

Güncel Renk Ölçüm Yöntemleri: Sistemik Derleme

Actual Methods of Color Measurement: A Systematic Review

Meral KURT,^a
Bilge TURHAN BAL,^a
Cenkhan BAL^b

^aProtetik Diş Tedavisi AD,
Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
^bPedodonti Servisi,
TSK Etimesgut Hava Hastanesi,
Ankara

Geliş Tarihi/Received: 18.05.2015
Kabul Tarihi/Accepted: 11.07.2015

Yazışma Adresi/Correspondence:
Bilge TURHAN BAL
Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi AD, Ankara,
TÜRKİYE/TURKEY
bilgeturhan@gmail.com

ÖZET Dental restorasyonların estetik başarısı doğal dentisyonla olan renk uyumuna bağlıdır. Renk seçimi, dişlerin karmaşık optik özellikleri nedeni ile estetik diş hekimliğinde zorlayıcı ve önemli bir işlemdir. Diş hekimliğinde renk seçimi görsel veya enstrümantal (aletsel) olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Renk algısı birçok faktörden etkilenebildiği için renk skalaları kullanılarak görsel olarak yapılan renk seçimi oldukça subjektiftir ve tutarsızlık göstermektedir. Bu subjektifliği azaltmak için spektrofotometre, spektrodijometre, kolorimetre ve dijital görüntü analizi gibi çeşitli teknolojik sistemler geliştirilmiştir. Bu cihazların sayısal olarak ifade edilebilen, hızlı ve kolay elde edilebilen objektif ve hassas sonuçlar vermeleri gibi avantajları vardır. Ancak dişlerin düz yüzeyli olmaması ve translusens yapıları cihazlarla yapılan ölçümlerde hatalara neden olmaktadır. Ayrıca, farklı ölçüm prensibiyle çalışan cihazlarla elde edilen sonuçlar arasında da tutarsızlıklar olabilmektedir. Tüm diş yüzeyinden ölçüm yapan cihazlar bölgesel ölçüm yapanlardan daha başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak bu cihazların maliyetlerinin yüksek olması, klinik kullanımlarının ve kalibrasyonlarının zor olması, yazılım güncellemelerinin gerekliliği gibi kısıtlamaları mevcuttur. Bu nedenle en güvenilir renk ölçümü, görsel yöntemin teknolojik sistemlerle kombinasyonu ile edilmektedir. Bu çalışmada günümüzde kullanılan renk seçim sistemleri ve yeni gelişmeler hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Renk; renk algılama

ABSTRACT Esthetic success of dental restorations is depend on shade matching with the natural dentition. Shade selection in esthetic dentistry is a challenging and important process due to complex characteristics of the natural teeth. Color determination in dentistry can be divided into two categories as visual and instrumental. Since color perception is influenced by many factors; tooth shade matching using shade guides is highly subjective and inconsistent. To minimize this subjectivity spectrophotometer, spectroradiometer, colorimeter and digital image analysing systems were developed. Shade matching devices have advantages that readings are quantifiable, can obtain more rapidly and simply, objective and precise. However translucent structure and irregular surfaces of teeth leads to inaccuracies in measurements with devices. Also between the results obtained by devices with different measurement principles may also be inconsistencies. Complete tooth surface measurement devices gives more successful results than limited area measurement devices. However these devices have limitations that high costs, difficult clinical practice and calibration, software update requirements. For that reason the most reliable shade matching is achieved by combining visual method with technologic systems. This review provide knowledge about current shade selection systems and advances in shade selection.

Key Words: Color; color perception

Türkiye Klinikleri J Dental Sci 2016;22(2):130-46

doi: 10.5336/dentalsci.2015-46150

Copyright © 2016 by Türkiye Klinikleri

Günümüz diş hekimliğinde oral rehabilitasyonun amacı; fonksiyon, fonasyon, konfor ve estetiğin sağlanmasıdır. Estetik; en başta restorasyonların renginin; komşu dişler ve onları çevreleyen dokularla

uyumlu olmasına bağlıdır. Renk seçimi ve belirlenen rengin laboratuvara doğru aktarımı diş hekimi için zor ve dikkatli yapılması gereken bir işlemdir.¹ Estetik olarak başarılı sonuçlar alabilmek için ışık ve renk prensiplerinin çok iyi anlaşılması gerekmektedir.

Işık, görülebilir elektromanyetik bir enerjidir ve nanometreler ile ifade edilen dalga boylarından oluşur.² İnsan gözü, 360-780 nm gibi çok dar bir dalga boyu aralığına duyarlıdır.³ Renk, görünür ışığın çeşitli dalga boylarının absorbe edilmesi ve yansınmasıyla algılanır.¹ Bir cisim, renk spektrumunda var olan renklerden kendi rengi haricindeki tüm renkleri absorbe ederken, kendi rengini yansıtır. Beyaz renk, ışığın tüm dalga boylarını yansıtırken, siyah renk tümünü emer.²

1611 yılında Sigfried Forsius tarafından rengin üç boyutlu olduğu tanımlanmıştır. Günümüzde bu özelliği açıklamak için geliştirilen birçok sistem ve yaklaşım mevcuttur.⁴

Munsell ve (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) [Commission Internationale de Liéclaire (CIE)] L*a*b* renk sistemleri, uluslararası kabul edilebilirliği, güvenilirliği ve pratik kullanımları açısından en çok tercih edilen sistemlerdir.^{4,5}

MUNSELL RENK SİSTEMİ

1905 yılında Albert H. Munsell tarafından geliştirilen Munsell renk sistemi rengin üç boyutunu "hue (renk tonu)", "value (renk değeri)" ve "chroma (renk yoğunluğu)" olarak tanımlamıştır.^{2,3,6}

Renk tonu (hue); rengi bir diğer renkten ayıran özelliğidir.^{2,5-7} Renk değeri (value); bir rengin açıklık-koyuluk derecesi veya bir cismin parlaklığı olarak ifade edilir.² Renk yoğunluğu (kromachroma) ise; güçlü bir rengin zayıf bir renkten ayrılmasını sağlayan ve doygunluk derecesini gösteren özelliğidir.^{2,4}

CIE LAB RENK SİSTEMİ

CIE tarafından sunulan CIE sistemi en sık kullanılan renk sistemidir.^{2,3} İlk kez 1931 yılında açıklanan bu sisteme göre, tüm renkler tristimulus değerleri, yani kırmızı (X), yeşil (Y) ve mavinin (Z) çeşitli miktarlarda karışımı ile elde edilir.^{3,8}

1976 yılında; CIE daha belirleyici bir renk tanımlaması yapmış ve CIE L*a*b* renk sistemini geliştirmiştir. CIE L*a*b* sistemi rengi L*, a* ve b* olmak üzere üç eksenle tanımlamaktadır. L* eksen, açıklık, koyuluk, parlaklık veya siyah/beyaz derecesini belirtmektedir. Saf beyaz ise 100 L* iken saf siyah 0 L* değerine sahiptir.^{2,6} a* ve b* eksenleri rengin kromatik özelliğini ifade etmektedir. a* değeri rengin kırmızılık-yeşillik oranını, b* değeri ise sarılık-mavilik oranını göstermektedir. a* değeri pozitif ise kırmızıklığı, negatif ise yeşilliği; b* değeri pozitif ise sarılığı, negatif ise maviliği temsil eder.^{2,3}

Bu sistemin üstünlüğü, renk farklılıklarının saptanabilmesi ve klinik açıdan yorumlanabilmesidir.² Renk farkının büyüklüğü ΔE ile ifade edilmekte ve hesaplanmasında $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ formülü kullanılmaktadır.⁶ O'Brien⁶ renk farklarının klinik olarak yorumlanmasını, kabul edilebilir ΔE değerlerini sınıflayarak sağlamıştır. Klinik renk eşleşmesi tolerans değerleri Tablo 1'de görülmektedir.

RENK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Diş hekimliğinde renk ölçümü, görsel veya enstrümantal (aletsel) olarak ikiye ayrılır.^{2,9}

Bu çalışma kapsamında "PubMed" ve "Google Akademik" veri tabanlarında; "shade matching (renk belirleme), color measurement (renk ölçümü), visual (görsel), instrumental (enstrümantal), shade guide (renk skalası), spectrophotometer (spektrofotometre), colorimeter (kolorimetre), digital camera (dijital kamera) ve digital shade matching (dijital renk belirleme)" anahtar kelimeleri kullanılarak literatür taraması yapılmıştır. Renk ölçüm yöntemleriyle ilgili 2005-2015 (Ocak ayına kadar) yılları arasında yapılan toplam 58 çalışma

TABLO 1: Klinik renk eşleşmesi tolerans değerleri.

Renk farkı (ΔE)	Klinik renk eşleşmesi
0-0,5	Kusursuz
0,5-1	Mükemmel
1-2	İyi
2-3,5	Klinik olarak kabul edilebilir
>3,5	Uyumsuz eşleşme

değerlendirilmiştir. Bu çalışmaların; 14'ü renk skalaları, 10'u görsel renk ölçümünü etkileyen faktörler, 13'ü renk ölçüm cihazlarının doğruluğu, hassasiyeti veya güvenilirliği, 11'i görsel ve enstrümental yöntemin karşılaştırılması, yedisi dijital kamera ve görüntüleme sistemleri ve üçü ise hem görsel renk ölçümünü etkileyen faktörler hem de görsel ve enstrümental yöntemin karşılaştırılması hakkındadır.

1. GÖRSEL ÖLÇÜM

Görsel ölçüm, dişlerle renk skalaları arasında yapılan görsel karşılaştırmaya denir.^{10,11} Görsel ölçüm renk belirlenmesinde sıklıkla kullanılmasına rağmen genellikle güvenilir olmayan ve tutarsız sonuçlar vermektedir.^{2,9} Görsel renk analizinin dezavantajları vardır.¹

1. Renk skalalarında bulunan renkler doğal diş renklerinin hepsini kapsamamaktadır.

2. Diş hekimleri arasında ve aynı bireyde günün farklı saatlerinde seçilen renkte uyumsuzluklar olmakta, standardizasyon elde edilememektedir.

3. Elde edilen sonuçları CIE renk sistemine dönüştürmek mümkün değildir.

Görsel renk ölçümü, gözlemcinin radyant enerji stimülasyonuna olan fizyolojik ve psikolojik yanıtlarına bağlıdır. Yorgunluk, yaşlanma, aydınlatılma şartları, cismin ve ışığın pozisyonu ve metamerizm gibi kontrol edilemeyen etkenler renk ölçümünde tutarsızlıklara neden olmaktadır.⁹

Renk algılamasını etkileyen faktörler;⁷

- Işık şiddeti,
- Gözlemci kaynaklı faktörler,
- Renk körlüğü,

- Renk reseptörlerinin yorgunluğu,
- Duygu durumu,
- Beslenme, ilaçlar,
- Cinsiyet,
- Yaş,
- Mesleki tecrübe,
- Hafıza ve kültürel geçmiştir.

Renk Skalaları

Görsel renk ölçümü renk skalalarıyla yapılmaktadır.^{2,3} Çeşitli renk skalaları Tablo 2'de görülmektedir.

İlk renk skalası 1933 yılında Clark tarafından geliştirilmiştir. Sonraki yıllarda birçok renk skalası tanıtılmış, ancak 1950'li yılların ortalarında geliştirilen 'Vitapan Classical' ile önemli bir ilerleme kaydedilmiştir.¹¹

Vitapan Classical skalası, farklı renk tonlarına (*hue*) sahip dört grup (A, B, C ve D) ve her grubun içinde farklı renk yoğunluklarına (*kroma*) sahip renkler olmak üzere 16 renkten oluşmaktadır.¹¹ A grubu kırmızimsı-kahverengi, B grubu kırmızimsı-sarı, C grubu gri ve D grubu kırmızimsı-gri renk tonlarına sahiptir. Grup içindeki renk sıralanması renk yoğunluğu artışına göre olmaktadır. A grubu beş renkten (A1, A2, A3, A3.5, A4); B grubu dört renkten (B1, B2, B3, B4); C grubu dört renkten (C1, C2, C3, C4) ve D grubu üç renkten (D2, D3 ve D4) oluşmaktadır. Vitapan Classical skalası yıllar boyunca altın standart olarak kullanılmıştır.³

Renk skalalarının gelişimindeki bir diğer önemli adım 1990'lı yılların sonunda "Toothguide 3D-Master" (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya) skalasının piyasaya sunulmasıyla gerçekleşmiştir.¹¹ 3D-Master skalası renklerin açıklık

TABLO 2: Çeşitli renk skalaları.

Sistem	Renk sayısı	Üretici firma
Vitapan Classical (Vita Lumin Vacuum)	16	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya
3D-Master	26	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya
Vintage Halo	26	Shofu Inc., Kyoto, Japonya
Vintage Halo NCC	38	Shofu Inc., Kyoto, Japonya
Chromascop	20	Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein

değerlerine (*lightness*) göre beş gruba ayrılan 26 renkten oluşmaktadır. Grup içinde renkler renk yoğunluklarına göre vertikal yönde, renk tonlarına göre de horizontal yönde sıralanmıştır. İlk grup iki renkten; ikinci, üçüncü ve dördüncü gruplar yedi renkten; beşinci grup ise üç renkten oluşmaktadır. Skaladaki renkler şu şekilde kodlanmaktadır: Harflerin önündeki rakamlar grup numarasını ve renk değerini (*value*) göstermektedir (1, 2, 3, 4, 5). Daha düşük rakam daha açık rengi belirtmektedir. Renk tonu kodlaması için, “M”, “R” ve “L” harfleri kullanılmaktadır. “L” harfi daha sarı renk tonu için, ‘R’ harfi daha kırmızı renk tonu için, “M” harfi ise sarı veya kırmızı tonlarının ortası için kullanılmaktadır. Kodlamada harften sonra gelen rakam ise renk yoğunluğunu (kroma) belirtmektedir (1, 1.5, 2, 2.5, 3). Renk yoğunluğu yükseldikçe sayısal değer de artmaktadır.³

Vitapan Classical renk skalası ile kıyaslandığında Toothguide 3D-Master renk skalasının doğal dişlerle daha uyumlu olduğu, daha geniş renk aralığını kapsadığı ve daha düzgün renk dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Bu avantajlarına rağmen, daha az tecrübeye ve renk bilgisine sahip klinisyenler bu metodu anlamakta ve renk değeri-tonu-yoğunluğu konseptini uygulamakta zorluk yaşamaktadır.¹¹

Toothguide 3D-Master skalasının yeni bir versiyonu olan “Linearguide 3D-Master” skalası da tamamen aynı renklerden oluşan bir modifikasyondur. Ancak daha basitleştirilmiş bir şekilde sunulmakta ve renk seçim prosedürü iki adımdan oluşmaktadır.¹¹ İlk basamakta, altı renkten oluşan açıklık skalasında renk değeri seçilmekte, ikinci basamakta ise diğer bütün renkler içinden renk tonu ve yoğunluğu belirlenmektedir.^{11,12} Çeşitli skalalarla ilgili yapılan bazı çalışmalar Tablo 3’te görülmektedir.

Khashayar ve ark., Vita Classic skalasındaki renklerin renk tonu sıralaması yerine açıklık derecesine göre dizilirse klinisyenlerin renk seçim başarısına etkisinin olmadığını, Meireles ve ark. ise Vita Classic skalasının kullanımının yapılan renk seçiminde özellikle koyu ve açık diş renklerini ayırt edebilmede geçerli ve güvenilir bir yöntem oldu-

ğunu belirtmişlerdir.^{13,14} Öngül ve ark., Oh ve ark. ile Hassel ve ark., Vita Classic ve Toothguide 3D-Master skalalarını karşılaştırmış Vita 3D-Master skalasını daha başarılı bulmuşlardır.¹⁵⁻¹⁷ Li ve ark. ile Bayındır ve ark., karşılaştırmaya diğer skalaları dâhil ettiğinde de (Vintage Halo, Vintage Halo NCC, Chromascop) aralarında en başarılı skalanın Vitapan 3D-Master skalasının olduğunu belirtmişlerdir.^{18,19} Ahn ve ark.; Vita 3D-Master skalasının; hue, value, kroma açısından renk dağılımını diğer klasik skalalardan daha düzenli bulmuş, ancak aradışık renkleri arasında eşit aralıkların olmadığı bilinenek kullanılmasını önermişlerdir.²⁰ Corciolani ve ark. ile Wee ve ark. seramik sistemiyle (Vita Omega 900) hazırlanan 15 örnekle Toothguide 3D-Master skalası arasında daha iyi renk uyumunun sağlandığını belirtmişlerdir.^{21,22} Corcodel ve ark., 3D-Master (3D) skalasını Linear Guide (LG) skalasıyla karşılaştırdıkları çalışmada renk belirleme performansı ve süresi açısından anlamlı farkın olmadığını belirtirken; Paravina, Linearguide 3D-Master’ın, daha üstün bulunduğunu, klinik kullanımının desteklendiğini bildirmiştir.^{11,12}

Ishikawa-Nagai ve ark., 176 üst keser diş, iki skala (Vitapan Classic ve 3D-Master) ve 15 veneerlenmiş zirkon diskin renk haritasını çıkarmış, 21 renkten oluşan yeni bir skala geliştirmişlerdir.²³ Bu 21 rengi Cerabian ZR porselen tozlarından elde etmişlerdir. Sonuçta araştırmacılar bilgisayarlı renk ölçüm sistemine entegre edilebilen doğal dişlerin renk dağılımından daha geniş olan bu sistemin 3D-Master ile örtüştüğünü bildirmişlerdir. Wang ve ark. ise 236 doğal dişin renk haritası çıkarılarak 14 renkten oluşan VITA VMK 95; VITA Zahnfabrik porselen tozlarından hazırlanan optimize bir skala geliştirmiş; Vitapan Classic’le karşılaştırmıştır.²⁴ Araştırmacılar incelenen populasyonun renk dağılımını daha iyi yansıtan bu skalaya göre hazırlanan restorasyonların daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

İncelenen çalışmaların çoğunda Vitapan 3D-Master skalası daha başarılı bulunmuştur.

Işık Kaynağı

Görsel renk ölçümü, doğru renk sıcaklığı (*color temperature*) ve renk sunum indeksine [*color rendering index*-(CRI)] sahip bir ışık kaynağı altında

TABLO 3: Çeşitli skalalarla ilgili yapılan bazı çalışmalar.

Araştırmacı	Skala	Örnek sayısı	Sonuç
Wee ve ark. (2005)	Vita Lumin Vacuum/VMK68 Vitapan 3D-Master /Omega 900 Ivoclar Chromascop/ Ivoclar Classic	10 doğal diş 2 protodontist	Vitapan 3D-Master kullanılarak belirlenen renklerde Omega 900 porselen sistemiyle hazırlanan örneklerin daha iyi renk uyumu gösterdiği belirtilmiştir.
Hassel ve ark. (2005)	Vita Classic Vita 3D-Master	59 restorasyon 27 gözlemci	Vita 3D-Master kullanıldığında gözlemcilerin daha başarılı bulunduğu bildirilmiştir.
Bayındır ve ark. (2007)	Vita Lumin Vacuum Vitapan 3D-Master Ivoclar Chromascop	359 doğal diş	Vita 3D-Master'in kapsadığı renk spektrumu diğer skalalara kıyasla daha geniş olduğu için bu skalayla daha başarılı renk seçimi sağlandığı vurgulanmıştır.
Ahn ve ark. (2008)	Vita 3D-Master	29 skala rengi	Renk tonu, değeri, yoğunluğu açısından renk dağılımı diğer klasik skalalardan daha düzenli bulunmuş ancak aralıklı renkler arasında eşit aralıkların olmadığı bilinerek kullanılması önerilmiştir.
Meireles ve ark. (2008)	Vita Classic	552 doğal diş 2 gözlemci	Vita Classic kullanılarak yapılan renk seçiminin özellikle koyu ve açık diş renklerini ayırt edebilmede geçerli ve güvenilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir.
Oh ve ark. (2009)	Vita Classic Toothguide 3D-Master	2 protodontist 33 doğal diş	Toothguide 3D-Master kullanıldığında gözlemcilerin seçimlerinin daha uyumlu olduğu vurgulanmıştır
Corciolani ve ark. (2009)	Vita Classic Toothguide 3D-Master	15 örnek (Vita Omega 900)	Seramik sistemiyle Toothguide 3D-Master arasında daha yakın uyum sağlandığı belirtilmiştir
Paravina (2009)	Toothguide 3D-Master Vitapan Classical Linearguide 3D-Master	88 gözlemci 4 skala rengi	Linearguide 3D-Master'in, daha üstün bulunduğu, klinik kullanımının desteklendiği bildirilmiştir
Li ve ark. (2009)	Vita Lumin Vacuum, Vitapan 3D-Master, Vintage Halo, Vintage Halo NCC, Chromascop	10 protodontist 60 doğal diş	Aralarında en başarılı Vitapan 3D-Master olduğu belirtilmiştir.
Corcodel ve ark. (2010)	3D-Master (3D) Linear Guide(LG)	56 gözlemci 30 örnek	Bu iki skalayla renk belirleme performansı ve süresi açısından anlamlı farkın olmadığı bildirilmiştir.
Öngül ve ark. (2012)	Vita Classic Toothguide 3D-Master	3 gözlemci 33 doğal diş	Toothguide 3D-Master'la üretilen kronların doğal dişlerle daha uyumlu olduğu belirtilmiştir.
Khashayar ve ark. (2012)	Vitapan Classic (renk tonu-açıklık dizilimi)	50 gözlemci 3 doğal diş	İki dizilim arasında anlamlı farkın olmadığı belirtilmiştir
Ishikawa-Nagai ve ark. (2013)	Dijital skala	176 doğal diş iki skala (Vitapan Classic ve 3D-Master) 15 veneerlenmiş zirkon disk	Bilgisayarlı renk ölçüm sistemine entegre edilebilen 21 renkten oluşan doğal dişlerin renk dağılımından daha geniş yeni bir skala geliştirilmiştir
Wang ve ark. (2014)	Porselen tozlarından hazırlanan (VITA VMK 95; VITA Zahnfabrik) skala Vitapan Classic	236 doğal diş	İncelenen popülasyonun renk dağılımını daha iyi yansıttığı, bu skalaya göre hazırlanan restorasyonların daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

yapılmalıdır. Renk ölçümü için ideal ışık kaynağı 5500°K renk ısısına sahip olmalıdır. CRI, belirli bir ışık kaynağının, spesifik standart ışık kaynağıyla kıyaslandığında hangi seviyede renk sunabildiğini belirten indekstir. 0-100 arasında derecelendirilirken, renk ölçümünde CRI değeri 90'ın üstünde olan ışık kaynağı kullanılmalıdır.²

Renk seçiminde gün ışığı ideal ışık kaynağı olarak görülse de, değişkenliği nedeni ile önerilmemektedir. Gün ışığı gün batımında kırmızı-turuncu, hava açık olduğunda ise mavi ışık vermektedir. Havanın nemli veya bulutlu olmasına bağlı olarak gün ışığının rengi değişebilmektedir.^{2,3}

Havanın durumuna ve saate göre gün ışığının renk ısısı da 1000° 20.000°K arasında değişmektedir.^{3,5}

Dental materyal ve diş yapısının rengi akkor lamba, floresan ışık veya gün ışığı altında değişebilmektedir.²⁵ Bu nedenle, renk seçimi birden fazla farklı ışık kaynağı altında yapılmalı ve laboratuvarla klinik arasında aydınlatma koşullarında standardizasyon sağlanmalıdır.^{7,26}

Kliniklerde yaygın olarak akkor ve floresan lambalar bulunmasına rağmen; renk ölçümü için ideal ışık kaynağı değildirler. Akkor lambalar tarafından yayılan ışık dalgaları sarı iken, floresan

lambalarınki mavidir. Görsel renk ölçümü için rengi düzeltilmiş (*color-corrected*) floresan lambalar idealdir ve çeşitli firmalar tarafından piyasaya sürülmektedir.²

Renk seçiminde dental ünit ışığı tercih edilmemelidir. Çok parlak olduğundan göz yorgunluğuna sebep olur, bu nedenle renk belirleme operasyona başlamadan ve ünit ışığı açılmadan önce gerçekleştirilmelidir.²⁷

Renk seçiminde kullanılan ışığın, aydınlatıldığı yapıya ulaşmadan önce çevredeki yüzeylerden yayılması ve yansması nedeni ile kliniğin, hasta örtüsünün, hastanın ve hekimin giysilerinin rengi belirlenen rengi etkilemektedir.^{2,3}

Görsel Renk Seçimi Metodu

Renk seçimi esnasında hastanın ağız hekimin göz seviyesinde konumlanmalıdır. Hasta ruj sürmüştü silinmelidir. Ağız içi dokuların renk algısına etkisini önlemek için dişlerin nötral gri bir arka planla izolasyonu sağlanmalı ve dil ekarte edilmelidir. Renk skalası dişler ile aynı hizada tutulmalıdır. Renk seçimi herhangi bir prosedür öncesinde yapılmalıdır, aksi hâlde dişlerde dehidratasyon meydana gelebilir.⁵

İlk olarak renk değeri belirlenmelidir. Gözün açık-koyu rengi ayırt etmesi; gözler kısılarak göze giren ışık miktarı azaltılarak kolaylaştırılmalıdır. Renk seçimi 5 saniyeden daha uzun sürerse nötral gri bir yüzeye bakılarak gözün yorgunluğu giderilmelidir. Kanin dişi daha yüksek renk yoğunluğuna sahip olduğu için, baskın olan renk tonu daha rahat belirleneceğinden, renk tonu seçiminde herhangi bir zorluk yaşanırca, kanin dişi referans olarak alınmalıdır. Belirlenen renk, çeşitli ışık kaynakları altında ve farklı açılardan teyit edilmelidir.⁵ Renk seçimini etkileyen faktörlerle ilgili yapılan bazı çalışmalar Tablo 4'te görülmektedir.

Bahannan, Nakhaei ve ark., Alomari ve ark., Curd ve ark. ile Winkler ve ark. renk seçim başarısı üzerinde cinsiyetin etkisini değerlendirmiş; anlamlı bir etkisinin olmadığını vurgulamışlardır.²⁸⁻³² Ancak Haddad ve ark., cinsiyetin renk

seçim kalitesinde önemli rol oynadığı kadınların daha iyi renk seçimi yaptıklarını belirtirken; Milagres ve ark., çalışmaların erkek gözlemcilerin daha başarılı bulunduğu bildirmişlerdir.^{33,34} Bahannan, Haddad ve ark., Alomari ve ark., Curd ve ark., Judeh ve ark. çalışmalarında tecrübenin renk seçim performansında önemli bir faktör olmadığını belirtmişlerdir.^{28,30,31,33,35} AlSaleh ve ark., Milagres ve ark., Della Bona ve ark., ile Winkler ve ark. tarafından yapılan çalışmalarda ise mesleki tecrübesi daha fazla olan gözlemcilerin daha başarılı oldukları bildirilmiştir.^{32,34,36,37} Jaju ve ark. ise vakaların zorluk derecesi arttıkça tecrübe seviyesinin ön plana çıktığını vurgulamışlardır.³⁸

Nakhaei ve ark., Corcodel ve ark. ile Curd ve ark., aydınlatma koşullarının diş hekimliği öğrencilerinin renk seçebilme yeteneği üzerine etkilerini değerlendirmiş; rengi düzeltilmiş ışık kaynağı altında daha doğru seçim yapabildiklerini ve bu uygulamanın günlük kullanıma girmesinin önemini vurgulamışlardır.^{29,31,39} Della Bona ve ark. ise 3 farklı gözlemci grubunun (non dental popülasyon, 1. sınıf diş hekimliği öğrencisi ve diş hekimleri) başarısının; doğal gün ışığı ve beyaz floresan ışık olmak üzere aydınlatma koşulundan ve kullanılan skaladan bağımsız olduğunu vurgulamışlardır.³⁷ Nakhaei ve ark., Vita skalasındaki renk grubunun (A, B, C, D gibi) öğrencilerin performanslarını etkilemediğini bildirirken; Curd ve ark., öğrencilerin C grubu renklerin seçiminde daha başarısız olduklarını belirtmişlerdir.^{29,31} Alomari ve ark. prepare edilmiş dişlerde IPS skalasının kullanımının doğruluğu artırdığını belirtmişlerdir.³⁰ Milagres ve ark. ile Winkler ve ark. ise renk koyuluk derecesi arttıkça daha kolay ayırt edilebildiğini vurgulamışlardır.^{32,34} Sınmazışık ve ark., yaptıkları çalışmada teknisyenlik öğrencilerini, mezun diş hekimlerinden (üç-beş yıl klinik tecrübeye sahip) daha başarılı bulurken, Alomari ve ark. ile Judeh ve ark. ise bu iki grup arasında anlamlı farkın olmadığını bildirmişlerdir.^{30,35,40}

Görsel yöntem subjektiftir ve birçok faktörden etkilenebilmektedir.

TABLO 4: Renk seçimini etkileyen faktörlerle ilgili yapılan bazı çalışmalar.

Araştırmacı	Gözlemci	Etkileyen faktörler	Sonuç
Winkler ve ark. (2005)	Öğrenci (son sınıf ve alt sınıf grubu)	Cinsiyet Tecrübe Renk koyuluğu	Renk seçimini tecrübenin etkilediği, ancak cinsiyetin anlamlı fark oluşturmadığı belirtilmiştir. Renk koyuluk derecesi arttıkça öğrencilerin başarısının arttığı vurgulanmıştır.
Curd ve ark. (2006)	165'i erkek 216 öğrenci (1'den 4. sınıfa kadar)	Aydınlatma (gün ışığı, renği düzeltilmiş ışık kaynağı) Tecrübe Cinsiyet Renk grubu (A, B, C, D)	Öğrencilerin rengi düzeltilmiş ışık kaynağı altında daha doğru seçim yapabildikleri bildirilmiştir. Cinsiyet ve tecrübenin etkilerinin önemli faktör olmadığı, ayrıca öğrencilerin C grubu renklerin seçiminde daha başarısız oldukları belirtilmiştir.
Corcodel ve ark. (2009)	29 preklinik öğrencisi	Aydınlatma (gün ışığı ve gün ışığının spektral radyansına sahip aydınlatma)	Gün ışığını taklit eden lambayla ölçümlerin standardize edilebildiği ve öğrencilerin renk seçim yeteneğini geliştirdiği belirtilmiştir.
Judeh ve ark. (2009)	9 gözlemci (3 protez uzmanı, 3 teknisyen ve 3 protez doktora öğrencisi)	Tecrübe Eğitim derecesi	Gruplar arasında belirgin farklılık gözlenmemiş, tecrübe ve eğitim derecesinin sonuçları etkilemediği belirtilmiştir.
Bona ve ark. (2009)	Non dental popülasyon 1. sınıf diş hekimliği öğrencisi Diş hekimleri	Tecrübe Skala (Vita 3D-Master, Vita Classic) Aydınlatma (doğal gün ışığı ve beyaz floresan ışık altında)	Skala çeşidi ve aydınlatma koşulundan bağımsız olarak renk belirlemede tecrübe ve bu konudaki egzersizlerin önemli olduğu vurgulanmıştır.
Haddad ve ark. (2009)	614 gözlemci (305'i kadın, 309'u erkek, 319'u öğrenci, 295'i dental profesyonel)	Cinsiyet Tecrübe	Cinsiyetin renk seçim kalitesinde önemli rol oynadığı, kadınların daha iyi renk seçimi yapabildikleri, tecrübe seviyesinin renk seçiminde önemli bir faktör olmadığı belirtilmiştir.
Jaju ve ark. (2010)	65 öğrenci (1'den 4. sınıfa kadar 4 grup)	Tecrübe Vaka zorluğu (kolay, orta ve zor)	Öğrencilerin renk seçebilme yeteneği kişisel renk algısına, klinik tecrübeye ve renk bilgisine bağlı olsa da bu durumun vakalar zorlaştıkça ön plana çıktığı bildirilmiştir.
Alomari ve ark. (2011)	18 teknisyen(16'sı erkek) 40 diş hekimi (21'i erkek)	Cinsiyet Meslek Tecrübe Skala (Vita Classic,IPS)	Yaş ve cinsiyetin renk seçim performansına etki etmediği Vita Classic kullanımındaki başarının tecrübe ve meslekten bağımsız olduğu, prepare edilmiş dişlerde IPS skalasının kullanımının yeniden üretilebilirliği ve doğruluğu arttırdığı belirtilmiştir.
Milagres ve ark. (2012)	45 kadın (11 mezuniyet öncesi, 34 mezun) 54 erkek (13 mezuniyet öncesi, 41 mezun)	Cinsiyet Mesleki tecrübe Renk koyuluk derecesi	Erkek gözlemciler ve mesleki tecrübesi daha fazla olan gözlemciler daha başarılı bulunmuştur. Ayrıca seramik örneklerin renk koyuluk derecesi arttıkça daha kolay ayırt edilebildiği bildirilmiştir
Alsaleh ve ark. (2012)	50 kadın öğrenci 3 tecrübeli klinisyen	Tecrübe	Klinisyenler tarafından yapılan seçimlerdeki ΔE değerleri belirgin olarak daha düşük bulunmuştur.
Nakhaei ve ark. (2013)	60 öğrenci (30'u kadın, 30'u erkek)	Aydınlatma koşulu (doğal gün ışığı, renği düzeltilmiş ışık kaynağı ve klinik ortam Renk grubu(A, B, C, D) Cinsiyet	Öğrencilerin rengi düzeltilmiş ışık kaynağı altında daha doğru renk seçimi yapabildikleri, cinsiyetin ve Vita skalasındaki renk grubunun performanslarını etkilemediği belirtilmiştir.
Sınmazşık ve ark. (2014)	29 dental teknisyenlik öğrencisi 30 mezun diş hekimi	Tecrübe Eğitim Meslek	Teknisyenlik öğrencilerinin daha başarılı olduğu vurgulanmıştır
Bahannan (2014)	204 öğrenci (intörn grubu ve mezuniyet öncesi 3, 4, 5, 6.sınıf)	Tecrübe Cinsiyet	Öğrencilerin renk seçim başarısı üzerinde tecrübe ve cinsiyetin etkisinin olmadığı belirtilmiştir.

2. ENSTRÜMENTAL ÖLÇÜM

Görsel renk ölçümü ile karşılaştırıldığında, cihazlarla yapılan renk ölçümü; objektif olması, rakamsal olarak ifade edilebilmesi ve hızlı elde edilebilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır.⁹ Renk

ölçümü için günümüzde kullanılmakta olan cihazlar; kolorimetreler, spektrometreler, spektrofotometreler, dijital kamera ve görüntüleme sistemleridir.⁴¹ Çeşitli ağız içi renk ölçüm cihazları ve özellikleri Tablo 5'te görülmektedir.

TABLO 5: Çeşitli ağız içi renk ölçüm cihazları ve özellikleri.

Sistem	Cihaz tipi	Ölçüm alanı
ClearMatch (Clarity Dental, UT)	Yazılım/ dijital görüntü analizi	CM
Crystaleye (Olympus, Tokyo, Japonya)	Dijital görüntü analizi/spektrofotometre	CM
Zfx shade (Zfx GmbH, Almanya)	Dijital görüntü analizi/spektrofotometre	CM
SpectroShade Micro (Medical High Technologies, Verona, İtalya)	Dijital görüntü analizi/spektrofotometre	CM
ShadePilot (Degussa/Dentsply, Almanya)	Dijital görüntü analizi/spektrofotometre	CM
Easysshade Compact ,Easysshade Advance (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Almanya).	Spektrofotometre	SM (5 mm prob çapı)
Shade X (X-Rite, Grandville, MI)	Spektrofotometre	SM (3 mm prob çapı)
ShadeStar (Degussa/Dentsply, Almanya)	Spektrofotometre	SM
Shade Vision (X-Rite, Grandville, MI)	Dijital görüntü analizi/ kolorimetre	CM
Çeşitli nedenlerle artık üretimi yapılmayan cihazlar		
Shade Scan (Cynovad, Montreal Kanada)	Dijital görüntü analizi/ kolorimetre	CM
Shade Eye NCC (Shofu Dental, Menlo Park, CA, ABD)	Kolorimetre	SM(3 mm prob çapı)
İkam(Metalor Technologies, Attleboro, MA, ABD)	Dijital kamera	CM
Digital Shade Guide DSG4 (A. Reith, Schorndorf, Almanya)	Kolorimetre	SM
Vita Easysshade (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Almanya).	Spektrofotometre	SM
İdentacolor II (İdentia, Holbaek, Danimarka)	Kolorimetre	SM

CM: Tam yüzey ölçümü yapan cihaz; SM: Spot ölçüm yapan cihaz.

CIE, renk ölçüm cihazlarıyla hassas ve doğru ölçümler elde edilebilmesi için aydınlatma ve görüş şartları ile ilgili bazı standartlar belirlemiştir. CIE, ışığı yansıtan nesnelere renk ölçümleri sırasında dört farklı aydınlatma ve görüş teorisinden birinin kullanılmasını önermektedir. Bunlar 45°/normal (45°/0°), yani aydınlatma açısının 45°, gözlem açısının 0° olduğu, normal/45° (0°/45°), yani aydınlatma açısının 0°, gözlem açısının 45° olduğu, difüz/normal (d/0°) yani aydınlatmanın difüz gözlem açısının 0° olduğu ve normal/difüz (0°/d) yani aydınlatma açısının 0°, gözlem açısının difüz olduğu teorilerdir.^{3,42} Seghi, bu farklı geometrilerin renk ölçümüne etkisini değerlendirdiği çalışmasında, yüzey yapısındaki değişikliklerin renk üzerindeki etkisinin 45°/0° geometriye sahip bir aydınlatma ve görüş açısında minimum derecede olduğunu belirtmiştir.⁴² Piyasada mevcut cihazların donanımı bu standartlar göz önüne alınarak tasarlanmıştır.

Renk ölçüm cihazları ile ölçümü etkileyen diğer bir etken ise kenar kaybı “*edge loss*” dur. *Edge loss*, translüsent cisimlerin renk ölçümleri esnasında, cisme gelen ışığın bir miktarının emilmeden kenarlardan yayılması ve cihaza dönememesi nedeni ile bu kayıp ışığın saptanamamasıdır.⁴³ Translütent materyalin üzerinde bulunduğu arka plana, aydınlatma kaynağından gelen ışığın boyu-

tuna ve açısına göre *kenar kaybı* miktarı değişmektedir.⁴⁴ Kenar kaybının engellenmesi gölgelenmeye sebep olmayacak bir eksternal ışık kaynağı ve büyük açıklığa sahip renk ölçüm cihazlarının kombinasyonu sağlanmaktadır.⁴³

Kenar kaybı ve aydınlatma geometrisi gibi cihazların tasarımı da ölçüm sonuçlarını etkilemektedir. Cihazın türüne ve renk ölçümünün yapılacağı cisme göre cihazların optik öğeleri de değişmektedir.³ Tüm renk ölçüm cihazları dedektör, sinyal düzeltici ve alınan sinyalleri dental veriler hâline getiren yazılımdan meydana gelir. Bu öğeler arasındaki kompleks ilişki, doğru renk analizini zorlaştırmaktadır.⁵

Renk ölçüm cihazları doğruluk, hassasiyet, tekrarlanabilirlik, yeniden üretilebilirlik ve güvenilirlik gibi kriterlerle değerlendirilmektedir. Doğruluk (*accuracy*) bir cihazın belirli standart değerleri verebilmesi iken, kabul edilen referans seviyeden sapma miktarı olarak ifade edilmektedir.⁴⁵ Cihazın kalibrasyon tekniği, ölçüm geometrisindeki varyasyonlar gibi faktörler kontrol edilmesi zor sistemik hatalara neden olabilmekte ve bu sistemik hatalar da cihazın doğruluğunu etkileyebilmektedir.^{46,47} Hassasiyet (*precision*) ise cihazın defalarca aynı sonucu verme kapasitesidir; tekrarlanabilirlik (*repeatability*) ve yeniden üretilebilirlik (*reproducibility*) olmak üzere ikiye ayrılır.

maktadır.⁴⁵ ISO tanımlamalarına göre, bir ölçüm cihazının tekrarlanan ölçümlerdeki tutarlılığı o cihazın tekrarlanabilirliğini gösterirken, ölçüm koşullarından biri değişse de aynı sonuçların alınması da yeniden üretilebilirliği göstermektedir.^{45,48}

Farklı cihazlarla elde edilen ölçüm sonuçlarının birbirleriyle olan tutarlılığı cihazlar arası güvenilirliktir (*interdevice reliability*) ve oldukça önemlidir. Klinisyen ve laboratuvar farklı ölçüm cihazları kullanıyorsa, istenilen diş renginde restorasyonların üretilmesi olanaksızdır.⁴⁸

Kolorimetre

Kolorimetre rengi, standart aydınlatma koşulları ve görme açısı altında sadece tristimulus değerleri ile ölçmektedir. Kolorimetre dedektöründe insan gözündeki kon tipi hücrelere benzeyen üç farklı sensör bulunmaktadır. Dedektördeki bu sensörler yansıyan ışık ışınlarını kırmızı, yeşil ve mavi renk oranında çözümlyerek CIE'nin $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ ve $z(\lambda)$ değerlerini verirler.^{3,6}

Diş hekimliğinde renk tespiti için tasarlanan ilk enstrüman 1980'li yılların başlarında tanıtılan "Chromascan" (Sterngold, Stamford, Conn) adlı kolorimetredir. Ancak dizaynı ve ölçüm doğruluğu yetersiz görüldüğünden başarılı olamamıştır.^{5,49} Diğer kolorimetrelere; ShadeEye NCC, Shade Eye Ex örnek verilebilir.

"ShadeEye NCC (Natural Color Concept) Chroma Meter" (Shofu Dental) modern tristimulus kolorimetrelere ikinci kuşaktır. Ksenon flaş ile aydınlatma yapan cihaz dairesel 0/0 ölçüm geometrisine sahiptir. Taşınabilir ve kontakt tipi probu yaklaşık 3 mm çapındadır. Aktivasyon düğmesine basıldığında dişle temasta olan prob yardımıyla ışık gönderilir. Yüzeyden yansıyan ışık probun merkezine, buradan ışık dedektörüne yönlendirilir. Elde edilen veriler kızılötesi sinyallerle ana üniteye aktarılır. Hafızasında porselen sistemlerine ait veritabanı bulunur ve ölçüm sonucuyla depo veri arasındaki en yakın eşleşmeyi verir. ShadeEye, Vintage Halo seramik sistemi (Shofu Dental) ile kullanılması için geliştirilmiş olsa da, güncellenen yazılım versiyonları diğer seramik sistemlerle kullanılmasına olanak sağlar.⁵

Spektroradyometre

Spektroradyometreler, parlaklık (*irradiance*) ve ışınım (*radiance*) gibi radyometrik değerlerin ölçümü için tasarlanmıştır.³ Spektroradyometrik yöntemlerin esası cisimlerin; renk, doku, parlaklık ve görünüş gibi özellikleri veren kimyasal yapısından kaynaklanan kendine özgü ışınım (*radiance*) değerlerinin bulunmasına dayanmaktadır.⁴¹ Radyometrik enerji görünür spektrumu 5, 10 veya 20 nm aralıklarında ölçülmektedir.^{3,41}

Endüstriden tıba, doğa bilimlerinden kimyaya kadar birçok farklı alanda uzun süredir kullanılmalarına rağmen diş hekimliğinde ise son zamanlarda çeşitli sebeplerle tercih edilmektedir.⁵⁰ Dental araştırmalarda; diş renginin veya seramik kor yapının translusensliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.^{5,41} CS-1000A, CS 1000S, CS1000T modelleri ve SpectraScan PR 670 ve Spectra duo PR 680 tipleri ağız içi kullanıma uygun olmayan, ancak bilimsel araştırmalarda kullanılan spektroradyometrelere örnektir.⁵⁰

Spektrofotometre

Spektrofotometreler yüzey renklerinin ölçülmesinde en sık kullanılan cihazlardır. Bir monokromatör, dedektör ve ışık kaynağından meydana gelir.^{3,41} Dedektör, ışığı analiz edilebilecek sinyallerin eldesi için dönüştürür.⁵¹ İnsan gözünün algılayamayacağı renkleri, çeşitli dalga boylarında ölçüm yapabilen sensörleri sayesinde değerlendirebilen spektrofotometreler çoklu sensör prensibiyle çalışmaktadır. Temel prensipleri; cisimden yansıyan ışığın, beyaz bir yüzeyden yansıyan ışığa oranının ölçülmesi esasına dayanmaktadır.⁴¹ Cisimden yansıyan ışığı görünür spektrumda 1-25 nm'lik aralıklarda ölçer.^{51,52} Kolorimetrelere farklı olarak metamerizmi de ayırt edebilmektedir.^{3,41} Gün ışığı, akkor ve floresan lamba gibi değişik aydınlatma koşulları altında farklı sonuçlar verebildiklerinden; daha profesyonel alanlarda, bilimsel çalışmalarda, kalite kontrolünde ve rengin tarif edilmesinde kullanılmaktadır.^{7,41} Diş hekimliğinde ise; dental materyallerin renklerinin renk ölçümü ve iki cisim arasındaki renk farkının tespiti amacıyla kullanılmaktadır.⁴¹ Piyasadaki mevcut spektrofotometrelere, Easysshade Compact, Easysshade Advance, Shade X, ShadeStar örnek verilebilir.

2002 yılında kullanıma giren VITA Easyshade spektrofotometre, fiberoptik kabloyla ana üniteye bağlanan bir el aparatından meydana gelmektedir. Cihazın kontak tip probu yaklaşık 5 mm çapındadır ve 19 adet 1 mm çapında fiberoptik demet içermektedir. Ölçüm işlemi sırasında diş, ışığı ana üniteye bulunan halojen lambadan diş yüzeyine yönlendiren probun periferiyle aydınlatılmaktadır. El aparatında ışık kaynağını görüntüleyen ve dişin iç kısmında yayılan ışığı ölçen çok sayıda spektrometre bulunmaktadır. Çeşitli filtre ve fotodiyotların kombinasyonu probun merkezinde yerleşmiş fiberlerle yüzeyden dönen ışığı alır. Bu donanıyla yayılan ışığın spektral yansıması 25 nm'lik aralıkta ölçülmektedir. Ölçüme başlamadan önce ölçüm modu (diş, restorasyon veya renk skalası) seçilmelidir. Cihaz ölçüm sonucunu, Vitapan Classical ve Toothguide 3D-Master skalalarına göre vermektedir.⁵

2009 yılında çıkarılan VITA Easyshade Compact, VITA Easyshade'den sonraki versiyonudur. Cihazın kablosuz ve taşınabilir olması, klinik uygulamalarda kolaylık sağlamaktadır. Hedef bölgenin aydınlatılmasını bünyesindeki "light emitting diode (LED)" ışık kaynağıyla yapan cihazın üreticileri, ölçümlerin aydınlatma ve ortam koşullarından etkilenmeyeceğini iddia etmektedir. Vitapan Classical ve Toothguide 3D-Master skalalarına göre renk ölçümü verebilen cihaz, 25 ölçüme kadar hafızasında saklayabilmektedir.⁵³ 2013 yılında piyasaya sunulan VITA Easyshade Advance ise daha gelişmiş bir versiyondur.

Shade-X (X-Rite, Grandville, Michigan) prob çapı 3 mm olan kablosuz ve spot ölçüm yapan bir spektrofotometredir. Piyasada mevcut renk skalalarının çoğuna uyumludur. Dentin (daha opak) ve insizal bölge (daha translusent) ölçümleri için iki farklı dataya sahiptir.⁵¹

Dijital Kamera ve Görüntüleme Sistemleri

Dijital kameralar renk ölçümünde giderek popülerlik kazanmaktadır. Avantajı, tüm cismin renk görünümünün imaj hâlinde elde edilebilmesidir.^{3,41} Çünkü ağız ortamındaki morfoloji, yüzey yapısı, renk dağılımı ve diğer birçok bilgi laboratuvara aktarılabilen ve hekim-teknisyen arasındaki iletişimde büyük boşluk kapatılmaktadır.⁵⁴

Ancak kameralar tek başına ölçüm cihazı değildir, bu nedenle yöntem; klinikte elde edilen dijital görüntünün kameranın bağlı olduğu bilgisayarda analiz edilmesine dayanmaktadır.⁴¹ Dijital fotoğraf makineleri görüntüyü milyonlarca ışığa hassas elemanlar (fotosit) içeren CCD (algılayıcı) lar ile yakalarlar. Her bir fotosit, üzerine gelen toplam ışığa karşılık verebilir. Tüm renklere sahip bir görüntü elde etmek için sensörler; ışığa onun üç temel renginde bakabilmek için filtreler kullanır. Bu cihazlarda, kamera üç rengi de her bir piksele kaydedebilir.^{5,41}

Dijital kameralar renk sinyallerini kırmızı, yeşil ve mavi sinyaller şeklinde alır. Kamera algılayıcıları CIE'nin standart gözlemcisi ile aynı spektral hassasiyete sahip olmadığı için kameradaki RGB değerleri CIE'nin XYZ değerleriyle uyumsuz. Bu nedenle ölçüm yapılırken RGB değerleri CIE'nin XYZ değerlerine çevrilmelidir, bu işleme de kamera karakterizasyonu adı verilmektedir.³

Dijital fotoğraflarla renk belirlemenin, kolay ve etkili olmasından dolayı son dönemlerde popülaritesi artmıştır, ancak alınan görüntünün kalitesi önemlidir. Kameranın tipi, ayarları, ortamın aydınlanma şartları, görüntünün boyutu, ilgili dişin pozisyonu ve renk anahtarı görüntünün kalitesini etkilemektedir.⁴¹

Dijital renk analizi ile ilgili yapılan bazı çalışmalar Tablo 6'da görülmektedir.

Guan ve ark. doğru aydınlatma koşulları ve matematiksel dönüşüm algoritmaları kullanıldığında dijital görüntüleme sistemleri ve görüntü analizinin renk ölçümünde güvenilir bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.⁵⁵ Jarad ve ark. ise geliştirdikleri dijital görüntülerle renk belirleme yöntemini görsel yöntemden daha başarılı, spektrofotometrik analizle benzer bulmuş, klinik kullanımını desteklemişlerdir.⁵⁴ Wee ve ark., uygun kalibrasyon protokolüyle kullanıldığında dijital kameraların renk seçiminde kullanılabilirliğini vurgulamışlardır.⁵⁶ Schropp, dijital fotoğrafların ve grafik bilgisayar yazılımının etkinliğinin klinik ortamın yansıtıldığı veya dijital fotoğrafların kullanıldığı görsel metottan daha başarılı bulunduğunu belirtmiştir.⁵⁷ Tung ve ark., dijital görüntülemeyle

TABLO 6: Dijital renk analizi ile ilgili yapılan bazı çalışmalar.

Araştırmacı	Dijital kamera	Örnek sayısı	Sonuç
Guan ve ark. (2005)	Kodak Nikon DCS410	18 çekilmiş diş	Dijital görüntüleme sistemleri ve görüntü analizinin renk ölçümünde güvenilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir
Jarad ve ark. (2005)	Nikon Coolpix 990 Ring flash (Nikon SB21B)	Vita lümin skalasından 9 renk, 10 gözlemci	Dijital görüntülerle renk belirleme yöntemi görsel yöntemden daha başarılı, spektrofotometrik analizle benzer bulunmuş, klinik kullanımı desteklenmiştir.
Wee ve ark. (2006)	Nikon D100 (Nikon Inc., NY, ABD) Canon EOS D60 (Canon Inc., NY, ABD) Sigma SD9 (Sigma, NY, ABD)	264 renk kartı 65 skala rengi	Uygun kalibrasyon protokollüyle kullanıldığında dijital kameraların renk seçiminde kullanılabilineceği vurgulanmıştır
Schropp (2009)	Canon EOS 20D (Canon ABD Inc, NY)	Vita 3D-Master skalasından 12 renk, 9 gözlemci	Dijital fotoğrafların ve grafik bilgisayar yazılımının etkinliğinin; Klinik ortamın yansıtıldığı veya dijital fotoğrafların kullanıldığı görsel yöntemden daha başarılı bulunduğu belirtilmiştir
Tung ve ark. (2011)	Nikon D1, Tokyo, Japonya LED (SDL-5N3PW-S, Sander Electronic, Taipei, Taiwan) Ring flash (Nikon Macro Speedlight SB-29 TTL Ring Light Flash, Nikon)	15 seramik örnek	LED aydınlatma altında özel beyaz dengesiyle elde edilen dijital renk skalasının renk değerlendirilmede kullanılabilineceği vurgulanmıştır.
Tam ve ark. (2012)	Canon EOS 1100D	Vita 3D-Master skalasındaki renkler	Dijital kamerayla renk ölçümünde görüntü işleme üzerine olan yöntem doğruluk açısından spektrofotometre ve kolorimetreye karşılaştırılabilir bulunmuş ve dental renk ölçümünde kullanılabilineceği bildirilmiştir.
Vivek ve ark. (2013)	Sony H10 (Sony Ltd, Japonya)	10 gözlemci, 20 doğal diş	Dijital renk ölçüm yönteminin daha başarılı bulunduğu ayrıca gözlemcinin farklı aydınlatma koşulları altındaki renk ölçüm başarısının anlamlı fark göstermediği bildirilmiştir.

renk seçiminin güvenilirliğinin beyaz dengesi ve aydınlatmadan oldukça etkilendiğini, özel beyaz dengesiyle alınan görüntülerin spektrofotometrik ölçümlerle uyumlu olduğunu, LED aydınlatma altında özel beyaz dengesiyle elde edilen dijital renk skalasının renk değerlendirmede kullanılabilineceğini vurgulamışlardır.⁵⁸ Tam ve Lee, dijital kamerayla renk ölçümünde görüntü işleme üzerine olan metodun doğruluk açısından spektrofotometre ve kolorimetreye karşılaştırılabilir olduğunu ve dental renk ölçümünde kullanılabilineceğini bildirmişlerdir.⁵⁹ Vivek ve ark., görsel ölçüm yöntemiyle dijital renk ölçüm yöntemini gün ışığı ve stüdyo ortamı olmak üzere iki farklı aydınlatma koşulu altında karşılaştırdıklarında, dijital renk ölçüm yönteminin daha başarılı bulunduğunu, ayrıca gözlemcinin farklı aydınlatma koşulları altındaki renk ölçüm başarısının anlamlı fark göstermediğini bildirmişlerdir.⁶⁰

Dijital görüntüleme, teknisyen ve hekim arasındaki iletişimi artırmaktadır. Spektrofotometreler ya da kolorimetreler kullanılamayacaksa, görsel

yönteme yardımcı olarak dijital görüntüleme sistemleri kullanılabilir.¹⁰ Kalibrasyonu sağlanmış dijital kameralar diş hekimliğinde renk seçimi için umut vaat edicidir ve bu konuda yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.^{5,56}

Cynovad (Montreal, Kanada) tarafından sunulan ShadeScan dijital görüntüleme ile kolorimetrik analizi kombine eden ilk sistemdir. Renkli “liquid crystal diode (LCD)” ekrana sahip bir el aparatıdır. Fiberoptik kablo aracılığıyla halojen ışık kaynağı diş yüzeyini 45° açı ile aydınlatmakta ve 0° ile dıştan yansıyan ışık toplanmaktadır. Dişin görüntüsü hafıza kartına kaydedilmekte, böylelikle bilgisayar gereksinimi giderilmektedir. Aktarılan veri ShadeScan’ın yazılımı bulunan bilgisayara yüklenebilmektedir. Böylelikle restorasyonun üretimi için dişin renk ve translusens haritası çıkarılarak veriler e-postayla ya da çıktı alınarak laboratuvara aktarılabilir. Standart yazılımda renk haritası Vitapan Classical skalasına göre elde edilebilmektedir. Dental laboratuvarlar için olan ek yazılımlar diğer skalaları da içermektedir.⁵

Dijital renk analizi ile kolorimetrik analizi kombine eden diğer cihaz, ShadeRite Dental Vision (X-Rite Inc, Grand Rapids, Michigan)'dır. Kendi ışık kaynağına sahip bir el aparatı ve LCD ekrandan oluşmaktadır. Ölçümler, CIE'nin standart gözlemci fonksiyonlarını taklit eden döner filtrelerden geçirilerek elde edilmektedir. Kablosuz olan cihaz ana üniteye oturtularak kalibre edilmekte veya veriler bilgisayara aktarılmaktadır. Renk ve translusens haritası elde edilebilir ve kolorimetrik veriler (CIE L*a*b*) bilgisayardan indirilebilir, ancak laboratuvar ilgili yazılıma sahip olmalıdır.⁵

Dijital fotoğraf ve spektrofotometrenin birlikte kullanımı renk tespitinde kullanılan yeni bir yöntemdir. Piyasadaki mevcut cihazlara Crystaleye, SpectroShade Micro, Shadepilot ve Zfx Shade örnek olarak verilebilir.

Crystaleye (Olympus, Tokyo, Japonya) geleneksel spektrofotometriyle dijital fotoğrafların avantajlarını birleştirmektedir. Bu cihaz, optik ve görüntü işleme teknolojisinin gelişmesiyle hekime daha doğru ve kolay renk ölçüm olanağı sağlamaktadır. En önemli avantajı, datasındaki sanal renk skalalarıyla eşleşme yapılarak laboratuvara doğru rengin iletilebilmesidir. Görüntüler 7-band LED ışık altında alınmakta, böylelikle dijital kameraların kullanıldığı geleneksel sistemlerden daha kesin renk tasviri sağlamaktadır. Ayrıca, Crystaleye ile görüntünün ağız içinde elde edilmesi nedeni ile yanlışlıklara neden olan eksternal ışık elimine edilmektedir.⁵¹ Ölçüm stabilitesi ve geometrisini sağlamak için "contact cap" kullanılarak dişin fotoğrafı alınmaktadır. Ayrıca, tüm ark ve yüzün görüntüsü de fotoğraflanmaktadır. Elde edilen diş fotoğrafının servikal, orta ve insizal olmak üzere üç bölge için spektral datası çıkarılmaktadır. Bu data; yazılımda mevcut olan Vitapan Classic, 3D-Master veya Chromascop skalalarının spektral datalarıyla karşılaştırılmakta ve skalada karşılığı belirlenmektedir. Ayrıca, renk koordinatları için renk haritası da çıkarılabilmektedir. Elde edilen veriler laboratuvara gönderilerek restorasyonun üretilmesi yapılmaktadır.⁶¹

SpectroShade Micro (MHT Optic Research, Niederhasli, Switzerland), dijital kamera/LED spektrofotometre kombinasyonunu kullanan bir cihazdır.⁵¹

Görüntüler 45/45° geometriyle elde edilmektedir. Renk değerlerine etkileyen speküler yansımaları elimine etmek için polarize filtre kullanılmaktadır. Polarize görüntüler daha sonra renk analizi ve hesaplamalarda kullanılmakta veya cihazın dadasında bulunan skalalarla karşılaştırılmaktadır. Yazılım, renk haritası çıkarılabilmektedir.⁶² Zaman alan hasta randevusundan önce sanal prova ile renk kesinleştirilebilmektedir.⁵¹ Analitik yazılıma ek olarak, dâhili bir bilgisayar mevcuttur. Ölçüm sırasında doğru pozisyonlandırma için rehber sistem LCD dokunmatik ekranında gösterilmektedir. Görüntüler ve spektral data dâhili hafızasında saklanabilmekte ve bilgisayara aktarılabilmektedir.⁵¹

Renk ölçüm cihazlarının doğruluk, hassasiyet veya güvenilirliğiyle ilgili yapılan bazı çalışmalar Tablo 7'de görülmektedir.

Chang ve ark. ile Yuan ve ark., benzer çalışmalarında Shadepilot, Vita EasyShade ve Shade Eye NCC olmak üzere üç farklı renk ölçüm cihazını karşılaştırmış, Shadepilot'un doğruluğunu yüksek bulmuş, en güvenilir ölçüm için cihazların birbirleriyle ya da görsel yöntemle kombine edilerek kullanılmasını vurgulamışlardır.^{63,64} Khashayar ve ark., Sarafianou ve ark. ile Llena ve ark., benzer olarak Vita Easyshade ve SpectroShade Micro spektrofotometrelerinin birbiriyle uyumluluğunu değerlendirmiş ve zayıf bulmuşlardır.⁶⁵⁻⁶⁷ Bu nedenle bir cihazla elde edilen sonuçların diğer cihaz için kullanılamayacağı, ölçümlerin aynı cihazla yapılması gerektiği belirtilmiştir. Sarafianou ve ark., bu cihazların farklı aydınlatma koşullarındaki tekrarlanabilirliklerini yetersiz bulurken; Witkowski ve ark., Crystaleye cihazının farklı aydınlatmalarda ve farklı gözlemciler tarafından kullanılsa bile tutarlı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.^{66,68} Imbery ve ark. ile Khurana ve ark., tam yüzey ölçümü yapan cihazları (SpectroShade Micro ve Crystaleye); spot ölçümü yapan cihazlardan (Easyshade Compact, Shade-X) daha üstün bulmuş; bunun prob çapıyla orantılı olarak sınırlı bölgenin renk ölçümünün sonuçları arasındaki farklılıklara neden olabileceğini belirtmişlerdir.^{52,69} Kim-Pusateri ve ark. ile Dozić ve ark., spektrofotometrelerin kolorimetrelerden daha üstün olduğunu destekler sonuçlara ulaşmışlardır.^{70,71}

TABLO 7: Renk ölçüm cihazlarının doğruluk, hassasiyet veya güvenilirliğiyle ilgili yapılan bazı çalışmalar.

Arastirmacı	Cihaz	Örnek sayısı	Sonuç
Khurana ve ark. (2007)	Easysshade ShadeVision SpectroShade Micro	20 doğal diş	SpektrShade Micro'nun diğerlerine kıyasla daha yüksek tekrarlanabilirlik gösterdiği bildirilmiştir.
Dozić ve ark. (2007)	ShadeScan Easysshade Ikam IdentaColor II ShadeEye	Skaladaki 5 renkten beş'er ölçüm 25 doğal diş	Klinik koşullarda Easysshade ve Ikam daha güvenilir bulunmuştur. Diğer cihazların invitro olarak güvenilirliğinin klinik koşullardakinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir.
Kim-Pusateri ve ark. (2009)	SpectroShade ShadeVision Easysshade ShadeScan	3 skaladaki renk 10'ar ölçüm (620)	Hepsi benzer yüksek güvenilirlik gösterirken doğruluk açısından cihazlar arasında belirgin farklılığın bulunduğu vurgulanmıştır.
Lagouvardos ve ark. (2009)	ShadeEye NCC Easysshade	31 çekilmiş diş ikişer ölçüm	Cihazlar arası ölçüm güvenilirliği farklı bulunmamıştır. Vita Classic skalasıyla olan uyumun Vitapan 3D-Master'dan daha yüksek olduğu bildirilmiştir.
Lehmann ve ark. (2010)	Easysshade Easysshade Compact Shadepilot X-Rite ShadeVision	Seramik örnek beş'er ölçüm	Shadepilot ve ShadeVision'un daha hassas sonuçlar verdiği, tekrarlanabilirliklerinin yüksek bulunduğu belirtilmiştir.
Llena ve ark. (2011)	Easysshade SpectroShade Micro	60 doğal diş	İki cihazın farklı sonuçlar verdiği; tekrarlanabilirliklerinin yüksek bulunduğu ve klinik kullanım için uygun olduğu bildirilmiştir.
Khashayar ve ark. (2012)	Easysshade SpectroShade Micro	306 doğal diştten üç'er ölçüm	İki cihazın karşılaştırılabilir sonuçlar vermediği, bu nedenle bir cihazla elde edilen sonuçların diğeri için kullanılmayacağı vurgulanmıştır.
Yuan ve ark. (2012)	ShadeEye NCC Easysshade Shadepilot	85 doğal diş, 5 skaladan 80 renk	Easysshade'in doğruluğu diğerlerinden düşük bulunurken, en yüksek Shadepilot bulunmuştur. Aynı diş için farklı lab değerleri elde edildiğinden, cihazların kendi aralarında ya da görsel yöntemle kombine edilmesi önerilmiştir.
Sarafianou ve ark. (2012)	Easysshade SpectroShade Micro	30 doğal diştten üç'er ölçüm	Üç farklı aydınlatma altında cihazların tekrarlanabilirliği klinik olarak yeterli bulunamamıştır. SpektrShade'in aydınlatmadan daha çok etkilendiği, cihazların birbirleriyle olan uyumunun zayıf olduğu belirtilmiştir.
Witkowski ve ark. (2012)	Crystaleye	15 doğal diş, 45 ölçüm	Farklı aydınlatma koşulları altında iki gözlemcinin elde ettiği sonuçlar arasında anlamlı farkın olmadığı, renk ölçüm cihazının klinik kullanımının önerildiği bildirilmiştir.
Imbery ve ark. (2013)	Easysshade Compact Shade-X SpectroShade Micro Crystaleye	367 doğal diş	Elde edilen sonuçlar açısından en yüksek uyuma Crystaleye ile SpectroShade Micro arasında, en az uyuma ise Crystaleye ile Easysshade Compact arasında bulunmuştur. Bu farkın Crystaleye ile SpectroShade Micro'nun benzer ölçüm prensibine sahip olmasına, yani tüm dış yüzeyinden renk ölçümü yapmasına bağlanmıştır.
Zenthöfer ve ark. (2013)	Easysshade Advance Easysshade Compact	6 porselen örnek	Easysshade Advance daha doğru sonuçlar vermiştir. İki cihazın da doğruluk ve güvenilirlik açısından klinik olarak yeterli olduğu belirtilmiştir.
Chang ve ark. (2013)	ShadeEye NCC Easysshade Shadepilot	Skaladan 90 renk	Shadepilot'un parametrelerden etkilenmediği; en güvenilir sonuç için cihazların kombine edilerek kullanılması gerektiği bildirilmiştir.

Zenthöfer ve ark., Vita Easysshade Advance ile Vita Easysshade Compact'ı tekrarlanabilirlik, cihazlar arası güvenilirlik ve doğruluk açısından karşılaştırmış; Advance'in klinik uygulamalarda daha doğru sonuçlar verdiğini, iki cihazın da doğruluk

ve güvenilirlik açısından klinik olarak yeterli olduğunu vurgulamışlardır.⁷² Lehmann ve ark.nın Easysshade, Easysshade Compact, Shadepilot ve Shade Vision olmak üzere dört cihazı spektrofotometrik referans sistemiyle (The Evolution 6001)

karşılaştırdığı çalışmada; Shadepilot ve Shade Vision'un daha hassas sonuçlar verdiği, tüm cihazların tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğu belirtilmiştir.⁷³ Lagouvardos ve ark.nın iki farklı renk ölçüm cihazını (Shade Eye NCC ve Vita Easyshade) karşılaştırdıkları çalışmada; Vita Easyshade'in daha yüksek lab değerleri verdiği, iki cihaz da yüksek ölçüm tekrarlanabilirliği gösterirken, Vita Classic skalası için Shade Eye NCC in tekrarlanabilirliğinin daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir.⁴⁸ Çalışmada cihazlar arası güvenilirliğinin farklı olmadığı ancak Vita Classic skalası için daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir.

Cihazlarla renk ölçümü objektif olması nedeni ile önerilebilir, ancak yazılım güncellemeleri, kalibrasyon gibi faktörlerden etkilenmeleri dolayısıyla en güvenilir sonuç için birbirleriyle ya da görsel yöntemle kombine edilerek kullanılmalıdır. Spektrofotometrelerin kolorimetrelerle karşılaştırıldığında daha doğru ve hassas sonuçlar verdiği unutulmamalıdır. Ayrıca, farklı ölçüm prensibiyle çalışan cihazlarla elde edilen sonuçlar arasındaki olası uyumsuzluklar göz önünde tutulmalıdır. Tüm dış yüzeyinden ölçüm yapan spektrofotometreler bölgesel ölçüm yapanlardan daha başarılı bulunmuştur. Renk seçiminde kolorimetreler kullanılacaksa görsel yöntemle kombine edilmelidir.¹⁰

Görsel yöntemle enstrümantal yöntemin karşılaştırıldığı bazı çalışmalar Tablo 8'de görülmektedir.

Yılmaz ve Karaağaçlıoğlu, prostodontistler tarafından yapılan görsel ölçümlerin kolorimetreyle yapılan ölçümler gibi kabul edilebilir seviyede tekrarlanabilirlik gösterdiğini bildirirken; Raigrodski ve ark. da enstrümantal yöntemle üretilen kronların renk uyumunun görsel yöntemle üretilenlerden farklı olmadığını, ancak cihazla yapılan renk seçiminin daha az vakit aldığını vurgulamışlardır.^{74,75} Hugo ve ark. ise cihazla yapılan seçimlerin görsel yöntemle uyuşmadığını, bu nedenle görsel yöntemle teyit edilmeyen seçimin klinik başarısızlıklara neden olabileceğini belirtmişlerdir.⁷⁶ Judeh ve ark. Easyshade ile yapılan renk ölçümlerinin güvenilirliğinin Vita Classic skalası ile yapılan görsel ölçüme kıyasla beş kat daha başarılı bulunduğunu, ancak yine de daha

güvenilir sonuçların enstrümantal yöntemlerin görsel yöntemlerle kombine edilerek elde edileceğini belirtmişlerdir.³⁵ AlSaleh ve ark. da Easyshade'in Vita Classic skalasıyla karşılaştırıldığında spektrofotometrik renk analizinin daha doğru sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.³⁶ 3D-Master Totoguide skalasıyla Easyshade Compact'ı karşılaştırdığı çalışmalarında Bahannan ile Browning ve ark cihazla yapılan renk seçiminin daha başarılı olduğunu; Gomez-Polo ve ark. ise iki yöntem arasında farklılıkların olduğunu, ancak en çok eşleşmenin en önemli renk özelliği olan value-renk değerinde gözlendiğini belirtmişlerdir.^{28,77,78} Pimentel ve Tiossi Vita Classical skalasını, Derdlopoulou ve ark. ise Chromascop-Complex skalasını SpectroShade Micro spektrofotometresiyle karşılaştırmış, spektrofotometrenin renk analizinde standardizasyonu sağlayabildiğini, yeniden üretilebilirliği ve hassasiyetinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.^{79,80}

Da Silva ve ark.nın spektrofotometreyle (Crystaleye) renk ölçümünün klinik etkinliğini, üç skalanın kullanıldığı görsel yöntemle karşılaştırdıkları çalışmada; spektrofotometre kullanılarak hazırlanan kronlarda daha iyi renk uyumunun elde edildiği belirtilmiştir.⁶¹ Li ve Wang, Vintage Halo renk skalasını kullandıkları görsel yöntemi Shade Eye NCC kolorimetresini kullandıkları enstrümantal metotla karşılaştırdıklarında, kolorimetre ile daha kolay ve daha doğru ölçümlerin yapıldığını belirtmişlerdir.⁸¹ Klemetti ve ark. da üç farklı skalayı (Vita Lumin Vacuum, Vita 3D-Master ve Procera) Shade Eye dental kolorimetreyle karşılaştırdıklarında renk eğitimi ve standardizasyonu için kolorimetrenin daha yararlı olacağını bildirmişlerdir.⁸² Lasserre ve ark., Sopro 717 intraoral kamera kullanılarak geliştirilen Sopro Shade konsepti ile görsel renk tespitinin; geleneksel görsel yöntemden daha güvenilir olduğunu belirtmişlerdir.⁸³

Yapılan çalışmalarda, cihazlar ölçüm hassasiyeti tekrarlanabilirlik ve güvenilirlik açısından daha üstün bulunmuştur. Ancak, cihazların kalibrasyon ve yazılım güncellemeleri gibi gereklilikleri vardır.³⁵ Bu nedenle görsel yöntemle kombine edilerek kullanılmaları önerilmektedir.^{35,51}

TABLO 8: Görsel yöntemle enstrümantal yöntemin karşılaştırıldığı bazı çalışmalar.

Araştırmacı	Cihaz ve skala	Gözlemci-örnek sayısı	Sonuç
Hugo ve ark. (2005)	SpectroShade ShadeVision DSG4 Vita Classic	342 doğal diş, 3 gözlemci	Cihazla yapılan seçimlerin görsel yöntemle uyuşmadığı, bu nedenle görsel yöntemle teyit edilmeyen seçimin klinik başarısızlıklara neden olabileceği vurgulanmıştır.
Raigrodski ve ark. (2006)	Vita Lumin Shade Scan	5 doğal diş	Enstrümantal yöntemle üretilen kronların renk uyumunun görsel yöntemle üretilenlerden farklı olmadığı, ancak cihazla yapılan renk seçiminin daha az vakit aldığı vurgulanmıştır.
Klemetti ve ark. (2006)	Shade Eye Ex Vita Lumin Vita 3D-Master Procera	4 doğal diş, 19 öğrenci gözlemci	Üç skala için de tekrarlanabilirlik ve kolorimetreye eşleşmenin zayıf bulunduğu, renk eğitimi ve standardizasyonu için kolorimetrenin önerildiği bildirilmiştir.
Derdilopoulou ve ark. (2007)	Chromascop SpectroShade Micro	3758 doğal diş, 2 deneyimli gözlemci	Spektrofotometrenin renk analizinde standardizasyonu sağlayabildiği, yeniden üretilebilirliği ve hassasiyetinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.
Li ve ark. (2007)	Vintage Halo Shade Eye NCC	20 doğal diş	Kolorimetre ile daha kolay ve daha doğru ölçümlerin yapıldığı belirtilmiştir.
Da Silva ve ark. (2008)	Cyrstaleye Chromascop Vita 3D-Master Vita Classical	36 doğal diş	Spektrofotometre kullanılarak hazırlanan kronlarda daha iyi renk uyumunun elde edildiği belirtilmiştir.
Yılmaz ve ark. (2008)	Shade Eye NCC Vita Classical	10 doğal diş, 5 gözlemci	Kolorimetre ve prostodontistler tarafından yapılan ölçümlerin kabul edilebilir seviyede tekrarlanabilirlik gösterdiği bildirilmiştir.
Judeh ve ark. (2009)	Vita Classical Easysshade	9 doğal diş, 9 skala rengi, 9 gözlemci	Spektrofotometreyle yapılan ölçümler beş kat daha başarılı bulunmuştur. Yazılım güncellemelerinin ve modifikasyonların gerekliliği vurgulanmıştır. Yöntemler kombine edilerek daha hassas sonuçların elde edileceği belirtilmiştir.
Browning ve ark. (2009)	Easysshade Vita 3D-Master	95 doğal diş, 3 tecrübeli klinisyen	Easysshade ile renk analizinin görsel yöntemle göre daha güvenilir, doğruluk ve hassasiyetinin de gözlemcilerden daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir.
Lasserre ve ark. (2011)	Ağız içi kamera (Sopro717) Easysshade Vita 3D-Master	38 doğal diş, 3 gözlemci	Sopro 717 intraoral kamera kullanılarak geliştirilen Sopro Shade konsepti ile görsel renk tespitinin; geleneksel görsel yöntemden daha güvenilir olduğu belirtilmiştir.
Alsaleh ve ark. (2012)	Vita Classical Easysshade	50 doğal diş, 50 öğrenci 3 klinisyen,	Spektrofotometrik renk analizinin görsel yöntemle karşılaştırıldığında daha doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir.
Polo ve ark. (2013)	Easysshade Compact Vita 3D-Master	1361 doğal diş	İki yöntem arasında farklılıkların olduğu, ancak en çok eşleşmenin value değerinde gözlemlendiği bildirilmiştir.
Bahannan (2014)	Easysshade Compact Vita 3D-Master	6 yapay diş, 204 gözlemci	Görsel yöntemin birçok faktörden etkilenmesi nedeni ile tutarsız olduğu, renk ölçüm cihazının daha başarılı bulunduğu bildirilmiştir.
Pimentel ve ark. (2014)	Vita Classical SpectroShade Micro	30 doğal diş, 4 gözlemci	Enstrümantal yöntemin daha güvenilir ve tekrarlanabilir olduğu, doğru renk seçimi için önerildiği belirtilmiştir.

SONUÇ

Günümüzde renk konusunda bilimsel çalışmalarda bir artış yaşanırken, ölçüm ve değerlendirilmelerde de yeni gelişmeler olduğu gözle çarpılmaktadır.⁴¹ Özellikle ağız içi renk ölçüm cihazları klinik diş hekimliğinin gereksinimlerini karşılaması amacıyla geliştirilmiştir.⁵¹ Görsel yöntemin tutarsız ve subjektif olması nedeni ile

teknolojik renk seçim sistemleri daha tekrarlanabilir ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Spektrofotometreler detaylı renk analizi sağlayabilir, fakat kolorimetrelerden daha pahalıdır. Bilimsel araştırmalarda spektrometreler başarılı sonuçlar vermektedir. Renk seçimi için tercih edilecek ideal yöntem ise görsel yöntemin teknolojik sistemlerle desteklenmesiyle elde edilmektedir.⁵⁰

KAYNAKLAR

1. Keyf F, Uzun G, Altunsoy S. [Choice of color in dentistry]. *Hacettepe Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2009;33(4):52-8.
2. Wee AG. Description of Color, Color Replication Process, and Esthetics. In: Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J, eds. *Contemporary Fixed Prosthodontics*. 4th ed. St. Louis: Mosby; 2006. p.709-39.
3. Paravina RD, Powers JM. *Esthetic Color Training in Dentistry*. 1st ed. St Louis: Elsevier Mosby; 2004. p. 3-170.
4. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. 1973. *J Prosthet Dent* 2001;86(5):453-7.
5. Brewer JD, Wee A, Seghi R. Advances in color matching. *Dent Clin North Am* 2004;48(2):341-58.
6. O'Brien WJ. *Color and Appearance, Dental Materials and Their Selection*. 3rd ed. Illinois: Quintessence Publishing; 2002. p.24-36.
7. Chu SJ, Devigus A, Mieslesko A. *Fundamentals of Color: Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry*. Chicago: Quintessence Publishing; 2004. p. 14-85.
8. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent* 1986;56(1):35-40.
9. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent* 1998;80(6): 642-8.
10. Chen H, Huang J, Dong X, Qian J, He J, Qu X, et al. A systematic review of visual and instrumental measurements for tooth shade matching. *Quintessence Int* 2012;43(8):649-59.
11. Paravina RD. Performance assessment of dental shade guides. *J Dent* 2009;37(Suppl 1):e15-20.
12. Corcodel N, Rammelsberg P, Jakstat H, Moldovan O, Schwarz S, Hassel AJ. The linear shade guide design of Vita 3D-master performs as well as the original design of the Vita 3D-master. *J Oral Rehabil* 2010;37(11):860-5.
13. Khashayar G, Dozic A, Kleverlaan C, Feilzer AJ. Clinical success of shade guides arranged according to lightness measured digitally. *Int J Prosthodont* 2012;25(4):410-2.
14. Meireles SS, Demarco FF, dos Santos Ida S, Dumith Sde C, Bona AD. Validation and reliability of visual assessment with a shade guide for tooth-color classification. *Oper Dent* 2008;33(2):121-6.
15. Öngül D, Şermet B, Balkaya MC. Visual and instrumental evaluation of color match ability of 2 shade guides on a ceramic system. *J Prosthet Dent* 2012;108(1):9-14.
16. Oh WS, Koh IW, O'Brien WJ. Estimation of visual shade matching errors with 2 shade guides. *Quintessence Int* 2009;40(10):833-6.
17. Hassel AJ, Koke U, Schmitter M, Beck J, Rammelsberg P. Clinical effect of different shade guide systems on the tooth shades of ceramic-veneered restorations. *Int J Prosthodont* 2005;18(5):422-6.
18. Li Q, Yu H, Wang YN. In vivo spectroradiometric evaluation of colour matching errors among five shade guides. *J Oral Rehabil* 2009;36(1):65-70.
19. Bayindir F, Kuo S, Johnston WM, Wee AG. Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. *J Prosthet Dent* 2007;98(3):175-85.
20. Ahn JS, Lee YK. Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. *J Prosthet Dent* 2008;100(1):18-28.
21. Corciolani G, Vichi A, Goracci C, Ferrari M. Colour correspondence of a ceramic system in two different shade guides. *J Dent* 2009;37(2):98-101.
22. Wee AG, Kang EY, Jere D, Beck FM. Clinical color match of porcelain visual shade-matching systems. *J Esthet Restor Dent* 2005;17(6):351-7.
23. Ishikawa-Nagai S, Wang J, Seliger A, Lin J, Da Silva J. Developing a custom dental porcelain shade system for computer color matching. *J Dent* 2013;41(Suppl 3):e3-10.
24. Wang P, Wei J, Li Q, Wang Y. Evaluation of an optimized shade guide made from porcelain powder mixtures. *J Prosthet Dent* 2014;112(6):1553-8.
25. Powers JM, Sakaguchi RL. *Optical, Thermal, and Electrical Properties, Craig's Restorative Dental Materials*. 12th ed. St. Louis: C.V. Mosby; 2006. p.27-50.
26. Kahramanoğlu E, Kulak Özkan Y. [Esthetic and color in dentistry]. *Cumhuriyet Dent J* 2013;16(4):339-47.
27. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23(5):467-79.
28. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. *J Dent* 2014;42(1):48-52.
29. Nakhaei M, Ghanbarzadeh J, Keyvanloo S, Alavi S, Jafarzadeh H. Shade matching performance of dental students with three various lighting conditions. *J Contemp Dent Pract* 2013;14(1):100-3.
30. Alomari M, Chadwick RG. Factors influencing the shade matching performance of dentists and dental technicians when using two different shade guides. *Br Dent J* 2011;211(11): E23.
31. Curd FM, Jasinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. *J Prosthet Dent* 2006;96(6): 391-6.
32. Winkler S, Boberick KG, Weitz KS, Datikashvili I, Wood R. Shade matching by dental students. *J Oral Implantol* 2006;32(5): 256-8.
33. Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, Borbely J, Vichi A, Dumfahrt H, et al. Does gender and experience influence shade matching quality? *J Dent* 2009;37(Suppl 1):e40-4.
34. Milagres V, Teixeira ML, Miranda ME, Osorio Silva CH, Ribeiro Pinto JR. Effect of gender, experience, and value on color perception. *Oper Dent* 2012;37(3):228-33.
35. Judeh A, Al-Wahadni A. A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection. *Quintessence Int* 2009;40(9):e69-79.
36. Alsaleh S, Labban M, AlHariri M, Tashkandi E. Evaluation of self shade matching ability of dental students using visual and instrumental means. *J Dent* 2012;40(Suppl 1):e82-7.
37. Della Bona A, Barrett AA, Rosa V, Pinzetta C. Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols. *Dent Mater* 2009;25(2):276-81.
38. Jaju RA, Nagai S, Karimbux N, Da Silva JD. Evaluating tooth color matching ability of dental students. *J Dent Educ* 2010;74(9):1002-10.
39. Corcodel N, Rammelsberg P, Moldovan O, Dreyhaupt J, Hassel AJ. Effect of external light conditions during matching of tooth color: an intraindividual comparison. *Int J Prosthodont* 2009;22(1):75-7.
40. Sinmazisik G, Trakyalı G, Tarcin B. Evaluating the ability of dental technician students and graduate dentists to match tooth color. *J Prosthet Dent* 2014;112(6):1559-66.
41. Turgut S, Bağış B. [Color in dentistry and color measuring methods]. *J Dent Fac Atatürk Uni* 2012;Suppl 5: 65-75.
42. Seghi RR. Effects of instrument-measuring geometry on colorimetric assessments of dental porcelains. *J Dent Res* 1990;69(5):1180-3.
43. Bolt RA, Bosch JJ, Coops JC. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Phys Med Biol* 1994;39(7):1133-42.
44. Johnston WM. Color measurement in dentistry. *J Dent* 2009;37(Suppl 1):e2-6.

45. Karamouzou A, Papadopoulos MA, Kolokithas G, Athanasiou AE. Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. *J Oral Rehabil* 2007;34(8):613-21.
46. Douglas RD. Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. *J Prosthet Dent* 1997;77(5):464-70.
47. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res* 1989;68(12):1755-9.
48. Lagouvardos PE, Fougia AG, Diamantopoulou SA, Polyzois GL. Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Prosthet Dent* 2009;101(1):40-5.
49. Goodkind RJ, Keenan K, Schwabacher WB. A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth. *J Prosthet Dent* 1985;53(1):105-9.
50. Doğan A, Yüzügüllü B. [Recent technological developments in color selection]. *J Dent Fac Atatürk Uni* 2011;Suppl 4:65-72.
51. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 2010;38(Suppl 2):e2-16.
52. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR. A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Br Dent J* 2007;203(12):675-80.
53. Freedman GA, Goldstep F. Color and Shade. In: Waldman SD. *Contemporary Esthetic Dentistry*. 1st ed. UK: Elsevier Mosby; 2012. p. 135-60.
54. Jarad FD, Russell MD, Moss BW. The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *Br Dent J* 2005;199(1):43-9.
55. Guan YH, Lath DL, Lilley TH, Willmot DR, Marlow I, Brook AH. The measurement of tooth whiteness by image analysis and spectrophotometry: a comparison. *J Oral Rehabil* 2005;32(1):7-15.
56. Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater* 2006;22(6):553-9.
57. Schropp L. Shade matching assisted by digital photography and computer software. *J Prosthodont* 2009;18(3):235-41.
58. Tung OH, Lai YL, Ho YC, Chou IC, Lee SY. Development of digital shade guides for color assessment using a digital camera with ring flashes. *Clin Oral Investig* 2011;15(1):49-56.
59. Tam WK, Lee HJ. Dental shade matching using a digital camera. *J Dent* 2012;40(Suppl 2):e3-10.
60. Vivek R, Singh A, Soni R, Singh S. Conventional and digitally assisted shade matching-A comparative study. *Indian J Dent* 2013;4(4):191-9.
61. Da Silva JD, Park SE, Weber HP, Ishikawa-Nagai S. Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *J Prosthet Dent* 2008;99(5):361-8.
62. Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. *Dent Mater* 2011;27(1):97-108.
63. Chang J, Chen W, Huang T, Wang J, Fu P, Chen J, et al. Evaluation of the accuracy and limitations of three tooth-color measuring machines. *J Dent Sci* 2015;10(1):16-20.
64. Yuan K, Sun X, Wang F, Wang H, Chen JH. In vitro and in vivo evaluations of three computer-aided shade matching instruments. *Oper Dent* 2012;37(3):219-27.
65. Khashayar G, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Data comparison between two dental spectrophotometers. *Oper Dent* 2012;37(1):12-20.
66. Sarafianou A, Kamposiora P, Papavasiliou G, Goula H. Matching repeatability and interdevice agreement of 2 intraoral spectrophotometers. *J Prosthet Dent* 2012;107(3):178-85.
67. Llena C, Lozano E, Amengual J, Forner L. Reliability of two color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Contemp Dent Pract* 2011;12(1):19-23.
68. Witkowski S, Yajima ND, Wolkewitz M, Strub JR. Reliability of shade selection using an intraoral spectrophotometer. *Clin Oral Investig* 2012;16(3):945-9.
69. Imbery TA, Geissberger M, Hakim F, Al-Anezi S, Uram-Tuculescu S, Gottlieb R, et al. Evaluation of four dental clinical spectrophotometers relative to human shade observation. *J Am Dent Assoc* 2013;144(10):1183-6.
70. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent* 2009;101(3):193-9.
71. Dozić A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont* 2007;16(2):93-100.
72. Zenthöfer A, Cabrera T, Corcodel N, Rammsberg P, Hassel AJ. Comparison of the Easys shade Compact and Advance in vitro and in vivo. *Clin Oral Investig* 2014;18(5):1473-9.
73. Lehmann KM, Igiel C, Schmidtman I, Scheller H. Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *J Dent* 2010;38(Suppl 2):e65-70.
74. Yılmaz B, Karaagaçlıoğlu L. Comparison of visual shade determination and an intra-oral dental colourimeter. *J Oral Rehabil* 2008;35(10):789-94.
75. Raigrodski AJ, Chiche GJ, Aoshima H, Spiekerman CF. Efficacy of a computerized shade selection system in matching the shade of anterior metal-ceramic crowns- a pilot study. *Quintessence Int* 2006;37(10):793-802.
76. Hugo B, Witzel T, Klaiber B. Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. *Clin Oral Investig* 2005;9(4):244-50.
77. Browning WD, Chan DC, Blalock JS, Brackett MG. A comparison of human raters and an intra-oral spectrophotometer. *Oper Dent* 2009;34(3):337-43.
78. Gómez-Polo C, Gómez-Polo M, Celemín-Viñuela A, Martínez Vázquez De Parga JA. Differences between the human eye and the spectrophotometer in the shade matching of tooth colour. *J Dent* 2014;42(6):742-5.
79. Pimental W, Tiozzi R. Comparison between visual and instrumental methods for natural tooth shade matching. *Gen Dent* 2014;62(6):47-9.
80. Derdilopoulou FV, Zantner C, Neumann K, Kielbassa AM. Evaluation of visual and spectrophotometric shade analyses: a clinical comparison of 3758 teeth. *Int J Prosthodont* 2007;20(4):414-6.
81. Li Q, Wang YN. Comparison of shade matching by visual observation and an intraoral dental colorimeter. *J Oral Rehabil* 2007;34(11):848-54.
82. Klemetti E, Matela AM, Haag P, Kononen M. Shade selection performed by novice dental professionals and colorimeter. *J Oral Rehabil* 2006;33(1):31-5.
83. Lasserre JF, Pop-Ciutrilă IS, Colosi HA. A comparison between a new visual method of colour matching by intraoral camera and conventional visual and spectrometric methods. *J Dent* 2011;39(Suppl 3):e29-36.