

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI



**FARKLI RENK PARAMETRELERİNİN DENTAL
SERAMİKTEKİ ALGILANABİLİRLİK VE KABUL
EDİLEBİLİRLİK DEĞERLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

UZMANLIK TEZİ

MELİKE YALIN

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Kübra DEĞİRMENCİ

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Serkan SARIDAĞ

Bu tez TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 124S385)

BOLU, TEMMUZ 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

Melike YALIN tarafından hazırlanan “**FARKLI RENK PARAMETRELERİNİN DENTAL SERAMİKTEKİ ALGILANABİLİRLİK VE KABUL EDİLEBİLİRLİK DEĞERLERİNİN ARAŞTIRILMASI**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı’nda Uzmanlık Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.
9/07/2025

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Doç. Dr. Kübra DEĞİRMENCİ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Danışman
Prof. Dr. Serkan SARIDAĞ
İstanbul Okan Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. N. Tülin POLAT
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu ve Şablonuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir
- aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

Bu çalışma için Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan 2023/450 karar numarası ile etik izin alınmıştır.

.....
MELİKE YALIN

ÖZET

**FARKLI RENK PARAMETRELERİNİN DENTAL SERAMİKTEKİ
ALGILANABİLİRLİK VE KABUL EDİLEBİLİRLİK DEĞERLERİNİN
ARAŞTIRILMASI
DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ
MELİKE YALIN
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANA BİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. KÜBRA DEĞİRMENCİ)
(İKİNCİ DANIŞMAN: PROF. DR. SERKAN SARIDAĞ)
BOLU, TEMMUZ - 2025**

Günümüzde artan estetik algısı ile birlikte yapılan protetik tedavilerin komşu doğal dişler veya var olan protetik restorasyonla arasındaki renk farklılığının doğal bir uyum içinde olmasına önem verilmektedir. Doğal diş yapıları ile uyumlu bir şekilde protetik restorasyon uygulanabilmesi için algılanabilme ve kabul edilebilme değerlerinin bilinmesi önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, farklı renk farkı formülleri ve renk ölçüm sistemleri kullanarak dental seramik üzerindeki algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik değerlerinin araştırılmasıdır.

Bu araştırmada porselenden disk şeklinde 15 adet örnek elde edildikten sonra 105 adet olacak şekilde örnekler arasında eşleştirmeler yapılmıştır. Örneklerin renk ölçümleri spektrofotometre ve akıllı telefon kamerası ile çekilen fotoğraflar üzerinden bilgisayarlı görü teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aradaki renk farklılıklarının hesaplanmasında 3 renk farkı formülü (ΔE_{AB} , ΔE_{00} ve ΔE_{NS}) kullanılmıştır. Görsel değerlendirmelerin ardından istatistiksel analizler ile veriler elde edilmiştir.

Çalışmanın bulgularına göre farklı renk ölçüm yöntemleri ve farklı renk farkı formülleri kullanıldığında elde edilen eşik değerler arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Eşik değerler arasında cinsiyet faktörü açısından anlamlı bir fark bulunmazken, meslek grupları açısından anlamlı farklılıklar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Protez uzmanı ve teknisyen grubu diğer gruplara göre daha düşük eşik değerler göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Algılanabilirlik, Kabul edilebilirlik, Eşik değer, Renk farkı formülleri, Renk ölçümü

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PERCEPTIBILITY AND ACCEPTABILITY OF DIFFERENT COLOR PARAMETERS IN DENTAL CERAMICS SPECIALTY THESIS IN DENTISTRY

MELİKE YALIN

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

FAKULTY OF DENTISTRY

DEPARTMENT OF PROSTHODONTICS

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. KÜBRA DEĞİRMENCİ)

(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. SERKAN SARIDAĞ)

BOLU, JULY 2025

Nowadays, with the increasing perception of aesthetics, it is important to ensure that the color difference between the prosthetic treatments performed and the adjacent natural teeth or the existing prosthetic restoration is in natural harmony. It is important to know the perceptibility and acceptability values in order to apply prosthetic restorations in harmony with natural tooth structures. The aim of this thesis is to investigate the perceptibility and acceptability values on dental ceramics using different color difference formulas and color measurement systems.

In this study, 15 samples in the form of a porcelain disk were obtained and then matches were made between the samples to be 105. The color measurements of the samples were carried out using computer vision techniques on photographs taken with a spectrophotometer and a smartphone camera. 3 color difference formulas (ΔEAB , $\Delta E00$ and ΔENS) were used to calculate the color differences. After visual evaluations, data were obtained with statistical analyzes.

According to the findings of the study, it was observed that there were differences between the threshold values obtained when different color measurement methods and different color difference formulas were used. While there was no significant difference between the threshold values in terms of gender factor, it was concluded that there were significant differences in terms of occupational groups. The prosthesis specialist and technician group showed lower threshold values than the other groups.

KEYWORDS: Perceptibility, Acceptability, Threshold, Color difference formulas, Color measurement

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ	ix
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1 Renk Kavramı	5
2.2 Renk Seçimi.....	6
2.2.1 Görsel renk seçimi	7
2.2.1.1.Renk Görme Kusurları	8
2.2.1.2.Renk Skalaları	8
2.2.2 Aletli renk seçimi	10
2.2.2.1.Kolorimetre	11
2.2.2.2.Spektrofotometre	12
2.2.2.3.Spektroradyometre	14
2.2.2.4. Ağız içi Tarayıcılar	14
2.2.2.5.Dental Fotoğrafçılık	15
2.2.2.6.Dijital Kameralar ve Görüntüleme Cihazları	16
2.2.2.7. Dijital Renk Analizi	17
2.2.2.8. Bilgisayarlı Görü ve Görüntü İşleme Yöntemleri ile Renk Analizi	18
2.3 Renk Seçimini Etkileyen Unsurlar	21
2.3.1 Işık kaynağı	22
2.3.2 Cisim.....	23
2.3.3 Gözlemci.....	23
2.3.4 Çevresel koşullar	24
2.4 Renk seçiminde genel prensipler	24
2.5 Renk sistemleri	26
2.5.1 Munsell Renk Sistemi.....	27
2.5.1.1.Ana renk (Hue).....	28
2.5.1.2.Parlaklık (Value)	28
2.5.1.3.Yoğunluk (Chroma)	29
2.5.2 CIELAB Renk Sistemi	30

2.5.2.1. L* Parametresi	32
2.5.2.2. a* Parametresi	32
2.5.2.3. b* Parametresi	32
2.6 Renk Farkı formülleri	33
2.6.1 CIELAB Renk Farkı Formülü (ΔE_{AB})	33
2.6.2 CIE94 Renk Farkı Formülü (ΔE_{94})	35
2.6.3 CMC (l :c) Renk Farkı Formülü (ΔE_{CMC})	35
2.6.4 CIEDE2000 Renk Farkı Formülü (ΔE_{00})	36
2.6.5 ΔENS Renk Farkı Formülü	38
2.7 Diş Hekimliğinde Algılanabilirlik ve Kabul Edilebilirlik Kavramları	39
2.7.1 Algılanabilirlik	39
2.7.2 Kabul edilebilirlik	40
2.7.3 Algılanabilirlik ve Kabul Edilebilirlik Eşik Değer Eldesi ve Önemi ..	41
3. GEREÇ VE YÖNTEM	44
3.1 Çalışmanın Tasarımı	46
3.2 Porselen Örneklerin Hazırlanması	46
3.3 Örneklerin Yüzey İşlemlerinin Yapılması	50
3.4 Spektrofotometre ile Örneklerin İlk Renk Ölçümlerinin Yapılması	52
3.5 Işık Kabininin Tasarlanması ve Üretimi	54
3.6 Örneklerin Dijital Kamera Kullanılarak Fotoğraflarının Çekilmesi	56
3.7 Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT) Kullanılarak Seramik Yüzeylerde İkinci Renk Ölçümlerinin Yapılması	57
3.8 Örneklerin Eşleştirilmesi ve Renk Farklarının Hesaplanması	60
3.9 Katılımcıların Görsel Değerlendirmeleri ve Verilerin Kaydedilmesi	61
3.10 İstatistiksel Analiz	64
4. BULGULAR	66
4.1 Spektrofotometre Sonuçları	68
4.2 Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT) Sonuçları	71
4.3 Cinsiyet Faktörüne Göre Algılanabilirlik ve Kabul Edilebilirlik Eşik Değerleri	75
4.3.1 Algılanabilirlik Eşik Değerleri	75
4.3.2 Kabul Edilebilirlik Eşik Değerleri	76
4.4 Meslek Faktörüne Göre Algılanabilirlik ve Kabul Edilebilirlik Eşik Değerleri ..	78
4.4.1 Algılanabilirlik Eşik Değerleri	78
4.4.2 Kabul Edilebilirlik Eşik Değerleri	79
5. TARTIŞMA	82
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	115
KAYNAKLAR	117
EKLER	129

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Vita Toothguide 3D-Master renk skalası.....	9
Şekil 2.2. Vita Easyshade V spektrofotometresi.....	13
Şekil 2.3. Munsell renk ağacı (Sengez & Dörter, 2019).....	27
Şekil 2.4. CIELAB renk sistemi (Tung vd., 2002)	31
Şekil 3.1. Kullanılan porselen markaları	47
Şekil 3.2. Seramik örnekleri pişirmede kullanılan fırın makinesi	48
Şekil 3.3. Pişirme işleminde kullanılan program ayarları.....	48
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılmayan birkaç porselen örnek	49
Şekil 3.5. Porselen aşındırma frezleri	50
Şekil 3.6. Örneklerin boyut ölçümünde kullanılan dijital kumpas	50
Şekil 3.7. Yüzey işlemlerinde kullanılan zımpara kağıtları	51
Şekil 3.8. Örnek çapının dijital kumpasla ölçümü	51
Şekil 3.9. Örnek kalınlığının dijital kumpasla ölçümü	52
Şekil 3.10. Kullanılan spektrofotometre	52
Şekil 3.11. Spektrofotometre ile renk ölçümü sırasında kullanılan kutu.....	53
Şekil 3.12. Seramik örneklerin gri kutuya yerleştirilmesi	54
Şekil 3.13. Örneklerin spektrofotometre ile renk ölçümleri	54
Şekil 3.14. Tasarlanan ışık kabini temsili çizimi (sağdan)	55
Şekil 3.15. Üretilen ışık kabini	56
Şekil 3.16. Fotoğraf çekiminde kullanılan düzenek.....	57
Şekil 3.17. Çekilen örneklerin birkaç görseli.....	57
Şekil 3.18. Hough Circles algoritmasının çalışma prensibi.....	58
Şekil 3.19. Örnekleme stratejisi	58
Şekil 3.20. Seçilen 15 örneğin toplu fotoğrafı	60
Şekil 3.21. İkili seramik örnek fotoğrafı.....	60
Şekil 3.22. Görsel değerlendirmeler için işaretleme kağıdı.....	61
Şekil 3.23. Gözlem yapan bir katılımcı	63
Şekil 3.24. Eşleşen bir seramik çifti görseli.....	64

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Tez çalışmasında kullanılan malzeme listesi	45
Tablo 3.2. Tez çalışmasında kullanılan cihaz listesi	45
Tablo 4.1. ΔE_{00} , ΔE_{AB} , ΔE_{NS} , ΔL , Δa ve Δb formüllerin tanımlayıcı istatistikleri	66
Tablo 4.2. Spektrofotometre ve BGT ölçümlerinin 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşiği (AT) ile 95% güven aralıkları.....	67
Tablo 4.3. Spektrofotometre ile renk ölçüm değerlerine göre 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşikleri.....	68
Tablo 4.4. Spektrofotometre ölçümlerine göre ΔE_{00} için hesaplanan eşik değerler	68
Tablo 4.5. Spektrofotometre ölçümlerine göre ΔE_{AB} için hesaplanan eşik değerler.....	69
Tablo 4.6. Spektrofotometre ölçümlerine göre ΔE_{NS} için hesaplanan eşik değerler.....	69
Tablo 4.7. Spektrofotometre ölçümlerine göre ΔL için hesaplanan eşik değerler.....	70
Tablo 4.8. Spektrofotometre ölçümlerine göre Δa için hesaplanan eşik değerler.....	70
Tablo 4.9. Spektrofotometre ölçümlerine göre Δb için hesaplanan eşik değerler.....	71
Tablo 4.10. Bilgisayarlı görü teknikleri ile renk ölçümü değerlerine göre 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşikleri.....	71
Tablo 4.11. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre ΔE_{00} için hesaplanan eşik değerler.....	72
Tablo 4.12. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre E_{AB} için hesaplanan eşik değerler.....	73
Tablo 4.13. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre ΔE_{NS} için hesaplanan eşik değerler.....	73
Tablo 4.14. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre ΔL için hesaplanan eşik değerler.....	74
Tablo 4.15. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre Δa için hesaplanan eşik değerler.....	74
Tablo 4.16. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre Δb için hesaplanan eşik değerler	75
Tablo 4.17. Cinsiyetlere göre %50:50 algılanabilirlik eşik değerleri.....	75
Tablo 4.18. Cinsiyetlere göre %50:50 kabul edilebilirlik eşik değerleri.....	76
Tablo 4.19. A: Kadın ve erkek arasındaki ortalama kabul edilebilirlik düzeylerinin karşılaştırması. B: Kadın ve erkek arasındaki ortalama algılanabilirlik düzeylerinin karşılaştırması. (Hata çubukları ortalamanın %95 güven aralığını temsil eder. p değerleri bağımlı gruplar için t-testi ile hesaplanmıştır.)	77
Tablo 4.20. Mesleklere göre %50:50 algılanabilirlik eşik değerleri	78
Tablo 4.21. Mesleklere göre %50:50 kabul edilebilirlik eşik değerleri	79
Tablo 4.22. A: Meslek grupları arasındaki ortalama kabul edilebilirlik düzeylerinin karşılaştırması. B: Meslek grupları arasındaki ortalama algılanabilirlik düzeylerinin karşılaştırması. (p-değeri, tek yönlü tekrarlı ölçümler ANOVA testine göre hesaplanmıştır. Hata çubukları ortalamanın %95	

güven aralığını temsil eder. Barların üstündeki kalın harfler, aynı baş harfleri verilen meslek grubuna göre istatistiksel anlamlılık olmadığını gösterir.)81



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

ΔE	: Renk farkı değeri
ΔE_{00}	: CIEDE2000 renk farkı formülü
ΔE_{AB}	: CIELAB renk farkı formülü
ΔE_{NS}	: NS görüntüleme koşulu renk farkı formülü
AT	: Acceptability
BGT	: Bilgisayarlı Görü Teknikleri
CIE	: Commission Internationale de l'Éclairage
CMY	: Cyan, Magenta, Yellow
CMYK	: Cyan, Magenta, Yellow, Black
Cm	: Santimetre
CRI	: Color Rendering Index
DSLR	: Digital Single-Lens Reflex
GA	: Güven aralığı
HSV	: Hue, Saturation, Value
ISO	: International Organization for Standardization
K	: Kelvin
LED	: Light Emitting Diode
Max	: Maksimum
Min	: Minimum
Mm	: Milimetre
N	: Newton
Nm	: Nanometre
PT	: Perceptability
RGB	: Red, Green, Blue
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince mesleki ve mesleki olmayan konularda deneyim ve bilgilerini benimle paylaşarak yolumu aydınlatan değerli tez danışmanlarım Sayın Doç. Dr. Kübra DEĞİRMENCİ ve Sayın Prof. Dr. Serkan SARIDAĞ'a,

Uzmanlık eğitimi süresince teorik ve pratik olarak bilgi ve tecrübelerini bizlerle paylaşarak eğitimimize katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Nilüfer Tülin POLAT, Sayın Doç. Dr. Hamiyet KILINÇ, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Büşra TOSUN, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Emel ARSLAN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hatice SEVMEZ'e,

Bu tez çalışmasını 124S385 proje numarası ile destekleyip moral ve motivasyonuma katkı sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK),

Asistanlık sürecimin başlangıcından beri tüm bilgi ve deneyimlerini esirgmeden benimle paylaşan kıdemlim Uzm. Dt. İsmail Furkan GÜNEY'e,

Güzellikleri olduğu kadar zorluklarla da dolu olan bu asistanlık sürecinde birlikte çabaladığımız ve her daim desteğini hissettiğim eş kıdemlim Arş. Gör. Berkay YILDIRIM'a,

Buradaki ailem olarak gördüğüm ve keyifli bir çalışma ortamı sağlayan tüm BAİBÜ Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı asistanları ve personeline,

Tez çalışmam için değerli vakitlerini ayıran tüm katılımcılara,

Yolculuğum sırasında sevindiğim ve üzüldüğüm zamanlarda yanımda olan tüm arkadaşlarıma ve aileme,

Hayatım boyunca her daim yanımda olan, hiçbir karşılık beklemeden beni her zaman seven, emeklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemin en büyük destekçileri olan sevgili annem Dilek YALIN, sevgili babam Ali YALIN ve biricik kardeşim Asude YALIN'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Diş hekimliği tedavilerinde oral fonksiyonların rehabilitasyonu kadar estetik özellikler de önem taşımaktadır. Günümüzde gittikçe artan estetik algısı kavramı restorasyonun şeklini, görünümünü ve doğal diş rengi ile olan uyumunu da içermektedir. Bir restorasyonun estetiği birçok faktöre bağlıdır ve başarılı bir sonuç için renk seçimi faktörü öne çıkmaktadır (Hirata vd., 2022). Yapılan restorasyonun hastanın yüzüyle ve doğal dişleriyle uyumlu ve kabul edilebilir bir renge sahip olmasına önem verilmektedir. Bireyin beklentisini karşılayacak şekilde restorasyon yapabilmek için diş rengini doğru tanımlayabilmek, ışığın yapısını, gözün ışığı nasıl algıladığını ve beynin renk olarak nasıl yorumladığını anlamak gerekmektedir (Kahramanoğlu & Kulak Özkan, 2013).

Renk kavramı, bir cismin ışık enerjisiyle fiziksel etkileşimi sonucunda kişinin gözlemine bağlı olarak algılanan psikofiziksel bir cevaptır (Paravina & Powers, 2004). İnsan gözü, retina üzerine gelen ışığın algılanması sonucu renkleri görür ancak retina renk skalasındaki farklı renklere farklı derecede hassasiyet gösterir. İnsanın renk algısı kısaca üç unsurun etkileşiminden kaynaklanır: Işık kaynağı, nesne ve gözlemci. Bu unsurlardaki herhangi bir farklılık nihai renk algısını etkileyecektir. Diğer bir ifadeyle, renk algısı sadece nesnenin özelliğinden kaynaklı bir durum değildir. Gözlemci farklılığı, farklı ışık kaynakları, cismin büyüklüğü, arka fon, yönsel değişiklikler gibi etmenler sonucunda rengin algılanması değişebilir (Keyf vd., 2009).

Bir diş planlanan restorasyon ile komşu doğal dişler arasındaki renk uyumunun sağlanabilmesi için renk farkının büyüklüğü dikkate alınmalıdır. Uygun rengin seçilmemesi kişi için estetik bir soruna, diş hekimi ve teknisyen için vakit kaybına ve tedavide başarısızlığa neden olabilir.

Günümüzde estetik beklentinin giderek arttığı dikkate alındığında renk algısının öneminin arttığı görülmektedir. Bu bulguyu doğrulayan bir araştırmada yetişkin topluluğu içerisinde yaklaşık 8 kişiden birinin (%12.1) dişlerinin görüntüsünden, 5 kişiden birinin ise (%17.9-21.3) dişlerinin renginden memnun olmadığı belirtilmiştir (Alkhatib vd., 2005). Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yapılan bir çalışmada (Odioso vd., 2000) yetişkinlerin %34'ünün, Çin'de yapılan araştırmada ise (Xiao vd., 2007) katılımcıların yarısının (%52.6) diş renginden

memnun olmadığı görülmüştür. Son yıllarda toplumlarda, bireysel ağız ve diş bakımının önemine ait farkındalığın oluşmasına paralel olarak dental tedaviler ile ilgili ileri estetik beklentilerin arttığı belirtilmektedir (Ahmed vd., 2022). Dolayısıyla, restorasyonların hazırlanmasında uygun renk seçimi ağızdaki doğal dişlerin renkleri ve kişinin beklentisi dikkate alınarak yapılmalıdır.

Diş hekimliği alanında, tedavi prosedürlerinin ilk aşaması olan renk seçimi hekim tarafından doğru bir şekilde gerçekleştirilmelidir (Hatırlı vd., 2021) . Renk seçim yöntemleri görsel ve aletsel olarak ikiye ayrılmaktadır. Gözle yapılan renk karşılaştırmaları bireyler arası renk algılamadaki farklılıklardan dolayı tutarsız ve güvenilirliği az bulunduğu için aletli renk analizleri daha çok tercih edilmektedir (Lehmann vd., 2011). Aletli renk ölçümlerinde en çok kullanılan cihazlar spektrofotometreler, kolorimetreler ve spektoradyometrelerdir. Ayrıca temassız renk ölçüm yöntemleri olarak dijital görüntü analiz teknikleri de kullanılmaktadır (Joiner & Luo, 2017). Spektrofotometreler renk karşılaştırması ve değerlendirmesinde en doğru ve faydalı araçlar olarak kabul edilmektedir (S. Paul vd., 2002). Dijital görüntü analizi tekniklerinde ise dijital fotoğrafçılıkta renk eşleştirme sürecini otomatik olarak gerçekleştirmek için bir bilgisayar görü sistemi kullanılabilir (Beneducci vd., 2023). Diş hekimliği alanında bilgisayarlı görü, klasik görüntü işlemeye göre farklı matematiksel yaklaşımlar ve derin öğrenme teknikleri kullanımı gerektirmesi ile farklılık göstermektedir (Priya vd., 2024).

Diş restorasyonlarının renklerini eşleştirirken, bir farkı doğru tanıyabilmek ve herhangi bir farkın kabul edilebilir düzeyde olup olmadığını belirlemek renk seçiminin esas hedefleridir (Rashid vd., 2023). Bu doğrultuda geliştirilen farklı renk seçim yöntemleri ve renk seçim cihazları (Kim-Pusateri vd., 2009; Naffah vd., 2024), renk parametreleri ve renk farkı formülleri (Tejada-Casado vd., 2024) ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Renk farkının algılanabilme ve bu farkın kabul edilebilmesine dair bulgular, yapılan çeşitli renk çalışmalarında değerlendirme yapılabilmesini sağlaması nedeni ile önemli etkiye sahiptir.

Bu bilgiler doğrultusunda, bu tez çalışmasında farklı ölçüm yöntemleri ile belirlenen ve çeşitli renk formülleri ile hesaplanan renk farklılıklarının Türk popülasyonunda algılanabilirlik ile kabul edilebilirlik değerlerini belirleyerek eşik değerler elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Araştırma soruları şu şekildedir:

1-Türk popülasyonunda ΔE_{AB} , ΔE_{00} ve ΔE_{NS} formülleri ve ΔL , Δa ve Δb için bulunan algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri kaçtır? Bu değerler formüller bakımından farklılık gösteriyor mu?

2-Meslek grupları arasında algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri açısından fark var mıdır?

3-Cinsiyetler arasında algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri açısından fark var mıdır?

4-Renk ölçümünde kullanılan cihazlar ile ölçülen objektif değerler ile gözlemcilerden elde edilen subjektif ölçümler arasında farklılık bulunuyor mu?

Bu araştırmada kurulan hipotezler aşağıdaki gibidir:

H0(1): Renk formülleri ve parametreleri açısından algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık yoktur.

H1(1): Renk formülleri ve parametreleri açısından algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık vardır.

H0(2): Meslek grupları açısından renk formüllerinin algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık yoktur.

H1(2): Meslek grupları açısından renk formüllerinin algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık vardır.

H0(3): Cinsiyet grupları açısından renk formüllerinin algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık yoktur.

H1(3): Cinsiyet grupları açısından renk formüllerinin algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık vardır.

H0(4): Spektrofotometre ve dijital kamera ile çekilen fotoğraflar üzerinden yapılan bilgisayarlı görü tekniği ölçümü ile elde edilen verilerle hesaplanan

algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık yoktur.

HI(4): Spektrofotometre ve dijital kamera ile çekilen fotoğraflar üzerinden yapılan bilgisayarlı görü tekniği ölçümü ile elde edilen verilerle hesaplanan algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık vardır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1 Renk Kavramı

Işık, dalga boyu ile ifade edilen görünür bir elektromanyetik enerjidir. Değişik dalga boylarındaki ışığın gözün retinasına ulaşması ile gerçekleşen algılama ise renk kavramı ile tanımlanır. Işığın maddelere çarptıktan sonra bir kısmının soğrulup bir kısmının yansması nedeniyle algılamada oluşan çeşitlilik ise renk tonudur (Strenk vd., 2005). Rengin oluşması için bir uyarıcı (cismin üzerine düşen ışık), bu uyarıcıyı alan ve değerlendiren bir yapı (göz ve beyin) gerekmektedir. Işık bir uyarıcı olarak cismin üzerine düşer, yansıyarak göze gider ve göz de bu uyarıyı beyindeki görme merkezine yollamaktadır (Şen vd., 1996). İnsan gözü, retina üzerine gelen ışığı algılayarak renkleri görünür hale getirir. Görme olayını yakından inceleyecek olursak cisimden yansıyarak göze gelen uygun dalga boylarındaki ışık ışınları, öncelikle gözün mercek sistemi tarafından görme reseptörlerinin yoğun olarak bulunduğu gözün retina kısmına odaklanır. Işığı algılamak için retinada iki tip hücre bulunur. Bunlar konik hücreler ve çubuk (basil) hücreleridir. Çubuk şeklinde olan hücreler, düşük aydınlatma altında görmeden, gece görüşü, karanlık ve aydınlığa adaptasyondan sorumlu iken; koni şeklinde olup yüksek aydınlatmada görmeden, görme keskinliğinden ve renkli görmeden sorumlu olan hücreler ise konik hücreleridir. İki tip hücre arasından rengin algılanmasında sorumlu olan esas hücre konik hücrelerdir. Konik hücreler de kendi içerisinde üç farklı tipte bulunur ve her biri kırmızı, mavi ve yeşil olmak üzere farklı rengin algılanmasında görev alır. Bu hücreler aldıkları bilgiyi göz sinirleri yoluyla beyindeki görme merkezine iletirler. Görme merkezi tarafından yorumlanan cismin rengi algılanmış ve görme olayı tamamlanmış olur (Joiner, 2004). Cisimden gelen görülebilir dalga boyundaki bir ışık bu üç koni hücrelerini farklı oranlarda uyardığında çeşitli renk tonlarının algılanması sağlanır (Chu vd., 2004). Retina renk skalasındaki bütün renklere aynı oranda hassas değildir. İnsan gözü, renk spektrumunun orta bölgesindeki 380-700 nanometre dalga boyundaki renklere daha fazla hassasiyet gösterir ve en hassas olduğu renk ise 550-570 nanometre dalga boyundaki sarımsı yeşil olarak belirtilmektedir (Phillips, 1991). Ayrıca farklı yorumlamalar sonucu renk farklılıklarını algılayabilme yeteneği kişiden kişiye değişebilmektedir (Fondriest, 2003).

Renk kavramı; kişisel gözleme bağlı, bir cismin ışık enerjisiyle fiziksel etkileşimi sonucu algılanan psikofiziksel bir cevap olduğu için gözlemci farkları, ışık kaynağı farkları, cismin büyüklüğündeki farklar ve arka fon farklılıkları renk kavramı üzerinde etkilidir. Rengi etkileyen faktörler kısaca ışık kaynağı, nesne ve gözlemcidir (Keyf vd., 2009). Işık kaynağı, nesneyi aydınlatan elektromanyetik radyasyonun görünür bir şeklidir. Diş hekimliği alanında ifade edecek olursak ışık nesneye (dişe) çarptığında farklı sonuçlarla karşılaşılabilir; ışığın bir kısmı emilir, iletilir veya yansıtılır. İnsan görme sisteminin ışık ve nesne üzerindeki bu sonuçları birleştirme ve yorumlama konusundaki kişiye özgü farklılıkları renk algısını etkileyebilir (Ontiveros & Paravina, 2019).

2.2 Renk Seçimi

Diş hekimliğinde renk seçimi, farklı restorasyon materyalleri ile tedavi sunmayı amaçlayan protetik ve restoratif diş tedavisi bölümleri için tedavinin oldukça önemli bir bölümüdür. Protetik restorasyonlar için renk seçimi süreci; rengin belirlenmesi, dental laboratuvar ile ilişkinin kurulup rengin teyit edilmesi ve restorasyon ile diş arasında renk uyumunun yakalanması aşamalarını içermektedir. Bu nedenle diş hekimliği alanında renk seçimi, protetik tedavi aşamalarının birinci basamağı olarak kabul edilmektedir (Hatırlı vd., 2021).

Renk seçimi için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar görsel ve aletsel renk analizi yöntemleridir (Hasegawa vd., 2000). Renk seçiminde kullanılan bu yöntemler elzemdir ve renklerin eşiklerinin değerlendirilmesi, görsel değerlendirmeler arasındaki farklılıkların ve benzerliklerinin karşılaştırılması, renklerin uyumluluğu ve stabilliği, diş beyazlatma çalışmaları ve gerçek dişler ile yapay diş malzemelerinin renk etkileşimlerinin değerlendirilmesi gibi farklı çalışmalarda artarak daha fazla kullanılmaktadır (Chu vd., 2010). Bu yöntemler gün geçtikçe geliştirilmekte ve daha doğru renk tespiti yöntemleri bulabilmek adına çalışmalar devam etmektedir.

Teknik Rapor ISO/TR 28642, renk farklılıklarını değerlendirmek için görsel ve enstrümantal yöntemleri ayrıntılı olarak açıklar ve sonuçların renk farkı eşiklerine göre yorumlanmasını önermektedir (International Organization for Standardization, 2016).

2.2.1 Görsel renk seçimi

Diş rengini klinik olarak değerlendirilmesinde kullanılan en eski ve en yaygın yöntem görsel renk seçimidir (Brook vd., 2007). Göz yardımıyla gerçekleştirilen bu yöntem pratik olduğu kadar çevresel ve gözlemleyiciye bağlı koşullara göre etkilenebileceğinden dolayı tutarsız ve subjektif bir yöntem olarak görülmektedir (Chen vd., 2012).

Diş hekimliği alanında görsel renk analizi, yapılacak restorasyonun renginin hazır bulunan renk standartları ile karşılaştırılması dikkate alınarak yapılır. Sıklıkla karşılaştırma yapabilmek için renk skalaları kullanılır.

Görsel renk analizinin birtakım dezavantajları vardır:

- Renk tespiti sadece karşılaştırmalı olarak yapılabilmektedir, nicel değer belirtmez.
- Renk ölçümlerinin bulguları ve sonuçları klinisyenler arasında farklı olabileceği gibi, aynı kişide farklı zamanlarda da farklılık gösterebilmektedir (Hammad, 2003).
- Renk skalalarındaki var olan renkler sınırlı sayıda ve yetersizdir. Ayrıca aynı üreticinin yaptığı renk skalaları bile farklı olabilmektedir (Tung vd., 2002).
- Gözlemcinin uyarana verdiği psikolojik ve fizyolojik cevaplara bağlı olarak değişebilir. Işık, yaş, cinsiyet, göz yorgunluğu ve renk görme eksiklikleri gibi faktörler de renk seçimini etkilemesinden dolayı görsel renk seçimi tutarsız bir yöntem olarak görülmektedir (Joiner & Luo, 2017).
- Gözle yapılan renk karşılaştırmaları çevresel ve bireysel faktörlerden etkilendiği için renk algılamadaki farklılıklar sonucu seçilen renklerde tutarsızlık olmakta, belirli bir standardizasyon sağlanamamaktadır. Tutarsızlıklar yorgunluk, yaşlanma, duygular, göz, obje ve aydınlatma pozisyonu, metamerizm ve dişin yüzey yapısı gibi faktörlere bağlı olabilir (Lehmann vd., 2011). Farklı ışık altında cismin renginin farklı görünmesine metamerizm denilmektedir (Joiner & Luo, 2017).

2.2.1.1.Renk Görme Kusurları

Görme bozuklukları doğuştan gelen fizyolojik bir problem ya da sonradan gelişebilen bir sorundur. Genel olarak görmeyi etkileyebildiği gibi sadece renklere dair görüşü etkileyen görme bozuklukları da olabilir. Renk görme eksikliği veya kusurları rengin algılanmasını etkileyebilmektedir (Vafae vd., 2012). Renk görme sorunları olan diş hekimleri, diş tedavilerinde kullanılacak materyallerin renk seçimin uygun rengi bulma konusunda daha belirgin hatalar yapabilmektedir (Vafae vd., 2012).

Yapılan eski bir çalışmaya göre, toplumdaki erkeklerin yaklaşık %8'inde ve kadınların %0.5'inde renk görme eksikliği olduğu tespit edilmiştir (Saleski, 1972). Diş hekimleri arasında renk görme eksikliklerinin araştırılmasının hedeflendiği farklı bir çalışmada, erkek diş hekimlerinin %9.3'ünde renk görme kusuru tespit edilmesine rağmen kadın diş hekimlerinin hiçbirinde renk görme kusuru görülmemiştir (Wasson & Schuman, 1992). Başka bir çalışmada ise 198 diş hekimi araştırmaya katılmış ve %3.5'inde renk körlüğü olduğu, bunların cinsiyet dağılımlarında %9.3'ünün erkek, %1.4'ünün kadın olduğu bildirilmiştir (Ngente vd., 2021).

Renk görme kusurları farklı ırklar arasında da değişebilmektedir. Bir meta-analiz araştırması, Avrupalı Kafkasyalı erkeklerin yaklaşık %8'inin ve kadınların %0.4'ünün, Çin ve Japon etnik kökenli erkeklerin ise %4-6.5'inin renk görme eksikliği olduğunu belirtmiştir (Birch, 2012).

Yukarıda bahsedilen çalışmalara bakıldığında popülasyonun bir kesiminde renk görme kusurlarının olduğu görülmektedir. Renk görme bozukluklarına sahip diş hekimlerinin de olduğu düşünüldüğünde dental restorasyonun renk tespiti işleminde yardımcı olabilmesi adına hassas ve doğru renk ölçüm cihazlarının geliştirilmesi ihtiyacı duyulmaktadır.

2.2.1.2.Renk Skalaları

Görsel renk seçimi diş renginin klinik olarak değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir ve bu yöntemde renkleri karşılaştırıp seçim yapabilmek için renk kılavuzları/skalaları kullanılmaktadır (Tam & Lee, 2012).

Üretilen ilk sistematik renk skalası Clark tarafından geliştirilmiştir. ‘Tooth Color Indicator’ adını verdiği renk skalası 60 seramik örnek içermektedir. Bu ürün ile birlikte farklı renk skalaları geliştirilmeye başlanmıştır (Paravina, 2009). Sektördeki esas öne çıkan renk skalası 1950’lerin ortalarında satışa çıkarılan ‘Vitapan Classical’ (VC, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) olmuştur. 1990’lı yılların sonunda aynı firma tarafından ‘Toothguide 3D-Master (TG, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)’ geliştirilmiştir. Son olarak firma ‘VITA Linear Guide 3D Master’ (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Almanya) renk skalasını da kullanıma sunmuştur (Paravina, 2009).



Şekil 2.1. Vita Toothguide 3D-Master renk skalası

Vita Klasik (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Almanya), Vitapan 3D-Master (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Almanya), Chromascop (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Lihtenştayn) diş hekimliğinde en çok kullanılan renk skalalarıdır. Diş renginin üç boyutlu yapısını sunan 3D-Master; klasik skalalarda olduğu gibi rastgele değil, sistematik ve mantıksal olarak düzenlenmiştir. Sekmeler, artan bir value ile (1, 2, 3, 4 ve 5) numaralandırılmış beş kategoriye ayrılır ve aynı value grubunda bulunan sekmelerin parlaklık değerleri aynıdır. Chroma değerleri ise yukarıdan aşağıya doğru artacak şekildedir. 1 ve 5 hariç tüm value sekmelerinde, değişen hue değerine karşılık gelen üç harf (L, M ve R) bulunmaktadır. Value değerine göre dizilen bu sistem, renk seçiminde algılamayı kolaylaştırmaktadır. Bu

nedenle seçim yapılırken ilk olarak value değerlendirilmelidir (Johnston, 2009). Bundan farklı olarak daha önceki üretim olan Vitapan Classical (Vita Lumin Vacuum) kullanılırken ise ilk önce hue, daha sonra chroma, en son value eşleştirilmesi yapılmalıdır (Turgut & Bağış, 2012).

Farklı renk skalaları kullanıldığında renk algılanabilirliği değişebilmekte ve renk eşleştirmesine dair farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Skalalar arası renk uyumunun değerlendirildiği bir çalışmada; Vitapan Classical ve Vita Tooth Guide 3D-Master renk skalalarını kullanarak maksiller santral kesici kuronlar üretilmiş, Vita 3D-Master ile yapılan renk seçimlerinin doğal dişe daha yakın değerleri gösterdiği görülmüştür (Sadowsky, 2006).

Renk kılavuzlarının üretiminde farklı materyaller kullanılabilir. Seramik, polimer rezin, plastik veya akrilik tabanlı renk kılavuzları üretilmektedir. Ancak farklı dental materyal ile üretilen renk skalaları arasında renk eşleştirmesi açısından farklılıklar görülebilir. Gerçek seramik renk kılavuzlarının kullanılması, seramik restorasyonlar açısından daha kabul edilebilir renk eşleşmesini sağlayacaktır (Wee vd., 2005). Bu nedenle, renk kılavuzu ile restoratif malzemenin markası ve malzemesi aynı olmalıdır (Sampaio vd., 2018).

2.2.2 Aletli renk seçimi

Görsel renk seçimi yönteminde renk değerlendirmesi bireysel olduğu için diş ve diş materyali arasındaki renk farklılıklarının ifadesi standart değildir. Bir kişiye göre çok beyaz olan bir renk diğer kişiye göre beyaz olmayabilir (Hammad, 2003). Bu farklılıkların önüne geçebilmek adına enstrümental renk seçimi yöntemleri geliştirilmiştir.

Dijital renk eşleştirme cihazları, insan gözünün renkleri nasıl algıladığını taklit etmek için tasarlanmıştır. Kişilerden bağımsız olarak standardize edilmiş koşullar nedeniyle daha tutarlı sonuçlar sağladığından, kişilerin deneyimine, cinsiyetine veya renk görme kusurlarından etkilenmemektedir. Bu nedenle diş hekimliği alanında çalışan tüm kişiler için renk tespiti konusunda güvenilir bir yöntem sunmaktadır (Pecho vd., 2016). Cihaz kullanılarak yapılan renk seçimleri daha objektif olmakla beraber nicel değerlere dönüştürülebilir ve daha hızlı sonuçlar elde edilebilir (Kurt vd., 2016).

Diş hekimliği alanında renk tespiti için üretilmiş ilk dijital cihaz (Chromascan, Sterngold, Stamford, Conn) 1980'li yılların başında tanıtılmıştır (Tung vd., 2002). Gün geçtikçe bu alanda ilerlemeler kaydedilmiş ve cihaz çeşitliliği artmıştır. Günümüzde kullanılan cihazlar kolorimetre, spektrofotometre, spektoradyometre ve dental kameralardır. Bazı dijital cihazlar temasla ölçüm yapabildiği gibi temassız olarak da renk ölçümü yapabilen cihazlar vardır (Chen vd., 2012).

Aletli renk seçimi, rengi ölçülmek istenen cismin yansıttığı ışığın analiz edilmesiyle yapılmaktadır. Nesnelerin rengi hakkında tutarlı ve güvenilir bir sayısal veri sağlanır. Ancak olumlu yönleri olduğu kadar birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Rengin homojen olmaması cihazın renk seçimini etkiler (Keyf, 2004). Pil ile çalışan cihazların kullanıma bağlı pil gücü azaldığında aydınlatma gücünün azalması ile renk ölçümü sonuçları etkilenebilir. Ayrıca temas tipi ölçüm aletleri küçük bir ölçüm yeri kullandıkları için renk tespit edilecek alanda kısıtlılık, kenar kaybı, polikromatik bir yüzeyde rengin ortalama değerini verme ve dişlerde bulunan kavisli yüzeyleri ölçmede zorluk çekmelerinden dolayı birtakım dezavantajlara sahiptirler (Tam & Lee, 2017).

2.2.2.1.Kolorimetre

Dişlerin, restorasyon materyallerinin ve yumuşak dokuların renk tespiti için diş hekimliği alanında yaygın olarak kullanılan aletlerden biri de kolorimetrelerdir. Bu cihaz, ışığın yoğunluğuna ve dalga boyuna göre ölçüm yapar (Hindle & Harrison, 2000). Cihazın ölçüm geometrisi daireseldir ve aydınlatmasını yapan xenon flaşlı probu ile yüzeye temas ederek ölçüm yapar. Ölçüm için cihaz önce kalibre edilir, sonrasında cihaz menüsünden ölçülecek diş numarası seçilir. Renk tespiti için 3 ila 5 ölçüm yapılması tavsiye edilir. Renk ölçümü değerleri Vitapan (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Almanya) klasik renk skalasına göre ifade edilir. Yapılan çalışmalarda cihazın tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Joiner, 2004; Cal vd., 2006). Ancak cihazın hassasiyeti ve tekrarlanabilirliği kullandığı filtrelerin yaşlanması ile bağlantılı olarak azalmaktadır (Tung vd., 2002).

Cynovad Shade Scan (Cynovad, Montreal, Kanada), Shade Vision (X-Rite Grandville, MI, ABD), Shade Eye (Shofu, Dental GmbH, Ratingen, Almanya),

Identa Color II (Identa, Holback, Danimarka), Minolta CR-321 (Konica Minolta, Tokyo, Japonya) kolorimetre cihazlarına örnek olarak verilebilir (Şeker & Sarı, 2019).

Kullanım kolaylığı ve farklı cihazlara göre uygun fiyatlı olması kolorimetrelerin avantajlarından (Tung vd., 2002). Ayrıca küçük renk farklılıklarını saptamada ve ölçmede duyarlılığı yüksek cihazlardır.

Kolorimetrelerin yarı saydam bir restorasyon materyalinin renk ölçümünde sonuçlarının etkilenebilir olması ise dezavantajlarından (Ishikawa-Nagai vd., 2005). Cihazlar arası anlaşma nispeten zayıftır. Dişlerin renklemeleri ve çürükleri, cihazın pozisyonu, aydınlatmanın özellikleri kolorimetrenin ölçümünü etkilemektedir.

Kolorimetreler düz yüzey üzerinde ölçüm yapacak şekilde tasarlanmışlardır, bu sebeple dişlerin eğimlerine bağlı olarak ölçüm sırasında kayıplar ortaya çıkmaktadır. Renk ölçümü sırasında cisme gelen ışığın bir kısmının absorbe edilmeden kenarlardan yayılması sonucu oluşan kayba 'kenar kaybı (edge loss)' adı verilmekte ve bu durum renk tespiti için dezavantaj oluşturmaktadır (Bolt vd., 1994). Gölgeleme oluşturmayacak bir eksternal ışık kaynağı ile büyük açıklığa sahip renk ölçüm cihazlarının kombine edilmesiyle, kenar kaybının önlenileceği belirtilmiştir (Gozalo-Diaz vd., 2007).

2.2.2.2. Spektrofotometre

Dental alanda renk analizi ve seçimi amacıyla kullanılan spektrofotometreler doğruluğu kesin, kullanışlı ve esnek cihazlardır (Paul vd., 2004). Bu cihazlar kullanılarak yapılan renk seçiminin, görsel renk seçimine kıyasla daha güvenilir ve objektif bir yöntem olduğu düşünülmektedir (Witkowski vd., 2012).

Spektrofotometreler, cisimden yansıyan ışık miktarını, görünür spektrumdaki beyaz geçişine oranını referans alan belirli aralıklarla (5, 10, 20 nm) ölçerek ışığın spektral analizini yapar ve bu sayede dalga boyunun tespit edilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Wee vd., 2002). Spektral yansıtma işlemi ile cismin renk değerlerinin sayısal olarak hesaplanması hedeflenmektedir (Analoui

vd., 2004). Ölçülen bu değerler renk koordinatlarına (CIEXYZ, CIELAB) ve renk skalası değerlerine dönüştürülebilmektedir (Joiner & Luo, 2017).

CrystalEye (Olympus America, Center Valley, ABD), Vita Easyshade Compact (Vident, Brea, CA, ABD), Shade-X (X-Rite Grandville, MI, ABD), SpectroShade Micro (MHT, Niederhasli, İsviçre) gibi cihazlar spektrofotometrelere örnek olarak verilebilir.

Vita Easyshade yüksek doğruluk oranına sahip, taşınabilir spektrofotometrelerden biridir. Fiber optik kabloyla cihazın elle tutulan gövdesine bağlıdır. Gövdenin uç kısmında D65 aydınlatıcı sağlayan 20 W halojen ampul bulunmaktadır ve probun çapı 5 mm'dir. Prob çapı küçük tutulmuştur çünkü çap ne kadar büyük olursa diş üzerinde kullanılacağı zaman dişin formuna uyumu o kadar zor olmaktadır. Ayrıca cihaz ve diş yüzeyi arasında kalan boşluktan dolayı ışık kaybı yaşanabilir ve bunun sonucunda cihaz ölçümlerinde hata olabilir (Paul vd., 2002). Vita Easyshade, Vita 3D master skalasıyla uyumlu sonuçlar göstermektedir.



Şekil 2.2. Vita Easyshade V spektrofotometresi

Spektrofotometreler; objektif olma, standart koşullarda hatasız ve tutarlı sonuçlar verme ve metamerizm değerlendirilebilmesi gibi avantajlara sahiptir (Ishikawa-Nagai vd., 2005). Standardizasyon güçlüğü, pahalı oluşu ve kullanımının pratik olmaması ise dezavantajları olarak sayılabilir (Öngül vd., 2012).

2.2.2.3. Spektoradyometre

Diş hekimliği alanında ölçüm koşullarının ayarlanmasındaki zorluklar sebebiyle pek fazla kullanılsa da bir diğer dijital renk ölçüm cihazlarından biri spektoradyometrelerdir.

Okuyucu, dedektör, monokromatör ve toplayıcı optikler olmak üzere 4 ayrı bölümden oluşan bu cihazlar görünür spektrum boyunca cisimden yayılan veya yansıyan ışığın ışıma şiddeti ve parlaklık gibi spektral güç dağılımlarını ölçme prensibi ile çalışmaktadır (Joiner & Luo, 2017). Aynı zamanda ölçülen değerleri renk koordinatlarına dönüştürebilir (CIEXYZ, CIELAB ve CIECLH).

Spektoradyometrelerin sabit bir ışık kaynakları yoktur ve temassız ölçüm yapan cihazlardır. Diş yüzeylerinin morfolojik olarak düz olmaması, bu cihazların renk ölçümünde kullanılmasının tercih edilmesine olanak sağlar. Ayrıca kontakt tipi cihazlarda ortaya çıkan kenar kaybının (edge loss) temassız ölçüm cihazı olan spektoradyometreler tarafından önlenmesi bu cihazların avantajlarından biridir (Joiner & Luo, 2017). Bazı araştırmalar, spektoradyometre temelli renk ölçümünün diğer temas ile ölçüm yapan cihazlarına kıyasla dental materyallerin insan renk algılamasına daha yakın olduğunu göstermiştir (Lim vd., 2010).

Spektoradyometreler sadece radyant enerji ile ölçüm yapmaktadır, bu sebeple ölçüm için ayrı bir aydınlatma cihazı gereksinimi bu cihazların olumsuz özellikleri arasında gösterilmektedir. Diğer dezavantajları arasında yüksek maliyetli oluşu, ideal aydınlatma sağlanması ve ortam koşullarının iyileştirilmesine ihtiyaç duyulması sayılmaktadır (Joiner & Luo, 2017).

2.2.2.4. Ağız içi Tarayıcılar

Başlangıçta dijital ölçü alma amacıyla üretilen ağız içi tarayıcılar daha sonra bazı tarayıcılara diş rengi tespiti için yüksek çözünürlüklü bir kameranın eklenmesiyle beraber renk ölçümü alanında da kullanılmıştır. LED ışıkla birlikte dişin taranmasının ardından içinde bulunan yazılımla diş rengi tespit edilir ve tespit edilen renk VITA tonlarına göre gösterilir (Gotfredsen vd., 2015). Ağız içi tarayıcılar renk ölçümünde çok kullanılmamakla beraber bu yöntem için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2.2.5.Dental Fotoğrafçılık

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte dijital fotoğraf kullanımı çoğu alanda artmıştır. Dental anlamda diş laboratuvarı teknisyenleri ile diş hekimleri arasında iletişim, hasta ağzı ile uyumlu ve kabul edilebilir bir protetik restorasyon yapımı ve uygun diş rengi tespiti için önemlidir. Bu sorunlara bir çözüm olarak dijital fotoğrafların kullanımı yaygınlaşmıştır. Öyle ki elde edilen fotografik bilgi, ‘diş hekimi, hasta ve teknisyen arasında nesnel ve etkili bir iletişim aracı’ olarak tanımlanabilmektedir (McLaren & Goldstein, 2018).

Teknolojik gelişmelerle birlikte dijital fotoğraf ekipmanlarında çeşitlilik ortaya çıkmıştır ve bu durum dijital fotoğrafçılığın kullanımının artmasına aracı olmuştur. Dental fotoğraflama ile birlikte sadece diş renginin tespiti değil, estetik ayrıntıların analizi ve var olanın doğru aktarımı mümkün hale gelmiştir. Aynı zamanda çekilen fotoğraf depolanabilmekte ve ihtiyaç halinde kullanılabilir.

Dijital fotoğrafçılık için dijital tek lensli refleks (DSLR) kameralar, taşınabilir kameralar ve mobil cep telefonları kullanılabilir. Mobil fotoğrafçılık, kolay kullanımı ile yaygın olmasına rağmen daha küçük sensör boyutu ve buna bağlı görüntü distorsiyonunun fazla olması gibi dezavantajları nedeniyle DSLR sistemine göre dezavantajlı olarak görülmektedir (Parameswaran vd., 2016).

Dental fotoğraflamanın avantajları arasında ise nesnellik, maliyet düşüklüğü, kolay kullanım, dışın birkaç noktadan değerlendirilebilmesi, tek bir fotoğraf ile farklı bilgilerin kaydı, görüntü kayıtlarının tutulması ve diş laboratuvarıyla etkili iletişim yer alır. Çekilen görüntülerin saklanması kolaydır ve ihtiyaç halinde cihazdan cihaza kolayca aktarılabilir. Çekilen fotoğraflar, dişlerin ayrıntılı bir görüntüsünü yakalar ve diş rengi tespiti haricinde farklı dental alanlarda da kullanılabilir. Kayıtlar arşivlenerek tedavi öncesi ve sonrası durumu karşılaştırılmasında, ihtiyaç halinde tekrar değerlendirilmesinde kullanılabilir (Sampaio vd., 2019).

Dijital fotoğraflamada görüntü kalitesi kullanılan kamera tipine, kamera ayarlarına, ortamın aydınlanma koşullarına, ilgili dışın pozisyonuna bağlıdır ve bu değişkenler diş renginin tespitini etkileyebilir (Chu vd., 2010). Lens çapı, diyafram açıklığı, deklanşör hızı, flaş ışığı, ışık yoğunluğu ve ISO gibi kamera ayarları

görüntülerin rengini etkiler. Bu durum ise renk tespitinde bu cihazların kullanımında dikkatli olunması gerekliliğini kanıtlar ve yöntemin dezavantajlarındandır.

2.2.2.6.Dijital Kameralar ve Görüntüleme Cihazları

Dijital kameralar ve görüntüleme cihazları temassız renk değerlendirme yöntemlerinden biridir. Renk ölçümü için geliştirilen bir görüntüleme cihazı kısaca bir dijital kamera ve bir ışık kaynağından oluşur. Dijital kameralar, cismi ışık algılayıcı bir materyal üzerine kaydeder ve her piksel için kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) değerlerle temsil edilir. Baş harflerinin kısaltması olarak RGB (Red-Green-Blue) cihazları olarak da adlandırılırlar (Joiner & Luo, 2017). Görüntüleme cihazları standart ışıklandırma koşulları altında güvenilir renk ölçümü yapabilir.

Daha detaylı olarak anlatılırsa bir görüntüleme cihazı dijital kameranın dışında, kameranın bağlı olduğu bilgisayar, görüntüyü yakalayan bir sürücü, bilgisayar programı ve renk sensöründen meydana gelmektedir. Çalışma prensibi klinikte çekilen fotoğraf görüntüsünün, dijital kameranın bağlı olduğu bilgisayar üzerinden analiz edilmesi şeklindedir. Renk ölçümü yapılması istenilen cismin görüntüsü alındıktan sonra üç ayrı renk (kırmızı, yeşil ve mavi) her bir piksele kaydedilebilir. Bu RGB renk modeli 3 rengin çeşitli yollarla birbirine eklenerek geniş bir renk skalası oluşturulmasını sağlar. Elde edilen değerler bilgisayar tarafından CIELAB cinsinden ifade edilir (Müdüroğlu vd., 2018).

Dijital kameralar ve görüntüleme cihazlarının avantajları arasında temassız ölçüm yapabilme, dış yüzeyini tümüyle değerlendirebilme, saydamlık ve yüzey eğriliğinden kaynaklanan sistematik hatayı minimuma indirebilme sayılabilir (Joiner & Luo, 2017). En büyük avantajlarından biri kalıcı bir görüntü arşivi sağlaması ve yeniden incelenebilir olmasıdır. Dijital kameralar dişin üzerindeki efektlerin, örneğin mine hipoplazileri, dekalsifikasyonlar ve translusensilerin varlığında diş hekimi ve teknisyen arasında aktarımın doğru olarak yapılabilir (Vivek vd., 2013).

Görüntüleme cihazlarının avantajlarının yanında birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Öncelikle tek başına kullanıldığında renk analizi için güvenilir bir

yöntem değildir. Cismin görüntülenmesi sırasında kullanılan açı ve aydınlatma kamera tarafından rengin algılanmasını etkileyebilir (Müdüroğlu vd., 2018). Dijital kameraların ve akıllı telefonların renk seçimi için kullanımı, sabit bir ışık kaynağının olmaması nedeniyle engellenmektedir (Sampaio vd., 2019). Ancak standart ışıklandırma koşulları altında güvenilir renk ölçümü yaptıklarına dair fikirler de bulunmaktadır (Jarad vd., 2005). Yine de renk hakkında laboratuvara bilgi verilmesi bakımından kullanışlı olmalarına rağmen, bir ölçüm cihazı olmadıkları ve subjektif değerlendirmeye açık oldukları unutulmamalıdır (Brewer vd., 2004).

2.2.2.7. Dijital Renk Analizi

Dijital kameraların kullanıldığı renk seçiminde renk bilgilerinin doğru renk değerlerine çevrilmesinin sağlanması için farklı regresyon modelleri ve renk seçme programları geliştirilmiştir (Joiner & Luo, 2017). Bunlardan bir kısmı görüntüleme cihazlarının kullandığı yöntemlerdendir. Ancak toplu bir şekilde ifade edebilmek adına bu başlık altında toplanmıştır.

Dijital görüntülerin renk ölçümü ve analizi için ClearMatch (Clarity Dental, Salt Lake City, UT), ShadeWave Diş Hekimliği Lisansı (ShadeWave, Issaquah, WA), Color Scanner 2006 (Nuova Franco Suisse, Vigonza, İtalya) gibi farklı yazılım programları mevcuttur. Adobe Photoshop (Adobe Inc., San Jose, CA), MATLAB (MathWorks, Natick, MA), EasyMatch QC (Hunter Associates Laboratory, Inc, Res ton, VA), CT&A ve PatchTool (The BabelColor Company, Montreal, QC, Kanada), Color Data Software SpectraMagic NX/DX (Konica Minolta Sensing Americas, Inc, Ramsey, NJ) ve Color iMatch (X-Rite, Inc, Grand Rapids, MI) programları da diş rengi eşleştirmesi ve analizi için kullanılabilir.

Kısaca yazılımların çalışma prensiplerinden bahsedilirse öncelikle dijital kameralarla çekilen cismin renk özellikleri belirlenmektedir. Ardından renk farkı formülü kullanılarak diş ile tüm renk şeritleri arasındaki renk farkları kullanılan programın hesaplama yöntemine göre hesaplanmakta ve renk farkının en az olduğu renk sekmesi yazılım tarafından diş rengi olarak gösterilmektedir.

Ikam renk analiz sistemi (Metalor Technologies, Marin, İsviçre): Dişlerin renk, şekil ve konturlarını doğru bir şekilde kaydetmek ve diş hekimi ile teknisyen arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için geliştirilmiş dijital fotoğraf teknolojisiyle renk analiz yazılımını bir araya getiren bir programdır (G. Freedman, 2012).

ClearMatch (Smart Technology, Oregon, Amerika): Yüksek çözünürlüklü dijital görüntüleri kullanarak diş üzerindeki renkleri bilinen referans tonlarıyla karşılaştıran ve renk ölçüm cihazlarıyla ilgili yazılıma benzer şekilde renk skalalarının veri tabanını içeren bir yazılım sistemidir (Chu vd., 2010).

ShadeWave (ShadeWave, Washington, Amerika) yazılım sistemi: Dijital görüntüdeki referansları matematiksel olarak düzenleyerek kalibrasyonu sağlamaktadır ve karşılık gelen renk sekmesine ait renk kılavuzları kütüphanesine sahiptir. Renk kılavuzları sadece dişler ile ilişkili değildir, aynı zamanda gingiva için de renk kılavuzu bulunmaktadır. Dijital kamera ile dişin rengi, translusensi ve renk değeri belirlenmektedir (Rosenstiel vd., 2016).

Dijital kameraların desteklediği bu teknikler renk seçimi işlemini gerçekleştirmek için kullanılabilir ancak bu yöntem hala hatalara açıktır. Alternatif olarak, dijital fotoğrafçılıkta renk eşleştirme sürecini otomatik olarak gerçekleştirmek için bir bilgisayar görüş sistemi kullanılabilir (Beneducci vd., 2023).

2.2.2.8. Bilgisayarlı Görü ve Görüntü İşleme Yöntemleri ile Renk Analizi

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte diş hekimliğinde ve diğer alanlarda dijital dönüşüm, dijital iş akışı gibi teknolojik kavramlar ilgi görmeye başlanmıştır. Teknolojiye uyum sağlamak için bu gelişmelere hızlı bir şekilde adapte olması gereken diş hekimliği bilimleri yapay zeka alanında da ilerleme kaydetmektedir. Yapay zeka; insan beyninin işlevlerini simüle ederek ve modelleyerek, makineler ve bilgisayar sistemleri tarafından öğrenme, mantık yürütme, problem çözme, karar verme, görsel algı ve konuşma tanıma gibi temel işlevlerde insanlara destek olabilmektedir (Tabatabaian vd., 2023). Diş hekimliği alanında yapay zeka kendisini tanı, klinik karar verme ve tedavi sonuçlarının

tahmin edilmesinde göstermektedir. Ayrıca diş hekimliği uygulamalarında estetik restorasyonlar için renk tonlarının elde edilmesi ve eşleştirilmesi amacıyla yapay zekanın kullanımı bu yöntemleri modernleştirirken aynı zamanda basitleştirir (Efitli vd., 2025).

Bilgisayarlı görü; insan görüşünü taklit eden ve diş hekimliği görüntülemelerinde önemli bir rol oynayan yapay zekanın geniş alanına dahildir (Priya vd., 2024). Bilgisayarlı görü; klasik görüntü işleme, matematiksel yaklaşımlar, derin öğrenme teknikleri ve makine öğrenimine doğru geniş bir yelpazeye sahiptir (Priya vd., 2024). Görüntü analizi ve bilgisayarlı görü tekniklerine dayanarak yapılan seçim yöntemleri, dış aydınlatmanın etkisini azaltarak diş tonlarının otomatik ve doğru bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlayabilmektedir (Beneducci vd., 2023).

Belirli bir yüzeydeki alanın rengini değerlendirmenin bir diğer alternatifi, görüntü işleme yazılımı kullanılarak yapılan dijital renk ölçümüdür (Chu vd., 2010). Bu tekniğin özünde görüntüyü çözümleme ve sayısal değer elde etme yer almaktadır. Video kamera, fotoğraf makinesi, cep telefonu gibi görüntü elde eden cihazlarla alınarak sayısallaştırılan görüntülerin geliştirilen yöntemlerle işlenip analiz edilmesi, görüntülerden bilgi elde edilmesi ve bu bilgilerin yorumlanması, görüntü işleme alanının temelini oluşturmaktadır (Kuncan, 2013). Dijital görüntü işleme alanı, dijital görüntülerin bir dijital bilgisayar vasıtasıyla işlenmesini ifade eder. Dijital bir görüntünün, her biri belirli bir konuma ve değere sahip olan sınırlı sayıda öğeden oluşur. Bu öğelere resim, görüntü, pels ve piksel denir. Piksel, dijital görüntünün öğelerini göstermek için en yaygın kullanılan terimdir (Pehlivan, 2022).

Görüntü işlemenin uygulama alanlarından biri, yüksek doğruluk seviyesi gerektiren tıbbi alanlardır. Bilgisayarlı renk analizine sahip bir renk ölçüm sistemi cihazı, geleneksel tekniklere göre daha standart ve doğru renk eşleştirmesine olanak tanıyabilmektedir. Günümüzde görüntü işleme, kendine farklı alanlarda kullanım yeri bulmaktadır. Tasarım, imalat, güvenlik, tıp, elektronik, makine, mimari, jeodezi görüntü işleme yönteminin kullanıldığı alanlara örnek olarak verilebilir (Santaş vd, 2011). Diğer yöntemlerde olduğu gibi aydınlatma koşulları, görüntü işleme tabanlı yöntemlerde de sistem başarısını etkileyen en önemli etkenlerden biridir.

Makine öğrenimi, bilgisayarların verilerden öğrenmesini ve verilere dayalı kararlar almasını sağlayan algoritmalar geliştirmeye odaklanan bir yapay zeka dalıdır. Geleneksel programlarda açık talimatlar verilerek işlemlerin belirlenmesinin aksine, makine öğrenimi tahminlerde bulunur veya kararlar almak için veriler içindeki kalıpları ve ilişkileri belirleyerek bu sonuçları kullanır. Makine öğrenimi temel olarak belirli görevler için açıkça programlanmadan zaman içinde performanslarını iyileştirmelerine olanak tanıyan bir veri kümesi üzerinde modellerin eğitilmesini içerir (Schwendicke vd., 2025).

Derin öğrenme; makine öğreniminin bir alt alanıdır. Derin sinir ağları olarak bilinen çok katmanlı sinir ağlarına odaklanan, uzmanlaşmış bir alt alandır. Bu ağlar, insan beyninin yapısı ve işlevinden esinlenerek oluşturulmuştur ve bu sayede veriler içindeki karmaşık örüntüleri ve ilişkileri modelleme olanağı sağlar (Schwendicke vd., 2025). Derin öğrenme, işlenmemiş pikseller üzerinde doğrudan çalışır ve herhangi bir insan müdahalesi olmadan kendi kendine öğrenen özellikler, büyük miktarda veri üzerinde eğitildiğinde dikkate değer sonuçlar sağlar. Derin öğrenme ile bilgisayarlı görüş tabanlı uygulamalar, artan bilgisayar gücü, bellek kapasitesi ve görüntü sensörlerinin iyileştirilmiş çözünürlüğü ile diş hekimliğinde ilerlemiştir. Derin öğrenme, bitewing ve panoramik X-ışınları kullanarak diş çürüklerini tespit etmek için güçlü bir araçtır (Priya vd., 2024). Periodontal kemik kaybı gibi diş anormalliklerinin sınıflandırılması derin öğrenme teknikleri kullanılarak kanıtlanmış bir başarı sağlanmıştır (Priya vd., 2024).

Nesne algılama, sınırlayıcı kutulara sahip nesneleri sınıflandırmak için bilgisayarlı görüş tekniklerinde önemli bir role sahiptir (Priya vd., 2024). Nesne tespit yöntemlerinden en önemlisi Hough dönüşümü tekniğidir. Hough Dönüşümü sayısal görüntü işlemede matematiksel olarak ifade edilebilen şekillerin varlığının, yerinin, açılarının bulunmasında kullanılmaktadır. Yöntem 1962 yılında Paul Hough tarafından geliştirilmiştir. Bir kamera veya benzeri bir algılayıcı yardımı ile elde edilen görüntülerdeki şekillerin her zaman eksiksiz yer alması mümkün olmamaktadır ve şekillerdeki kopukluklar şekil tespitini zorlaştırmaktadır. Bu noktada Hough dönüşümü ile görüntünün tamamının görülebilir olmadığı durumlarda da olası şekiller tespit edilebilmektedir (Çelik & Tekin, 2020).

2.2.2.8.1.Görüntü İşlemede Kullanılan Renk Modelleri

Renk modellerinin amacı, insanlar, makineler veya bilgisayar programları arasında renkleri tarif etme işlemine yardımcı olmaktır. Renk modeli, renkleri tanımlamak, oluşturmak ve görüntülemek için kullanılan bir yöntemdir (Tonguç, 2004).

RGB Renk Modeli; İngilizcede 'red' 'green' ve 'blue' yani kırmızı, yeşil ve mavi anlamına gelen kelimelerin ilk harflerinden ismini almıştır ve en çok kullanılan renk modelidir. Işığı temel alan bu modelde, tüm renklerin kodları bu üç renk referans olarak belirtilir. Kırmızı, yeşil ve mavi renklerinin arasında kalan dalga boylarında sensörler değişik seviyelerde tepki verirler ve bu tepki sonucunda beyindeki renk algısını oluşturur (Tonguç, 2004). Dış hekimliği alanındaki çeşitli araştırmalarda, RGB renk modeli kullanılmıştır (Tam & Lee, 2012).

CMY/CMYK renk modeli; daha çok matbaa ve baskı işlemlerinde kullanılan, dört temel işlem renginin kısaltması şeklindeki renk modelidir: Cyan (Camgöbeği), Magenta (Eflatun), Yellow (Sarı). Bu sistemde, üç rengin (CMY) birleşimi, siyah üretmek için yeterli olmadığından ayrıca 'Key' olarak ifade edilen siyah renk kullanılır (Polat, 2012).

HSV renk modeli; HSV (Hue, Saturation, Value) veya HSB (Hue, Saturation, Brightness) olarak da tabir edilebilen bu model renkleri sırasıyla ton, doygunluk ve parlaklık olarak tanımlar. 1978 yılında insan görme sistemine daha benzer bir yapı oluşturmak amacıyla Alvy Ray Smith tarafından tanımlanmıştır. RGB renk modelinden dönüştürülerek elde edilmiştir (Kuncan, 2013).

2.3 Renk Seçimini Etkileyen Unsurlar

Bir cismin renginin doğru algılanması yalnızca göz tarafından elde edilen görüntüsüne bağlı değildir. Bir cismin algılanan rengi, fiziksel özelliklerinden, maruz kaldığı ışığın türünden ve rengi değerlendiren kişinin öznel durumundan da etkilenir. Cismin bulunduğu koşullar ve çevresi de önemlidir (Tabatabaian vd., 2021).

Algılanan rengi etkileyen pek çok unsur bulunmaktadır. Bu unsurları özetle 4 başlık altında toplayabiliriz.

2.3.1 Işık kaynağı

Renginin algılanması etkileyen faktörlerden ilki ışık kaynağıdır. Işık kaynağının yoğunluğu renk seçimini etkiler. Düşük ışık yoğunluklarında renk algısı azalır, bunun sebebi retinadaki çubuk reseptörlerin konilerden daha baskın olmasıdır (Anusavice, 1996). Işık miktarı az olduğunda ince detaylar kaybolur ve ana rengin algılanması zorlaşır. Karşıt olarak ışık miktarı fazla olduğunda ise gözlerin kamaşmasına sebebiyet verir ve yine rengin doğru algılanmasına engel olur (Keyf vd., 2009).

Dental kliniklerdeki ortam ışığının uygun yoğunluğu, diş seçimi için önemli olmakla beraber diş hekimi için ayrıca görsel konfor da sağlamaktadır. Dental klinik için 2000-3200 lux ve dental laboratuvar için 28 lux ışık yoğunluğu önerilmektedir. Işığın kalitesi de rengin algılanmasını etkileyen faktörlerdendir. Diş rengi seçiminin yapıldığı ortamdaki ışık kaynağının kalitesi ve miktarı önemlidir. Işık kaynağı seçilirken, uygun renk sıcaklığı, spektral enerji dağılımı ve renk sunum indeksi (CRI) dikkate alınmalıdır. ISO TR 28642'ye göre renk ölçümü sırasında, ışık kaynağının CRI değerinin 90'ın üzerinde olması önerilmektedir.

Farklı ışık kaynaklarının kullanılması renk algısını etkilemektedir (Joiner, 2004). Işık kaynaklarının ışık spektrumları birbirinden farklı olduğu için, farklı ışık kaynakları altında yapılan renk eşleştirmeleri birbirleri ile uyuşmayabilir. Diş kliniklerde doğal ışık, floresan, LED gibi farklı ışık kaynakları bulunabilir. Farklı odalarda farklı ışık kaynaklarının kullanılması sebebiyle seçilen renk teknisyen ve diş hekiminin aydınlatma şartları altında farklı görülebilir. Bu olaya metamerizm adı verilmektedir (Joiner & Luo, 2017). Farklı ışık kaynaklarından dolayı oluşan karışıklıkların giderilmesi adına renk seçimi için ışık düzeltme cihazları önerilmektedir (Tabatabaian vd., 2021).

Renk seçimini etkileyen ışık kaynaklı faktörleri ortadan kaldırmak için ideal bir ışık kaynağı gerekmektedir. İdeal ışık kaynağının özellikleri arasında ışık kaynağının tüm spektrumları içermesi, ışık yoğunluğunun bulunduğu ortama uygun olması, rahatsız edici renk yaymaması, yoğunluğunun zaman ve mekana göre değişmemesi sayılabilir (Pehlivan, 2022).

2.3.2 Cisim

Diş hekimliği alanında üretilen bir restorasyonun üzerine düşen ışığın saçılması, emilimi, yansımaları ve kırılması, cismin yüzey özellikleri ve geçirgenliği gibi fiziksel özellikler restorasyonun rengini etkilemektedir (Altunsoy, 2001).

Cismin yapıldığı malzeme üzerine düşen ışığın etkileşimini etkiler. Porselenin ana camı yapısının içindeki kristallerin sayısı, büyüklüğü ve yoğunluğu yansıma ve kırılmaya etki ederek opasiteyi değiştirmekte ve rengi etkilemektedir (Uzun & Keyf, 2007). Ayrıca doğal dişler ve tam seramik restorasyonlar düzgün ve yaygın ışık geçirgenliğine izin verirler ama metal destekli porselen restorasyonlar sadece düzgün ve yaygın yansıma izin vermektedir (McLean, 1991).

Cismin yüzey özellikleri, restorasyonların optik özelliklerini etkileyebilmektedir. Pürüzlü bir yüzey dağınık ışık yansımasına sebep olurken, pürüzsüz bir yüzey daha fazla speküler yansıma göstermektedir. Kim ve diğerleri (Kim vd., 2016), mekanik parlatma ve glaze gibi yüzey işlemleriyle birlikte renklendirme uygulanmasının monolitik zirkonya restorasyonların yüzey pürüzlülüğünü etkilediğini belirtirken, translusensi özelliği üzerinde çok az etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

2.3.3 Gözlemci

Renk algısını etkileyen bir diğer faktör gözlemcidir. Bireysel farklılıkların rengin görsel olarak belirlenmesinde değişikliklere sebep olduğu bilinmektedir (Adebayo vd., 2022).

Gözlemciye ait farklılıklara yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi ve meslek örnek verilebilir. Bu faktörlere bağlı olarak renk seçiminin etkilendiği bilinmektedir (Yılmaz vd., 2019). Cinsiyete ilişkin farklı görüşlerde olan çalışmalar yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre kadın ve erkeklerin renk tonlarını ayırt etme kapasitelerinin farklı olduğunu gösterilmektedir (Miranda, 2012).

Renk algısı öznel bir durumdur ve gözlemcinin duygusal durumundan bile etkilenebilir. Bir bireyin duygusal durumu onun renkleri belirleme ve yargılama şeklini etkileyebilir (Tabatabaian vd., 2021). İnsanların renk tercihleri, duyguların veya ruh hallerinin yanında hafızalarına, kültürel geçmişlerine ve coğrafi konumlarına göre de farklılık gösterebilmektedir (Arik vd., 2016).

Gözlemcinin yorgunluk hali, renk seçiminin doğru yapılmasını etkileyebilmektedir. Günün erken saatlerinde yapılan renk seçiminin, gün sonunda yapılan seçimlere göre daha doğru olduğu belirtilmektedir. Ayrıca gözlemcinin kullandığı çeşitli ilaçlar renkleri doğru bir şekilde görme kabiliyetini etkileyebilmektedir (Freedman, 2011).

2.3.4 Çevresel koşullar

Renk seçimin yapılacağı ortamın içinde bulunduğu çevresel koşullar rengi etkileyen unsurların bir diğeridir. Çevresel ortamdaki diğer renkler, dışın renginin algılanmasını etkilemektedir.

Diş hekimi, hasta ve yardımcı personelin kıyafet rengi, hastanın makyajı, klinik duvarlarının rengi ve hasta önlüğünün rengi; hastanın dışından ve renk skalalarından algılanan rengi etkileyebilmektedir. Çevresel renklerin pastel ya da nötral gri tonlarında olması tavsiye edilmektedir (Fondriest, 2003).

Ayrıca renk seçimi için değerlendirme yapılan ortamın aydınlatması, yüz teni, gülümseme estetiği ve diş eti rengi de renk seçimini etkileyen çevresel faktörlere örnek verilebilir. Renk seçimi sırasında gerekli aydınlatma özelliğini sürdürebilmek için ortamın renk yoğunluğu dikkatlice kontrol edilmelidir (Ishikawa-Nagai vd., 2009).

2.4 Renk seçiminde genel prensipler

İdeal renk seçimini gerçekleştirebilmek adına dikkat edilmesi gereken birtakım hususlar vardır (Keyf vd., 2009):

Renk seçiminde ışık kaynağı önemlidir. Dental ünit ışıkları renk seçimi için kullanılmamalıdır. Ayrıca laboratuvar ve klinik ortamında farklı ışık kaynakları kullanımı sonucu oluşabilecek metamerizm etkisini ortadan kaldırmak adına renk seçimi yapılan alanlarda aynı ışık kaynakları kullanılmalıdır. Aydınlatma için floresan lambalar kullanılmalıdır ve renk sıcaklığı çalışma alanlarında 5500 K olmalıdır. Böylece renk seçimi için en uygun aydınlatma sağlanmış olur (Vryonis, 1988).

Renk seçimi için ideal saatler 12.00-15.00 olarak belirtilmiştir. Bu saatlerde en iyi renk ısısı ve renk kalitesi elde edilir (Vryonis, 1988).

Renk seçimi sırasında hasta, hekimin göz seviyesinde olmalıdır. Bu seviyede iken retinanın renge en duyarlı kısmı uyarılacağı için renk seçimi daha uygun yapılabilir. Retinanın renge en duyarlı kısmının kullanılabilmesi amacıyla görüş mesafesi yaklaşık 25 cm (10 inç) olmalıdır.

Çevresel ortamın rengi, rengin algılanmasında önemli faktördür ve algılamayı değiştirebilir. Bu sebeple çevrenin nötral gri olması önerilir. Nötral gri bunun için iyi bir renktir ve gözü dinlendirir. Ayrıca hastanın elbisesi de tercihen gri bir önlükle kapatılmalıdır. Hasta parlak renkli kıyafetlerden kaçınmalı ve varsa rujunu temizlemelidir.

Renk seçimi öncesinde göz gri-mavi bir yüzeye bakarak dinlendirilebilir. Bu sayede retinadaki tüm renk sensörlerini dengeler ve gözü dışın sarı rengine karşı hassaslaştırır.

Renk seçimi işleme başlamadan önce yapılmalıdır. Bunun sebebi tedavi sırasında meydana gelecek dehidratasyonun parlaklık, yoğunluk ve translusensiyi etkilemesidir.

Rengi tespit edilecek olan diş yüzeyi temiz olmalı ve yüzeydeki lekeler polisaj yapılarak giderilmelidir.

Renk seçimi yapılırken tek bir yönden değil, farklı yönlerden de bakılmalı ve ışığın farklı açılardan nasıl yansıdığı belirlenmelidir (Keyf vd., 2009). Ayrıca renk seçimi farklı aydınlatma koşulları altında tekrarlanmalıdır. İlk seçim pencere kenarında ve gün ışığında yapılır. Sonrasında floresan ışık ve ampul ışığı altında doğrulanır.

Renk tonu ve yarı saydamlık değerlendirilirken dişler ıslak olmalıdır, aksi takdirde dişlerin tüm renk özellikleri etkilenebilir. Bu nedenle hem ağızdaki doğal dişlerin hem de renk skalasındaki dişlerin ıslatılarak kullanılması önerilir.

Renk seçimi yapılırken eğer skala kullanılıyorsa skaladaki dişin kesici kenarı ile doğal dişin kesici kenarı baş başa yerleştirilmelidir. Böylece birbirlerinin renklerini yansıtmaları önlenir.

Renk seçiminin uzun sürmesi sonucunda göz yorgunluğu gelişebilir. Bu sebeple ilk ölçümlerin doğruluğu daha yüksektir. Dişlere 5 saniyeden fazla bakılması ana renkte sapmalara sebep olur.

Etkili bir renk seçimi yapabilmek adına yanak ekartörleri kullanılabilir.

Eğer ana rengi belirlemekte kuşkuya düşülüyorsa restorasyon Vita renk skalalarına göre A grubu bir renk seçilerek yapılmalıdır. Çünkü dişlerin %80'i A grubuna aittir. Kesin bir seçim yapılamıyorsa, renk skalasından düşük kroması ve yüksek renk değeri olan bir renk çubuğu seçilmelidir. Çünkü dışsal etkenler kromayı artırıp, renk değerini azaltabilmektedir (Keyf vd., 2009).

Diş rengi seçiminde dişin orta kısmı en güvenilir bölge olarak kabul edilir. İnsizal kısım mine yoğunluğu ve arka planın oral kavite olması sebebiyle tercih edilmez. Servikal kısım ise dişetin etkisinde kalmasından dolayı tercih edilmez (Schwabacher vd., 1994)

Renk skalasında yer alan renk sayıları elenerek azaltılmalı ve yaklaşık üç renge indirilmelidir. Ardından kalan renkler arasında son karar verilmelidir.

Diş rengi kısım kısım belirlendikten sonra tespit edilen renklerin uyumu son kez genel olarak kontrol edilir.

Renk seçimi, diğer seanslarda doğrulanmalı ve mümkünse, yardımcı bir personel tarafından onaylanmalıdır.

2.5 Renk sistemleri

Diş rengi seçiminde görsel yöntem kullanıldığında bu yöntemin doğruluğu çeşitli faktörlerden etkilendiği için tam doğru bir seçim yapmak zordur. Bu faktörlerden bazıları ışık kaynağı ve diş ile ilgili iken gözlemciye ait olan öznel faktörler de yadsınamaz. Sonuç olarak rengin farklı algılanmasına neden olan bu faktörleri ve karışıklıkları ortadan kaldırmak adına renkleri doğru tanımlayabilmek için renk sistemleri geliştirilmiştir.

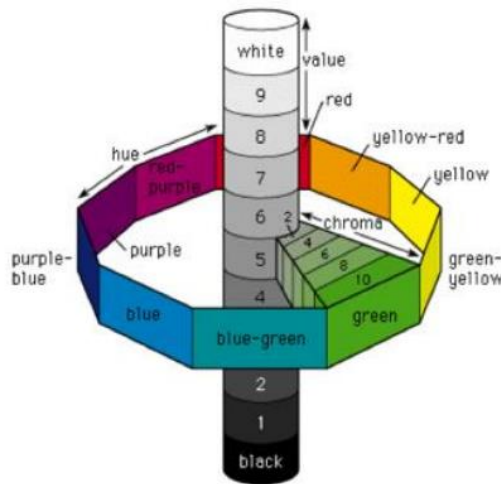
Diş hekimliği alanında iki renk sistemi kullanılmaktadır. Bunlar Munsell renk sistemi ve CIELAB renk sistemidir. Munsell renk sistemi niteliksel özellikler taşıdığı için kliniklerde, CIELAB renk sistemi ise niceliksel özellik taşıdığı için daha çok araştırmalarda kullanılmaktadır (Doğan & Yüzügüllü, 2011).

2.5.1 Munsell Renk Sistemi

Munsell Renk Sistemi diş hekimliği alanında en çok kullanılan renk tanımlama sistemi olup 1905 yılında Albert H. Munsell tarafından geliştirildiği için bu isimle anılmaktadır. Tutarlı olması ve kullanım kolaylığı sunması gibi sebeplerle dental renk seçiminde sıklıkla tercih edilir (Joiner, 2004). Bu sistem rengin üç sıfatı üzerinde durmaktadır. Bunlar ana renk (hue), parlaklık (value) ve yoğunluk (chroma) olarak adlandırılır. Tanımlanan renk sıfatlarından yalnızca ana renk (hue) nitel bir yapıya sahiptir, yoğunluk (chroma) ve parlaklık (value) nicel değerlerle ifade edilir.

İnsan gözü renk farklılıklarını nitel (renk tonundaki farklılıklar) ve nicel (parlaklık ve yoğunluktaki farklar) olmak üzere iki şekilde algılar. Gözlemciler genellikle rengi 'renk tonu' olarak da isimlendirilen ana renk (hue) sıfatını kullanarak tanımlarlar. Parlaklık veya yoğunluktaki farklılıkları renkteki değişiklikler olarak algılamazlar. Ancak, algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik yargıları rengin bu üç algısal niteliğinin birleşimine dayanır (Tejada-Casado vd., 2024).

Munsell Renk Sistemi'nde renkler bir renk ağacı ile ifade edilir ya da içi dolu küre veya silindir olacak şekilde gösterilir. Renkler bu figürler kullanılarak 3 boyutlu olarak gösterilmektedir (Sengez & Dörter, 2019).



Şekil 2.3. Munsell renk ağacı (Sengez & Dörter, 2019)

2.5.1.1.Ana renk (Hue)

Ana renk (hue) Munsell tarafından ‘bir renk ailesini diğerinden ayırt ettiğimiz değer’ olarak tanımlanmaktadır ve anlaşılması en kolay Munsell değişkenidir (Fondriest, 2003). Bu değişken, bir cismin hangi renk (ör: kırmızı, yeşil, sarı, mor vb.) görüldüğüne karar verilmesini sağlayan kavramdır.

Munsell’in renk tanımlamasında kullanılan 3 boyutlu silindir şeklindeki renk ağacında dairesel olarak yer almaktadır. Beş ana ve beş ara renk ile ifade edilir. Ana renkler; mor, mavi, yeşil, sarı, kırmızı şeklinde, ara renkler ise mor-mavi, mavi-yeşil, yeşil-sarı, sarı kırmızı, kırmızı-mor şeklindedir (Karamouzou vd., 2007).

Diş hekimliği alanında ana renk (hue) yaygın olarak Vita klasik renk skalasında (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) A, B, C, D harfleriyle temsil edilmektedir (Rosentritt vd., 1998).

A: Kırmızımsı kahverengi,

B: Kırmızımsı sarı,

C: Gri,

D: Kırmızımsı gri.

2.5.1.2.Parlaklık (Value)

Munsell Renk Sistemi’nin bir diğer tanımından olan parlaklık, bir cisimden geri dönen ışık miktarı ile ifade edilir. Munsell tarafından parlaklık, siyah beyaz bir skala olarak tarif edilmiştir. Bu skalada 0 siyah, 10 beyazdır. Doğal dişlerin parlaklık (value) değerlerinin ise 4 ve 8 arasında değiştiği belirlenmiştir (Hammad & Stein, 1991).

Parlaklık (value) koyu ve açık rengin birbirinden ayırt edilmesini sağlar. Bu değişken genellikle daha açık veya daha koyu olacak şekilde ifade edilebilir.

Parlaklık (value), Munsell’in renk tanımlamasında kullanılan 3 boyutlu silindir şeklindeki renk ağacında dikey eksen ile gösterilir (Fondriest, 2003). En altta siyah, en üst ise beyaz olarak gösterilir ve siyahtan beyaza kadar gri rengin

tonları temsil edilir (Karamouzos vd., 2007). Parlak cisimler daha az miktarda griye sahipken, düşük oranda parlaklığa sahip cisimler ise fazla miktarda griye sahiptir ve daha koyu görünür (Fondriest, 2003).

Araştırmacılara göre diş hekimliğinde renk seçiminin en önemli aşaması parlaklık (value) değerinin belirlenmesidir. Parlaklık değeri hatalı tespit edilirse yapılan restorasyon hata oranına göre farklı görünür. Eğer tespit edilen parlaklık değeri yüksekse yapılan restorasyon daha parlak ve opak, düşükse daha gri ve cansız görülür. Parlaklık değerinin yüksek olduğu bir restorasyon doğal dişlerden daha kolay ayırt edilebilir ve estetik olarak daha kötü bir görünüme neden olur. Parlaklık değerinin doğru tespit edildiği bir restorasyonda, renk ve doygunluk değerlerinin hatalı tespiti sonucu ortaya çıkacak estetik hatalar nispeten daha az fark edilebilir olur. Ancak yine de Munsell'in üç renk değişkeni birbirini etkilemektedir. Örneğin; dişlerin kolesinin parlaklık değerinin düşük olması sebebiyle bu bölgelerde ana rengin değerlendirilmesi de oldukça güçtür (Chu vd., 2004).

2.5.1.3.Yoğunluk (Chroma)

Yoğunluk (chroma) ana rengin gücünü veya pigment yoğunluğunu ifade eden boyuttur. Güçlü bir rengi zayıf olandan ayırt etmemizi sağlar (Fondriest, 2003). Renk tonu farklı renkler arasında ayırt edici bir özellik iken, yoğunluk (chroma) aynı rengin gücündeki değişimle ilgilidir. Yoğunluk arttıkça renk tonu daha belirgin hale gelir.

Yoğunluk (chroma), Munsell'in renk tanımlamasında kullanılan 3 boyutlu silindir şeklindeki renk ağacında yatay yönde ifade edilir ve merkezden periferde doğru gidildikçe artış göstermektedir (Karamouzos vd., 2007). Renk dikey eksenden ne kadar uzaksa, yoğunluk o kadar yüksektir ve daha güçlü, daha yoğun olarak ifade edilir. Ancak renk dikey eksene ne kadar yakınsa, kroma o kadar düşüktür ve daha soluk, daha zayıf olarak ifade edilir. Genellikle kanin dışında görülen servikal bölgedeki daha kırmızı ve/veya daha sarı bir görünüm, o bölgenin daha kromatik olmasıyla ilgilidir (Ontiveros & Paravina, 2019)

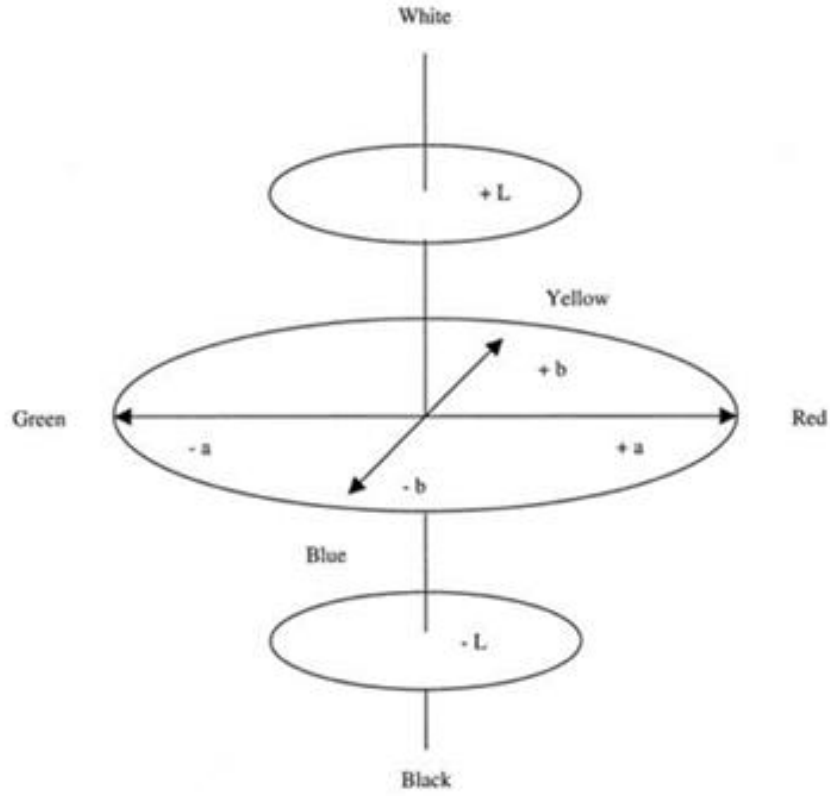
Vita renk skalasında numaralarla ifade edilen bu değişken, parlaklık (value) ile ters orantılıdır. Dolayısıyla yoğunluk arttığı zaman parlaklık azalır (Fondriest, 2003).

2.5.2 CIELAB Renk Sistemi

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE, International Commission on Illumination); 1986 yılında kurulan rengin algılanmasını kolaylaştırmak ve standardizasyon sağlamak adına birtakım tekniklerle rengi sayısal değerlere çevirmeyi amaçlayan bir organizasyondur. Standart bir ışık kaynağı altında, standart bir gözlemci ile birlikte değerlendirilmesi istenilen rengin insan görme sistemine nasıl bir etki yaptığını inceler. Verilen yanıtı temsil eden tristimulus değerlerini açıklayarak sayısal veri elde eder (Joiner, 2004). Işık kaynaklarının standardizasyonunun sağlanması, insan gözünün görsel algılamadaki varyasyonları elimine eder.

Bu sistem; rengin algılanmasının insan gözünde bulunan üç ayrı renk reseptörüne (kırmızı yeşil ve mavi) bağlı olduğunu kabul eder (Wee vd., 2002). Tüm renklerin, başlıca bu üç rengin, yani kırmızı (X), yeşil (Y) ve mavinin (Z) çeşitli miktarlarda karışımı ile elde edildiği bilgisini temel alır (Seghi vd., 1986). Ölçülebilen bu değerler CIEXYZ olarak tanımlanmıştır.

1976 yılında CIE daha belirleyici bir renk tanımlaması yaparak CIELAB renk uzayını geliştirmiştir. CIELAB renk uzayı üç bileşenli X, Y, Z değerlerinin üç yeni parametre olan L, a ve b değerlerine çevrilmesiyle oluşan düzenli bir renk uzayıdır. Bu sistem, Munsell renk sisteminde olduğu gibi rengin 3 parametresi olduğu kabul eder. Bu amaçla L^* , a^* , b^* parametreleri kullanılır. Parametreler üç boyutlu eksenle şekilde görüldüğü gibi ifade edilebilir.



Şekil 2.4. CIELAB renk sistemi (Tung vd., 2002)

CIELAB sisteminin avantajı; gözle algılanan ve klinik olarak ölçülen renk değerleri arasındaki renk farklılıklarını sayısal olarak ifade edebilmesidir (Joiner, 2004).

CIELAB renk uzayında renk aralıkları eşit mesafelerdedir ve bu sebeple düzenli bir yapıya sahiptir. Renk aralıklarının eşit mesafede olması bu sistemin klinik olarak yorumlanabilmesine ve renk farklılıkları tanımlayabilmesine olanak sağlar. CIELAB renk sisteminde renkler geometrik olarak birbirine eşit mesafede dizildiğinden iki farklı nesnenin renk değerleri tespit edildikten sonra aralarındaki renk farkları matematiksel olarak hesaplanabilir. Ölçülen iki renk arasındaki renk farklılığı (ΔE), bu renklerin L, a ve b değerlerinin kullanılarak formül ile hesaplanması sonucu elde edilmektedir (Koçak, 2014). Renk parametreleri arasındaki fark ayrı ayrı hesaplanabilir ve bunlar ΔL , Δa ve Δb olarak ifade edilir.

2.5.2.1. L* Parametresi

CIELAB sisteminin üç parametresinden biri olan L parametresi üç boyutlu renk uzayında L eksenini olarak ifade edilen dikey eksen üzerinde yer alır. L eksenini, rengin açıklık ve koyuluk koordinatlarını tanımlar.

CIE L parametresi sayısal değer olarak 0 ila 100 arasında tanımlanır. Mükemmel beyaz rengin L değeri 100 iken, mükemmel siyah rengin L değeri 0'dır (Horn vd., 1998)

CIE L değeri, Munsell sistemindeki parlaklık (value) değerine benzerdir ve nesnelerin parlaklığını ölçer (Cho vd., 2007).

2.5.2.2. a* Parametresi

CIELAB sisteminin üç parametresinden biri olan a parametresi üç boyutlu renk uzayında a eksenini olarak ifade edilen ekseninde yer alır ve bu eksen L eksenini etrafında döner. CIE a parametresi rengin kırmızı veya yeşil derecesini ifade eder. Kırmızı pozitif uçta bulunurken; yeşil negatif uç tarafındadır (Cho vd., 2007). Pozitif a değeri rengin kırmızılık derecesinin, negatif a değeri ise yeşillik derecesinin daha fazla olduğunu gösterir. a parametresi pozitif değer aldığı anda renk daha kırmızı, negatif değer aldığı anda ise yeşil hale gelir.

CIE a parametresi değeri beyaz ve gri gibi nötral renklerde sıfıra yaklaşırken, yoğun ya da doymuş renklerde artmaktadır (Altunsoy, 2001).

2.5.2.3. b* Parametresi

CIELAB sisteminin üç parametresinden biri olan b parametresi üç boyutlu renk uzayında b eksenini olarak ifade edilen ekseninde yer alır ve bu eksen a parametresinde olduğu gibi L eksenini etrafında döner. CIE b parametresi rengin sarı veya mavi derecesini ifade eder. b parametresi pozitif değer aldığı anda renk sarı, negatif değer aldığı anda ise mavi hale gelir. Pozitif b sarılık derecesinin, negatif b ise mavilik derecesinin daha yoğun olduğunu gösterir (Van Der Burgt vd., 1985).

CIE b değeri, CIE a değerinde olduğu gibi beyaz ve gri gibi nötral renklerde sifıra yaklaşırken, yoğun ya da doymun renklerde artmaktadır (Altunsoy, 2001).

CIE a ve b değeri, rengin yoğunluk kısmının belirleyicileri olsalar da Munsell sistemindeki ana renk (hue) ve yoğunluk (chroma) ile birebir örtüşmezler (Lichter vd., 2000).

2.6 Renk Farkı formülleri

Renk farkı formülleri, belirli deneysel koşullar dahilinde bir çift renkli cisim arasındaki renk farkının sayısal bir gösterimini sağlamak üzere geliştirilmiş formüllerdir. Renk farkı formülleri, dental materyallerin işlenmesinden kaynaklanan renk değişiminin nicelleştirilmesi (Rosenstiel vd., 1989), dental renk skalalarının kapsama hatasının tanımlanması (Bayindir vd., 2007) , renk doğruluğu ve hassasiyeti (Wee vd., 2006), renk algılanabilirliği ve kabul edilebilirliği (Wee vd., 2007) ve yarı saydamlık parametresi dahil olmak üzere dental araştırma ve uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Johnston vd., 1995).

ΔE , iki nesne arasındaki renk farklılıklarının sayısal değerlerini temsil eder ancak renk farkının yönünü gösteremez. Yani mutlak değerdir. Bu değer ne kadar fazlaysa renk farkı o kadar büyüktür ve buna bağlı olarak insan gözü tarafından renk farkının algılanabilirliği yüksek olur. ΔE değerinin az olması ise iki nesne arasındaki renk farkının az olduğunu belirtir. İnsan gözü tarafından renk farkının algılanabilirliği, ΔE değeri küçüldükçe azalır.

2.6.1 CIELAB Renk Farkı Formülü (ΔE_{AB})

1976 yılında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), görsel algılama derecesi ile uyumlu CIELAB renk uzayını tanımlamıştı. CIELAB renk uzayının tanımı ile iki cisim arasındaki renk farkını hesaplamak için CIELAB (1976) renk farkı formülü geliştirilmiştir (Çinko & Becerir, 2019).

Renk tespiti yapılan iki farklı cisim arasındaki renk farkı, CIELAB renk farkı formülü kullanılarak CIELAB renk uzayında L, a ve b değerlerini temsil eden noktalar arasındaki doğrusal (öklid) mesafesi ile hesaplanır:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

ΔE_{ab} formülünde yer alan L1, a1 ve b1 ilk renk ölçüm değerleri iken, L2, a2 ve b2 ise ikinci renk ölçüm değerleridir. Farklı formüllerde kısaca ΔL , Δa ve Δb şeklinde de ifade edilebilir.

ΔE_{ab} değeri, aynı ya da farklı örnekler için kullanılabilir. İki farklı cismin arasındaki renk farkı ölçülebileceği gibi aynı cismin zaman içindeki renk değişimi de L, a ve b parametrelerindeki değerlerin değişiklikleri ile ölçülebilir. ΔE_{ab} değerinin sıfır olması iki rengin aynı olduğunu, ΔE_{ab} değerinin sıfırdan farklı olması ise renk farklılığı olduğu anlamına gelir. Bu değer yükseldikçe renk farklılığı artar ve daha belirgin olmaya başladığı için göz tarafından algılanabilirliği artar. Diş hekimliği alanında yapılan araştırmalara göre klinik olarak insan gözünün renk farklılığını tespit edebileceği ΔE_{ab} değer eşiği hakkında tam olarak netlik sağlanamamıştır (Ishikawa-Nagai vd., 2009).

CIELAB renk farkı formülü diş hekimliği araştırmalarında ve uygulamalarında yaygın olarak kullanılmıştır. Seramik kronların renk stabilitesinin in vivo ölçülmesi (Olms & Setz, 2013), diş rengi prevalansı (Elamin vd., 2015), diş beyazlatma çalışmaları (Tabatabaian vd., 2018), monolitik zirkonyumun kalınlığının nihai renk üzerindeki etkisi (Tabatabaian vd., 2018), Vita Classical renk tonları kullanılarak diş beyazlatmadaki renk değişiminin tahmini (Herrera vd., 2010) bu formülün kullanıldığı bazı çalışma konularıdır (Pérez, Pecho, vd., 2019).

CIELAB formülü ile hesaplandığında aynı renk farklılığına sahip olan iki çift cismi insan gözü farklı büyüklükte algılayabilir. Çünkü insan gözü, renklerdeki farklı parametrelerin değişikliklere karşı daha hassastır. Bu nedenle, CIELAB formülünün temelini oluşturan renk uzayındaki koordinatların doğrusal (öklid) uzaklığının hesaplanması fikri insan gözü ile uygun hassasiyette sonuçlar vermez (Çinko & Becerir, 2019).

CIELAB formülünün hesapladığı ve insan gözünün algıladığı bu renk farklılıkları arasındaki hassasiyeti düzeltmeyi amaçlayarak farklı renk farkı formülleri geliştirilmiştir. Geliştirilmiş bu renk farkı formülleri, CIELAB renk uzayındaki doygunluk ve renk tonu farklılıklarının daha hassas hesaplanması açısından birbirinden farklıdır (Wang vd., 2012).

2.6.2 CIE94 Renk Farkı Formülü (ΔE_{94})

1993'te Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), görsel olarak algılanan ve formülle hesaplanan değerlerin birbiri ile uyum göstermemesi ile birlikte renk parametrelerinin bu ilişkiyi etkilediği çıkarımına dayanarak yeni bir renk farkı formülü geliştirmeye başlamıştır. CIE, Berns ve arkadaşları tarafından önerilen sabit uyaran yöntemini kullanarak toplanan veri kümeleri ile ilgili araştırmalar yapmış ve CIELAB formülüne eklemeler yaparak CIE94 renk farkı formülünü ortaya koymuştur (Berns vd., 1991). Bu renk farkı formülünde önceki formül olan CIELAB'e göre ışıklılık, kroma ve renk açısı farklılıklarına (ΔL , ΔC ve ΔH) dair ağırlıklandırma faktörleri ilave edilmiştir.

CIE94 renk farkı formülü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Delta E_{94}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C_2^* - C_1^*}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{K_H S_H}\right)^2}$$

Formülde verilen S_L , S_C ve S_H değerleri CIE94 kabul edilebilirlik (tolerans) elipsoidi yarı-eksen uzunluklarıdır. K_L , K_C ve K_H değerleri ise rengin gözlem koşullarına bağlı olan düzeltme (parametrik) faktörleridir. Daha detaylı ifade edilirse S_L , S_C , S_H ağırlık faktörleri olarak adlandırılır. Toplam renk farkının L , a , b koordinatlarındaki renk farkı noktalarına ayarlanması yapılarak L (lightness), C (chroma) ve H (hue) değerlerinin ağırlık faktörü katsayısı hesaplanır. K_L , K_C , K_H parametrik faktörlerdir ve genelde 1 olarak kabul edilmektedir.

2.6.3 CMC (1 :c) Renk Farkı Formülü (ΔE_{CMC})

Boyacılar ve Renk Uzmanları Derneği (Society of Dyers and Colorists, SDC, Birleşik Krallık)'nin Renk Ölçüm Komitesi (Colour Measurement Committee, CMC, İngiltere) tarafından tekstil numuneleri kullanılarak elde edilen bir dizi deneysel sonuca dayanarak geliştirilen CMC(1:c) renk farkı formülü, CIELAB renk farkı formülünden sonra geliştirilen en eski formüllerden biridir (Clarke vd., 1984). Bu formül görsel koşullara bağlı parametrik faktörlerin karmaşık matematik formülleriyle uygun ağırlıklandırılması ve bazı ISO standartlarına göre birleştirilmesi ile geliştirilmiştir.

CMC(1 :c) renk farkı formülü aşağıda verilen şekilde hesaplanmaktadır:

$$\Delta E_{CMC}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{IS_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{cS_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{S_H}\right)^2}$$

Formüldeki ifadeler diğer renk farkı formülleri ile aynı parametreleri göstermektedir fakat hesaplamaları farklı şekilde yapılmaktadır. L, C ve H cismin standart ölçümüne ait olan değerlerdir ve ΔL , ΔC , ve ΔH , CIELAB formülünden hesaplanır. Geliştirilen bu formülde parametrik faktörler çoğunlukla $c = 1$ olarak seçilir ve normal şartlarda 1 ile 2 arasında değişmektedir. Örnek olarak tekstil sektöründe CMC(2:1) seçeneği yaygın olarak kullanılmaktadır. I ve c birer birim olarak alınırsa CMC (1:1) olarak ifade edilir. Değerin 1 olarak alınması ile formül, renk farklılıklarının az olduğu durumlarda değerlendirilmeyi daha güvenilir hale getirmektedir. CMC (1 :c) renk farkı formülüne göre hesaplanmış olan renk farkının görselle uyumu yaklaşık %95'tir (Becerir, 2023).

CMC(1:c) renk farkı formülünün küçük renk farklılıkları için CIELAB renk farkı formülüne göre daha iyi bir uyum gösterdiği bilinmesine rağmen, sonradan geliştirilen formüllerle kıyaslandığında iyi performans göstermediği ortaya konmuştur (Luo vd., 2001).

2.6.4 CIEDE2000 Renk Farkı Formülü (ΔE_{00})

2001 yılında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), dört farklı laboratuvarından alınan 3657 renk çiftini içeren deneysel verileri kullanarak geliştirdiği son renk farkı formülü olan CIEDE2000'i önermiştir. CIEDE2000 renk farkı formülü, CIELAB renk uzayındaki düzensizliği düzelten bir formüldür.

CIEDE2000 renk farkı formülü, CIELAB'in beş farklı noktada düzeltilmiş halidir. L değeri için farklı hesaplanmış bir ağırlıklandırma fonksiyonu, CIE94 formülünde de kullanılan yoğunluk (kroma) için bir ağırlıklandırma fonksiyonu hem renk açısı hem de yoğunluğa (kroma) bağlı olan renk tonu için bir ağırlıklandırma fonksiyonu, nötr renkler için düzeltilmiş a parametresi ve renk ile renk tonu etkileşimini hesaba katan bir döndürme terimi eklenmiştir.

CIEDE2000 formülünde yapılan en önemli düzeltme kroma düzeltmesidir. CIEDE2000 aynı zamanda CIE94 tarafından benimsenen altında $k_L = k_C = k_H = 1$

değerlerine sahip parametrik faktörleri de içermektedir. Formülde a ekseni, gri renklerde gözlemlenen düzensizliği giderecek şekilde güncellenmiştir (Arney, 2002).

CIEDE2000 renk farkı formülü için hesaplamalar aşağıdaki denkleme göre yapılır (Luo vd., 2001).

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)}$$

Formülde kullanılan terimler diğer formüllerle aynıdır ancak parametreler farklı şekillerde hesaplanmıştır. RT ise renk açısı dönüş terimini ifade etmektedir.

Açıklamak istenirse ΔL , ΔC ve ΔH , bir çift numune için sırasıyla her bir parametredeki (L, C ve H) farklılıklardır. Ağırlıklandırma fonksiyonları (S_L , S_C , S_H), renklerin L, a, b koordinatlarındaki konumundaki değişime göre toplam renk farkını ayarlar. Parametrik faktörler (K_L , K_C , K_H) deneysel koşullar için düzeltme terimleridir. Son olarak, RT ise rotasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. Mavi dalga boyunda renk ve rengin yoğunluğu arasındaki fark ilişkilendirilerek tespit edilir. Bu formül daha fazla renk özelliğini dikkate alır ve ayrıca diş hekimliğinde kritik olan L parametresine daha fazla değer verir (Tabatabaian vd., 2021). Açıklanan tüm renk farkı formülleri renk farklılıklarını hesaplamaktadır fakat CIEDE2000 formülü, diş hekimliği alanında algılanabilirlik ve kabul edilebilirliğe daha fazla odaklandığı için dental çalışmalarda daha yararlı görünmektedir (Wee vd., 2007).

CIEDE2000 renk farkı formülü diş hekimliği çalışmalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Pecho ve arkadaşları bu formülü kullanarak açıklık, kroma ve renk tonu farklılıklarının görsel renk uyumu üzerindeki etkisinin analiz edildiği bir çalışma yapmıştır (Pecho, Pérez, vd., 2016). Farklı bir çalışmada (Subaşı vd., 2018), CIEDE2000 renk farkı formülü, kahve ısı döngüsüne tabi tutulan yapılar için malzeme ve yapısal kalınlığın renk stabilitesi ve yarı saydamlık parametreleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Ayrıca simanların renk değişimi, CAD-CAM hibrit materyallerin renk değişiklikleri, CAD-CAM seramik sistemlerinin renk uyumu gibi konularda da bu formül kullanılmaktadır (Pérez, Pecho, vd., 2019).

2.6.5 ΔE_{NS} Renk Farkı Formülü

Mirjalili ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu renk farkı formülü, tamamen bitişik bir şekilde olan iki nesnenin arasındaki renk farklılıklarını ölçmek için geliştirilmiştir. Bitişik olan çiftler 'ayrım yok' (NS) şeklinde kısaltıldığı için geliştirilen formüle de ΔE_{NS} adı verilmiştir (Mirjalili vd., 2019).

Formülün geliştirilmesi aşamasında farklı renk farkı büyüklüklerinin etkisini incelemek için aralık bulunmayacak şekilde birbirine bitişik (NS özellikli) 1.012 adet numune çifti hazırlanmış ve 19 gözlemci tarafından değerlendirilmiştir. Birbirine bitişik olan (NS özellikli) çiftler ile aralarında minimum ayrım olan aynı çiftler karşılaştırıldığında renk farklılıkları olduğu ortaya konmuştur. Bu sebeple CIEDE2000 renk farkı formülünün geliştirilmiş hali olan ΔE_{NS} formülü tasarlanmıştır. Bu formüle göre, NS özellikli bir örnek çifti için CIEDE2000 renk farkı 9,1'den az olduğunda, daha büyük bir renk farkı ΔL değerinin daha büyük olmasına neden olurken, örnek çiftinin renk farkı 9,1'den büyük olduğunda ise etki tam tersidir yani ΔL değeri azalır ve bu nedenle toplam renk farkı da azalır.

ΔE_{NS} renk farkı formülü aşağıda verilen şekilde hesaplanmaktadır (Mirjalili vd., 2019):

$$\Delta E_{NS} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{D_L}\right)^2 + (\Delta C')^2 + (\Delta H')^2 + R_T(\Delta C')(\Delta H')}$$

$$D_L = 0,08\Delta E_{00} + 0,27$$

Formüldeki $\Delta L'$, $\Delta C'$ ve $\Delta H'$ açıklık, renk tonu ve renk tonu farklılıkları için CIEDE2000 renk farkı formülünde kullanılan terimlerdir. $R_T(\Delta C')(\Delta H')$ ise renk tonu ve renk tonu farklılıkları arasındaki etkileşiminin hesaplanmasını ifade etmektedir. ΔE_{00} ise CIEDE2000 renk farkı formülü ile hesaplanan renk farkıdır. Bu terimler, CIEDE2000'i hesaplamak için kullanılan prosedüre göre hesaplanır. ΔE_{00} 9,1'den küçük olduğunda, daha büyük bir renk farkı büyüklüğü daha yüksek bir ΔL değeriyle sonuçlanır, bu da daha düşük bir parlaklık farkına ($\Delta L'/D_L$) ve daha düşük bir ΔE_{NS} değerine yol açar. Bu çıkarım, iki örnek arasındaki sınırın renk farkını değerlendirmek için önemli olduğu anlamına gelir. 9,1'den büyük ΔE_{00} değerleri için etki tam tersidir (Mirjalili vd., 2019).

2.7 Diş Hekimliğinde Algılanabilirlik ve Kabul Edilebilirlik

Kavramları

Rengi değerlendiren diş araştırmalarında, sonuçların karşılaştırılabilmesi için bir algılanabilirlik ve/veya kabul edilebilirlik eşiği referans alınmaktadır. Bir renk farkının niceliksel değerlendirmesi, gözlemci tarafından algılanabilen fark ve klinik olarak kabul edilebilir renk fark eşik değerleri belirlenmedikçe ifade edilmesi zor olacaktır.

Diş hekimliğinde neredeyse mükemmel bir renk eşleşmesi %50:50 algılanabilirlik eşiğinde veya altında olan bir renk farkıdır. Kabul edilebilirlik ve algılanabilirlik toleransları karşılaştırılmadan araştırma ve çalışma bulguları klinik koşullara uygulamaları açısından uygun şekilde değerlendirilemez (Paravina vd., 2019).

İnsanlar iki nesne arasındaki renk farkını tespit edebildikleri için, böyle bir farkın kabul edilebilirliği konusunda farklılıklar olması muhtemeldir. Yani iki eşik değer arasında farklılıklar olabilir.

2.7.1 Algılanabilirlik

Algılanabilirlik, gözlemcilerin bir farkı tespit edip edemeyeceğinin psikofiziksel bir ölçüsüdür. Algılanabilir renk farkı ise, iki cisim arasındaki renk farkının gözlemci tarafından algılanabildiği renk farkını ifade eder. Yani görsel olarak tespit edilebilen renk farkı algılanabilir renk farkıdır.

Gözlemcilerin %50'sinin fark ettiği renk farkı, %50:50 algılanabilirlik eşiğine (perceptibility, PT) karşılık gelir (Pérez, Pecho, vd., 2019). Burada 50:50% PT gözlemcilerin yarısının karşılaştırılan nesneler arasında bir renk varyasyonu fark ederken diğer yarısının fark etmediği anlamına gelir.

Renk algılanabilirlik eşikleri, insan görsel sistemi tarafından fark edilebilen en küçük renk farkına atıfta bulunur ve göz algısının alt sınırını temsil eder (Linhares vd., 2008). Diş hekimliğinde mükemmel renk uyumu, %50:50 algılanabilirlik eşiğinde veya altında olan renk farkı olarak kabul edilir (International Organization for Standardization, 2016).

Algılanabilirlik renk farkı gözlemcilere yöneltilen soru ile tespit edilir. Bu soru şu şekilde sorulabilir: Bu iki numunenin renginde herhangi bir fark görüyor

musunuz? Gözlemcinin bu soruya cevabı olumsuz olursa arada renk farkı algılanamıyor demektir ve kabul edilebilirlik sorusunun sorulmasına gerek kalmaz (Paravina vd., 2019).

Dental alanda kullanılabildiği gibi bu algılanabilirlik eşiği özellikle endüstri olmak üzere farklı alanlarda da kullanılır. Renkli materyal üretiminde algılanabilirlik eşiğinin üstünde kalan değerlerde üretim yapılır. Sonrasında kabul edilebilirlik eşikleri (acceptability, AT) veya renk toleransları olarak bilinen daha büyük farklara geçiş yapılır.

2.7.2 Kabul edilebilirlik

Kabul edilebilirlik, gözlemcilerin bir farkı kabul edip edemeyeceğinin psikofiziksel bir ölçüsüdür. Kabul edilebilir renk farkı ise, iki cisim arasındaki algılanabilir olan renk farkının gözlemci tarafından kabul edilebildiği renk farkını ifade eder. Yani görsel olarak kabul edilebilen renk farkı kabul edilebilir renk farkıdır.

Gözlemcilerin %50'sinin kabul ettiği renk farkı, %50:50 kabul edilebilirlik eşiğine (AT) karşılık gelir (Pérez, Pecho, vd., 2019). Yani kabul edilemez bir değişiklik oluşturan büyüklük, kabul edilebilirlik eşiğidir. Dental alanda ise, gözlemcilerin %50'si dış restorasyonlarının renginin düzeltilmesi gerektirdiğini düşünürken, diğer %50'si renk farkının kabul edilebilir yani tolere edilebilir olduğunu ifade eder (International Organization for Standardization, 2016). Dış hekimliğinde kabul edilebilir bir renk eşleşmesi %50:50 kabul edilebilirlik eşiğinde veya altında bir renk farkıdır (International Organization for Standardization, 2016).

Kabul edilebilir renk farkı gözlemcilere yöneltilen soru ile tespit edilir. Bu soru şu şekilde sorulabilir: Bu iki numunenin arasındaki farkı klinik koşullar altında kabul edilebilir olarak değerlendirir misiniz? Gözlemcinin bu soruya cevabı evet ise aradaki renk farkının kabul edilebilir olduğunu savunuyordur. Hayır derse tam tersi geçerlidir. Algılanabilirlik sorusuna olumsuz cevap verildiği taktirde ise kabul edilebilirlik sorusunun sorulmasına gerek kalmaz (Paravina vd., 2019).

Daha yüksek yüzdelik algılanabilirlik değerleri artan renk farklılıklarına neden olurken, daha yüksek yüzdelik kabul edilebilirlik değerleri azalan renk farklılıklarına neden olur.

2.7.3 Algılanabilirlik ve Kabul Edilebilirlik Eşik Değer Eldesi ve Önemi

Renk algısını etkileyen temelde dört faktör vardır ve bu faktörlerden biri gözlemcidir. Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik seviyeleri gözlemci ile ilgili değişkenler olduğu için görsel eşik değerlerinin bilgisi hem farklı alanlarda hem klinik ve araştırmalar olmak üzere diş hekimliği alanında önem arz etmektedir (Chu vd., 2018). Bu görsel eşiklerin üzerindeki bir renk farkı değeri, renk uyumsuzluğu olarak kabul edilir.

Uluslararası Standardizasyon Örgütü'nün yayınladığı son renk rehberine göre (ISO/TR 28642:2016) yapılan ölçümler sonucunda renk değişiminin %50: %50 eşik değerler ile karşılaştırılması gerektiği bildirilmiştir.

Birçok farklı alanda, özellikle endüstride, algılanabilirlik eşik değerleri ve renk toleransı olarak da ifade edilebilen kabul edilebilirlik eşik değerleri alt sınır kabul edilerek materyal üretimi yapılır. Renk farkı eşikleri algısal sınırın alt seviyesini oluşturur ve insan gözü tarafından fark edilebilen maksimum renk sayısını belirlemek amacıyla kullanılabilir. Kaliteli bir üretim, farkları algılanabilirlik eşik sınırlarının altında tutmayı hedefler ve bu amaç doğrultusunda hareket edilir. Renk eşiklerinin önemi etkisiz kaldığında üretimde benzerlik eksikliği olur ve bu da genel ürün kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

Diş hekimliğinde kalite kontrolün önemi diğer alanlardan farklı değildir ve hastalar ile diş hekimlerinin artan estetik beklentileriyle beraber daha da önem taşımaktadır. Bu sebeple bahsedilen görsel eşikler diş hekimliği alanında da değerlidir.

Görsel eşikler diş hekimliği alanında temel olarak diş malzemelerinin değerlendirilmesi ve seçimi, klinik sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması, in vivo ve in vitro dental araştırmalar ve standardizasyon için bir kalite kontrol aracı ve kılavuzu olarak kullanılmaktadır (Paravina vd., 2019).

Doğru renk tonu için eşleştirmesi hedeflendiğinde renk skalalarının kapsama hatasının ideal olarak algılanabilirlik eşiklerinden, eğer bu sağlanamıyorsa en azından kabul edilebilirlik eşiklerinden daha az olması gerektiği makul görünmektedir. Bu bilgiye dayanarak görsel eşiklerin dental alanda renk skalası üretiminde kullanıldığı belirtilebilir.

Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri renk araştırmalarında geleneksel tanımlayıcı ve analitik istatistiklerin yorumlanmasında ekstra önem taşımaktadır. Renk farklılıklarının hesaplanması ve bu farkın algılanabilir ve kabul edilebilir olup olmadığının belirlenmesi sonuçların değerlendirilmesini yönlendirir. Farklı örnekler verilecek olursa ağartma etkinliğinin yorumlanması, görsel ve enstrümantal renk seçimi yöntemleri arasındaki uyumluluğun karşılaştırılması, dental materyal üretimi sırasındaki renk stabilitesi, dental renk tonu kılavuzlarının ideal üretimi, diş malzemeleri ile insan dokuları arasındaki renk uyumu, renk stabilitesi ve renk etkileşimi ile ilgili diğer alanlar için dental araştırmalarda bu eşik değerler kullanılmıştır (Moon vd., 2014). Ayrıca değerler, estetik dental materyallerin seçimini yönlendirmek, klinik performansı değerlendirmek ve klinik diş hekimliği, dental araştırmalar ve sonraki standardizasyondaki görsel ve enstrümantal bulguları yorumlamak için bir kalite kontrol aracı olarak hizmet edebilir (Pérez, Pecho, vd., 2019).

Görsel eşikler, birçok endüstri ve uygulama için önemli bir kalite kontrol aracı olduğu gibi diş hekimliğindeki önemi farklı değildir. PT'de veya altındaki renk eşleşmeleri ideal olur ancak algılanamayan bir eşleşme elde etmek maliyetli, zaman alıcıdır ve gerekli görülmebilir. Bununla birlikte, AT değerini bilmek, hastanın estetik sonuç beklentilerini karşılayarak kabulüne zemin hazırlayabilir. Tanımlayıcı ve analitik istatistiklerin sonuçlarından bağımsız olarak, klinik ve araştırma sonuçları, algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik toleranslarıyla bazı karşılaştırmalar yapılmadan gerçek yaşamla ilgili olarak tam olarak yorumlanamaz. Görsel eşikler; diş malzemelerinin değerlendirilmesi ve seçimi, klinik sonucun değerlendirilmesi ve yorumlanması, in vivo ve in vitro diş araştırmalarda standardizasyon için bir kalite kontrol aracı ve kılavuzu olarak diş hekimliğinde son derece önemlidir (Paravina vd., 2019).

Yapılan çalışmalarda klinik diş hekimliğinde algılanabilir minimum renk farkı (algılanabilirlik eşiği) ve kabul edilebilir minimum renk farkı (kabul edilebilirlik eşiği) değerleri konusunda fikir birliği bulunmamaktadır (Ishikawa-Nagai vd., 2009). Bu kapsamda yapılacak olan çalışmaların sonuçları, araştırmacılara renk uyumsuzluklarının klinik değerlendirmelerinin güvenilirliğini artırmada ve diş hekimliği pratiğinde renk seçimi sürecini daha iyi hale getirme de yardımcı olacaktır. Farklı renk farkı formüllerinin kullanımı farklı eşiğ değerlerin elde edilmesine neden olabilecektir.

Mevcut tez çalışmasının amacı, farklı renk farkı formülleri kullanarak %50:50 kabul edilebilirlik ve algılanabilirlik eşiği için kritik ΔE değerini belirlemektir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu araştırma için 15 adet 18 mm çapında ve 3 mm kalınlığında olacak şekilde disk şeklinde seramik örnekler hazırlandı. Örneklerin sayısal renk parametrelerinin ölçüm değerleri spektrofotometre ve bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ile renk analizi yöntemleri ile ölçüldü. Ardından diş hekimi, diş hekimliği öğrencisi, protetik diş tedavisi uzmanı, diş teknisyeni ve diğer mesleklerden olmak üzere beş farklı meslek grubundan toplam 110 katılımcı tarafından görsel değerlendirmeler yapıldı.

Disk şeklindeki seramik numunelerin renk ölçümlerinin belirtilen referans aralığının dışında olabilme, üretim sırasında fırında çatlama, porselen büzülmesi sonucu istenilen boyuttan küçük olabilme veya üretim sırasında kırılabilme ihtimalleri düşünülerek gerekli görülen 15 adetten daha fazla olarak yaklaşık 40 adet porselen örnek hazırlandı. Hazırlanan örneklerin yüzey işlemlerinin yapılmasından sonra spektrofotometre kullanılarak ilk renk ölçüm değerleri saptanmıştır. İstenilen referans değer aralığının ($L=38.0-89.5$, $a=0.3-12.2$, $b=5.7-35.7$) (Gozalo-Diaz vd., 2007) dışında kalan örnekler elendi. Referans değer aralığında kalan örneklerin renk ölçümleri tekrar BGT ile ölçüldü. Hem spektrofotometre hem de BGT ölçümleri sonucu istenilen değer aralığında kalan 15 adet örnek seçilmiş ve çalışmaya dahil edildi. Örneklerin hazırlanmasının ardından 15 adet örnek birbirleriyle bir defa yan yana gelecek şekilde toplamda 105 adet çift olarak eşleştirildi. Eşleşen her bir örnek çiftinin renk farkı spektrofotometre ve BGT ile ölçülen değerleri kullanarak ayrı ayrı 3 renk farkı formülü (ΔE_{00} , ΔE_{AB} ve ΔE_{NS}) ile hesaplandı. Renk parametreleri de (ΔL , Δa ve Δb) hesaplandı.

Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik ile ilgili soruların sorulması aşamasında standardize edilmiş bir ortam olarak özel hazırlanan demonte edilebilir ışık kabini üretildi. Renk değerlendirmesi yapacak olan çalışmaya katılan kişiler renk körlüğü testlerinden (İshihara renk körlüğü testi ve Farnsworth Munsell 100 ton testi) geçirildi ve yeterli sonucu alamayan kişiler çalışmaya dahil edilmedi. Görsel değerlendirme için kabin içerisine örnekler birbirine temas edecek şekilde yerleştirilerek 105 adet çift tek tek değiştirildi ve kişilere görsel değerlendirme soruları sorularak verilen cevaplar öncesinde hazırlanan veriler kaydedildi.

Tablo 3.1. Tez çalışmasında kullanılan malzeme listesi

Ürün Adı	Üretici Firma	Kullanım Amacı	Lot Numarası
VITA VMK Master porselen tozu (farklı renklerde)	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya	Porselen örneklerin hazırlanması	\$96770 \$98410 \$99560 \$92490 \$94600 \$99260
VITA VMK Master porselen likiti	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya	Porselen örneklerin hazırlanması	\$96310
VITA AKZENT Plus likit + toz	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya	Yüzey işlemleri	89080 \$202020
D65 VERİVİDE lamba 60 cm / 6500K	VeriVide, UK	Işık kabini standardizasyonu	7200257
Gateslab Munsell N7 Gri Mat Boya	Gateslab, Fransa	Işık kabini standardizasyonu	

Tablo 3.2. Tez çalışmasında kullanılan cihaz listesi

Ürün Adı	Üretici Firma	Kullanım Amacı
Hassas Mutfak Tartısı 500gr/0.01gr	Redmoon, Çin	Porselen örneklerin farklı renklerde hazırlanması
Dijital kumpas	Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japonya	Örneklerin boyut kontrolü
Ivoclar Vivadent Programat P300	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Porselen örneklerin fırınlanması
VITA Easyshade V	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya	Renk ölçümü

Samsung Galaxy A9	Samsung Galaxy serisi, Samsung, Güney Kore	Renk ölçümü
Dell G315 model bilgisayar	Dell Technologies, Round Rock, Teksas, ABD	Renk ölçümü

3.1 Çalışmanın Tasarımı

Çalışmada aşağıdaki basamaklar takip edilmiştir:

- 1)Porselen örneklerin hazırlanması
- 2)Örneklerin yüzey işlemlerinin yapılması
- 3)Spektrofotometre ile örneklerin ilk renk ölçümlerinin yapılması
- 4)Işık kabininin tasarlanması ve üretimi
- 5)Örneklerin dijital kamera kullanılarak fotoğraflarının çekilmesi
- 6)Bilgisayarlı görü teknikleri ile ikinci renk ölçümlerinin yapılması
- 7)Örneklerin eşleştirilmesi ve renk farklarının hesaplanması
- 8)Katılımcıların görsel değerlendirmeleri ve verilerin kaydedilmesi
- 9)İstatistiksel analiz

3.2 Porselen Örneklerin Hazırlanması

Çalışmada 18 mm çap ve 3 mm kalınlığa sahip disk şeklinde metal desteksiz porselen (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya) örnekler kullanıldı. 15 adet olacak şekilde üretilmesi planlanan örnekler, hazırlama aşamasında olası kırılma ve renklerin hedeflenen referans değerler arasında olmaması durumları göz önüne alınarak daha fazla sayıda yapıldı.

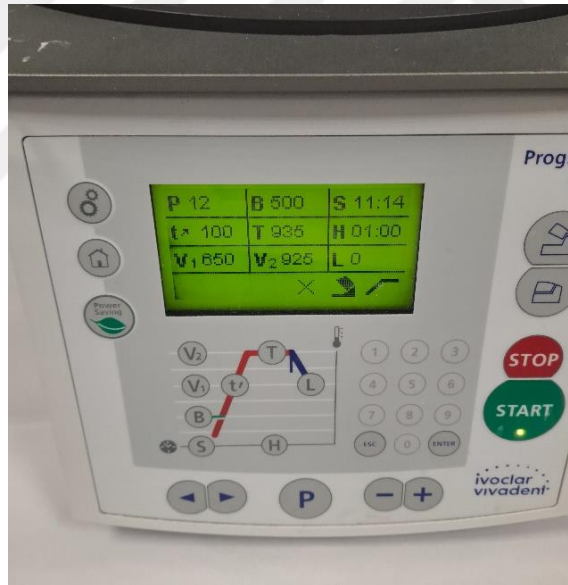


Şekil 3.1. Kullanılan porselen markaları

Porselenin fırında büzülme miktarı hesaba katılarak üretilen farklı boyutlardaki kalıplar içerisinde birkaç deneme yapılarak en uygun boyutlu kalıp seçildi ve porselen hamurları kalıplara yerleştirildi. Porselen fırınında (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) P12 programında pişirme işlemi yapıldı.



Şekil 3.2. Seramik örnekleri pişirmede kullanılan fırın makinesi



Şekil 3.3. Pişirme işleminde kullanılan program ayarları

Bazı örnekler fırınlama esnasında çatladığı için çalışmaya dahil edilemedi. Bazı örnekler de kondenzasyonun düzgün yapılamamasından kaynaklı olarak hava kabarcığı içerecek şekilde fırından çıkmıştı. Bu örnekler de çalışmaya dahil edilmedi.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılmayan birkaç porselen örnek

Fırlama sonrası porselen örnekler dijital kumpas kullanılarak kontrol edildi, örneklerden boyutları fazla olanlar porselen frezleri kullanılarak düzeltildi. Örneklerin boyutları dijital bir kumpas kullanılarak ölçüldü. Ardından istenilen boyutlara gelen örneklerin yüzey pürüzsüzlüğünü sağlamak için yüzey işlemleri tamamlandı.



Şekil 3.5. Porselen aşındırma frezleri

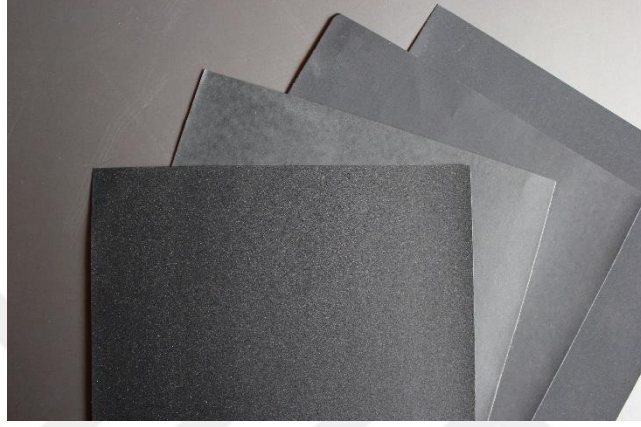


Şekil 3.6. Örneklerin boyut ölçümünde kullanılan dijital kumpas

3.3 Örneklerin Yüzey İşlemlerinin Yapılması

Elde edilen örneklerin kenarları dahil olacak şekilde tek yüzeyine bitirme işlemleri uygulandı. Renk ölçümleri ve görsel değerlendirmeler bu yüzey kullanılarak yapıldı.

İstenilen boyutlarda hazırlanan seramik örneklerin yüzey hazırlığı için silikon karbid aşındırma kağıtları kullanıldı. Sırasıyla 400, 600, 800 ve 1200 grit kağıtlar ile yüzey pürüzsüzlüğü sağlandıktan sonra örneklerin tümüne silikon karbid polisaj frezleri ile dakikada 10000 devir tur sayısı ile, parmak basıncı altında (10N), 10 saniye boyunca aynı araştırmacı tarafından polisaj işlemi yapıldı. Ardından üretici firmanın talimatları doğrultusunda glaze işlemi uygulandı.



Şekil 3.7. Yüzey işlemlerinde kullanılan zımpara kağıtları

Örneklerin boyutları son kez ölçülerek teyit edildikten sonra numaralandırıldı ve renk ölçümü işlemlerine geçildi.



Şekil 3.8. Örnek çapının dijital kumpasla ölçümü



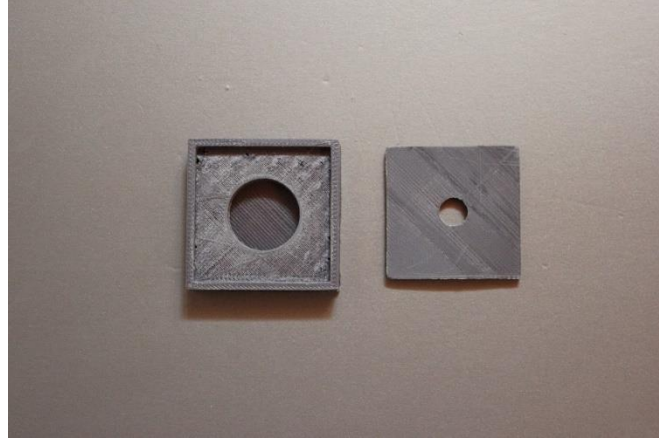
Şekil 3.9. Örnek kalınlığının dijital kumpasla ölçümü

3.4 Spektrofotometre ile Örneklerin İlk Renk Ölçümlerinin Yapılması

Örneklerin ilk ölçümleri temaslı bir spektrofotometre ile standardizasyonun sağlanabilmesi adına tamamen karanlık bir oda içerisinde yapıldı. Tüm örnekler gri kapaklı bir kutu içerisine yerleştirildi. Kutunun üzerinde spektrofotometrenin ölçüm ucunun sığabileceği şekilde bir boşluk tasarlandı ve ölçümler bu yüzeyden yapıldı.



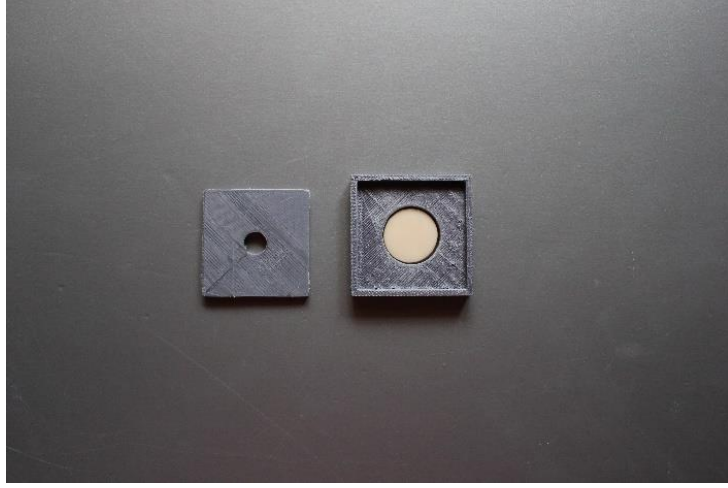
Şekil 3.10. Kullanılan spektrofotometre



Şekil 3.11. Spektrofotometre ile renk ölçümü sırasında kullanılan kutu

Örnekler 3'er kere ölçüldü ve L, a, b, C ve h değerleri ayrı ayrı kaydedildi. Son değer olarak her bir parametre için yapılan 3 ölçümün ortalaması alındı.

Örneklerin hem spektrofotometre hem de BGT kullanılarak yapılan renk ölçümlerinde anterior doğal dişlerdeki renk aralığında olması hedeflendi ($L=38.0-89.5$, $a=0.3-12.2$, $b=5,7-35,7$) (Gozalo-Diaz vd., 2007). Dolayısıyla, spektrofotometrik ölçümler sonucu bu değerler arasında olmayan örnekler çalışmaya dahil edilmemiştir.



Şekil 3.12. Seramik örneklerin gri kutuya yerleştirilmesi



Şekil 3.13. Örneklerin spektrofotometre ile renk ölçümleri

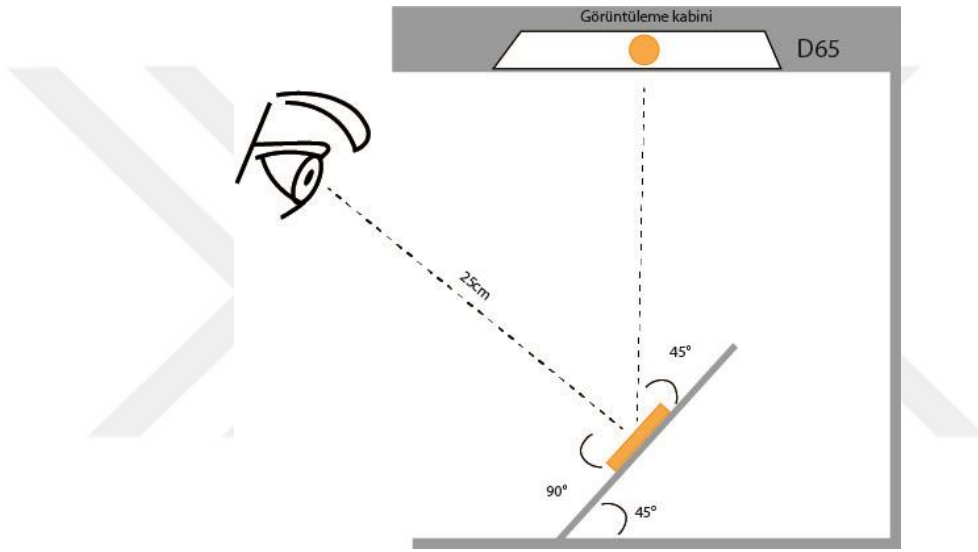
3.5 Işık Kabininin Tasarlanması ve Üretimi

Porselen örneklerin BGT tarafından renk ölçümü öncesinde gerekli olan fotoğraflarının çekilmesi ve görsel değerlendirmelerin yapılabilmesi adına özel olarak ışık kabini tasarlandı.

Kabin tasarımında seri üretimde bulunan 60 cm'lik ışık kabini ebatları referans alındı. Standart ışık kabinleri boyut ve ağırlığından dolayı taşınabilir olmadığı için çalışmada portatif bir ışık kabinine ihtiyaç duyuldu. Kabin tasarımının bilgisayar üzerinde yapılmasının ardından üretim aşamasına geçildi. Birbirine geçme yerleri sayesinde yaklaşık iki dakikalık süre içerisinde kurulabilen ışık kabininin iç yüzeyleri Munsell N7 mat gri boya ile boyandı. Işık kaynağı olarak D65 aydınlatma kullanıldı. Işık kaynağı üst tabakadan bağlandı ve örneklerin

yerleştirilmesinde kullanılmak üzere 45 derece eğimli ayrı bir ahşap plaka üretildi. Bu sayede hedeflenen aydınlatma geometrisi 45/0 olacak şekilde sağlandı. CIE tanımlarına göre bu geometrik tanımlamada ilk sayı aydınlatma açısını, “/” veya “:” işaretinden sonra gelen ikinci sayı da izleme açısını ifade etmektedir. Buna göre, örnekler normaline göre 45° açı ile duran bir ışık tarafından aydınlatılıyor ve gözlemci numuneyi üstünden görüntülüyorsa bu geometri 45/0 olarak ifade edilir.

Renk değerlendirmesi ve fotoğraf çekimleri sırasında standart bir mesafe sağlanabilmesi için ışık kabininin ön bölgesinde insan gözünün yerleşebileceği alınlı desteklenen ek bir parça üretildi. Mesafe 25 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.14. Tasarlanan ışık kabininin temsili çizimi (sağdan)

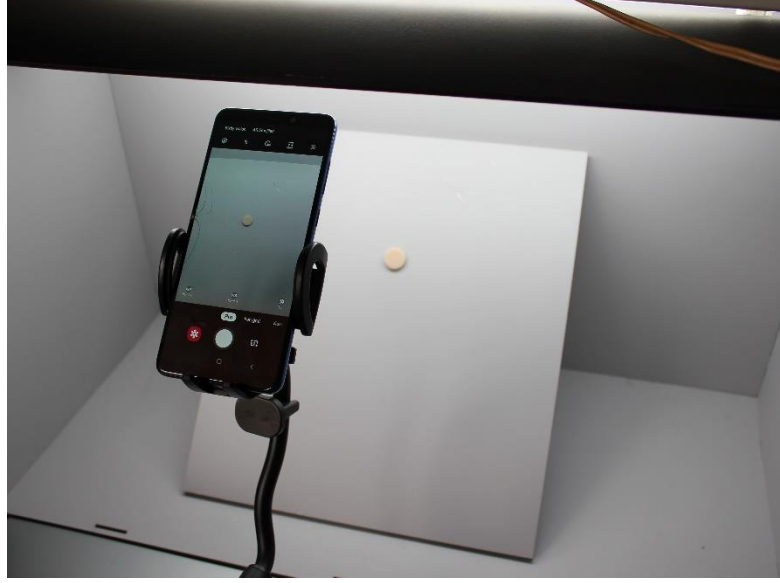


Şekil 3.15. Üretilen ışık kabini

Çalışmada ulaşılması hedeflenen 5 farklı gözlemci grubunun farklı şehirlerde olması sonucunda ortaya çıkabilecek aksaklıkların giderilmesini sağlamak için, ışık kabini taşınabilir olarak tasarlandı. Böylece katılımcılar için her standardizasyon sağlanabilmektedir.

3.6 Örneklerin Dijital Kamera Kullanılarak Fotoğraflarının Çekilmesi

İnsan gözü ile yapılacak değerlendirmelerde oluşan ortam koşullarının fotoğraf çekimlerinde de aynı olması hedeflenmiştir. Bu sayede görsel değerlendirmeler sonucunda belirlenecek eşik değerlerin doğruluğunun arttırılması sağlanmıştır. Dijital fotoğrafların çekilmesinde görsel değerlendirmelerde kullanılmak için üretilen ışık kabini kullanıldı. Akıllı bir telefon kamerası (Samsung Galaxy A9) kullanılarak 25 cm mesafeden örneklerin fotoğrafları çekildi.



Şekil 3.16. Fotoğraf çekiminde kullanılan düzenek

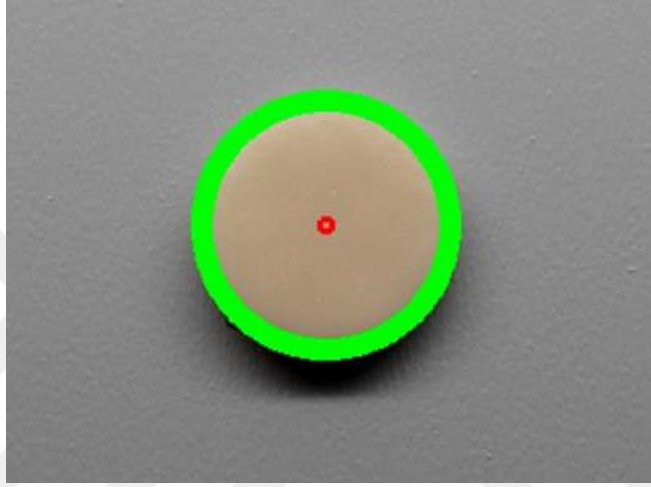


Şekil 3.17. Çekilen örneklerin birkaç görseli

3.7 Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT) Kullanılarak Seramik Yüzeylerde İkinci Renk Ölçümlerinin Yapılması

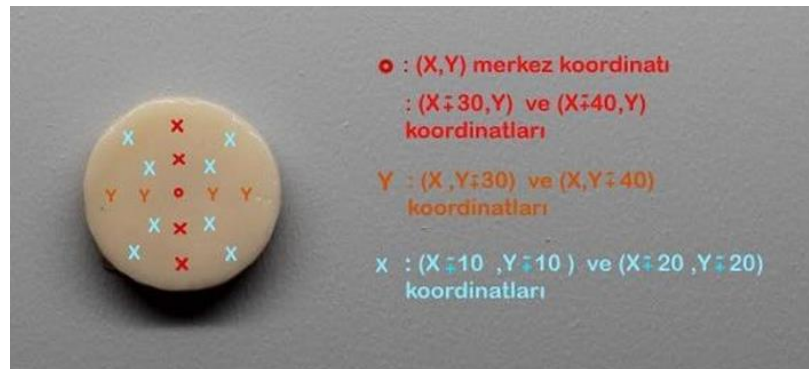
Spektrofotometre ölçümlerinin ardında istenen referans renk değerleri aralığında bulunan seramik örnekler cep telefonu kullanılarak ışık kabini içerisinde 25 cm mesafeden tek tek fotoğraflandı.

Yapılan tez çalışmasında, farklı uzaklıklardan çekilen seramik numune görüntüleri üzerinde otomatik renk ölçüm sistemi geliştirildi. ISO/TR 28642 (2016) yönergelerine uygun olarak seramik numunelerden 25 cm mesafelerden elde edilen yüksek çözünürlüklü (5184x3456 piksel) görüntüler kullanıldı. Çalışmada Python 3.11.9 versiyonu kullanılmış olup, OpenCV kütüphanesi ile görüntü işleme, NumPy ve Pandas ile matematiksel işlemler, OS kütüphanesi ile dosya sistemi işlemleri gerçekleştirildi. Seramik dairelerin tespiti için aşağıdaki şekilde gösterilen Hough Circles algoritması kullanıldı.



Şekil 3.18. Hough Circles algoritmasının çalışma prensibi

Tespit edilen her bir dairenin merkez noktasından renk ölçümü için sistematik örnekleme yapıldı. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, merkez noktadan ± 40 , ± 30 piksel dikey ve yatay yönde, ± 20 , ± 10 piksel çapraz yönlerde toplam 17 farklı noktadan örnekleme gerçekleştirildi.



Şekil 3.19. Örnekleme stratejisi

Renk dönüşüm işlemi iki aşamada gerçekleştirildi. İlk olarak, ölçülen BGR değerleri RGB formatına dönüştürüldü ve [0,1] aralığına normalize edildi. Ardından, normalize edilmiş RGB değerleri XYZ renk uzayına dönüştürüldü. Bu dönüşüm için aşağıda verilen formüller kullanıldı (Lateef Albukhnefis, 2024).

$$X = 0.4124564 .R + 0.3575761 .G + 0.1804375 .B$$

$$Y = 0.2126729 .R + 0.7151522 .G + 0.0721750 .B$$

$$Z = 0.0193339 .R + 0.1191920 .G + 0.9503041 .B$$

İkinci aşamada, XYZ değerleri CIE Lab* renk uzayına dönüştürüldü. Bu dönüşüm için aşağıda verilen formüller kullanıldı:

$$L^* = 116. f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$a^* = 500. \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right]$$

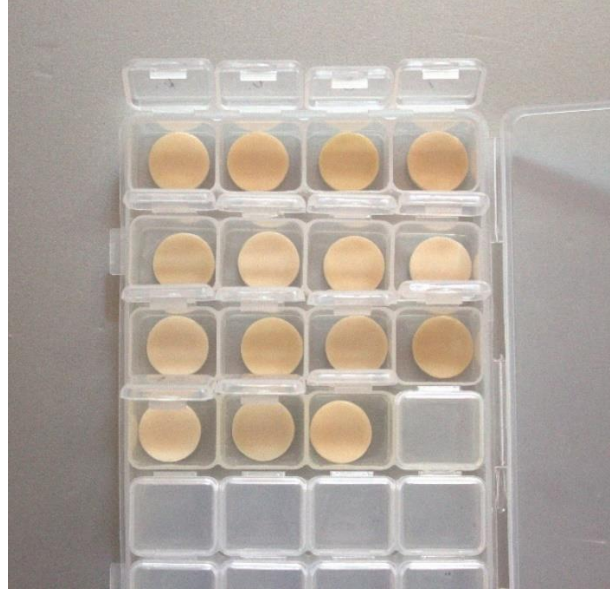
$$b^* = 200. \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$$

Burada $X_n=0.95047$, $Y_n=1.00000$ ve $Z_n=1.08883$ değerleri D65 aydınlatıcı için referans beyaz nokta değerleridir. $f(t)$ fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{if } t \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tüm bu işlemler DELL G315 model, Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU @ 2.50GHz işlemcili, NVIDIA GTX1650TI 4GB ekran kartlı, 8GB RAM'e sahip, Windows 11 Home 23H2 işletim sisteminde gerçekleştirildi.

Tüm seramik örneklerin anterior doğal dişlerdeki renk aralığında olması hedeflendiği için hem spektrofotometre hem de BGT kullanılarak yapılan renk ölçümlerinde bu değerler arasında olmayan örnekler çalışma dışında bırakılmıştır. İki ölçüm yöntemine göre istenilen değerleri sağlayan toplam 15 örnek seçildi.



Şekil 3.20. Seçilen 15 örneğin toplu fotoğrafı

3.8 Örneklerin Eşleştirilmesi ve Renk Farklarının Hesaplanması

Renk ölçümlerinin ardından seçilen 15 seramik örnek ikişer ikişer eşleştirilerek toplamda 105 farklı renk kombinasyonu elde edildi. Çalışmada renk farkının yönü önemli görülmediği için ikili kombinasyonlar kendi arasında tekrarlılık göstermemektedir. Örneğin sağ tarafa 11. örnek sol tarafa 12. örnek yerleştirildiğinde yerleri değiştirilerek tekrar gözlemciye sunulmadı.



Şekil 3.21. İkili seramik örnek fotoğrafı

Eşleştirmenin ardından ΔE_{00} , ΔE_{AB} ve ΔE_{NS} formülleri kullanılarak seramik örnek çiftleri arasındaki renk farklılıkları ve ΔL , Δa , Δb değerleri hesaplandı. Hesaplamalar birinci ölçüm yöntemi olarak kullanılan spektrofotometre

ve ikinci ölçüm yöntemi olarak kullanılan dijital fotoğraflar üzerinden bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) kullanılarak renk ölçümü yöntemlerinin her ikisi için ayrı ayrı yapıldı. Excel dosyasına veriler kaydedildikten sonra görsel değerlendirme aşamasına geçildi.

3.9 Katılımcıların Görsel Değerlendirmeleri ve Verilerin Kaydedilmesi

Görsel değerlendirmelerde verilen yanıtların kaydedilmesi adına eşleştirilen seramik çiftlerinin içinde bulunduğu bir tablo oluşturuldu. Arkalı önlü olacak şekilde A4 dosyasının ön yüzüne bilgilendirilmiş onam formu eklendi, arka yüzeye oluşturulan tablo ve bireylerin yaşı, mesleği, cinsiyeti ile görsel testlerden aldığı skorları içeren kısa bir bilgi kısmı ilave edildi.

Katılımcının grubu: Yaşı: Cinsiyeti:

Renk körlüğü testi: Munshell 100 Ton testi :

Algılanabilirlik		Kabul Edilebilirlik		Algılanabilirlik		Kabul Edilebilirlik		Algılanabilirlik		Kabul Edilebilirlik	
1-2				3-12				7-9			
1-3				3-13				7-10			
1-4				3-14				7-11			
1-5				3-15				7-12			
1-6				4-5				7-13			
1-7				4-6				7-14			
1-8				4-7				7-15			
1-9				4-8				8-9			
1-10				4-9				8-10			
1-11				4-10				8-11			
1-12				4-11				8-12			
1-13				4-12				8-13			
1-14				4-13				8-14			
1-15				4-14				8-15			
2-3				4-15				9-10			
2-4				5-6				9-11			
2-5				5-7				9-12			
2-6				5-8				9-13			
2-7				5-9				9-14			
2-8				5-10				9-15			
2-9				5-11				10-11			
2-10				5-12				10-12			
2-11				5-13				10-13			
2-12				5-14				10-14			
2-13				5-15				10-15			
2-14				6-7				11-12			
2-15				6-8				11-13			
3-4				6-9				11-14			
3-5				6-10				11-15			
3-6				6-11				12-13			
3-7				6-12				12-14			
3-8				6-13				12-15			
3-9				6-14				13-14			
3-10				6-15				13-15			
3-11				7-8				14-15			

Şekil 3.22. Görsel değerlendirmeler için işaretleme kağıdı

Görsel değerlendirmeler için Paravina ve arkadaşlarının yayınlamış olduğu makalede (Paravina vd., 2019) belirttikleri gibi en az 20 katılımcı olması bilgisi dikkate alınarak ve çalışmanın güvenilirliğini arttırmak için katılımcı sayısı %10 arttırılarak her grup için 22 kişi olarak belirlendi.

Çalışmada 5 grup olması planlandı. Dahil edilen gruplar diş hekimi, teknisyen, protez uzmanı, diş hekimliği öğrencisi ve diş hekimliği mesleği dışındaki kişiler olarak belirlendi. Her gruptan açıklandığı üzere 22 katılımcı hedeflendi ve katılımcıların cinsiyete göre eşit dağılmasına (11 kadın, 11 erkek) dikkat edildi.

Çalışmaya katılabilmek için katılımcıların belirli görsel testlerden geçmesi gerekli görüldü. Bu testler Ishihara Renk Körlüğü Testi ve Farnsworth-Munsell 100 Ton Testidir. Ishihara Renk Körlüğü Testi, kırmızı-yeşil renk eksiklikleri için bir testtir. Her biri, görünüşte rastgele bir şekilde yayılmış, biraz farklı renklerde birçok farklı boyutta noktadan oluşan bir daire içeren bir dizi renkli plakadan oluşur. Noktalardan oluşan desenin içerisinde yalnızca renkle ayırt edilen bir sayı vardır. Bu testte yeterli başarıyı gösteremeyen katılımcılar görsel değerlendirme aşamasına dahil edilmedi. Farnsworth-Munsell 100 Hue Testi ise, belirli bir rengin çeşitli tonlarını ayırt etme yeteneğini test eder. Test, gözlemcinin renkleri ayırt etmede üstün mü, ortalama mı yoksa zayıf mı olduğunu belirleyebilmektedir. Yine bu testten de geçerli not alamayan katılımcılar çalışmaya dahil edilmedi. Toplamda 5 kişi çalışmaya dahil edilemedi. Bu kişilerin cinsiyete göre dağılımı 3 erkek, 2 kadındır. Meslek gruplarına göre ise 5 kişiden 3'ü meslek dışı grupta bulunuyordu, diğer 2 kişi ise diş hekimiydi.

Katılımcılardan bilgilendirilmiş onam formu alındıktan sonra 2 görsel test uygulandı ve yeterlilik gösteren katılımcılar görsel değerlendirme aşamasına geçti. Hazırlanmış olan ışık kabini kuruldu ve katılımcılardan seramik çiftleri gözlemlemesi istendi. Seramik çiftler birbirleri ile rastgele eşleştirildi, tüm gözlemcilere aynı sıra ile sunuldu. Öncesinde çalışmaya dair detaylı bilgilendirilen katılımcıların önüne seramik çiftleri koyulduktan sonra ilk soru algılanabilirlik ile ilgili olan soruydu. 'Gördüğünüz seramik çiftler arasında herhangi bir renk farkı algılayabiliyor musunuz?' şeklinde sorulan soruya verilen yanıt 'evet' ise formda ilgili yere artı (+) koyulmuş, verilen yanıt 'hayır' ise ilgili bölüme eksi (-) koyuldu. Daha sonra ikinci soruya geçildi. Bu soru kabul edilebilirlik ile ilgilidir. 'Görülen

seramik çift renkleri kullanılarak bir protez yapılacak olsa arada var olan renk farkını kendi ağzınızda kabul eder misiniz?’ ya da ‘Sağ taraftaki seramik renginin kendi dişiniz olduğunu hayal edin, yanındaki dişinize bir protez yapacak olsak solda gördüğünüz rengi seçtiğimizde aradaki renk farkı sizin için kabul edilebilir durumda mıdır?’ soruları sorularak verilen yanıtlar kaydedildi. Aynı şekilde bu sorulara yanıt ‘evet’ olduysa ilgili yere artı (+), ‘hayır’ cevabı alındıysa ilgili bölüme eksi (-) işareti koyuldu. Algılanabilirliği ölçmeyi hedefleyen ilk soruya yanıt ‘hayır’ olan katılımcılara iki rengi aynı gördükleri varsayıldığı için 2. sorunun sorulmasına gerek duyulmadı, kabul edilebilirliği ölçmeyi hedefleyen 2. sorunun cevabı ‘evet’ olarak işaretlendi. Tüm cevaplar aynı araştırmacı tarafından kayıt altına alındı. Toplamda 105 adet olan seramik çiftlerin her biri için aynı prosedür uygulandı. Sorular esnasında göz yorgunluğu yaşayan katılımcılara gözlerini mat gri çevreye bakarak dinlendirebilecekleri süre verildi. Çalışma için bir zaman sınırlandırması bulunmamaktaydı, ancak ortalama olarak 105 değerlendirmenin yapılması 25 dakika sürdü.



Şekil 3.23. Gözlem yapan bir katılımcı



Şekil 3.24. Eşleşen bir seramik çifti görseli

3.10 İstatistiksel Analiz

Görsel olarak algılanan ve kabul edilebilir renk farkları ile ölçümler arasındaki korelasyonu incelemek için S-şekilli (sigmoid) eğri kullanıldı. Bu kapsamda, her renk çifti için görsel değerlendirme yanıtlarının yüzdesi (% kabul edilebilir veya % algılanabilir), ölçülen renk farkları (ΔE_{00} , ΔE_{AB} , ΔE_{NS} , ΔL , Δa ve Δb ile karşılaştırılarak grafik haline getirildi.

Ardından, aşağıdaki denklemle verilen S-şekilli (sigmoid) bir eğri uyumlandırıldı:

$$y = \frac{A}{1 + \exp(B + Cx)}$$

Bu denklemde A (Asimptot Değeri), eğrinin üst sınırını belirler ve maksimum yanıt değerini temsil eder (örneğin, 100% gibi). Bu, algılanabilirlik veya kabul edilebilirlik oranının üst sınırı olarak yorumlanır. B (Kesme Noktası), eğrinin x eksenine ile kesiştiği noktadır. C (Eğim), eğrinin dikliğini belirler. Büyük C değerleri, eğrinin daha dik olmasına neden olur. Küçük C değerleri, daha yayvan (daha yavaş değişen) bir eğri oluşturur.

Bu işlem, R nls paketi kullanılarak iteratif (ardışık yaklaşımlı) bir algoritma ile gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında, fonksiyonun ve türevlerinin değerleri adım adım optimize edilerek korelasyon katsayısını (r) maksimize edecek en iyi uyum sağlanmıştır.

Elde edilen eğrilerden hareketle her bir ölçüm için 50:50 eşik değeri (%50 pozitif yanıt ve %50 negatif yanıt) hesaplandı ve %95 güven aralıkları tahmin edildi. 50% ΔE noktası, bir gözlemcinin iki seçenekli bir değerlendirme yapma olasılığının %50 olduğu renk farkı olarak tanımlanmıştır. Bu 50% ΔE noktası, algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik seviyelerini temsil etmektedir ve her iki değerlendirme türü için ayrı ayrı hesaplandı.



4. BULGULAR

Çalışmadaki seramik çiftlerinin ΔE_{00} , ΔE_{AB} , ΔE_{NS} , ΔL , Δa ve Δb ortalama değerleri ve standart sapmaları hesaplandı.

Tablo 4.1. ΔE_{00} , ΔE_{AB} , ΔE_{NS} , ΔL , Δa ve Δb formüllerin tanımlayıcı istatistikleri

	Ortalama	Standard Sapma	Medyan	Min-Max
Spektrofotometre				
ΔE_{00}	4.75	2.84	4.09	0.61-13.79
ΔE_{AB}	7.93	4.35	6.97	0.86-21.16
ΔE_{NS}	9.76	3.48	10.02	1.07-16.86
ΔL	5.91	4.07	5.40	0.00-18.70
Δa	1.02	0.75	0.90	0.00-2.90
Δb	4.41	3.03	4.10	0.10-10.00
Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT)				
ΔE_{00}	3.61	1.77	3.33	0.50-9.76
ΔE_{AB}	5.23	2.63	4.82	0.59-13.96
ΔE_{NS}	7.05	2.74	7.26	0.78-13.61
ΔL	3.40	2.45	2.88	0.03-11.88
Δa	0.88	0.71	0.64	0.00-2.93
Δb	3.28	2.17	3.07	0.00-8.54

Tablo 4.1; Spektrofotometre ve bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) kullanılarak hesaplanan ΔE_{00} , ΔE_{AB} , ΔE_{NS} , ΔL , Δa ve Δb formüllerin tanımlayıcı istatistiklerini göstermektedir.

Tablo 4.2. Spektrofotometre ve BGT ölçümlerinin 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşiği (AT) ile 95% güven aralıkları

	Algılanabilirlik		Kabul edilebilirlik	
	Eşik değeri	%95 GA	Eşik değeri	%95 GA
Spektrofotometre				
ΔE_{00}	0.89	0.70- 1.09	1.74	1.48- 1.99
ΔE_{AB}	1.24	0.83- 1.65	3.40	2.79- 3.90
ΔE_{NS}	1.80	0.71- 2.88	4.98	4.02- 5.92
ΔL	0.96	0.15- 1.76	1.43	0.21- 3.10
Δa	0.29	0.04- 0.76	0.36	0.06- 0.79
Δb	0.83	0.21- 1.86	1.99	1.32- 2.66
Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT)				
ΔE_{00}	0.59	0.22- 0.96	1.34	0.43- 2.25
ΔE_{AB}	0.74	0.27- 1.22	2.07	1.15- 3.00
ΔE_{NS}	1.15	0.18- 2.11	2.62	1.24- 4.00
ΔL	0.62	0.03- 1.82	1.13	0.29- 3.21
Δa	0.15	0.00- 0.45	0.26	0.00- 0.81
Δb	0.76	0.08- 1.83	1.55	1.14- 1.96

Tablo 4.2; Spektrofotometre ve bilgisayarlı görüş teknikleri (BGT) kullanılarak hesaplanan 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşik değerlerini ve bunların %95 güven aralıklarını (GA) göstermektedir.

4.1 Spektrofotometre Sonuçları

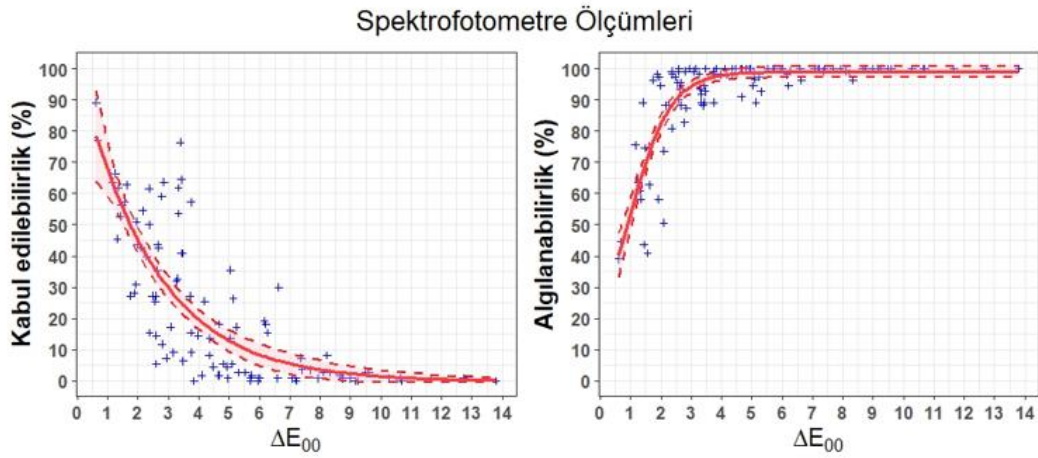
Tablo 4.3. Spektrofotometre ile renk ölçüm değerlerine göre 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşikleri

	Algılanabilirlik	Kabul Edilebilirlik
Spektrofotometre		
ΔE_{00}	0.89	1.74
ΔE_{AB}	1.24	3.40
ΔE_{NS}	1.80	4.98
ΔL	0.96	1.43
Δa	0.29	0.36
Δb	0.83	1.99

Tablo 4.3; spektrofotometre ile renk ölçümü değerlerinin katılımcıların tümü için hesaplanan genel 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşik değerlerinin özetini göstermektedir.

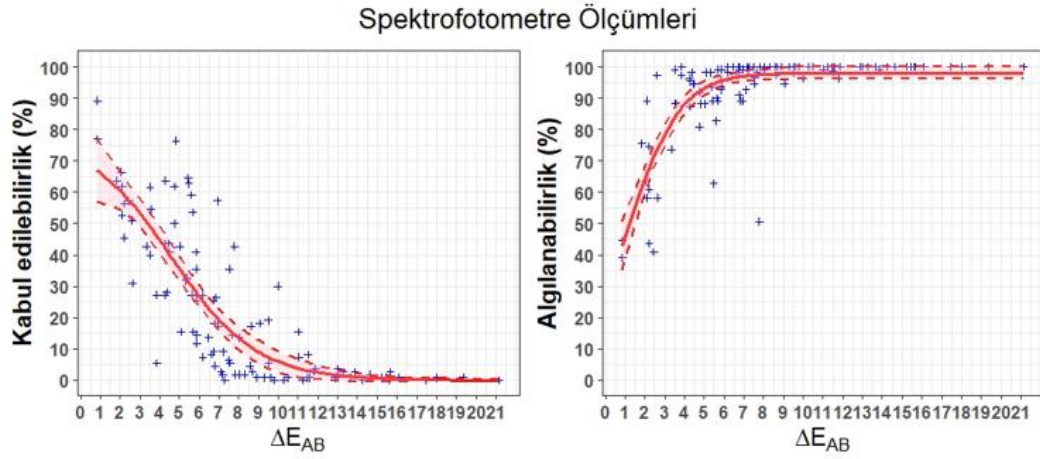
ΔE_{00} için genel algılanabilirlik eşiği 0.89 olup (%95 GA: 0.70- 1.09), genel kabul edilebilirlik eşiği ise 1.74 ((%95 GA: 1.48- 1.99) bulunmuştur (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Spektrofotometre ölçümlerine göre ΔE_{00} için hesaplanan eşik değerler



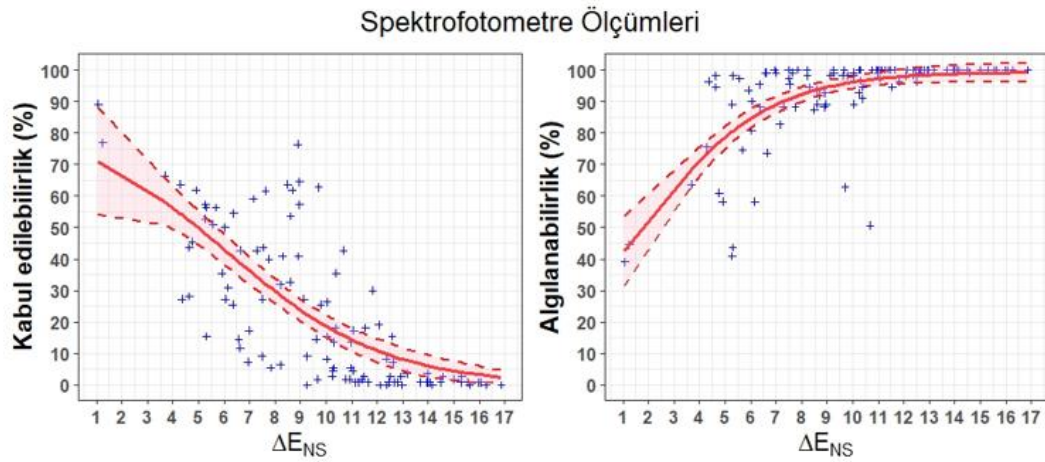
ΔE_{AB} için genel algılanabilirlik eşiği 1.24 (%95 GA: 0.83- 1.65) olup, genel kabul edilebilirlik eşiği ise 3.40 (%95 GA: 2.79- 3.90) olarak bulunmuştur (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Spektrofotometre ölçümlerine göre ΔE_{AB} için hesaplanan eşik değerler



ΔE_{NS} için genel algılanabilirlik eşiği 1.80 (%95 GA: 0.71- 2.88) olup, genel kabul edilebilirlik eşiği ise 4.98 (%95 GA: 4.02- 5.92) olarak bulunmuştur (Tablo 4.6).

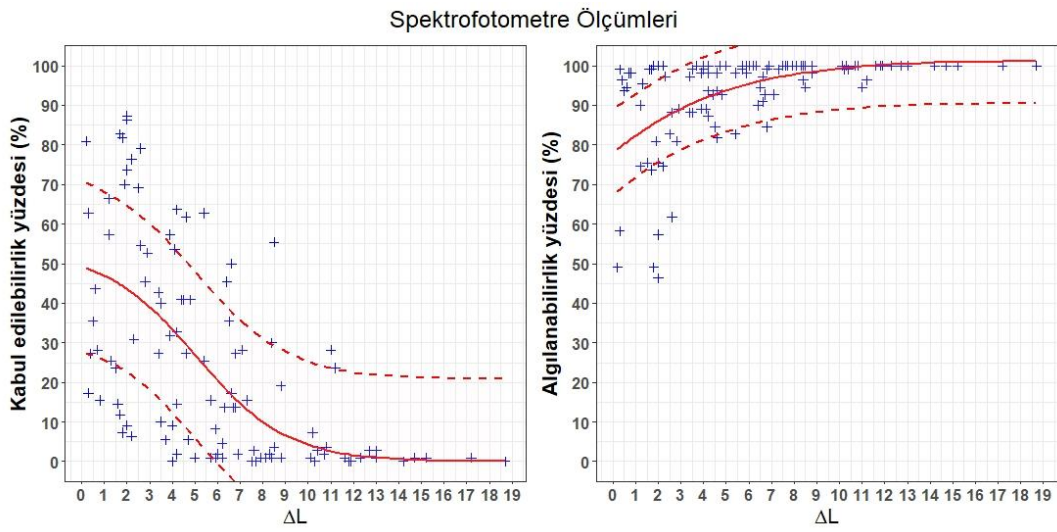
Tablo 4.6. Spektrofotometre ölçümlerine göre ΔE_{NS} için hesaplanan eşik değerler



ΔL , Δa ve Δb için kabul edilebilirlik eşikleri daha düşük bulunmuştur. Bu, değişkenlerin diğerlerine kıyasla daha dar bir tolerans aralığında değerlendirildiğini gösterir (Tablo 4.3).

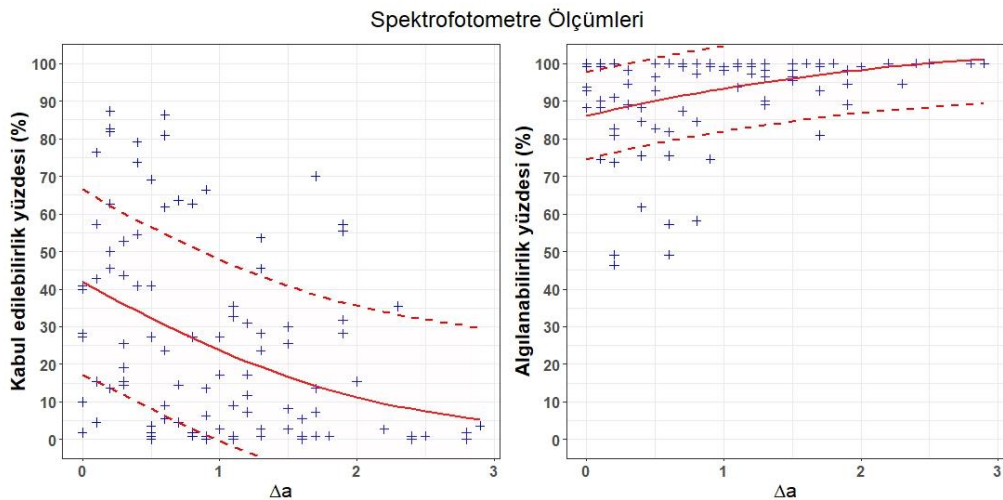
ΔL değişkeni için algılanabilirlik eşiği 0.96 (%95 GA: 0.15 - 1.76) olup, kabul edilebilirlik eşiği ise 1.43 (%95 GA: 0.21-3.10) olarak belirlenmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Spektrofotometre ölçümlerine göre ΔL için hesaplanan eşik değerler



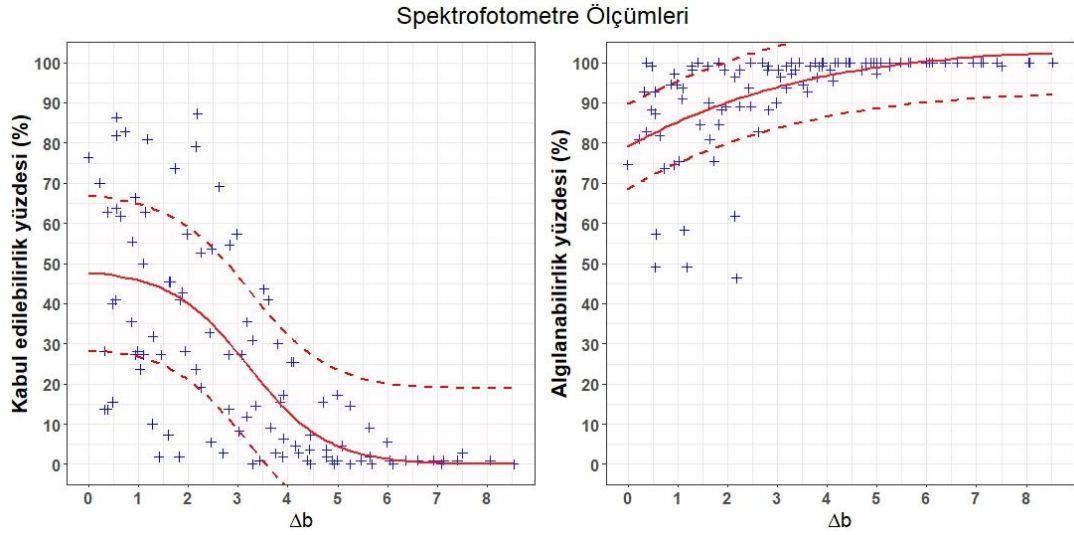
Δa için algılanabilirlik eşiği 0.29 (%95 GA: 0.04 - 0.76) olup, kabul edilebilirlik eşiği ise 0.36 (%95 GA: 0.06 - 0.79) olarak bulunmuştur (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Spektrofotometre ölçümlerine göre Δa için hesaplanan eşik değerler



Δb için algılanabilirlik eşiği 0.83 (%95 GA: 0.21 - 1.86) olup, kabul edilebilirlik eşiği ise 1.99 (%95 GA: 1.32 - 2.66) olarak bulunmuştur (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. Spektrofotometre ölçümlerine göre Δb için hesaplanan eşik değerler



4.2 Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT) Sonuçları

Tablo 4.10. Bilgisayarlı görü teknikleri ile renk ölçümü değerlerine göre 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşikleri

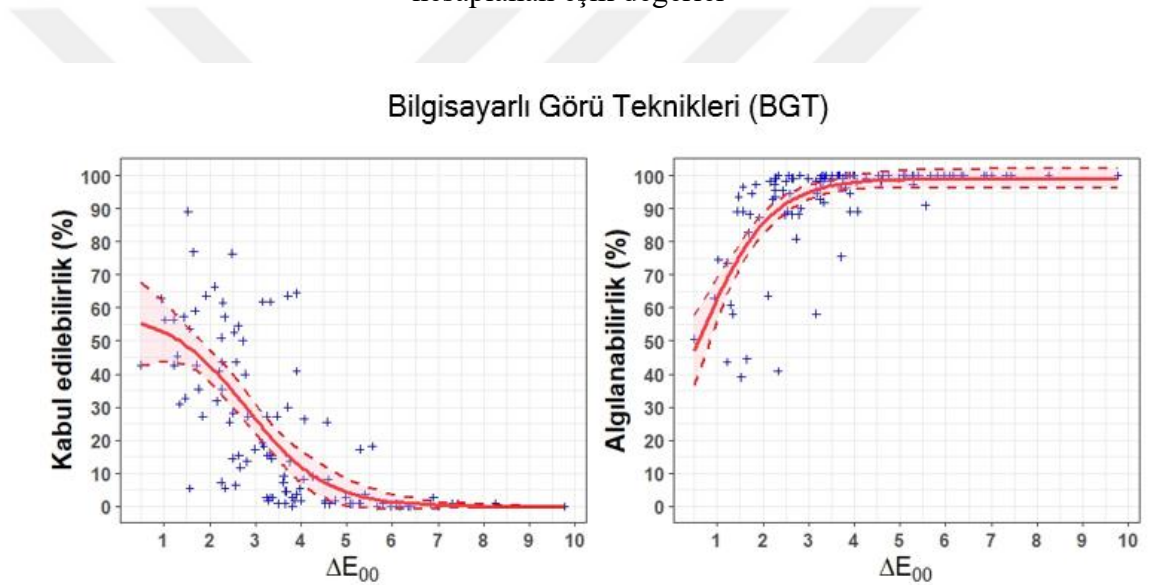
	Algılanabilirlik	Kabul Edilebilirlik
Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT)		
ΔE_{00}	0.59	1.34
ΔE_{AB}	0.74	2.07
ΔE_{NS}	1.15	2.62
ΔL	0.62	1.13
Δa	0.15	0.26
Δb	0.76	1.55

Tablo 4.10; bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ile renk ölçümü değerlerinin katılımcıların tümü için hesaplanan genel 50:50% algılanabilirlik ve 50:50% kabul edilebilirlik eşik değerlerinin özetini göstermektedir.

BGT ile ölçülen kabul edilebilirlik ve algılanabilirlik eşikleri spektrofotometre ile hesaplanan değerlerden göreceli olarak daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni, BGT ile elde edilen ölçümlerin ortalama değerlerinin, spektrofotometre ile elde edilen ölçümlere göre daha düşük bulunması gösterilebilir (Tablo 4.2).

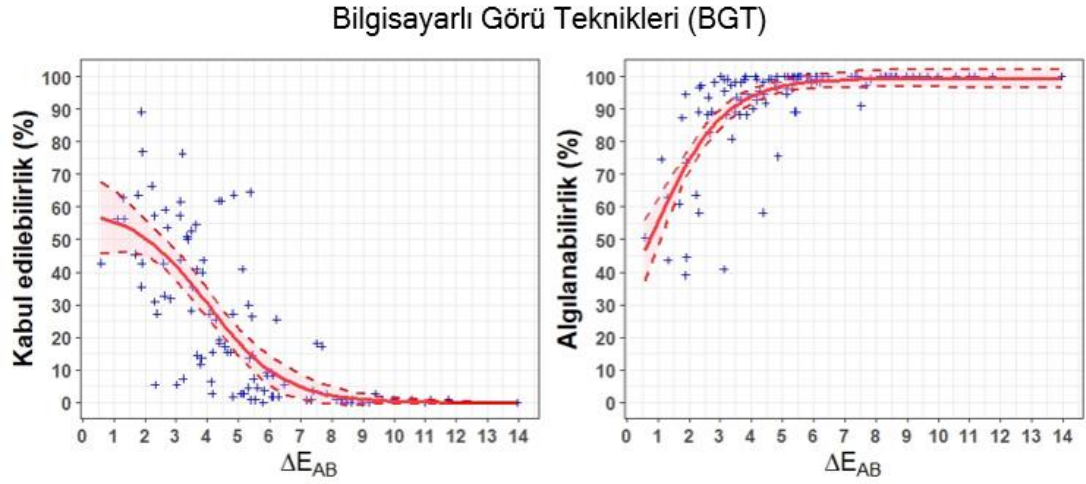
BGT ile ölçülen değerlere göre ΔE_{00} için genel algılanabilirlik eşiği 0.59 (%95 GA: 0.22 - 0.96) olup, genel kabul edilebilirlik eşiği ise 1.34 (%95 GA: 0.43 - 2.25) olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre ΔE_{00} için hesaplanan eşik değerler



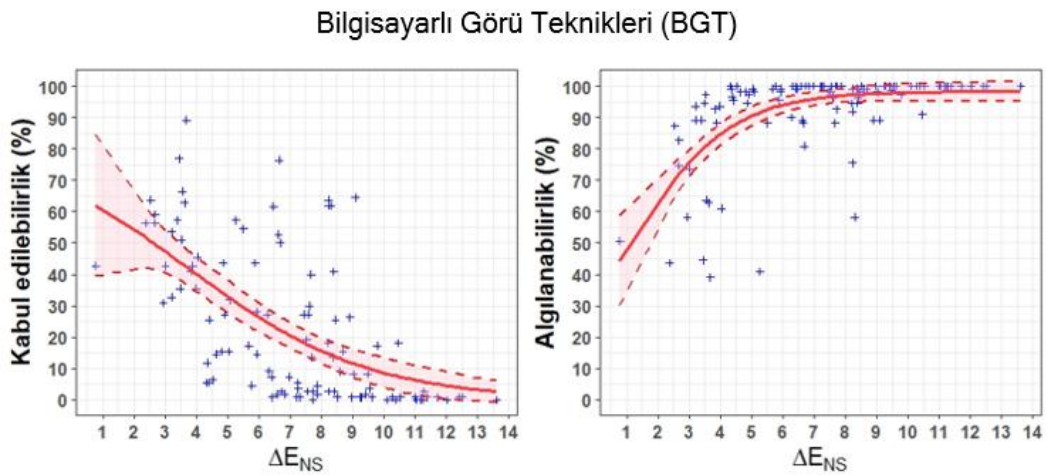
ΔE_{AB} için genel algılanabilirlik eşiği 0.74 (%95 GA: 0.27 - 1.22) olup, genel kabul edilebilirlik eşiği ise 2.07 (%95 GA: 1.15 - 3.00) olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre E_{AB} için hesaplanan eşik değerler



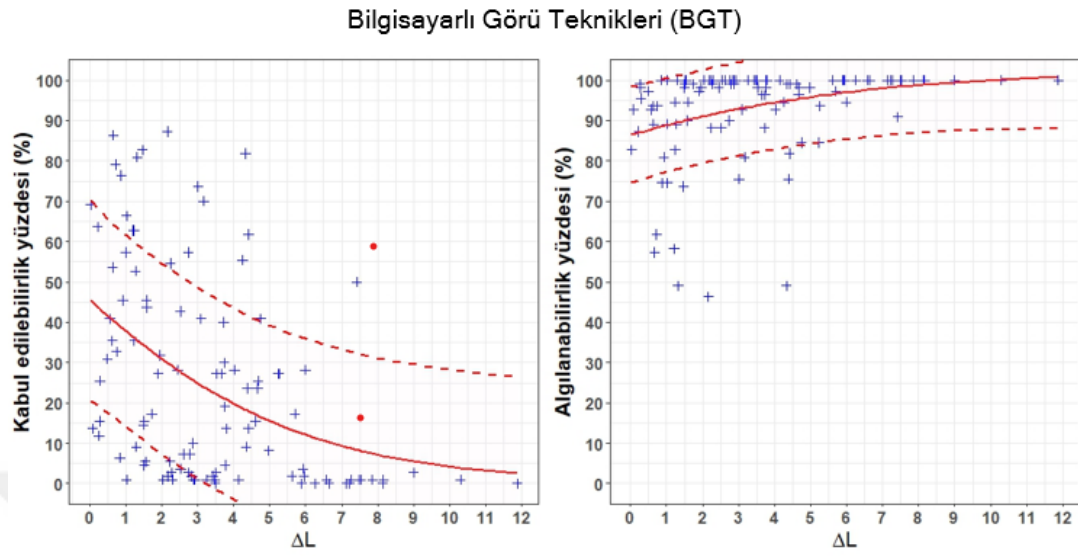
ΔE_{NS} için genel algılanabilirlik eşiği 1.15 (%95 GA: 0.18 - 2.11) olup, genel kabul edilebilirlik eşiği ise 2.62 (%95 GA: 1.24 - 4.00) olarak bulunmuştur (Tablo 4.13).

Tablo 4.13. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre ΔE_{NS} için hesaplanan eşik değerler



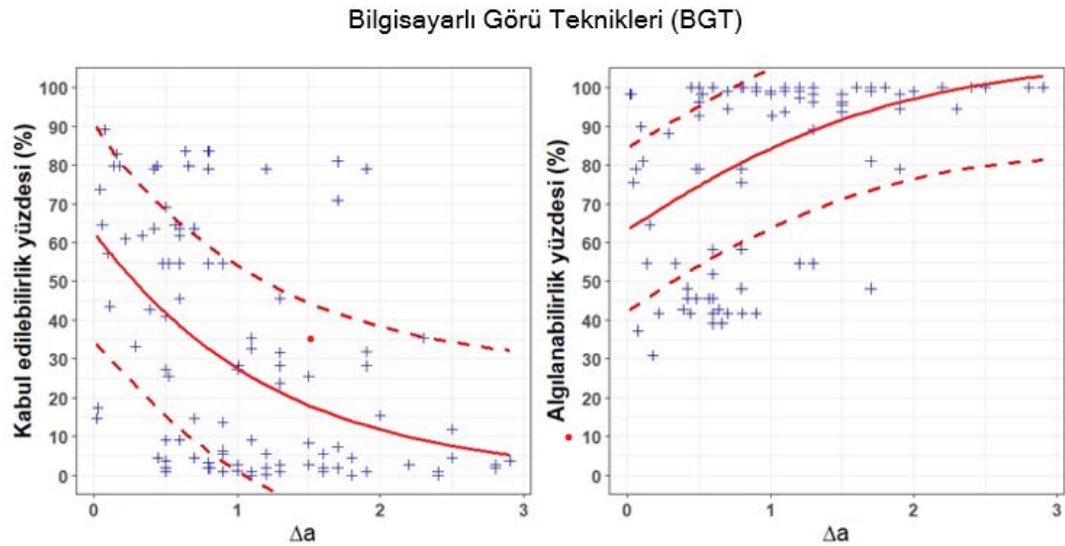
ΔL değişkeni için algılanabilirlik eşiği 0.62 (%95 GA: 0.03 - 1.82) olup, kabul edilebilirlik eşiği 1.13 (%95 GA: 0.29 - 3.21) olarak belirlenmiştir (Tablo 4.14).

Tablo 4.14. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre ΔL için hesaplanan eşik değerler



Δa için algılanabilirlik eşiği 0.15 (%95 GA: 0.00 - 0.45) olup, kabul edilebilirlik eşiği 0.26 (%95 GA: 0.00 - 0.81) olarak bulunmuştur (Tablo 4.15).

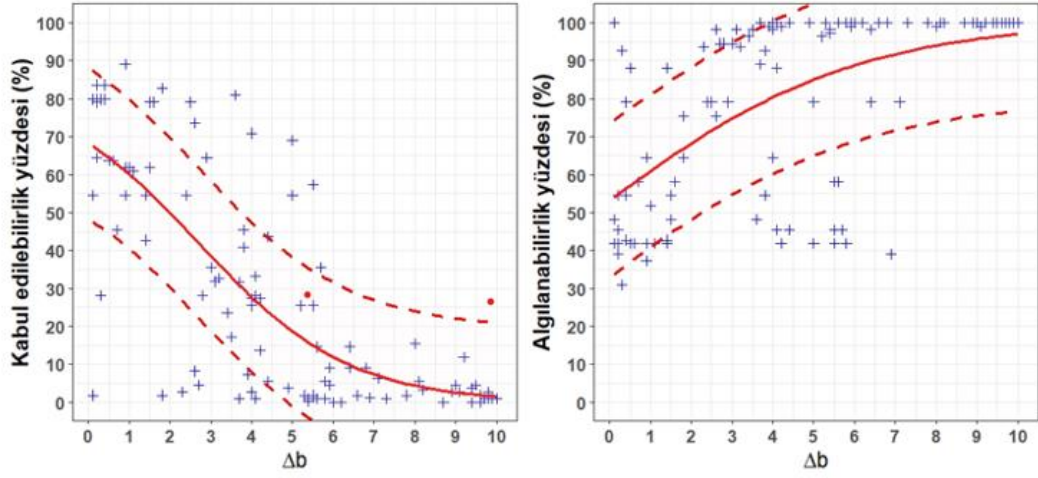
Tablo 4.15. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre Δa için hesaplanan eşik değerler



Δb için algılanabilirlik eşiği 0.76 (%95 GA: 0.08 - 1.83) olup, kabul edilebilirlik eşiği 1.55 (%95 GA: 1.14 - 1.96) olarak bulunmuştur (Tablo 4.16).

Tablo 4.16. Bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ölçümlerine göre Δb için hesaplanan eşik değerler

Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT)



4.3 Cinsiyet Faktörüne Göre Algılanabilirlik ve Kabul Edilebilirlik Eşik Değerleri

4.3.1 Algılanabilirlik Eşik Değerleri

Tablo 4.17. Cinsiyetlere göre %50:50 algılanabilirlik eşik değerleri

	Kadınlar		Erkekler	
Algılanabilirlik	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA
Spektrofotometre				
ΔE_{00}	0.89	0.68- 1.09	0.9	0.72- 1.09
ΔE_{AB}	1.24	0.81- 1.66	1.24	0.85- 1.63
ΔE_{NS}	1.83	0.73- 2.93	1.76	0.65- 2.86
Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT)				
ΔE_{00}	0.51	0.09- 0.93	0.66	0.33- 0.99
ΔE_{AB}	0.64	0.12- 1.18	0.83	0.39- 1.26
ΔE_{NS}	1.05	0.35- 1.74	1.24	0.31- 2.15

Tablo 4.17; cinsiyetlere göre hesaplanan %50:50 algılanabilirlik eşik değerlerini göstermektedir.

Spektrofotometre kullanarak yapılan ölçümlere göre kadınlar için algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 0.89, ΔE_{AB} için 1.24 ve ΔE_{NS} için 1.83

olarak hesaplanmıştır. Erkekler içinse algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 0.9, ΔE_{AB} için 1.24 ve ΔE_{NS} için 1.76 olarak hesaplanmıştır.

BGT ölçüm sonuçlarına göre kadınlar için hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 0.51, ΔE_{AB} için 0.64 ve ΔE_{NS} için 1.05 olurken, erkekler için hesaplanan algılanabilirlik değerleri ise sırasıyla 0.66, 0.83 ve 1.24 olmuştur.

4.3.2 Kabul Edilebilirlik Eşik Değerleri

Tablo 4.18. Cinsiyetlere göre %50:50 kabul edilebilirlik eşik değerleri

	Kadınlar		Erkekler	
Kabul Edilebilirlik	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA
Spektrofotometre				
ΔE_{00}	1.52	1.26- 1.79	1.95	1.68- 2.22
ΔE_{AB}	2.82	2.15- 3.49	3.93	3.35- 4.50
ΔE_{NS}	4.21	2.94- 5.44	5.63	4.78- 6.47
Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT)				
ΔE_{00}	0.76	0.19- 1.33	1.57	1.09- 2.05
ΔE_{AB}	1.35	0.54- 2.25	2.64	2.02- 3.25
ΔE_{NS}	1.99	0.53- 3.45	3.24	2.20- 4.29

Tablo 4.18; cinsiyetlere göre hesaplanan %50:50 kabul edilebilirlik eşik değerlerini göstermektedir.

Spektrofotometre kullanarak yapılan ölçümlere göre kadınlar için kabul edilebilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 1.52, ΔE_{AB} için 2.82 ve ΔE_{NS} için 4.21 olarak hesaplanmıştır. Erkekler içinse kabul edilebilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 1.95, ΔE_{AB} için 3.93 ve ΔE_{NS} için 5.63 olarak hesaplanmıştır.

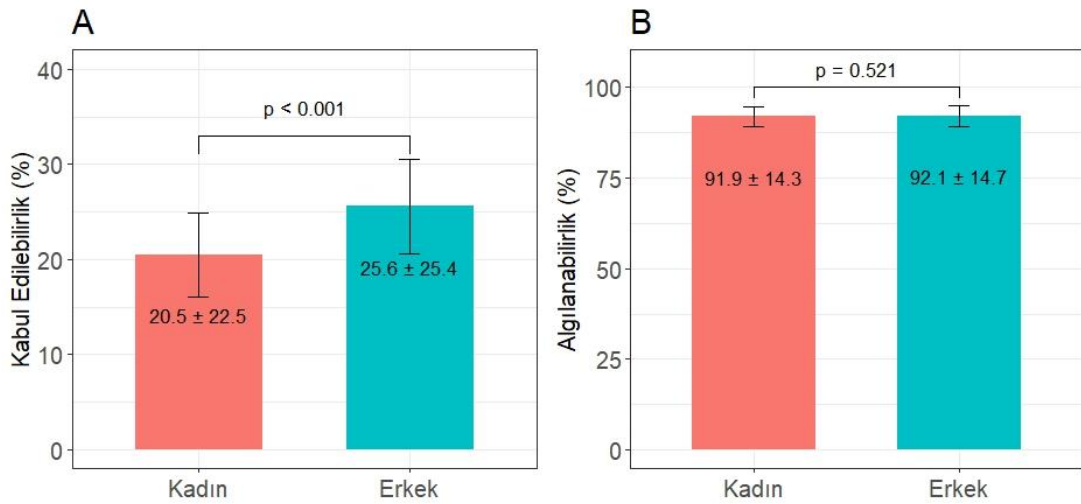
BGT ölçüm sonuçlarına göre kadınlar için hesaplanan kabul edilebilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 0.76, ΔE_{AB} için 1.35 ve ΔE_{NS} için 1.99 olurken, erkekler için hesaplanan kabul edilebilirlik değerleri ise sırasıyla 1.57, 2.64 ve 3.24 olmuştur.

Her cinsiyet ve mesleki deneyim grubuna ait algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik yüzdeleri %95 güven aralığı ile tahmin edilmiş ve gruplar arasındaki farklar, güven aralıklarının çakışmaması kriterine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik yüzdeleri cinsiyete göre bağımlı gruplar için t-

testi ile, mesleklere göre ise tekrarlı ölçümler için tek-yönlü ANOVA testi ve daha sonrasında post hoc Bonferonni testi ile karşılaştırılmıştır.

Yüzde kabul edilebilirlik değerleri bakımından kadınlar erkeklere göre anlamlı olarak daha düşük ortalama kabul edilebilirlik düzeyine sahipken (20.5 ± 22.5 vs. 25.6 ± 25.4 , $p < 0.001$), algılanabilirlik değerleri açısından kadın ve erkekler arasında anlamlı fark bulunmamıştır (91.9 ± 14.3 vs. 92.1 ± 14.7 , $p > 0.05$) (Tablo 4.19).

Tablo 4.19. A: Kadın ve erkek arasındaki ortalama kabul edilebilirlik düzeylerinin karşılaştırması. **B:** Kadın ve erkek arasındaki ortalama algılanabilirlik düzeylerinin karşılaştırması. (Hata çubukları ortalamanın %95 güven aralığını temsil eder. p değerleri bağımlı gruplar için t-testi ile hesaplanmıştır.)



4.4 Meslek Faktörüne Göre Algılanabilirlik ve Kabul Edilebilirlik Eşik Değerleri

4.4.1 Algılanabilirlik Eşik Değerleri

Tablo 4.20. Mesleklere göre %50:50 algılanabilirlik eşik değerleri

	DİŞ HEKİMİ		DİŞ HEKİMLİĞİ ÖĞRENCİSİ		PROTEZ UZMANI		TEKNİSYEN		MESLEK DİŞİ	
Algılanabilirlik	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA
Spektrofotometre										
ΔE_{00}	0.83	0.47-1.20	1.01	0.50-1.53	0.69	0.15-1.21	0.86	0.57-1.16	1.42	0.78-2.22
ΔE_{AB}	1.08	0.64-1.52	1.3	0.27-2.32	0.88	0.52-1.24	1.05	0.65-1.45	1.65	1.19-2.11
ΔE_{NS}	1.37	0.21-2.53	1.91	0.16-3.65	1.35	0.45-2.26	1.39	0.48-2.30	2.6	1.02-4.18
Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT)										
ΔE_{00}	0.60	0.21-0.99	0.69	0.37-1.01	0.50	0.00-0.95	0.59	0.06-1.12	0.95	0.61-1.31
ΔE_{AB}	0.62	0.00-1.39	0.85	0.46-1.24	0.59	0.00-1.12	0.72	0.20-1.24	1.14	0.75-1.52
ΔE_{NS}	0.79	0.17-1.41	1.19	0.48-1.9	0.78	0.02-1.54	1.09	0.17-2.01	1.87	1.09-2.65

Tablo 4.20; mesleklere göre %50:50 algılanabilirlik eşik değerlerini göstermektedir.

Diş hekimleri grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 0.83, ΔE_{AB} için 1.08 ve ΔE_{NS} için 1.37 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 0.60, 0.62 ve 0.79 olduğu görülmektedir.

Diş hekimliği öğrencisi grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 1.01, ΔE_{AB} için 1.3 ve ΔE_{NS} için 1.91 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 0.69, 0.85 ve 1.19 olduğu görülmektedir.

Protez uzmanı grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 0.69, ΔE_{AB} için 0.88 ve ΔE_{NS} için 1.35 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 0.50, 0.59 ve 0.78 olduğu görülmektedir.

Teknisyen grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 0.86, ΔE_{AB} için 1.05 ve ΔE_{NS} için 1.39 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 0.59, 0.72 ve 1.09 olduğu görülmektedir.

Meslek dışı grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 1.42, ΔE_{AB} için 1.65 ve ΔE_{NS} için 2.6 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 0.95, 1.14 ve 1.87 olduğu görülmektedir.

4.4.2 Kabul Edilebilirlik Eşik Değerleri

Tablo 4.21. Mesleklere göre %50:50 kabul edilebilirlik eşik değerleri

	DİŞ HEKİMİ		DİŞ HEKİMLİĞİ ÖĞRENCİSİ		PROTEZ UZMANI		TEKNİSYEN		MESLEK DIŞI	
Kabul Edilebilirlik	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA	Eşik değer	%95 GA
Spektrofotometre										
ΔE_{00}	1.75	1.32-2.18	1.91	1.65-2.17	1.41	0.82-1.99	1.61	1.31-1.93	2.13	1.63-2.62
ΔE_{AB}	3.12	2.47-3.76	3.34	2.71-3.98	2.92	2.33-3.51	3.15	2.34-3.96	3.92	3.21-4.61
ΔE_{NS}	4.66	3.78-5.54	5.17	4.35-5.99	4.62	3.7-5.54	3.95	2.68-5.22	5.57	4.67-6.46
Bilgisayarlı Görü Teknikleri (BGT)										
ΔE_{00}	1.09	0.32-1.86	1.37	0.40-2.35	1.02	0.33-1.70	1.18	0.10-2.26	1.99	1.67-2.31
ΔE_{AB}	2.13	1.21-3.05	2.05	1.60-2.49	1.89	0.75-3.04	1.93	1.18-2.68	2.46	1.62-3.29
ΔE_{NS}	2.15	0.75-3.55	2.99	1.73-4.26	1.96	1.05-2.87	2.44	0.89-4.00	3.24	2.45-4.04

Tablo 4.21; mesleklere göre %50:50 kabul edilebilirlik eşik değerlerini göstermektedir.

Diş hekimleri grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 1.75, ΔE_{AB} için 3.12 ve ΔE_{NS} için 4.66 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 1.09, 2.13 ve 2.15 olduğu görülmektedir.

Diş hekimliği öğrencisi grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 1.91, ΔE_{AB} için 3.34 ve ΔE_{NS} için 5.17 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 1.37, 2.05 ve 2.99 olduğu görülmektedir.

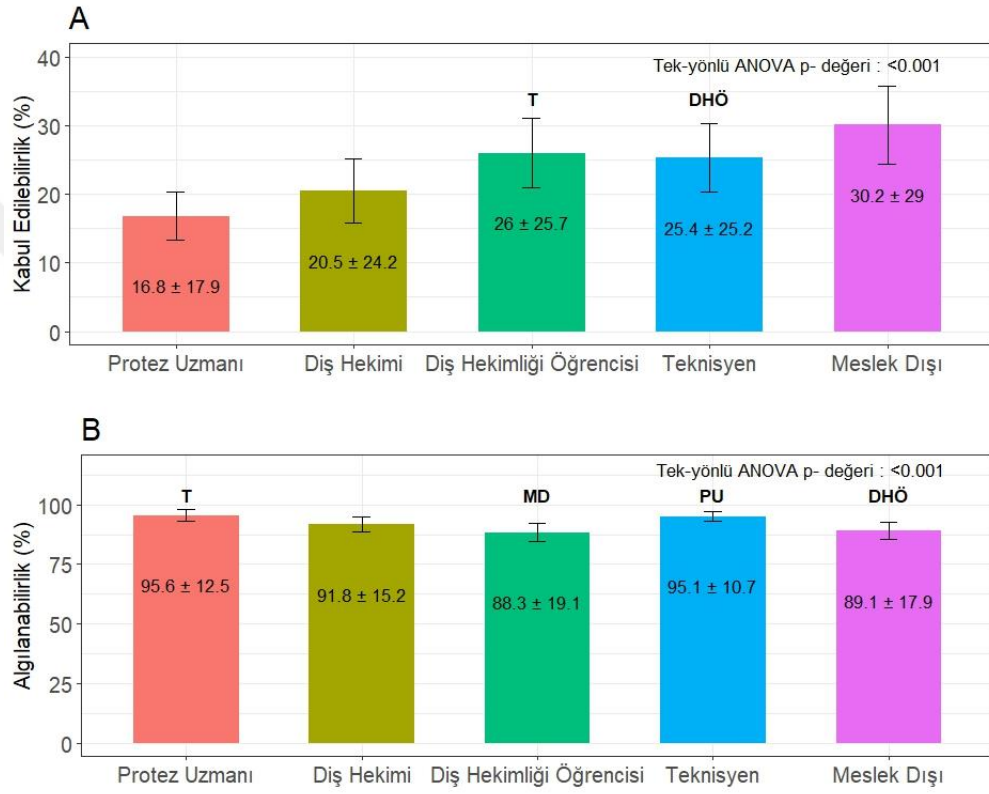
Protez uzmanı grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 1.41, ΔE_{AB} için 2.92 ve ΔE_{NS} için 4.62 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 1.02, 1.89 ve 1.96 olduğu görülmektedir.

Teknisyen grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 1.61, ΔE_{AB} için 3.15 ve ΔE_{NS} için 3.95 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 1.18, 1.93 ve 2.44 olduğu görülmektedir.

Meslek dışı grubu incelendiğinde spektrofotometre ölçüm değerleri üzerinden hesaplanan algılanabilirlik eşik değerleri ΔE_{00} için 2.13, ΔE_{AB} için 3.92 ve ΔE_{NS} için 5.57 olurken aynı grup için BGT kullanıldığında algılanabilirlik eşik değerlerinin sırasıyla 1.99, 2.46 ve 3.24 olduğu görülmektedir.

Yüzde kabul edilebilirlik ve algılanabilirlik değerleri ortalamaları bakımından meslekler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$). Kabul edilebilirlik bakımından diş hekimi öğrencileri ve teknisyenler arasında anlamlı fark bulunmamaktadır. Bunun haricinde tüm gruplar arasında anlamlı fark bulunmuştur (Tablo 4.22). Algılanabilirlik bakımından da Teknisyen – Protez Uzmanı ve Meslek Dışı – Diş Hekimi öğrencileri arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Ancak diğer tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark mevcuttur.

Tablo 4.22. A: Meslek grupları arasındaki ortalama kabul edilebilirlik düzeylerinin karşılaştırması. **B:** Meslek grupları arasındaki ortalama algılanabilirlik düzeylerinin karşılaştırması. (p-değeri, tek yönlü tekrarlı ölçümler ANOVA testine göre hesaplanmıştır. Hata çubukları ortalamanın %95 güven aralığını temsil eder. Barların üstündeki kalın harfler, aynı baş harfleri verilen meslek grubuna göre istatistiksel anlamlılık olmadığını gösterir.)



5. TARTIŞMA

Yapılan çalışmada; farklı renk ölçüm teknikleri ve farklı renk farkı formülleri kullanılarak algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değeri elde edilmiş ve veriler karşılaştırılmıştır.

Yapılan tez çalışmasının bulguları incelendiğinde;

1-Çalışmada hesaplanan eşik değerler arasında hem algılanabilirlik hem de kabul edilebilirlik açısından tüm parametre ve formüllere göre farklılık vardır. Bu sebeple ‘Renk formülleri ve parametreleri açısından algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık yoktur.’ şeklinde ifade edilen $H(0)1$ hipotezi reddedilmiştir.

2-Çalışmanın sonuçlarına göre dahil edilen 5 katılımcı grubu arasında tüm formül ve ölçüm yöntemlerine göre algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik değerleri açısından farklılık vardır. Bu sebeple ‘Meslek grupları açısından algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık yoktur.’ şeklinde ifade edilen $H(0)2$ hipotezi reddedilmiştir.

3-Elde edilen algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri incelendiğinde kadın ve erkek katılımcılar arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu sebeple ‘Cinsiyet grupları açısından algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık yoktur.’ şeklinde ifade edilen $H(0)3$ hipotezi reddedilmiştir.

4-Çalışmada 2 farklı renk ölçüm yöntemi (spektrofotometre ve BGT) kullanılmış olup elde edilen algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri incelendiğinde yöntemler arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu sebeple ‘Spektrofotometre ve dijital kamera ile çekilen fotoğraflar üzerinden yapılan bilgisayarlı görüş tekniği ölçümü ile elde edilen verilerle hesaplanan algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri arasında herhangi bir farklılık yoktur.’ şeklinde ifade edilen $H(0)4$ hipotezi reddedilmiştir.

Diş rengi estetik algısını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre diş renginden memnun olmayan yetişkin popülasyonu farklı bölgelere göre değişiklik göstermekle beraber genel oran %12,1

ve %52,6 arasında değişmektedir (Xiao vd., 2007). Bu açıdan bakıldığında ağız içerisinde bulunan tüm restorasyonların da renk uyumunun olması hasta memnuniyetini etkileyen bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılması hedeflenen bir protezin yanında bulunan doğal dişlerle veya farklı protezlerle arasındaki renk uyumunun kalitesi, aradaki renk farkının büyüklüğü ve yönüyle orantılıdır. Özellikle referans olarak bitişik doğal dişleri içeren protetik restorasyonlarda doğru renk değerlendirmesi ve renk iletişimi, başarılı bir restorasyon ortaya koymak için çok önemli adımlardır (Fondriest, 2003). Yapılan bir çalışmaya göre restorasyonlardaki uyumsuz renk tonunun hastaları memnun etmediği ve renk uyumsuzluğunun restorasyonun yeniden yapılmasını istemelerine sebep olan ikinci yaygın neden olduğu ortaya konulmuştur (Maclaren, 2010). Bir çalışma, diş hekimleri ve hastalar arasında anterior protetik restorasyonlar konusunda en yüksek fikir ayrılığının, bu restorasyonların doğal görünümü ve rengi ile ilgili olduğunu ve bu oranın %52,2 ile en yüksek memnuniyetsizlik sebebi olduğunu göstermiştir (Schussler vd., 2024). Yapılan bu çalışmaların sonuçlarına göre restorasyonun renk uyumu estetik görünümü etkilemekte olup hastaların restorasyonu kabul etmelerinde etkili bir faktör olduğu söylenebilir. Mevcut çalışma estetiğin giderek önem kazanması ile hastaların artan estetik beklentilerinin daha iyi karşılanabilmesi için yapılan restorasyon ve var olan doğal diş/restorasyon arasındaki renk farklılıklarının algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerinin belirtilmesi sonucunda belirli bir referans oluşturmayı hedeflemiştir.

Hasta bilincinin ve ‘estetik’ kavramına verilen önemin artması ile birlikte protetik diş tedavilerinde kullanılan materyallerde de çeşitlilik olmuştur. Feldspatik porselenler estetik üstünlük ve çevre dokularla biyolojik uyumlulukları nedeni ile diş hekimliği alanında ilk defa 1774 senesinde Fransız diş hekimi Alexis Duchateau ve Fransız eczacı Nicholas Dubois tarafından kullanılıp o tarihten günümüze kadar tercih edilen dental materyal türü olmuştur (Anusavice, 2003). Sık kullanımı sebebi ile yapılan tez çalışmasında feldspatik porselen materyali tercih edilmiştir ve örnekler bu materyalle hazırlanmıştır. Görsel değerlendirmelerde gözlemciler, elektronik bir aletin yaptığı şekilde çok renkli nesnelerin rengini ortalamasını alamazlar. Ayrıca polikromatik yapıda olan örneklerde standardizasyon sağlamak zorlaşacağından, farklı çalışmaların sonuçlarını karşılaştırmada problemler de ortaya çıkabilir. Bu sebeple polikromatik bir örnek yapım şekli tercih edilmemiştir.

olup, mevcut çalışmada kullanılan seramik örnekler monokromatik olarak hazırlanmıştır.

ISO/TR 28642 (2016)'ya göre renk ölçümü yapılacak olan objenin boyutları önemlidir. Seramik kalınlığında yapılan artış translusensinin azalması ile sonuçlanır ve bu durum klinik açıdan değerlendirildiğinde son derece önemlidir (Awad vd., 2015). Niu ve arkadaşlarının yürüttükleri bir çalışmada (Niu vd., 2014), seramik restorasyonun kalınlığı 1,5 mm'nin üzerinde olduğunda estetik sonucu simante edilen core yapı ve siman rengine bağlı olmadığı belirtilmiştir. Bu sebeple örneklerin yerleştirileceği zemin renginin mevcut çalışmanın doğruluğunu etkilememesi adına ilk etapta örnek kalınlıklarının 1.5 mm'den fazla olması hedeflenmiştir. Yapılan farklı bir çalışmada (Naffah vd., 2024) kullanılan seramik bloklar, kullanılan metal tutucunun herhangi bir yarı saydamlığını önlemek için 3 mm kalınlıkta kesilmiştir. Literatürde yapılan benzer bir çalışmada (Ghinea vd., 2010) yine 3 mm kalınlığında örnekler kullanılmıştır. Önceki araştırmalar dikkate alınarak bu çalışmada tüm örneklerin kalınlıkları 3 mm olarak ayarlanmıştır.

Örnek çapı, yapılacak ölçüm sonuçlarının doğruluğu için önem taşımaktadır. Kenar ışıma kaybı (edge loss), renk ölçümleri sırasında, ışığın yansımadan örnek köşelerinden dağılması sonucunda genellikle spektrofotometrik ve kolorimetrik ölçümlerde hatalara sebep olan bir durumdur (Lim vd., 2010). Bu sebeple yapılan çalışmalarda örnek çapının, ölçüm cihazının optik gözüne uygun olarak hazırlanmasının önemi vurgulanmaktadır. Eğer örnek çapı, ölçüm ucuna göre yeterli büyüklükte belirlenmezse, renk ölçümlerinde kenar ışıma kaybı meydana gelebilmektedir. Paravina ve arkadaşlarının yayınladıkları bir derlemede ise örneklerin gerçekçi boyutlarda olması gerektiği üzerine durulmuştur (Paravina vd., 2019). Bu bilgiler doğrultusunda yapılan çalışmada örnek çapı 18 mm olarak standardize edilmiştir.

Estetiğin artırılması ve klinik açıdan plak retansiyonunun azaltılması adına porselen restorasyonların yüzeyinin olabildiğince pürüzsüz olması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün etkisi ile birlikte göz algılamalarında farklar ortaya çıkabilmektedir ve bu durum estetik görünümü etkilemektedir. Gözlemlenen nesne için, şekil, pürüzlülük ve parlaklık gibi bazı özellikleri gözlemcinin öznel renk algısını etkiler (Honson vd., 2020).

Yüzey pürüzlülüğünün yapılacak ölçümleri etkilememesi için farklı yüzey bitirme işlemleri uygulanabilmektedir. Farklı metotlarla uygulanan bitirme işlemleri ile porselen materyalinin estetik özelliklerini arttırdığı gibi kırılğan yapısının da güçlenmesi sağlanmaktadır (Aksoy vd., 2006). Yüzey işlemlerinin ardından porselene glaze işlemi uygulanması önerilmektedir. Glazeli porselen, doğal diş yüzey parlaklığı ve karakterizasyonunu taklit edebilir. Yapılan bir çalışmada (Yöndem, 2006); dört farklı metal desteksiz seramiğe uygulanacak farklı yüzey işlemlerinin, bu seramiklerdeki yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre gruplar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiş olup ($p<0.05$) en düşük yüzey pürüzlülüğü glaze grubunda gözlenmiştir. Ayrıca, restorasyonun translusensi ile renk özelliklerinin değerlendirilmesi ve klinik olarak anlamlı değerlendirilmelerin yapılabilmesi için porselen yüzeyine glaze işlemi uygulamak önem taşımaktadır. Heffernan ve arkadaşları (Heffernan vd., 2002), yaptıkları çalışmada örneklerine üretici firma önerileri doğrultusunda glaze işlemi uygulamışlardır. Glaze uygulamanın, tüm örneklerin kontrast değerlerinde önemli bir düşüşe sebep olduğunu; sadece In-Ceram Zirkonia'nın glaze uygulamasından etkilenmediğini bildirmişlerdir. Bu düşüşü, ışık saçılımındaki azalma ile ilişkilendirmişlerdir. Bu durum; pürüzlü yüzeyler daha fazla ışık saçılımına sebep olurken, glaze işleminin ışık saçılımını azaltması ile açıklanabilir. Bu sebeple yapılan bu çalışmada seramiklere glaze işlemi üretici firmanın talimatları doğrultusunda uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Bitirme teknikleri örneklerin kenarlarına ve sadece bir yüzeyine uygulanarak tüm renk ölçümleri bu yüzeyden yapılmıştır.

Seramik örneklerin dijital kamera ile renk ölçümleri ve görsel değerlendirmelerinde standardizasyon sağlayabilmek için ışık kabini tasarımı yapılmıştır.

Belli bir ışık altında aynı renkte gibi görünen cisimlerin başka ışık altında farklı görünebilmesi metamerizm olarak adlandırılır (Joiner & Luo, 2017). Yapılan bir çalışmada gün ışığı ve floresan ışık aynı diş rengi ölçümünde karşılaştırılmış, gün ışığının gözlenen diş rengini etkilemediğini, floresan ışığın ise renkteki parlaklık derecesini arttırdığı bulunmuştur (Terry vd., 2002). ISO standartlarına göre diş hekimliğinde görsel renk ölçümleri için Renk Geriverim İndeksi (CRI) 90 veya daha yüksek olan CIE standart aydınlatıcı D65 (6500 K) önerilir (International

Organization for Standardization, 2016). En sık kullanılan D aydınlatıcıları D65 ve D50'dir. Renk sıcaklığı 6500° K olan D65 aydınlatıcı, ortalama gün ışığına karşılık gelir (Paravina & Powers, 2004). Bu bilgilere dayanarak bu çalışma için tasarlanan ışık kabiniinde aydınlatıcı olarak D65 tercih edilmiştir.

Görsel değerlendirme çalışmalarında aydınlatma açıları ve izleme açıları olarak ifade edilen açı değerleri önem taşımaktadır. Malzemeleri Test Etmek için Amerika Standartları (ASTM, American Standards for Testing Materials) ve CIE tanımlarına göre ilk sayı aydınlatma açısını, “/” veya “:” işaretinden sonra gelen ikinci sayı da izleme açısını ifade eder. Bu tanıma göre örnek, bulunduğu zemine göre 45° açı ile duran bir ışık tarafından aydınlatılıyor ve gözlemci/dedektör örneği üstünden görüntülüyorsa bu geometri 45/0 olarak ifade edilir. Eğer ışık kaynağı ve detektör yer değiştirirse geometri de tersine döner yani 0/45 olur. Cisim 0°'de aydınlatılıyor ve toplayıcı olarak 180° boyunca gerçekleşen bütün saçınımı toplamak üzere bütünleşmiş bir küre kullanılıyorsa geometri 0/D olarak tanımlanır. Ters düşünülüğünde yani küre, ışık kaynağı ile aydınlatılıyor ve numunenin görüş açısı normal ise D/0 olarak ifade edilir. Adı geçen geometriler renk çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Koçak, 2014). Paravina ve arkadaşları yapmış olduğu değerlendirmeler sonucunda 45/0 aydınlatma açısında sahip koşulların ideal olduğunu ifade etmiştir (Paravina vd., 2019). Bu çalışmada görsel değerlendirilmeler sırasında bir ideal aydınlatma koşullarını sağlayabilmek için aydınlatma açısı olarak 45/0 tercih edilmiştir.

Görsel değerlendirme çalışmalarında değerlendirmelerin aynı ortam koşullarında yapılması önemlidir. ISO standartlarına göre görsel değerlendirmeler için bulunulan çevrenin mat ve nötr (açık gri) olması gerekmektedir (International Organization for Standardization, 2016). Yapılan çalışmada standardizasyona uymak adına ışık kabiniinin tüm yüzeyleri Munsell N7 mat gri boya ile boyanmıştır. Ayrıca arka planın renginin, seramik örneklerin görünümünü etkilediği bilinmektedir (Shokry vd., 2006). Arka plan renginin renk ölçümleri üzerindeki etkisini en az düzeye indirebilmek için bu çalışmada renk ölçümleri nötral gri bir arka plan üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Paravina ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmanın (Paravina vd., 2019) sonucuna göre tutarlı ve doğru sonuçlar elde edebilmek için görsel

değerlendirmeler ile renk ölçümü yapılan ortamın aynı olması ve gözlemci izleme mesafesinin sabit ayarlanması gerekmektedir. Ayrıca ISO standartlarına göre de görsel karşılaştırmalarda mesafe önemlidir (International Organization for Standardization, 2016). Önceki araştırmalarda görsel değerlendirmeler için farklı mesafeler kullanılmış olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada (Da Silva vd., 2008) görsel karşılaştırmalar D65 aydınlatıcı altında baş ve çene desteği için aparat kullanılarak 50 cm mesafeden yapılmıştır. Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerini belirlemek amacıyla yapılan farklı bir çalışmada (Ghinea vd., 2010) ise seramik çiftlerin görsel değerlendirmeleri 40 cm mesafeden 13 gözlemci tarafından yapılmıştır. Yapılan farklı bir çalışmada (Mulcare & Coward, 2019) ise renk ölçüm yöntemi olarak dijital kameralar kullanılmış ve bu amaçla yine standardizasyonu sağlayabilmek için kullanılan cep telefonu tutucusu örneklerden 25 cm uzaklıkta olacak şekilde sabitlenmiştir. ISO standartlarına göre örneklerin görsel değerlendirmeleri 25 cm ve 33 cm mesafe arasında uzaklıklarda bir izleme kabini D65 aydınlatıcısı altında yapılmalıdır (International Organization for Standardization, 2016). Yapılan çalışmada ISO standartlarına uyularak mesafe 25 cm olarak ayarlanmıştır. Gözlemcilerin mesafesini sabit olarak ayarlayabilmek için ışık kabini alın destekli olarak tasarlanmıştır. Ayrıca Paravina ve arkadaşlarının yapılan algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik çalışmalarını değerlendirdiği araştırmada (Paravina vd., 2019) görsel değerlendirmeler için ‘mükemmel bir deneysel tasarım’ olarak ifade ettiği 4 bileşenli deney ortamı mevcut çalışma için hedeflenmiştir. Bahsi geçen 4 bileşen şunları içermektedir: karanlık oda, görüntüleme kabini D65 aydınlatıcı, CIE uyumlu 45/0 optik geometri ve kontrollü mesafe. Örneklerin akıllı telefon kamerası ile renk ölçümü sırasında da aynı ortam kullanılmıştır.

Görsel değerlendirme çalışmalarında gözlemci sayısı ve gözlemcilerin renk algılama bozukluklarının olup olmaması sonuçların doğruluğunu etkileyebilmektedir. Paravina ve arkadaşları (Paravina vd., 2019) en az 20 gözlemcinin dahil edilmesinin makul bir anlaşma sağlayacağını ve gözlemcilerin çeşitli gruplara ayrıldığı durumlarda grup başına 20 veya daha fazla gözlemcinin bulunmasının en uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca tüm gözlemcilerin renk körlüğü açısından kontrol edilmesi gerekmektedir (Paravina vd., 2019). ISO standartlarına göre tüm potansiyel gözlemciler varsa renk eksikliklerinin

anlaşılması adına Ishihara testi veya Farnsworth-Munsell 100 ton testi ile değerlendirilmelidir (International Organization for Standardization, 2016). Renk eksikliği, görsel gölge eşleştirmesi yaparken klinisyen için bir zorluk teşkil eder. Renk görüşünü kontrol etmek için popüler genel testler Ishihara testi ve Farnsworth-Munsell testidir (Ontiveros & Paravina, 2019). Ishihara renk körlüğü testi, kırmızı-yeşil renk eksiklikleri için bir testtir. Farnsworth-Munsell 100 ton testi ise, belirli bir rengin çeşitli tonlarını ayırt etme yeteneği olan renk ayrımını test etmek için kullanılır. Yapılan bir çalışmada kullanılan Ishihara testi 14 plakayı içeriyordu ve bu çalışmada 10'dan az doğru cevabı olan gözlemci çalışma dışı bırakılmıştı (Dang vd., 2024). Bu çalışmada ise kullanılan Ishihara testi 12 plaka içerisinde bulunan toplam 18 rakamdan oluşuyordu. 15 rakamdan daha az doğru cevabı olan gözlemciler çalışmaya dahil edilmemiştir.

Literatüre bakıldığında görsel eşik belirleme araştırmalarında farklı sayıda gruplar ve farklı sayıda katılımcılar kullanıldığı görülmektedir. Eşik değeri belirlemek adına yapılan ilk çalışmalardan birinde (Ruyter vd., 1987) kompozit disk çiftleri arasındaki renk farklılıklarının kabul edilebilirliğinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışmaya görsel açıdan herhangi bir teste tabi tutulmayan 12 gözlemci dahil edilmiştir. Bu kişiler 6 diş hekimi ve 6 kimyager olmak üzere 2 gruptan oluşmaktadır. Başka bir araştırmada (Douglas & Brewer, 1998) 60 metal seramik kron üzerinde yapılan eşik araştırmasına katılan gözlemciler, renk görme eksikliği açısından test edilen 20 deneyimli protez uzmanı olarak belirlenmiştir. Diş hekimlerinin renk uyumsuzluğunun algılanabilirliği ve kabul edilebilirliğine ilişkin toleranslarının belirlenmesine yönelik yapılan farklı bir intraoral çalışmaya renk eksikliği açısından teste tabi tutulan toplam 28 diş hekimi katılmıştır (Douglas vd., 2007). Diş hekimliğinde renk farkı toleranslarına ilişkin çok merkezli yürütülen bir çalışmaya (Paravina vd., 2015) görsel değerlendirmeler için dört kıta olmak üzere yedi farklı noktadan toplam 175 gözlemci (25 gözlemci x 7 nokta) katılmıştır. Gözlemciler renk eksikliği testlerinden geçirilmiş ve grup başına beş gözlemci olmak üzere beş gruba ayrılmıştır: diş hekimleri, diş hekimliği öğrencileri, diş teknisyenleri, yardımcı personel ve meslekten olmayan kişiler. Bu çalışmada ise Paravina ve arkadaşlarının ISO standartları altında yaptıkları yönlendirmelere (Paravina vd., 2019) uyularak her grup için 22 gözlemci olması hedeflenmiştir. Farklı katılımcı gruplarının dahil edilmesi ile popülasyonun tümünün hedef

alınması amaçlanmıştır. Bu çalışmaya hastaları temsil etmek üzere meslek dışı kişiler dahil edilmiştir ve bu grup eşik çalışmalarında dikkate alınması gereken önemli bir gruptur çünkü diş hekimleri ekibiyle birlikte tedavileri hakkında aktif olarak kararlar almaktadırlar ve restorasyonlarının rengi ile görünümü hakkında karar alma sürecine dahil edilmesi bilgisi dikkate alınarak 5 farklı gruptan (diş hekimleri, diş hekimliği öğrencileri, protez uzmanları, diş teknisyenleri ve meslek dışı kişiler) ve grup içi gözlemci sayısı cinsiyet açısından eşit bölünmüş toplam 110 gözlemci (5 grup x 22 gözlemci) çalışmaya dahil edilmiştir.

Eşik değer belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda görsel değerlendirmeler esnasında birtakım faktörlere dikkat edildiği görülmüştür. İnsan gözü yeni bir görsel deneyime maruz kaldığında uyum sağlayabilir ve bu durum yanıltıcı renk algılarına neden olabilir (Ontiveros & Paravina, 2019). Düz bir renge yaklaşık 30 saniye veya daha uzun süre bakıldığında, fotoreseptörler hassaslaşır (retina yorgunluğu) ve tamamlayıcı rengin yanılsamalı görüntülerini oluşturabilir; bu, tamamlayıcı ardıl görüntü olarak bilinir. Örneğin, kişi düz renkli kırmızı bir hedefe odaklanırsa, kırmızı koniler yansıyan kırmızı sinyale giderek daha az güçlü tepki verir. Kişi bakışını düz beyaz bir hedefe çevirirse, artık tüm renkler retinaya yansır ve koniler güçlü bir yeşil sinyal ve güçlü bir mavi sinyal gönderir, ancak zayıf bir kırmızı sinyal gönderir (Ontiveros & Paravina, 2019). Açıklanan bu durumun görsel değerlendirme sürecini ve doğruluğunu etkilememesi adına her seramik çiftine bakma süresi kısıtlanmıştır. Benzer başka bir çalışmada (Ntovas vd., 2024) her görüntünün 10 saniye boyunca gözlemlendiği ve ardından göz yorgunluğunun önüne geçmek için ortasında bir sabitleme noktası olarak siyah bir çarpı bulunan tek biçimli gri bir ekranın 4 saniye boyunca bakılmasının istendiği görülmektedir. Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik sorularına cevap aramak için yapılan farklı bir çalışmada yine görsel değerlendirmeler için belirlenen süre 10 sn olarak ifade edilmiştir (Thoma vd., 2016). Bu çalışmada da diğer araştırmalarla uyumlu olarak gözlemcilere her seramik çifti için 10 sn içerisinde karar vermeleri ve yorulduklarında gri alana 4 saniye boyunca bakmaları ifade edilmiştir.

Görsel değerlendirme aşamasında önemli olan bir diğer faktör eşleşen seramik çiftlerin rastgele olarak düzenlenmesi ve her gözlemciye aynı sıra ile sunulmasıdır. Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerinin araştırılması amacı ile yapılan bir çalışma (Ruyter vd., 1987) bu durumu destekler nitelikte

olarak örnek çiftleri arasındaki renk farkı (ΔE_{AB}) artışları kontrol edilmeden gözlemcilere sunulmuştur. Yapılan çalışma buna paralel olarak her bir seramik örnek çifti için örnek çiftlerinin sırası rastgele belirlendikten sonra, tüm gözlemcilere aynı sırada sunulmuştur. Deney için bir zaman sınırı olmamasına rağmen, her gözlemcinin 105 değerlendirmeyi tamamlaması ortalama 20 dakika sürmüştür.

Diş hekimliğinde renk değerlendirmesi yapılabilmesi için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada diş hekimliği araştırmalarında tercih edilen spektrofotometre ve dijital kamera kullanılarak çekilen fotoğraflar üzerinden bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) ile renk analizi yöntemleri kullanılmıştır.

Renk ölçümü cihazlarının güvenilirliği ve doğruluğu hakkında literatürde pek çok araştırma bulunmaktadır. Yapılan bir araştırmada Gehrke ve arkadaşları (Gehrke vd., 2009), görsel renk seçimi ile spektrofotometre kullanılarak dijital renk seçimi yöntemlerini karşılaştırmış, spektrofotometrik yöntemle elde edilen sonucun daha tekrarlanabilir ve güvenilir olduğunu belirtmiştir. Renk ölçüm cihazlarının en sık kullanılanlarından biri olan spektrofotometrelerin yüksek öngörülebilirliği, tekrarlanabilirliği ve dişlerin şeklinden kaynaklanan kenar kayıplarının ortadan kaldırılması gibi özelliklerinden dolayı altın standart olarak kabul edilebileceği ifade edilmektedir (Ishikawa-Nagai vd., 2009). Yapılan farklı bir çalışma da buna paralel olarak spektrofotometrelerin, genel olarak renk eşleştirme konusunda iyi bir standart olduğunu belirtmiştir (Lazar vd., 2019). Spektrofotometrenin avantajlarından biri olarak kendi ışığını üretmesinden dolayı çevresel ışık koşullarına bağlı olmaması söylenmektedir (Yılmaz vd., 2019). ISO TR 28642'ye bakıldığında eşik değer çalışmalarında spektrofotometre, spektoradyometre, kolorimetre ve dijital görüntülemelerin kullanılabileceği ifade edilmiştir. Mevcut çalışmada kolay ulaşım imkanının verdiği öncelikle birlikte bir altın standart olarak görülmesinden ötürü örneklerin ilk renk ölçümleri için spektrofotometre tercih edilmiştir.

Spektrofotometreler arasından VITA Easyshade güncel olarak kullanılan bir cihazdır. Cihaz çalışmalarında güvenilirlik, tekrarlanabilirlik veya doğruluk değerlendirilebilmektedir. Dozić ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada (Dozić vd., 2007) 5 renk ölçüm cihazı (2 kolorimetre: ShadeEye, IdentaColor II; 1 spektrofotometre: VITA Easyshade; 2 dijital kamera: ShadeScan, Ikam) doğruluk

ve hassasiyet yönleriyle in-vivo ve in-vitro olarak değerlendirilmiş olup çalışma sonuçlarına göre VITA Easyshade klinik ve in vitro koşullarda en yüksek hassasiyet ve doğruluğu göstermiştir. Farklı cihazları karşılaştıran bir diğer çalışmada (Kim-Pusateri vd., 2009) 4 renk ölçüm cihazının (2 spektrofotometre: SpectroShade ve VITA Easyshade; 2 dijital kamera: ShadeVision ve ShadeScan) hassaslığını ve doğruluğunu değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre Pusateri ve ark. %92.6 oranı ile VITA Easyshade cihazının 4 cihaz arasında en yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanında diğer cihazlardan farklı olarak, VITA Easyshade'in 5 mm çapında ölçüm ucuna sahip olmasının ve ölçümün dişin merkezinden yapılmasının da doğruluğu arttıran bir diğer faktör olduğu öne sürülmüştür. Bu çalışmanın sonuçlarını doğrular nitelikte Lehmann ve ark. (Lehmann vd., 2010) seramik örneklerin dört renk ölçüm cihazı (3 spektrofotometre: VITA Easyshade, VITA Easyshade Compact, Shadepilot; 1 dijital kamera: ShadeVision) ile yapılan ölçümleri karşılaştırmış ve değerlendirilen diş rengi ölçüm cihazlarının mükemmel tekrarlanabilirlik gösterdiğini, klinik ortamda kullanımının güvenilir olduğunu ifade etmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada da sonuçların güvenilirliği açısından spektrofotometre olarak Vita Easyshade tercih edilmiştir.

Bu tez çalışmasında ikinci ölçüm yöntemi olarak akıllı telefon kamerası ile dijital fotoğrafçılık üzerinden bilgisayarlı görü teknikleri kullanılarak renk ölçümü yöntemi tercih edilmiştir. Günümüzde mobil diş fotoğrafçılığı; yazılım uygulamaları, maliyet etkinliği, gelişmiş işlevsellikler ve yüksek çözünürlüklü fotoğraflar sağlaması açısından avantajlı görünmektedir ve bu da onu renk ölçümleri elde edilmesi için uygun hale getirmektedir (Beverly, 2021). Akıllı telefonlar gibi daha pratik araçların kullanılması iletişimi geliştirebilir ve rengin kolay, hızlı ve doğru bir şekilde çoğaltılmasına yardımcı olabilir. Akıllı telefon kameraları, koşullar ne olursa olsun kullanıcıların fotoğraf çekmesine olanak tanıyan otomatik ayarlamalar gerçekleştirir. Bu sayede cep telefonu, fotoğraf çekme sürecini kolaylaştırır (Majumder & Deen, 2019). Çoğu cep telefonundaki kameralar, otomatik mod kullanıldığında bile yüksek kaliteli görüntüler üretebilmektedir. Ancak piyasadaki tüm akıllı telefonlar ve dijital kameralar test edilmediğinden dolayı yapılan çalışmaların bulguları dikkatle yorumlanmalıdır. Diş hekimliği fotoğraflarında, ISO değeri düşük (yaklaşık 100) bir değerde

ayarlanmalıdır ve ortamda bulunan ışık korunmak istendiğinde, flaşsız çekim yapılabilir (Ahmad, 2009). Bu çalışmada dijital renk analizi için akıllı telefon kullanılarak fotoğraflar çekilmiş olup kullanılan akıllı telefon olarak Samsung Galaxy A9 tercih edilmiştir. Bahsedilen telefon kamerasının ayarları ile hedeflenen ISO değerleri sağlanmış olup D65 aydınlatıcının etkisini kaybetmemek adına flaşsız çekim yapılmıştır.

Literatüre bakıldığında dijital kameraların kullanımını değerlendiren çalışmalar yapılmıştır. Renk ölçümünde kullanılan 3 yöntemi karşılaştırmak için yapılan klinik bir çalışmada (Yılmaz vd., 2022), dokuz hasta üzerine uygulanan üçer adet tam seramik restorasyon kullanılmıştır. Ölçüm yöntemleri olarak; VITA 3D Master, Vita Easyshade V spektrofotometre ve dijital fotoğrafçılık kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda dijital fotoğrafçılık grubu ve VITA 3D Master grubu restorasyonlar, tüm hastalar için %100 hasta memnuniyeti oranı vermiştir. Bu çalışmanın önemli sonuçları ile, dijital fotoğrafçılık yönteminin renk seçimi açısından geleneksel görsel yönteme göre doğruluğu kanıtlanmıştır. Spektrofotometrenin ise çeşitli diş yüzeyi karakterizasyonlarını yakalayamadığı, ancak tek renkli dişlerde mükemmel sonuçlar kaydettiği vurgulanmıştır. Bir başka çalışmada, dijital kamera ile görüntülemenin diş rengi incelenmesinde güvenilir olduğu, buna karşılık spektrofotometrenin (renk ölçüm) diş renkleri için mutlak doğru olmayan değerler verdiği, ancak dijital görüntüleme yöntemi ile aynı sıralamayı verdiği bulunmuştur (Joiner & Luo, 2017). Yapılan tez çalışmasında spektrofotometre ve dijital fotoğraflar üzerinden bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) kullanılarak yapılan renk ölçümleri sonucunda elde edilen eşik değerler karşılaştırıldığında BGT ile hesaplanan ölçümlerin eşik değerlerinin genel olarak spektrofotometre ile hesaplanan eşik değerlerden düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuca bakılarak akıllı telefon kamerası ve BGT kullanılarak yapılan renk ölçüm yönteminin spektrofotometreye kıyasla daha hassas olduğu söylenebilir.

Akıllı telefonlar aracılığıyla renk değerlendirmesi için basit ve özel bir protokol sağlamak amacıyla yapılan bir çalışmada (Albert vd., 2019); renk kılavuzunun bir fotoğrafı, sabah vakti doğal ışık kullanılarak bir akıllı telefon kamerasıyla çekilmiştir. Katılımcı olmayı kabul eden bir hastanın dişleri gülümseme esnasında renk sekmeleri yakinken aynı akıllı telefon ile 14 cm mesafe ve 90° açı kullanılarak sabah vakti doğal ışık kullanılarak fotoğraflanmıştır. Renk

değerlerini seçmek için fotoğraflar akıllı telefonun kendisinde bulunan bir görüntü düzenleme uygulamasından geçirilmiştir. Ardından, gülümseme fotoğrafı renk skalası fotoğrafı ile karşılaştırılmıştır. Spektrofotometre (Vita Easysshade) ve skala kullanılarak seçilen renk, akıllı telefon protokolü tarafından seçilen renkle aynıdır. Çalışmanın bulgularına göre akıllı telefonlar tarafından çekilen dijital fotoğrafların doğal bir dışın değerini doğru bir şekilde gösterebildiği sonucuna varılmıştır. Günümüzde akıllı telefonlar fotoğrafçılık söz konusu olduğunda verimlidir ve kameraları daha büyük kolaylıkla iyi görüntüler üretebilmektedir. Wi-Fi, Bluetooth, mobil internet erişimi (4G) ve çok çeşitli görüntü düzenleme uygulamaları gibi çeşitli iletişim özelliklerinin varlığı, diyafram ayarları, pozlama hızı, beyaz dengesi ve ISO dahil olmak üzere akıllı telefon kamerasındaki görüntü yakalama işleminin birçok parametresi üzerinde büyük kontrol sağlar (Albert vd., 2019).

Dijital ortamda çekilen görüntüler üzerinden renk ölçümü yapabilmek için görüntülerin sayısal değerlere çevrilmesi gereklidir. Dijital kameralar ışığı sayısal verilere dönüştürerek fotoğrafları dış hekimliği iletişiminde etkili bir araç haline getirir. Standart koşullar altında çekilen dijital fotoğrafların taşıdığı sayısal bilgilerin dış rengi analizi için önemli bir araç olduğu bildirilmiştir (Sampaio vd., 2019). Dijital fotoğrafların renk koordinatları, görüntü işleme programları kullanılarak RGB veya CIELAB gibi farklı renk uzaylarında tanımlanabilir (Rondón vd., 2022). Dijital telefon kamerası (iPhone XS) ve profesyonel fotoğraf makinesinin (Canon EOS) karşılaştırıldığı bir çalışmada (Yung vd., 2023), 37 katılımcı dahil edilerek 11 numaralı dişlerinin fotoğrafları üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Floresan ışık aydınlatıcıya sahip bir odada çekilen fotoğrafların renk ölçümleri için Photoshop (CS6; Adobe Systems Incorporated, ABD) programı kullanılmıştır. Fotoğraflar üzerinden renk parametreleri (L, a ve b değerleri) MATLAB yazılımı (versiyon R2020a (9.8); MathWorks, ABD) kullanılarak ölçülmüştür. Profesyonel bir kamerayla çekilen ağız içi fotoğraflar ile akıllı telefon kamerasıyla çekilenler karşılaştırıldığında akıllı telefon kamerasının kabul edilebilir renk doğruluğu sergilediği bulunmuştur. Bu çalışma akıllı telefon kameralarının ağız içi fotoğraflar üzerinden renk ölçümü yapabilmek için uygun bir alternatif olarak hizmet verebileceğini öne sürmüştür. Ancak çeşitli akıllı telefon kameralarının renk doğruluğunu ve harici ışık kaynaklarına olan ihtiyacı araştırmak

için toplam 13 makalenin derlenip incelendiği (Hardan vd., 2022) sistematik bir incelemede çeşitli renk tonu seçim yöntemleri arasındaki renk eşleşmesinin doğruluğunu değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İki bağımsız araştırmacı beş elektronik veri tabanındaki literatürü taramıştır. Dijital renk tonu seçimi veya görsel renk tonu seçiminin renk eşleşmesinin doğruluğu üzerindeki etkisini inceleyen 13 randomize kontrollü çalışma veya in vitro makale yapılan çalışmaya dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar renk eşleştirmesinin geleneksel yöntemle yapıldığında restorasyonlar arasındaki renk farkı değerinin, bilgisayarlı yöntemlerle desteklenen renk ölçümü ile yapılan restorasyonlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu nedenle dijital teknik tek başına görsel tekniğe göre daha güvenilir kabul edilmiştir (Preethi Suganya vd., 2020). Geleneksel ve akıllı telefon yöntemlerini kullanarak renk uyumu doğruluğunu ve güvenilirliğini belirlemek ve karşılaştırmak amacıyla yapılan çalışmada (Tew vd., 2023), 11 veya 21 numaralı dişlerin çıkarılmış olduğu fantom çeneler kullanılmıştır. Çeşitli tonlarda bir orta kesici diş fantom başına yerleştirilmiştir. 10 katılımcıdan Vita Classic renk skalasını kullanarak orta kesici dişe en yakın rengi seçmeleri istenmiştir. Daha sonra bir akıllı telefonla (iPhone X, Apple) 20 cm mesafeden otomatik çekim modu kullanılarak renk skalasındaki sekmelerin fotoğraf çekimleri yapılmıştır ve katılımcılardan tekrar renk eşleştirilmeleri istenmiştir. Her renk sekmesi için iki teknik arasındaki renk uyumu doğruluğundaki farklılıklar karşılaştırılmıştır ve akıllı telefon kullanılarak yapılan renk eşleştirmesi geleneksel yöntemle göre daha iyi doğruluk ve güvenilirlik göstermiştir. Çalışmanın sonucuna göre dijital fotoğraflar üzerinden renk eşleştirilmesinin alternatif yöntem olarak kullanılabileceği öne sürülmüştür. Schropp tarafından yapılan dijital fotoğraf ve bilgisayar yazılımından oluşan görsel ve dijital renk ölçüm yöntemlerini karşılaştıran bir in vitro çalışmanın (Schropp, 2009) sonuçları bu araştırmaları destekler niteliktedir. Çalışmanın sonuçlarına göre dijital fotoğrafların ve bilgisayar yazılımının geleneksel yöntemlere göre daha güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Bununla beraber, farklı sonuçlar sunan çalışmalara da rastlanmaktadır. Dijital kamera ile spektrofotometrenin karşılaştırıldığı bir çalışmada (Naffah vd., 2024) spektrofotometre olarak Vita Easyshade Compact ve dijital kamera olarak Nikon D3200 tercih edilmiştir. Görüntüler dijital kamera ile 25 cm mesafeden çekilmiştir. Çekilen fotoğrafların renk değerleri fotoğrafçılık yazılımına

(Photoshop CS6, ADOBE systems incorporated, ABD) aktarılmış ve renk parametreleri (L, a ve b değerleri) 3x3 piksellik seçili bir alan ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında iki ölçüm yöntemi arasında zayıf bir korelasyon görülmüştür. Bunun sebebi olarak Photoshop programında (3 × 3 piksel) renk analizi için belirli bir alanın olması ve maksimum (15 × 15 piksel) olarak ayarlanabilmesi ve bu alanın Easysshade'in 5 mm çapındaki ucuyla karşılaştırıldığında oldukça dar kalması olabileceği düşünülmüştür. Bu çalışmaya göre Photoshop programı kullanılarak dijital fotoğrafçılık ile renk ölçümü yönteminin zayıf hassasiyet gösterdiği ve spektrofotometre eşdeğerleriyle uyuşmayan sonuçlar üretmekte olduğuna varılmıştır. Bu sonuçları destekler nitelikte farklı bir araştırmanın sonuçlarına göre de bir spektrofotometre ile bir dijital kamera arasındaki farkın önemli olabileceğini ve renk üretiminin kabul edilemez renk hatalarına yol açabileceği gösterilmiştir (Lakhanpal & Neelima, 2016).

Nano dolgulu reçine kompozit kullanılarak hazırlanan örnekler üzerinde yapılan bir çalışmada (O.-H. Tung vd., 2011) referans renk ölçümü için bir D65 aydınlatıcı ve spektrofotometre (SP60, X-Rite, Grand Rapids, MI, ABD) kullanılmıştır. Numunelerin görüntüleri bir cep telefonu (iPhone 8 Plus) kullanılarak 10 cm mesafeden çekilerek elde edildikten sonra renk ölçümü için görüntü işleme yazılımı ImageJ (NIH, Bethesda, MD, ABD) kullanılmıştır. Cep telefonundan elde edilen ölçümler spektrofotometre ile elde edilen değerlere benzerlik göstermiştir. Bu çalışmanın bulguları renk ölçümü için cep telefonundan alınan görüntülerin kullanılmasının, referans olarak test edilen spektrofotometre ile karşılaştırılabilir güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir. RGB filtreleri ve JPG dönüştürme hataları da dahil olmak üzere, yakalanan görüntüleri işlemek için kullanılan sistemlere ilişkin cep telefonları arasındaki farklılıklar da nesnelerin rengini etkileyebileceğini vurgulamak gereklidir (De Bragança vd., 2021).

Yapılan çalışmada renk ölçüm cihazı tercihi yaparken endüstriyel kullanıma yönelik değil, klinik kullanıma yönelik bir cihaz tercihi yapılmasına öncelik verilmiştir. ISO TR 28642'de eşik değer hesaplamaları için yapılan çalışmalarda spektrofotometreler, spektrodymetreler, kolorimetreler ve dijital ölçüm yöntemlerinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Çalışmamızda verilen bilgiler doğrultusunda örneklerin ilk renk ölçümleri bir spektrofotometre olan Vita

Easysshade V kullanılarak yapıldıktan sonra son renk ölçümleri için cep telefonu (Samsung Galaxy A9) kullanılmıştır. Aydınlatma, kompozisyon, lens ve kamera gövdesinin mekanik ve elektronik bileşenleri dahil olmak üzere farklı faktörler bir fotoğraf görüntüsünün renk bilgilerini ve kalitesini etkileyebilir (Tung vd., 2011). Bu çevresel faktörleri standart hale getirmek için bu çalışmada kaydedilen seramik disk görüntüleri, görsel değerlendirmelerin yapıldığı ışık kabini ortamında çekilmiştir. Her iki renk ölçümünün sonuçlarının in vivo olarak anterior dişlerin renk ölçümlerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan önceki bir çalışmada referans alınarak L parametresi için 38,0 ila 89,5 değerleri arasında, a parametresi için 0,3 ila 12,2 değerleri arasında ve b parametresi için 5,7 ila 35,7 değerleri arasında olması sağlanmıştır (Gozalo-Diaz vd., 2007). Çalışmanın hassasiyeti aynı örnekler veya standart örneklerin birkaç kez ölçülmesi ile kontrol edilmektedir. Yapılan çalışmada seramik örneklerin renk ölçümleri her numune için 3 kez tekrarlanmıştır ve 3 ölçümün ortalama değeri hesaplanmıştır.

İki nesne arasındaki olası renk farkını değerlendirmek amacıyla kullanılabilecek farklı formüller vardır: CIELAB, CIEDE2000 ve son dönemde tanıtılan ΔE_{NS} formülü. Dental araştırmalarda en yaygın olarak kullanılan renk farkı formülü, renk koordinatları arasındaki eşit mesafeleri yaklaşık olarak tahmin eden CIELAB sisteminden türetilmiştir (Gómez-Polo vd., 2016). Literatüre bakıldığında renk araştırmalarında kullanılan bu formüllerin birbirleri ile kıyaslandığı ve ilgili formüller hakkında çalışmalar yapılmaya devam edildiği görülmektedir çünkü insan gözüne yakın performansa sahip bir renk farkı formülünün kullanılması, görsel ve enstrümantal bulguların korelasyonunu elde etmek için önemlidir ve sonuç olarak renk farklılıklarının daha yüksek doğruluk ve hassasiyet düzeyinde klinik olarak yorumlanmasını sağlar. Geçerli ve uygulanabilir bir formül kullanmak, estetik diş hekimliğinde gelişmeleri ve sonucunda hasta memnuniyetini iyileştirecektir (Pérez vd., 2018).

Yapılan bir çalışmada (Pérez vd., 2018) dişeti görsel eşiklerin değerlendirilmesinde CIEDE2000 ve CIELAB renk farkı formülleri karşılaştırılmış ve sonucunda CIEDE2000 renk farkı formülünün insan dişeti görsel eşiklerinin değerlendirilmesinde CIELAB formülünden sürekli olarak daha iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Çalışmada CIEDE2000 kullanılarak elde edilen kabul edilebilirlik ve algılanabilirlik değerleri sırasıyla CIELAB değerlerinin yaklaşık

%75'ine ve %62'sine karşılık gelmiştir. Yapılan başka bir çalışmada CIELAB formülünün renk farklılıklarına göre doğruluğu değerlendirilmiş ve tahmin edilen renk farklılıkları ile bunların eşdeğer görsel yargıları arasında, özellikle küçük ve orta dereceli renk farklılıkları için, yani $\Delta E_{AB} < 5$ için nispeten zayıf bir korelasyon olduğu görülmüştür (Wang vd., 2012). Yapılan bir diğer çalışmada (Gómez-Polo vd., 2016), doğal dişlerin renk uzayında CIELAB ve CIEDE2000 renk farkı formülleri karşılaştırılmıştır ve CIEDE2000 formülünün insan gözü tarafından algılanan renk farklılıklarını CIELAB formülünden daha iyi yansıttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte CIEDE2000 ve CIELAB formülleri diş eti renk uzayında değerlendirildiğinde insan gözünün algıladığı benzer renk farklılıklarını göstermiştir (Gómez-Polo vd., 2020). 2007 yılında yapılan bir diğer araştırmada (Wee vd., 2007) porselen diskler üretilmiş ve renk ölçümlerinin ardından farklı renk farkı formülleri ile çalışmada kullanılan temel diskle aralarındaki renk farklılıkları hesaplanarak eşleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre ΔE_{2000} ve $\Delta E_{CMC(2:3)}$ renk farkı formüllerinin hesaplanan renk farklılıklarına daha iyi uyum sağladığı görülmüştür. Gruplar arasında her bir renk farkı formülünde algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Literatüre bakıldığında, CIELAB renk farkı formülüne kıyasla CIEDE2000 formülünün daha çok kullanıldığı görülmektedir (Tejada-Casado vd., 2023). Bunun sebebi olarak CIEDE2000 formülünün renk değişiminin insan gözü tarafından nasıl algılandığını yaklaşık olarak tahmin etmek için daha kabul edilebilir bir formül olması, insan gözünün renk algısına daha yakın bir şekilde eşleşmesi ve daha güncel bir formül olması belirtilmiştir (Tejada-Casado vd., 2023). CIEDE2000, ağırlıklı olarak düşük kroma renklerini etkileyen bir rotasyon terimi (RT) ve renk farkı değerlendirmelerinde aydınlatma ve görme etkisini hesaba katmak için parametrik faktörler aracılığıyla CIELAB renk uzayının tekdüze olmaması için düzeltmeler içermektedir (Tejada-Casado vd., 2024). Bu sebeplerle birlikte son zamanlarda CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), yapılacak araştırmalarda CIEDE2000 renk farkı formülünün (ΔE_{00}) kullanılmasını önermiştir (Pecho, Ghinea, Amaral, vd., 2016). Bu tez çalışmasının sonuçları da önceki araştırmalar ile uyumluluk göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre ΔE_{00} ve ΔE_{AB} formülleri arasında önceki araştırmalara benzer şekilde farklı sonuçlar bulunmuştur. Hem spektrofotometre hem de BGT ile renk analizleri sonucunda hesaplanan eşik

değerler karşılaştırıldığında CIELAB renk farkı formülü kullanılarak bulunan sonuçlar CIEDE2000 renk farkı formülüne göre daha yüksek elde edilmiştir. CIEDE2000 formülünün insan gözüne CIELAB formülünden daha iyi bir uyum sağladığı söylenebilir.

Mirjalili ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (Mirjalili vd., 2019), yan yana basılan öğelerin renk farklarının algılanamamasını temel alarak bitişik basılan 1.012 adet örnek çifti üzerinde değerlendirme yapmış ve CIEDE2000 formülü üzerinde düzenleme yaparak ΔE_{NS} (ayrım yok/no-separation/NS) adında yeni bir formül geliştirmişlerdir. Çiftler 1, 2, 4 ve 8 CIELAB birimi renk farkı olacak şekilde dört renk farkı büyüklüğünü temsil edecek şekilde eşleştirildikten sonra 19 gözlemci tarafından görsel olarak değerlendirmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, ΔE_{00} , 9,1'den küçük olduğunda, daha büyük bir renk farkı büyüklüğü daha yüksek bir DL değeriyle sonuçlanır ve bu da daha düşük bir açıklık farkına ($\Delta L'/DL$) ve daha düşük bir ΔE_{NS} değerine yol açar, ancak kromatik fark üzerinde bir etkisi yoktur. Bu, iki numune arasındaki sınırın renk farkını değerlendirmek için önemli olduğu anlamına gelir. CIEDE2000 renk farkı 9,1'den büyük olduğunda, etki tam tersidir. Araştırmacılar yeni formülün uygun uygulamalarda performansını değerlendirmek için farklı bilim alanlarında yeni araştırmalar yapılmasını önermiştir.

Yapılan çalışmada seramik örnek çiftleri arasındaki renk farklılıkları değerlendirilirken bu yeni formül de dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Yapılan tez çalışmasının sonuçlarına göre kullanılan iki renk ölçüm yöntemlerinin ikisi için de ΔE_{NS} renk farkı formülü kullanılarak elde edilen eşik değerler diğer iki formüle göre daha yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi olarak çalışmada kullanılan seramik diskler çiftler halinde gözlemcilere sunulurken birbirlerine değmesi sağlanmasına rağmen üretilen seramik örneklerin yuvarlak şekilli olmasından dolayı temasın tek noktadan sağlanabilmesi olarak düşünülebilir. Çünkü formül arada hiç ayrım olmayan örnekler için geliştirilmiştir. Ayrıca üretilen seramik disklerin renk aralıkları anterior dişler için belirlenen parametreler dikkate alınarak hazırlandığı için CIEDE2000 formülüne göre 9.1'den küçük ve büyük farklı sayılarda bulunmaktaydı. Elde edilen sonuçlara bakılarak ΔE_{NS} formülünün diş hekimliği alanında ileri araştırmalar ile değerlendirmeye devam edilmesi gerektiği söylenebilir.

Renk uyumsuzluğunu tanıyabilmek ve herhangi bir farkın kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek renk seçimi aşamasının önemli kısmını oluşturmaktadır (Rashid vd., 2023). Renk farkını algılayabilme ve kabul etme bazı faktörlere bağlıdır. Bu faktörler yaş, cinsiyet, deneyim, eğitim, ortam, renk algılama potansiyeli, coğrafi konum ve görme kusurları olabilir (Yılmaz vd., 2019). Bu faktörlerin etkisi sonucunda algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri de değişebilir. Renk algısını etkileyen çevresel faktörlere bakıldığında yapılan bir araştırmada kullanılan aydınlatıcı türünün düşük beceriye ve zayıf renk ayrımı yeterliliğine sahip olanların renk eşleştirme sonuçlarını etkilediği görülmüştür. D50 yerine D65 aydınlatıcı kullanımı katılımcıların renk algılama yeterliliklerini artırıcı özellikte bulunmuştur. Tartışılan faktörlerin kontrol edilmesi, görsel yöntemlerle kabul edilebilir renk seçimi için bir zorunluluktur. Bu nedenle yapılan tez çalışmasında da algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerinin güvenilirliğini arttırmak adına tüm katılımcılara D65 aydınlatıcı altında görsel değerlendirilmeler yaptırılmış olup gerekli standardizasyon sağlanmıştır. Bu şekilde renk algılamasını etkileyen çevresel faktörler kontrol altına alınmıştır (Gasparik, 2014).

Renk algılama yeteneği, doğuştan veya sonradan oluşabilecek renk görme kusurlarından etkilenir. Konjenital renk görme eksikliği veya oküler, nörolojik veya multipl skleroz, tip II diyabet ve glokom gibi sistemik hastalıklar sonrasında ortaya çıkan edinilmiş renk görme eksikliği olabilir (Piro vd., 2019). Renk görme eksikliğinin anlaşılabilmesi adına bazı testler uygulanmaktadır. Renk görüşünü kontrol etmek için yapılan popüler genel testlerin Ishihara Testi ve Farnsworth-Munsell Testi olduğunu daha önce belirtilmişti. Yapılan tez çalışmasında görme eksikliğinin elde edilen sonuçlar üzerindeki doğruluğunu etkilememesi adına gözlemciler bu testlere tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda toplamda 5 kişi çalışmaya dahil edilememiştir. Bu kişilerin cinsiyete göre dağılımı yukarıdaki çalışmanın sonuçlarını destekler nitelikte 3 erkek ve 2 kadın şeklindedir.

Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik çalışmaları incelemelerinde mesleklere ve deneyime göre değerlendirilmeler yapıldığı taktirde farklı sonuçlarla karşılaşılabilirdiği görülmüştür. Örneğin farklı mesleklere sahip katılımcılar ile yapılan bir çalışmada (Ntovas vd., 2024) diş hekimleri, açıklık (lightness) değerlerinin farklılıklarını meslek dışı kişilere göre daha düşük değerlerde

algılamıştır. Yani diş hekimlerinin açıklık (lightness) değerleri arasındaki farkları algılama yetenekleri daha fazla bulunmuştur. Gruplar arasındaki bu farklılığın sebebi eğitim ile açıklanmıştır çünkü alınan eğitimin rengi ayırt etme yeteneğini geliştirebilmekte olduğu ifade edilmiştir (Paravina vd., 2015). Bu çalışmanın sonuçlarını destekler nitelikte diş hekimliğinde beyazlık (whiteness) farkı eşiklerini değerlendiren bir çalışmanın sonuçları, diş hekimlerinin daha iyi ayırt etme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir (Pérez, Herrera, vd., 2019). Ülkemizde yürütülen bir çalışma ise yine bu bulguları destekler niteliktedir. Diş hekimliği öğrencileri ve en az iki yıl restoratif diş hekimliği eğitimi almış restoratif diş hekimleri arasında yapılan çalışmaya göre (İnan vd., 2008) doğru renk eşleştirmesinde klinik bilgi ve deneyimin olduğu sonucuna varılmıştır. Öte yandan, bazı çalışmalarda deneyim seviyesi önemli görülmemiş (Pérez vd., 2020, 2022) ancak diğer çalışmalarda (Medeiros vd., 2021; Pérez, Herrera, vd., 2019) kabul edilebilirlik ve algılanabilirlik eşiklerinde diş hekimleri ve meslekten olmayan kişiler arasında önemli farklılıklar bildirilmiştir. Yapılan tez çalışmasında mesleklere göre ayrı ayrı eşik değerler hesaplandığında gruplar arasında sayısal değerlerde farklılıklar olduğu görülmektedir. Meslek dışı grubun algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri diğer gruplara göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum diş hekimliği eğitiminin görsel algılama yeteneklerini etkilediğini göstermektedir. Ayrıca sonuçlar incelendiğinde protez uzmanları ve teknisyen gruplarının daha düşük eşik değerler gösterdiği bulunmuştur. Bu durumda bahsedilen 2 meslek grubunun protetik tedavi alanında daha fazla tecrübeleri olması dolayısıyla daha iyi renk algılayabildikleri sonucuna varılabilir.

Yapılan farklı bir çalışmada diş teknisyenleri grubu ile meslekten olmayan kişiler grubu karşılaştırıldığında kabul edilebilirlik eşik değeri diş teknisyenleri grubunda daha düşük olmuştur (Paravina vd., 2015). Benzer şekilde, bu çalışmada da teknisyenlerin algılamada daha yetenekli olduğu belirlenmiştir. Sim ve arkadaşları (Sim vd., 2001), diş hekimliği personelinin renk algılamasındaki farkı incelemek için diş teknisyeni, diş hekimliği öğrencisi, pratisyen diş hekimi ve protez uzmanlarının katılımı ile yaptıkları renk seçimini değerlendirdiği çalışmasında çeşitli renklerde farklı algılamaların olduğunu tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasının sonuçları incelendiğinde renk algılama yeteneği bakımından protez uzmanları ve teknisyenlerin renk farklılıklarını daha iyi algılayabildikleri

görülmektedir. Meslek dışı grubun renk algılama eşik değerinin diğer gruplardan daha yüksek olduğu görülmektedir.

Renk algısını etkileyen bir diğer faktör cinsiyet olarak belirtilmiştir (Yılmaz vd., 2019). Literatüre bakıldığında bu konuda farklı çalışmalar ve sonuçlar görülmektedir. Cinsiyetin renk algısı üzerindeki etkisi ile ilgili diş hekimliği araştırmalarında ortak bir karara varılmamıştır. Renk algısında kadınların erkeklere göre daha hassas sonuçlar gösterdiğini belirten çalışmalar (Haddad vd., 2009; Pohlen vd., 2016) olduğu gibi, cinsiyet ve yaşın renk algılama üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını gösteren çalışmalar da (Poljak-Guberina vd., 2011; Samra vd., 2017) bulunmaktadır. Yapılan başka bir çalışmada kadınların renk belirlemede her zaman erkeklerden daha başarılı olmadığı gösterilmiştir (Miranda, 2012). Bu tez çalışmasının sonuçları incelendiğinde algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri açısından kadınlar daha küçük eşik değerlere sahip olmasına rağmen cinsiyet grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

İki cisim arasındaki renk farkı matematiksel formüllerle hesaplanabilmektedir. Ancak diş hekimliğiyle ilgili renk uzayındaki rengin algısal sınırlarının bilinmesi, klinik diş hekimliği ve diş araştırmalarında öneme sahiptir çünkü diş hekimliğinde rengi değerlendirmenin en sık kullanılan yöntemi görsel değerlendirmelerdir (Paravina vd., 2019). Renk psikofiziksel bir özelliktir ve algılanan renk farkının yorumlanması ve sınıflandırılması için görsel eşik değerlerin kullanılması gereklidir (Swarowsky vd., 2025). Eşik değerler bilinmediğinde iki cisim arasındaki renk farkının ölçülmesi ve var olan formüller ile hesaplanması sayısal rakamlardan ibaret olmaktadır. Görsel olarak tespit edilebilen renk farkının büyüklüğü (algılanabilirlik eşik değeri) ve diş estetiğinde kabul edilemez bir değişiklik oluşturan renk farkının büyüklüğü (kabul edilebilirlik eşik değeri) bilinmezse renk farkının yalnızca belirlenmesi araştırmaların sonuçlarının yorumlanmasında güçlük oluşturur.

Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerinin hesaplanması için sistematik yaklaşım ve standartlaştırılmış araştırma yöntemlerinin az olması araştırmalarda elde edilen sonuçların farklı olmasına yol açmaktadır (Paravina vd., 2015). Dolayısıyla, diş hekimliği araştırmalarında, kabul edilebilir bir renk farkı

veya gözlemciler tarafından algılanabilir olarak adlandırılan değerler ile ilgili kararlaştırılmış bir fikir birliği bulunmamaktadır (Schussler vd., 2024).

Eşik değer hesaplamaları için yapılan bir çalışmada (Kuehni & Marcus, 1979) gözlemcilerden öncelikle renk örneklerini bir standartla karşılaştırmaları ve algılanan renk farkına göre sıralamaları istenmiştir. En büyük algılanan farka sahip örneğe 10 değeri verilirken, diğer örnekler 0 ile 10 arasında derecelendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda %50 kabul edilebilirlik için ortalama toplam CIELAB renk farkının yaklaşık 1 olduğu bulunmuştur. Yani gözlemcilerin yarısının 1'den büyük ΔE değerlerini algılayabilmiştir. Bu sonuç, renk eşleştirmedeki gelecekteki çalışmalar ve uygulamalar için bir kıyas noktası sağlamıştır. Ayrıca araştırma renk algısının karmaşıklığını ve insan görsel algısını doğru bir şekilde yansıtabilen renk farkı formüllerinin sürekli geliştirilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Daha sonra yapılan bir diğer çalışmada ise (Ruyter vd., 1987) kompozit rezin disk çiftleri arasındaki renk farklılıklarının kabul edilebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Kompozit rezinden 7 adet disk üretilmiştir ve disklerin renkleri bir laboratuvar spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür. Renk farklılıklarının hesaplanmasında CIELAB renk farkı formülü kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen %50-50 kabul edilebilirlik eşik değeri sonuçları $\Delta E=3.3$ olarak bulunmuştur.

1989 yılında Johnson ve arkadaşları yaptığı çalışmada (Johnston & Kao, 1989); klinik bir senaryoda algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik toleranslarını belirlemişlerdir. Bu çalışmada ön dişlere in vivo olarak yerleştirilen 0,5 mm kalınlığında kompozit rezin restorasyonlar kullanılmıştır. Renk ölçümleri ve hesaplamaları için bir kolorimetre (3 mm çaplı ölçüm alanı, 45°/0° optik geometri) ve CIELAB renk farkı formülü kullanılmıştır. Görsel değerlendirmeler için 2 gözlemci çalışmaya dahil edilmiştir. Sonucunda algılanabilirlik eşik değeri $\Delta E=3.7$ olarak tespit edilmiştir; 6.8'den büyük ΔE değerinin ise ağız ortamında kabul edilebilir renk farkı için üst sınır olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmada (Seghi vd., 1989) yaklaşık 12 mm çapında ve 4 mm kalınlıkta toplam 31 porselen örnek üretilmiştir. Görsel değerlendirme için renk körlüğü testinden geçirilen 23 diş hekimi ve 4 laboratuvar teknisyeni (toplam 22 erkek ve 5 kadın) çalışmaya katılmıştır. Görsel değerlendirmeler floresan ışık altında gerçekleştirilmiş ve gözlemcilerden örnekleri artan pigment doygunluğuna göre düzenlemesi istenmiştir. Örneklerin renk ölçümleri Minolta CR 100 Kromametre (Minolta

Corp., 101 Williams Dr., Ramsey, NJ 07446) ile D65 ışık kaynağı altında yapılmış ve renk farklılıkları CIELAB renk farkı formülü ile hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda renk farkı $\Delta E=2$ 'den büyük olduğu zaman gözlemcilerin tamamının algılayabildiğini, $\Delta E=1-2$ arasında olduğunda ise yanılmalar olduğu bulunmuştur. Işık kaynağının floresan olarak seçilmesi bu çalışmanın standardizasyon eksikliklerinden biri olarak ele alınabilir.

Metal seramik kronlarda renk farklılıkları için görsel eşik değeri belirlemeyi hedefleyen başka bir çalışmada (Douglas & Brewer, 1998), 60 adet metal-seramik kron kullanılmıştır. Kronların renkleri D65 aydınlatıcı altında bir kolorimetre (CR 321 kromametre, Minolta Corp., Ramsey, NJ) ile ölçüldükten sonra kronlar üç gruba ayrılmıştır (L^* grubu veya açıklığı değişen set, a^* grubu veya kırmızı-değişken set ve b^* grubu veya sarı-değişken set). Gözlemciler, renk görme eksikliği açısından test edilen 20 deneyimli protez uzmanıydı (16 erkek ve 4 kadın). Tüm görsel gözlemler, nötr gri renkli bir kabinde D65 aydınlatma altında yapılmıştır. Her bir değerlendirme için maksimum 10 saniye süre verilmiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde kroma açısından incelenen kronlar için algılanabilirlik eşiği $\Delta E=0.4$, kabul edilebilirlik eşiği ise $\Delta E=1.7$ bulunmuştur. Bu tez çalışmasının sonuçları ile kıyaslandığında algılanabilirlik eşik değerinin bahsi geçen çalışmada daha düşük çıkmasının sebebi farklı renk ölçüm cihazlarının kullanımı ve çalışmadaki katılımcıların protez uzmanları olması olabilir.

Başka bir algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik araştırmasında (Ragain & Johnston, 2000) her biri 12 katılımcıdan oluşan ve renk görme açısından belirlenen testlere tabi tutulan toplam 4 grup (dental asistanlar, diş hekimleri, dental materyal bilimcileri ve hastalar) görsel değerlendirme yapmıştır. Toplam 36 kompozit disk belirlenen standart bir örnekle eşleştirilmiştir. Standart diskler ile kompozit diskler arasındaki renk farklılıkları CIELAB, CMC (1:1) ve CMC (2:1) renk formülleri ile hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda kabul edilebilirlik için CIELAB eşik değeri $\Delta E=2,72$ bulunmuştur. Aynı araştırmacılar tarafından yürütülen bir sonraki çalışmanın (Ragain & Johnston, 2001) hedefi benzer şekilde kompozit rezin ile diş rengi arasındaki uyumsuzluğu ayırt etmek için minimum renk farklılıkları hesaplamak olmuştur. Hesaplama için diğer çalışmaya benzer şekilde CIELAB, CMC (2:1) ve CMC (1:1) renk farkı formülleri ve renk görme eksikliği açısından test edilmiş benzer gözlemci popülasyonu (her grupta 12 kişi olacak şekilde 4 grup;

diş hekimleri, dental asistanlar, hastalar ve dental materyal bilimcileri) dahil edilmiştir. Renk ölçümleri spektrofotometre ile yapılmıştır. Görsel değerlendirmelerde ortada duran standart kompozit diskin etrafına 6 adet kompozit disk yerleştirilmiş ve tek tek açılabilen bir deney tasarımı sunulmuştur. Görsel değerlendirmeler karanlık oda içerisinde D65 aydınlatıcılı bir görüntüleme kabininde, 45°/0° optik geometri ve kontrollü bir mesafe kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda gruplara karşılık gelen kabul edilebilirlik eşik değerleri CMC (1:1) formülüne göre diş hekimleri için 2.2, dental asistanlar için 1.8, hastalar için 2.7 ve dental materyal bilimcileri için 2.5 olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda tüm katılımcılar için ortalama 50:50 kabul edilebilirlik eşiği $\Delta E=2.29$ olarak belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında da benzer şekilde, meslek dışı/hasta grubunun daha yüksek eşik değerler göstermesi araştırmada kullanılan spektrofotometre ve görsel değerlendirme yönteminin kullanılabilirliğini de göstermektedir.

Kabul edilebilirlik ve algılanabilirlik değerlerinin klinik koşullar altında araştırılmasının hedeflendiği bir çalışma için (Douglas vd., 2007) 1 adet tam protez üretilmiştir. Bu protezin tasarımında diş değiştirilmesine izin veren bir kaide hazırlanmıştır. Üst sağ santral kesici dişle değişen renk farklılıklarına sahip 10 adet üst sol santral kesici diş üretilmiştir. Sağ merkezi kesici diş ile değiştirilebilir sol merkezi kesici diş protez dişleri arasındaki renk farklarının ölçümü için 45/0 geometriye sahip bir spektrodymetre kullanılmıştır. Değiştirilebilir dişe sahip tam protezi, klinik bir ortamda 28 diş hekimi (4 kadın ve 24 erkek) tarafından değerlendirilmiştir. Hasta, test protezini takarak nötr renkte duvarlara sahip floresan aydınlatma (CRI=86) altında bulunan küçük bir odanın ortasına oturmuş ve dişler değiştirilerek gözlemcilerle algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik soruları sorulmuştur. Her diş hekimi tarafından mesafe kontrol edilmeksizin on değerlendirme yapılmıştır (28 gözlemci için toplam 280 değerlendirme). Diş hekimi gözlemcilerinin %50'sinin bir renk farkını algılayabildiği eşik değer CIELAB formülüne göre $\Delta E=2,6$, %50'sinin renk farkını kabul etmediği eşik değer ise $\Delta E=5,5$ bulunmuştur. Bu değerler arasında önemli farklılıklar bildirilmiştir. Aynı yıl yapılan farklı bir araştırma (Lindsey & Wee, 2007) CIELAB formülünü kullanarak bilgisayar ortamında oluşturulan diş çiftleri ile diş rengi farklılıklarının algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerini belirlemeyi amaçlamıştır.

Araştırmaya renk eksikliği testine tabi tutulan 4'er katılımcıdan oluşan 4 grup (diş hekimleri, dental asistanlar, diş teknisyenleri ve hastalar) olacak şekilde toplam 16 kişi dahil edilmiştir. Katılımcılardan sol taraftaki diş her zaman aynı olacak şekilde bilgisayar tarafından oluşturulan diş şeklindeki renk çiftlerini değerlendirmeleri istenmiştir. 3 seri için 5 çift diş renginden oluşan renk çiftleri için L ve a serisinde, diş rengi standart diştan yaklaşık 0,8 ΔE birimlik artışlarla değişmiştir, b serisinde ise bu artış yaklaşık 1,4 birim olmuştur. Çalışma farklı günlerde toplam 2 seans olacak şekilde yürütölmüş olup ilk seansta algılanabilirlik, ikinci seansta ise kabul edilebilirlik araştırma soruları sorulmuştur. Çalışma karanlık bir odada, bilgisayar monitöründen gelen ışık aydınlatmasında ve 1,2 metre mesafeden gerçekleştirilmiştir. %50:50 algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşikleri a ve L için $\Delta E=1.0$ iken, b için $\Delta E=2.6$ olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasında CIELAB formölü ile renk parametreleri için hesaplanan algılanabilirlik değeri sırasıyla $\Delta L=0.96$, $\Delta a=0.29$ ve $\Delta b=0.83$ olmuştur. Elde edilen bulgular yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında L parametreleri birbirine yakın sonuçlar gösterse de b parametresi için farklılık bulunmaktadır. Bu uyumsuzluğun sebebi kullanılan ölçüm cihazlarının farklılığından ve değeriendirmeye dahil edilen örneklerin L, a, b değeriilerinin ön dişler için önerilen aralığın kullanılmasından kaynaklandığı düşünölebilir.

Tek maksiller santral kesici diş kronuna ihtiyaç duyan 36 hastanın dahil edilerek yapıldığı başka bir renk çalışmasında (Da Silva vd., 2008); her katılımcı için biri D65 ışık altında görsel renk seçimi (Vitapan Classical ve Vitapan 3D-Master ve Chromascope) kullanarak, diğeri ise spektrofotometrik sistem (45/0 derece optik geometri, LED ışık) kullanılarak 2 adet metal destekli seramik kronlar üretilmiştir. Üretilen kronlar hastalara takılmış ve renk uyumu görsel olarak ve spektrofotometre ile değeriendirilmiştir. Görsel değeriendirmeler, her bir hasta için 3 gözlemci (bir protez uzmanı, bir genel diş hekimi ve bir diş hekimi asistanı) tarafından bağımsız olarak 1 ile 10 arasında bir ölçekte (10 mükemmel uyum; 1 uyumsuzluk; ≥ 8 , kabul; ≤ 7 red) derecelendirilmiştir. Son kabul veya ret kararı, 3 muayene edenin ortalama puanına göre verilmiştir. Kabul edilen kronların ortalama ΔE değeri $2,69 \pm 0,98$ (maksimum: 4,21, minimum: 0,46) olarak bulunmuştur. Sayıca az kişinin görsel değeriendirmeye katılması bu çalışmanın sınırlamalarından biridir. Yapılan tez çalışmasının sonuçları ile arada eşik değeri farklılıklarının olması 110 kişinin katılımının sağlanması sebebiyle olabilir.

Sağlam kontralateral kesici dişlere sahip maksiller santral kesici dişler üzerine uygulanmış kronları değerlendirerek eşik değer hesaplamasını hedefleyen bir diğer çalışmada (Ishikawa-Nagai vd., 2009) renk ölçümleri için 45/0° geometriye sahip bir LED ışıklı bir spektrofotometre (Crystal Eye, Olympus, Tokyo, Japonya) kullanılmıştır. 3 deneyimli gözlemci tarafından “mükemmel” olarak tanımlanan 11 kronun doğal diş ile aralarındaki renk farkı hesaplandığında algılanabilirlik eşik değeri $\Delta E=1.6$ olarak bulunmuştur.

Renk ile ilgili başka bir çalışma (Ghinea vd., 2010) Ishihara çizelgeleri kullanılarak normal renk görüşü açısından taranan 13 gözlemcinin (7 kadın ve 6 erkek) katılımıyla 105 çift seramik disk (15 adet, 14 mm çap ve 3 mm kalınlık) kullanarak algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerini hesaplamıştır. Renk ölçümünde 40 cm mesafeden temassız bir SpectraScan PR-704 spektrodymetre (Photo Research, Chatsworth, ABD) kullanılmıştır. Disk çiftlerinin renk farkları CIELAB ve CIEDE2000 renk farklılıkları formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Görsel karşılaştırmalar VeriVide CAC60 görüntüleme kabini (VeriVide Limited, Leicester, Birleşik Krallık) kullanılarak D65 aydınlatıcı altında, örneklerin 45 derece eğimli stant üzerine yerleştirilmesi ile 40 cm mesafeden yapılmıştır. %50:50 algılanabilirlik eşikleri CIEDE2000 için $\Delta E=1,25$ ve CIELAB için $\Delta E=1,74$; kabul edilebilirlik eşik değerleri CIEDE2000 için $\Delta E=2,23$ ve CIELAB için $\Delta E=3,48$ bulunmuştur. Eşik değerler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlılık ifade etmektedir. Bu tez çalışmasında da bahsedilen çalışma dikkate alınarak 15 adet seramik örnek kullanılmış olup görsel değerlendirmeler için benzer ortamlar hazırlanmıştır. Tez çalışmasının sonuçlarına göre %50:50 algılanabilirlik eşikleri spektrofotometre ölçümlerine göre CIEDE2000 için $\Delta E=0,89$ ve CIELAB için $\Delta E=1,24$; kabul edilebilirlik eşik değerleri CIEDE2000 için $\Delta E=1,74$ ve CIELAB için $\Delta E=3,40$ bulunmuştur. Bilgisayarlı görü teknikleri ile ölçüm sonuçlarına göre ise algılanabilirlik eşikleri CIEDE2000 için $\Delta E=0,59$ ve CIELAB için $\Delta E=0,74$; kabul edilebilirlik eşik değerleri CIEDE2000 için $\Delta E=1,34$ ve CIELAB için $\Delta E=2,07$ bulunmuştur. Elde edilen bu farklılıkların sebebi gözlemci farklılıkları, ölçüm yöntemi ve mesafe farklılığı olabilir.

2011 yılında yapılan ve amacı dental seramikler için parlaklık (lightness), renk (kroma) ve ton (hue) için %50:50 kabul edilebilirlik eşik değerlerini

CIEDE2000 renk farkı formülü kullanarak belirlemek olan bir çalışmada (Perez vd., 2011), çapı 14 mm ve kalınlığı 3 mm olan toplam 58 seramik disk üretilmiştir. 58 seramik disk, 0,10 ve 10,02 birim arasında değişen CIEDE2000 renk farklılıkları ile toplam 1653 disk çifti oluşturacak şekilde eşleştirilmiştir ve daha sonra içinde bulunduğu renk özelliği grubunun etkisinin daha fazla olduğu parlaklık, renk(kroma) ve ton(hue) alt kümelerine ayrılmıştır. Toplamda 40,40 ve 31 çift olarak 111 çift çalışmaya dahil edilmiştir. Tüm disklerin santral, lateral ve kanin dişler için belirlenen renk aralığında olmasına dikkat edilmiştir (Gozalo-Diaz vd., 2007). Renk ölçümlerinde 40 cm mesafeden temassız bir SpectraScan PR-704 spektrodymetre (Photo Research, Chatsworth, ABD) kullanılmıştır. Seramik diskler, 45° eğimli bir taban üzerinde D65 aydınlatmaya sahip bir görüntüleme kabini (VeriVide CAC60, VeriVide Limited, Leicester, Birleşik Krallık) ortasına yerleştirilmiştir. Renk algısı deneyleri daha önce deneyimi olan ve renk görme eksikliği açısından test edilen 30 diş hekimi olmayan gözlemcinin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarda $\Delta L'$, $\Delta C'$ ve $\Delta H'$ için eşik değerleri arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. CIEDE2000 (2:1:1), görsel verilere daha iyi uyum gösterdi. CIEDE2000(1:1:1) için %50:50 kabul edilebilirlik eşiği 1,87 iken, CIEDE2000(2:1:1) için karşılık gelen değer 1,78 olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasının sonuçlarına bakıldığında genel kabul edilebilirlik eşik değerinin çalışma ile benzer olduğu görülmektedir ($\Delta E_{00} = 1.74$).

Protez dişlerin algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşiklerini temsil eden renk farkı değerlerini değerlendirmek amacıyla yapılan farklı bir çalışmada (Alghazali vd., 2012) protez kaidesine yerleştirilen sol üst santral protez dişten 0,4-11,4 ΔE birim aralığında renk farkı değerlerine sahip olmak üzere 18 adet değiştirilebilir sağ üst santral protez diş seçilmiş ve bu değerler bir spektrofotometre (CM 2600d, Minolta Konica, Japonya) ile ölçülmüştür. 4 gruba ayrılmış toplam 80 gözlemciden (teknisyenler, hemşireler, diş hekimleri ve araştırmacılar) her bir renk farkı değerinin algılanabilirliğini ve kabul edilebilirliğini bildirmeleri istenmiştir. Renk ayrımı testi karanlık bir odada, D65 standart aydınlatmasının spektral göreceli ışınımını simüle eden filtreli bir tungsten halojen lambanın görüntülenene dişlere göre 45°'de tutulduğu bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda tüm gözlemcilerin %50'sinin renk farkını tespit edebildiği (50:50 algılanabilirlik) belirlenen renk farkı değerleri $\Delta E=1,9$ olmuştur. Tüm gözlemcilerin %50'sinin

kabul edilemez renk farkı nedeniyle dişi değiştirmeyi tercih ettiği (50:50 kabul edilebilirlik) belirlenen renk farkı değeri ise $\Delta E=4,2$ olmuştur. Yapılan farklı bir çalışmada (Dietschi vd., 2012) kalibre edilmiş bir yansıma spektrofotometresi (SpectroShade, Handy Dental Tip 713000, Seri No. HDL0090, MHT, Arbizzano di Negar, Verona, İtalya) kullanılarak, her bir hastadan dolgu ile restore edilmiş yzeyin ve dişin doğal yzeyinin L, a ve b limleri yapılmıştır (8 hastada toplam 11 restorasyon). Renk farklılıkları, MHT analiz yazılımı (SpectroShade, Dental Software Version 2.41, MHT) kullanılarak hesaplanmıştır. Görsel değerlendirmeler sonucunda 4 restorasyon alfa (optimum renk eşleşmesi), 1 bravo (kabul edilebilir renk eşleşmesi) ve 6 charlie ('kabul edilemez' renk eşleşmesi) olarak puanlanmıştır. Ortalama $\Delta E=1.1$ (0.7 ila 1.7 aralığında), doğal diş ve restorasyon arasında optimum görsel bütünleşmeye (alfa skoru) karşılık gelirken, ortalama $\Delta E=3.3$ (2.6 ila 3.8 aralığında), klinik olarak 'kabul edilemez' görsel bütünleşmeye (Charlie skoru) karşılık gelmiştir.

Diş hekimliği alanında renk farkı eşik değerlerine ilişkin yapılan çok merkezli bir çalışmada (Paravina vd., 2015) tek renkli seramik örnekten oluşturulan toplam 1953 numune çifti analiz edilmiş ve çalışma için 60 çift seçilmiştir. rnek çiftleri üç alt kümeye ayrılmıştır ($n = 20$): orta ila açık tonlar (renk farkları ağırlıklı olarak açıklık farklarından kaynaklanmıştır), orta ila koyu tonlar (renk farkları üç renk koordinatının hepsinden kaynaklanmıştır) ve koyu tonlar (renk farkları ağırlıklı olarak kroma farklarından kaynaklanmıştır). Renk limleri için $d/0^\circ$ optik geometriye sahip temassız bir spektoradyometre kullanılmış olup örnekler 30 cm uzakta, görüntüleme kabininin ortasındaki özel bir 45° eğimli tabana yerleştirilmiş ve D65 ışık kaynağı ile aydınlatılmıştır. Renk farkları CIELAB ve CIEDE2000 renk farkı formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Görsel değerlendirmeler dört kıtada yedi farklı coğrafyada gerçekleştirilmiş ve her coğrafya için 5 gözlemciden oluşan 5 grup (diş hekimleri, diş hekimliği öğrencileri, diş teknisyenleri, yardımcı personel ve meslekten olmayan kişiler) toplamda 175 gözlemci çalışmaya katılmıştır. Çalışma sonucunda genel popülasyona dair CIELAB için %50:50 algılanabilirlik eşiği $\Delta E = 1,2$, %50:50 kabul edilebilirlik eşiği $\Delta E=2,7$ elde edilmiştir. Karşılık gelen CIEDE2000 değerleri ise sırasıyla $\Delta E=0,8$ ve $\Delta E=1,8$ olmuştur. Bu tez çalışmasının sonuçlarına göre %50:50 algılanabilirlik eşikleri spektrofotometre ölçümlerine göre CIEDE2000 için $\Delta E=0,89$ ve CIELAB için $\Delta E=1,24$; kabul

edilebilirlik eşik değerleri CIEDE2000 için $\Delta E=1,74$ ve CIELAB için $\Delta E=3,40$ bulunmuştur. Bu tez çalışmasında ölçüm yöntemi olarak farklı cihaz (spektrofotometre) kullanılmasına rağmen elde edilen eşik değerler bahsi geçen çalışma ile benzerlik göstermektedir. Bu sonuca dayanarak spektrofotometrenin ihtiyaç duyulduğunda spektrodymetre yerine kullanılabileceği söylenebilir.

Başka bir renk çalışmasında (Thoma vd., 2016) eşik değer elde edilebilmesi için, restore edilmemiş ve aşınmamış üst kanin ve santral dişlere sahip, iyi periodontal sağlığı olan, görünür bir iltihabı bulunmayan ve diş eti çekilmesi bulunmayan 5 bireyin dijital resimleri çekilmiş ve karşılaştırılmıştır. L, a ve b değerleri, beş bireyin her biri için toplam 12 değiştirilmiş resim (her yönde altı) için pozitif ve negatif yönde kademeli olarak değiştirilmiştir (Photoshop CS3 Extended sürüm 10.0, Adobe Systems). CIELAB değerleri dijital resimlerden ölçülmüştür. Işık ve optik geometrinin belirtilmediği bu çalışmaya 30 gözlemci dahil edilmiştir (10 diş hekimi, 10 diş teknisyeni ve 10 meslek dışı). Görsel değerlendirmeler karanlık bir odada yapılmış ve görüntü başına 10 saniye ile sınırlandırılmıştır. Çalışma sonucunda mesleklere göre eşik değerleri meslek dışı kişiler için 1,8, diş teknisyenleri için 1,8 ve diş hekimleri için 1,9 olarak bulunmuştur. Genel olarak mesleklere göre eşik değerinin değişmediği görülmektedir. Bu tez çalışmasının sonuçlarına göre ise meslek grupları arasında eşik değerler açısından farklılıklar bulunmuştur. Protez uzmanları ve teknisyen grubunun değerleri diğer katılımcılara kıyasla daha düşüktü.

Eşik değerler ile ilgili araştırmaların farklı tekniklerle yapılmaya devam ettiği görülmektedir. 2020 yılında yapılan bir çalışmada (Waller vd., 2020), restorasyon ve mukoza seviyelerinde renk farklılaşmasının algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerini incelemek çalışmanın amacı olmuştur. 20 hastaya yapılan tek diş implant üstü protez ve kontralateral referans diş spektrofotometre kullanılarak ölçüldükten sonra algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik değerlendirmeleri diş hekimleri, diş teknisyenleri ve meslekten olmayan kişiler tarafından yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları diş teknisyenlerinin diş rengi farklılıklarının algılanmasında %50:50 $\Delta E = 2,7$ ile en yüksek hassasiyete sahip olduğunu, diş hekimlerinin $\Delta E = 3,3$ ve meslekten olmayan kişilerin ise $\Delta E = 4,4$ eşik değerler gösterdiği bulunmuştur. Kabul edilebilirlik eşiği değerleri genel olarak tüm gruplarda algılanabilirlik eşiğinden daha yüksekti. Bu tez çalışmasında

da eşik değerler sayısal olarak farklı sonuçlar gösterse de bahsi geçen çalışmaya benzer şekilde diş teknisyenlerinin katılımcı grupları arasında renk algılama hassasiyeti açısından öne çıktığı görülmektedir.

2021 yılında yapılan bir çalışmada (Medeiros vd., 2021) bilgisayar simülasyonu yapılmış bir çift kesici diş örneği ($n = 60$ çift) arasındaki renk farklılıklarının algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşiklerini hesaplayan bir yazılım geliştirilmiştir. Renk farklılıklarının hesaplanmasında CIELAB ve CIEDE2000 renk farkı formülleri kullanılarak görsel değerlendirmeler için 5 grup gözlemci (diş hekimleri, diş hekimliği öğrencileri, diş hekimliği asistanları, diş teknisyenleri ve meslek dışı kişiler) dahil edilmiştir (her grupta 20 kişi olacak şekilde toplam 100 kişi). Görsel değerlendirmeler, kalibre edilmiş yüksek çözünürlüklü bir ekranda karanlık bir ortamda 60 çift örnek her bir gözlemciye rastgele sunularak gerçekleştirilmiştir. Diş hekimleri ve diş teknisyenleri diğer gözlemci gruplarına kıyasla hafif renk farklılıklarını algılama konusunda daha fazla yetenek göstermiştir. CIELAB formülü için algılanabilirlik değerleri sırasıyla diş hekimleri 1,5, diş hekimliği öğrencileri 1,86, diş teknisyenleri 1,79, diş hekimliği asistanları 2,23 ve meslek dışı kişiler 1,87 olarak hesaplanmıştır. CIEDE2000 formülü için algılanabilirlik değerleri ise diş hekimleri 1,13, diş hekimliği öğrencileri 1,30, diş teknisyenleri 1,26, diş hekimliği asistanları 1,72 ve meslek dışı kişiler 1,30 olarak hesaplanmıştır. CIELAB formülü için kabul edilebilirlik değerleri sırasıyla diş hekimleri 3,08, diş hekimliği öğrencileri 2,74, diş teknisyenleri 2,24, diş hekimliği asistanları 3,15 ve meslek dışı kişiler 2,70 olarak hesaplanmıştır. CIEDE2000 formülü kullanıldığında ise kabul edilebilirlik eşik değerlerinin diş hekimleri 2,12, diş hekimliği öğrencileri 1,98, diş teknisyenleri 1,60, diş hekimliği asistanları 2,18 ve meslek dışı kişiler 1,96 olduğu görülmüştür. Yapılan tez çalışmasının sonuçlarında ise eşik değerler ortak gruplar açısından daha düşük bulunmuştur. Bunun sebebi kullanılan ölçüm tekniklerinin farklılığı ve coğrafi konum olabilir. Yapılan tez çalışması ile ortak nokta ise diş teknisyenlerinin diğer gözlemci gruplarına kıyasla renk farklılıklarını algılama konusunda daha fazla hassasiyet göstermiş olmasıdır.

Yapılan farklı bir çalışmada (Ntovas vd., 2024); tek bir maksiller santral dişin renk farklılıklarının ($+\Delta L$ ve $-\Delta L$) algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşiklerini değerlendirmek ve gözlemci grubu ile gözlemcilerin cinsiyeti ve yaşı

açısından araştırmak hedeflenmiştir. Çalışma tasarımında, bir erkek bireyin sağ maksiller santral dişinin önden görüntüsü bir dijital kamera (EOS 80D, Canon) ve bir 100 mm makro kamera lensi (Canon IS USM) kullanılarak RAW görüntü formatında çekilmiştir. Daha sonra santral dişin renk koordinatlarının dijital olarak 7 kere 1ΔL birimi arttırılması ve 7 kere 1ΔL birimi azaltılması ile 15 farklı görüntü elde edilmiştir (orijinal fotoğraf dahil). Elde edilen görüntüler, dijital olarak kalibre edilmiş bir monitörde, öğle vaktinde (11:00-13:00), yapay aydınlatma koşulları altında, doğrudan güneş ışığına maruz kalmayan bir odada, gözlemci ile monitör arasındaki mesafe 60 cm olacak şekilde, 79 diş hekimi ve 79 meslek dışı kişilerden oluşan toplam 158 gözlemciye rastgele sırayla sunulmuştur. Eşik değerler incelendiğinde %50:%50 algılanabilirlik eşiklerinin 0,1 ile 2,7 arasında değiştiği ve %50:%50 kabul edilebilirlik eşiklerinin ise 2,3 ile 4,5 arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Diğer bir araştırmada (Ismail vd., 2023), %50:50 algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşiklerindeki değişimler üç örnek seti (açık, orta ve koyu tonlar) için analiz edilmiştir. CIEDE2000 formülüne göre 50:50% açık, orta ve koyu renkli örnekler için algılanabilirlik değerleri sırasıyla 1,2, 0,7, 0,6 ve kabul edilebilirlik için sırasıyla 2,2, 16, 14 bulunmuştur ($P<0,001$). 50:50% algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşikleri farklı coğrafyalar ve gözlemci grupları için açık, orta ve koyu renkli örnekler arasında önemli ölçüde farklı sonuçlar göstermiştir. Çalışmanın sonuçlarına dayanarak renk farkının görsel algısının, gözlemci grubuna ve coğrafi konumlarına göre değişiklik gösterdiği sonucu kanıtlanmıştır. Bu bilgiye dayanarak Türk popülasyonunda yapılan bu tez çalışmasının sonuçlarının diğer çalışmalardan farklı eşik değerler göstermesinin sebebi olarak coğrafi konum farklılığı öne sürülebilir.

2024 yılında yapılan başka bir araştırmada (Schussler vd., 2024) CIEDE2000 renk farkı formülü kullanılarak diş hekimleri ve hastalar tarafından seramik renk sekmelerinde gözlenen renk farklılıklarının %50:%50 algılanabilirlik eşikleri ve kabul edilebilirlik eşiklerini değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Görsel deneylerde kullanılmak üzere VITA 3D Master renk kılavuzundan 22 seramik renk sekmesi kombinasyonu bir araya getirilmiştir. Her renk sekmesi çifti arasındaki renk farkı VITA EasyShade V spektrofotometresi ile ölçüldükten sonra, CIEDE2000 formülü kullanılarak matematiksel olarak hesaplanmıştır. Görsel deneyler için 20 diş hekimi ve 20 hasta dahil edilmiştir. Görsel deneyler tamamen

karanlık penceresiz odada, nötr gri arka plana sahip görüntüleme kabini kullanılarak, 45 derece açı ile, D65 aydınlatıcı altında, $CRI \geq 90$; 1000 lx aydınlatma ile, dağınık/0° optik geometrisine uyarak, 30 cm'lik görüntüleme mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda algılanabilirlik eşiği diş hekimleri için $\Delta E = 2,29$ ve hastalar için $\Delta E = 2,27$; kabul edilebilirlik eşiği ise diş hekimleri için $\Delta E = 2,41$ ve hastalar için $\Delta E = 2,83$ olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde kabul edilebilirlik eşik değerinin hastalar için daha yüksek değer gösterdiği yani farklı bir ifadeyle diş hekimlerinin renk farklılıklarını kabul etme ihtimalinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasının sonuçlarına bakıldığında da meslek dışı grubu diğer katılımcı gruplarına kıyasla daha yüksek kabul edilebilirlik değerleri göstermiştir.

Aynı yıl yapılan farklı bir eşik değer hesaplama çalışmasında (Tejada-Casado vd., 2024); diş hekimliğinde parlaklık (lightness), renk (chroma) ve ton (hue) farklılıklarının algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik CIEDE2000 eşik değerlerini değerlendirmek amacıyla Python tabanlı bir program kullanılarak bilgisayar tarafından simüle edilmiş dişler kullanılmıştır. Dişler, her biri 40 çiftten oluşan üç alt kümeye ayrılmıştır (parlaklık, kroma ve ton). 20 diş hekimi (10 erkek ve 10 kadın) ve 20 meslekten olmayan kişiden (10 erkek ve 10 kadın) oluşan 40 gözlemci, örnek çiftlerinin üç alt kümesini değerlendirmiştir. Görsel deneyler yalnızca bilgisayar monitöründen gelen ışıqla aydınlatılan karanlık bir odada gerçekleştirilmiş ve tüm gözlemciler ekrandan 40 cm uzağa yerleştirilmiştir. Çalışma sonucunda CIEDE2000 (1:1:1) formülü için hesaplanan algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşikleri sırasıyla şu şekildedir; 1.01 ve 2.66. Bu tez çalışmasının sonuçlarına göre ise CIEDE2000 (1:1:1) formülüne göre spektrofotometre için algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik değerleri sırasıyla 0.89 ve 1.74; BGT ölçümleri için sırasıyla 0.59 ve 1.34 olarak bulunmuştur. Bu çalışmadaki eşik değerlerin daha düşük bulunmasının sebebi katılımcı sayısının fazla olması ve katılımcı çoğunluğunun diş hekimliği mesleği ile ilgili gruplardan oluşması olabilir.

Türk popülasyonunda gerçekleştirilen güncel bir çalışmada (Kurt vd., 2024) maksillofasiyal silikonların açık ve koyu cilt renkleri için algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşiklerini değerlendirmek hedeflenmiştir. Her biri 14 adet silikon cilt replikasyonundan oluşan iki farklı numune seti (açık ve koyu) üretilmiştir. Tüm numunelerin rengi spektrofotometre ile ölçülmüştür (CM-2300d; KonicaMinolta,

Tokyo, Japonya). Numunelerin renk farkı seviyeleri CIELAB ve CIEDE2000 formülleri kullanılarak hesaplandı. Örneklerin renk farklılığını değerlendirmek üzere toplam 90 katılımcı (45 kadın ve 45 erkek) çalışmaya dahil edilmiştir. Katılımcılar mesleki deneyimlerine göre birinci sınıf diş hekimliği öğrencileri, stajyerler ve diş hekimleri olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır (n=30). Görsel değerlendirmeler standart aydınlatma koşulları altında, nötr gri duvarları ve zemini olan renkli değerlendirme dolabında ve tepesinde standart bir D65 yapay gün ışığı aydınlatıcısı ile 30 cm mesafeden gerçekleştirilmiştir. Algılanabilirlik eşikleri ($\Delta E_{ab} / \Delta E_{00}$) açık ve koyu renkler için sırasıyla 0,8/0,59 ve 2,63/1,75 idi. Kabul edilebilirlik eşikleri ($\Delta E_{ab} / \Delta E_{00}$) açık ve koyu renkler için sırasıyla 3.35/2.25, 10.07/7.04 idi. Renk farklılıkları için görsel eşik değeri, koyu ten renklerinde daha yüksek bulunmuştur. Gözlemciler, renk farklılıklarını açık ten renklerinde daha kolay algılayabilmektedir. Algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri açısından cinsiyet ve farklı deneyim grupları arasında herhangi bir farklılık bulunmamıştır.

Bu tez çalışmasında elde edilen eşik değer sonuçları dental literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında farklılıklar bulunmuştur. Dental literatür incelendiğinde farklı çalışma tasarımı ile farklı eşik değer eldelerinin yapıldığı görülmektedir. Eşik değer araştırmak için yapılan çalışma prosedürleri karmaşıktır ve diş hekimlerinin renk konusundaki bilgileri bazı durumlarda yetersiz çalışma tasarımlarına ve veri işlemelerine yol açarak bulguların güvenilirliğini zayıflatabilmektedir. Farklı gözlemci grupları ve sayısı, görsel deneylerin yapıldığı kontrolsüz koşullar ve görsel-aletsel renk analizlerinin tutarsızlıklarının farklı sonuçlara sebebiyet verebileceği düşünülmektedir (Schussler vd., 2024). Yapılan çalışmaların in vitro veya in vivo olması, özel bir araştırma metodolojisinin kullanılması ve farklı formüllerin farklı değerler elde etmesi sonuçları etkilemektedir. Çeşitli deneysel ortam koşulları elde edilen eşik değerlerdeki tutarsızlığı ve farkı açıklayabilmektedir (Ghinea vd., 2010). Çeşitli çalışmalardan elde edilen algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşikleri arasındaki farkların seçilen renk ölçüm cihazı ve değerlendirilen numunelerin türü gibi diğer faktörlerden kaynaklanabileceği de düşünülmektedir. Veri analizi de bir diğer etkili faktördür olarak görülmektedir (Paravina vd., 2019). Yapılan çalışmalardaki standardizasyon eksikliklerinden dolayı bu tür çalışmaları karşılaştırmak zordur çünkü sonuçlar

yukarıda bahsedilen faktörler dahil olmak üzere birçok faktöre göre değişebilmektedir (Ntovas vd., 2024).

Bu tez çalışmasında farklı renk parametrelerine sahip 3 renk farkı formülü ve 2 farklı renk ölçüm yöntemi kullanılarak algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Mevcut çalışmadaki görsel değerlendirmeye katılan gözlemcilerin çoğunluğunun diş hekimliği alanı ile ilgili olması ve çeşitli derecelerde renk bilgisine sahip olmaları, elde edilen eşik değerlerin bahsi geçen diğer çalışmalara göre daha düşük olmasını açıklayabilir. Çalışmada farklı bir renk ölçüm yöntemi olarak dijital kamera ile çekilmiş fotoğraflar üzerinden bilgisayarlı görü teknikleri (BGT) kullanılarak yapılan renk analizi yöntemi elde edilen eşik değerlerdeki farklılıkların bir diğer sebebi olarak sayılabilir. Çalışmanın sınırlamalarından biri monokromatik porselen disklerin kullanılmasıdır. Bu durum doğal dişlerin polikromatik yapısıyla uyuşmamaktadır. Aynı zamanda çalışma in vitro bir şekilde tasarlanmış olup in vivo koşullar altında yapılırsa elde edilen sonuçlarda farklılıklar gösterebilir. Ayrıca çalışmada kullanılan akıllı telefon kamerası, çoğu mobil kamera gibi otomatik çekim moduna sahiptir ve beyaz dengesi, ISO, mekik hızı veya diyafram için özel ayarlar yapılmadan fotoğraflar çekilmiştir. Bu sebeple farklı telefonlarla aynı çalışma yapılırsa farklı sonuçlar elde edilebilir. Daha büyük bir örneklem boyutu, daha çeşitli değerlendirici grupları, farklı dental malzemeler ve farklı renk ölçüm cihazların ve farklı akıllı telefon kameralarının kullanımı ile in vivo bir çalışma tasarımının yapılması tavsiye edilebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasının sınırlamaları dahilinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1-Spektrofotometre ile yapılan renk ölçümleri sonucunda ΔE_{00} için algılanabilirlik eşiği 0.89, kabul edilebilirlik eşiği 1.74; ΔE_{AB} için algılanabilirlik eşiği 1.24, kabul edilebilirlik eşiği 3.40; ΔE_{NS} için algılanabilirlik eşiği 1.80, kabul edilebilirlik eşiği 4.98; ΔL değişkeni için algılanabilirlik eşiği 0.96, kabul edilebilirlik eşiği 1.43; Δa için algılanabilirlik eşiği ise 0.29, kabul edilebilirlik eşiği 0.36; Δb için algılanabilirlik eşiği ise 0.83, kabul edilebilirlik eşiği 1.99 olarak bulunmuştur.

2-Akıllı telefon kamerası ile çekilen fotoğraflar üzerinden bilgisayarlı görü teknikleri kullanılarak yapılan renk ölçümleri sonuçlarına göre ΔE_{00} için algılanabilirlik eşiği ise 0.59, kabul edilebilirlik eşiği 1.34; ΔE_{AB} için algılanabilirlik eşiği 0.74, kabul edilebilirlik eşiği 2.07; ΔE_{NS} için algılanabilirlik eşiği 1.15, kabul edilebilirlik eşiği 2.62; ΔL değişkeni için algılanabilirlik eşiği 0.62, kabul edilebilirlik eşiği 1.13; Δa için algılanabilirlik eşiği ise 0.15, kabul edilebilirlik eşiği 0.26; Δb için algılanabilirlik eşiği ise 0.76, kabul edilebilirlik eşiği 1.55 olarak bulunmuştur.

3-Eşik değerler cinsiyetler arasında karşılaştırıldığı zaman kadınların algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerinin erkeklere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak gruplar arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

4-Elde edilen eşik değerler mevcut çalışmaya dahil edilen 5 grup arasında karşılaştırıldığında diş teknisyenleri ve protez uzmanlarının en düşük eşik değerleri gösterdiği görülmektedir. Meslek dışı grup ise en yüksek değerleri göstermiştir.

5- Bilgisayarlı görü tekniklerinin spektrofotometre sonuçlarına göre daha düşük değerler vermesi ölçüm yönteminin daha hassas olması ile açıklanabilir. Bu sebeple bilgisayarlı görü teknikleri temas tipi renk ölçüm

araçlarına alternatif bir yöntem olabilir. Bu konudaki çalışmalara devam edilmesi önerilir.

6- ΔE_{NS} renk farkı formülünün bu çalışmada kullanımı daha yüksek eşik değerler elde edilmesiyle sonuçlanmıştır. Ancak formülün kullanım amacına yönelik uygun şartlar altında örneklerin üretimi ile diş hekimliği alanında bu formülün kullanımının değerlendirildiği çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.



KAYNAKLAR

- Adebayo, G. E., Gbadebo, O. S., & Ajayi, M. D. (2022). The tooth shade matching ability among dental professionals: a comparative study. *Annals of Ibadan Postgraduate Medicine*, 20(1), 65-71.
- Ahmad, I. (2009). Digital dental photography. Part 6: camera settings. *British Dental Journal*, 207(2), 63-69. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2009.607>
- Ahmed, Y. T., Almutairi, F. A., Alomran, S. A., Alkhayatt, N. M., Alsulaiman, S. A., Alohalı, S. Y., & Alhamdi, A. A. (2022). Dehydration time effect on tooth color measurement: An in vitro study. *European Journal of Dentistry*, 16(04), 895-900. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1741377>
- Aksoy, G., Polat, H., Polat, M., & Coskun, G. (2006). Effect of various treatment and glazing (coating) techniques on the roughness and wettability of ceramic dental restorative surfaces. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 53(2), 254-259. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2006.09.016>
- Albert, C. J., Da Silva, E. N., Penteado, M. M., De Lima, D. R., Kimpara, E. T., & Uemura, E. S. (2019). Color assessment in dental prostheses: the use of smartphones as process tools. *Brazilian Dental Science*, 22(4), 573-577. <https://doi.org/10.14295/bds.2019.v22i4.1740>
- Alghazali, N., Burnside, G., Moallem, M., Smith, P., Preston, A., & Jarad, F. D. (2012). Assessment of perceptibility and acceptability of color difference of denture teeth. *Journal of Dentistry*, 40, e10-e17. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.04.023>
- Alkhatib, M. N., Holt, R., & Bedi, R. (2005). Age and perception of dental appearance and tooth colour. *Gerodontology*, 22(1), 32-36. <https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2004.00045.x>
- Altunsoy, S. (2001). *Farklı post-core materyalleri ve siman renkleri kullanılarak, In-Ceram ve IPS Empress tam seramik restorasyonlardaki renk değışikliğinin incelenmesi* [Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Analoui, M., Papkosta, E., Cochran, M., & Matis, B. (2004). Designing visually optimal shade guides. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 92(4), 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.06.028>
- Anusavice, K. J. (2003). *Phillips' science of dental materials*. (11th ed). W. B. Saunders.
- Anusavice, K. J. (1996). *Phillips' science of dental materials* (10th ed.). W. B. Saunders.
- Arik, B., Sato, T., Sarıkaya, G., & İkiz, Y. (2016). Seasonal and emotional associations of the colours and their effects on directing the Turkish fashion. *Color Research & Application*, 41(5), 523-529. <https://doi.org/10.1002/col.21985>
- Arney, J. S. (2002). Book review: Principles of color reproduction. *Color Research & Application*, 27(1), 59-60. <https://doi.org/10.1002/col.10008>
- Awad, D., Stawarczyk, B., Liebermann, A., & Ilie, N. (2015). Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 113(6), 534-540. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.12.003>
- Bayindir, F., Kuo, S., Johnston, W. M., & Wee, A. G. (2007). Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 98(3), 175-185. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(07\)60053-5](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(07)60053-5)
- Becerir, B. (2023). *Endüstriyel renk fiziğı ve tekstil uygulamaları* (1. bs). Medyay Basım Yayım.
- Beneducci, W. P., Teixeira, M. L., & Pedrini, H. (2023). Dental shade matching assisted by computer vision techniques. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, 11(4), 1378-1396. <https://doi.org/10.1080/21681163.2022.2130824>

- Berns, R. S., Alman, D. H., Reniff, L., Snyder, G. D., & Balonon-Rosen, M. R. (1991). Visual determination of suprathreshold color-difference tolerances using probit analysis. *Color Research & Application*, 16(5), 297-316. <https://doi.org/10.1002/col.5080160505>
- Beverly, L. (2021). Protocols for mobile dental photography with auxiliary lighting. *CRANIO®*, 39(2), 181-181. <https://doi.org/10.1080/08869634.2021.1876427>
- Birch, J. (2012). Worldwide prevalence of red-green color deficiency. *Journal of the Optical Society of America A*, 29(3), 313. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.29.000313>
- Bolt, R. A., Bosch, J. J. ten, & Coops, J. C. (1994). Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Physics in Medicine and Biology*, 39(7), 1133-1142. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/39/7/006>
- Brewer, J. D., Wee, A., & Seghi, R. (2004). Advances in color matching. *Dental Clinics of North America*, 48(2), 341-358. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2004.01.004>
- Brook, A. H., Smith, R. N., & Lath, D. J. (2007). The clinical measurement of tooth colour and stain. *International Dental Journal*, 57(5), 324-330. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595X.2007.tb00141.x>
- Cal, E., Güneri, P., & Köse, T. (2006). Comparison of digital and spectrophotometric measurements of colour shade guides. *Journal of Oral Rehabilitation*, 33(3), 221-228. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2005.01560.x>
- Chen, H., Huang, J., Dong, X., Qian, J., He, J., Qu, X., & Lu, E. (2012). A systematic review of visual and instrumental measurements for tooth shade matching. *Quintessence international (Berlin, Germany: 1985)*, 43(8), 649-659.
- Cho, B., Lim, Y., & Lee, Y. (2007). Comparison of the color of natural teeth measured by a colorimeter and Shade Vision System. *Dental Materials*, 23(10), 1307-1312. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.11.008>
- Chu, S., Devigus, A., & Mieleszko, A. (2004). Fundamentals of color shade matching and communication in esthetic dentistry. . *Quint Pub*, 1-99.
- Chu, S. J., Paravina, R. D., Sailer, I., & Mieleszko, A. J. (2018). Color in Dentistry A Clinical Guide to Predictable Esthetics. *Stomatology Edu Journal*, 5(2), 129. [https://doi.org/10.25241/stomaeduj.2018.5\(2\).bookreview.1](https://doi.org/10.25241/stomaeduj.2018.5(2).bookreview.1)
- Chu, S. J., Trushkowsky, R. D., & Paravina, R. D. (2010). Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of Dentistry*, 38, e2-e16. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.001>
- Clarke, F. J. J., McDonald, R., & Rigg, B. (1984). Modification to the JPC79 Colour-difference Formula. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 100(4), 128-132. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1984.tb00969.x>
- Çelik, A., & Tekin, E. (2020). Hough transform görüntü işleme yöntemiyle ekim makineleri için tohum sayma uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 260-267. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf33>
- Çinko, U. O., & Becerir, B. (2019). Dependence of colour difference formulae on regular changes of colour coordinates in CIELAB colour space. *Industria Textila*, 70(03), 248-254. <https://doi.org/10.35530/IT.070.03.1525>
- Da Silva, J. D., Park, S. E., Weber, H.-P., & Ishikawa-Nagai, S. (2008). Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 99(5), 361-368. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60083-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60083-9)
- Dang, A. D., Belles, D. M., Gonzalez, M. D., Aponte-Wesson, R. A., & Paravina, R. D. (2024). Repeatability of different mobile phone applications for color measurement in dentistry. *Journal of Prosthodontics*, 33(9), 908-917. <https://doi.org/10.1111/jopr.13959>

- De Bragança, R. M. F., Moraes, R. R., & Faria-E-Silva, A. L. (2021). Color assessment of resin composite by using cellphone images compared with a spectrophotometer. *Restorative dentistry & endodontics*, 46(2), e23. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e23>
- Dietschi, D., Abdelaziz, M., Krejci, I., Di Bella, E., & Ardu, S. (2012). A novel evaluation method for optical integration of Class IV composite restorations. *Australian Dental Journal*, 57(4), 446-452. <https://doi.org/10.1111/adj.12001>
- Doğan, A., & Yüzügüllü, D. D. B. (2011). Renk seçiminde güncel teknolojik gelişmeler. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 4, 65-72.
- Douglas, R. D., & Brewer, J. D. (1998). Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 79(3), 254-260. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(98\)70233-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(98)70233-1)
- Douglas, R. D., Steinhauer, T. J., & Wee, A. G. (2007). Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 97(4), 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2007.02.012>
- Dozić, A., Kleverlaan, C. J., El-Zohairy, A., Feilzer, A. J., & Khashayar, G. (2007). Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *Journal of Prosthodontics*, 16(2), 93-100. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2007.00163.x>
- Efitli, E., Karcioğlu, A. A., Şimşek, E., Özdoğan, A., Karataş, F., & Şenocak, T. (2025). Machine learning-based tooth color assessment using color moments to prevent metamerism in different clinical lights. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 71-82. <https://doi.org/10.21597/jist.1594829>
- Elamin, H. O., Abubakr, N. H., & Ibrahim, Y. E. (2015). Identifying the tooth shade in group of patients using Vita Easyshade. *European Journal of Dentistry*, 09(02), 213-217. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.156828>
- Fondriest, J. (2003). Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 23(5), 467-479.
- Freedman, G. (2012). *Contemporary esthetic dentistry*. Elsevier Mosby; 2012. (1st Ed.).
- Freedman, G. A. (2011). *Contemporary esthetic dentistry* (1st ed).
- Gasparik, C. (2014). Influence of light source and clinical experience on shade matching. *Clujul Medical*, 87(1), 30-33. <https://doi.org/10.15386/cjm.2014.8872.871.cg1at2>
- Gehrke, P., Riekeberg, U., Fackler, O., & Dhom, G. (2009). Comparison of in vivo visual, spectrophotometric and colorimetric shade determination of teeth and implant-supported crowns. *International journal of computerized dentistry*, 12(3), 247-263.
- Ghinea, R., Pérez, M. M., Herrera, L. J., Rivas, M. J., Yebra, A., & Paravina, R. D. (2010). Color difference thresholds in dental ceramics. *Journal of Dentistry*, 38, e57-e64. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.008>
- Gómez-Polo, C., Montero, J., Gómez-Polo, M., & Martín Casado, A. (2020). Comparison of the CIELab and CIEDE 2000 color difference formulas on gingival color space. *Journal of Prosthodontics*, 29(5), 401-408. <https://doi.org/10.1111/jopr.12717>
- Gómez-Polo, C., Muñoz, M. P., Lorenzo Luengo, M. C., Vicente, P., Galindo, P., & Martín Casado, A. M. (2016). Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(1), 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.07.001>
- Gómez-Polo, C., Portillo Muñoz, M., Lorenzo Luengo, M. C., Vicente, P., Galindo, P., & Martín Casado, A. M. (2016). Comparison of two color-difference formulas using the Bland-Altman approach based on natural tooth color space. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(4), 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.07.013>

- Gotfredsen, K., Gram, M., Ben Brahem, E., Hosseini, M., Petkov, M., & Sitorovic, M. (2015). Effectiveness of shade measurements using a scanning and computer software system: a pilot study. *Int J Oral Dent Health*, 1(008).
- Gozalo-Diaz, D. J., Lindsey, D. T., Johnston, W. M., & Wee, A. G. (2007). Measurement of color for craniofacial structures using a 45/0-degree optical configuration. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 97(1), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.10.013>
- Haddad, H. J., Jakstat, H. A., Arnetzl, G., Borbely, J., Vichi, A., Dumfahrt, H., Renault, P., Corcodel, N., Pohlen, B., Marada, G., de Parga, J. A. M. V., Reshad, M., Klinke, T. U., Hannak, W. B., & Paravina, R. D. (2009). Does gender and experience influence shade matching quality? *Journal of Dentistry*, 37, e40-e44. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.05.012>
- Hammad, I. A. (2003). Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 89(1), 50-53. <https://doi.org/10.1067/mp.2003.60>
- Hammad, I. A., & Stein, R. S. (1991). A qualitative study for the bond and color of ceramometals. Part II. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 65(2), 169-179. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(91\)90158-S](https://doi.org/10.1016/0022-3913(91)90158-S)
- Hardan, L., Bourgi, R., Cuevas-Suárez, C. E., Lukomska-Szymanska, M., Monjarás-Ávila, A. J., Zarow, M., Jakubowicz, N., Jorquera, G., Ashi, T., Mancino, D., Kharouf, N., & Haikel, Y. (2022). Novel trends in dental color match using different shade selection methods: A systematic review and meta-analysis. *Materials*, 15(2), 468. <https://doi.org/10.3390/ma15020468>
- Hasegawa, A., Ikeda, I., & Kawaguchi, S. (2000). Color and translucency of in vivo natural central incisors. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 83(4), 418-423. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(00\)70036-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(00)70036-9)
- Hatırlı, H., Karaarslan, E. Ş., Yaşa, B., Kılıç, E., & Yaylacı, A. (2021). Clinical effects of dehydration on tooth color: How much and how long? *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(2), 364-370. <https://doi.org/10.1111/jerd.12612>
- Heffernan, M. J., Aquilino, S. A., Diaz-Arnold, A. M., Haselton, D. R., Stanford, C. M., & Vargas, M. A. (2002). Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: Core and veneer materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 88(1), 10-15. <https://doi.org/10.1067/mp.2002.126795>
- Herrera, L. J., Pulgar, R., Santana, J., Cardona, J. C., Guillén, A., Rojas, I., & Pérez, M. del M. (2010). Prediction of color change after tooth bleaching using fuzzy logic for Vita Classical shades identification. *Applied Optics*, 49(3), 422. <https://doi.org/10.1364/AO.49.000422>
- Hindle, J. P., & Harrison, A. (2000). Tooth colour analysis by a new optoelectronic system. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 8(2), 57-61.
- Hirata, R., Sampaio, C. S., de Andrade, O. S., Kina, S., Goldstein, R. E., & Ritter, A. V. (2022). Quo vadis, esthetic dentistry? Ceramic veneers and overtreatment—A cautionary tale. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(1), 7-14. <https://doi.org/10.1111/jerd.12838>
- Honson, V., Huynh-Thu, Q., Arnison, M., Monaghan, D., Isherwood, Z. J., & Kim, J. (2020). Effects of shape, roughness and gloss on the perceived reflectance of colored surfaces. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00485>
- Horn, D. J., Bulan-Brady, J., & Hicks, M. L. (1998). Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *Journal of Endodontics*, 24(12), 786-790. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80002-2)
- Hu, X., Johnston, W. M., & Seghi, R. R. (2010). Measuring the color of maxillofacial prosthetic material. *Journal of Dental Research*, 89(12), 1522-1527. <https://doi.org/10.1177/0022034510378012>
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO/TR 28642 dentistry— guidance on color measurement*.

- Ishikawa-Nagai, S., Ishibashi, K., Tsuruta, O., & Weber, H.-P. (2005). Reproducibility of tooth color gradation using a computer color-matching technique applied to ceramic restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 93(2), 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.10.024>
- Ishikawa-Nagai, S., Yoshida, A., Sakai, M., Kristiansen, J., & Da Silva, J. D. (2009). Clinical evaluation of perceptibility of color differences between natural teeth and all-ceramic crowns. *Journal of Dentistry*, 37, e57-e63. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.04.004>
- Ismail, E. H., Ghinea, R. I., Herrera, L. J., Tashkandi, E., & Paravina, R. D. (2023). Multicenter study on visual color difference thresholds. A secondary analysis of light, medium, and dark tooth-colored specimens. *American journal of dentistry*, 36(2), 86-90.
- İnan, H., Yapıcı, D. E., Şentürk, Y., Toprak, S., Çınar, D., & Yüzügüllü, B. (2008). Başkent Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi öğrencileri ile restoratif diş hekimleri arasında renk eşleştirme yetilerinin karşılaştırılması. *Hacettepe Univ Dent J.*, 32(3), 56-63.
- Jarad, F. D., Russell, M. D., & Moss, B. W. (2005). The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *British Dental Journal*, 199(1), 43-49. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4812559>
- Johnston, W. M. (2009). Color measurement in dentistry. *Journal of Dentistry*, 37, e2-e6. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.03.011>
- Johnston, W. M., & Kao, E. C. (1989). Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *Journal of Dental Research*, 68(5), 819-822. <https://doi.org/10.1177/00220345890680051301>
- Johnston, W. M., Ma, T., & Kienle, B. H. (1995). Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *The International journal of prosthodontics*, 8(1), 79-86.
- Joiner, A. (2004). Tooth colour: a review of the literature. *Journal of Dentistry*, 32, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2003.10.013>
- Joiner, A., & Luo, W. (2017). Tooth colour and whiteness: A review. *Journal of Dentistry*, 67, S3-S10. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.09.006>
- Kahramanoğlu, E., & Kulak Özkan, Y. (2013). Diş hekimliğinde estetik ve renk. *Cumhuriyet Dental Journal*, 16(4), 339-347. <https://doi.org/10.7126/cdj.2013.1011>
- Karamouzos, A., Papadopoulos, M. A., Kolokithas, G., & Athanasiou, A. E. (2007). Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. *Journal of Oral Rehabilitation*, 34(8), 613-621. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2007.01744.x>
- Keyf, F. (2004). Evaluation of gloss changes of two denture acrylic resin materials in four different beverages. *Dental Materials*, 20(3), 244-251. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(03\)00099-X](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(03)00099-X)
- Keyf, F., Uzun, G., & Altunsoy, S. (2009). Diş hekimliğinde renk seçimi. *Hacettepe Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 33, 52-58.
- Kim, H.-K., Kim, S.-H., Lee, J.-B., & Ha, S.-R. (2016). Effects of surface treatments on the translucency, opalescence, and surface texture of dental monolithic zirconia ceramics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(6), 773-779. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.11.020>
- Kim-Pusateri, S., Brewer, J. D., Davis, E. L., & Wee, A. G. (2009). Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *The Journal of prosthetic dentistry*, 101(3), 193-199. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(09\)60028-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(09)60028-7)
- Koçak, E. F. (2014). *Zirkonya esaslı alt yapı sistemlerinin optik özelliklerinin Kubelka-Munk analizine göre değerlendirilmesi* [Doktora tezi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Kuehni, R. G., & Marcus, R. T. (1979). An experiment in visual scaling of small color differences. *Color Research & Application*, 4(2), 83-91.

- Kuncan, M. (2013). *Endüstriyel bir makinada görüntü işleme yöntemi ile zeytinlerin renklerine göre ayırt edilmesi* [Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi].
- Kurt, M., Nemli, S. K., Güngör, M. B., Bal, B. T., & Öztürk, E. (2024). Perceptibility and acceptability thresholds for color differences of light and dark maxillofacial skin replications. *Vision Research*, 223, 108474. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2024.108474>
- Kurt, M., Turhan Bal, B., & Bal, C. (2016). Actual methods of color measurement: A systematic review. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 22(2), 130-146. <https://doi.org/10.5336/dentalsci.2015-46150>
- Lakhanpal, S., & Neelima, M. S. (2016). Accuracy of three shade-matching devices in replicating the shade of metal ceramic restorations: An in vitro study. *The journal of contemporary dental practice*, 17(12), 1003-1008.
- Lateef Albukhnefis, A. (2024). An efficient algorithm for automated skin lesion detection: A non-machine learning approach. *Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics*, 16(3). <https://doi.org/10.29304/jqcs.2024.16.31638>
- Lazar, R., Culic, B., Gasparik, C., Lazar, C., & Dudea, D. (2019). The accuracy of dental shade matching using cross-polarization photography. *International journal of computerized dentistry*, 22(4), 343-351.
- Lehmann, K. M., Devigus, A., Igiel, C., Wentaschek, S., Azar, M. S., & Scheller, H. (2011). Repeatability of color-measuring devices. *The European journal of esthetic dentistry : official journal of the European Academy of Esthetic Dentistry*, 6(4), 428-435.
- Lehmann, K. M., Igiel, C., Schmidtman, I., & Scheller, H. (2010). Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *Journal of Dentistry*, 38, e65-e70. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.006>
- Lichter JA, Solomowitz BH, & Sher M. (2000). Shade selections: Communicating with a laboratory technician. *New York State Dent.*, 66, 42-47.
- Lim, H.-N., Yu, B., & Lee, Y.-K. (2010). Spectroradiometric and spectrophotometric translucency of ceramic materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 104(4), 239-246. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(10\)60131-X](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(10)60131-X)
- Lindsey, D. T., & Wee, A. G. (2007). Perceptibility and acceptability of CIELAB color differences in computer-simulated teeth. *Journal of Dentistry*, 35(7), 593-599. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.03.006>
- Linhares, J. M. M., Pinto, P. D., & Nascimento, S. M. C. (2008). The number of discernible colors in natural scenes. *Journal of the Optical Society of America A*, 25(12), 2918. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.25.002918>
- Luo, M. R., Cui, G., & Rigg, B. (2001). The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Research & Application*, 26(5), 340-350. <https://doi.org/10.1002/col.1049>
- Maclaren EA. (2010). Shade analysis and communication-essential aspect of evaluating and communicating tooth color in practice. *Inside Dentistry*, 6, 58-67.
- Majumder, S., & Deen, M. J. (2019). Smartphone sensors for health monitoring and diagnosis. *Sensors*, 19(9), 2164. <https://doi.org/10.3390/s19092164>
- McLaren, E. A., & Goldstein, R. E. (2018). The photoshop smile Design technique. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)*, 39(5), e17-e20.
- McLean, J. W. (1991). The science and art of dental ceramics. *Operative dentistry*, 16(4), 149-156.
- Medeiros, J. A., Pecho, O. E., Pérez, M. M., Carrillo-Pérez, F., Herrera, L. J., & Della Bona, A. (2021). Influence of background color on color perception in dentistry. *Journal of Dentistry*, 108, 103640. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103640>

- Miranda, M. (2012). Effect of gender, experience, and value on color perception. *Operative Dentistry*, 37(3), 228-233. <https://doi.org/10.2341/10-057-C>
- Mirjalili, F., Luo, M. R., Cui, G., & Morovic, J. (2019). Color-difference formula for evaluating color pairs with no separation: ΔE_{NS} . *Journal of the Optical Society of America A*, 36(5), 789. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.36.000789>
- Moon, A., Powers, J. M., & Kiat-amnuay, S. (2014). Color stability of denture teeth and acrylic base resin subjected daily to various consumer cleansers. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 26(4), 247-255. <https://doi.org/10.1111/jerd.12109>
- Mulcare, D. C., & Coward, T. J. (2019). Suitability of a mobile phone colorimeter application for use as an objective aid when matching skin color during the fabrication of a maxillofacial prosthesis. *Journal of Prosthodontics*, 28(8), 934-943. <https://doi.org/10.1111/jopr.12955>
- Müdüroğlu, R., Çongara Kıvrak, T., & Nalçacı, A. (2018). Renk belirlenmesinde kullanılan yöntem ve cihazlar. *Cumhuriyet Dental Journal*, 21(1), 61-69. <https://doi.org/10.7126/cumudj.309148>
- Naffah, N., Ounsi, H., Ozcan, M., & Salameh, Z. (2024). Evaluation of the color stability of three resin-ceramic materials using a spectrophotometer and a digital photography software. *Contemporary Clinical Dentistry*, 15(1), 44-50. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_656_18
- Ngente, Z., Jadav, B., Aafaque, S., Patil, A., Govindarajulu, R., Muthusamy, P., Babu, J. S., Swarnalatha, C., & Nayyar, A. S. (2021). Prevalence of color vision anomalies among dental professionals. *Middle East African Journal of Ophthalmology*, 28(3), 169-173. https://doi.org/10.4103/meajo.meajo_529_20
- Niu, E., Agustin, M., & Douglas, R. D. (2014). Color match of machinable lithium disilicate ceramics: Effects of cement color and thickness. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 111(1), 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.09.005>
- Ntovas, P., Diamantopoulou, S., Johnston, W. M., & Papazoglou, E. (2024). Perceptibility and acceptability of lightness difference of a single maxillary central incisor. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(7), 1068-1074. <https://doi.org/10.1111/jerd.13245>
- Odioso, L. L., Gibb, R. D., & Gerlach, R. W. (2000). Impact of demographic, behavioral, and dental care utilization parameters on tooth color and personal satisfaction. *Compendium of continuing education in dentistry. (Jamesburg, N.J. : 1995). Supplement*, 29, S35-41; quiz S43.
- Olms, C., & Setz, J. M. (2013). The repeatability of digital shade measurement—a clinical study. *Clinical Oral Investigations*, 17(4), 1161-1166. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0796-z>
- Ontiveros, J. C., & Paravina, R. D. (2019). Color and shade matching in operative dentistry. *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry* (ss. 200-218). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-47833-5.00007-1>
- Öngül, D., Şermet, B., & Balkaya, M. C. (2012). Visual and instrumental evaluation of color match ability of 2 shade guides on a ceramic system. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 108(1), 9-14. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)60102-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(12)60102-4)
- Parameswaran, V., Anilkumar, S., Lylajam, S., Rajesh, C., & Narayan, V. (2016). Comparison of accuracies of an intraoral spectrophotometer and conventional visual method for shade matching using two shade guide systems. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 16(4), 352. <https://doi.org/10.4103/0972-4052.176537>
- Paravina, R. D. (2009). Performance assessment of dental shade guides. *Journal of Dentistry*, 37, e15-e20. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.02.005>
- Paravina, R. D., Ghinea, R., Herrera, L. J., Bona, A. D., Igiel, C., Linninger, M., Sakai, M., Takahashi, H., Tashkandi, E., & Mar Perez, M. del. (2015). Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(S1). <https://doi.org/10.1111/jerd.12149>

- Paravina, R. D., Pérez, M. M., & Ghinea, R. (2019). Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(2), 103-112. <https://doi.org/10.1111/jerd.12465>
- Paravina, R. D., & Powers, J. M. (2004). *Esthetic Color Training in Dentistry* (4th ed.). Elsevier Mosby.
- Paul, S. J., Peter, A., Rodoni, L., & Pietrobon, N. (2004). Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 24(3), 222-231.
- Paul, S., Peter, A., Pietrobon, N., & Hämmerle, C. H. F. (2002). Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *Journal of Dental Research*, 81(8), 578-582. <https://doi.org/10.1177/154405910208100815>
- Pecho, O. E., Ghinea, R., Alessandretti, R., Pérez, M. M., & Della Bona, A. (2016). Visual and instrumental shade matching using CIELAB and CIEDE2000 color difference formulas. *Dental Materials*, 32(1), 82-92. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.10.015>
- Pecho, O. E., Ghinea, R., Amaral, E. A. N. do, Cardona, J. C., Della Bona, A., & Pérez, M. M. (2016). Relevant optical properties for direct restorative materials. *Dental Materials*, 32(5), e105-e112. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.02.008>
- Pecho, O. E., Pérez, M. M., Ghinea, R., & Della Bona, A. (2016). Lightness, chroma and hue differences on visual shade matching. *Dental Materials*, 32(11), 1362-1373. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.08.218>
- Pehlivan, F. (2022). *Görüntü işleme teknikleri ile diş renk skalasının belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
- Perez, M. del M., Ghinea, R., Herrera, L. J., Ionescu, A. M., Pomares, H., Pulgar, R., & Paravina, R. D. (2011). Dental ceramics: A CIEDE2000 acceptability thresholds for lightness, chroma and hue differences. *Journal of Dentistry*, 39, e37-e44. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.09.007>
- Pérez, M. M., Carrillo-Pérez, F., Tejada-Casado, M., Ruiz-López, J., Benavides-Reyes, C., & Herrera, L. J. (2022). CIEDE2000 lightness, chroma and hue human gingiva thresholds. *Journal of Dentistry*, 124, 104213. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104213>
- Pérez, M. M., Della Bona, A., Carrillo-Pérez, F., Dudea, D., Pecho, O. E., & Herrera, L. J. (2020). Does background color influence visual thresholds? *Journal of Dentistry*, 102, 103475. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103475>
- Pérez, M. M., Ghinea, R., Herrera, L. J., Carrillo, F., Ionescu, A. M., & Paravina, R. D. (2018). Color difference thresholds for computer-simulated human gingiva. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 30(2). <https://doi.org/10.1111/jerd.12373>
- Pérez, M. M., Herrera, L. J., Carrillo, F., Pecho, O. E., Dudea, D., Gasparik, C., Ghinea, R., & Bona, A. Della. (2019). Whiteness difference thresholds in dentistry. *Dental Materials*, 35(2), 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.11.022>
- Pérez, M. M., Pecho, O. E., Ghinea, R., Pulgar, R., & Bona, A. Della. (2019). Recent advances in color and whiteness evaluations in Dentistry. *Current Dentistry*, 1(1), 23-29. <https://doi.org/10.2174/2542579X01666180719125137>
- Phillips, R. W. (1991). *Skinner's Science of Dental Materials* (9th Ed.). W.B. Saunders Company.
- Piro, A., Tagarelli, A., Nicoletti, G., Scannapieco, S., Polidoro, S., Valentino, P., & Quattrone, A. (2019). Impairment of acquired color vision in multiple sclerosis: an early diagnostic sign linked to the greatness of disease. *International Ophthalmology*, 39(3), 671-676. <https://doi.org/10.1007/s10792-018-0838-x>

- Pohlen, B., Hawlina, M., Šober, K., & Kopač, I. (2016). Tooth shade-matching ability between groups of students with different color knowledge. *The International Journal of Prosthodontics*, 29(5), 487-492. <https://doi.org/10.11607/ijp.4712>
- Polat, H. H. (2012). Grafik tasarım sürecinde kullanılan aygıtların renk modelleri. *Idil Journal of Art and Language*, 1(3). <https://doi.org/10.7816/idil-01-03-08>
- Poljak-Guberina, R., Celebic, A., Powers, J. M., & Paravina, R. D. (2011). Colour discrimination of dental professionals and colour deficient laypersons. *Journal of Dentistry*, 39, e17-e22. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.09.008>
- Pop-Ciutrla, I. S., Ghinea, R., Colosi, H. A., & Dudea, D. (2016). Dentin translucency and color evaluation in human incisors, canines, and molars. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(4), 475-481. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.07.015>
- Preethi Suganya, S., Manimaran, P., Saisadan, D., Dhinesh Kumar, C., Abirami, D., & Monnica, V. (2020). Spectrophotometric evaluation of shade selection with digital and visual methods. *Journal of Pharmacy And Bioallied Sciences*, 12(5), 319. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_95_20
- Priya, J., Raja, S. K. S., & Kiruthika, S. U. (2024). State-of-art technologies, challenges, and emerging trends of computer vision in dental images. *Computers in Biology and Medicine*, 178, 108800. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.108800>
- Ragain, J. C., & Johnston, W. M. (2000). Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Research & Application*, 25(4), 278-285. [https://doi.org/10.1002/1520-6378\(200008\)25:4<278::AID-COL8>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1520-6378(200008)25:4<278::AID-COL8>3.0.CO;2-F)
- Ragain, J. C., & Johnston, W. M. (2001). Minimum color differences for discriminating mismatch between composite and tooth color. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 13(1), 41-48. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2001.tb00250.x>
- Rashid, F., Farook, T. H., & Dudley, J. (2023). Digital shade matching in dentistry: A systematic review. *Dentistry Journal*, 11(11), 250. <https://doi.org/10.3390/dj11110250>
- Rondón, L. F., Ramírez, R., & Pecho, O. E. (2022). Comparison of visual shade matching and photographic shade analysis. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(2), 374-382. <https://doi.org/10.1111/jerd.12883>
- Rosenstiel, S. F., Porter, S. S., & Johnston, W. M. (1989). Colour measurements of all ceramic crown systems. *Journal of Oral Rehabilitation*, 16(5), 491-501. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1989.tb01370.x>
- Rosenstiel, S., Land, M., & Fujimoto, J. (2016). *Contemporary fixed prosthodontics* (5th ed.). Elsevier.
- Rosentritt, M., Esch, J., Behr, M., Leibrock, A., & Handel, G. (1998). In vivo color stability of resin composite veneers and acrylic resin teeth in removable partial dentures. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*, 29(8), 517-522.
- Ruyter, I. E., Nilner, K., & Möller, B. (1987). Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dental Materials*, 3(5), 246-251. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(87\)80081-7](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(87)80081-7)
- Sadowsky, S. J. (2006). An overview of treatment considerations for esthetic restorations: A review of the literature. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 96(6), 433-442. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.09.018>
- Saleski, C. G. (1972). Color, light, and shade matching. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 27(3), 263-268. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(72\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(72)90033-9)
- Sampaio, C., Gurrea, J., Gurrea, M., Bruguera, A., Atria, P., Janal, M., Bonfante, E., Coelho, P., & Hirata, R. (2018). Dental shade guide variability for hues B, C, and D using cross-polarized photography.

The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry, 38, s113-s118.
<https://doi.org/10.11607/prd.3270>

Sampaio, C. S., Atria, P. J., Hirata, R., & Jorquera, G. (2019). Variability of color matching with different digital photography techniques and a gray reference card. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(2), 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.03.009>

Samra, A. P. B., Moro, M. G., Mazur, R. F., Vieira, S., De Souza, E. M., Freire, A., & Rached, R. N. (2017). Performance of dental students in shade matching: Impact of training. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 29(2). <https://doi.org/10.1111/jerd.12287>

Samtaş G, Gülesin M. Sayısal görüntü işleme ve farklı alanlardaki uygulamaları. *Electronic Journal of Vocational Colleges*. 2011;2(1):85-97.

Schropp, L. (2009). Shade matching assisted by digital photography and computer software. *Journal of Prosthodontics*, 18(3), 235-241. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2008.00409.x>

Schussler, V., Kawakami, DY., Rocha, MA., Sinhoreti, MA., Rocha, MG., & Oliveira, D. (2024). Perceptibility and acceptability thresholds for color differences in ceramic shade tabs: A Comparison Between Dentists and Patients. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e1509-1516. <https://doi.org/10.4317/jced.62287>

Schwabacher, W. B., Goodkind, R. J., & Lua, M. J. R. (1994). Interdependence of the hue, value and chroma in the middle site of anterior human teeth. *Journal of Prosthodontics*, 3(4), 188-192. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.1994.tb00153.x>

Schwendicke, F., Mohammad Rahimi, H., & Tichy, A. (2025). Artificial intelligence in prosthodontics. *Dental Clinics of North America*, 69(2), 315-326. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2024.11.009>

Seghi, R. R., Hewlett, E. R., & Kim, J. (1989). Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *Journal of Dental Research*, 68(12), 1760-1764. <https://doi.org/10.1177/00220345890680120801>

Seghi, R. R., Johnston, W. M., & O'Brien, W. J. (1986). Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 56(1), 35-40. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(86\)90279-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(86)90279-9)

Sengez, G., & Dörter, C. (2019). Estetik diş hekimliğinde renk seçimi. *Selcuk Dental Journal*, 6(2), 213-220. <https://doi.org/10.15311/selcukdentj.430209>

Shokry, T. E., Shen, C., Elhosary, M. M., & Elkhodary, A. M. (2006). Effect of core and veneer thicknesses on the color parameters of two all-ceramic systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 95(2), 124-129. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2005.12.001>

Sim, C. P., Yap, A. U., & Teo, J. (2001). Color perception among different dental personnel. *Operative dentistry*, 26(5), 435-439.

Strenk, S. A., Strenk, L. M., & Koretz, J. F. (2005). The mechanism of presbyopia. *Progress in retinal and eye research*, 24(3), 379-393. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2004.11.001>

Subaşı, M. G., Alp, G., Johnston, W. M., & Yilmaz, B. (2018). Effect of thickness on optical properties of monolithic CAD-CAM ceramics. *Journal of Dentistry*, 71, 38-42. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.01.010>

Swarowsky, L. A., Pereira, R. F., & Durand, L. B. (2025). Influence of image file and white balance on photographic color assessment. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 133(3), 847-856. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.04.005>

Şeker O, & Sarı H. (2019). Estetik diş hekimliğinde renk ve beyazlatma. *Dent & Med J-R*, 1(1), 1-20.

Şen, D., Gür, H., & Nayır (Pamuk), E. (1996). Diş Hekimliğinde Renk. *Dişhekimliğinde Klinik Dergisi*, 139-144.

- Tabatabaian, F., Beyabanaki, E., Alirezaei, P., & Epakchi, S. (2021). Visual and digital tooth shade selection methods, related effective factors and conditions, and their accuracy and precision: A literature review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(8), 1084-1104. <https://doi.org/10.1111/jerd.12816>
- Tabatabaian, F., Motamedi, E., Sahabi, M., Torabzadeh, H., & Namdari, M. (2018). Effect of thickness of monolithic zirconia ceramic on final color. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 120(2), 257-262. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.10.007>
- Tabatabaian, F., Vora, S. R., & Mirabbasi, S. (2023). Applications, functions, and accuracy of artificial intelligence in restorative dentistry: A literature review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(6), 842-859. <https://doi.org/10.1111/jerd.13079>
- Tam, W. K., & Lee, H. J. (2012). Dental shade matching using a digital camera. *Journal of Dentistry*, 40, e3-e10. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.06.004>
- Tam, W. K., & Lee, H.-J. (2017). Accurate shade image matching by using a smartphone camera. *Journal of Prosthodontic Research*, 61(2), 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.07.004>
- Tejada-Casado, M., Ghinea, R., Pérez, M. M., Ruiz-López, J., Lübke, H., & Herrera, L. J. (2023). Development of thickness-dependent predictive methods for the estimation of the CIEL*a*b* color coordinates of monolithic and layered dental resin composites. *Materials*, 16(2), 761. <https://doi.org/10.3390/ma16020761>
- Tejada-Casado, M., Herrera, L. J., Carrillo-Perez, F., Ruiz-López, J., Ghinea, R. I., & Pérez, M. M. (2024). Exploring the CIEDE2000 thresholds for lightness, chroma, and hue differences in dentistry. *Journal of Dentistry*, 150, 105327. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105327>
- Terry, D. A., Geller, W., Tric, O., Anderson, M. J., Tourville, M., & Kobashigawa, A. (2002). Anatomical form defines color: function, form, and aesthetics. *Practical procedures & aesthetic dentistry: PPAD*, 14(1), 59-67; quiz 68.
- Tew, I., Pow, E., Suhaimi, S., Tan, P., Shaharuddin, N., Soo, S., Said, S., & Wong, L. (2023). Accuracy and reliability of smartphone virtual shade-matching technique: An in vitro study. *The International Journal of Prosthodontics*, 36(3), 331-337. <https://doi.org/10.11607/ijp.7830>
- Thoma, D., Ioannidis, A., Fehmer, V., Michelotti, G., Jung, R., & Sailer, I. (2016). Threshold values for the perception of color changes in human teeth. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 36(6), 777-783. <https://doi.org/10.11607/prd.2937>
- Tonguç G. *Görüntü işleme teknikleri kullanılarak meyve tasnifi* [Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Tung, F. F., Goldstein, G. R., Jang, S., & Hittelman, E. (2002). The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 88(6), 585-590. <https://doi.org/10.1067/mpd.2002.129803>
- Tung, O.-H., Lai, Y.-L., Ho, Y.-C., Chou, I.-C., & Lee, S.-Y. (2011). Development of digital shade guides for color assessment using a digital camera with ring flashes. *Clinical Oral Investigations*, 15(1), 49-56. <https://doi.org/10.1007/s00784-009-0366-1>
- Turgut, S., & Bağış, B. (2012). Diş hekimliğinde renk ve renk ölçüm yöntemleri. *Atatürk Üniv. Dis Hek. Fak. Derg*, 65-75.
- Uzun, G., & Keyf, F. (2007). Effect of different cement colors on the final color of IPS empress ceramic restorations. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 21(4), 501-505. <https://doi.org/10.1080/13102818.2007.10817502>
- Vafaei, F., Rakhshan, V., Vafaei, M., & Khoshhal, M. (2012). Accuracy of shade matching performed by colour blind and normal dental students using 3D Master and Vita Lumin shade guides. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 20(1), 23-25.

- Van Der Burgt, T. P., Ten Bosch, J. J., Borsboom, P. C. F., & Plasschaert, A. J. M. (1985). A new method for matching tooth colors with color standards. *Journal of Dental Research*, 64(5), 837-841. <https://doi.org/10.1177/00220345850640051101>
- Vivek, R., Singh, A., Soni, R., Singh, S. V., & Chaturvedi, T. P. (2013). Conventional and digitally assisted shade matching – A comparative study. *Indian Journal of Dentistry*, 4(4), 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.ijd.2012.11.009>
- Vryonis, P. (1988). Perspectives in dental ceramics. İçinde *Aesthetics in ceramics: Perceiving the problem*. (ss. 209-218). Quintessence Publishing Co.
- Waller, T., Evci, E., Hämmerle, C., Hüsler, J., Jung, R., & Thoma, D. (2020). Perceptibility and acceptability of color differences of single-tooth implants at the restoration and mucosa levels: An Exploratory Clinical Study. *The International Journal of Prosthodontics*, 33(5), 487-492. <https://doi.org/10.11607/ijp.6470>
- Wang, H., Cui, G., Luo, M. R., & Xu, H. (2012). Evaluation of colour-difference formulae for different colour-difference magnitudes. *Color Research & Application*, 37(5), 316-325. <https://doi.org/10.1002/col.20693>
- Wasson, W., & Schuman, N. (1992). Color vision and dentistry. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*, 23(5), 349-353.
- Wee, A. C., Kang, E. Y., Jere, D., & Beck, F. M. (2005). Clinical color match of porcelain visual shade-matching systems. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 17(6), 351-357. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2005.tb00468.x>
- Wee, A. G., Lindsey, D. T., Kuo, S., & Johnston, W. M. (2006). Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dental Materials*, 22(6), 553-559. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.05.011>
- Wee, A. G., Lindsey, D. T., Shroyer, K. M., & Johnston, W. M. (2007). Use of a porcelain color discrimination test to evaluate color difference formulas. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 98(2), 101-109. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(07\)60043-2](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(07)60043-2)
- Wee, A. G., Monaghan, P., & Johnston, W. M. (2002). Variation in color between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 87(6), 657-666. <https://doi.org/10.1067/mpr.2002.125727>
- Witkowski, S., Yajima, N.-D., Wolkewitz, M., & Strub, J. R. (2012). Reliability of shade selection using an intraoral spectrophotometer. *Clinical Oral Investigations*, 16(3), 945-949. <https://doi.org/10.1007/s00784-011-0590-3>
- Xiao, J., Zhou, X. D., Zhu, W. C., Zhang, B., Li, J. Y., & Xu, X. (2007). The prevalence of tooth discolouration and the self-satisfaction with tooth colour in a Chinese urban population. *Journal of Oral Rehabilitation*, 34(5), 351-360. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2007.01729.x>
- Yılmaz, B., Irmak, Ö., & Yaman, B. C. (2019). Outcomes of visual tooth shade selection performed by operators with different experience. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(5), 500-507. <https://doi.org/10.1111/jerd.12507>
- Yılmaz, Ö., Dikicier, S., & Atay, A. (2022). Tam seramik restorasyonlarda renk seçim yöntemlerinin ve etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi: Literatür derlemesi. *Dent & Med J-R*, 4(2), 156-170.
- Yöndem, İ. (2006). *Farklı yüzey bitirme işlemlerinin metal desteksiz seramik restorasyonlarda yüzey pürüzlülüğü ve kırılma dayanımları üzerindeki etkisinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi*. [Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü].
- Yung, D., Tse, A. K., Hsung, R. T., Botelho, M. G., Pow, E. H., & Lam, W. Y. (2023). Comparison of the colour accuracy of a single-lens reflex camera and a smartphone camera in a clinical context. *Journal of Dentistry*, 137, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104681>

EKLER

