Şekil 4.1a.'daki resmin sol tarafındaki sürgüyü sağa ve sola kaydırarak, soldaki pencerede oluşan rengi sağdaki penceredeki renk ile eşleştirmeye çalışır. Eş olduğunu hissettiği noktada "Match OK" butonuna basar ve bir sonraki ekrana geçer. Testin sonunda, Şekil 4.1b.'de ki gibi bir sonuç raporu üretilmektedir. Şeklin üzerinde ne kadar uzun bir yatay siyah çizgi oluşturursa deneğin o kadar ağır renk körü olduğu anlaşılır (Flück, 2010). Burada oluşturulan rapor da çok detaylı bir rapor değildir ve nicemsel bir analize imkân tanımamaktadır. Ayrıca testin uygulandığı ekranın bir standarttı ve kalibrasyonun olma/olmama durumu testin sonucunu doğrudan etkileyecektir. Buna ek olarak testin doğruluğu veya özgünlük/duyarlılığı hesaplanmamıştır.

Literatürde ve WWW 'de bunların haricinde bir çok renk körlüğü testi bulunmaktadır. Ancak bu testlerin doğrulukları ve özgünlükleri bilinmemektedir.

#### **4.2. Benzer Çalışmalar ile Alman Patentler**

Tez çalışmasına konu olan yeni geliştirilen teste benzer çalışmalarla alınan patentler incelenerek; yeni test ile incelenen patentler arası farklılıklar Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Tez çalışmasına benzer konuda alınan patentlerin incelenmesi

Patent No ve Sınıflandırma	Patent İsmi	Patent Sahipleri	Kaynak	Proje fikri ile Benzerlikler/Farklar
KR20070010812 - A61B3/06	Method And Apparatus Of Color Vision Deficiency Modeling Using Color Vision Tests And Color Compensation	RO YONG MAN [KR]; YANG SEUNG JI [KR]	Espacenet tpe.gov.tr google/patents www.epo.org	<b>Benzerlik:</b> Bilgisayar tabanlı renk körlüğü testi olması <b>Farklar:</b> Patent detaylı sonuç veren bir tanıyı içermemekte olup, geleneksel testlerin bilgisayar ekranına taşınmasından ibarettir.
CN102462484 - A61B3/032	Detection method of eyesight	BO HU	Espacenet tpe.gov.tr google/patents www.epo.org	<b>Benzerlik:</b> Bilgisayar tabanlı renk körlüğü testi olması <b>Farklar:</b> Patent detaylı sonuç veren bir tanıyı içermemekte olup, sadece bir test çeşidinin ve tek harf tabanlı uygulamasının bilgisayar ekranında oluşturulmasıdır.
US5589898 - A61B3/06	Method and system for color vision deficiency correction	ATKINSON HOLLY G	Espacenet tpe.gov.tr google/patents www.epo.org	<b>Benzerlik:</b> Bilgisayar tabanlı renk körlüğü testi olması <b>Farklar:</b> Patent tıbbi amaçlı değildir. Renk körlüğünü detaylı bir şekilde ölçmemektedir. Renk körlüğü olan bilgisayar kullanıcıları için ekrandaki renkleri kolay görmeyi sağlayan bir cihaz ve ayar mekanizması içermektedir.

### 4.3. Anket Çalışması

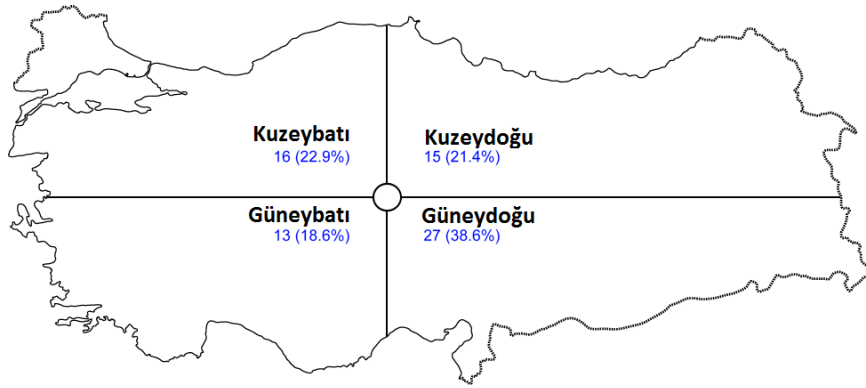
Tez çalışması kapsamında, renkli görme bozukluklarının tanısı için kullanılan mevcut testlerle ilgili bir değerlendirme anketi hazırlanmıştır. Değerlendirmeye farklı illerde göz hastalıkları alanında uzman, en az yardımcı doçent unvanına sahip, ortalama 10 yıl mesleki tecrübesi olan 45 bay ve 18 bayandan oluşan toplamda 70 doktor katılmıştır.

Tablo 4.2. Anket çalışmasına katılanların demografik dağılımı

Katılımcılar (n=70)		
	Açıklama	n (%)
Yaş (Yıl)	30 ± 5	33 (47.1)
	40 ± 5	26 (37.1)
	50 ± 5	8 (11.4)
	60 ± 5	3 (4.3)
Cinsiyet	Erkek	50 (71.4)
	Bayan	20 (28.6)
Çalıştığı kurum	Üniversite Hastanesi	25 (35.7)
	Devlet Hastanesi	26 (37.1)
	Eğitim ve Araştırma Hastanesi	12 (17.1)
	Askeri Hastane	6 (8.6)
	Özel Hastane	1 (1.4)
Tecrübe (Yıl)	0 - 5 yıl	25 (35.7)
	6 - 10 yıl	26 (37.1)
	11 - 15 yıl	7 (10)
	≥16 yıl	12 (17.1)

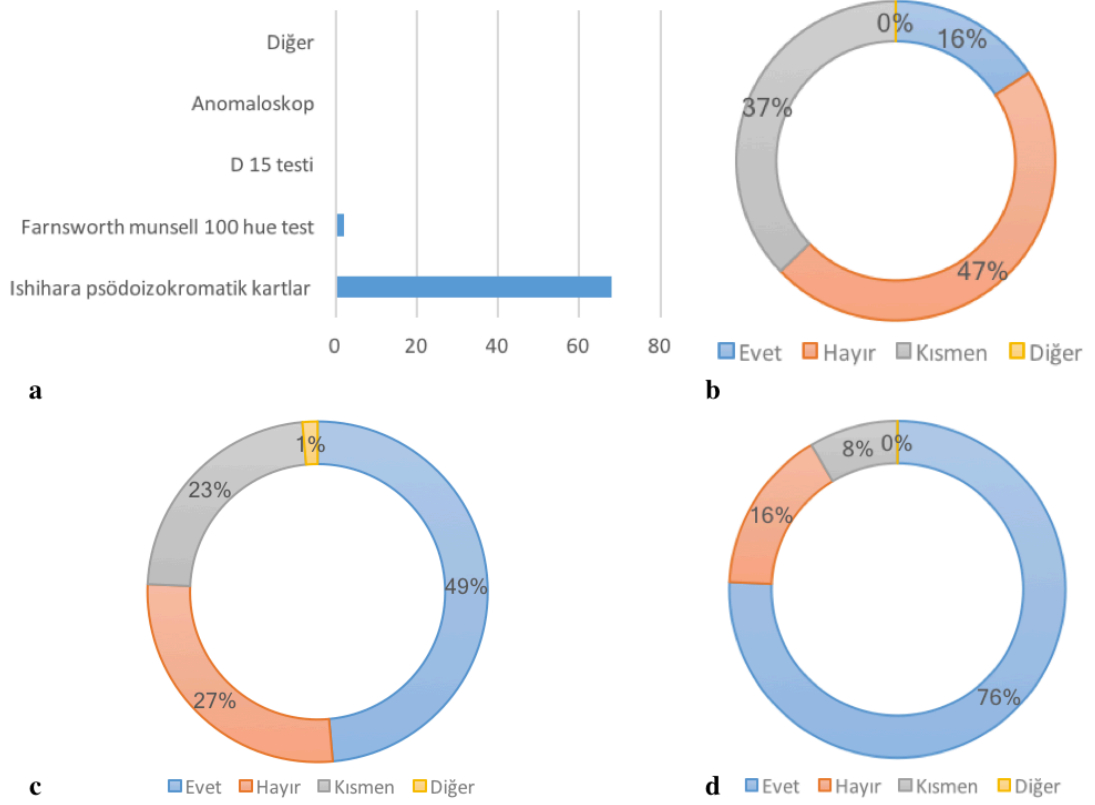


Tablo 4.2.'de anket katılımcılarının demografik bilgileri görülmektedir. Bu tabloya göre katılımcıların büyük çoğunluğunun 10 yıldan fazla tecrübesi bulunmaktadır. Tüm katılımcıların özellikle göz hastalıkları ana bilim dalında uzman olanlardan seçilmesi “Renkli Görme” noktasında anket sorularına vermiş oldukları cevapların önemini vurgulamaktadır. Katılımcıların tüm ülke genelinde farklı illerde olması anket değerlendirmesinde “Türkiye genelinde” ifadesini mümkün kılmaktadır. Şekil 4.2. Türkiye genelinde katılımcıların dağılımını ifade etmektedir. Nüfus yoğunlukları düşünülerek Ankara şehri orta nokta kabul edilmiş ve buna göre dağılımlar hesaplanmıştır.



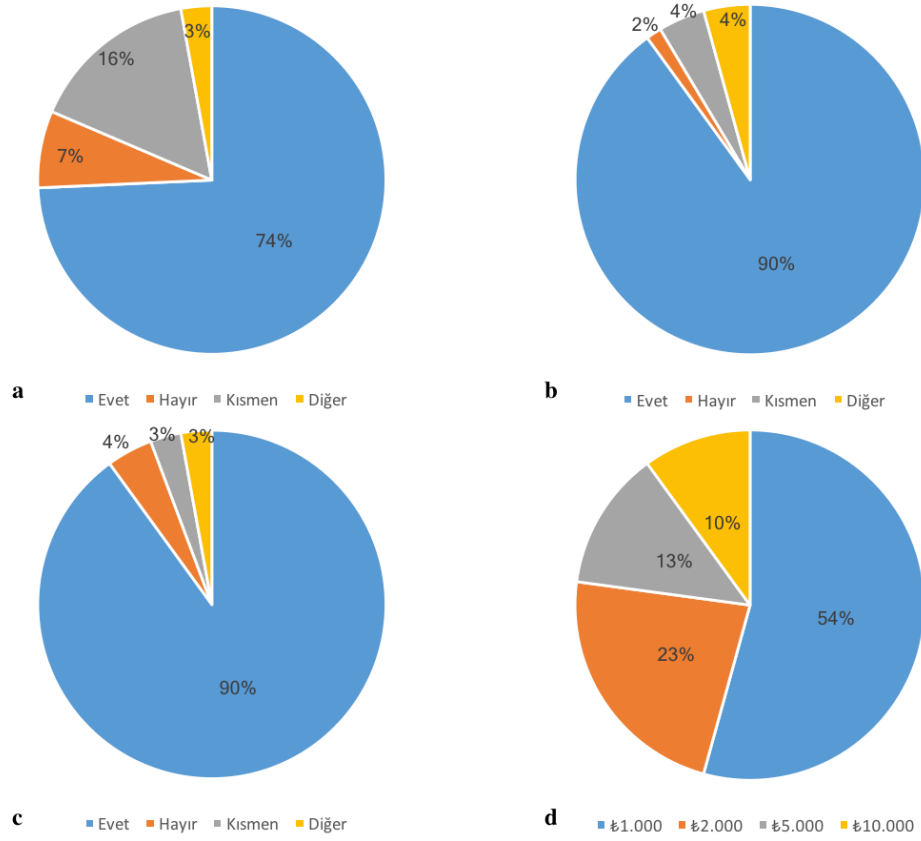
Şekil 4.2. Ülke geneli katılımcı sayılarının dağılımı

Katılımcılara sorulan sorular sonucunda elde edilen cevapların grafiksel olarak değerlendirilmesi yapılarak aşağıda paylaşılmıştır. Anket çalışmasının bir örneği ekler kısmında bulunmaktadır.



Şekil 4.3. a, b, c ve d; 1.Grup anket soru cevaplarının analizi

Şekil 4.3.'de birinci grup sorularına verilen cevapların grafiksel olarak değerlendirilmesi görülmektedir. Sorular sırasıyla şu şekildedir: a. Hangi renkli görme testini kullanıyorsunuz? b. Ayrıntılı bilgi verdiğini düşünüyor musunuz? c. Testlerinizde ortam ışığını dikkate alıyor musunuz? d. Ishihara testlerinin zamanla yıpranarak doğruluğunu kaybettiğini düşünüyor musunuz?



Şekil 4.4. a, b, c ve d; 2.Grup anket soru cevaplarının analizi

Şekil 4.4.'de ikinci grup anket sorularına verilen cevapların grafiksel olarak değerlendirilmesi gözükmemektedir. Sorular sırasıyla şu şekildedir: a. Ayrıntılı sonuç veren bir teste ihtiyacınız var mı? b. Bilgisayar ortamında ayrıntılı sonuç veren test olsa kullanır mısınız? c. Bilgisayar ortamında geliştirilen testin mesleki standartlarda objektif olacağını düşünüyor musunuz? d. Bilgisayar ortamında hazırlanan bir test için en fazla ne kadar bütçe ayırırdınız?

Anket verilerinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Katılımcıların %97'si renkli görme bozuklukları için Ishihara psödoizokromatik renk paletlerini kullanmaktadır.
- Katılımcıların %84'ü kullandıkları renkli görme testinin yeterli olduğunu düşünmemektedir.
- Neredeyse mevcut testleri kullananların yarısı (%51) renklerin oluşması veya yansımaları için en temel etken olan ortam ışığını dikkate almamaktadır.

- d. Katılımcıların %84'ü Ishihara psödoizokromatik renk paletlerinin zamanla yıpranarak doğruluğunu kaybettiğini belirtmektedir.
- e. Neredeyse katılımcıların tümü (%94) kullandıkları testin, renkli görme bozukluklarının tanısı için yeterli olmadığını düşünmektedir.
- f. Değerlendirmeye katılanların neredeyse tamamına yakını (%98) bilgisayar ortamında geliştirilmiş yeni bir renkli görme testine ihtiyaç olduğunu ve eğer olsaydı bu testi kullanabileceklerini belirtmişlerdir.
- g. Katılımcıların %96'sı detaylı sonuç veren bilgisayar tabanlı bir renkli görme testinin, meslek standartlarında kullanılabilirliğini savunmaktadır. Yani renkli görmenin önemli olduğu mesleklerde bir sınır değer veya benzeri çalışmaların yapılmasının önü açılabilir.

Anket sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde alanında uzman olan kişiler tez çalışmasına konu olan yeni testi desteklemektedir. Bunlara ilaveten, Türkiye'deki göz doktorlarının önemli bir kısmının üye olduğu Türk Oftalmoloji Derneği'nden güncel teknolojilere dayanan ve ayrıntılı sonuç verebilecek yeni bir teste ihtiyaç duyulduğuna dair bir yazı ekte sunulmuştur.

## **BÖLÜM 5. YENİ TESTİN TASRIMI VE UYGULANMASI**

Bu bölümde tez çalışmasına konu olan yeni testin geliştirilmesinde geçilen tüm versiyonların özelliklerinden ve tasarımından bahsedilecektir. Ayrıca geliştirilen testlerin deneklere uygulanması için takip edilen metot ve yöntemler hakkında bilgiler verilecektir. Geliştirilen bu test versiyonlarından ve yeni testin son versiyonundan elde edilen sonuçlar ise bir sonraki bölümde değerlendirilecektir.

### **5.1. Yöntem ve Metot**

Yeni test geliştirilmesi dört versiyon ile tamamlanmış olup her versiyon denekler üzerinde test edilerek gerekli güncelleme ve geliştirmelerden sonra bir üst versiyona geçilmiştir. Tüm versiyonlar farklı deneklere uygulanmıştır. Böylelikle bir denek ancak bir versiyondaki teste tabi tutularak, testin doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir.

#### **5.1.1. Çalışma grubunun oluşturulması**

Çalışmaya konjenital renkli görme bozukluğu olan 50 hasta (Hasta grubu) ile yaş ve cinsiyet olarak çaprazlanmış renkli görme bozukluğu olmayan 50 sağlıklı birey (Kontrol grubu) dâhil edilmiştir. Hasta grubu, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Bilimsel Araştırma Topluluğu (HÜTBAT) tarafından yapılan saha taramasında (tıp, diş hekimliği, eczacılık fakülteleri ve hemşirelik yüksekokulu öğrencileri) ve muayeneye gelen hasatlar arasından, Ishihara testi ile renk körlüğü tespit edilen bireylerden oluşturulmuştur. HÜTBAT'ın projeye olan destek mektubu ekler kısmında sunulmuştur. Testlerin yapılabilmesi için Hacettepe Üniversitesi'nden alınan 'Etik Kurul İzin Belgesi' ekte sunulmuştur. Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları Polikliniği'ne başvuran ve kırma kusuru dışında herhangi bir sağlık

problemi olmayan bireyler kontrol grubuna alınmıştır. Bununla birlikte, Hasta ve Kontrol grubunun sistemik hastalığının olmaması ve herhangi bir ilaç kullanım öyküsüne sahip olmaması şartları aranmıştır. Ayrıca aşağıda belirtilen dâhil edilme ve dışlama kriterleri de dikkate alınmıştır.

Dâhil olma kriterleri:

- a. 18-35 yaş arası olmak
- b. Sistemik hastalığı bulunmamak
- c. Konjenital renkli görme bozukluğu ve refraksiyon kusuru dışında bir oküler hastalığı bulunmamak.
- d. Oküler cerrahi öyküsü bulunmamak.

Dışlama Kriterleri:

- a. <18 yaş veya >35 yaş bireyler
- b. Sistemik veya oküler hastalık varlığı
- c. Testlere yeterli katılımı gösteremeyecek bireyler
- d. Yazılı onam belgesine imza atmak istemeyen bireyler

Çalışmaya katılmayı kabul etmeyen veya dışlama kriterlerini sağladığı anlaşılan bireyler araştırmanın dışında tutulmuştur. Herhangi bir tedavi verilmediği için dışlama sonrası bireyler takipten çıkarılmıştır.

Hasta ve Kontrol grubuna dâhil olan bireylere öncelikle çalışmanın amacı ve yapılacak işlemler açıklanıp yazılı onam alınmıştır. Hasta veya Kontrol gruplarına ait yazılı onam örneği ekler kısmında sunulmuştur. Bir sonraki aşamada Hasta ve Kontrol grubuna alınan tüm deneklere; görme keskinliği, göz içi basıncı ölçümleri ve biyomikroskopik muayeneyi de içeren oftalmolojik muayene yapılmıştır. Çalışmada katılımcılara uygulanacak tıbbi muayene ve testler, alanında uzman bir doktor ve göz kliniğinde uzmanlık eğitimi alan bir asistanı tarafından uygulanmıştır.

### 5.1.3. Test geliştirme ekipmanları

Tez çalışmasına konu olan yeni test, tüm platformlarda çalışabilecek ve ücretsiz olan Java programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Java platform bağımsız bir dil olduğu için geliştirilen yeni test, basit yapılandırmalarla tüm işletim sistemlerinde çalışabilecektir. Yazılım geliştirme ortamı olarak ücretsiz bir program olan NetBeans geliştirme ortamı tercih edilmiştir. Bir Web sayfası tasarlanarak, (www.renkligorme.com) geliştirilen testin verilerinin, online olarak saklanması ve tüm klinik-uygulayıcılardan tarafından rahatlıkla görülmesi sağlanmıştır.

Yazılım geliştirme aşamaları aşağıdaki sıraya göre yapılmıştır:

- a. Gereksinim Analizi
- b. Verilerin Tanımı
- c. İşlemlerin Tanımı
- d. Akış Diyagramları
- e. İlişkisel Analiz
- f. Veri Tabanı Tasarımı
- g. Kullanıcı Arayüzleri Tasarımı
- h. Program Kodlanması
- i. Dokümantasyon

Yazılım geliştirme ve kodlama aşamaları ekran renk kalitesi yüksek olan ve “retina ekran” teknolojisine sahip dizüstü bilgisayarlar yardımıyla yapılmıştır. İlk test ekranı olarak IPS panel teknolojisini kullanan 2880x1800 pixel çözünürlüğü ve 220 dpi piksel derinliği ile 5.2 milyon piksele sahip olan retina ekranlı diz üstü bilgisayar kullanılmıştır. Retina ekranların 998:1 contrast oranı, 6,489K renk sıcaklığı değeri, 0,33 cd/m<sup>2</sup> siyah renk değeri (Ricchizzi, 2013) ile renk ve görüntü kalitesinin önemli olduğu bu tez çalışmasında test cihazı olarak kullanılması daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu ekranlarda renk kalibrasyonlarının çok daha kolay ayarlanmasının yanı sıra farklı renk profilleri ile farklı sonuçlar elde edilebilmesi de mümkündür. Bunlara ilaveten, 178 derecelik bakış açısına sahip IPS panel teknolojisi

kullanan retina ekranlar sayesinde, deneğin ekrana bakma açısından kaynaklanan ve test sonuçlarını olumsuz yönde etkileyecek hataların önüne geçmek hedeflenmiştir.

#### **5.1.4. Test sonuçlarının veri tabanında saklanması**

Testlerden elde edilen veriler tez çalışması için tasarlanan bir Web sayfasına ([www.renkligorme.com](http://www.renkligorme.com)) ait veri tabanında saklanarak, aşağıdaki alanlarda analiz yapılması için bir öncü olması hedeflenmiştir.

- a. Renkli görme kusuru olan bireyler tarafından en çok karıştırılan renk ve tonları
- b. Cinsiyet, yaş, meslek, yaşam bölgesi
- c. Testte kullanılan ve en çok karıştırılan test verileri (şekiller, rakamlar ve harfler),
- d. Ishihara testinden çıkan sonuç ile ilişkisi
- e. Deneklere ait ölçümlerin varyans ve standart sapmaları
- f. Özgünlük ve hassasiyet parametreleri

#### **5.1.5. Test ortam parametrelerinin belirlenmesi**

Deneklere uygulanan tüm testler için 3m yüksekliğinde, 12m<sup>2</sup> genişliğinde ve parlak renkler ile boyanmış bir oda tercih edilmiştir. Odanın aydınlatması 8x40W philips floresan lambalar ile yapılmıştır. Ayrıca yeni geliştirilen testin bazı versiyonları aynı odada farklı aydınlatma şartları ile gerçekleştirilerek, yeni testin dış aydınlatma ortamına bağımlılığı analiz edilmiştir. Testler sırasında odanın aydınlık miktarı bir lüks-metre ile ölçülmüştür.

## **5.2. Yeni Testin Uygulanması**

Dört versiyon ile geliştirilen yeni testin her bir versiyonu ayrı denekler üzerinde uygulanmıştır. Seçilen denekler 5.1.1 başlığında belirtilen şartları sağlayan bireylerdir. Geliştirilen yeni test 5.1.2 başlığında belirtilen ekipmanlarla 5.1.4 başlığında belirtilen ortamda uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bir sonraki bölümde değerlendirilmiş ve



test versiyonlarının Ishihara sonuçlarına göre duyarlılık ve özgüllük değerleri hesaplanmıştır.

### **5.2.1. Yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması (versiyon 1)**

Tez çalışmasına konu olan yeni testin ilk versiyonunda yeni alınan ve hiç kullanılmamış Ishihara Renkli Görme paletleri (24 renk paletlik versiyon kullanılmıştır.) 600 DPI bir tarayıcı ile taranarak deneklere uygulanmıştır.

Çalışma grubu, 12 renkli görme kusuru olan ve 12 renkli görme kusuru olmayan deneklerden oluşacak şekilde toplamda 24 kişi olarak seçilmiştir.

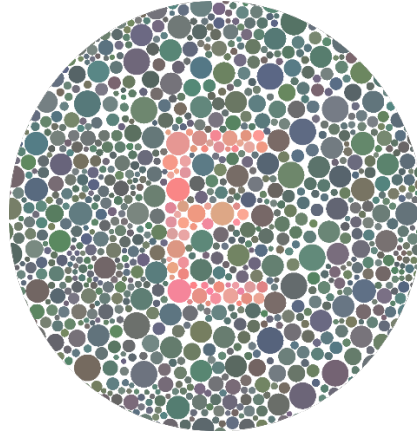
Deneklere önce Ishihara testi uygulanmıştır ardından ise yeni geliştirilen testin birinci versiyonu uygulanmıştır. Yeni testte bulunan paletler rasgele deneklere yöneltilerek, bir önceki testten sonuçları ezberlemelerinin doğuracağı hatalı değerlendirmelerin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Ishihara paletleri deneklerin dik açı ile bakabileceği şekilde eğimli yerleştirilmiştir. Denekler hem ekrana hem de Ishihara test kitabına 75 cm uzaklıktan bakabileceği şekilde ortam ayarlanmıştır.

Ishihara test kitabının kullanma kılavuzunda belirtildiği gibi, deneğin bir palete cevap vermesi 3 saniyeden daha fazla sürüyorsa, deneğin o palete hatalı cevap verdiği kabul edilmiştir (Ishihara, 1972; Ishihara, 1980). Aynı durum bilgisayar üzerinde uygulanan paletler içinde kabul edilmiştir.

Kliniklerde uygulandığı ve Ishihara Test kitabı kılavuzun da tavsiye edildiği gibi (Ishihara, 1972; Ishihara, 1980) ilk 21 paletten 13 veya daha az doğru cevabı olan birey renk körü olarak kabul edilmiştir. Citirik ve arkadaşları da kendi yapmış oldukları benzer bir çalışmada 7 veya 7 den fazla hatalı cevabı bulunanları renk körü olarak kabul etmiştir (Citirik ve ark., 2005).

### 5.2.3. Yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması (versiyon 2)

Tez çalışmasına konu olan yeni testin ikinci versiyonunda, Ishihara Renkli görme paletleri (38 renk paletlik versiyonun ilk 21 paleti kullanılmıştır.) ile birlikte bilgisayarda ortamında Ishihara tabanlı geliştirilen yeni test deneklere uygulanmıştır. Test odasının aydınlık miktarı bir lüks-metre ile ölçülmüştür.



Şekil 5.1. Yeni geliştirilen testin 2.versiyonundan bir palet

Yeni testin ikinci versiyonunda, Ishihara psödoizokromatik paletleri bilgisayar ortamında çizilerek bazı değişiklikler ile yeniden hazırlanmıştır. Çalışma ve uygulama mantığı Ishihara testleri ile aynıdır. Yeni geliştirilen testin bu versiyonunda Ishihara testlerinin aksine 10 palet bulunmaktadır. Çünkü Ishihara renkli görme test paletlerinde birçok palet birbirini tekrarlamaktadır (Ishihara, 1972; Ishihara, 1980). Dr. Shinobu Ishihara kendi test kitabı kılavuzunda “hızlı ve basit bir sonuç için istenirse tekrarlanan belirli paletler çıkarılarak test 6 paletten yapılabilir” şeklinde belirtmiştir. Dolayısıyla bir deneğin renkli görme kusurunun olup olmadığını anlaşılması için birbirini tekrarlamayan 10 renkli paletin yeterli olacağı kanaatine varılmıştır. Bunun yanı sıra tasarlanan yeni testin bu versiyonunda ilk renkli palet renkli görme kusuru olsun olmasın tüm deneklerin görebileceği şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede deneğin test çalışmasına dürüst bir şekilde katılmaya istekli olup olmadığını ölçmek amaçlanmıştır.

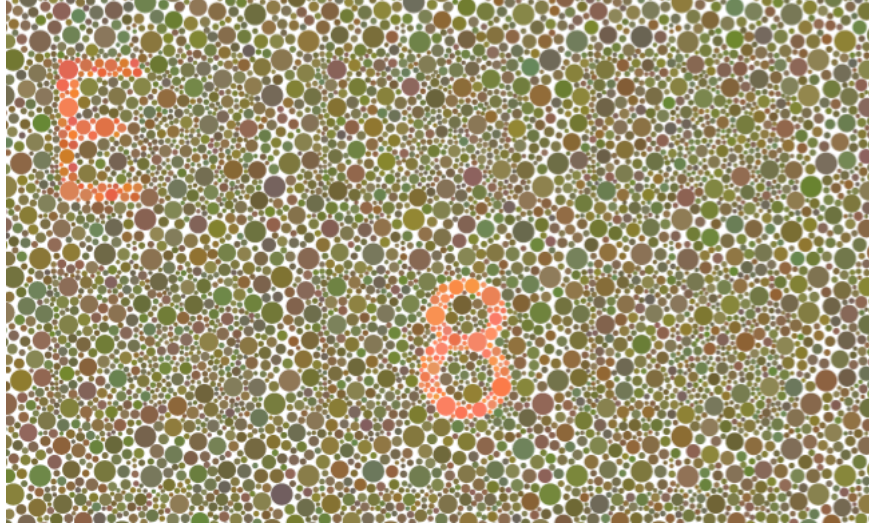
Denek gurubu daha önceden kliniksel olarak renkli görme testi yapılmış ve renkli görmede kusurlu olduklarının farkında olan 12 bireyden oluşmaktadır. Deneklere hem Ishihara renkli görme testi (38 renk paletlik versiyonun ilk 21 paleti kullanılmıştır.) hem de yeni geliştirilen testin ikinci versiyonu uygulanmıştır.

Hem yeni geliştirilen testin bu versiyonunun uygulanmasında, deneğin bir palete cevap vermesi 4 saniyeden daha fazla sürüyorsa, deneğin o palete hatalı cevap verdiği kabul edilmiştir. Denekler bilgisayar ekranına dik açı ile bakabilecek şekilde ve 75cm mesafede oturmaları sağlanmıştır. Yeni test paletlerinden 2 veya daha fazlasına hatalı cevap veren denek renk körü olarak kabul edilmiştir. Bu versiyonda uygulanan Ishihara testinde ise 7 veya daha fazla hatalı cevap veren denek renk körü olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bir deneğin Ishihara paletine cevap vermesi 3 saniyeden daha fazla sürüyorsa ilgili palete hatalı cevap verdiği kabul edilmiştir.

#### **5.2.4. Yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması (versiyon 3)**

Tez çalışmasının konusu olan yeni testin üçüncü versiyonunda sırasıyla aşağıdaki listelenen çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların yapıldığı ortamın aydınlık miktarı bir lüks-metre vasıtasıyla ölçülmüştür.

- a. Ishihara psödoizokromatik testi (38 renkli paletlik versiyon) denek grupları üzerine uygulanmıştır.
- b. 1200 DPI tarayıcıyla taranan hiç kullanılmamış yeni Ishihara renkli paletleri (38 paletlik versiyon) bilgisayar ortamında denek gruplarına uygulanmıştır. Deneklerin paletlere hangi cevabı, kaç saniye içerisinde verdiği bilgisi kaydedilmiştir.
- c. Bilgisayar ortamında Ishihara tabanlı olarak geliştirilen yeni testin üçüncü versiyonu denek gruplarına uygulanmıştır.
- d. Yeni geliştirilen testin üçüncü versiyonu farklı aydınlatma koşullarında ve farklı bakış açılarında aynı denek gruplarına bir kez daha uygulanmıştır. Böylelikle ortam ışığının etkisi ve deneğin ekrana bakma açısının test sonuçlarına etkisi değerlendirilmiştir.



Şekil 5.2. Yeni geliştirilen testin 3.versiyonundan bir palet

Şekil 5.2.'de yeni geliştirilen testin 3.versiyonuna ait bir palet bulunmaktadır. Testin bu versiyonunda aynen Ishihara paletlerinde olduğu gibi farklı ölçülerde yuvarlaklarla çizilmiş rakam/harf gibi bir test verisi yine farklı ölçülerde çizilmiş yuvarlaklar içerisine gizlenmiştir. Bununla birlikte okuma/yazma bilmeyenler ve çocuklar için ok, yuvarlak, kare gibi geometrik test şekilleri de hazırlanmıştır.

Şekil 5.2.'de ki palet içerisinde, test verisi olarak 'E' harfi ile '8' rakamı bulunmaktadır ve bunlardan birisinin rengi diğerinin rengi ile karşılaştırıldığında arka planda bulunan yuvarlak renklerine göre kontrast oranı daha farklıdır. Yani arka planda bulunan yuvarlaklar ile arasındaki renk farklılığı daha fazladır. Bu şekilde palet içerisinde gizli olan verilerden birisi sadece normal renkli görme yetisine sahip denek tarafından değil ayrıca renkli görme problemi olan denek tarafından da okunabilecektir. Bu basit düzenleme ile deneğin test çalışmasına katılma/katılmama isteğini belirlemek amaçlanmıştır.

Şekil 5.2.'de bulunan örnek palet içerisinde test verisi olan 'E' ve '8' den, paletin farklı bölgelerinde arka plan yuvarlakları ile aynı renkte beşer adet daha bulunmaktadır. Yani bir palette bir test verisinden ekranın farklı konumlarında ve aynı ölçekte 6 adet bulunmaktadır. Fakat bunlardan 5 tanesi arka planda bulunan yuvarlaklar ile aynı renktedir. Şekil 5.2.'deki palet içerisinde 2 adet test verisi olduğu için, beşer tanesi

arka planda bulunan yuvarlaklarla aynı renkte olan toplamda 6 adet ‘E’ harfi ve 6 adet ‘8’ rakamı bulunmaktadır. Bu ayarlama ile deneğin moleküler ipuçları ile test verisini tahmin edebilme ihtimalinin önünce geçilmesi hedeflenmiştir. Testin bu versiyonunda test verilerinin ve konumlarının ezberlenememesi için test verisi ve konumunun her palette rasgele üretilmesi sağlanmıştır.

Testin bu versiyonunun uygulanması için 25 kişilik iki denek grubu oluşturulmuştur. Birinci denek grubu renkli görmede kusurlu olanlar, ikinci denek grubu ise normal renkli görme yetisine sahip olan bireylerden olmak üzere her iki denek grubu da 24 erkek ve 1 bayandan oluşmaktadır. Tablo 5.1.’de çalışmanın bu versiyonuna katılan denek gruplarının çapraz tablolaması bulunmaktadır. Tüm denekler daha önceden kliniksel olarak test edilmiş ve renkli görmede kusuru olup/olmadıklarını bilen bireylerdir.

Tablo 5.1. Testin üçüncü versiyonuna katılan denekler

		Ishihara Sonuçları		Toplam
		Renk körü	Normal	
Sayı		24	24	48
Erkek	%Cinsiyet içerisinde	%50.0	%50.0	%100.0
	%Renkli Görme içerisinde	%96.0	%96.0	%96.0
Sayı		1	1	2
Bayan	%Cinsiyet içerisinde	50.0	50.0	%100.0
	%Renkli Görme içerisinde	4.0	4.0	%96.0

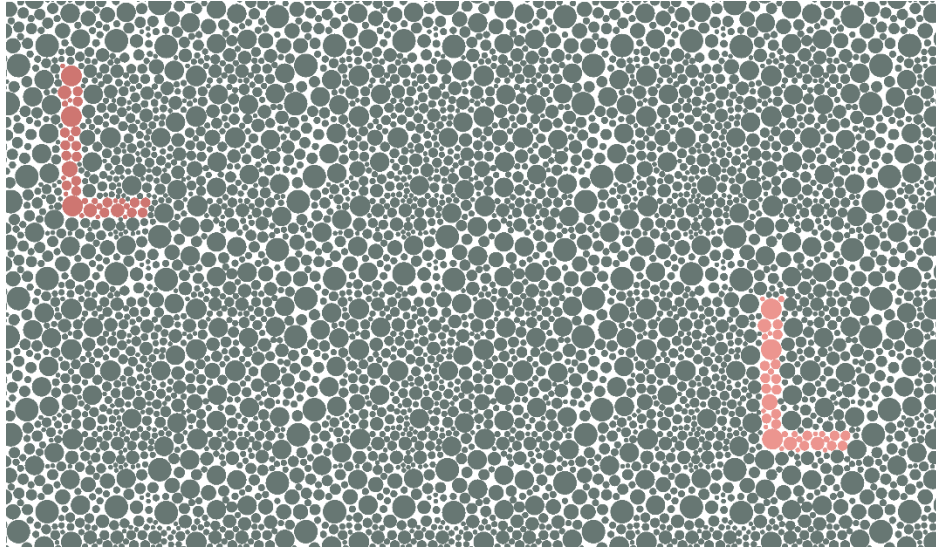
Yeni testin ilk paleti hem renkli görme sıkıntısı olanların hem de normal renkli görme yetisine sahip olan bireylerin çok rahatlıkla görebileceği şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarımdaki amaç deneğin tez çalışmasına katılıp katılmayacağını veya direk kendini ‘renk körü’ diye şartlayarak test sonuçlarını yanıltmasının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. İlk palette hatalı cevap veren veya hiç cevap veremeyen denekler yerine yeni katılımcılar bulunarak grup dengelenmiştir. Ishihara testinde de aynı mantık ile hazırlanan paletler bulunmaktadır. Zira, Ishihara test kitabı kılavuzu 38 numaralı paletin herkes tarafından okunabilecek şekilde hazırlandığı belirtilmektedir. (Ishihara, 1972; Ishihara, 1980). Ishihara testlerinin uygulanmasında da deneklerden 38 numaralı palette hatalı cevap verenler gruptan çıkartılarak yerlerine yeni katılımcılar bulunmuştur.

Ishihara paletlerinde toplamda 7 ve daha fazla hatalı cevabı bulunan birey 'renk körü' olarak kabul edilmiştir. Yeni testin bu versiyonunda ise 2 veya daha fazla hatalı cevabı bulunan denek 'renk körü' olarak kabul edilmiştir.

Yeni geliştirilen testin üçüncü versiyonunun uygulanmasında sırasıyla aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

1. Ishihara testi (38 versiyonluk test) her iki denek grubuna da uygulanmış ve sonuçları kayıt edilmiştir. 38 numaralı palete hatalı cevap veya hiç cevap veremeyen denekler gruptan çıkarılarak yerlerine yeni katılımcılar bulunmuştur.
2. Taranan Ishihara paletleri rasgele olarak deneklere uygulanmış hem paletlere verdikleri cevaplar hem de hangi palete ne kadar süre harcadıkları kayıt edilmiştir. Deneğin bir palete cevap vermesi 3 saniyeden fazla sürüyorsa hatalı cevap verdiği kabul edilmiştir.
3. Yeni geliştirilen testin 3.versiyonu denekler üzerine uygulanmıştır. Renkli görmede kusurlu olan/olmayan herkesin görebileceği şekilde tasarlanan ilk palete hatalı cevap veren veya hiç cevap veremeyen denekler yerine yenileri bulunmuştur. Deneğin bir palete cevap vermesi 4 saniyeden fazla sürüyorsa hatalı cevap verdiği kabul edilmiştir. Ancak test ekranı bir sonraki otomatik olarak geçmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Böylelikle doğru cevap verebilecek olan bireylerin kaç saniyede cevap verdiği ölçülmek istenmiştir.
4. Denekler ekrana yaklaşık 30'ar derece farklı açılardan bakmaları sağlanarak yeni geliştirilen testin 3.versiyonu denekler üzerinde tekrar uygulanmış ve sonuçları bir sonraki bölümde değerlendirilmiştir.
5. Normalde yapılan tüm testlerin ortam aydınlatmalarında başlık 5.1.4'de geçen şartlar kullanılmıştır. Yeni geliştirilen test aynı deneklere ortam aydınlatma şartları aşağıdaki gibi değiştirilerek tekrar uygulanmıştır.
  - a. Aydınlatma aygıtlarının yarısı kapatılarak yeni testin bu versiyonu tekrarlanmıştır.
  - b. Aydınlatma aygıtlarının tamamı kapatılarak yeni testin bu versiyonu tekrarlanmıştır.

Şekil 5.3.'de renk dalgalanması olmayan bir palet görülmektedir. Yeni testin bu versiyonunun uygulanmasından önce denek grubuna dahil olmayan 10 renkli görme bozukluğu olan denek üzerinde renk tonları dalgalanması olmayan paletler denenmiştir. Buradaki amaç test paletlerinin tek düzey renk tonları ile kullanılabilir olup olmadığına karar vermektir. Ancak deneklerden alınan sonuçlar renk paletlerinde bulunan renklerin dalgalanması gerekliliğini ortaya koymuştur. Zira 10 renkli görme bozukluğu olan deneğin tümü, paletlerde bulunan test verilerini çok rahatlıkla okuyabilmiştir. Deneğe nasıl okuduğu sorulduğunda 'Renk tonlarındaki tek düzey değişiklik sayesinde test verilerinin yerlerinin rahatlıkla bulunduğu' cevabı alınmıştır. Başka bir deyişle denekler renkleri ayırt edemese de, harflerin moleküler ipuçları sayesinde tahmin yoluyla tüm test verilerini bulmuşlardır. Bu sebeple yeni geliştirilen testin bu versiyonunda hazırlanan palet renkleri belirli bir aralıkta değişken olarak ayarlanmıştır. Bu durum geliştirilen yeni testin bu ve bundan sonraki paletlerinde kullanılacak renklerin dalgalanmasının şart olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.3. Yeni test 3. versiyon tek düzey renk kullanımı

### 5.2.5. Yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması (Son versiyon)

Bu başlık altında tez çalışmasına konu olan yeni detaylı sonuç verebilecek renkli görme testinin son versiyonunun tasarımı ve uygulanması hakkında bilgiler verilecektir. Yukarıdaki başlıklarda geçen tüm versiyonlar geliştirilerek bir sonraki

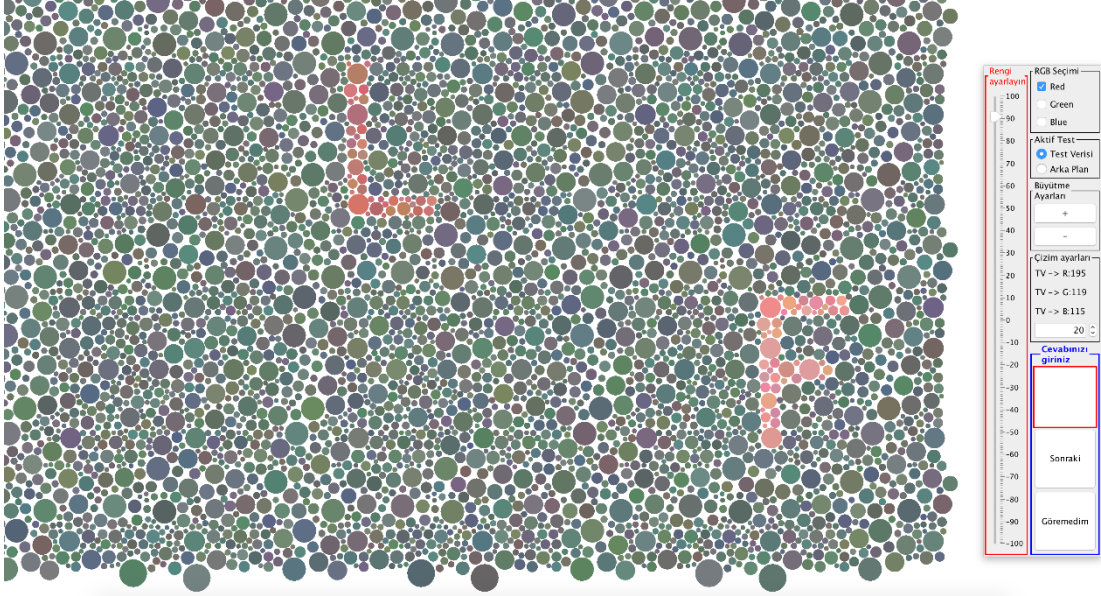
versiyon elde edilmiştir. Son versiyonda ise önceki üç versiyon sayesinde toplanan sonuçlar ve bilgiler ışığında çalışmalar tamamlanmıştır. Bundan sonraki kısımlarda “yeni geliştirilen testin 4.versiyonu” yerine “yeni test” diye geçecektir.

Bu son aşamada yeni test farklı aydınlık ortamlarında ve farklı açılarla birlikte, Ishihara 38 paletlik renkli görme testinin bir önceki versiyonda taranarak elde edilen bilgisayar ortamındaki paletleri ile beraber deneklere uygulanmıştır. Test süresince ortamın aydınlık derecesi bir lüks-metre yardımı ile ölçülmüştür. Ishihara testinin kendisi yerine neden taranmış versiyonlarının bilgisayar ortamındaki şekli kullanıldığı sonuç bölümünde açıklanacaktır.

Ayrıca deneklere teste başlamadan önce renkli görme kusuru olsun/olmasın tüm herkesin görebileceği ve içerisinde sadece bir test verisinin bulunduğu örnek bir palet gösterilerek palet ve test verileri hakkında bilgi verilmiştir. Buradan amacımız deneğin renkli görme durumu haricinde olan kararsızlık veya belirsizlik durumlarının test sonuçlarını etkilemesinin önüne geçmektir. Buna ek olarak örnek paleti inceleyen denekler eğer test verisini büyüklük/küçüklük gibi durumlardan dolayı göremiyorlarsa kontrol paneli üzerinden + ve – butonları ile ayar yapılarak görme keskinliğinin test sonuçlarını etkilememesi sağlanmıştır.

Yeni testin uygulanması için 100 normal renkli görme yetisine sahip ve 62 renkli görme kusuru olan bireylerden toplamda 162 kişiyle iki denek grubu oluşturulmuştur. 62 sayısı ilk başta az gibi görülebilir fakat unutulmamalıdır ki insanlar arasında renk körlüğünün görülme oranı %10 dur yani 62 renk körü bireye ulaşmak için 620 kişinin taranması gerekmiştir. İlk grup renkli görme kusuru bulunmayan 45 bayan ve 55 erkekten oluşmaktadır. İkinci grup ise renkli görme kusuru bulunan 7 bayan ve 55 erkekten oluşmaktadır.





Şekil 5.4. Yeni testin son versiyonu

Şekil 5.4.'de yeni test ekranından bir palet gözükmemektedir. Yeni testte toplamda 10 palet bulunmaktadır. İlk palet bir önceki versiyonda olduğu gibi hem renkli görme kusuru bulunan hem de bulunmayan birey tarafından rahatlıkla görülebilecek şekilde geliştirilmiştir. Yeni testte ilk palet hatalı cevap veren veya hiç cevap veremeyen denekler test grubundan çıkarılarak yerlerine yeni denekler bulunmuştur.

Yeni test Ishihara tabanlı olarak tasarlanmıştır yani bir önceki versiyonda anlatılan test ile benzer şekilde çalışmaktadır. Değişik ölçü ve boyuttaki yuvarlaklar ile hazırlanan gizli test verileri yine aynı şekilde tasarlanmış olan arka plan içerisinde bulunan yuvarlaklar arasına saklanmıştır. Bir palette aynı test verilerinden 5'i arka plan yuvarlakları ile aynı renkte olmak üzere 6 adet bulunmaktadır. Şekil 5.3.'de bulunan test paleti ekranında test verisi olan 'L' ve 'F' harflerinden toplamda 6 olmak üzere 5'er tane daha vardır. Şekilde bulunan iki test verisinin renkleri incelendiği zaman bir tanesinin renginin arka planda bulunan yuvarlakların renklerine göre karşıtlık oranının daha yüksek olduğu gözükmemektedir. Diğer bir deyişle test verisinden bir tanesinin rengi, arka plan yuvarlaklarının rengine göre karşıtlık oranı daha yüksektir. Buradan amaç ilk test verisi hem renkli görme kusuru olan hem de olmayan birey tarafından rahatlıkla görülmesi sağlanarak teste katılımlarının değerlendirilmesidir. Yeni testin

bir önceki versiyonda olduğu gibi okuma/yazma bilmeyenler ve çocuklar için test verisi olarak kullanılacak yuvarlak, kare, ok gibi geometrik şekilleri vardır.

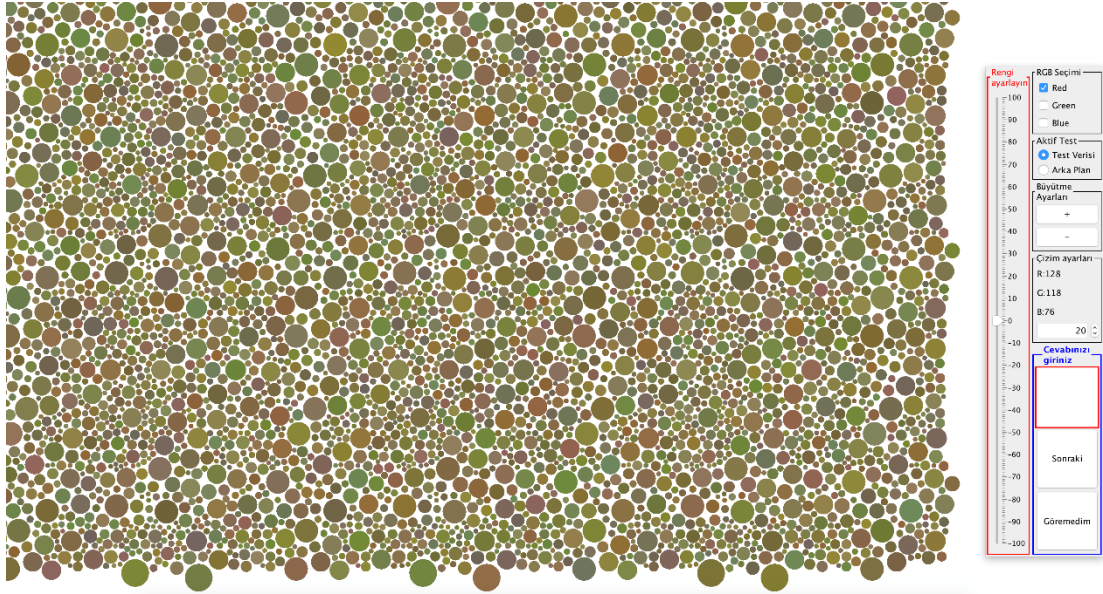
Yeni testin paletlerindeki renklerin dalgalı olmasının sebebi deneğin test verisinin moleküler ipuçlarını kullanarak cevapları tahmin etmesinin önüne geçmektir. Test verilerindeki moleküler ipucu, test verisini sağlıklı şekilde göremeyen ama kıvrımları vb. gibi hatlarını görerek tahmin etme olayıdır.

Şekil 5.4.'de görüldüğü üzere paletin sağ tarafında bir kontrol paneli bulunmaktadır. Bu panel üzerinde operatör (testi uygulayan) ve denek tarafından kontrol edilebilecek ayarlar bulunmaktadır. Panel üzerindeki ayarlar vasıtasıyla:

- a. Test verisi rengini değiştirmek; test verisi kutucuğu işaretlendikten sonra, kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) oranlarından aynı anda sadece bir tanesi artırılıp azaltılması ile mümkündür.
- b. Arka planda bulunan yuvarlaklar ile arka plan ile aynı renkte yer alan diğer test verilerinin rengini değiştirmek; arka plan kutucuğu işaretlendikten sonra; kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) oranlarından aynı anda sadece bir tanesi artırılıp azaltılması ile mümkündür.
- c. Palet üzerindeki renk dalgalanmasının oranı +/- olarak çizim ayarları kısmından ayarlanabilir.
- d. Görme keskinliğinin test sonuçlarını etkilememesi için büyütme ayarları kısmından + ve - butonları ile palet büyüklük ayarı yapılabilir.

Yeni teste; uygulayıcı gerekli ayarları yaptıktan sonra bilgisayarın kontrolünü deneğe devreder. Yeni testte tüm paletler öncelikle test verisi ve arka plan aynı renk olarak gelmektedir. Şekil 5.4.'de bir test paletinin deneğe ilk uygulandığı şekli görülmektedir. Denek kontrol panelinde bulunan sürgüyü aşağı veya yukarı kaydırarak, palette bulunan test verisinin renk tonunu, seçmiş olduğu renge bağlı olarak (R,G veya B), test verilerini görünceye kadar değiştirir. Her palette iki test verisi bulunmaktadır. Test verilerinden birinin diğerine göre karşıtlık (Kontrast) oranı fazla olduğu için ilk başta denek test verilerinden birini görmesi gereklidir. Ardından aynı palettteki ikinci test

verisini görünceye kadar, kaydırma çubuğunu hareket ettirmeye devam eder. İkinci test verisini gördüğü noktada kaydırma çubuğunu bırakır. Yeni testimiz için belirleyici ölçüt ikinci test verisinin görüldüğü renk tonudur. Yani denek ne kadarlık bir değişimden sonra ikinci test verisini görebilmiş ve konumunu doğru olarak tespit edebilmiştir.



Şekil 5.5. Yeni teste paletlerin ilk hali

Testin sonuç elde edilmesindeki en büyük etken ikinci test verisinin görülmesi için kaydırma çubuğunun ne kadar hareket ettirildiğidir. Kaydırma çubuğunda renkli görme problemi olmayan normal kişilerin ikinci test verisini görmüş olduğu nokta ile renkli görme kusuru bulunanların görmüş olduğu nokta arasında ki fark “deneğin renkli görmede kusurlu olduğu bölgeyi” temsil ettiği kanaatine varılmıştır.

Başka bir ifade ile testin ölçme tekniğini şu şekilde anlatabiliriz: Şekil 5.5.’de bulunan tüm test verilerinin ve yuvarlakların renk tonları  $\pm 20$  dalgalanma ile kırmızı 128 (R), yeşil 118 (G) ve mavi 76 (B) olarak ayarlanmıştır. Yani Şekil 5.5.’de bulunan tüm renkler dalgalanma ile beraber kırmızı oranı 108 ile 148 arasında, yeşil oranı 98 ile 138 arasında ve mavi oranı ise 56 ile 96 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Eğer denek kontrol panelinden kırmızı (red) değişimi seçerse, kaydırma çubuğunu hareket ettirdiğinde sadece palet içerisinde bulunan test verilerinin kırmızı oranını

değiştirecektir. Daha önce bahsedildiği üzere test verilerinden birinin renk karışıklık oranı diğerine nazaran daha fazladır. Yani kırmızı renk değişimi seçilmişken, kaydırma çubuğu 5 birim hareket ettirildiğinde iki test verisinden birisindeki kırmızı oranı 5 değer artarken diğerindeki 30 (5+25) değer artacaktır. Bu şekilde deneğin teste katılımını ölçecek olan test verisinden birisi daha erken görülecektir. Deneğin ikinci test verisini doğru olarak gördüğü zaman kaydırma çubuğunu bırakacaktır. Deneğin 2.test verisini görmüş olduğu değer; bize deneğin seçmiş olduğu renk türünde normal bireylere göre ne kadar sapma olduğunu gösterecektir.

Ayrıca testin son versiyonu aynı denekler üzerinde aşağıdaki şartlarda tekrar uygulanmıştır:

- a. Farklı monitörler ile,
- b. 30 ar derece farklı bakış açıları ile,
- c. Oda içerisinde farklı ortam aydınlatmaları ile,

## **BÖLÜM 6. SONUÇ ve TARTIŞMA**

Bu başlık altında yeni geliştirilen testin ve versiyonlarının denenmesi ile elde edilen sonuçlar verilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca sonuçlar literatürde var olan benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Son kısımda ise yeni testin zayıf yönleri ve olumsuzlukları ile beraber ileriye dönük çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere testin geliştirilmesi toplamda 4 versiyon ile yürütülmüştür. Tüm versiyonlar birbirinden farklı denekler üzerinde uygulanmıştır. Çalışma grubunu oluşturma ve geliştirilen test versiyonlarının uygulama yöntemleri bir önceki bölümde anlatılmıştır. Tez çalışmasına 281 denek katılmıştır, bunlardan 22 tanesi başlık 5.1.1 de açıklanan çalışma grubu şartlarına uymadıkları için dâhil edilmemiştir. Geriye kalanlardan 11 tanesi ise test versiyonlarının uygulaması sırasında isteksiz katılımlarından dolayı çalışmaya dâhil edilmemiştir. (İsteksiz katılımın hangi ölçülerle tespit edildiği her test versiyonuna ait bir önceki bölümde bulunan başlıklarda açıklanmıştır.). Tez çalışması 111 renkli görme kusuru bulunan, 137 normal görme yetisine sahip toplamda 248 denek ile yürütülmüştür. Dünya nüfusunun %10'a yakınında renkli görme kusuru bulunmaktadır. 111 renkli görme kusuru olan bireye ulaşmak için toplamda 1200 kişi Ishihara testleri ile taranmıştır. Tablo 6.1.'de tez çalışmasına katılan deneklerin cinsiyet, Ishihara sonuçlarına göre renkli görme kusur durumu ve hangi test versiyonuna kaç deneğin katıldığı gözükmektedir. Daha önceden bahsedildiği gibi dünyadaki bayanların sadece %2'ye yakınında renkli görme kusuru bulunmaktadır. Bu yüzden katılımcıların büyük çoğunluğu erkektir.

Tablo 6.1. Tez çalışmasına katılan denek sayıları

		Renk körü	Normal	Toplam
1.Test versiyonu	Erkek	12	12	24
	Bayan	0	0	
2.Test versiyonu	Erkek	11	0	12
	Bayan	1	0	
3.Test versiyonu	Erkek	24	24	50
	Bayan	1	1	
Yeni Test	Erkek	55	55	162
	Bayan	7	45	
Toplam		111	137	248

Her test versiyonundan elde edilen sonuçlar ayrı ayrı başlıklar altında paylaşılarak son kısımda genel bir değerlendirme yapılmıştır.

### 6.1. Test versiyonu 1 ile elde edilen bulgular

Yeni testin bu versiyonunun tasarım ve uygulama süreci bir önceki bölümde açıklanmıştır. Tablo 6.2.'de deneklerin Ishihara renkli görme paletlerine vermiş oldukları ve 600 DPI tarayıcı ile taranarak elde edilmiş renkli paletlerin rasgele yönlendirilmesi sonucu vermiş oldukları hatalı cevapların sayıları görülmektedir.

Tablo 6.2. Test versiyonu 1'de renkli görme sıkıntısı olanların hatalı cevap sayıları

Palet Numarası	Ishihara (24 Palet)	Bilgisayar Üzerinden taranan Ishihara'ya verilen cevap
1	0	0
2	12	12
3	12	12
4	12	12
5	12	12
6	8	8
7	7	7
8	5	5
9	12	12
10	12	12
11	12	12
12	12	12
13	12	12
14	11	11
15	7	7
16	6	6
17	12	12
18	1	1
19	1	1
20	1	1
21	0	0
22	9	9
23	7	7
24	8	8

Tablo 6.2. incelendiği zaman, Bilgisayar üzerinden uygulanmış Ishihara testinin taranmış resimleri ile Normal Ishihara testinin sonuçları arası herhangi bir farklılık bulunmamaktadır. Üstelik 600 DPI çözünürlüklü tarayıcı ile taranmış resimlerin renk kalitesi ile Ishihara testinin orijinal renk kalitesi arasında gözle görünür bir farklılık olduğu dahi görülmektedir.

Ishihara testlerinin uygulandığı masa üzerinde ölçülen aydınlık derecesi 493 lumen bunun yanı sıra aynı ortamda bilgisayar ekranının yakınında ölçülen aydınlık derecesi ise 822 lumen çıkmıştır.

### **6.1.1. Test versiyonu 1 ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi**

Testin bu versiyonundan elde edilen sonuçları SPSS vb. programlarda analiz etme ihtiyacı görülmemiştir çünkü hedef test ile kaynak test aralarında bir farklılık bulunmamaktadır. Buradan sonuçla, testin 1.versiyonuyla, Ishihara psödoizokromatik testi ile kıyaslandığında %100 özgünlük ve %100 duyarlılık elde edildiği söylenebilir. Bu durum göstermektedir ki, 600 DPI gibi az bir çözünürlükte elde edilen resimler bile renk körlüğünü Ishihara psödoizokromatik renk paletleri gibi tespit edebilmektedir. Bu sonucu literatürde bulunan benzer çalışmalar desteklemektedir (Marey ve ark., 2015). Dolayısıyla renkli görme testlerinin günümüz teknoloji ve bilişim ortamına daha uygun hale getirmek için bilgisayarlar kullanılabileceği apaçık ortadadır.

### **6.2. Test versiyonu 2 ile elde edilen bulgular**

Yeni testin bu versiyonunun tasarım ve uygulama süreci bir önceki bölümde açıklanmıştır. Bu kapsamda Ishihara tabanlı, Ishihara testlerine benzer yapıya sahip, birbirinden farklı 10 paletten oluşan testin ikinci versiyonu 12 renkli görme kusuru olan bireye uygulanmıştır. Ayrıca aynı deneklere Ishihara 38 renkli paletli versiyonunun ilk 21 tanesi uygulanıp sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Tablo 6.3.'de testin ikinci versiyonu çalışmasına katılan ve daha önceden renkli görme kusuru olduğunun farkında olan deneklerin Ishihara testine tabi tutulması ile elde

edilen cevaplar bulunmaktadır. Tablo'da 'x' ler hatalı cevabı, boş kutular ise doğru cevabı temsil etmektedir.

Tablo 6.3. Test versiyonu 2'de Ishihara'dan elde edilen sonuçlar

Palet No	Denek numaraları											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	x		x	x	x	x			x		x	x
5	x	x	x	x	x		x	x		x		x
6			x		x	x		x	x	x	x	x
7	x		x	x	x	x	x		x			
8				x	x	x		x				
9		x	x	x	x		x		x	x	x	x
10	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
13	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
14	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x
15			x		x		x		x	x	x	x
16			x		x	x		x	x			x
17	x	x	x	x	x			x				x
18								x			x	
19	x						x	x				x
20		x				x			x			
21				x								x

Tablo 6.2. ve Tablo 6.3. ilk palette tüm renkli görme kusuru bulunan deneklerin doğru cevap verdiği göstermektedir. Bunun nedeni Ishihara testinde yer alan ilk paletin deneğin teste katılımını ölçmek için olduğudur. Eğer denek ilk palette hatalı cevap veriyorsa veya "Göremedim!" diye bir cevap veriyorsa deneğin teste katılım isteği yoktur anlamına yorumlanmıştır. Çünkü ilk palet renkli görme kusuru olsun/olmasının her denek tarafından görülebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Tablo 6.4.'de ise testin ikinci versiyonunun aynı deneklere uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Tablo 6.4. içerisinde bulunan 'x' lar deneğin hatalı cevabını, boş kutular ise deneğin doğru cevabını temsil etmektedir.



Tablo 6.4. Test versiyonu 2'den elde edilen sonuçlar

Palet No	Denek Numarası											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x
5	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x
6				x	x	x				x		x
7				x			x	x	x			
8					x	x				x		x
9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x

Ishihara testlerinin yapıldığı masada aydınlık 400 lümen olarak ölçülmüştür. Aynı ortamda yeni testin ikinci versiyonunun uygulandığı bilgisayar ekranı yanında aydınlık değeri 700 lümen olarak ölçülmüştür.

### 6.2.1. Test versiyonu 2 ile elde edilen sonuçların değerlendirmesi

Ishihara renkli görme paletlerine göre kusurlu olan birey yeni testin ikinci versiyonuna göre de kusurlu olarak çıkmaktadır. Buradan sonuçla yeni testin ikinci versiyonu, Ishihara renkli görme testi ile karşılaştırıldığında %100 özgüllük ve %100 duyarlılık elde edilmiştir. Yeni testin ikinci versiyonu hem az paletten oluşmaktadır hem de Ishihara ile aynı sonuca varmaktadır. Bu durumda yeni testin ikinci versiyonu belirli standartlar sağlandıktan sonra Ishihara testleri yerine tercih edilebileceği ortaya çıkmaktadır.

### 6.3. Test versiyonu 3 ile elde edilen bulgular

Yeni testin bu versiyonunun tasarım ve uygulama süreci bir önceki bölümde açıklanmıştır. Özetle bahsedilecek olursa, 25 renkli görme kusuru bulunan (24 erkek 1 bayan) ve 25 normal renkli görme yetisine sahip (24 erkek 1 bayan) iki farklı denek grubu üzerinde aşağıda listelenen 4 farklı çalışma yürütülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

- Ishihara 38 paletlik renkli görme testi denek gruplarına uygulanmıştır,
- 1200 DPI tarayıcı ile taranan Ishihara paletleri bir bilgisayar ortamında denek gruplarına uygulanmıştır,

- c. Yeni geliştirilen testin üçüncü versiyonu denek gruplarına uygulanmıştır,
- d. Yeni geliştirilen testin üçüncü versiyonu farklı aydınlatma şartları ve farklı bakış açıları ile beraber denek gruplarına uygulanmıştır.

Ortam aydınlığı masada iken 460 lumen, bilgisayar ekranının yanında iken 785 lumen olarak ölçülmüştür. Tabla 6.5’de yeni testin üçüncü versiyonundan elde edilen sonuçlar ile Ishihara renkli paletlerinden elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Bu tabloda bulunan ‘B’, renkli görme kusuru olan 24 bay ile 1 bayandan oluşan ilk grubu göstermektedir. ‘İ’ ise normal renkli görme yetisine sahip 24 bay ile 1 bayandan oluşan ikinci grubu göstermektedir.

Tablo 6.5. Test versiyonu 3’ün sonuçları ile Ishihara test sonuçlarının karşılaştırılması

Palet No	Ishihara		Yeni Test v3	
	B	İ	B	İ
1	0	0	0	0
2	24	2	25	0
3	23	0	21	0
4	25	1	18	0
5	21	0	25	1
6	25	2	23	0
7	15	3	24	0
8	21	0	25	0
9	22	2	25	1
10	25	0	12	0
11	21	0		
12	25	0		
13	25	0		
14	21	0		
15	18	0		
16	18	0		
17	25	4		
18	25	0		
19	25	0		
20	25	1		
21	25	0		
22	25	0		
23	25	0		
24	25	0		
25	25	0		
26	12	0		
27	15	0		
28	12	1		
29	18	1		
30	18	2		
31	18	1		
32	18	3		
33	18	3		
34	15	1		
35	12	1		
36	21	1		
37	18	0		
38	0	0		

### 6.3.1. Test versiyonu 2 ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi

Yeni testin ilk versiyonunda olduğu gibi orijinal Ishihara renkli görme paletlerinin uygulanma sonucu ile 1200 DPI ile taranan paletlerin bilgisayar ortamında uygulanma sonuçları bire bir aynı çıkmıştır. Buradan sonuçla taranan Ishihara paletlerinin bilgisayar üzerinde deneklere uygulanması renkli görme testi için yeterli olacağı kanaati çıkmaktadır.

Tablo 6.5. incelendiği zaman Ishihara testleri ile ilgili ilk göze çaracak hususlardan birisi, normalde renkli görme kusuru bulunmayan deneklerin görebilmesi beklenen bazı paletleri göremediğidir. Tablodaki her iki testte de deneklerin teste katılım isteğini ölçmek üzere tasarlanan ilk paletler her iki denek grubu tarafından görülebilmektedir. Ancak yeni testin bu versiyonu Ishihara testine göre 1 renkli görme kusuru bulunan deneği ve 2 renkli kusuru bulunmayan deneği hatalı sınıflandırmıştır. Tablo 6.6.'da görüleceği üzere bu durum test sonucunda elde edilen özgüllük ve duyarlılık değerlerini düşürmüştür.

Tablo 6.6. Yeni testin 3.versiyonu sonuçları

		Ishihara Test (Baz alınan test)	
		+	-
Yeni testin 3.versiyonu	+	25 (Gerçek pozitif)	2 (Hatalı pozitif)
	-	1 (Hatalı negatif) 96.15% (Duyarlılık)	25 (Gerçek negatif) 92.59% (Özgüllük)

Tablo 6.6.'da görüleceği üzere yeni geliştirilen testin 3.versiyonu ile %96.15 duyarlılık ve %92.59 özgüllük elde edilmiştir. Tablo 6.7.'de test sonuçlarının bağımlı grup t-test ile analizi gözükmemektedir.

Tablo 6.7. Ishihara ile yeni test versiyon 3 sonuçlarının bağımlı grup t-test analizi

	Std. Dev.	t	p
Ishihara x	0.24661	0.573	0.569
Yeni test v3			

Tablo 6.7. incelendiği zaman p değerinin 0.05'den büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, yeni testin üçüncü versiyonunun sonuçları ile Ishihara testinin sonuçları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermektedir. Bu sebeple yeni testin üçüncü versiyonu da renkli görmenin tanısında başarılı olduğu kabul edilebilir.

Yeni testin üçüncü versiyonu aşağıda sıralanan farklılıklarla aynı denek gruplarına birer kez daha uygulanmıştır:

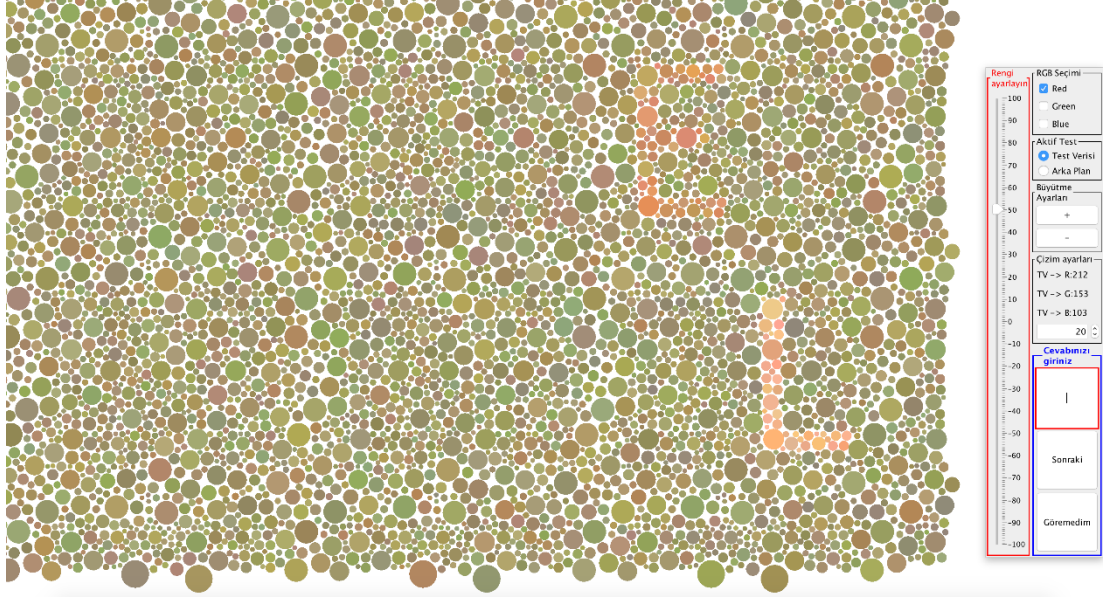
- Denekler yatayda ve dikeyde 30'ar derece fark ile bilgisayar ekranlarına bakmaları sağlanarak,
- Ortam aydınlatması 650 lumen 'e düşürülerek,
- Ortam aydınlatması tamamen kapatılarak bir karanlık ortamda,

Yeni testin üçüncü versiyonun yukarıdaki şartlar altında tekrarlanan çalışmalarında aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bilgisayar ekranları kendi ışıklarını kendileri ürettikleri için ortam aydınlatmasında daha az etkilenecekleri bilinen bir husustur. Buradan sonuçla, testin bu versiyonun ortam ışığının etkisi ve ekrana bakış açısının olumsuz etkisi ile test sonuçlarının değişmediğidir.

#### 6.4. Yeni test ile elde edilen bulgular ve değerlendirilmesi

Önceki üç test versiyonundan elde edilen bulgular ile tez çalışmasının konusu olan ve detaylı sonuç veren yeni testin geliştirilmesi ve uygulanması aşaması bir önceki bölümde açıklanmıştır. Kısaca özetlemek gerekirse, yeni test ile bir önceki test versiyonunda taranarak elde edilen Ishihara renkli görme paletleri toplamda 162 farklı denek üzerine uygulanmıştır. Uygulamalar sırasında ortam aydınlığı bilgisayar ekranı yakınında 811 lumen olarak ölçülmüştür.

Bu aşamada yapılan uygulamalarda ilk defa deneğe belirli şartlarda renkleri kontrol etme imkanı sunulmuştur. Buradan amaç daha önceki uygulamalardan farklı olarak deneklerin test verisini bilmesinin yanı sıra test verisini normal renkten ne kadar saptıktan sonra görülebildiğinin bulunmasıdır.



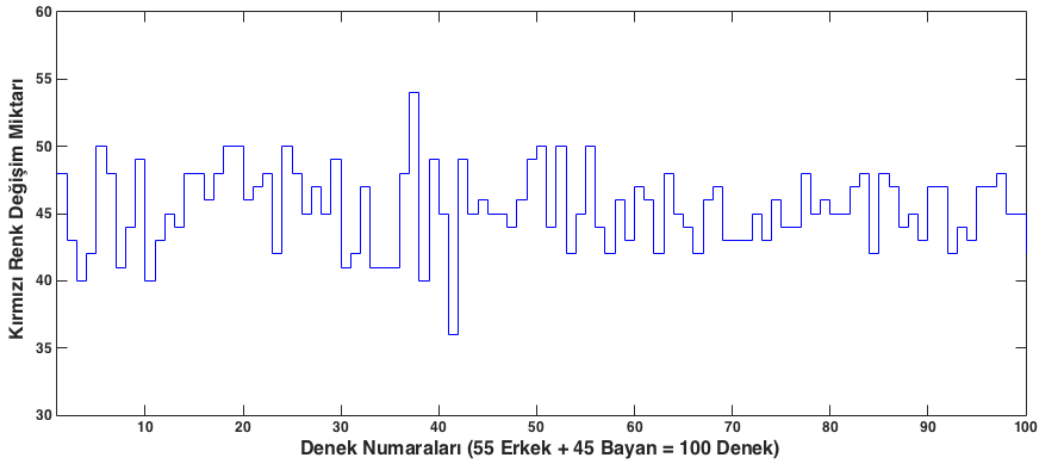
Şekil 6.1. Yeni testten bir palet

Şekil 6.1.'de yeni tasarlanan testten yedinci paleti ile hazırlanmış bir örnek palet görülmektedir. Bu palet üzerinde renkli görmesi kusurlu olan ve olmayan iki deneğin sonuçlarını incelenerek testten elde edilen bulgular analiz edilecektir. Bu palettaki renk oranları  $\pm 20$  dağılım ile kırmızı 162, yeşil 153 ve mavi 103'dür. Eğer dağılım değerini renk tonları üzerine uygulanmış hali ile birlikte söylemek gerekirse kırmızı tonları 142 ile 182 arasında, yeşil tonları 143 ile 173 arasında ve mavi tonları 93 ile 113 arasında dağıtılmıştır. Bu test paleti için her iki deneğinde kontrol paneli üzerinde sadece kırmızı tonunu değiştirmesine izin verilmiştir. Her iki deneğe de test verilerini görene kadar kaydırma çubuğunu yukarıya doğru hareket ettirin denilmiştir.

Renkli görme yetisi normal olan denek kaydırma çubuğunu yukarıya doğru hareket ettirmeye başladıktan sonra çubuk 21 değerinde iken birinci test verisini görmüş, değer 43 da iken ise ikinci test verisini de görerek bu paleti geçmiştir. Renkli görmesi kusurlu olan denek çubuğu yukarı doğru hareket ettirmeye başlamıştır. Çubuğun değeri 36 iken

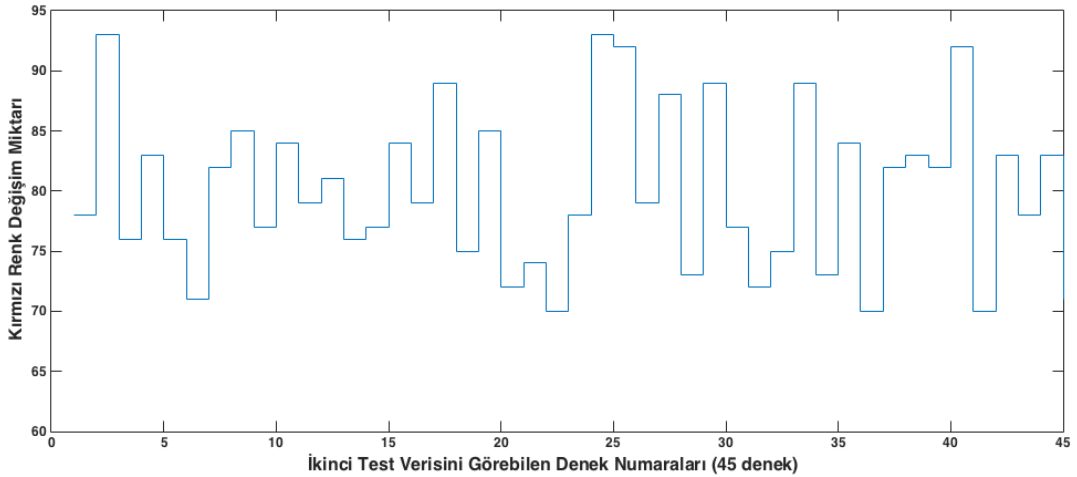
ilk test verisini görmüş, değer 80 de iken de ikinci test verisini görerek bir sonraki palete geçmiştir. Daha önceki bölümde anlatıldığı gibi bizim test sonucumuz için ölçüğümüz ikinci test verisinin görüldüğü noktadır. Buradan sonuçla sadece bu iki deneği karşılaştırdığımızda renkli görmesi kusurlu olan denek normal olana göre ikinci test verisini kırmızı oranında 37 ton farkı ile görebilmiştir.

Şekil 6.2.'de bir önceki paragrafta bahsi geçen yedinci palet için normal renkli görme yetisine sahip erkek ve bayan tüm deneklerin saklı olan ikinci test verisini gördüğü değeri gösteren grafik bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde genellikle 40-50 değişim oranında ikinci test verisi görülmüştür.



Şekil 6.2. Normal renkli görme yetisini sahip deneklerin 7.palette ikinci test verisini görme aralıkları

Şekil 6.2.'de ki gösterilen değerlerin ağırlıklı ortalaması alındığında 46 çıkmaktadır. Buna ilaveten en büyük değer 54, en küçük değer ise 36'dır. Yani normal renkli görme yetisine sahip denekler en fazla 54 en az 36 renk tonu farkı ile ikinci test verisini görebilmişlerdir.

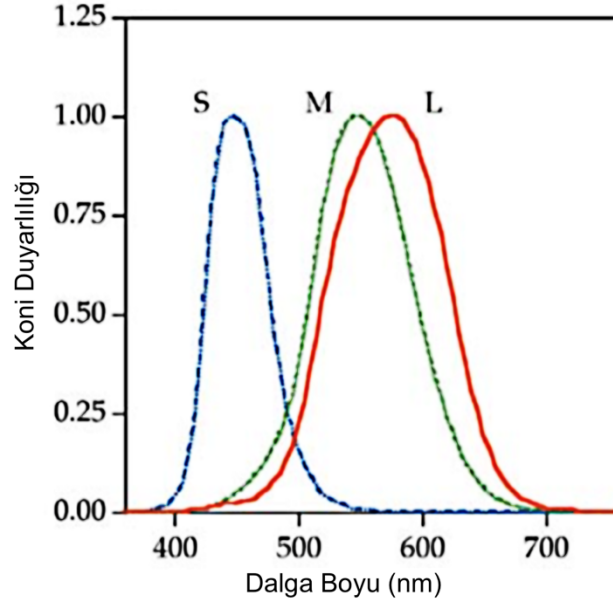


Şekil 6.3. Kusurlu renkli görme yetisine sahip deneklerin 7.palette ikinci test verisini görme aralıkları

Şekil 6.3.'de Renkli görmesi kusurlu olan deneklerin ikinci test verisini gördükleri değer oranlarını gösteren bir grafik verilmiştir. Grafikteki en dikkat çekici noktalardan birisi sadece 45 denek ikinci test verisini görebilmiştir. Geriye kalan kusurlu renkli görmesi olan deneklerden 17 kişiden hiçbiri ikinci test verisini görememiştir. Aslında bu durum tez çalışmasının ana temalarından olan kişiler sadece 'renk körudür' diye sınıflandırılmamalıdır kanısını bir kez daha doğrulamaktadır. Zira deneklerin ikinci test verisini görme hususunda sabit bir değerleri bulunmamaktadır. Şekil 6.3.'de ki gösterilen değerlerin ağırlıklı ortalaması alındığında 80 çıkmaktadır. Buna ilaveten en büyük değer 93, en küçük değer ise 70'dir. Yani kusurlu renkli görme yetisine sahip 45 denek, en fazla 93 en az 70 renk tonu farkı ile ikinci test verisini görebilmişlerdir.

Bahsi geçen 7.Paletteki örneğimiz için geçerli olmak şartı ile normal renkli görme yetisine sahip bir deneğin 46 değer artırımından sonra ikinci test verisini görmesi beklenebilir (Şekil 6.2.). Eğer denek üst sınır olan 54'ü aştığı halde ikinci test verisini göremiyorsa kişide testi yapılan renk tonlarına karşı bir kusur bulunmaktadır anlamına gelmektedir. Bu sınır normal renkli görme yetisine sahip deneklerin test edilmesiyle elde edilmektedir. Bu durum yeni test ile beraber Şekil 6.4.'de ki gibi bir grafik üzerinde sonuç raporu haline getirilmektedir. Şekildeki yatay çizgi dalga boyunu simgelemektedir ve testte elde edilen sonuçlar RGB türündendir. Ancak insanın görülebilir alanındaki tüm renkleri dijitale çevirmenin bir yöntemi yoktur. Yakınsanmış bazı yöntemler bulunmaktadır. Bunula ilgili literatürde yer edinmiş bir

kaç yaklaşım algoritması bulunmaktadır (McNamara ve ark., 2011; Wyman ve ark., 2013; Groothuis, 2015). Bu tez çalışmasında görülebilir dalga boyundan RGB renk uzayına çevirim algoritması olarak literatürde en çok tercih edilen algoritmalarından biri olan Bruton algoritması kullanılmıştır (Briton, 1996; Laven, 2003; Bajcsy ve Kooper, 2005; Glynn, 2006; Banchev, 2014).



Şekil 6.4. Koni hücrelerinin dalga boyu duyarlılığı

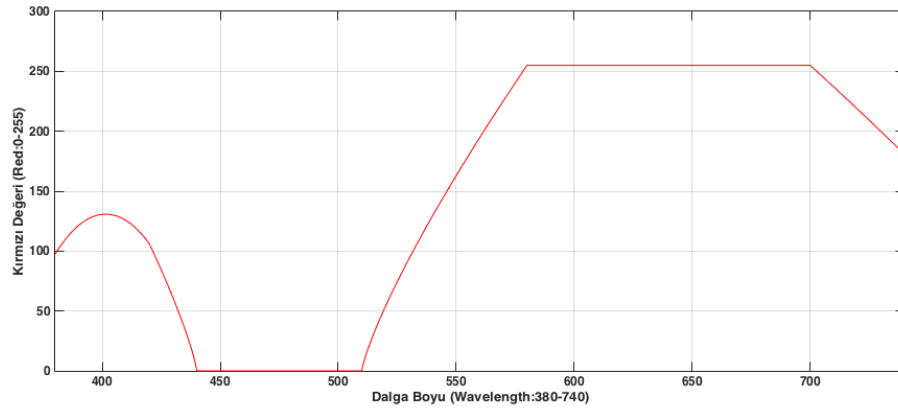
Tablo 6.8.'de Bruton algoritması ile dalga boyundan RGB renk uzayına dönüştürülen renklerin ton değerleri görülmektedir. Bu tablo kullanılarak Şekil 6.4.'de bulunan insan gözünün görebileceği renk alanı eğrisinde yatayda bulunan dalga boyu değerleri, RGB değerleri ile değiştirilecektir. Tabloda bulunan 'DB' dalga boyunu, 'R' kırmızı rengi, 'G' yeşil rengi ve 'B' mavi rengi simgelemektedir



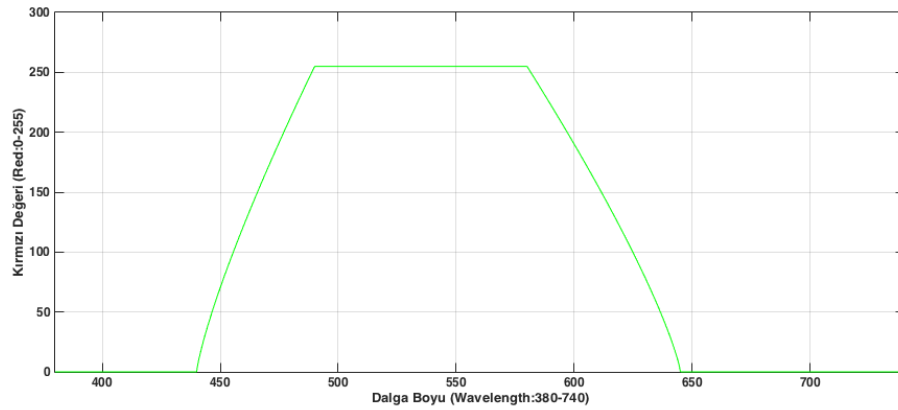
Tablo 6.8. Bruton algoritması ile dalga boyundan RGB renk uzayına dönüşüm değerleri (Briton, 1996; Laven, 2003; Bajcsy ve Kooper, 2005; Glynn, 2006; Banchev, 2014)

DB	R	G	B	DB	R	G	B	DB	R	G	B	DB	R	G	B	DB	R	G	B
380	48	0	252	453	0	66	255	526	58	255	0	599	255	174	0	672	255	0	0
381	51	0	247	454	0	71	255	527	61	255	0	600	255	170	0	673	255	0	0
382	55	0	242	455	0	76	255	528	65	255	0	601	255	165	0	674	255	0	0
383	58	0	237	456	0	81	255	529	69	255	0	602	255	161	0	675	255	0	0
384	62	0	232	457	0	86	255	530	72	255	0	603	255	157	0	676	255	0	0
385	65	0	226	458	0	91	255	531	76	255	0	604	255	153	0	677	255	0	0
386	69	0	221	459	0	96	255	532	80	255	0	605	255	148	0	678	255	0	0
387	72	0	216	460	0	102	255	533	83	255	0	606	255	144	0	679	255	0	0
388	76	0	211	461	0	107	255	534	87	255	0	607	255	140	0	680	255	0	0
389	79	0	206	462	0	112	255	535	91	255	0	608	255	136	0	681	255	0	0
390	83	0	201	463	0	117	255	536	94	255	0	609	255	131	0	682	255	0	0
391	86	0	196	464	0	122	255	537	98	255	0	610	255	127	0	683	255	0	0
392	90	0	191	465	0	127	255	538	102	255	0	611	255	123	0	684	255	0	0
393	93	0	186	466	0	132	255	539	105	255	0	612	255	119	0	685	255	0	0
394	97	0	181	467	0	137	255	540	109	255	0	613	255	114	0	686	255	0	0
395	100	0	175	468	0	142	255	541	112	255	0	614	255	110	0	687	255	0	0
396	104	0	170	469	0	147	255	542	116	255	0	615	255	106	0	688	255	0	0
397	107	0	165	470	0	153	255	543	120	255	0	616	255	102	0	689	255	0	0
398	111	0	160	471	0	158	255	544	123	255	0	617	255	97	0	690	255	0	0
399	114	0	155	472	0	163	255	545	127	255	0	618	255	93	0	691	255	0	0
400	118	0	150	473	0	168	255	546	131	255	0	619	255	89	0	692	255	0	0
401	121	0	145	474	0	173	255	547	134	255	0	620	255	85	0	693	255	0	0
402	125	0	140	475	0	178	255	548	138	255	0	621	255	80	0	694	255	0	0
403	128	0	135	476	0	183	255	549	142	255	0	622	255	76	0	695	255	0	0
404	132	0	130	477	0	188	255	550	145	255	0	623	255	72	0	696	255	0	0
405	135	0	124	478	0	193	255	551	149	255	0	624	255	68	0	697	255	0	0
406	139	0	119	479	0	198	255	552	153	255	0	625	255	63	0	698	255	0	0
407	142	0	114	480	0	204	255	553	156	255	0	626	255	59	0	699	255	0	0
408	146	0	109	481	0	209	255	554	160	255	0	627	255	55	0	700	255	0	0
409	149	0	104	482	0	214	255	555	163	255	0	628	255	51	0	701	252	0	0
410	153	0	99	483	0	219	255	556	167	255	0	629	255	46	0	702	250	0	0
411	1	0	255	484	0	224	255	557	171	255	0	630	255	42	0	703	248	0	0
412	3	0	255	485	0	229	255	558	174	255	0	631	255	38	0	704	246	0	0
413	4	0	255	486	0	234	255	559	178	255	0	632	255	34	0	705	244	0	0
414	6	0	255	487	0	239	255	560	182	255	0	633	255	29	0	706	242	0	0
415	8	0	255	488	0	244	255	561	185	255	0	634	255	25	0	707	240	0	0
416	9	0	255	489	0	249	255	562	189	255	0	635	255	21	0	708	238	0	0
417	11	0	255	490	0	255	255	563	193	255	0	636	255	17	0	709	236	0	0
418	12	0	255	491	0	255	242	564	196	255	0	637	255	12	0	710	234	0	0
419	14	0	255	492	0	255	229	565	200	255	0	638	255	8	0	711	232	0	0
420	16	0	255	493	0	255	216	566	204	255	0	639	255	4	0	712	230	0	0
421	17	0	255	494	0	255	204	567	207	255	0	640	255	0	0	713	228	0	0
422	19	0	255	495	0	255	191	568	211	255	0	641	255	0	0	714	225	0	0
423	20	0	255	496	0	255	178	569	214	255	0	642	255	0	0	715	223	0	0
424	22	0	255	497	0	255	165	570	218	255	0	643	255	0	0	716	221	0	0
425	24	0	255	498	0	255	153	571	222	255	0	644	255	0	0	717	219	0	0
426	25	0	255	499	0	255	140	572	225	255	0	645	255	0	0	718	217	0	0
427	27	0	255	500	0	255	127	573	229	255	0	646	255	0	0	719	215	0	0
428	29	0	255	501	0	255	114	574	233	255	0	647	255	0	0	720	213	0	0
429	30	0	255	502	0	255	102	575	236	255	0	648	255	0	0	721	211	0	0
430	32	0	255	503	0	255	89	576	240	255	0	649	255	0	0	722	209	0	0
431	33	0	255	504	0	255	76	577	244	255	0	650	255	0	0	723	207	0	0
432	35	0	255	505	0	255	63	578	247	255	0	651	255	0	0	724	205	0	0
433	37	0	255	506	0	255	51	579	251	255	0	652	255	0	0	725	203	0	0
434	38	0	255	507	0	255	38	580	255	255	0	653	255	0	0	726	201	0	0
435	40	0	255	508	0	255	25	581	255	250	0	654	255	0	0	727	199	0	0
436	41	0	255	509	0	255	12	582	255	246	0	655	255	0	0	728	196	0	0
437	43	0	255	510	0	255	0	583	255	242	0	656	255	0	0	729	194	0	0
438	45	0	255	511	3	255	0	584	255	238	0	657	255	0	0	730	192	0	0
439	46	0	255	512	7	255	0	585	255	233	0	658	255	0	0	731	190	0	0
440	48	0	255	513	10	255	0	586	255	229	0	659	255	0	0	732	188	0	0
441	0	5	255	514	14	255	0	587	255	225	0	660	255	0	0	733	186	0	0
442	0	10	255	515	18	255	0	588	255	221	0	661	255	0	0	734	184	0	0
443	0	15	255	516	21	255	0	589	255	216	0	662	255	0	0	735	182	0	0
444	0	20	255	517	25	255	0	590	255	212	0	663	255	0	0	736	180	0	0
445	0	25	255	518	29	255	0	591	255	208	0	664	255	0	0	737	178	0	0
446	0	30	255	519	32	255	0	592	255	204	0	665	255	0	0	738	176	0	0
447	0	35	255	520	36	255	0	593	255	199	0	666	255	0	0	739	174	0	0
448	0	40	255	521	40	255	0	594	255	195	0	667	255	0	0	740	172	0	0
449	0	45	255	522	43	255	0	595	255	191	0	668	255	0	0				
450	0	50	255	523	47	255	0	596	255	187	0	669	255	0	0				
451	0	56	255	524	50	255	0	597	255	182	0	670	255	0	0				
452	0	61	255	525	54	255	0	598	255	178	0	671	255	0	0				

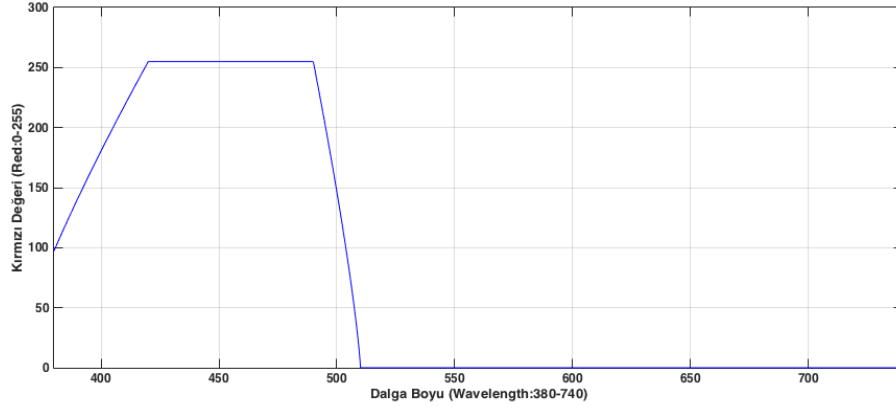
Yeni testin her paletinde sadece bir renk tonuna karşı ‘renkli görme kusuru’ ölçüleceği için Şekil 6.4.’den üç adet grafik çıkartılmıştır. Çıkarılan grafiklerden birisi kırmızı, diğeri yeşil sonuncusu ise mavi renge karşı olan kusurlu bölgeleri göstermek için kullanılmıştır. Şekil 6.5., Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.’de bulunan grafikler Şekil 6.4.’den Bruton algoritması kullanılarak çıkarılan ve deneklerin sonuç raporlarında deneğin görmede kusurlu olduğu bölgenin yaklaşık olarak gösterileceği grafiklerdir.



Şekil 6.5. Bruton algoritmasına göre dalga boyundan RGB'ye dönüşümde kırmızı renk grafiği

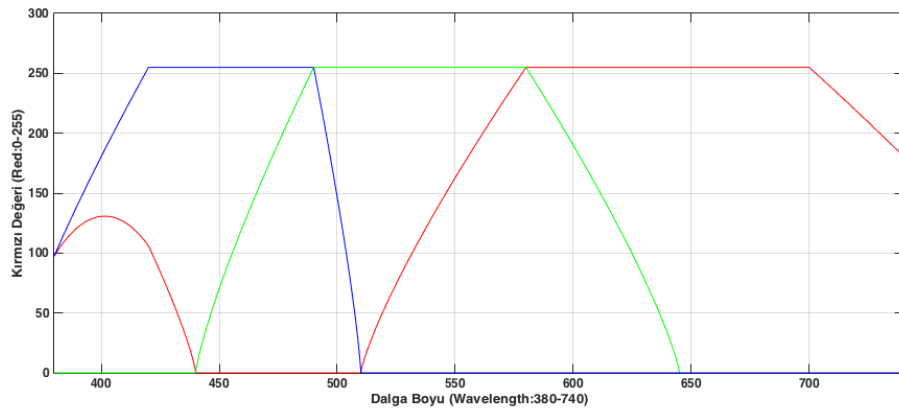


Şekil 6.6. Bruton algoritmasına göre dalga boyundan RGB'ye dönüşümde yeşil renk grafiği



Şekil 6.7. Bruton algoritmasına göre dalga boyundan RGB'ye dönüşümde mavi renk grafiği

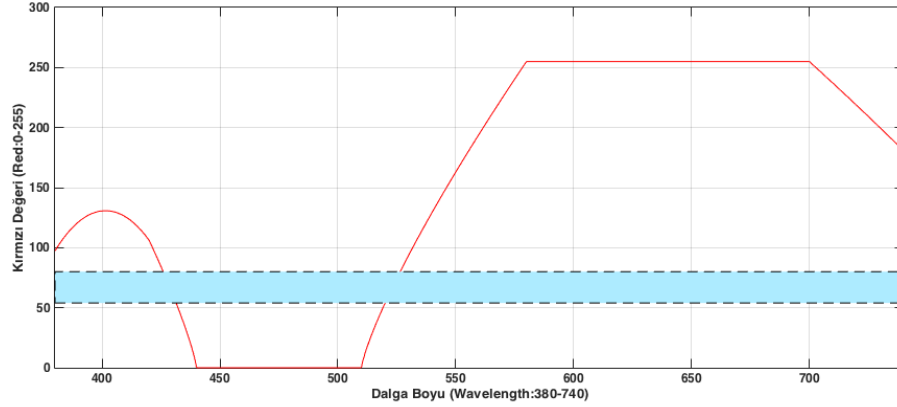
İnsanın görebildiği tüm renklerin RGB olarak çevrilmesinin mümkün olmadığından daha önce bahsedilmişti. Bu kapsamda Şekil 6.5., Şekil 6.6. ve Şekil 6.7. incelendiği zaman belirli dalga boylarında RGB renk uzayının yetersiz kaldığı görülebilmektedir. Şekil 6.8. ise Bruton algoritması ile elde edilmiş dalga boyundan RGB uzayına çevrilen renkleri grafiksel olarak göstermektedir.



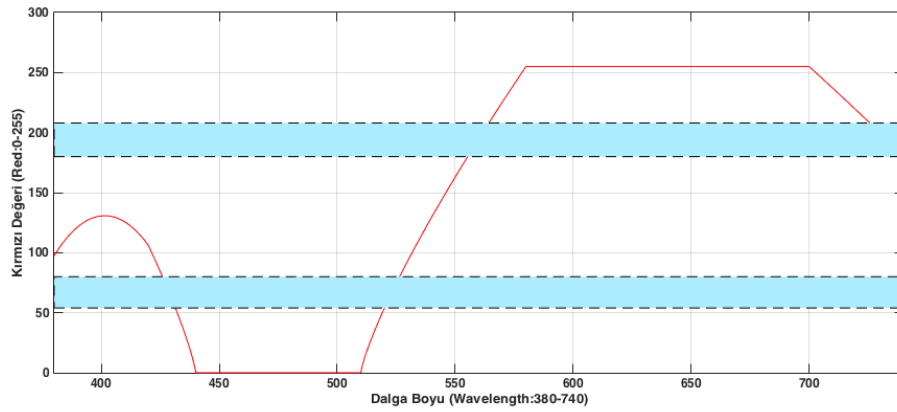
Şekil 6.8. Bruton algoritmasına göre dalga boyundan RGB'ye dönüşümde tüm renkler

Yukarıda bahsi 7.paletle ait ve yine bahsi geçen deneğin kırmızı renkte kusurlu olduğu bölge Şekil 6.9.'de gösterilmiştir. Aynı deneğe ait diğer grafiksel sonuç çıktıları Şekil 6.10. ve Şekil 6.11.'de paylaşılmıştır. Yeni tasarlanan testte ilk palet tüm deneklerin görebileceği şekilde tasarlandığı daha önce söylenmiştir. Son iki palet ise mavi renkli görme kusurunun tespiti için tasarlanmıştır. Ancak mavi renkli görme kusuru bulunan insanların sayısı yok denecek kadar az olduğu için yeni testin son iki paletinin doğruluğu bilinmemektedir. 10 paletten oluşan yeni testte geriye kalan diğer paletler

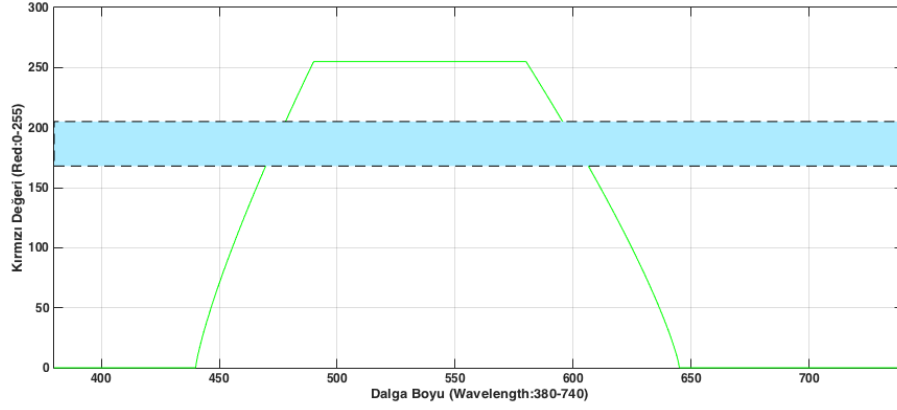
kırmızı ve yeşil tonlarında ki kusurları ölçmek için tasarlanmıştır. Netice olarak yeni testin uygulandığı bir deneğe ait 2 çeşit grafik sonuç raporunda sunulmaktadır. Grafiklerden birisi yeni geliştirilen teste göre yeşil renkli görmede kusurlu olduğu alanları diğeri ise yeni geliştirilen teste göre kırmızı renkli görmede kusurlu olduğu alanları göstermektedir.



Şekil 6.9. Sadece 7.Paletten elde sonuca göre deneğin kırmızı renkte kusurlu olduğu alan



Şekil 6.10. Deneğin kırmızı tonlarda kusurlu olduğu bölgeler



Şekil 6.11. Deneğin yeşil tonlarda kusurlu olduğu bölgeler

Şekil 6.10. ve Şekil 6.11.'de daha önceki paragrafta bahsi geçen örnek deneğe aittir. Grafikler incelendiği zaman yeni test ile elde edilen sonuçlara göre kusurlu oldukları alanın 'Turkuaz' rengi ile tarandığı görülmektedir. Kusurlu alanların çizimleri Bruton algoritmasına göre elde edilen RGB görülebilir alan grafiği üzerinde işaretlenme yöntemi ile hazırlanmıştır. Ancak bazı denekler renk tonlarında en yüksek değer olan 255'e ulaştığı halde test verisini okuyamamıştır. Bu durum grafik üzerinde gösterilememiştir zira dalga boyundan RGB'ye dönüşümde daha önce anlatıldığı gibi kayıplar yaşanmaktadır. Şekil 6.8. incelendiği zaman grafikte dikey ekseninde 255'den sonrasının sayısal olarak ifade edilemediği görülmektedir.

Sonuç itibari ile incelendiğinde yeni test hatasız olarak renkli görme sorunu olan denek ile normal deneği birbirinden ayırmanın yanı sıra deneğin renkli görmeye kusurlu olduğu renk tonları hakkında ön bilgiler verebilmektedir. Yeni testin bölüm içerisinde bahsi geçen 162 denek üzerinde uygulanmasıyla; renkli görme kusuru bulunan deneğin tanısında Ishihara testlerine kıyasen %100 duyarlılık ve %100 özgüllüğe ulaşılmıştır.

Testin üçüncü versiyonun uygulama kısmında detaylı olarak açıklanıp uygulandığı gibi, yeni testin son versiyonu ile de farklı aydınlatma ortamlarında, 30'ar derece farklı bakış açısı ile de aynı sonuçlara ulaşmıştır. Bunun yanı sıra yeni test aynı denekler ile Philips monitör (Model no: 284E5QHAD/00) üzerinde uygulanmasıyla yine aynı sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla testin sonuçları ortam aydınlığına, farklı bakış açılarına (<math><30^\circ</math>) ve sadece retina ekrana bağlı olmadığı sonucu rahatlıkla çıkarılabilir.

Ayrıca bir önceki bölümde detaylı olarak açıklandığı gibi yeni testin deneğin renk körü olup/olmamasının kararında bulanık mantık ile geliştirilen bir algoritma kullanılmıştır.

Tablo 6.9.'da referans test olarak alınan Ishihara testlerine göre yeni testin karşılaştırılması bulunmaktadır. Tablo, yeni testin Ishihara testlerinde bulunan ve tez çalışmasının konusu olan bir çok olumsuzluklara yeni çözümler getirdiğini göstermektedir.

Tablo 6.9. Ishihara renk paletleri ile yeni testin karşılaştırılması

Ishihara renkli görme testi	Yeni geliştirilen test
Test paletleri sabit ve düzenli bir sıra içerisinde bulunmaktadır. Deneklerin test verilerini ezberlemesi imkanı bulunmaktadır.	Paletlerdeki her test verisi rasgele olarak ekranın rasgele bir konumunda bulunmaktadır. Buna ilaveten bir palet içerisindeki bir test verisinden aynı boy ve aynı ölçekte 5'i arka plan ile aynı renkte olan toplamda 6 adet bulunmaktadır.
Test paletlerinin dijital olarak saklanması ve taşınması mümkün değildir. Buna ek olarak test sonuçları dijital platformlar için uygun değildir.	Dijital ortamlar için uyumlu olmasının yanı sıra ileriki çalışmalara öncü niteliğinde kullanılabilir.
Paletlerdeki renklerin zamanla solması, tozlanması, kirlenmesi, yıpranması test doğruluğunu önemli ölçüde azaltmaktadır.	Sol tarafta bahsi geçen olumsuzlukların hiç birisi yeni testimizde bulunmamaktadır.
Test sırasında yeterli düzeyde ortam ışığı renklerin oluşması ve testin gerçekleşmesi için en büyük etkenlerdendir.	Ishihara testleri ile karşılaştırıldığında ortam ışığının test sonuçlarına etkisi yok denilecek kadar azdır.
Testin online yapılabilmesi olanaksızdır.	Gerekli bazı şartlar sağlandıktan sonra testin online olarak uygulanması mümkündür.

#### 6.4.1. Denek tanısının bulanık mantık ile gerçekleştirilmesi

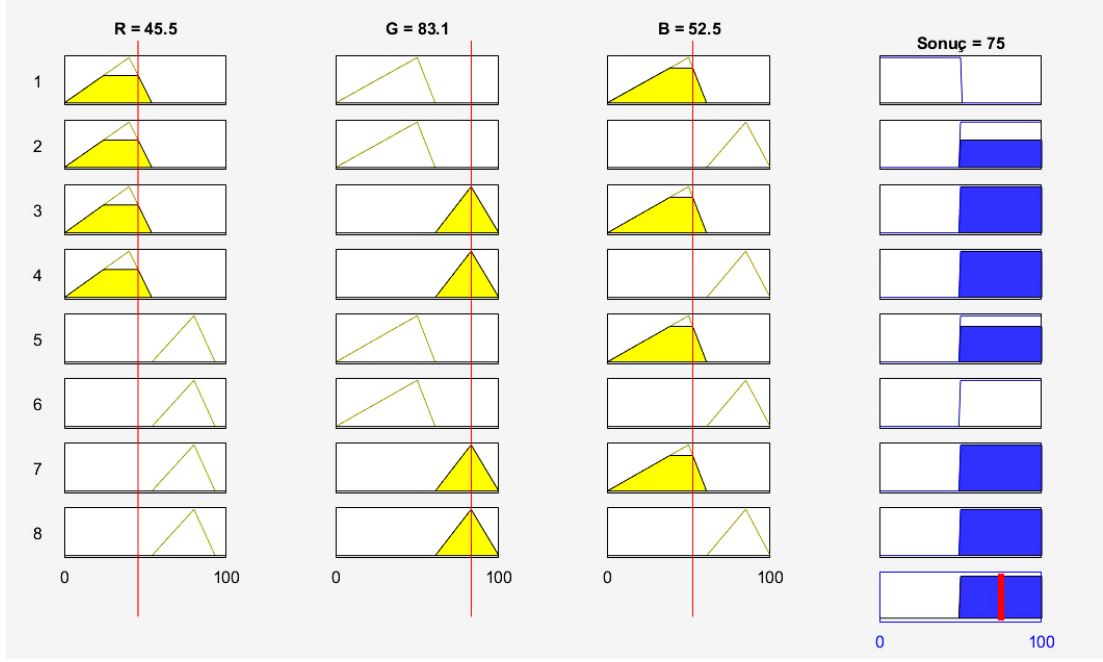
Yeni testte 10 palet bulunmaktadır. Tablo 6.10.'da her bir paletin hangi amaç ile kullanıldığı gözükmektedir. Yeni testte 2, 3, 4 ve 5 numaralı test paletlerinden sonuç olarak yeşil renk tonu değişim oranı, 6, 7 ve 8 numaralı paletlerden sonuç olarak kırmızı renk tonu değişim oranı 9 ve 10 numaralı paletlerden sonuç olarak mavi renk tonu değişim oranı alınacaktır. Alınan bu sonuçları giriş olarak kabul eden ve çıkış olarak deneğin hangi renk tonuna karşı renkli görme kusuru olup/olmadığını söyleyen bulanık mantık ile bir algoritma tasarlanmış ve test içerisine yerleştirilmiştir. Bu sonucun haricinde bir önceki başlıkta açıklandığı gibi deneğe hangi renk tonuna karşı kusurlu olduğuna dair bir de grafiksel sonuç raporu hazırlanmıştır.

Tablo 6.10. Yeni testte bulunan paletlerin amaçları

Palet No	Açıklama
1	Renkli görme kusuru olsun/olmasın herkes tarafından görülebilecek şekilde tasarlanmıştır.
2	Yeşil renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.
3	Yeşil renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.
4	Yeşil renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.
5	Yeşil renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.
6	Kırmızı renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.
7	Kırmızı renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.
8	Kırmızı renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.
9	Mavi renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.
10	Mavi renkli görme kusurunu tespit edecek şekilde tasarlanmıştır.

Testin son versiyonununun 100 normal 62 kusurlu renkli görmesi olan denekler üzerinde uygulanması ile birlikte:

- a. Kırmızı renk tonu için: Normal renkli görme yetisi olan bireylerin ikinci test verisini 39-54 arasında ton değişimleri ile gördükleri, kusurlu renkli görmesi olan bireylerin 17'sinin ikinci test verisini hiç göremediği geriye kalan 45 deneğin ise 70-93 arasında ton değişimleri ile gördükleri tespit edilmiştir. İkinci test verisini görmek için kırmızı renk değişim oranı 54'den fazla ise denek kırmızı renk körü olarak kabul edilmiştir.
- b. Yeşil renk tonu için: Normal renkli görme yetisi olan bireylerin ikinci test verisini 43-61 arasında ton değişimleri ile gördükleri, kusurlu renkli görmesi olan bireylerin 11'inin ikinci test verisini hiç göremediği geriye kalan 51 deneğin ise 73-100 arasında ton değişimleri ile gördükleri tespit edilmiştir. İkinci test verisini görmek için yeşil renk değişim oranı 61'den fazla ise denek yeşil renk körü olarak kabul edilmiştir.
- c. Mavi renk tonu için: Toplam nüfusta mavi renkli görme oranı %0.00001 olarak bilinmektedir. Bu sebeple çalışma grupları oluşturulurken mavi renkli görme kusuru bulunan hiçbir deneğe rastlanmamıştır. Mavi renk tonu olarak normal renkli görme yetisi olanlar için 39-61, kusurlu renkli görme yetisi olanlar için ise 75-100 arası geçici olarak belirlenmiştir. Ancak hiçbir denek üzerinde uygulanarak doğruluğu ispatlanamamıştır.



Şekil 6.12. Bulanık mantık ile renkli görme tanısının elde edilmesi

## 6.5. Tartışma

Testler deneklere sağ/sol göz ayırdımı yapılmadan uygulanmıştır. Yeni test her iki göze ayrı ayrı uygulanarak denneğin her iki gözünün de ayrı ayrı değerlendirilmesi test sonuçları için daha başarılı bulgular elde edilmesini sağlayabilirdi. Dolayısıyla, renkli görme kusuru bulunmayan denek olarak bilinen bir kişinin tek bir gözünde renkli görme ile ilgili sıkıntı olup/olmadığı test edilmemiştir. Yeni test daha sağlıklı sonuçlar için renkli görme testleri arasında altın standart olarak bilinen Anamoloskop (Yates ve Heikens, 2001; Dain, 2004; Singh, 2006; Chacon ve ark., 2015; Walsh ve ark., 2016) ile karşılaştırılarak geliştirilmesi daha farklı ve faydalı sonuçlar çıkarılması için öncü olabilirdi.

Ayrıca yeni testin daha fazla denek üzerinde denenmesiyle güvenilirliği artırılabilirdi. Yeni testin kırmızı-yeşil renk körlüğü tipi haricinde renk körlüğü sınıflandırma başarısı bilinmemektedir. Çünkü mavi renk körlüğü olarak bilinen renk körlüğü tipine 10000 kişide 1 olarak rastlanmaktadır. Tez çalışması kapsamında mavi renk körlüğü bulunan bir denek bulunamamıştır. (Ishihara testleri de mavi renk körlüğü tipini bulabilmek için gerekli test paletlerine sahip değildir.)



Yeni test daha çok ekran ve bilgisayar üzerinde test edilerek başarımlarının değerlendirilmesi test için gerekli ekipman standartları belirlemede bir öncü olabilirdi. Ayrıca daha güvenilir sonuçlar için test sırasında kullanılan cihazların doğrulukları “Renk Ölçer” gibi cihazlarla kontrol edilip, gerekirse kalibrasyon yapılması testin doğruluğunu artırabilirdi.

## 6.6. İleriki Çalışmalar

Tez çalışmasına konu olan “online, hızlı, pratik ve bilişim teknolojisine uygun detaylı sonuç verebilen renkli görme testleri” literatürde yer alan nadir çalışmalardandır. Bu kapsamda kusurlu renkli görmesi olan bireyin bu kusuru detaylı olarak hızlı, pratik ve kolayca derecelendirebilen testin hali hazırda kullanılmasıyla:

- a. Meslek tiplerine uygun gerekli ‘sınır renkli görme’ oranı değeri belirlenebilir. Yani meslekler için renkli görme ile ilgili standartlar üzerinde çalışılabilir (Pokorny ve ark., 1981; Barbur ve ark., 2009; Polat ve ark., 2012).
- b. Yeni test için ekran standartları belirlendikten sonra gömülü sistem haline getirilip ticari amaçlı kullanılabilir.
- c. Daha fazla denek üzerinde denenmesiyle yeni geliştirilen testin güvenilirliği artırılabilir.
- d. Tez çalışmasında Ishihara testleri baz alınmıştır. Renk körlüğü için altın standart olarak bilinen Anomaloskop (Yates ve Heikens, 2001; Dain, 2004; Singh,2006; Chacon ve ark., 2015; Walsh ve ark., 2016) ile yeni testin karşılaştırılması; yeni testin doğruluğu ve güvenilirliğini artırması beklenmektedir.
- e. Yeni detaylı sonuç veren renk körlüğü testi üzerinde bazı geliştirmeler yapılarak, belirtisi gözde renk yanılması olarak çıkan hastalıkların tespitinde kullanılmasına öncü bir çalışma olabilir.

## KAYNAKLAR

- Adelson, E.H., Bergen, J.R., 1991, The plenoptic function and the elements of early vision, Vision and Modeling Group, Media Laboratory, Massachusetts Institute of Technology.
- Agarwal, S., Bansod, N., 2014, Prevalence of Colour Blindness in School Children, International Journal of Science and Research, Volume 3 Issue 4.
- Al-Aqtum, M.T., Al-Qawasmeh, M.H., 2000, Prevalence of color blindness in young Jordanians, Ophthalmologica, 215(1), 39-42.
- Ananto, B.S., Sari, R.F., Harwahu, R., 2011, Color transformation for color blind compensation on augmented reality system, In User Science and Engineering (i-USER), International Conference on IEEE (pp. 129-134).
- Anonim, 1986, Colorimetry: Commission Internationale de L'clairage (CIE), Paris.
- Anonim, 2014, Epson T7000 ICC profile, <http://www.epson.eu/ix/en/viewcon/corporatesite/products/mainunits/support11799>, Erişim Tarihi: 05.03.2014.
- Anonim, 1999, Multimedia systems and equipment-Colour measurement and management - Part 2-1: Colour management-Default RGB colour space-sRGB. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- Anonim, U.S. National Library of Medicine, 7th Mart 2006.
- Anstis, S., Cavanagh, P., Maurer, D., Lewis, T., MacLeod, D.I.A, Mather, G., 1986, Computer-generated screening test for color-blindness, Color Research and Application, 11, 63-66.
- Apple Company, 2005, Color Management Overview for developers, Apple Computer.
- Atlı, D., 2010, Effects Of Color And Colored Light On Depth Perception, Bilkent Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Bajcsy, P., Kooper, R., 2005, Prediction accuracy of color imagery from hyperspectral imagery, In Defense and Security (pp. 330-341). International Society for Optics and Photonics.
- Banchev, B., 2014, Wound Size Measurement And 3d Reconstruction Using Structured Light, Groundwork And Analysis Of Requirements.
- Barbur, J., Rodriguez-Carmona, M., Evans, S., Milburn, N., 2009, Minimum Color Vision Requirements for Professional Flight Crew, Part 3: Recommendations for

New Color Vision Standards, City Univ London, Applied Vision Research Center.

- Benjamin, W.J., (2006), *Borisch's Clinical Refraction*, Second edition, Butterworth-Heinemann an imprint of Elsevier Inc. pp. 289-297.
- Beretta, G., 2000, *Understanding Color*, Hewlett-Packard Company.
- Birch, J., 2001, *Diagnosis of defective colour vision*, 2nd ed. England: Oxford; Boston: Butterworth-Heinemann.
- Birch, J., 1997, Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour efficiency, *Ophthalmic Physiol Opt.*, 17(5):403-8.
- Birren, F., 2016, *Color psychology and color therapy; a factual study of the influence of color on human life*, Pickle Partners Publishing.
- Bruton, D., 1996 *Color Science*, <http://www.physics.sfasu.edu/astro/color/spectra.html>, 1996, Erişim Tarihi: 03.10.2016.
- Cahan, D., 1993, *Hermann von Helmholtz and the foundations of nineteenth-century science*, Univ of California Press.
- Carl, J., John, J., 1993, Comparison of the Farnsworth munsell 100 hue test, the Farnsworth D15 and the L'anthony D-15 desaturated color tests, *Arch Ophthalmol* 111: 639-41.
- Carvalho, L.S., Vandenberghe, L.H., 2016, *Understanding Cone Photoreceptor Cell Death in Achromatopsia*, In *Retinal Degenerative Diseases* (pp. 231-236). Springer International Publishing.
- Chacon, A., Rabin, J., Yu, D., Johnston, S., Bradshaw, T., 2015, Quantification of color vision using a tablet display, *Aerospace medicine and human performance*, 86(1), 56-58.
- Chia, A., Gazzard, G., Tong, L., Zhang, X., Sim, E.L., Fong, A., Saw, S.M., 2008, Red- green color blindness in Singaporean children, *Clinical experimental ophthalmology*, 36(5), 464-467.
- Citirik, M., Acaroğlu, G., Zilelioğlu, O., Batman, C., 2005, Congenital color blindness in young Turkish men, *Ophthalmic epidemiology* 12.2, 133-137.
- Cole, B.L., Maddocks, J.D., 1998, Can clinical colour vision tests be used to predict the results of the Farnsworth lantern test?, Department of Optometry and Vision Sciences, University of Melbourne, Parkville, Australia.
- Cole, B.L., Vingrys, A.J., 1983, Who fails lantern tests?, *Doc Ophthalmol*, 55:157-75.
- Cole, B.L., Orenstein, J. M., 2003, Does the Farnsworth D15 test predict the ability to name colours?, *Clinical and Experimental Optometry*, 86(4), 221-229.
- Cowey, A., Heywood, C.A., 1995, There's more to colour than meets the eye, *Behavioural brain research*, 71(1), 89-100.
- Çağlarca, S., 1993, *Renk ve Armoni Kuralları*, İnkılap Kitapevi, İstanbul.

- Dain, S.J., 2004, Clinical colour vision tests, *Clinical and Experimental Optometry*, 87: 4-5: 276293.
- Deeb, S.S., Motulsky, A.G., 2015, RedGreen Color Vision Defects, NCBI Bookshelf, National Institutes of Health.
- Epson Company, , <http://www.epson.com/cgi-bin/Store/jsp/Pro/SeriesStylusPro4900/Overview.do>, 2010, Erişim Tarihi: 3.10.2016.
- Fairchild, M.D., 2013, Color appearance models. John Wiley Sons.
- Fitzgerald, A., Billson, F., 1985, Colour vision tests and their interpretation, *Australian Orthoptic Journal* 22:31-40.
- Flück, D., 2010, Color Blindness Essentials, e-book:<http://www.color-blindness.com/wp-content/documents/Color-Blind-Essentials.pdf>, 2010, Erişim Tarihi: 05.10.2016.
- Formankiewicz, M., Colour Vision Part 2, Continuing Education Training, 2009.
- French, A., Rose, K., Thompson, K., Cornell, E., 2008, The Evolution of Colour Vision Testing, *australian orthoptic journal*, vol 40 (2).
- Gabbard, J.L., Swan, J.E., Zedlitz, J., Winchester, W.W., 2010, More than meets the eye: An engineering study to empirically examine the blending of real and virtual color spaces, In 2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR) (pp. 79-86). IEEE.
- Gatter, M., 2005, Getting it right in print: digital pre-press for graphic designers, Laurence King Publishing.
- Gegenfurtner, K.R., Kiper, D.C., 2003, Color vision. *Annual review of neuroscience*, 26(1), 181-206.
- Geissbuehler, M., Lasser, T., 2013, How to display data by color schemes compatible with red-green color perception deficiencies, *Optics express*, 21(8), 9862-9874.
- Glynn, E.F., 2006, Visible Light Spectrum and Hydrogen Emission/Absorption Spectra. <http://www.efg2.com/Lab/ScienceAndEngineering/Spectra.htm> Erişim Tarihi: 03.10.2016.
- Grondin, S., 2016, Biological Bases of Visual Perception, In *Psychology of Perception* (pp. 53-65), Springer International Publishing.
- Groothuis, S.B.E., 2015, MSc Physics, University of Amsterdam, Yüksek Lisans Tezi.
- Gündoğan, N.U., Durmazlar, N., Altıntaş, A.K., Gümüş, K., Durur, İ., Geyik, P.Ö., 2003, Bilgisayara uyarlanmış yeni bir renk körlüğü testi, *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi*, 23(2), 120 – 8.
- Hardy, L.H., Rand, G, Rittler, M.C., 1947, The Ishihara test as a means of analysing defective colourvision *IGenPs-ychol* 36: 70-106.
- Hardy, L.H., Rand, G., Rittler, M.C., 1946, Test for detection and analysis of colour blindness, 11.Comparisons of editions of the Ishihara test. *Arch Ophthalmol*; 35: 109-119.
- Harold, R. M., 2001, An introduction to appearance analysis. *Gatfworld*, 13(3), 5-12.

- Haslam, K., 2014, Apple 15-inch 2.5GHz MacBook Pro with Retina review, <http://www.macworld.co.uk/review/mac-laptops/macbook-pro-retina-review-15inch-2014-3533760>, Erişim Tarihi: 05.10.2016.
- Heywood, C.A., Kentridge, R.W., Cowey, A., 1998, Cortical color blindness is not blindsight for color. *Consciousness and cognition*, 7(3), 410-423.
- Iaccarino, G., Malandrino, D., Del-Percio, M., Scarano, V., 2006, Efficient edge-services for colorblind users, In *Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web*, p.919-920.
- Ishihara, S., 1990, *Ishihara's Tests For Colour-Blindness*, 38 Plates Edition Kyoto Tokyo.
- Ishihara S., 1972, The series of plates designed as a test for colour-blindness, *Ishihara test instruction manual for 24 Plates Edition*, Kanehata, Tokyo page 1-7.
- Kalloniatis, M., Luu, C., 2015, Color perception. *Webvision: The organization of the retina and visual system*, <http://webvision.med.utah.edu/book/part-viiiigabac-receptors/color-perception>. Erişim Tarihi: 05.10.2016.
- Karaca, A., Saatçi, O., Kaynak, C., 2005, Türk Toplumunda Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Sonuçları, 13 : 119-123.
- Keiner, L.E., 2008, *Electromagnetic Spectrum*, Carolina Coastal University.
- Kemp, M., 1989, *Leonardo on painting*. New Haven: Yale University Press.
- Kim, M.C., 2006, Optically adjustable display color gamut in time-sequential displays using LED/Laser light sources. *Displays*, 27(4), 137-144.
- Klein, G.A., 2010, *Industrial color physics*, New York: Springer, Vol 7.
- Kohl, S., Coppieters, F., Meire, F., Schaich, S., Roosing, S., Brennenstuhl, C., Den-Hollander, A.I., 2012, A nonsense mutation in PDE6H causes autosomal-recessive incomplete achromatopsia, *The American Journal of Human Genetics*, 91(3), 527-532.
- Kulshrestha, R., Bairwa, R.K., 2013, Review of Color Blindness Removal Methods using Image Processing, *Int. J. of Recent Research and Review*, 6, 18-21.
- Laine, J., Kojo, M., 2004, *Illumination-adaptive control of color appearance: a multimedia home platform application*. Research Report TTE4-2004-4, VTT Information Technology.
- Laven, P., 2003, Simulation of rainbows, coronas, and glories by use of Mie theory, *Applied optics*, 42(3), 436-444.
- Lee, D.Y., 2003, Honson M. Chromatic variation of Ishihara diagnostic plates, *Color Research Application* 28:267-276.
- Lee, J., Dos-Santos, W.P., 2010, Fuzzy-based simulation of real color blindness, In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Annual International Conference of the IEEE* (pp. 6607-6610).
- Lee, H.C., 2005, *Introduction to color imaging science*, Cambridge University Press.

- Lee, J., Dos-Santos, W.P., 2011, An adaptive fuzzy-based system to simulate, quantify and compensate color blindness, *Integrated Computer-Aided Engineering*, 18(1), 29-40.
- Marey, H.M., Semary, N.A., Mandour, S.S., 2015, Ishihara Electronic Color Blindness Test: An Evaluation Study, *Ophthalmology Research: An International Journal*, 3, 67-75.
- Masaoka, K., 2016, Display Gamut Metrology Using Chromaticity Diagram, *IEEE Access*, 4, 3878-3886.
- McGavin, D., Stukenborg, B., Witkowski, M., 2005, Color figures in BJ: RGB versus CMYK. *Biophysical journal*, 88(2), 761-762.
- McNamara, M.E., Briggs, D.E., Orr, P.J., Wedmann, S., Noh, H., Cao, H., 2011, Fossilized biophotonic nanostructures reveal the original colors of 47-million-year-old moths, *PLoS Biol*, 9(11), e1001200.
- Newton, I., 1671, *Isaac Newton's Papers Letters on Natural Philosophy* (edited by Cohen B., Schofield R.E., Cambridge, Mass., 1958; 2nd ed. 1978), 47-59.
- Newton, I., Shapiro, A. E., 1984, *The Optical Papers of Isaac Newton: Volume 1, The Optical Lectures 1670-1672: Volume 1. The Optical Lectures 1670-1672 (Vol. 1)*, Cambridge University Press.
- Ohkubo, T., Kobayashi, K., 2008, A color compensation vision system for color-blind people, In *SICE Annual Conference, IEEE* (pp. 1286-1289).
- Palus, H., Bereska, D., 2006, *Colour Reproduction Accuracy of Vision Systems*. In *Computer Vision and Graphics* (pp. 279-286). Springer Netherlands.
- Pang, J. J., Alexander, J., Lei, B., Deng, W., Zhang, K., Li, Q., Hauswirth, W.W., 2010, Achromatopsia as a potential candidate for gene therapy. In *Retinal Degenerative Diseases* (pp. 639-646). Springer New York.
- Pardo, P.J., Perez, A.L., Suero, M.I., 2000, A new colour vision test in a PC-based screening system, *Departamento de Fisica, Campus Universitario, Universidad de Extremadura, Avda, de Elvas s/n 06071 Badajoz, Spain*.
- Parramon, J.M., 1991, *Resimde Renk ve Uygulanışı*, (Çeviren: Erol Erduman). Istanbul: Remzi Kitabevi.
- Parvizi, S., Frith, P., 2008, Expert Review Examination of Color Vision, *The Journal of Clinical Examination* (7): 1-8.
- Pascale, D., 2003, A review of rgb color spaces... from xyy to r'g'b'. *The BabelColor Company*, 7-8.
- Pascale, D., 2006, RGB coordinates of the Macbeth ColorChecker, *The BabelColor Company*, 1-16.
- Picken, D., Mann, W., Mann, M., 2010, Preliminary Validation of a Computerized Color Vision Test, *Naval Aerospace Medical Institute, Pensacola, FL*.
- Pokorny, J., Collins, B., Howett, G., Lakowski, R., Lewis, M., 1981, *Procedures for testing color vision*, National Research Council Washington Dc Committee On Vision.

- Polat, H.H., 2012, Renk Teorisi ve Temel Yanılgılar, Selcuk University Social Sciences Institute Journal, 28.
- Polat, S., Tunçdemir, A.R., Öztürk, C., Tunçdemir, M.T., 2012, Renk körü ve renk körü olmayan diş hekimlerinin renk seçimindeki başarı oranlarının değerlendirilmesi, Cumhuriyet Dental Journal, 15(4), 320-326.
- Poret, S., Dony, R.D., Gregori, S., 2009, Image Processing for Color Blindness Correction, Science and Technology for Humanity (TIC-STH), 2009 IEEE Toronto International Conference, pp: 539 – 544.
- Rackwitz, A., Sterner, M., 2007, Photorealistic Rendering with V-ray, Natural and Computer Science of the University of Högskolan i gavle, Bitirme Tezi.
- Reichmann, M., 2009, Epson Stylus Pro 7900 Review, <http://luminous-landscape.com/epson-stylus-pro-7900-review>, Erişim Tarihi: 05.10.2016.
- Ricchizzi, N., 2014, Apple MacBook Pro Retina 15 Late 2013 Notebook Review, <http://www.notebookcheck.net/Apple-MacBook-Pro-Retina-15-Late-2013-Notebook-Review.120330.0.html>, Erişim Tarihi: 05.03.2014.
- Rigden, C., 1999, The eye of the beholder - designing for colourblind users, British Telecom Engineering, 17:2–6.
- Rings, M.C., 2014, Validation of a Computerized Color Vision Test, Naval Aerospace Medical Institute, Pensacola, FL.
- Rodney, A., 2006, The role of working spaces in Adobe applications, [http://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/phscs2ip\\_colSPACE.pdf](http://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/phscs2ip_colSPACE.pdf), Erişim Tarihi: 05.10.2016.
- Rodriguez-Carmona, M., O'Neill-Biba, M., Barbur, J.L., 2012, Assessing the Severity of Color Vision Loss with Implications for Aviation and other Occupational Environments. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 83(1), pp. 19-29.
- Rogers, K., 2010, The eye: the physiology of human perception, The Rosen Publishing Group.
- Rolf, G., 2004, Variability in unique hue selection: A surprising phenomenon, Color Research Application, 29(2), 158-162.
- Sahel, J.A., Picaud, S., Leveillard, T., Dalkara, D., Duebel, J., Roska, B., 2016, U.S. Patent Application No. 15/092,129.
- Sakai, H., Yoshikawa, S., Iyota, H., 2013, Accuracy of color measurement by using digital cameras and the standard color chart.
- Shrestha, R.K., Shrestha, G.S., 2015, Assessment of Color Vision Among School Children: A Comparative Study Between The Ishihara Test and The Farnsworth D-15 Test, Journal of the Nepal Medical Association, 53(200).
- Silva, C.C., Martins, R.D.A., 1996, A Nova Teoria sobre Luz e Cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. Revista Brasileira de Ensino de Física, 18(4), 313-27.
- Simunovic, M.P., 2010, Color vision deficiency, Eye 24(5), 747-755.

- Singh, S., 2006, Impact of color on marketing, *Management decision*, 44(6), 783-789.
- Soneira, R.M., 2014, [http://www.displaymate.com/Gamut\\_24.html](http://www.displaymate.com/Gamut_24.html), Erişim Tarihi: 12.10.2015.
- Swanson, W.H., Cohen, J.M., 2003, Color vision. *Ophthalmology Clinics*, 16(2), 179-203.
- Tallitsch, R.B., Martini, F., Timmons, M.J, 2012, *Human anatomy: Search Edition*, Pearson Education Inc.
- Tobie C.,D., 2012, *Color Gamut of Retina Display MacBook Pro*, <https://cdtobie.wordpress.com/2012/06/18/color-gamut-of-retina-display-macbook-pro>, Erişim Tarihi: 05.10.2016.
- Vinci, L.D., 1956, *Treatise on Painting*, Princeton University Press, Princeton.
- Walsh, D.V., Robinson, J., Jurek, G.M., Capó-Aponte, J.E., Riggs, D.W., Temme, L.A., 2016, A Performance Comparison of Color Vision Tests for Military Screening, *Aerospace medicine and human performance*, 87(4), 382-387.
- Westfall, R.S., 1962, The development of Newton's theory of color, *Isis*, 339-358.
- Winston, J.V., Martin, D.A., Heckenlively, J.R., 1986, Computer analysis of farnsworth munsell 100 hue test, *Documenta Ophthalmologica* 62: 61–72.
- Wyman, C., Sloan, P.P., Shirley, P., 2013, Simple analytic approximations to the CIE XYZ color matching functions, *Journal of Computer Graphics Techniques (JCGT)*, 2(2), 1-11.
- Yates, J.T., Heikens, M.F., 2001, *Colour Vision Testing – Methodologies: Update and Review*, Research And Technology Organization / North Atlantic Treaty Organization, Neuilly-sur-Seine.
- Yeh, S.J., Wu, M.F., Chen, C.T., Song, Y.H., Chi, Y., Ho, M.H., Chen, C.H., 2005, New dopant and host materials for Blue-Light-Emitting phosphorescent organic electroluminescent devices, *Advanced Materials*, 17(3), 285-289.
- Yılmaz, İ., 2002, *Renk Uzayları ve Dönüşüm Algoritmaları*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Ü. FBE, Konya, 138.
- Young, T., 1802, On the theory of light and colours, *Philosophical Transactions*, 92. 12-45.
- Zollinger, H., 1999, *Color: A Multidisciplinary Approach*, Verlag Helvetic Chimica Acta, Postfach, CH8042 Zürich, Switzerland.



## **EKLER**

**EK 1: HÜTBAT destek formu****HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ****GÖZ HASTALIKLARI ANABİLİM DALI**


04.03.2015

"Renk Körlüğünün Oransal Tanısına Yönelik Yeni Bir Arayüz Tasarımı" başlıklı çalışmanın saha taraması Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Bilimsel Araştırma Topluluğu (HÜTBAT) tarafından desteklenecektir.

HÜTBAT Sorumlu Öğretim Üyesi  
Prof. Dr. Osman Abbasoğlu

HÜTBAT Öğrenci Başkanı  
Sevda Aygün

## EK 2: Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi 'Etik Kurul İzin Belgesi'



**T.C.**  
**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ**  
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Sayı : 16969557

**ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU**

**Toplantı Tarihi** : 04.03.2015 ÇARŞAMBA  
**Toplantı No** : 2015/05  
**Proje No** : GO 15/194 (Değerlendirme Tarihi: 04.03.2015)  
**Karar No** : GO 15/194 – 36

Üniversitemiz Tıp Fakültesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Doç.Dr. Mesut ERDURMUŞ ve Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi öğretim üyelerinden Doç.Dr. Ahmet Turan ÖZCERİT'in ortak sorumlu araştırmacı oldukları Dr. Murat Işık ve Dr. Onur INAM ile birlikte çalışacakları GO 15/194 kayıt numaralı ve "**Renk Körlüğünün Oransal Tespitine Yönelik Yeni Bir Arayüz Geliştirilmesi**" başlıklı proje önerisi araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş olup, tıbbi etik açıdan uygun bulunmuştur.

1. Prof. Dr. Nurten Akarsu (Başkan)	9. Prof. Dr. Rahime Nohutçu (Üye)
2. Prof. Dr. Nüket Örnek Buken (Üye)	10. Prof. Dr. R. Köksal Özgül (Üye)
3. Prof. Dr. M. Yıldırım Sara (Üye)	11. Prof. Dr. Ayşe Lale Doğan (Üye)
4. Prof. Dr. Sevdâ F. Müftüoğlu (Üye)	12. Doç. Dr. S. Kutay Demirkan (Üye)
5. Prof. Dr. Cenk Sökmensüer (Üye)	13. Prof. Dr. Leyla Dinç (Üye)
6. Prof. Dr. Volga Bayrakçı Tunay (Üye)	14. Prof. Dr. Hatice Doğan Buzoğlu (Üye)
7. Prof. Dr. Ali Düzova (Üye)	15. Av. Meltem Onurlu (Üye)
8. Yrd. Doç. Dr. H. Hüsrev Turnagöl (Üye)	

Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu  
06100 Sıhhiye-Ankara  
Telefon: 0 (312) 305 1082 • Faks: 0 (312) 310 0580 • E-posta: goetik@hacettepe.edu.tr

Ayrıntılı Bilgi için:

**EK 3: Tez çalışmasına katılan deneklerin imzalamış oldukları onam formu (2 Sayfa)****ARAŞTIRMA AMAÇLI ÇALIŞMA İÇİN AYDINLATILMIŞ ONAM FORMU  
(Hasta ve Kontrol Grubu)****(Hekimin Açıklaması)**

Bu katıldığınız çalışma bilimsel bir araştırma olup, araştırmanın adı “Renk Körlüğünün Oransal Tespitine Yönelik Yeni Bir Arayüz Geliştirilmesi”dir. Bu araştırmanın amacı yeni geliştirmiş olduğumuz bilgisayar destekli renkli görme testi ile Ishihara, Farnsworth 100 hue ve anomaloskop testlerinin karşılaştırılmasıdır. Bu çalışmada size herhangi bir invazif işlem yapılmayacak olup sadece standard göz muayenesi ve renkli görme testleri uygulanacaktır. Standard göz muayenesi refraksiyon, görme keskinliği, göziçi basıncı ve biyomikroskopik muayeneyi içermektedir. Renkli görme testleri ise sadece sizin sözel yanıtlarınıza dayalı bir ve girişimsel olmayan bir işlemdir. Bu çalışmada yer almanız öngörülen süre 2 yıl olup, çalışmada yer alacak gönüllülerin sayısı 200’dir.

Bu çalışma ile ilgili olarak sizin herhangi bir sorumluluğunuz bulunmamaktadır. Bu çalışmada sizin için herhangi bir risk söz konusu değildir. Ancak sizin bu çalışmaya için beklenen yararlar renkli görme konusunda literatüre yeni bir arayüz kazandırılması konusunda katkı yapmış olmanızdır.

Araştırmaya bağlı bir zarar söz konusu olduğunda, bu durumun tedavisi sorumlu araştırmacı tarafından yapılacak, ortaya çıkan masraflar Dr Mesut Erdurmuş tarafından karşılanacaktır. Araştırma sırasında sizi ilgilendirebilecek herhangi bir gelişme olduğunda, bu durum size veya yasal temsilcinize derhal bildirilecektir. Araştırma hakkında ek bilgiler almak için ya da çalışma ile ilgili herhangi bir sorun, istenmeyen etki ya da diğer rahatsızlıklarınız için 0 312 3051777 no.lu telefondan Dr. Mesut Erdurmuş veya Dr. Onur İnam’a başvurabilirsiniz.

Bu çalışmada yer almanız nedeniyle size hiçbir ödeme yapılmayacaktır. Ayrıca, bu çalışma kapsamındaki bütün muayene, tetkik, testler ve tıbbi bakım hizmetleri için sizden veya bağlı bulunduğunuz sosyal güvenlik kuruluşundan hiçbir ücret istenmeyecektir. Bu araştırmanın finansmanı için TÜBİTAK’a başvuru yapılacaktır.

Bu çalışmada yer almak tamamen sizin isteğinize bağlıdır. Araştırmada yer almayı reddedebilirsiniz ya da herhangi bir aşamada çalışmadan ayrılabilirsiniz; bu durum herhangi bir cezaya ya da sizin yararlarınıza engel duruma yol açmayacaktır. Araştırmacı bilginiz dahilinde veya isteğiniz dışında, uygulanan tedavi şemasının gereklerini yerine getirmemeniz, çalışma programını aksatmanız veya tedavinin etkinliğini artırmak vb. nedenlerle sizi çalışmadan çıkarabilir. Araştırmanın sonuçları bilimsel amaçla kullanılacaktır; çalışmadan çekilmeniz ya da araştırmacı tarafından çıkarılmanız durumunda, sizle ilgili tıbbi veriler de gerekirse bilimsel amaçla kullanılabilir.

Size ait tüm tıbbi ve kimlik bilgileriniz gizli tutulacaktır ve araştırma yayınlanırsa bile kimlik bilgileriniz verilmeyecektir, ancak araştırmanın izleyicileri, yoklama yapanlar, etik kurullar ve resmi makamlar gerektiğinde tıbbi bilgilerinize ulaşabilir. Siz de istediğinizde kendinize ait tıbbi bilgilere ulaşabilirsiniz.

**Katılımcı**

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

İmza

**Görüşme tanığı**

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

İmza:

**Katılımcı ile görüşen hekim**

Adı soyadı, unvanı:

Adres:

Tel.

İmza

**(Katılımcının/Hastanın Beyanı)****Çalışmaya Katılma Onayı:**

Yukarıda yer alan ve araştırmaya başlanmadan önce gönüllüye verilmesi gereken bilgileri okudum ve sözlü olarak dinledim. Aklıma gelen tüm soruları araştırmacıya sordum, yazılı ve sözlü olarak bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Çalışmaya katılmayı isteyip istemediğime karar vermem için bana yeterli zaman tanındı. Bu koşullar altında, bana ait tıbbi bilgilerin gözden geçirilmesi, transfer edilmesi ve işlenmesi konusunda araştırma yürütücüsüne yetki veriyor ve söz konusu araştırmaya ilişkin bana yapılan katılım davetini hiçbir zorlama ve baskı olmaksızın büyük bir gönüllülük içerisinde kabul ediyorum.

Bu formun imzalı bir kopyası bana verilecektir.

**Katılımcı**

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

İmza

**Görüşme tanığı**

Adı, soyadı:

Adres:

Tel.

İmza:

**Katılımcı ile görüşen hekim**

Adı soyadı, unvanı:

Adres:

Tel.

İmza

**EK 4:** Anket çalışması kapsamında katılımcıların doldurmuş oldukları anket ve sonuçları (3 sayfa)

DEMOGRAFİK BİLGİLER			
Yaş (Yıl)		Tecrübe	
Cinsiyet	<input type="radio"/> Bay <input type="radio"/> Bayan	Şehir	
Çalıştığınız Kurum	<input type="radio"/> Üniversite Hastanesi <input type="radio"/> Eğitim Araştırma Hastanesi <input type="radio"/> Devlet Hastanesi <input type="radio"/> Özel sektör <input type="radio"/> Diğer		

RENKLİ GÖRME TESTİ ANKETİ	
1	<b>Günlük pratiğinizde sıklıkla hangi renkli görme testini kullanıyorsunuz?</b> <input type="radio"/> Ishihara psödoizokromatik kartlar <input type="radio"/> Farnsworth munsell 100 hue test <input type="radio"/> D 15 testi <input type="radio"/> Anomaloskop <input type="radio"/> Diğer (Belirtiniz:.....)

2	<b>Renk körü olan bireylerde uyguladığınız testin size ayrıntılı bilgi (renkli görme bozukluğunun tipi, hangi dalgalaboylarının karıştırıldığı vs. ) verdiğini düşünüyor musunuz?</b> <input type="radio"/> Evet <input type="radio"/> Hayır <input type="radio"/> Kısmen <input type="radio"/> Diğer (Belirtiniz:.....)
---	--

3	<b>Renkli görme test uygulamanızda ortam ışığını dikkate alıyor musunuz?</b> <input type="radio"/> Evet <input type="radio"/> Hayır <input type="radio"/> Kısmen <input type="radio"/> Diğer (Belirtiniz:.....)
---	---

4	<b>Ishihara psödoizokromatik test kartlarının zamanla yıpranarak deforme (renk satürasyonunu ve kontrast kaybı vs.) olduğunu düşünüyor musunuz?</b> <input type="radio"/> Evet <input type="radio"/> Hayır <input type="radio"/> Kısmen <input type="radio"/> Diğer (Belirtiniz:.....)
---	--

5	<b>Sizce renk körlüğü tipini ve karıştırılan dalgalaboylarını ayrıntılı olarak sunabilen standardize edilmiş bir renkli görme testine ihtiyaç var mı?</b> <input type="radio"/> Evet <input type="radio"/> Hayır <input type="radio"/> Kısmen <input type="radio"/> Diğer (Belirtiniz:.....)
---	--

6	<b>Bilgisayar ortamında geliştirilmiş hızlı, kolay uygulanabilir, renk körlüğü tipini ve ilişkili dalgalaboylarını analiz edebilen bir test geliştirilse kullanmak ister misiniz?</b> <input type="radio"/> Evet <input type="radio"/> Hayır <input type="radio"/> Kısmen <input type="radio"/> Diğer (Belirtiniz:.....)
---	--

7	<b>Bilgisayar ortamında hazırlanan bu arayüzün mesleki standardizasyonları (pilot, asker, polis, şoför vb.) sağlamada daha objektif olabileceğini düşünüyor musunuz?</b> <input type="radio"/> Evet <input type="radio"/> Hayır <input type="radio"/> Kısmen <input type="radio"/> Diğer (Belirtiniz:.....)
---	---

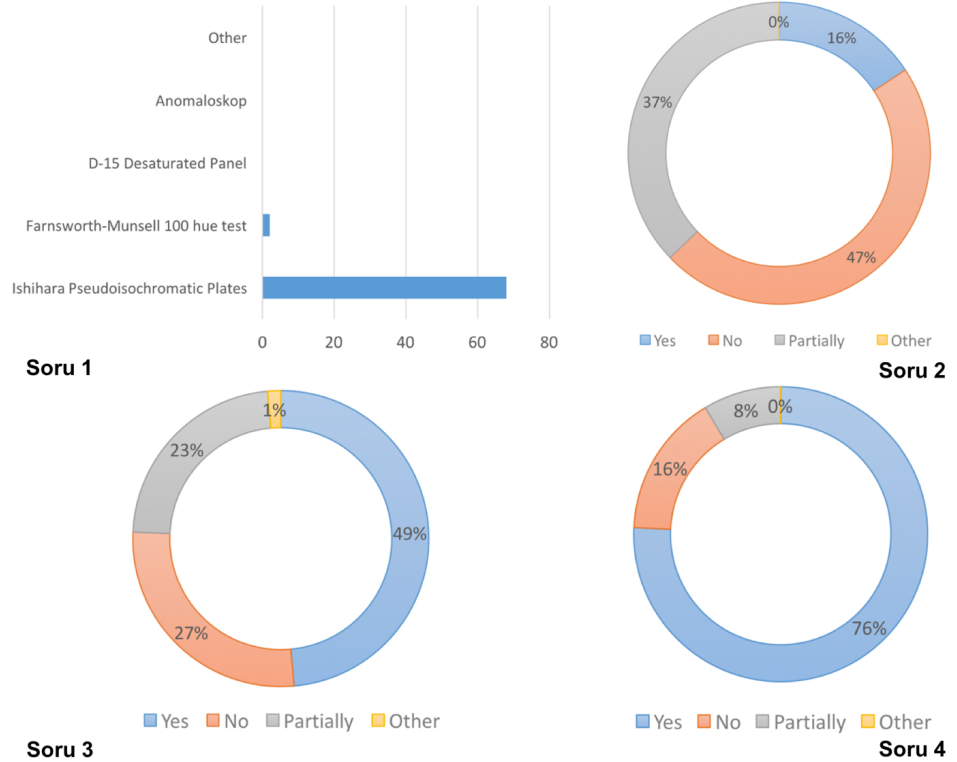
8	<b>Bilgisayar ortamında hazırlanan bu yazılım için en fazla ne kadar bütçe ayırdınız?</b> <input type="radio"/> 1.000 ₺ <input type="radio"/> 2.000 ₺ <input type="radio"/> 5.000 ₺ <input type="radio"/> 10.000 ₺
---	---

Anket katılımcıları ile ilgili bilgi Tablo 1’de sunulmuştur.

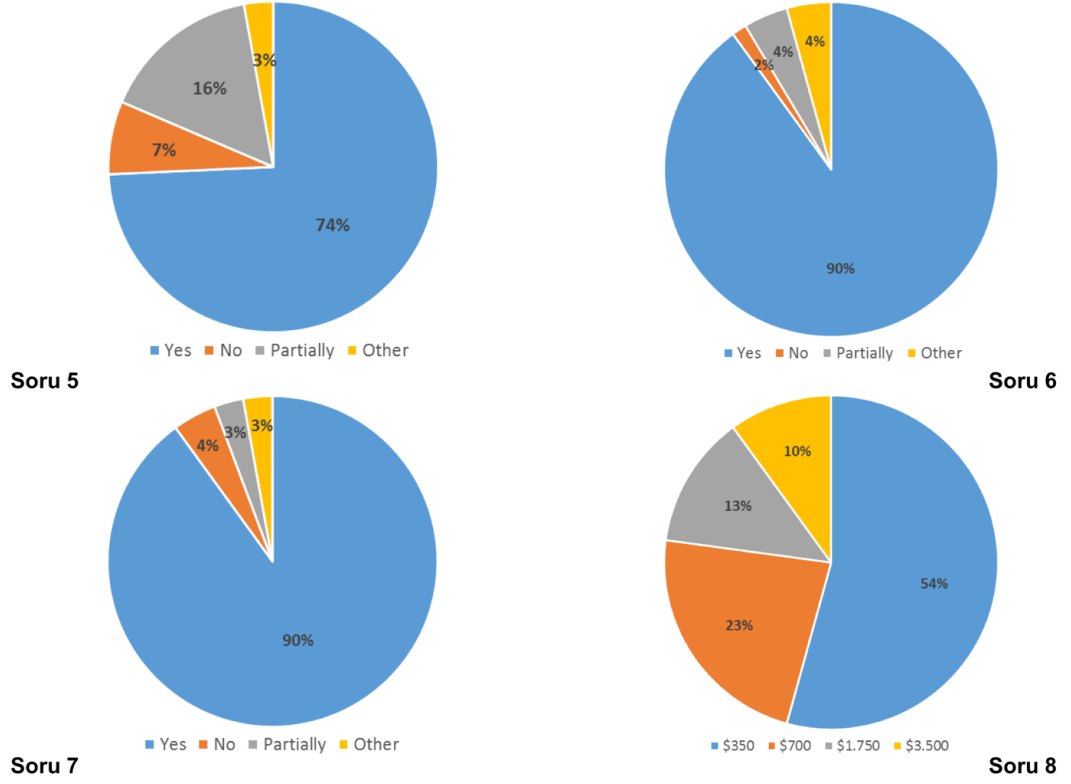
Tablo 1: Anket katılımcı bilgileri

Participants (n=70)		
	n (%)	Description
Age (Years)	33 (47.1)	30 ± 5
	26 (37.1)	40 ± 5
	8 (11.4)	50 ± 5
	3 (4.3)	60 ± 5
Sex	50 (71.4)	Male
	20 (28.6)	Female
Institution	25 (35.7)	Universty Hospital
	26 (37.1)	State Hospital
	12 (17.1)	Traning and Research Hospital
	6 (8.6)	Military Hospital
	1 (1.4)	Private Hospital
Experience (Years)	25 (35.7)	0 - 5 years
	26 (37.1)	6 - 10 years
	7 (10)	11 - 15 years
	12 (17.1)	≥16 years

Anket sonuçları Şekil 1 ve Şekil 2 verilmiştir. (Grafiklerin altlarında hangi anket sorusuna ait oldukları belirtilmiştir.)



Şekil 1: 1,2,3 ve 4 nolu anket sorularına verilen cevapların analizleri



Şekil 2: 5,6,7 ve 8 nolu anket sorularına verilen cevapların analizleri



## ÖZGEÇMİŞ

Murat IŞIK, 24.Ekim.1984'de Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini burada tamamladı. Lisans eğitimini bölüm birincisi olarak Dicle Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde 2006 yılında tamamladı. İki yıl süreyle Bilkent Üniversitesi Cyberpark 'da Otomasyon ve Yazılım işlemleri yapan bir şirkette görev aldı (SYS Sistem Yazılım A.Ş., Ankara). 2009 yılında Ahi Evran Üniversitesi TBMYO 'da öğretim görevlisi olarak başladığı aynı yılda Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Bilgisayar Eğitimi ana bilim dalında yüksek lisansa başladı. 2011 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamasının ardından Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesinde, Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği ana bilim dalında doktora eğitimine başladı. Halen Ahi Evran Üniversitesi TBMYO Mekatronik Programın 'da öğretim görevlisi olarak, görevini başarı ile sürdürmektedir.