

**T.C.**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**  
**ORTODONTİ ANA BİLİM DALI**



**HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİ YAPILAN HASTALARDA**  
**DİŞLERDEKİ RENK DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**ORTODONTİ UZMANLIK TEZİ**

**MUHAMMED SERTAÇ ŞENGÜL**

**TEZ DANIŞMANI**  
**Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT**

**BOLU, ARALIK 2025**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

T.C.  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ  
Tez Onay Belgesi

Tezin Başlığı : HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİ YAPILAN  
HASTALARDA DİŞLERDEKİ RENK DEĞİŞİMİNİN  
İNCELENMESİ

Tezin Savunma Tarihi : 29.12.2025

Tezin Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Orhan ÇİÇEK

Üye : Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT

---

DEKANLIK ONAYI

Bu tez Uzmanlık Tezi standartlarına uygun bulunmuştur.

Prof. Dr. Ali KELEŞ

DEKAN

## ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi 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 fakülte dekanlığınca belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

Bu çalışma için Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 457 sayılı 2024/353 karar numarası ile etik izin alınmıştır.

**MUHAMMED SERTAÇ ŞENGÜL**

## ÖZET

### HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİ YAPILAN HASTALARDA DİŞLERDEKİ RENK DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

**Muhammed Sertaç ŞENGÜL**  
**BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**  
**ORTODONTİ ANABİLİM DALI**  
**ORTODONTİ UZMANLIK PROGRAMI**  
**(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSA BULUT)**  
**XII + 102 SAYFA**  
**BOLU, ARALIK - 2025**

Bu çalışma, hızlı üst çene genişletmesi (HÜÇG) tedavisinde kullanılan Bonded akrilik cap splint ve Hyrax genişletme apareylerinin diş rengi üzerinde oluşturduğu değişimleri incelemek ve bu değişimleri kontrol grubu ile karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Çalışmaya 8–15 yaş aralığında maksiller darlık tanısı konan toplam 60 birey dahil edilmiş ve bireyler Bonded akrilik cap splint, Hyrax ve kontrol grubu olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Diş rengi ölçümleri, HÜÇG tedavisi öncesi ( $T_0$ ) ve sonrası ( $T_1$ ) olmak üzere iki zaman noktasında spektrofotometre kullanılarak CIE  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Toplam renk değişimi  $\Delta E$  değeri ile hesaplanmıştır. Grup içi karşılaştırmalarda Wilcoxon Signed Rank testi, gruplar arası karşılaştırmalarda Kruskal–Wallis testi ve Bonferroni düzeltmeli post hoc analizler kullanılmıştır.

Başlangıç ölçümlerinde gruplar arasında  $L_0$ ,  $a_0$  ve  $b_0$  değerleri açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır.  $L^*$  parametresi açısından Hyrax grubunda  $T_0$ – $T_1$  arasında anlamlı bir azalma saptanırken ( $p<0,001$ ), Bonded akrilik cap splint ve kontrol gruplarında anlamlı değişim izlenmemiştir.  $a^*$  parametresinde Bonded akrilik cap splint ve kontrol gruplarında anlamlı değişim gözlenirken ( $p<0,05$ ), Hyrax grubunda değişim anlamlı bulunmamıştır.  $b^*$  parametresi açısından ise tüm gruplarda  $T_0$ – $T_1$  arasında istatistiksel olarak anlamlı değişim saptanmıştır ( $p<0,001$ ). Toplam renk değişimini gösteren  $\Delta E$  değerleri açısından gruplar arası karşılaştırmalar anlamlı bulunmuştur. ( $p<0,001$ ) Ortalama  $\Delta E$  değerleri incelendiğinde, Bonded akrilik cap splint ve Hyrax gruplarında kontrol grubuna kıyasla daha yüksek toplam renk değişimi izlendiği; ancak iki aparey grubu arasında  $\Delta E$  açısından anlamlı bir fark bulunmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte,

her iki aparey grubunda elde edilen  $\Delta E$  değerlerinin büyük ölçüde klinik kabul edilebilir sınırlar ( $\Delta E \approx 3,3-3,7$ ) içerisinde kaldığı görülmüştür.

Sonuc olarak, Bonded akrilik cap splint ve Hyrax ile uygulanan hızlı üst çene genişletmesinin diş rengine de ölçülebilir ancak klinik açıdan sınırlı değişikliklere yol açtığı görülmüştür. Bu bulgular, hasta bilgilendirmesinde objektif veri sunulabileceğini göstermektedir.

**ANAHTAR KEL MELER: Hızlı  st çene genişletmesi, Bonded akrilik cap splint, Hyrax, diş reengi, spektrofotometre**



## ABSTRACT

### EXAMINATION OF TOOTH COLOR CHANGES IN PATIENTS UNDERGOING RAPID PALATAL EXPANSION

MUHAMMED SERTAÇ ŞENGÜL

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

FACULTY OF DENTISTRY

DEPARTMENT OF ORTHODONTICS

(SUPERVISOR: DR. ASSISTANT PROFESSOR MUSA BULUT

BOLU, DECEMBER 2025

This study was conducted to examine the changes in tooth color caused by Bonded acrylic cap splints and Hyrax expansion appliances used in rapid maxillary expansion (RME) treatment and to compare these changes with a control group. A total of 60 individuals aged 8–15 years diagnosed with maxillary constriction were included in the study and divided into three groups: Bonded acrylic cap splint, Hyrax, and control group. Tooth color measurements were performed using a spectrophotometer at two time points, before ( $T_0$ ) and after ( $T_1$ ) HÜÇG treatment, using CIE  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  color parameters. Total color change was calculated using the  $\Delta E$  value. Wilcoxon Signed Rank test was used for within-group comparisons, while Kruskal–Wallis test and Bonferroni corrected post hoc analyses were used for between-group comparisons.

At baseline, no statistically significant differences were found among the groups in terms of  $L_0$ ,  $a_0$ , and  $b_0$  values. A significant decrease in  $L^*$  values was observed in the Hyrax group between  $T_0$  and  $T_1$  ( $p < 0.001$ ), whereas no significant changes were detected in the Bonded acrylic cap splint and control groups. Regarding the  $a^*$  parameter, significant changes were observed in the Bonded acrylic cap splint and control groups ( $p < 0.05$ ), while no significant change was found in the Hyrax group. For the  $b^*$  parameter, statistically significant changes were detected in all groups between  $T_0$  and  $T_1$  ( $p < 0.001$ ). Intergroup comparisons of  $\Delta E$  values revealed statistically significant differences among the groups ( $p < 0.001$ ). Mean  $\Delta E$  values were higher in the Bonded acrylic cap splint and Hyrax groups compared with the control group; however, no statistically significant difference was found between the two expansion appliance groups. Nevertheless,

$\Delta E$  values observed in both appliance groups were largely within clinically acceptable limits. ( $\Delta E \approx 3,3-3,7$ )

In conclusion, rapid maxillary expansion with Bonded acrylic cap splint and Hyrax resulted in measurable but clinically limited changes in tooth color. These findings demonstrate that objective data can be provided in patient information.

**KEYWORDS:** Rapid maxillary expansion, bonded acrylic cap splints, Hyrax, dental color, spectrophotometry



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET.....                                                                   | iii |
| ABSTRACT .....                                                              | v   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                           | vii |
| TABLO LİSTESİ .....                                                         | ix  |
| FOTOĞRAF LİSTESİ .....                                                      | x   |
| KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ .....                                         | xi  |
| TEŞEKKÜR .....                                                              | xii |
| 1. GİRİŞ.....                                                               | 1   |
| 2. GENEL BİLGİLER .....                                                     | 6   |
| 2.1 Posterior Çapraz Kapanış Tanımı .....                                   | 6   |
| 2.1.1 İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış .....                             | 6   |
| 2.1.2 Dişsel Posterior Çapraz Kapanış .....                                 | 7   |
| 2.1.3 Fonksiyonel Posterior Çapraz Kapanış.....                             | 7   |
| 2.2 İnsidansı.....                                                          | 7   |
| 2.3 Etiyoloji, Genetik ve Patofizyolojisi.....                              | 8   |
| 2.4 Teşhis ve Klinik Değerlendirmesi .....                                  | 9   |
| 2.5 Hızlı Üst Çene Genişletmesi (RME-Rapid Maxillary Expansion).....        | 11  |
| 2.5.1 Endikasyonları .....                                                  | 11  |
| 2.5.2 Kontrendikasyonları .....                                             | 12  |
| 2.5.3 HÜÇG’de Kullanılan Aparey Tipleri .....                               | 12  |
| 2.5.4 Vida Çevirme Protokolü .....                                          | 17  |
| 2.5.5 Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Komplikasyonları.....                  | 17  |
| 2.5.6 Hızlı Üst Çene Genişletmesinde Relaps ve Pekiştirme .....             | 17  |
| 2.6 Maksiller Darlık ve Klinik Önemi.....                                   | 18  |
| 2.6.1 Maksiller Darlığın Sınıflandırılması.....                             | 19  |
| 2.6.2 Büyüme ve Gelişim Dönemine Göre Farklılıklar.....                     | 21  |
| 2.6.3 Oklüzyon ve Fonksiyon Üzerindeki Etkiler .....                        | 21  |
| 2.7 HÜÇG’nin Tarihçesi ve Gelişimi .....                                    | 22  |
| 2.7.1 Klasik HÜÇG’den MARPE’ye Geçişin Bilimsel Temelleri .....             | 23  |
| 2.7.2 Cerrahi Destekli Maksiller Genişletmenin (SARME) Tarihsel Evrimi..... | 23  |
| 2.8 HÜÇG’nin Etki Mekanizması .....                                         | 24  |
| 2.9 HÜÇG’nin Klinik Sonuçları .....                                         | 27  |
| 2.10 Diş Hekimliğinde Renk .....                                            | 28  |
| 2.11 Renk Sistemleri.....                                                   | 30  |
| 2.11.1 Munsell Renk Sistemi .....                                           | 30  |
| 2.11.2 CIELAB (L*a*b*) Renk Sistemi .....                                   | 32  |

|           |                                                                |                                         |
|-----------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 2.12      | Diş Hekimliğinde Renk Ölçüm Yöntemleri .....                   | 34                                      |
| 2.12.1    | Görsel Renk Ölçümü.....                                        | 34                                      |
| 2.12.2    | Cihazlarla Renk Ölçümü .....                                   | 35                                      |
| 2.12.2.1  | Spektrofotometre.....                                          | 36                                      |
| 2.12.2.2  | Dijital Kameralar ve Görüntüleme Yöntemleri.....               | 37                                      |
| 2.12.2.3  | Spektroradyometre .....                                        | 38                                      |
| 2.12.2.4  | Kalorimetreler .....                                           | 38                                      |
| 2.12.2.5  | Ağız İçi Tarayıcılar .....                                     | 39                                      |
| 2.12.2.6  | Adobe Photoshop Yazılımının Kullanımı .....                    | 41                                      |
| 2.13      | Diş Renginin Oluşumu ve Klinik Önemi.....                      | 42                                      |
| 2.14      | Literatürde HÜÇG ve Diş Rengi İlişkisi .....                   | 46                                      |
| <b>3.</b> | <b>MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>                                 | <b>48</b>                               |
| 3.1       | Çalışma Grubu .....                                            | 48                                      |
| 3.2       | Kullanılan Apareyler ve Uygulama Protokolü .....               | 50                                      |
| 3.2.1     | Hyrax apareyi .....                                            | 50                                      |
| 3.2.2     | Bonded akrilik cap splint apareyi .....                        | 53                                      |
| 3.3       | Apareylerin Sökümü ve Diş Yüzeyi Temizliği .....               | 55                                      |
| 3.4       | Klinik Takip Sıklığı .....                                     | 56                                      |
| 3.5       | Renk Ölçümü Prosedürü.....                                     | 56                                      |
| 3.5.1     | Cihazın Teknik Özellikleri .....                               | 60                                      |
| 3.5.2     | Renk Değerlerinin Kaydedilmesi ve $\Delta E$ Hesaplaması ..... | 61                                      |
| 3.6       | İstatistiksel Analiz .....                                     | 61                                      |
| <b>4.</b> | <b>BULGULAR .....</b>                                          | <b>62</b>                               |
| <b>5.</b> | <b>TARTIŞMA .....</b>                                          | <b>66</b>                               |
| <b>6.</b> | <b>SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>                                  | <b>86</b>                               |
|           | <b>KAYNAKLAR .....</b>                                         | <b>88</b>                               |
|           | <b>EKLER.....</b>                                              | <b>101</b>                              |
|           | EK 1. Etik Kurul Onayı.....                                    | <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> |
|           | EK 2. Bilgilendirilmiş Onam Formu .....                        | 101                                     |

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1. Aparey gruplarında $L^*$ , $a^*$ ve $b^*$ parametrelerinin $T_0$ ve $T_1$ ölçümleri ile grup içi değişimlerin ve $\Delta E$ değerlerinin karşılaştırılması..... | 64 |
| Tablo 2. Bonferroni düzeltilmeli post hoc ikili karşılaştırma sonuçları.....                                                                                             | 65 |



## FOTOĞRAF LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fotoğraf 3.1. Hyrax ve bonded akrilik cap splint apareylerinin dişlere simantasyonunda kullanılan cam iyonomer esaslı yapıştırıcı siman (Meron®, Voco GmbH, Almanya). ....                                                              | 51 |
| Fotoğraf 3.2. Apareylerinin uygulanması sırasında kullanılan klinik yardımcı aletler .....                                                                                                                                              | 51 |
| Fotoğraf 3.3. Hyrax hızlı üst çene genişletme apareyinin ağız dışı önden görünümü. Üst birinci molar ve premolar dişlere bantlanmak üzere tasarlanmış metal kollar ve merkezi genişletme vidası görülmektedir. ....                     | 52 |
| Fotoğraf 3.4. Çalışmada kullanılan Hyrax hızlı üst çene genişletme apareyinin ağız dışı görünümü. Üst birinci molar ve premolar dişlere bantlanmak üzere hazırlanmış, merkezi genişletme vidası ve bağlantı kolları görülmektedir. .... | 52 |
| Fotoğraf 3.5. Bonded akrilik cap splint genişletme apareyinin alçı model üzerindeki ağız dışı görünümü. Üst premolar ve molarları tamamen kaplayan akrilik blok yapısı ve merkezi genişletme vidası görülmektedir. ..                   | 53 |
| Fotoğraf 3.6. Bonded akrilik cap splint genişletme apareyinin ağız dışı üstten görünümü. Üst premolar ve molarları tamamen kaplayan akrilik splint yapısı ve orta kısımda genişletme vidası görülmektedir. ....                         | 54 |
| Fotoğraf 3.7. Bonded akrilik cap splint genişletme apareyinin ağız dışı alttan görünümü. Akrilik splintin iç yüzeyindeki retansiyon delikleri ile tel destek elemanlarının konfigürasyonu izlenmektedir. ....                           | 54 |
| Fotoğraf 3.8. Bonded akrilik cap splint genişletme apareyinin alçı model üzerindeki ağız dışı görünümü. Üst premolar ve molarları tamamen kaplayan akrilik blok yapısı ve genişletme vidası görülmektedir. ....                         | 55 |
| Fotoğraf 3.9. Çalışmada kullanılan VITA Easyshade Advanced spektrofotometre cihazının önden görünümü. ....                                                                                                                              | 57 |
| Fotoğraf 3.10. Çalışmada kullanılan VITA Easyshade Advanced spektrofotometre cihazının yandan görünümü .....                                                                                                                            | 57 |
| Fotoğraf 3.11. Çalışmada kullanılan VITA Easyshade Advanced spektrofotometre cihazının şarj edilirken oturduğu yuva. ....                                                                                                               | 58 |
| Fotoğraf 3.12. Çalışmada kullanılan VITA Easyshade Advanced spektrofotometre cihazının her hastadan önce yapılan kalibrasyonu. ....                                                                                                     | 58 |
| Fotoğraf 3.13. L*, a*, b* değerlerinin VITA Easyshade Advanced cihazının ekranında görüntülenmesi. ....                                                                                                                                 | 59 |
| Fotoğraf 3.14. Ölçümlerin yapıldığı klinik ortam. ....                                                                                                                                                                                  | 59 |
| Fotoğraf 3.15. Renk tonu ölçümünün VITA Easyshade Advanced cihazı ekranında görüntülenmesi. ....                                                                                                                                        | 60 |

## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

HÜÇG: Hızlı Üst Çene Genişletmesi

RME: Rapid Maxillary Expansion

$\Delta E$ : Toplam renk değişimi (Delta E)

CIE: Commission Internationale de l'Éclairage

L\*: Açıklık-koyuluk parametresi

a\*: Kırmızılık-yeşillik parametresi

b\*: Sarılık-mavilik parametresi

T<sub>0</sub>: Tedavi öncesi ölçüm

T<sub>1</sub>: Tedavi sonrası ölçüm

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

MARPE: Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion

Hyrax: Dış destekli genişletme apareyi

Bonded Acrylic Cap Splints: Akrilik destekli genişletme apareyi

## TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca bilgi ve tecrübesiyle yetinmeyip iyi niyeti, sevgi ve samimiyetiyle de yol gösteren, desteğini, ilgi ve anlayışını her zaman hissettiren ve bu tezin hazırlanmasında büyük emeği bulunan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Musa Bulut’a gönülden teşekkür ederim.

Ortodontiyle ilk tanıştığım öğrencilik dönemimde verdiği derslerle bu alana olan ilgimi artıran, ortodontiyi bir uzmanlık alanı olarak seçmemde etkili olan ve mesleki gelişimimde yönlendirici rol oynayan değerli hocam Doç. Dr. Yasemin Nur Korkmaz’a teşekkür ederim.

Uzmanlık sürecim boyunca her konuda samimi yaklaşımıyla yanımda olan, deneyimlerini içtenlikle paylaşarak hem klinik hem teorik açıdan gelişimime katkı sağlayan hocam sayın Doç. Dr. Semiha Arslan’a teşekkür ederim.

Tüm zorluklarda daima kendine özgü pratik ve çözüm odaklı bakış açısıyla yol gösteren, akademik birikimi ve deneyimiyle doğru yönlendirmelerde bulunan, içten ve yapıcı tutumuyla her zaman desteğini hissettiren değerli hocam Doç. Dr. Yasin Hezenci’ye teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim sürecinde iyi ki tanıdım dediğim, ilk günden bu yana her koşulda dostluklarını hissettiğim ve hayatımın geri kalanında da görüşmek istediğim Burak Basri Üstünunal, Metehan Akman, Pouria Pourghaz, Hüseyin Çağlar Göksu ve Sanan Hajiyeve’e teşekkür ederim.

Aramıza daha sonra katılmalarına rağmen kısa sürede ailemizin bir parçası olan çoğu zamanımızı birlikte geçirdiğimiz Recep Tayyip Kaynak, Abdulsamet Ayyıldız, Muhammed Yasir Eser’e teşekkür ederim.

Dört yıl boyunca birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum, başta eş kıdemlilerim olmak üzere tüm asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugüne kadar eğitim hayatım boyunca beni sevgi ve sabırla destekleyen aileme teşekkür ederim.

Varlığıyla güç veren, en yoğun dönemlerimde bile anlayışı ve sevgisiyle beni ayakta tutan, bu yolculuğun en zorlu anlarında gösterdiği sabır, fedakârlık ve içten destekleriyle hedeflerime ulaşmamı sağlayan canım eşim Yasemin ŞENGÜL’e teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

Ortodonti; kraniyofasiyal kompleksin gelişimi, dentoalveoler yapıların morfolojisi ve fonksiyonel ilişkileri ile oklüzyonun biyolojik temellerini inceleyen; maloklüzyonların etyolojisi, önlenmesi, teşhisi ve tedavisi ile ilgilenen bir diş hekimliği uzmanlık alanıdır. Bu disiplinin temel amacı, dişlerin ve çenelerin fonksiyonel, estetik ve biyomekanik açıdan ideal bir konuma getirilmesi ve uzun dönemli stabilitenin sağlanmasıdır (Graber ve ark., 2017; Moyers, 1988; Proffit, Fields, Larson, ve ark., 2019; Vanarsdall Jr, 1999).

Kalıtımsal, çevresel ya da fonksiyonel faktörlere bağlı olarak dentofasiyal yapıların etkilenmesi, üst çenede üç boyutta da görülebilen çeşitli anomalilere yol açabilmektedir (Graber ve ark., 2017). Maksilladaki posterior darlık hem dişsel hem de iskeletsel kaynaklı olabileceği gibi (Bishara & Staley, 1987; Thilander & Lennartsson, 2002), tek ya da çift taraflı biçimde ortaya çıkabilmektedir (Ferrario ve ark., 2003). Bu posterior genişlik yetersizliğinin gelişiminde ise genetik özellikler, çevresel etmenler ve hatalı oral alışkanlıklar önemli rol oynamaktadır (Bishara & Staley, 1987; Farronato ve ark., 2012; Kocadereli, 1996).

Normal oklüzyon, dental arklar üzerindeki dişlerin kendi alveoler yapılarıyla uyumlu ve ideal pozisyonlarda dizildiği, dişsel Sınıf I ilişkisinin (Graber ve ark., 2017) yanı sıra fizyolojik overjet ve overbite değerlerinin sağlandığı durum olarak tanımlanmaktadır (da Silva Filho ve ark., 2007).

Posterior çapraz kapanışlar; dişsel, iskeletsel veya fonksiyonel kaynaklı olarak ortaya çıkabilmektedir. Dişsel düzeyde görülen çapraz kapanışlarda bazal kemik genişliği normaldir. Problem çoğunlukla dişlerin bukkolingual ya da palatinal yöndeki eğimlerinden kaynaklanır. Bu tip vakalarda geniş ark telleri ya da çapraz elastiklerin kullanımıyla elde edilen dental genişletme çoğu zaman tedavi için yeterlidir. Buna karşılık, iskeletsel nitelikteki çapraz kapanışlarda temel sorun bazal kaidenin yetersiz genişliğidir. Bu durum üst çenenin dar olması, alt çenenin geniş olması veya her iki faktörün birlikte bulunmasıyla ilişkili olabilir. Üst çene darlığına bağlı iskeletsel çapraz kapanışların düzeltilmesinde ise ortopedik kuvvetler uygulanarak midpalatal suturun ayrılması ve böylece maksillanın bazal düzeyde genişletilmesi gerekmektedir (Marshall ve ark., 2005).

Günümüzde maksillanın genişletilmesinde en sık tercih edilen yöntem hızlı üst çene genişletmesidir (Eichenberger & Baumgartner, 2014; Garib ve ark., 2007; Schuster ve ark., 2005).

Hızlı üst çene genişletmesi (HÜÇG), maksiller suturların ortopedik kuvvetlerle birbirlerinden ayrılmasını sağlayarak transversal yönde genişleme elde etmeyi amaçlayan, uzun yıllardır etkinliği kanıtlanmış bir tedavi yöntemidir. Bu yöntemde dişlerin bukkal yönde hareketiyle birlikte maksiller kompleksin sutural ayrılması ve alveolar kemikte yeniden şekillenme de söz konusudur (Babacan ve ark., 2010).

Çocukluk ve erken ergenlik dönemlerinde, dar üst çenenin iskeletsel olarak genişletilmesi; diş destekli HÜÇG apareylerinin midpalatal sutur ve çevre yapılarla ilettiği kuvvetler sayesinde mümkün olmaktadır (Proffit ve ark., 2003). Buna karşın, geç ergenlik ya da erişkinlik dönemlerinde yeterli genişlemenin sağlanabilmesi için cerrahi destekli yöntemlere (SARPE) ihtiyaç duyulmaktadır (Gerlach & Zahl, 2005; Proffit ve ark., 2003; Suri & Taneja, 2008).

Genç bireylerde kemikleşmesi henüz tamamlanmamış olan midpalatal suturun ayrılması sonucu, maksillada yatay planda tabanı santral kesici dişler bölgesinde, tepesi posterior bölgede; vertikal planda ise tabanı palatal, tepesi nazal yönde uzanan piramidal bir açılma meydana gelir. Bu açılmanın en belirgin klinik göstergesi, santral kesici dişler arasında oluşan diastemadır. Üst çenedeki genişlemeye bağlı olarak ortaya çıkan bu kemik boşlukları, zamanla yeni kemik dokusunun oluşmasıyla doldurulmaktadır (Korkhaus, 1960; Timms, 1974).

İskeletsel olgunluğa ulaşmış bireylerde genişletme için cerrahi destekli HÜÇG(SARME), henüz olgunlaşmamış bireylerde ise HÜÇG tercih edilmektedir (Suri & Taneja, 2008; Vanarsdall Jr, 1999). Son yıllarda ise genç erişkin hastalarda mini vida destekli genişletme apareyleriyle midpalatal suturun ayrılabilirdiği, maksillanın ortopedik olarak genişletilebildiği ve dişler üzerindeki istenmeyen etkilerin azaltılabildiğine ilişkin bilimsel kanıtlar ortaya konmuştur (Carlson ve ark., 2016; Lin ve ark., 2015; MacGinnis ve ark., 2014).

Transversal yönde dar olan maksiller arkın genişletilmesine yönelik olarak literatürde çok sayıda yöntem tanımlanmıştır. Apareyin aktivasyon hızı, tedavi süresi, uygulanan kuvvet miktarı ve hastanın yaşına bağlı olarak hızlı, yarı hızlı ve yavaş genişletme protokollerinin kullanılabildiği bildirilmiştir (Darendeliler ve ark., 1994; Sandikcioglu & Hazar, 1997). Ayrıca çenelerin ve dental arkların

genişletilebilmesi amacıyla sabit, hareketli, aktif veya pasif özellikte çeşitli apareyler geliştirilmiştir (Korkhaus, 1960; Venkateshwaran ve ark.). RME apareylerinde aktivasyon protokolleri yaşla ilişkili olarak değişmekle birlikte, genellikle günlük toplam 0,2–0,5 mm’lik aım önerilmektedir (Haas, 1970; Joy & Kumar, 2021).

HG tedavisi; maksiller darlığa bağlı anterior ve posterior çapraz kapanışların dzelttilmesinde, hafif ve orta dereceli dental apraşıklıklarda ark boyunun artırılmasında, nazal solunumun iyileştirilmesinde ve karanlık alanların azaltılarak gülümseme estetiğinin geliştirilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Bishara & Staley, 1987; Haas, 1980; Haas, 1961, 1965, 1970; Kocadereli, 1996; Lima & Lima, 2000; McNamara, 2000; Oliveira ve ark., 2004; Venkateshwaran ve ark.; Wertz, 1970).

HG uygulanması sonrasında dişsel düzeyde çeşitli değişiklikler gözlenmektedir. Maksiller santral kesiciler arasında diastema oluşumu, özellikle ankraj alınan dişlerde tipping ve ekstrüzyon, st çene ark genişliği ile st molarlar arası mesafede artış bu değişiklikler arasındadır. Ayrıca alt çene posterior dişlerinde dikleşme eğilimi, alt molarlar arası mesafede artış ve st kesicilerin eksen eğiminde ise azalma gibi değişikler de meydana gelmektedir (Bishara & Staley, 1987; da Silva Filho ve ark., 2007; Haas, 1980; Haas, 1961, 1965, 1970; Korkhaus, 1960; Kumar ve ark., 2011; McNamara Jr ve ark., 2003).

HG’nin etkileri yalnızca maksilla ile sınırlı değildir. İlişkili diğer anatomik yapılarda da değişikliklere neden olmaktadır (Bishara & Staley, 1987). HG sonrasında palatal kemikte genişleme ve inferior yönde hareket gözlenirken (Davis & Kronman, 1969; Haas, 1961), burun tabanında meydana gelen genişleme uygulaması ile burun boşluklarının damağa paralel biçimde hızlı şekilde genişlediğini ve buna bağlı olarak nazal solunumun belirgin biçimde iyileştiğini bildirmiştir (Baccetti ve ark., 2001; Baratieri ve ark., 2011; Compadretti ve ark., 2006; Dean, 1909; Haas, 1961, 1965; Hershey ve ark., 1976; Korkhaus, 1960; Lima Filho & Lima, 2003; Motro ve ark., 2016; Timms & Vero, 1981; Timms, 1974; Willis, 1911).

Ağız solunumunun yerini nazal solunumun alması ve buna bağlı nazal hava akımındaki artış; burun fizyolojisinin iyileşmesine, st solunum yolu enfeksiyonlarında ve orta kulak iltihaplarında azalmaya zemin hazırlamaktadır (Gray, 1975).

HÜÇG ile üst çenede sağlanan genişleme yalnızca dental ve iskeletsel kazanımlarla sınırlı kalmayıp, bazı medikal problemlerin gerilemesine de katkıda bulunmaktadır (Ceylan ve ark., 1996; Cistulli ve ark., 1998; DiCosimo ve ark., 2021; Eichenberger & Baumgartner, 2014; Erdur ve ark., 2020; Görgülü ve ark., 2011; Haas, 1961; Halicioğlu ve ark., 2011; Kilic ve ark., 2008; Kiliç & Oktay, 2008; Laptok, 1981; Motro ve ark., 2016; Pirelli ve ark., 2004; Taşpınar ve ark., 2003; Timms ve ark., 1982; Timms, 1974, 1980, 1990; Willis, 1911). Bu olumlu medikal etkiler arasında iletim tipi işitme kaybının azalması (Ceylan ve ark., 1996; Kilic ve ark., 2008; Laptok, 1981; Taşpınar ve ark., 2003; Timms, 1974), nocturnal enuresis'in (4-5 yaşından sonra görülen gece alt ıslatma) gerilemesi (Schütz-Fransson & Kuroi, 2008; Timms, 1990; Usumez ve ark., 2003) ve obstrüktif uyku apnesi sendromunda (OSAS) iyileşme yer almaktadır (Cistulli ve ark., 1998; Guillemineault & Li, 2004; Pirelli ve ark., 2004).

HÜÇG'de en sık kullanılan apareylerden biri Hyrax tipi banded genişletme apareyidir. Hyrax apareyi, bantlanan posterior dişler aracılığıyla kuvvetleri doğrudan dişlere ve suturlara iletir. Alternatif olarak bonded akrilik cap splint, dişleri akrilik plaklarla kaplayarak yalnızca transversal yönde genişletme sağlamaz, aynı zamanda vertikal kontrol imkânı da sunar. Bonded veya banded olacak şekilde aparey tasarımına bağlı olarak uygulanan kuvvetlerin biyolojik etkilerinde farklılıklar meydana gelebilmektedir (Viarani ve ark., 2025).

Diş renginin korunması, ortodontik tedavilerde fonksiyonel açıdan önemli olsa da estetik açıdan daha büyük bir önem taşımaktadır. Estetik beklentilerin giderek arttığı günümüzde, tedavi sonrası diş renginde oluşabilecek küçük değişiklikler dahi hasta memnuniyetini olumsuz etkileyebilmektedir. Diş rengini etkileyen faktörler arasında çürük ve demineralizasyon, restoratif materyallerin yüzey özellikleri, sistemik ilaçlar, travma ve ortodontik apareylerin yanı sıra ağız hijyeni alışkanlıkları, tütün kullanımı, beslenme kaynaklı kromojen birikimi (Çay, kahve, kola, şarap, gıda boyaları ve tütün ürünlerinde bulunan, diş yüzeyine bağlanarak pigment oluşturan dışsal renk verici kimyasal maddeler), mine ve dentinin yapısal özellikleri, yaşlanma, florozis, antibiyotik kullanımı (özellikle tetrasiklinler), pulpal patolojiler, beyazlatma ajanlarına bağlı değişiklikler ve çevresel pigmentasyon da yer almaktadır (Bagheri ve ark., 2005; Eliades ve ark., 2001; Sánchez ve ark., 2004).

Ortodontik tedavi sırasında veya sonrasında mine yüzeyinde gözlenen renk değişiklikleri literatürde farklı açılardan incelenmiştir. Braket sistemleri, adeziv materyaller ve retansiyon apareyleri ile ilgili pek çok çalışma bulunmasına rağmen, HÜÇG'nin diş rengi üzerindeki etkisini doğrudan inceleyen araştırmalar oldukça sınırlıdır. Bu durum, konunun klinik ve estetik açıdan önemini artırmaktadır (Kaya, 2020; Tekin, 2022).

Bu çalışmanın amacı, Hyrax ve Bonded akrilik cap splint HÜÇG apareylerinin dişlerde renk değişimine neden olup olmadığını CIE L\*a\*b\* renk sistemi ve  $\Delta E$  parametreleri üzerinden karşılaştırmalı olarak incelemektir. Ayrıca elde edilen bulguların, klinisyenlere aparey seçimi konusunda estetik açıdan ek bir bakış açısı kazandırması ve literatürdeki boşluğu doldurması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda çalışmamızın sıfır hipotezi ( $H_0$ ); büyüme ve gelişim çağındaki bireylerde uygulanan hızlı üst çene genişletmesi tedavisinin ve kullanılan farklı aparey tiplerinin (Hyrax ve Bonded akrilik cap splint), tedavi görmeyen bireylere kıyasla diş renginde istatistiksel olarak anlamlı ve klinik açıdan fark edilebilir bir değişikliğe neden olmayacağıdır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Posterior Çapraz Kapanış Tanımı

Maksiller posterior çapraz kapanış, dişlerin oklüzyonda olduğu durumda üst ve alt dental yapıların maksiller genişlik yönünde fizyolojik olmayan bir ilişki göstermesi şeklinde tanımlanmaktadır (Wilmes ve ark., 2008). Başka bir araştırmacı ise bu durumu, üst ve alt dental arklar arasındaki anormal labiolingual ilişki olarak ifade etmiştir (Moyers, 1973). Klinik olarak ise, üst çenedeki küçük ve büyük azı dişlerin bukkal tüberküllerinin, mandibuladaki karşıt dişlerin lingual tüberkülleriyle temas etmesi posterior çapraz kapanışın karakteristik bulgusu olarak tanımlanmaktadır (Marshall ve ark., 2005).

Haas, maksilladaki gerçek posterior darlık ile göreceli posterior darlığın ayırt edilmesinin önemine dikkat çekmiştir. Eğer maksilla bukkal diş segmentiyle birlikte daralmış ve üst posterior dişler bu durumu kompanse etmek amacıyla bukkale devrilmişse, bu durum gerçek posterior çapraz kapanış olarak adlandırılmaktadır. Buna karşın maksilla dentofasiyal yapılara göre normal genişlikte olup mandibula transversal olarak daha genişse, bu ilişki göreceli posterior çapraz kapanış olarak tanımlanmaktadır (Haas, 1965).

Maksiller transversal darlık, etiyolojik olarak iskeletsel, dental ve fonksiyonel olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Mc Donald & Avery, 1994).

#### 2.1.1 İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış

Maksilla ile mandibulanın bazal kemik genişlikleri arasındaki uyumsuzluk, iskeletsel posterior çapraz kapanış olarak tanımlanmaktadır. Bu transversal uyumsuzluk çoğunlukla maksillanın yetersiz genişliğine bağlı olmakla birlikte, daha nadir olarak mandibulanın göreceli genişliği veya her iki durumun birlikte bulunması sonucunda da ortaya çıkabilmektedir (Haas, 1961; Lux ve ark., 2004; Moyers, 1988). İskeletsel posterior çapraz kapanışlar tutulumun biçimine göre tek taraflı (unilateral) veya çift taraflı (bilateral) olarak sınıflandırılmaktadır.

Maksiller iskeletsel posterior çapraz kapanış değerlendirildiğinde, üst çenenin bir tarafındaki premolar ve molar dişlerin mandibuladaki karşıt dişlere göre palatinal konumda bulunması tek taraflı tutulum olarak kabul edilir. Üst çenedeki posterior segmentlerin her iki tarafta da mandibular molarlara göre palatinal

yerleşim göstermesi ise çift taraflı iskeletsel posterior çapraz kapanış olarak tanımlanmaktadır (Proffit ve ark., 1993).

### **2.1.2 Dişsel Posterior Çapraz Kapanış**

Maksillanın transversal yönde iskeletsel olarak normal genişliğe sahip olduğu ancak lokal etkenlere bağlı olarak premolar ve molar dişlerin palatine eğimlenmesi sonucunda ortaya çıkan durum, dişsel posterior çapraz kapanış olarak kabul edilmektedir (Marshall ve ark., 2005; Proffit ve ark., 1993; Ülgen, 2000).

### **2.1.3 Fonksiyonel Posterior Çapraz Kapanış**

Bu durum çoğunlukla süt veya karma dentisyon döneminde görülmektedir. Fonksiyonel posterior çapraz kapanışta, maksiller dental ark mandibular arkla karşılaştırıldığında transversal yönde normal genişlikte olmasına rağmen, oklüzyon sırasında prematür teması bağlı olarak mandibula bir tarafa doğru deviye olur ve tek taraflı çapraz kapanış ortaya çıkar (Graber & Vanarsdall Jr, 1994; Proffit ve ark., 1993).

Süt ve karma dentisyon döneminde fonksiyonel unilateral posterior çapraz kapanışa sahip çocuklarda, mandibuler kondilin asimetrik pozisyon aldığı ve çiğneme kaslarında fonksiyonel asimetri geliştiği bildirilmektedir (Hesse ve ark., 1997). Fonksiyonel posterior çapraz kapanışın tedavisinde simetrik genişletme uygulanır ve bu anomalinin erken dönemde ele alınması önemlidir. Tedavi geciktiğinde, mandibulanın fonksiyon sırasında sürekli olarak deviye olduğu tarafa doğru kapanması nedeniyle iskeletsel asimetri gelişme riski artmaktadır.

## **2.2 İnsidansı**

Posterior yan çapraz kapanış, çocukluk ve ergenlik dönemlerinde sık karşılaşılan maloklüzyonlardan biridir (Erdoğan ve ark., 1999). Süt ve karma dentisyon dönemlerinde bu anomalinin görülme sıklığına yönelik çalışmalarda farklı prevalans değerleri bildirilmiştir. Thilander ve arkadaşları prevalansı %9,6 olarak rapor ederken; Kutin ve Hawes %7,7, Kurol ve Berglund ise %23,3 oranında posterior çapraz kapanış tespit etmiştir (Kurol & Berglund, 1992; Kutin & Hawes, 1969; Thilander ve ark., 1984).

Helm, posterior yan çapraz kapanışın adölesan dönemdeki görülme sıklığını değerlendirdiği çalışmasında 1700 hastayı incelemiş ve prevalansı kızlarda %14,1, erkeklerde %9,4 olarak bildirmiştir (Helm, 1968).

Türkiye’de yapılan çalışmalarda da benzer şekilde değişken prevalans oranları rapor edilmiştir. İç Anadolu Bölgesi'nde Gelgör ve arkadaşları 2329 hastayı değerlendirmiş ve posterior çapraz kapanış sıklığını %9,5 olarak belirtmiştir (Gelgör ve ark., 2007). Ege Bölgesi'nde Sandıkçıoğlu ve Hazar ise bu oranı %2,7 olarak bildirmiştir (Sandikcioglu & Hazar, 1997).

### **2.3 Etyoloji, Genetik ve Patofizyolojisi**

Maksiller darlığın etiolojisinin incelendiği çalışmalarda, bu durumun hem genetik hem de çevresel faktörlerin etkisiyle ortaya çıktığı bildirilmiştir (Bishara & Staley, 1987).

Genetik ve çevresel faktörler maksiller darlığın oluşumunda doğrudan veya dolaylı biçimde etkili olabilmektedir. Ayrıca bazı genetik hastalıkların varlığı da maksiller transversal yetersizlik gelişimine katkıda bulunabilmektedir (Moyers, 1988).

Dudak-damak yarığı (DDY) bulunan bireylerde, yarığın cerrahi olarak onarılması sonrasında iyileşen dokularda oluşan skar, maksiller büyümeyi kısıtlayarak üst çenenin kollabe olmasına ve transversal darlığın ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Bishara & Staley, 1987; Moss, 1968; Ülgen, 1986). Treacher-Collins, Crouzon ve Down sendromları ile hemifasiyal mikrosomi ve akondroplazi gibi çeşitli kraniyofasiyal anomalilerde de maksiller transversal darlığın sıklıkla görüldüğü bildirilmektedir (Bishara & Staley, 1987; Suda ve ark., 2006).

Parmak emme, emzik kullanımı gibi oral alışkanlıklar ile ağız solunumu, maksiller darlığın oluşumunda rol oynayan çevresel faktörler arasında yer almaktadır. Parmak emme gibi uzun süre devam eden alışkanlıklar dil ve perioral bukkal kaslar arasındaki dengeyi bozarak üst çene üzerine daraltıcı kuvvetlerin uygulanmasına ve transversal yönde yetersizliğin gelişmesine neden olabilmektedir (Larsson, 1986; Warren ve ark., 2001). Bu alışkanlıkların görülme sıklığı ve devam etme süresi, maksiller daralma üzerindeki etkilerinin belirleyicisi olarak önem taşımaktadır (Odont, 2001; Warren ve ark., 2001).

Ağız solunumu, burun hava pasajlarının yetersizliği nedeniyle solunumun ağızdan gerçekleştirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Ağız solunumu sırasında dilin ağız tabanında konumlanması, intraoral ve ekstraoral kas dengelerini bozmakta; özellikle yanak kaslarının baskınlığı nedeniyle maksillada posterior bölgede transversal daralma ve posterior çapraz kapanış gelişebilmektedir (Gungor & Turkkahraman, 2009; Subtelny, 1980). Nazal darlık, solunum yolu enfeksiyonları, büyümüş tonsil ve adenoid dokusu gibi durumlar ağız solunumunun başlıca nedenleri arasında yer almaktadır (Sandikcioglu & Hazar, 1997; Ülgen, 1986). Nitekim maymunlar üzerinde yapılan bir çalışmada, burun pasajlarının deneysel olarak tıkanmasının üst çenede belirgin transversal darlığa yol açtığı bildirilmiştir (Subtelny, 1980).

Patofizyolojik süreçte en önemli mekanizma, midpalatal suturun daralması ve bu bölgedeki sutural büyümenin yetersiz kalmasıdır. Suture aktivitelerinin dönemsel olarak azalması, maksiller transvers gelişimi doğrudan etkiler (Angelieri ve ark., 2013). Ek olarak yanak kaslarının artmış basıncı, maksilla üzerinde kompresif kuvvet oluşturarak alveoler kemiğin bukkal yönde genişlemesini sınırlar. Büyüme ve gelişim dönemindeki bu uyumsuzluklar, uzun dönemde fonksiyonel kaymalara ve iskeletsel asimetriye yol açabilir.

## **2.4 Teşhis ve Klinik Değerlendirmesi**

Maksiller darlığın doğru şekilde teşhis edilmesi ve uygun tedavi planının oluşturulması, uzun dönemli stabilitenin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Posterior çapraz kapanışın tanısında klinik muayene, model analizleri ve radyografik değerlendirmeler birlikte kullanılmaktadır (Suri & Taneja, 2008; Vanarsdall Jr, 1999).

Klinik değerlendirme, öncelikle ekstraoral inceleme ile başlar. Ekstraoral muayenede hastanın solunum paterni, yüz ve çene bölgelerinde asimetri olup olmadığı ile gülme sırasında bukkal karanlık koridorların varlığı değerlendirilir. Muayene sırasında mandibulanın kayma gösterdiği durumlarda, bu kaymanın fonksiyonel mi yoksa iskeletsel mi olduğunun belirlenmesi önem taşır (Bishara ve ark., 1994; Marshall ve ark., 2005). İntraoral değerlendirmede ise üst çene ark formu ve simetrisi, damak kubbesinin şekli ve derinliği (McNamara ve ark., 2001; Suri & Taneja, 2008), posterior dişlerin bukkal veya palatinal eğimleri (Zachrisson, 1998).

Model analizinde dental arkın formu ve şekli ayrıntılı olarak değerlendirilir. Maksillanın transversal yöndeki genişliğini belirlemek amacıyla yapılan transversal model analizi, transversal sapmanın derecesini ve apikal kemik kaidesindeki yetersizliği ortaya koymak için kullanılmaktadır (Proffit ve ark., 1993).

Bir araştırmada, oklüzyonu normal olan bireylerde üst ark genişliğinin yaklaşık 36–38 mm arasında olduğu bildirilmiştir. Transversal genişliğin bu aralığın 4–6 mm veya daha fazla altında olması durumunda HÜÇG uygulanması önerilmiştir (McNamara ve ark., 2001).

Staley ve arkadaşları ise genişletme ihtiyacını belirlemek amacıyla intermolar genişlikleri incelemiş ve üst çenedeki molar-molar mesafesinin mandibuladaki molar-molar mesafesinden daha geniş olması gerektiğini belirtmiştir. Bu farkın ortalama olarak kızlarda +1,2 mm, erkeklerde ise +1,6 mm olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca bu fazlalığın anomalinin şiddetinin değerlendirilmesinde ve gerekli genişletme miktarının hesaplanmasında kullanılabileceğini ve relaps riskinin göz önünde bulundurulmasıyla ihtiyaç duyulan genişletme miktarına 2–4 mm ek yapılmasının uygun olacağını ifade etmişlerdir (Staley ve ark., 1985).

HÜÇG'nin transversal yöndeki etkilerinin değerlendirilmesinde en sık kullanılan görüntüleme yöntemleri anteroposterior ve oklüzal radyografilerdir. Anteroposterior radyografiler, maksiller darlığın ve mevcut asimetrielerin iskeletsel kökenli olup olmadığının belirlenmesinde yararlı bir yöntemdir (N. Betts ve ark., 1995; Lagravere ve ark., 2005).

Üst çeneden alınan oklüzal radyografiler ise midpalatal suturdaki ayrılmayı ve kemikleşme durumunu incelemek amacıyla kullanılabilmektedir. Ancak posterior bölgede yeterli görüntü sağlayamaması ve kranial kaide yapılarının süperpozisyonuna bağlı olarak görüntü kalitesinin azalması önemli bir sınırlılık olarak belirtilmiştir (Marshall ve ark., 2005; Toroglu ve ark., 2002).

Anteroposterior radyografilerde anatomik referans noktalarının belirlenmesindeki güçlük ve süperpozisyon etkisi ölçümlerin doğruluğunu azaltmakta, bu nedenle elde edilen sonuçların güvenilirliği tartışmalı hale gelmektedir (Lagravère ve ark., 2006).

## 2.5 Hızlı Üst Çene Genişletmesi (RME-Rapid Maxillary Expansion)

Hızlı üst çene genişletmesi, premaksilla ve palatal yapıları oluşturan kemiklerin, median sutur boyunca fiziksel olarak hızlı bir şekilde ayrılmasıyla gerçekleştirilen bir genişletme yöntemidir (Lamparski Jr ve ark., 2003). HÜÇG sırasında dişlere ve alveoler kemiğe, ortodontik diş hareketi için gerekli kuvvetlerin üzerinde kuvvetler uygulanır (Isaacson ve ark., 1964; Timms & Vero, 1981). Bu yüksek kuvvet seviyesinin amacı, ortopedik etkinin maksimize edilmesi ve ortodontik diş hareketinin ise minimumda tutulmasıdır (Bishara & Staley, 1987; Haas, 1961). Yaklaşık 0,9–4,5 kg'lık kuvvetlerle haftada 3 mm veya daha fazla genişletme elde edilebildiği bildirilmektedir (Bishara & Staley, 1987; Isaacson ve ark., 1964; Mew, 1997; Zimring & Isaacson, 1965).

Bu kuvvet dişlere uygulandığında başlangıçta periodontal ligament sıkışır ve kuvvet alveoler kemiğe iletilir. Bunun sonucunda midpalatal suturda ayrılma meydana gelirken posterior dişlerde vestibüle doğru eğilme gözlemlenebilir (Haas, 1965). HÜÇG ile amaç, üst çenenin transversal yönde genişliğini artırarak maksiller darlığın ortopedik düzeyde düzeltilmesidir (Haas, 1961).

### 2.5.1 Endikasyonları

- Nazal stenoza bağlı üst çene darlığı bulunan hastalarda burun solunumunun kolaylaştırılması amacıyla (Haas, 1980; McNamara ve ark., 2001),
- Üst ve alt çene molar/premolar genişlik farkının 4 mm veya daha fazla olduğu durumlarda (Bishara & Staley, 1987),
- Sınıf III olgularında sutural mobilizasyon sağlanarak yüz maskesi protraksiyonunun etkinliğini artırmak amacıyla (Baccetti ve ark., 1998; McNamara & Brudon, 1993),
- Maksiller kollapsın belirgin olduğu dudak-damak yarıklı hastalarda (Bishara & Staley, 1987),
- İskeletsel, dişsel veya kombine nedenlerle ortaya çıkan; üst çene darlığı ve/veya alt çene genişliğine bağlı unilateral veya bilateral posterior çapraz kapanış vakalarında (Haas, 1961, 1970; McNamara ve ark., 2001; Timms & Vero, 1981),
- Posterior çapraz kapanışı olmayan fakat 3–6 mm arası sınır düzeyde çapraşıklık bulunan hastalarda ark boyunun artırılması için (Bishara

& Staley, 1987; McNamara, 2000; McNamara ve ark., 2001; McNamara Jr, 2002),

- Sınıf II maloklüzyonlu bireylerde alt çenenin spontan olarak daha uygun konuma gelmesini desteklemek amacıyla (McNamara, 2000),
- Gülümseme genişliğinin artırılması gerektiğinde (McNamara, 2000),
- Posterior dişlerin aksiyal eğimlerinin düzeltilmesi amacıyla (McNamara & Brudon, 1993),
- Fonksiyonel çene ortopedisine veya ortognatik cerrahiye hazırlık sürecinde (McNamara & Brudon, 1993),
- Tüm Sınıf III vakalarında maksiller gelişimi desteklemek amacıyla (Haas, 1980; Haas, 1961).

### **2.5.2 Kontrendikasyonları**

HÜÇG, kooperasyon güçlüğü yaşayan veya tedavi uyumu düşük olan bireylerde uygulanmamalıdır (Bishara & Staley, 1987). Ayrıca periodontal problemleri bulunan veya periodontitise yatkın hastalarda da tercih edilmemesi önerilmektedir. Posterior bölgede yalnızca tek bir dişin çapraz kapanışta olduğu durumlarda HÜÇG genellikle endike değildir. Cerrahi gereksinim gösteren ön açık kapanış vakalarında ve dış bükey profile sahip bireylerde de HÜÇG uygulanması uygun görülmez. Bununla birlikte, belirgin sagittal ve vertikal iskeletsel bozuklukları olan ya da alt ve üst çenede asimetri saptanan yetişkin hastalarda ortognatik cerrahi planlanıyorsa, HÜÇG kontrendike kabul edilmektedir (Bishara & Staley, 1987; Timms, 1981).

Yetişkin bireylerde midpalatal suturun çoğunlukla tamamen kapanmış olması nedeniyle, cerrahi veya mini vida destekleri olmadan HÜÇG uygulanması kontrendikedir (Graber & Vanarsdall Jr, 1994; Haas, 1961; Mossaz ve ark., 1992; Persson & Thilander, 1977; Wertz, 1970).

### **2.5.3 HÜÇG’de Kullanılan Aparey Tipleri**

Hızlı üst çene genişletmesi tedavisinde kullanılan apareyler; kuvvetin dişlere, palatal mukoperiosta veya mini vidalara nasıl aktarıldığına bağlı olarak farklı biyomekanik özellikler gösterir. Bu nedenle klinik seçim, hastanın yaşına, orta palatal suturun maturasyon düzeyine, periodontal biyotipe, vertikal yüz tipine

ve tedavinin biyomekanik hedeflerine göre bireyselleştirilmelidir. Tek bir apareyin her olgu için ideal olduğu yönündeki geleneksel yaklaşım güncel literatür tarafından desteklenmemekte; bunun yerine hastaya özgü anatomik ve fonksiyonel gereksinimlere göre aparey seçiminin optimize edilmesi önerilmektedir (Echarri-Nicolás ve ark., 2024).

Diş destekli HÜÇG apareylerinden olan Hyrax apareyi, posterior dişlere bantlanmış metal kollar ve ortada yer alan bir genişletme vidasından oluşur. Bu tasarımda kuvvet doğrudan dişlerden suturlara iletilir ve dolayısıyla dentoalveoler bileşen belirgindir. Literatürde Hyrax ile yapılan genişletme sırasında bukkal tipping, marjinal kemik seviyesinde azalma ve dikey boyutta artış eğilimine dair bulgular rapor edilmiştir (Asanza ve ark., 1997). Bununla birlikte bazı çalışmalar, büyüme dönemindeki hastalarda dentoalveoler etkiler açısından Hyrax ile bonded akrilik cap splint tasarımlar arasında anlamlı fark bulmamıştır. Hyrax uygulamasında ankrajın büyük kısmı posterior dişlerden sağlandığı için periodontal biyotip ve bukkal kortikal kemik kalınlığının değerlendirilmesi önemlidir.

Diş ve doku destekli HÜÇG apareylerinden olan Haas genişletme apareyi, dişlerden ve geniş yüzeyli bir palatal akrilik tabandan destek alır. Bu yapı kuvvetin yalnızca dişlerden değil, palatal mukoperiost üzerinden de iletilmesini sağlar ve böylece sutural açılma daha geniş bir alana yayılır. Haas'ın klasik çalışmaları, bu apareyin nazal tabanda hacim artışı ve daha paralel bir sutural ayrılma paterni oluşturabildiğini göstermiştir (Haas, 1961). Ancak akrilik tabanın ağız hijyenini zorlaştırması ve plak birikimine yatkın olması, güncel klinik uygulamalarda kullanımını sınırlamaktadır.

Tam kaplı akrilik bonded hızlı üst çene genişletme apareyi, tüm dişleri tamamıyla oklüzal ve bukkal yüzeylere kadar örten kalın akrilik bloklar içerir. Bu tasarım kuvveti geniş bir alana dağıtarak bite-block etkisini artırır ve özellikle hiperdiverjan yüz tiplerinde posterior ekstrüzyon eğilimini sınırlayabilir. Bazı çalışmalar tam kaplı tasarımın dikey kontrolü artırdığını bildirirse de fazla akrilik temasının oral hijyen açısından dezavantaj oluşturabileceği belirtilmiştir (Schulz ve ark., 2005).

Bonded akrilik cap splint tipi genişletme apareyi, posterior segmentleri oklüzal akrilik ile kaplayarak kuvvetin hem dişlere hem de akrilik yüzeyine yayılmasını sağlar. Bu tasarım, Hyrax'a göre daha geniş bir destek yüzeyi sunduğu için dentoalveoler tippingi azaltabilir ve dikey kontrolü artırabilir. Karşılaştırmalı

alışmalar, bonded tasarımın hiperdiverjan olgularda posterior ekstrüzyonu sınırlayabildiğini ve bazı durumlarda interkanin genişlik artışında daha avantajlı olabileceğini bildirmiştir (Schulz ve ark., 2005; Viarani ve ark., 2025). Bununla birlikte apareyin seçimi yüz tipi ve hedeflenen dikey kontrol düzeyine göre yapılmalıdır.

Quad-Helix, dört heliks yaydan oluşan ve düşük şiddette fakat sürekli kuvvetler uygulayan bir sabit genişletme apareyidir. HÜÇG'den farklı olarak sutural ayrılma yerine dentoalveoler adaptasyonu artırır ve periodontal açısından daha fizyolojik bir genişleme sağlayabilir. QH, özellikle hafif ve orta düzey maksiller darlıklarda, çocuk hastalarda ve kas fonksiyon bozukluklarının eşlik ettiğı vakalarda etkili bir alternatiftir (Venkateshwaran, 2021). Sutural açılma minimaldir. Genişleme daha çok alveoler ve dentoalveoler değişimlerle gerçekleşir.

Isaacson tipi HÜÇG, klasik metal kollar ve vida mekanizmasıyla Hyrax'a benzer bir tasarımdır. Isaacson'un kuvvet ölçüm çalışmaları, her bir 0.25 mm aktivasyonun yaklaşık 2–10 kg arasında değişen kuvvet oluşturduğunu göstermiştir (Isaacson ve ark., 1964). Bu tasarım literatürde HÜÇG'nin biyomekanik temellerini tanımlayan ilk modellerden biri olarak yer almaktadır.

Fan-type genişletme apareyleri, anterior segmentte daha fazla, posterior segmentte ise nispeten sınırlı genişleme sağlamayı amaçlayan diferansiyel hızlı üst çene genişletme cihazlarıdır. Bu tasarımda vida ve kollar, ark formunu fan şeklinde açacak biçimde düzenlenir; böylece aktivasyon sırasında interkanin genişlik artışı, intermolar genişlik artışından daha fazla olacak şekilde özellikle ön bölgede belirgin transversal genişleme elde edilir. Bu nedenle maksiller darlığın posterior genişlikten çok anterior bölgede yoğunlaştığı ve intermolar mesafenin görece yeterli olduğu olgularda endikedir. Klinik çalışmalar, fan-tip hızlı üst çene genişletmesinin geleneksel Hyrax tipi HÜÇG'ye kıyasla anterior bölgede daha fazla interkanin genişlik artışı sağladığını, posterior genişleme ve molar inklinasyonunda ise daha sınırlı değişiklikler oluşturabildiğini bildirmiştir (Çörekçi & Göyeneç, 2013; Doruk ve ark., 2004; Massaro ve ark., 2021).

MARPE, mini vidalar aracılığıyla kuvveti doğrudan kemik yüzeyine ileten iskeletsel destekli genişletme yöntemidir ve özellikle adölesan geç dönem ile erişkin hastalarda artmış sutural direnç nedeniyle tercih edilir. Güncel çalışmalar MARPE'nin sutur düzeyinde daha paralel ayrılma, daha yüksek iskeletsel genişleme oranı ve daha az dentoalveoler tipping sağladığını göstermektedir

(Cantarella ve ark., 2018; Echarri-Nicolás ve ark., 2024; Lin ve ark., 2015). Ancak bu hızlı üst çene genişletme apareylerinin başarısı mini vida yerleşim açısı, palatal kortikal kalınlık, sutural maturasyon evresi ve yaş gibi anatomik faktörlere bağlıdır. MARPE için Angelieri KIBT sutural maturasyon evrelemesi klinik karar sürecinde kritik öneme sahiptir.

SARME ise erişkinlerde cerrahi destekle yapılan genişletme yöntemidir ve pterigomaksiller ve zigomatik desteklerin cerrahi olarak ayrılmasıyla daha kontrollü iskeletsel genişleme sağlar.

Dentoskeletal destekli genişletme apareyleri, kuvvetin hem dişlere hem de palatal kemik yüzeyine dağıtılmasını amaçlayan hibrit tasarımlar olarak tanımlanır. Bu apareylerde kullanılan mini vidalar, kuvvetin tamamen dentoalveoler yapılara aktarılmasını engelleyerek iskeletsel genişleme oranını artırır. Yine de diş bantları veya ataşmanlar aracılığıyla belirli bir düzeyde dentoalveoler katkı devam eder ve bu hibrit yapı, özellikle adölesan döneme yaklaşan hastalarda dengeli bir kuvvet dağılımı sağlar. Bu yaklaşım, saf diş destekli HÜÇG'ye göre daha kontrollü tipping ve daha paralel sutural açılma eğilimindedir (Carlson ve ark., 2015). Dentoskeletal sistemlerin en önemli avantajı, MARPE gibi tamamen kemik destekli sistemler ile klasik HÜÇG arasında bir geçiş modeli sunarak hem biyolojik hem de mekanik açıdan daha geniş bir endikasyon yelpazesine sahip olmalarıdır (Cantarella ve ark., 2018).

Bandlı HÜÇG apareyleri, geleneksel klinik kullanımda en yaygın tercih edilen tasarımlardır ve arka büyük azı dişlerine yerleştirilen metal bantlar aracılığıyla kuvveti dişlere iletir. Ancak bandların periodontal dokulara daha fazla stres aktardığı ve tipping miktarını artırdığı çeşitli klinik çalışmalar tarafından gösterilmiştir (Wertz, 1970). Bu nedenle splint-based, yani akrilik veya kompozit tabanlı bandsız sistemler geliştirilmiş ve kuvvetin daha geniş bir yüzeye yayılması sağlanmıştır. Splint-based apareyler periodontal yükü azaltırken, üst çene molarlarının daha kontrollü hareket etmesine olanak tanır ve özellikle alveoler incelemelerin kritik olduğu hastalarda tercih edilebilmektedir (Bishara & Staley, 1987). Bununla birlikte mini vida destekli splint sistemleri, güncel biyomekanik anlayışla birlikte daha stabil bir kuvvet aktarım modeli sunmaktadır.

Hyrax vidası, hijyen açısından avantajlı açık bir tasarım sunmakta olup kuvveti doğrudan diş bantları üzerinden iletildiği için klinikte uzun yıllardır standart aparey olarak kabul görmüştür (Haas, 1961). Haas apareyi ise akrilik palatal taban

içerdiğinden kuvvetin palatal mukozaya ve alveoler yüzeylere daha yaygın dağılmasına olanak sağlar. Bu nedenle bazı çalışmalarda daha yüksek iskeletsel yanıt ve daha az dental tipping bildirilmiştir (Wertz, 1970). Bonded akrilik cap splint genişletme apareyleri ise geniş akrilik tabanı sayesinde özellikle karma dentisyondaki bireylerde hem fonksiyonel hem de ortopedik etkiyi artırmayı amaçlamaktadır. Bu üç tasarım arasındaki farklar biyomekanik açıdan belirgin olmakla birlikte, güncel eğilim mini vidalarla desteklenen tasarımlarda Hyrax vidasının modifiye edilerek kullanılması yönündedir (Carlson ve ark., 2015).

Aktivasyon protokolleri, genişletme tedavisinin biyolojik etkilerini belirleyen en kritik parametrelerden biridir. Geleneksel hızlı genişletme protokolü, ilk hafta günde iki tur aktivasyon ile yüksek düzeyde ortopedik kuvvet oluşturarak sutural ayrılmayı hedefler (Haas, 1961). Semi-rapid protokoller, daha düşük günlük aktivasyonla ortopedik etkinin sürdüğü ancak periodontal stresin azaltıldığı daha biyolojik bir yaklaşım sunar (Bishara & Staley, 1987). Yavaş genişletme protokolleri ise daha düşük kuvvetlerle dentoalveoler adaptasyona ağırlık verir ve özellikle periodontal hassasiyeti olan bireylerde tercih edilir (Proffit, Fields, Larson, ve ark., 2019). Güncel literatür, MARPE uygulamalarında bile yüksek hızın her zaman gerekli olmadığını ve daha kontrollü aktivasyonun iskeletsel yanıt olumsuz etkilemediğini göstermektedir (Cantarella ve ark., 2018).

MARPE ve diğer kemik destekli sistemlerde mini vidaların yerleşim noktası, genişletme etkisinin dağılımını belirleyen ana biyomekanik faktördür. Mini vidaların genellikle ruga bölgesi posterioruna, palatal korteksin en kalın olduğu alanlara yerleştirilmesi önerilmektedir. Posterior bölgede yerleşim, kuvvetin anteroposterior dağılımını daha dengeli kılar ve sutural açılmanın daha paralel gerçekleşmesine katkı sağlar (Cantarella ve ark., 2018). Mini vida yerleşiminin yanlış planlanması, vidanın kortikal tutuşunu zayıflatabilir ve istenen iskeletsel etkiyi azaltabilir. Ayrıca alveoler ve sutural ilişkilerin bireysel varyasyon göstermesi nedeniyle, CBCT değerlendirmesi güncel klinik uygulamada standart yaklaşım haline gelmiştir (N. J. Betts ve ark., 1995). Bu nedenle mini vida yerleşimi, yalnızca mekanik değil aynı zamanda anatomik hassasiyet gerektiren bir planlama adımıdır.

#### **2.5.4 Vida Çevirme Protokolü**

HÜÇG tedavisinde yaklaşık bir aylık aktif genişletme döneminde günlük genişletme miktarının 0,2–0,5 mm olduğu bildirilmektedir (Haas, 1961; Wertz, 1970). Çeşitli çalışmalarda birçok yazar, HÜÇG aygıtını 24 saat içinde sabah ve akşam olmak üzere genellikle iki tur aktifleştirdiklerini belirtmiştir. Adölesan bireylerde yapılan bir araştırmada, midpalatal suturda ayrılma sağlanıncaya kadar ilk 4–5 gün boyunca günde iki kez (sabah-akşam) aktivasyon yapılması, daha sonraki günlerde ise 24 saatte bir kez çevrilmesinin uygun olduğu ifade edilmiştir (Zimring & Isaacson, 1965).

İşeri ve ark., sonlu eleman analizinde fasiyal kemiklerde stres birikimi gözlemlenmiş ve bunun uzun dönemde yeniden daralmaya neden olabileceğini ileri sürmüştür. Suture ayrılıncaya kadar hızlı, suture açıldıktan sonra ise daha yavaş aktivasyon yapılmasını önermişlerdir (İşeri ve ark., 1998).

HÜÇG apareyindeki vidanın çevrilme miktarı çoğunlukla hastada hedeflenen toplam genişletmeye göre belirlenmektedir. Aktivasyon, maksiller posterior dişlerin palatinal tüberküleri mandibular posterior dişlerin bukkal tüberküleri seviyesine gelinceye kadar sürdürülmektedir (Kartalian ve ark., 2010).

#### **2.5.5 Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Komplikasyonları**

HÜÇG tedavisi sırasında hastalar, uygulanan kuvvetlere bağlı olarak dental yapılarda basınç ve gerilme hissedebilirler. Bu his genellikle apareyin yerleştirilmesini takiben ortaya çıkar ve bazı hastalarda ağrı da görülebilir (Haas, 1961; Melsen, 1975).

Apareyin aktive edilmesi sırasında baş ağrısı, burun kanaması, baş dönmesi ve yanak bölgesinde ağrı gibi semptomların gelişebileceği bildirilmiştir (Dipaolo, 1970).

HÜÇG uygulanan hastalarda, apareyin dişler üzerini kapatması nedeniyle yutma, çiğneme, yemek yeme ve oral hijyenin sağlanması süreçlerinde çeşitli zorluklar yaşanabilmektedir (Vanarsdall & White Jr, 1994).

#### **2.5.6 Hızlı Üst Çene Genişletmesinde Relaps ve Pekiştirme**

HÜÇG sonrasında görülen relapsın nedenleri arasında; genişletme ile elde edilen boşluklarda yeterli kemik dokusunun oluşmaması, maksilla ile ilişkili komşu kemik yapılarda gerilme birikimi, maksillayı çevreleyen yanak dokuları ve kaslarda

ortaya çıkan stresler ile sutural yapılardan gelen baskı etkileri yer almaktadır (Paik ve ark., 1992).

Bell, HÜÇG sonrasında midpalatal suturun yeniden organize olması ve stabilitenin sağlanabilmesi için apareyin 3–6 ay süreyle retansiyonda bırakılmasını önermiştir (Bell, 1982). Ekström ve ark. , transversal darlığın giderilmesinden sonra midpalatal suturun mineralizasyonunu inceledikleri çalışmalarında, ilk bir ay içinde mineralizasyonun büyük ölçüde tamamlandığını, ancak üç ayın sonunda ölçüm bölgelerindeki mineral yoğunluğunda anlamlı bir artış olmadığını bildirmişlerdir (Ekström ve ark., 1977).

Sandıkçioğlu ve Hazar, karma dentisyon dönemindeki bireylerde gerçekleştirdikleri HÜÇG uygulaması sonrasında hastaları üç ay retansiyonda izlemiş ve maksilladaki kanin, premolar ve molar dişler arasındaki transversal mesafelerin bu süre boyunca değişmeden kaldığını rapor etmişlerdir (Sandikcioglu & Hazar, 1997).

## **2.6 Maksiller Darlık ve Klinik Önemi**

Maksiller darlık, üst çenenin transversal yönde yetersiz gelişmesi ile karakterize, çocuk ve adölesanlarda sık görülen iskeletsel bir anomalidir. Klinik olarak posterior çapraz kapanış, çapraşıklık, orta hattın kayması ve gülümseme genişliğinde azalma gibi bulgularla ortaya çıkar (Bishara & Staley, 1987; McNamara, 2000).

Maksiller darlık, yalnızca dental oklüzyon bozukluklarıyla sınırlı değildir. Aynı zamanda fonksiyon, solunum ve kraniyofasiyal gelişimi etkileyebilen çok boyutlu bir klinik problemdir. Fonksiyonel mandibular kayma, çiğneme simetrisinin bozulması, dar damak kubbesi ve üst hava yolunda azalma sık eşlik eden bulgulardır. Nazal kavitenin darlığı, nazal dirençte artışa ve üst solunum yolu problemlerine yol açabilir. Çeşitli çalışmalar, hızlı üst çene genişletmesinin nazal hava akışını artırabildiğini ve üst hava yolu hacmini genişletebildiğini göstermiştir (Pirelli ve ark., 2004).

Maksiller darlık estetik açıdan da önemli sorunlar yaratır. Maksiller darlığa bağlı dar bir gülümseme arkı ve asimetrik yüz estetiğini olumsuz etkileyebilir, bu da hasta memnuniyetini düşürebilir. Çocuklarda erken dönemde yapılan HÜÇG'nin, hem estetik hem de fonksiyonel açıdan kalıcı iyileşmeler sağladığı bildirilmiştir (Haas, 1961; Wertz, 1970).

Son yıllarda konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) çalışmalarında, midpalatal suturun olgunluk evreleri değeriendirilerek bireyselleştirilmiş tedavi planlaması yapılmaya başlanmıştır. Özellikle Angelieri sınıflaması, genç bireylerde suturun açık olduğu evrelerde diş destekli HÜÇG'nin etkili olduğunu savunur. İleri yaşlarda ise minivida destekli genişletme (MARPE) veya cerrahi yardımcı genişletme (SARME) gerektiğini göstermiştir (Angelier ve ark., 2013; Cantarella ve ark., 2018).

Maksiller darlığın klinik yansımaları geniş bir spektrumda değeriendirilmekte olup bu durum yalnızca transversal oklüzal ilişkileri etkilemez. Aynı zamanda hastanın fonksiyonel ve estetik bütünlüğünü de etkilemektedir. Posterior çapraz kapanış, üst molar ve premolarların alt dişlere göre lingual konumlanmasıyla karakterize olup darlığın en belirgin bulgularından biridir (Proffit, Fields, Larson, ve ark., 2019). Maksiller ark boyutunun yetersizliği dental çapraşıklık ile sonuçlanarak dişlerin ideal pozisyonlanmasını zorlaştırabilir (McNamara, 2000). Darlığa bağı dental orta hat kaymaları, mandibula ile maksilla arasındaki simetriyi bozarak fonksiyonel mandibular kaymalara yol açabilir (Wertz, 1970). Üst çene genişliğinin anatomik olarak azalması nazal kavite hacmini etkilediğinden, bazı hastalarda ağız solunumu, horlama ve uyku düzensizlikleri gibi solunumsal problemler ortaya çıkabilir (Pirelli ve ark., 2004). Estetik açıdan değeriendirildiğinde dar bir maksiller ark, gülümseme genişliğini azaltarak hem gülümseme arkını hem de yüzün transversal estetik uyumunu olumsuz yönde etkileyebilir (Sarver & Ackerman, 2003). Bu bulgular, maksiller darlığın multifaktöriyel yapısını ve yalnızca dental ilişkilerle sınırlı olmayan geniş klinik etkilerini ortaya koymaktadır.

### **2.6.1 Maksiller Darlığın Sınıflandırılması**

Maksiller transversal yetersizliğin değeriendirilmesinde literatür, temel olarak iskeletsel ve dentoalveoler bileşenlerin ayırımına odaklanmaktadır. Bonded akrilik cap splint, transversal uyumsuzluğun teşhisinde maksiller bazal kemik genişliği ile dentoalveoler kompensasyonların ayrı ayrı incelenmesi gerektiğini vurgular. İskeletsel darlığın gerçek maksiller hipoplaziyi gösterirken dentoalveoler darlığın ise daha çok dişlerin bukkal veya palatal tippingi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (McNamara, 2000). Benzer biçimde Andrucio ve arkadaşları, transversal yetersizliğin doğru tedavi planlamasında bu iki komponentin ayırımının

kritik olduğunu bildirmiştir (Andrucioli & Matsumoto, 2020). Bu nedenle maksiller darlığın ilk değerlendirme aşamasında iskeletsel ve dentoalveoler kökenli bulguların ayırt edilmesi klinik açıdan önem taşır.

Transversal yetersizlik ayrıca simetrik veya asimetrik morfoloji gösterebilir. Literatürde unilateral posterior çapraz kapanışın çoğu olguda fonksiyonel mandibular kayma ve hafif bilateral maksiller darlıkla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Thilander & Lennartsson, 2002). Bu bulgular, transversal darlığın taraf tutan veya her iki tarafı etkileyen formlarını klinik açıdan ayırt etmeyi gerekli kılar. Her ne kadar simetrik veya asimetrik ifadeleri literatürde resmi bir sınıflandırma olarak geçmese de posterior çapraz kapanışın etyolojisini açıklayan çalışmalar bu ayrımı destekleyen temel biyomekanik veriler sunmaktadır.

Maksiller darlığın klinik görünümü, hastanın büyüme ve gelişim dönemine göre de farklılık gösterir. Midpalatal suturun yaşla birlikte artan ossifikasyonunu gösteren mikro BT ve KIBT çalışmaları, çocukluk döneminde suturun daha yüksek proliferatif kapasiteye sahip olduğunu gösterir. Adolesan ve özellikle erişkin dönemde ise sutural direnç ve mineralizasyonun belirgin şekilde arttığını ortaya koymuştur (Angelieri ve ark., 2013). Bu nedenle çocuk, adolesan veya erişkin farklılığı literatürde doğrudan bir sınıflandırma olarak sunulmasa da sutural maturasyonun biyolojik seyri göz önüne alındığında transversal yetersizliğin büyüme dönemine göre ayrı başlıklar altında değerlendirilmesi klinik açıdan anlamlıdır.

Maksiller darlığın değerlendirilmesinde literatürde tanımlanan kavramsal temeller esas alınarak, klinik analizde üç temel boyutun birlikte ele alınması önerilmektedir. İlk olarak, iskeletsel ve dentoalveoler bileşenlerin ayırt edilmesi, darlığın gerçek kaynaklarının belirlenmesine yardımcı olur ve tedavi yaklaşımını doğrudan etkiler. Bunun yanında, darlığın morfolojik görünümü simetrik ya da asimetrik olabilir. Özellikle unilateral çapraz kapanışla ilişkili fonksiyonel kaymalar, bu morfolojik farklılığın klinik önemini artırır. Son olarak, büyüme-gelişim dönemine bağlı sutural direnç farklılıkları, maksiller darlığın çocukluk, adolesan veya erişkin dönemde farklı biyolojik özellikler göstermesine neden olur. Bu üç boyut, literatürde standart bir sınıflandırma sistemi olarak sunulmamış olsa da maksiller transversal yetersizliğin klinik açıdan daha sistematik, bütüncül ve rasyonel biçimde değerlendirilmesine olanak sağlar.

### 2.6.2 Büyüme ve Gelişim Dönemine Göre Farklılıklar

Maksiller darlığın klinik seyri ve tedaviye yanıtı, hastanın büyüme ve gelişim dönemine göre değişiklik göstermektedir. Çocuklarda, midpalatal sutur açık ve yüksek proliferatif kapasiteye sahiptir. Bu nedenle hızlı üst çene genişletmesi daha öngörülebilir iskeletsel sonuçlar verir (Baratieri ve ark., 2011; Lagravere ve ark., 2005; McNamara Jr ve ark., 2003). Adolesanlarda sutural direnç artmaya başlar ve ekspansiyonun etkileri daha çok dentoalveoler bileşene kayabilir (Baccetti ve ark., 2001; Wertz, 1970).

Erişkin bireylerde, midpalatal suturun füzyona yakın veya tamamen kapanmış olması nedeniyle iskeletsel genişleme elde etmek zordur. MARPE veya SARME gibi teknikler tercih edilir (Angelieri ve ark., 2013; Cantarella ve ark., 2018). Dolayısıyla sutural maturasyon evresi tedavi seçimini yönlendiren kritik biyolojik göstergelerden biridir.

Bishara ve Staley, hızlı üst çene genişletmesi için en uygun dönemin 13–15 yaş aralığı olduğunu bildirmiş; pubertal dönem sonrasında da HÜÇG uygulanabilmekle birlikte, bu yaş grubunda relaps riskinin daha yüksek olabileceğini belirtmişlerdir (Bishara & Staley, 1987). Başka bir çalışmada, 19 yaşındaki bir hastaya uygulanan HÜÇG sonrasında midpalatal suturda ayrılma gözlenmiş ve suturun genç erişkinlik döneminde tamamen kemikleşmemiş olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, ortognatik cerrahi planlanan bireylerde cerrahi öncesinde HÜÇG'nin denenebileceği, ancak elde edilen genişliğin yeniden daralabileceği konusunda dikkatli olunması gerektiği ifade edilmiştir (Stuart & Wiltshire, 2003).

### 2.6.3 Oklüzyon ve Fonksiyon Üzerindeki Etkiler

Maksiller darlığın fonksiyonel etkileri sadece dental kapanış ile sınırlı değildir. Darlık nedeniyle çeneler arası ilişkide fonksiyonel kayma oluşabilir. Mandibula kapanış sırasında darlığı kompanse etmek için lateral ya da çapraz bir pozisyona gider. Bu durum uzun dönemde temporomandibular eklem yüklenmesini artırabilir ve iskeletsel asimetri görünümünü pekiştirebilir (Proffit, Fields, Larson, ve ark., 2019).

Ayrıca transversal darlık, posterior çapraz kapanış, artmış okluzal düzlem eğimi, çığneme verimliliğinde azalma, ağız solunumu ve nazal solunum değişimi, yutma paterni bozuklukları ile ilişkilidir.

Nazal pasajın daralmasıyla birlikte üst hava yolu volümü etkilenebilir. Bu nedenle maksiller darlık yalnızca ortodontik değil, aynı zamanda fonksiyonel bir solunum problemidir.

## **2.7 HÜÇG'nin Tarihçesi ve Gelişimi**

Üst çenenin transversal yetersizliklerinin ortopedik olarak düzeltilmesi fikri ilk kez 19. yüzyılda ortaya çıkmıştır. 1860 yılında E.H. Angell, midpalatal sutura kuvvet uygulayarak maksillanın genişletilebileceğini bildirmiş ve bunu vaka raporuyla duyurmuştur. Ancak dönemin bilim çevreleri tarafından bu yaklaşım tartışmalı bulunmuş ve uzun süre yaygınlık kazanmamıştır (Angell, 1860).

1960'lı yıllarda Haas'ın çalışmalarıyla hızlı üst çene genişletmesi modern ortodontide tekrar gündeme gelmiştir. Haas, akrilik damak plağı ve bantlı diş destekli vidalarla genişletmenin yalnızca dişsel değil, aynı zamanda iskeletsel etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Bu bulgular, HÜÇG'nin biyolojik temellerini açıklayan ilk kapsamlı veriler olarak kabul edilmektedir (Haas, 1961).

Takip eden yıllarda Wertz, HÜÇG'nin iskeletsel ve dental etkilerini sefalometrik analizlerle incelemiş, midpalatal suturanın ayrılmasıyla maksillanın lateral yönde hareket ettiğini ve eşlik eden dentoalveoler değişiklikleri rapor etmiştir. Bu dönemde yapılan çalışmalar, HÜÇG'nin yalnızca dental bir prosedür değil, aynı zamanda iskeletsel bir tedavi yöntemi olduğunu ortaya koymuştur (Wertz, 1970).

1980'lerden itibaren bilgisayarlı tomografi ve daha sonra konik ışıklı bilgisayarlı tomografi yöntemlerinin kullanılması, HÜÇG'nin biyomekanizmasının daha ayrıntılı anlaşılmasını sağlamıştır. Güncel araştırmalarda, HÜÇG'nin maksilla çevresindeki farklı suturalarında etkili olduğu, nazal kavite genişliğini artırdığı ve üst hava yolunda iyileşmeler sağladığı gösterilmiştir (Cantarella ve ark., 2018).

Son yıllarda ise özellikle geç adolesan ve erişkin bireylerde sutural direnç nedeniyle mini vida destekli hızlı üst çene genişletmesi ve cerrahi yardımcı genişletme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu modern yaklaşımlar, HÜÇG'nin klinik endikasyonlarını genişletmiş ve farklı yaş gruplarındaki uygulamalarına olanak tanımıştır (Garib ve ark., 2006; Lin ve ark., 2015).

### **2.7.1 Klasik HÜÇG'den MARPE'ye Geçişin Bilimsel Temelleri**

Geleneksel diş destekli HÜÇG'nin etkilerinin üç boyutlu görüntüleme çalışmalarında değerlendirilmeye başlaması, özellikle adolesan ve erişkin hastalarda iskeletsel yanıtın sınırlı, dentoalveoler olarak transversal yönde devrilmenin ise daha belirgin olduğunu göstermiştir (Carlson ve ark., 2015). Midpalatal suturun yaşla birlikte ossifiye olması, klasik HÜÇG'nin ileri yaşlarda yetersiz kalmasının temel biyolojik nedenidir (Angelieri ve ark., 2013; Persson & Thilander, 1977). Bu bulgular, ortopedik etkinin artırılması amacıyla mini vidalarla kemik destekli genişletme konseptinin geliştirilmesine yol açmıştır.

MARPE yaklaşımı, kuvvet aktarımını dişlerden kemik korteksine yönlendirmesi sayesinde daha paralel sutural açılma, daha yüksek iskeletsel genişleme ve daha düşük dentoalveoler yan etki oluşturabilmektedir (Cantarella ve ark., 2018). Jung ve Moon'un ileri çalışmalarında MARPE'nin genç erişkinlerde bile cerrahi gereksinimi azaltabilecek düzeyde iskeletsel etki üretebildiği bildirilmiştir (Carlson ve ark., 2015). Böylece MARPE, geleneksel HÜÇG ile SARME arasında önemli bir biyomekanik köprü görevi görerek modern ortodontide transversal darlık tedavisinin dinamiklerini değiştirmiştir.

### **2.7.2 Cerrahi Destekli Maksiller Genişletmenin (SARME) Tarihsel Evrimi**

Erişkin bireylerde midpalatal suturun biyolojik olarak daha dirençli hale gelmesi, klasik HÜÇG'nin iskeletsel etkisini azaltmış ve cerrahi destekli genişletme prosedürlerinin geliştirilmesine yol açmıştır. İlk SARME uygulamaları geniş rezeksiyonları içeren invaziv teknikler olsa da, zaman içinde maksillanın direnç bölgelerinin tanımlanmasıyla çok daha minimal invaziv, kontrollü ve öngörülebilir cerrahi protokoller oluşturulmuştur (N. J. Betts ve ark., 1995).

Le Fort I osteotomisi temelli modern SARME teknikleri, maksiller direnç bölgelerini kontrollü şekilde zayıflatarak genişletme vidalarının iskeletsel etkisini artırmayı hedefler (Koudstaal ve ark., 2005). Gelişen CBCT analizleri, cerrahi kesi hatlarının optimize edilmesine ve komplikasyonların azaltılmasına katkı sağlamıştır. Günümüzde SARME, ileri derecede sutural direnç ve ağır iskeletsel darlık bulunan erişkinlerde yüksek başarı oranlarına sahip bir tedavi seçeneği olarak

kabul edilir. Fakat MARPE'nin elde ettiği iskeletsel etkiler nedeniyle endikasyon alanı daha seçici hale gelmiştir (Cantarella ve ark., 2018).

## 2.8 HÜÇG'nin Etki Mekanizması

HÜÇG, kısa sürede uygulanan yüksek ortopedik kuvvetler aracılığıyla orta palatal sutura ve çevre suturlarda ayrılma oluşturan bir tedavi yöntemidir. Aktivasyon sırasında vidanın her 0,25 mm çevrilmesi yaklaşık 2–10 kg arasında değişen (yaklaşık 20–100 N) ortopedik kuvvet üretir ve bu kuvvetler maksillaya molar bantları, premolar bantları veya akrilik tabanlı apareylerin palatal yüzeyleri üzerinden iletilir (Isaacson ve ark., 1964). Bu kuvvetler, damak kubbesi boyunca ve özellikle zigomatikomaksiller, pterigomaksiller ve frontomaksiller suturlara yayılır. Böylece ayrılma yalnızca midpalatal suturda değil, aynı zamanda sirkümmaksiller suturlarda da gerçekleşir (Proffit, Fields, & Sarver, 2019). Klinik protokole göre vida genellikle günde 1–2 kez 0.25 mm oranında aktive edilir ve birkaç hafta içerisinde transversal yönde belirgin genişleme elde edilir (Haas, 1961).

HÜÇG sırasında en önemli biyomekanizma, orta palatal suturanın ayrılmasıdır. Histolojik ve radyolojik çalışmalar, suturanın “V” şeklinde açıldığını, ön bölgedeki açılmanın posterior bölgeye göre daha fazla olduğunu göstermektedir (Wertz, 1970). Sutural ayrılma ile birlikte maksilla lateral yönde hareket eder, nazal kavite genişler ve maksiller kompleksin komşu suturalarında adaptif değişiklikler meydana gelir (Garib ve ark., 2006).

Midpalatal sutur, maksiller büyüme ve transversal gelişim açısından önemli bir anatomik birleşme hattı olup histolojik yapısı yaşa bağlı olarak belirgin değişiklikler göstermektedir. Çocukluk döneminde sutur hattı daha fibröz, yüksek hücre aktivitesi ve düşük mineralizasyon düzeyi ile karakterizedir. Buna karşın adölesan dönemden itibaren kademeli olarak artan ossifikasyon ve interdişitasyon, suturun biyomekanik direncini belirgin biçimde artırmaktadır (Persson & Thilander, 1977). Bu değişimlerin bireysel varyasyon göstermesi, genişletme tedavilerinin öngörülebilirliğini etkileyen biyolojik bir parametredir. Angelieri ve arkadaşlarının CBCT tabanlı sınıflandırma sistemi, bireyin sutural olgunluk düzeyini radyolojik olarak belirlemeyi amaçlayarak klinisyenin genişletme yöntemini daha rasyonel şekilde seçmesine olanak tanımaktadır (Angelieri ve ark., 2013). Sutural maturasyonun bu şekilde evrelere ayrılması, hızlı üst çene

genişletmesinin etkisinin hangi yaş grubunda ne ölçüde iskeletsel olabileceğini anlamada önemli bir referans sağlamaktadır.

HÜÇG'nin biyomekaniğı yalnızca midpalatal sutur ile sınırlı olmayıp, maksillanın çevresini saran bir dizi anatomik direnç bölgesi tarafından belirlenmektedir. Zigomatik buttress, piriform açıklığın lateral kenarları, pterygomaksiller birleşim ve nazomaksiller sutur bölgesi bu direnç alanlarının başında gelir. Bu bölgeler, ekspansiyon vidalarının oluşturduğı kuvvetlerin dağılımını şekillendirir ve açılmanın V formunda mı yoksa daha paralel mi olacağını büyük ölçüde etkiler (Wertz, 1970). Özellikle pterygomaksiller birleşim erişkinlerde daha güçlü bir direnç hattı oluşturur ve bu nedenle MARPE veya SARME gibi tekniklerde bu bölgenin biyomekaniğı tedavinin başarısını doğrudan belirler (N. J. Betts ve ark., 1995). Gelişmiş CBCT analizleri, bu anatomik direnç noktalarının genişletme sonrası oluşan hareket paternlerini anlamada önemli bilgiler sağlamıştır.

İskeletsel etkilerin yanında dişlerde bukkolingual devrilmeler ve alveolar kretlerde adaptif remodelling görülür. Bu nedenle genişlemenin bir kısmı dental, bir kısmı ise iskeletsel kaynaklıdır. Çocuklarda iskeletsel etki daha baskınken, yaş ilerledikçe dental etkilerin oranı artar (de Silva Fo ve ark., 1991).

Transversal uyumsuzluklarda dentoalveoler yapılar, iskeletsel darlığı telafi etmek amacıyla adaptif değişiklikler gösterebilir. Üst molarların bukkal tippingi veya alt molarların lingual eğimi, iskeletsel darlığı klinik olarak maskelerken aynı zamanda periodontal dokular üzerinde stres artışına yol açabilir (McNamara, 2000). Bu kompensasyon süreçleri, genişletme tedavilerinde iskeletsel etkilerin yeterli olmadığı durumlarda daha belirgin hale gelir. Geleneksel diş destekli HÜÇG, bu tip tipping hareketlerini artırma eğiliminde olup, bu durum uzun dönemde alveoler kemikte bukkal kortikal incelmeye yol açabilir (Wertz, 1970). MARPE'nin geliştirilme amacı da bu olumsuz dentoalveoler etkilerin azaltılması ve kuvvetin doğrudan palatal kortekse iletilmesidir (Carlson ve ark., 2015). Bu nedenle dentoalveoler kompensasyon varlığı, tedavi planlamasında genişletmenin mekanik yönünü belirleyen kritik bir faktördür.

HÜÇG sırasında uygulanan kuvvetler, periodontal ligamentte basınç ve gerilme bölgeleri oluşturur. Bu biyomekanik stresler alveolar kemikte rezorpsiyon ve apozisyona yol açarak genişlemeye katkıda bulunur. Ayrıca pulpal kan akımı üzerinde geçici etkiler bildirilmiştir. Babacan ve arkadaşları, HÜÇG sonrası

anterior dişlerde pulpal kan akışının azaldığını, ancak retansiyon sürecinde normale döndüğünü rapor etmiştir (Babacan ve ark., 2010). Benzer şekilde Naoum ve çalışma arkadaşları, bu değişimlerin geçici ve klinik açıdan tolere edilebilir olduğunu belirtmiştir (Naoum ve ark., 2019).

Genişletme kuvvetlerinin diş kökleri boyunca periodontal boşluk aracılığıyla pulpaya iletilmesi, pulpal vasküler basınçta geçici değişikliklere neden olabilir. Hayvan modelleri ve klinik çalışmalar, genişletme sonrası pulpa kan akımında kısa süreli azalmalar olabildiğini, ancak bu değişimlerin çoğunlukla geri dönüşümlü olduğunu göstermektedir. Diş içi dokuların bu tür basınç değişikliklerine adaptasyonu yaşa, pulpal hacme ve dentin duvar kalınlığına bağlıdır. Klinik olarak HÜÇG sonrası pulpanın canlılığını kaybetmesi nadir görülür. Buna karşın özellikle yüksek başlangıç kuvvetleri uygulanan protokollerde pulpal stresin geçici olarak arttığı bilinmektedir (Bishara & Staley, 1987). Bu nedenle pulpal reaksiyonların biyomekanik süreçte göz ardı edilmemesi önemlidir.

Periodontal ligament, genişletme kuvvetinin ilk karşılandığı dokulardan biridir ve uygulanan kuvvetler bu bölgede hem kompresyon hem gerilim alanları oluşturur. Bu durum hücresel düzeyde hyalinizasyon, vasküler daralma ve osteoklastik aktivitenin artmasına neden olabilir (Proffit, Fields, Larson, ve ark., 2019). Genişletme sürecinde PDL'nin biyomekanik yanıtı, dişin hareket yönünü ve miktarını belirler. Aşırı dentoalveoler tippingin görüldüğü geleneksel HÜÇG protokollerinde PDL üzerinde oluşan basınç yükü belirgin şekilde fazladır. MARPE uygulamalarında ise kuvvetin dişe iletilen miktarı azaldığı için PDL üzerindeki biyomekanik stres daha dengeli bir şekilde dağılır (Cantarella ve ark., 2018). Periodontal yanıtların doğru yönetilmesi, genişletmenin biyolojik sınırlar içinde gerçekleşmesini sağlar.

Midpalatal suturda ayrılma ile nazal taban genişler ve nazal direnç azalır. Bu biyomekanizma, HÜÇG'nin üst solunum yollarında olumlu etki oluşturmasının temel nedenidir. KIBT ve sefalometrik çalışmalar, nazal hacimde ve orofarengeal alanda anlamlı artışlar olabileceğini göstermiştir.

HÜÇG'nin etkilerinden biri de nazal kavite ve üst hava yolunda ölçülebilir genişleme meydana gelmesidir. Genişletme sonrası nazal taban genişliği artar ve buna bağlı olarak hava yolu hacminde iyileşme görülebilir (Haas, 1961). CBCT çalışmaları, genişletme sonrasında özellikle nazal taban, inferior meatus ve posterior nazal bölge hacimlerinde anlamlı artışlar olduğunu göstermiştir. Bu

değişimlerin fonksiyonel olarak burun solunumu üzerine olumlu etkiler oluşturabileceği bildirilmiştir. Ancak bu hacim artışının erişkinlerde daha sınırlı olduğu, büyüme dönemindeki bireylerde ise daha belirgin görüldüğü belirtilmektedir.

Nazal kavite genişliğinin artması, nazal hava akım direncinin azalmasına katkıda bulunabilir. Bu biyomekanik değişim, genişletme sonrası burun solunumunun kolaylaşmasıyla ilişkilendirilmiştir (Bishara & Staley, 1987). Rhinomanometri ve akış analizleri, ekspansiyon sonrası nazal rezistansta klinik olarak anlamlı düşüşler bildirmiştir (Timms, 1986). Solunum fizyolojisindeki bu değişimlerin özellikle çocuklarda daha belirgin olduğu, erişkinlerde ise anatomik sınırlılıklar nedeniyle daha sınırlı düzeyde gerçekleştiği bilinmektedir. Bu nedenle HÜÇG'nin nazal fonksiyonlara etkisi yaşa, sutural yapıların esnekliğine ve darlığın başlangıç şiddetine bağlı olarak değişmektedir.

## **2.9 HÜÇG'nin Klinik Sonuçları**

HÜÇG, büyüme ve gelişme çağındaki bireylerde maksiller darlığın düzeltilmesi için en etkili yöntemlerden biridir. Tedavi sonucunda elde edilen transversal genişleme posterior çapraz kapanışın düzeltilmesine, dental çapraşıklığın azalmasına ve ark boyunun artmasına da katkı sağlar. Yapılan klinik çalışmalarda, HÜÇG sonrası intermolar ve interkanin mesafelerde anlamlı artışlar bildirilmektedir (McNamara, 2000; Wertz, 1970).

HÜÇG'nin en önemli sonuçlarından biri de üst hava yolu üzerine etkileridir. Nazal taban genişlemesi, nazal dirençte azalma ve hava akışında artış ile ilişkilidir. Üst hava yolundaki bu olumlu değişiklikler, çocuklarda ağız solunumu ve horlama gibi sorunların azalmasına, bazı olgularda ise uyku apnesi bulgularının hafiflemesine katkıda bulunabilir (Pirelli ve ark., 2004). Ancak literatürde uzun dönem sonuçlar açısından çalışmalar arasında farklılıklar bulunduğu, özellikle erişkinlerde solunumsal iyileşmelerin daha sınırlı olabileceği vurgulanmaktadır.

Estetik açıdan bakıldığında, HÜÇG tedavisiyle birlikte gülümseme arkı genişler, dişlerin daha fazla görünmesi sağlanır ve orta hattın düzelmesiyle yüz estetiğinde iyileşme görülür. Özellikle dar gülümseme hattı olan bireylerde bu değişiklikler hasta memnuniyetini belirgin şekilde artırabilir (Garib ve ark., 2006; Sarver & Ackerman, 2003). Bununla birlikte, HÜÇG tedavisi tamamen risksiz değildir. Dental devrilmeler, kök rezorpsiyonları, bukkal kortikal tabakada incelme,

periodontal dokularda minimal değişiklikler ve pulpal kan akımında geçici azalma gibi yan etkiler bildirilmiştir. Bu etkilerin çoğu klinik olarak tolere edilebilir düzeydedir ve genellikle retansiyon süreci sonunda stabil hale gelir (Babacan ve ark., 2010; Naoum ve ark., 2019).

Sonuç olarak, HÜÇG transversal iskeletsel uyumsuzlukların yönetiminde etkili bir tedavi seçeneği olup fonksiyonel ve estetik kazanımlara önemli katkılar sağlar. Ancak uygulanacak genişletme protokolü belirlenirken hastanın yaşı, sutural maturasyon düzeyi ve periodontal özellikleri göz önünde bulundurulmalı ve tedavi boyunca biyolojik yan etkiler dikkatle değerlendirilmelidir.

## 2.10 Diş Hekimliğinde Renk

Renk, ışığın göze farklı biçimlerde ulaşmasıyla ortaya çıkan bir algıdır. Işık bir nesneye temas ettiğinde, belirli dalga boyları nesne tarafından soğurulurken bazıları yansıtılır; bu fiziksel süreç, gözlenen farklı renk tonlarının oluşmasına neden olur. Bu nedenle renk, bireyin algısal özelliklerine göre değişebilen öznel bir deneyimdir. Genel çerçevede renk, bir nesne ile ışık enerjisi arasındaki fiziksel etkileşimin insan zihninde oluşturduğu psikofiziksel bir yanıt olarak tanımlanmaktadır (Brewer ve ark., 2004).

Bir nesnenin fiziksel özellikleri eni, boyu ve yüksekliğiyle nasıl üç boyutta ifade ediliyorsa, bir rengin tanımlanabilmesi için de onu oluşturan üç temel bileşenin belirtilmesi gereklidir. Rengin bu temel bileşenleri; renk tonu (hue), doygunluk ya da yoğunluk (chroma) ve parlaklık (value) olarak adlandırılır. Buna ek olarak yarı saydamlık (translüsens) özelliğinin de değerlendirilmesi, rengin daha doğru ve ayrıntılı biçimde algılanmasına katkı sağlamaktadır (Bilgin & Özcan).

**Renk tonu:** Bir rengin türünü ve ayırt edici özelliğini ifade eden bu kavram, renk gruplarını birbirinden ayıran temel niteliği oluşturur. Diş hekimliğinde ise ana renk tonları, Vita klasik renk skalasında A, B, C ve D harfleri altında sınıflandırılarak tanımlanmaktadır (Bilgin & Özcan).

**Renk yoğunluğu:** Bir rengin doygunluk düzeyini ifade eden bu özellik, ana rengin ne ölçüde pigmentasyon içerdiğini yansıtır. Diş dokusunda renk yoğunluğu; mine tabakasının kalınlığı, ışık geçirgenliği ve dentin dokusunun mineralizasyon düzeyi gibi biyolojik faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Bilgin & Özcan). Renk yoğunluğu ile parlaklık arasında genellikle ters yönlü bir ilişki bulunmakta olup, doygunluk arttıkça parlaklık düzeyi azalma eğilimindedir. VITA

renk skalasında bu yoğunluk seviyeleri sayısal değerlerle ifade edilerek kategorize edilmektedir (Muia, 1993).

**Renk parlaklığı:** Parlaklık (value), bir yüzeyden yansıyan ışık miktarını tanımlayan temel bir görsel parametredir ve dental renk belirlemede önemli bir rol oynar. Parlaklık düzeyi düşük olan yüzeyler daha koyu; parlaklık düzeyi yüksek olan yüzeyler ise daha açık ve canlı olarak algılanır. Value, bir rengin ne kadar aydınlık ya da karanlık görüldüğünü ifade eden özelliktir. Diş yapılarında özellikle mine ve dentin tabakalarının ışık geçirgenliği ve yapısal özellikleri bu parlaklık algısını doğrudan etkilemektedir. Parlak yüzeyler daha az gri ton barındırırken, düşük parlaklığa sahip yüzeyler daha fazla gri içerdiği için görsel olarak daha mat ve koyu bir görünüm ortaya çıkarmaktadır (Baltzer & Kaufmann-Jinoian, 2005).

**Floresanslık:** Floresans, bir materyalin belirli dalga boyundaki ışığı absorbe ettikten sonra bunu daha uzun dalga boyuna sahip bir ışık olarak yeniden yayması şeklinde tanımlanır. Doğal dişlerde bu özellik özellikle dentin tabakasında belirgindir; dentinin organik içeriği, yapıya karakteristik bir floresans kazandırmaktadır. Bu biyolojik özellik, estetik restoratif uygulamalarda doğal görünümün taklit edilmesi açısından büyük önem taşır.

**Yarı Saydamlık (Translüsensi):** Translüsensi, bir materyalin ışığı iletme kapasitesini ifade eden temel bir optik özelliktir ve diş dokularının ışıkla etkileşimini açıklamada önemli bir parametredir. Doğal dişlerin translüsensi düzeyi, mine ve dentin gibi farklı dokuların yapısal özelliklerinden kaynaklanır ve bu dokuların optik karakterizasyonunda belirleyici rol oynar. Translüsensi, opaklık ile tam şeffaflık arasında bir geçiş derecesi olarak değerlendirilebilir. Genellikle translüsensi arttıkça yüzey parlaklığının azaldığı bildirilmiştir. Bunun nedeni ışığın daha fazla saçılması ve daha az yönlü yansıma göstermesidir (Đozic ve ark., 2004).

**Metamerizm:** Metamerizm, farklı ışık kaynakları altında iki cismin renk uyumunun değişmesi olarak tanımlanır. Bir ışık kaynağı altında renk açısından uyumlu görünen iki nesnenin başka bir ışık kaynağı altında uyumsuz görünmesi, bu iki nesnenin metamerik bir çift oluşturduğunu gösterir. Bu durumun temel nedeni, materyallerin farklı spektral yansıtma eğrilerine sahip olması ya da nesneleri aydınlatan ışık kaynaklarının türü ve yoğunluğunun değişmesidir. Metamerizme klasik bir örnek, bir renk kılavuzu ile doğal dişin floresan ışığı altında uyumlu görünmesine karşın akkor ışık altında uyumsuz görünmesidir. Diş hekimliğinde metamerizm özellikle klinik ortam ile laboratuvar arasındaki aydınlatma

farklılıklarından kaynaklanır ve porselen kron gibi laboratuvarında üretilen restorasyonlarda yetersiz renk eşleşmesine neden olabilmektedir (O'Brien, 2002).

**Fosforesans:** Fosfor içeren bir maddenin radyasyona maruz kaldığında floresansa benzer şekilde ışık yayması ve radyasyon ortadan kalktıktan sonra da daha uzun bir süre boyunca art ışığa göstermesi bu olguya fosforesans denir. Ancak dental materyaller arasında bu optik özellik bulunmamaktadır (Chu ve ark., 2010).

## 2.11 Renk Sistemleri

### 2.11.1 Munsell Renk Sistemi

Günümüzde renk tayininde kullanılan çeşitli sistemler bulunmakla birlikte, bu sistemlerin ilki 1905 yılında Amerikalı ressam Albert H. Munsell tarafından geliştirilmiş ve zaman içinde daha da geliştirilerek uzun yıllar boyunca yaygın şekilde kullanılmaya devam etmiştir. Munsell renk sistemi; sağladığı güvenilirlik, esneklik ve pratik uygulanabilirlik nedeniyle diş hekimliğinde renk seçimi amacıyla tercih edilen yöntemlerden biridir (Sproull, 1973).

Munsell, rengi ilk kez birbirinden bağımsız üç parametre ile üç boyutlu bir düzlemde tanımlamıştır (Kuehni, 2002). Bu üç parametre; hue (ana renk), value (açıklık ya da parlaklık) ve chroma (doygunluk) olarak adlandırılır. Bu sisteme göre herhangi bir renk, söz konusu üç temel bileşen kullanılarak sayısal olarak ifade edilebilir. "Munsell Notasyonu" olarak bilinen bu ifade biçimi, rengi genellikle Hue Value/Chroma (H V/C) formatında gösterir. Bu yapısal sınıflandırma sayesinde renkler standartlaştırılmış bir sistem içinde tanımlanabilir ve karşılaştırılabilir hale gelmektedir.

**Hue (Renk Tonu):** Hue, yani bir cismin temel rengi, Munsell renk sisteminin ilk boyutunu oluşturur. Bu parametre, retinadaki fotoreseptörler tarafından algılanan ve belirli dalga boylarına sahip ışık uyarıları sonucunda ortaya çıkan renk izlenimini ifade eder (örneğin mavi, yeşil, kırmızı).

Munsell sisteminde hue, mor, mavi, yeşil, sarı ve kırmızı olmak üzere beş ana renk ile bu ana renklerin arasında yer alan mor-mavi, mavi-yeşil, yeşil-sarı, sarı-kırmızı ve kırmızı-mor şeklindeki beş ara renkten oluşan toplam on temel kategori altında sınıflandırılmaktadır (Joiner, 2004).

**Value (Parlaklık):** Aydınlık değeri, bir rengin ne kadar açık ya da koyu görüldüğünü belirleyen temel bir görsel parametredir ve renklerin birbirinden

ayrılmasında önemli rol oynar. Value, bir rengin parlaklık düzeyinin akromatik (renksiz) bir ölçüm üzerinden değerlendirilmesini sağlar.

Siyah-beyaz bir görüntüde renk bilgisi bulunmamasına rağmen cisimler, sahip oldukları aydınlık değerlerine göre gri tonlarında algılanır. Bu durum, farklı dalga boylarına sahip iki rengin aynı parlaklık değerine sahip olabileceğini göstermektedir. Renkli bir görüntünün siyah-beyaz televizyondaki görünümü bu kavramın anlaşılmasını kolaylaştırır.

Beyaz yüzeyler tüm dalga boylarını yansıttığı için en yüksek aydınlık değerine (value = 100) sahiptir; siyah yüzeyler ise ışığı absorbe ederek minimum aydınlık değeri (value = 0) gösterir. Parlaklık düzeyi yüksek bir kron, genellikle tebeşirimsi ve doğal olmayan bir görünüm oluştururken; düşük parlaklık değerine sahip bir diş daha gri ve cansız algılanır. Bir rengin value'sunu artırmak için beyaz, azaltmak için ise gri veya siyah eklenir. Ayrıca tamamlayıcı renklerin eşit oranda karıştırılması ve bu karışımın bir renge eklenmesi de parlaklık değerini düşürür (Nohl ve ark., 2002).

**Chroma (Doygunluk):** Chroma, bir rengin saflık derecesini veya doygunluk düzeyini tanımlayan bir parametredir ve belirli bir renk alanındaki pigment yoğunluğunu ifade eder. Genel olarak chroma, bir rengin ne kadar güçlü, canlı ya da zayıf görüldüğünü belirler. Chroma ve value arasında ters orantı bulunmaktadır; dolayısıyla chroma arttıkça renk daha doygun bir görünüm kazanırken, parlaklık (value) azalır (Keyf ve ark., 2009).

Düşük chroma değerine sahip renkler daha soluk ve zayıf olarak nitelendirilirken, yüksek chroma değerine sahip renkler daha yoğun, belirgin ve güçlü renk izlenimi oluşturur (Klaff, 2010).

Munsell sistemi uzun yıllar boyunca renklerin tanımlanmasında temel bir yöntem olarak kullanılmış olsa da, günümüzde yerini matematiksel modellere dayanan daha gelişmiş renk uzaylarına bırakmıştır. Özellikle CIELAB ve CIECAM02 gibi modern sistemler; daha yüksek doğruluk sunmaları, dijital analizlere olanak vermeleri ve farklı aydınlatma koşullarında renk algısını daha gerçekçi bir biçimde temsil edebilmeleri nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Landa & Fairchild, 2005)

### 2.11.2 CIELAB (L\*a\*b\*) Renk Sistemi

Munsell sisteminin sunduğu temel renk sınıflandırmasının ardından, renk ve ışık algısının daha bilimsel temelde modellenmesi amacıyla uluslararası bir kuruluş olan CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) önemli katkılar sağlamıştır. CIE, 1931 yılında insan retinasındaki üç temel fotoreseptörün (X = kırmızı, Y = yeşil, Z = mavi) duyarlılık eğrilerini temel alarak XYZ tristimulus değerlerini tanımlamış ve böylece renklerin nicel olarak ifade edilmesini mümkün kılmıştır.

Bu gelişmelerin devamında CIE, 1976 yılında günümüzde en geniş uygulama alanına sahip renk uzaylarından biri olan CIELAB (L\*a\*b\*) sistemini geliştirmiştir (Sproull, 1973). Munsell sisteminde renk dağılımının eşit olmaması nedeniyle renkler arasındaki farkın doğru ve ölçülebilir şekilde ortaya konulması güçtür. CIELAB modeli ise bu sınırlılığı ortadan kaldırarak renk farklarının sayısal, objektif ve karşılaştırılabilir biçimde değerlendirilmesine olanak tanımıştır.

CIELAB renk uzayı, renklerin ilk kez tam anlamıyla matematiksel bir model içinde sayısal olarak tanımlanabildiği sistemlerden biridir. Yüksek doğruluk kapasitesi ve farklı aydınlatma koşulları altında güvenilir sonuç vermesi nedeniyle günümüzde renk ölçümünde en yaygın kullanılan yöntem haline gelmiştir. Bu modelde her renk üç boyutlu bir uzayda temsil edilir: L\* eksenini siyah ile beyaz arasındaki aydınlık değerini, a\* eksenini yeşil ile kırmızı arasındaki, b\* eksenini ise mavi ile sarı arasındaki renk bileşenlerini ifade eder (Joiner, 2004).

L\* değeri, Munsell sistemindeki “value” kavramı ile benzerlik gösterir ve yüzeyin parlaklığı ile ilgilidir. Bu ekseninde saf siyah L\* = 0, saf beyaz ise L\* = 100 değeriyle temsil edilir. a\* ekseninde pozitif değerler kırmızıya, negatif değerler yeşile eğilim gösterirken; b\* ekseninde pozitif değerler sarı tonlarını, negatif değerler ise mavi tonlarını ifade eder (Yoon ve ark., 2018).

Bu sistem aracılığıyla bir materyalin, restorasyonun veya doğal dışın renk özellikleri ile zaman içindeki renk değişimi ( $\Delta E$ ) sayısal olarak değerlendirilebilmektedir. CIELAB renk uzayında  $\Delta E$  (Delta E), iki farklı yüzey ya da materyal arasındaki renk farkını nicel olarak tanımlayan bir parametredir. Bu fark, renk ölçüm cihazlarından elde edilen L\*, a\* ve b\* değerleri arasındaki değişimlere dayanır ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (Wozniak ve ark., 1993).

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

Bu formülde  $L_0^*$ ,  $a_0^*$  ve  $b_0^*$  değerleri ilk renk ölçümünü,  $L_1^*$ ,  $a_1^*$  ve  $b_1^*$  değerleri ise ikinci ölçümde elde edilen renk verilerini ifade etmektedir. Renk bilimi alanındaki çalışmalarda, iki renk arasındaki farkın klinik olarak algılanabilir ya da kabul edilebilir olup olmadığını değerlendirmek amacıyla çeşitli eşik değerler (thresholds) tanımlanmıştır.

Hesaplanan  $\Delta E$  değerinin 0 olması, iki yüzey arasında herhangi bir renk farklılığının bulunmadığını göstermektedir (Johnston & Kao, 1989). Literatürde genel kabul gören değerlendirmeye göre  $\Delta E < 1$  değerleri gözle algılanamayacak düzeyde farkı ifade ederken;  $\Delta E$  değerinin 1–2 aralığında olması sınırlı derecede fark edilebilir bir değişimi işaret eder.  $\Delta E > 2$  değerleri ise iki yüzey arasındaki renk farkının görsel olarak belirgin biçimde algılandığını göstermektedir (Paul ve ark., 2002).

Gözün renk farklarını ayırt etme yetisi; materyalin parlaklık (value), doygunluk (chroma) ve ton (hue) özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle yalnızca parlaklık farklılıklarından kaynaklanan renk değişimleri insan gözü tarafından daha güç algılanırken, ton değişiklikleri genellikle daha kolay fark edilebilmektedir. Ancak CIELAB sisteminde kullanılan klasik  $\Delta E^*_{ab}$  formülünde bu değişkenlerin her biri eşit ağırlığa sahiptir. Bu nedenle, 2000 yılında uluslararası renk bilimciler tarafından insan gözünün gerçek renk algısına daha yakın sonuçlar verebilmek amacıyla CIEDE2000 ( $\Delta E_{00}$ ) renk farkı formülü geliştirilmiştir. Bu yeni modelde, renk algısını daha fazla etkileyen faktörlerin ağırlıkları yeniden düzenlenmiş ve böylece hesaplanan renk farkları görsel algı ile daha uyumlu hale getirilmiştir (Ghinea ve ark., 2010).

CIELAB  $\Delta E^*_{ab}$  ile CIEDE2000 formüllerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, rezin kompozit materyallerin polimerizasyon ve termal döngü (termosiklus) işlemleri sonrası meydana gelen renk değişimleri değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, iki formül arasında yüksek düzeyde korelasyon bulunduğunu göstermiştir. Ancak çalışma, parlaklık ( $L^*$ ), doygunluk (chroma) ve ton (hue) bileşenlerinin ayrı ayrı incelenmek istendiği durumlarda CIEDE2000 formülünün daha hassas ve dolayısıyla daha tercih edilebilir bir yaklaşım sunduğunu belirtmektedir (Lee, 2005).

CIEDE2000, hâlihazırda kullanılan en güncel ve geliştirilmiş renk farkı hesaplama yöntemidir ve aşağıdaki matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır (Irgın, 2024).

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

L', C' ve H' değerleri sırasıyla aydınlık (lightness), kroma (chroma) ve ton (hue) bileşenlerine karşılık gelen düzeltilmiş metrik farkları ifade etmektedir. CIEDE2000 formülünde bu düzeltilmiş parametreler, renk farkının insan gözünün algısına daha yakın bir doğrulukla hesaplanabilmesi amacıyla temel alınmaktadır. Formülde yer alan  $K_L S_L$ ,  $K_C S_C$  ve  $K_H S_H$  terimleri ise sırasıyla aydınlık, doygunluk ve ton bileşenlerine ilişkin ölçekleme (scaling) ve ağırlıklandırma katsayılarını temsil eder. Bu katsayılar, her bir renk koordinatında algısal dengesizlikleri düzenlemek üzere CIE tarafından belirlenen ampirik düzeltme faktörleri olarak kullanılmaktadır (Chu ve ark., 2017).

CIEDE2000 formülü, performansı ve CIELAB ile karşılaştırıldığında görsel değerlendirmelerle daha iyi uyumu nedeniyle CIE tarafından önerilmektedir (Paravina ve ark., 2019).

## 2.12 Diş Hekimliğinde Renk Ölçüm Yöntemleri

### 2.12.1 Görsel Renk Ölçümü

Klinik uygulamalarda görsel renk analizinde en sık kullanılan yöntem renk skalalarıdır. Ancak renk algısı büyük ölçüde subjektif ve psikofizyolojik bir süreç olduğundan, aynı hekimin farklı zamanlardaki renk seçimlerinde dahi tutarsızlıklar ortaya çıkabilmektedir (Chu ve ark., 2010). Görsel renk belirleme yönteminin doğruluğu; ışıklandırma koşullarının şiddeti ve spektral dağılımı, hekimin yaşı, cinsiyeti, klinik deneyimi, yorgunluk düzeyi, psikolojik durumu, kullanılan renk skalasının özellikleri, hastanın diş morfolojisi ve hekimin gözlem açısı gibi birçok dışsal ve bireysel faktörden etkilenmektedir (Sproull, 1973).

Dişlerdeki doğal renk dağılımı, özellikle kesici kenar ile servikal bölge arasında belirgin şekilde değişebildiğinden, doğru bir değerlendirme için dişin orta üçte birlik bölümünün referans alınması önerilmektedir. Ayrıca renk skalasının

dişin altına yerleştirilmesi gerekmektedir; çünkü benzer iki nesne yan yana konumlandırıldığında, optik yanılsama nedeniyle biri daha açık tonlu ve daha büyük algılanabilir ve bu durum renk seçimini olumsuz etkileyebilir. Renk tayini, eğitim ve klinik deneyimle gelişebilen bir yetkinlik olduğundan, hekimlerin bu alanda düzenli eğitim almaları önerilmektedir (Chu ve ark., 2010).

Günümüzde en yaygın kullanılan renk skalaları şunlardır:

- Vita Classic (Vita, Bad Säckingen, Almanya),
- Vitapan 3D-Master (Vita),
- Chromascop (Ivoclar-Vivadent, Schaan, LihtenŞtayn) (Chu ve ark., 2010).

Bununla birlikte renk skalaları yalnızca görsel bir rehber niteliği taşır. Doğal dişlerde bulunan floresans, opalesans ve mine translüsensitesi gibi kompleks optik özellikleri tam olarak yansıtamazlar. Ayrıca objektif ölçüm imkânı sunmamaları nedeniyle, yalnızca skalaya dayalı görsel renk seçimi birçok durumda yeterli doğrulukta sonuç vermemekte ve klinik açıdan sınırlı kalabilmektedir (Chu ve ark., 2010).

### **2.12.2 Cihazlarla Renk Ölçümü**

Dental yapıların veya restoratif materyallerin renk analizinde yalnızca görsel değerlendirme yöntemlerine başvurulması, subjektif algıya bağlı tutarsızlıklara neden olmakta ve çoğu durumda gerekli hassasiyetin sağlanmasını engellemektedir. Bu nedenle özellikle klinik uygulamalarda, renk seçiminin daha doğru, tekrarlanabilir ve ayrıntılı bir biçimde yapılabilmesi amacıyla günümüzde teknolojik renk ölçüm cihazlarından yararlanılmaktadır. Bu kapsamda en sık kullanılan cihazlar arasında:

- Kolorimetreler,
- Spektrofotometreler,
- Spektroradyometreler ve
- Dijital fotoğraf makineleri yer almaktadır (Joiner, 2004).

Bu cihazlar, renk değerlendirmesini sayısal verilere dayandırarak objektifleştirmekte ve böylece estetik restorasyonların klinik başarısını artırmaktadır.

### 2.12.2.1 Spektrofotometre

Spektrofotometreler, bir cismin yansıttığı veya ilettiği görünür dalga boyu aralığındaki radyant enerji miktarını yüksek hassasiyetle ölçebilen cihazlardır. Bu cihazlar, yüzeyden yansıyan ışığı belirli dalga boylarında analiz eder ve elde edilen spektral verileri referans beyaz yüzeyden yansıyan ışıkla karşılaştırarak materyalin renk özelliklerini hesaplar. Spektrofotometrelerin optik sistemi genellikle bir ışık kaynağı, monokromatör ve dedektörden oluşur. Cihaz içerisinde yer alan prizma veya ızgara (grating) sistemi, beyaz ışığı 10–20 nm aralıklarla bileşen dalga boylarına ayrıştırarak spektral dağılıma dönüştürür. Geniş dalga boyu aralığında ölçüm yapabilme yetenekleri sayesinde, insan gözünün ayırt edemediği ince renk farklılıklarının tespit edilmesine olanak tanır (Chu ve ark., 2010; Doğan & Yüzügüllü, 2011).

Klinik uygulamalarda kolorimetreler daha çok düz ve homojen yüzeylerde doğru sonuçlar verirken, diş yüzeylerinin kompleks ve kavisli morfolojisi nedeniyle spektrofotometreler daha güvenilir bir alternatif olarak tercih edilmektedir. Bu cihazlar, standartlaştırılmış koşullarda yüksek tekrarlanabilirlik ve doğruluk sunmalarına rağmen en önemli dezavantajları yüksek maliyetli olmalarıdır (Chu ve ark., 2010).

Bu doğrultuda geliştirilen sistemlerden biri de 2002 yılında yayımlanan VITA Easyshade spektrofotometresidir. Cihaz, fiberoptik kablo aracılığıyla ana üniteye bağlanan taşınabilir bir ölçüm probuna sahiptir. Yaklaşık 5 mm çapındaki prob, ölçüm sırasında diş yüzeyini çevreleyen halojen ışık kaynağı ile yüzeyi 0° açıda aydınlatır. Ölçüm sonuçları Vitapan Classical ve Toothguide 3D-Master renk sistemlerine göre dijital olarak raporlanmaktadır (Lagouvardos ve ark., 2009).

2008 yılında piyasaya sunulan ikinci nesil VITA Easyshade Compact, kablosuz ve taşınabilir yapısı sayesinde klinik uygulamalarda kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bu modelde halojen ışık kaynağı yerine LED teknolojisi tercih edilmiştir. Üretici firma, LED ışığın sabit spektral özellikleri sayesinde çevresel aydınlatmanın ölçüm sonuçları üzerindeki etkisinin en aza indirildiğini belirtmektedir. Cihaz, Vitapan Classical ve Toothguide 3D-Master skalalarına göre renk ölçümü yapabilmekte olup, ayrıca son 25 ölçümü hafızasında saklayabilmektedir.

2013 yılında geliştirilen VITA Easyshade Advance 4.0, renk belirleme süreçlerine daha yüksek dijital doğruluk ve operasyonel kolaylık kazandırmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu model; Vitapan Classical, Toothguide 3D-Master ve Linearguide 3D-Master renk sistemlerine göre ölçüm yapabilmekte ve son 30 ölçümü dahili hafızasında depolayabilmektedir.

Bu modelin ardından piyasaya sürülen VITA Easyshade V, teknolojik gelişmelere paralel olarak daha ileri özelliklerle donatılmıştır. Cihazın sahip olduğu bluetooth bağlantı özelliği, diş hekimi ile laboratuvar teknisyeni arasında doğrudan veri aktarımını mümkün kılarak iletişimi hızlandırmakta ve restoratif süreçlerde zaman kaybını azaltmaktadır. Bu yenilik, dijital diş hekimliği uygulamalarında entegrasyonu güçlendirmekte ve estetik restorasyonların daha doğru ve uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır.

#### **2.12.2.2 Dijital Kameralar ve Görüntüleme Yöntemleri**

Diş renginin belirlenmesinde dijital görüntüleme sistemlerinin kullanımı, son yıllarda giderek artan bir yaygınlık kazanmıştır. Bu sistemlerde kullanılan kameranın teknik özellikleri ile görüntü işleme yöntemleri, elde edilen renk verilerinin doğruluğunu ve değerlendirme hassasiyetini doğrudan etkilemektedir. Literatürde, uygun standardizasyon protokollerinin uygulanması koşuluyla dijital kameraların, hem diş hem de çevre yumuşak dokuların renginin belirlenmesinde güvenilir bir alternatif oluşturabileceği bildirilmektedir (Liberato ve ark., 2019).

Dijital kameralar, bir objeden yansıyan kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) ışık bileşenlerini algılayarak görüntü üretir. Bu RGB sinyalleri, uluslararası standart renk değerlendirme sistemi olan CIE XYZ renk uzayına dönüştürülür. Bu dönüşüm sürecinde kameranın renk algısının CIE sistemine uyum derecesi belirlenir ve bu işlem “kamera karakterizasyonu” olarak adlandırılır (Paravina ve ark., 2004). Kamera karakterizasyonu, dijital görüntüleme sistemlerinde renk doğruluğunu sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Renk stabilitesini artırmak ve aydınlatma koşullarını standardize etmek amacıyla çeşitli yardımcı ekipmanlar geliştirilmiştir. Gri referans kartları ve dijital kamera sistemlerine entegre edilen difüzörler, ışık kaynaklı hataların minimize edilmesine ve diş renginin daha güvenilir şekilde belgelenmesine katkıda bulunmaktadır. Ancak akıllı telefon kameraları ile elde edilen görüntülerde aynı düzeyde aydınlatma kontrolü ve renk sabitlemesi sağlanamadığından, bu cihazların

görsel tutarlılık açısından daha düşük doğruluk sunduğu rapor edilmektedir (Sampaio ve ark., 2019; Tam & Lee, 2017).

### **2.12.2.3 Spektrometre**

Bir radyometre, optik radyasyonu ölçmek amacıyla kullanılan bir cihazdır ve numunenin fiziksel ile optik özelliklerini değerlendirmek için çeşitli radyometrik büyüklüklerden yararlanır. Renk görünümünün analizi sırasında özellikle iki parametre önem kazanmaktadır: ışıyım (irradiance) ve parlaklık/radyans (radiance). Radiance, irradiance'tan farklı olarak, bir yüzeye gelen toplam enerjiyi değil, belirli bir yönde bir kaynaktan yayılan ya da yüzeyden yansıyan enerji yoğunluğunu, birim alan ve birim açı başına ifade eder. Spektral parlaklık (spectral radiance) ise bu ölçümün dalga boyu temelinde nasıl değiştiğini göstermektedir.

Spektrometreler, bu tür spektral ölçümleri yüksek hassasiyetle ve numuneye temas etmeden gerçekleştirebilen cihazlardır. Görsel değerlendirme geometrileriyle uyumlu çalışma prensipleri ve ayrıntılı spektral veri sağlayabilme kapasiteleri nedeniyle, diş hekimliğinde renk analizlerinde en güvenilir ölçüm araçlarından biri olarak kabul edilmektedir (Gasparik ve ark., 2015).

Renk ölçüm cihazı seçilirken dikkate alınması gereken pek çok faktör bulunmaktadır. Analiz sırasında spektral veriye ihtiyaç duyulmayan ve optik özellikleri benzer materyallerin değerlendirileceği durumlarda kolorimetreler, spektrometreler veya görüntüleme tabanlı sistemler tercih edilebilir. Ancak bu cihazların çoğunun CIE standart aydınlatıcıları ve standart gözlemci (observer) fonksiyonlarına göre tasarlandığı unutulmamalıdır.

Buna karşın, diş hekimliğinde karşılaşılan pek çok durum detaylı spektral veri gerektirmektedir. Spektral veri sağlamanın en önemli avantajı, materyalin optik tutarlılığına ilişkin güvenilir bilgi sunması ve kolorimetrik değerlerin daha doğru hesaplanmasını mümkün kılmasıdır. Ayrıca spektral analiz, metamerizm gibi klinik açıdan kritik problemlerin tespit edilmesinde de büyük önem taşımaktadır (Della Bona, 2020).

### **2.12.2.4 Kolorimetreler**

Bu cihazlar, insan gözünün retinadaki fotoreseptörlerinin çalışma prensibini taklit edecek şekilde tasarlanmıştır. Cihaz içinde kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) olmak üzere üç temel renk filtresi bulunur. Yüzeyden yansıyan ışık bu filtrelerden

geçirilerek analiz edilir ve böylece incelenen materyalin renk özellikleri fiziksel olarak değerlendirilebilir.

Renk ölçümünde çoğunlukla CIELAB renk uzayı kullanılmaktadır. Bu sistemde ölçüm sonucunda elde edilen  $L^*$  (aydınlık değeri),  $a^*$  (kırmızı–yeşil eksen) ve  $b^*$  (sarı–mavi eksen) parametreleri sayesinde renkler sayısal olarak ifade edilebilir; bu da farklı zamanlarda yapılan ölçümlerin matematiksel olarak karşılaştırılmasını mümkün kılar.

Bununla birlikte, kolorimetrelerin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Özellikle eğimli veya düzensiz yüzeylerde yapılan ölçümlerde doğruluk azalabilmektedir. Diş yüzeylerinin çoğunlukla düz olmaması, bu cihazların klinik koşullarda kullanımını sınırlayan önemli bir faktördür. Ayrıca cihazın yerleştirilme açısı, aydınlatma koşulları, mevcut renklemeler, çürükler veya mine-dehidratasyonu gibi biyolojik değişkenler de kolorimetre ile elde edilen ölçümlerin doğruluğunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Sarıkaya & Güler, 2009).

#### **2.12.2.5 Ağız İçi Tarayıcılar**

Ağız içi dijital tarayıcılar (TRIOS 3; 3Shape, CEREC AC Omnicam; Dentsply Sirona, CS 3500; Carestream Dental ve diğerleri), dental arkların dijital olarak taranmasında gün geçtikçe daha yaygın şekilde kullanılmaktadır (Rutkūnas ve ark., 2020). Başlangıçta yalnızca dijital ölçü alımı amacıyla geliştirilen bu tarayıcılar, günümüzde bazı modellerde diş rengi tayinine yönelik entegre modüllerle desteklenmiştir. Bu sistemler, yüksek çözünürlüklü dijital kameralar ile çalışmakta olup ışık kaynağı olarak çoğunlukla LED (Light Emitting Diode) teknolojisini kullanmaktadır.

Tarama işlemi sonrasında, cihaz yazılımı dişin rengini analiz ederek çoğunlukla renk parametrelerinden ziyade VITA renk skalasına dayalı bir sonuç sunmaktadır. Bu şekilde belirlenen renk tonu hem restorasyonun laboratuvar aşamasında kullanılmakta hem de dijital ölçü verileriyle birlikte tedavi planlamasına entegre edilmektedir (Fattouh ve ark., 2021).

Bazı renk ölçüm cihazları diş rengini yalnızca tek bir ton kodu (örneğin A1, A2 gibi) ile ifade ederken, ağız içi dijital tarayıcılar dişin rengini çok daha ayrıntılı ve bölgesel olarak analiz edebilme kapasitesine sahiptir (Liu ve ark., 2019). Bu tarayıcılar yalnızca renk ölçümü yapmakla kalmayıp diş yüzeyine ait üç boyutlu verileri de eşzamanlı olarak toplayabilmektedir. Bununla birlikte, cihazın teknik

sınırlılıkları ve çevresel faktörler, renk eşleştirme doğruluğunu etkileyebilen unsurlardır.

Ağız içi tarayıcıların spektrofotometre ve kolorimetre gibi cihazlarla karşılaştırıldığı çalışmalarda, bazı tarayıcıların VITA 3D-Master renk skalasına göre daha yüksek uyum sağladığı bildirilmiştir. Buna karşılık, *CIELAB* ( $L$ ,  $a$ ,  $b^*$ ) koordinat sistemi temel alındığında ölçümler arasında belirgin farklar bulunduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (Liberato ve ark., 2019; Yoon ve ark., 2018).

Ağız içi tarayıcıların sahip olduğu yüksek çözünürlüklü kameralar, LED ışık kaynakları ve gelişmiş renk analiz yazılımları sayesinde, spektrofotometrelerle karşılaştırılabilir doğrulukta renk ölçüm sonuçları elde edilebildiği; hatta görsel yöntemlere kıyasla daha üstün performans gösterdikleri çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Moussaoui ve ark., 2018; Reyes ve ark., 2019). Bu sistemlerin bir diğer önemli avantajı, renk değerlendirmesinin operatörün kişisel yargılarından veya klinik deneyim düzeyinden etkilenmemesi nedeniyle daha objektif sonuçlar sunmalarıdır (Reyes ve ark., 2019).

Bununla birlikte, VITA Classical veya 3D-Master renk skalalarını kullanan bazı ağız içi tarayıcılarla yapılan renk tayinlerinin, aydınlatma koşullarındaki değişikliklerden (örneğin 10.000, 1.000, 500 ve 0 lux) etkilenebildiği bildirilmiştir (Tabatabaian ve ark., 2021). Buna karşılık, VITA 3D-Master skalasına dayalı görsel yöntemler ile Easyshade Compact ve TRIOS gibi dijital sistemlerin 4000 K ve 6500 K gibi farklı renk sıcaklıklarında yapılan ölçümlerde anlamlı düzeyde etkilendiğini gösteren çalışmalar da mevcuttur (Revilla - León ve ark., 2021).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan 3Shape TRIOS ağız içi tarayıcısı, fotoğrafik sistem ile “ultra hızlı optik kesitleme” teknolojisini bir arada kullanmaktadır. Bu teknoloji, konfokal mikroskopinin yapılandırılmış ışık projeksiyonu ile birleştirilmesiyle seçilen derinliklerden yüksek netlikte görüntü elde edilmesini sağlar ve her bir pikselin kontrast bilgisini odak düzlemi konumuyla karşılaştırarak üç boyutlu yüzey verisine dönüştürür (Revilla - León ve ark., 2021; Schaefer ve ark., 2014). Bu yöntemle diş yüzeyinin ayrıntılı 3D bilgisi elde edilir ve diş renginin fotogerçekçi bir dijital kopyası oluşturulur (Mehl ve ark., 2017). Böylece renk eşleştirme süreci daha basitleşir ve hem klinisyenler hem de laboratuvar teknisyenleri için daha kolay yönetilebilir hale gelir.

TRIOS 3 tarama cihazında renk kalibrasyonu tamamlandıktan sonra, dijital tarama sırasında kullanılan “renk analiz” modu aracılığıyla hem VITA Classical hem de VITA 3D-Master renk skalalarına ait değerler eş zamanlı olarak görüntülenebilmektedir. Ölçümlerin doğruluğunu artırmak için tarama öncesinde cihazın kalibrasyonunun güncellenmesi önerilmektedir.

Vita Easyshade V spektrofotometresi referans alınarak gerçekleştirilen bir çalışmada TRIOS3, TRIOS4 ve görsel yöntemlerin doğruluk (trueness) ve tekrarlanabilirlik performansları karşılaştırılmış; TRIOS3 cihazının renk belirlemede görsel yönteme kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığı bildirilmiştir (Huang ve ark., 2022). Bununla birlikte, aynı çalışmada TRIOS3’ün insizal bölgelerdeki renk ölçüm doğruluğunun, servikal ve orta bölgelerdeki doğruluğa göre daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Diş hekimliğinde renk ölçümünde sıklıkla kullanılan spektrofotometrelerle TRIOS3 cihazının karşılaştırıldığı başka bir çalışmada ise, her iki cihazın tekrarlanabilirlik düzeylerinin benzer olduğu ve yüksek tekrarlanabilirlik gösterdikleri rapor edilmiştir (Rutkūnas ve ark., 2020).

#### **2.12.2.6 Adobe Photoshop Yazılımının Kullanımı**

Alternatif bir yöntem olarak, yazılım destekli dijital görüntüleme kullanılarak renk değerleri nicel biçimde analiz edilebilmektedir. Bu yaklaşımda, incelenen örneğe ait dijital görüntü üzerinden hem görsel belgelendirme sağlanmakta hem de yazılım aracılığıyla sayısal renk verileri elde edilmektedir. Dijital fotoğrafın CIELAB renk uzayına dönüştürülmesiyle  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  parametreleri hesaplanmakta; bu parametrelerden renk farkı ( $\Delta E$ ) veya renk stabilitesi gibi renk özellikleri türetilmektedir.

Bu yöntem, ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, ABD) ve Adobe Photoshop (Adobe Inc., San Jose, CA, ABD) gibi çeşitli görüntü analiz yazılımları kullanılarak uygulanabilmektedir (Annisa ve ark., 2023). ImageJ, renk değerlerinin ölçümünde hızlı, nesnel ve tekrarlanabilir bir teknik sunarken; Adobe Photoshop yazılımı da CIELAB renk sistemini desteklemesi sayesinde grafik tabanlı renk analizlerinde etkili bir araç olarak kullanılabilir.

Dijital cihazlarla gerçekleştirilen renk ölçümleri, çevresel koşullar veya gözlemcinin deneyimi gibi öznel değişkenlerin etkisini azaltarak renk seçimi sürecinde daha standart bir değerlendirme sağlamaktadır (Da Silva ve ark., 2008).

Görüntüleme teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte bilgisayar destekli dijital görüntüleme ve dijital araçsal yöntemlere yönelik ilgi giderek artmaktadır (Chu ve ark., 2010). Nitekim bazı araştırmacılar intraoral tarayıcılardan elde edilen kayıtların ekran görüntülerini Adobe Photoshop yazılımına aktararak renk analizlerini gerçekleştirmiş ve bilgisayar destekli dijital renk analizlerinin diş rengi belirlemesinde güvenilir bir yöntem olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, dijital görüntülere dayalı analizlerin, kullanılan kamera sisteminin ve görüntü işleme sürecinin kalitesine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği; bu nedenle kapsamlı bir kalibrasyon protokolünün gerekliliği de vurgulanmıştır (Yoon ve ark., 2018).

### **2.13 Diş Renginin Oluşumu ve Klinik Önemi**

Diş rengi, diş sert dokularının morfolojik ve optik özelliklerinin karmaşık etkileşimiyle ortaya çıkar. Dişin en dış tabakası olan mine, translusent bir yapıya sahiptir ve alttaki dentin dokusunun rengini kısmen yansıtır. Mine kalınlığı, mineralizasyon düzeyi ve yüzey pürüzlülüğü ışığın yansıma ve absorpsiyonunu etkileyerek dişin genel görünümünü belirler (Joiner, 2004). Özellikle mine translusensisi arttıkça dentin renginin etkisi daha belirgin hale gelir.

Klinik açıdan hastaların estetik algısında en belirleyici unsur “value”, yani rengin açıklık derecesidir. Bu nedenle açıklıktaki küçük değişiklikler bile hastalar tarafından fark edilebilen belirgin estetik farklılıklara yol açabilir (Paravina ve ark., 2015).

Klinik açıdan diş renginin önemi günümüzde giderek artmaktadır. Özellikle ortodonti ve restoratif diş hekimliğinde, yalnızca fonksiyonel değil aynı zamanda estetik beklentiler de tedavi başarısını belirleyen temel unsurlardan biridir. Çalışmalar, hastaların tedavi memnuniyetinde diş rengi ve gülümseme estetiğinin oklüzyon kadar önemli olduğunu göstermektedir (Alkhatib ve ark., 2005; Samorodnitzky-Naveh ve ark., 2007).

Diş renginde değişiklikler, bireylerde estetik kaygılara yol açmanın yanı sıra sosyal iletişim ve psikolojik durum üzerinde de etkilidir. Özellikle genç erişkinlerde diş rengindeki küçük farklılıklar bile özsaygıyı ve sosyal etkileşimi olumsuz yönde etkileyebilir (Alkhatib ve ark., 2005). Bu nedenle klinisyenler, ortodontik ya da protetik tedavi planlarken yalnızca fonksiyonel iyileşmeyi değil, diş renginin korunmasını da göz önünde bulundurmalıdır.

Diş rengini etkileyen faktörler genel olarak iç kaynaklı, dış kaynaklı, sistemik ve dental materyal ilişkili etkenler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, renk değişimlerinin etyolojisini anlamak ve klinik yaklaşımları doğru yönlendirmek açısından önemlidir (Joiner, 2004; Watts & Addy, 2001). Günümüzde estetik beklentilerin artması, bu faktörlerin klinik sonuçlarının yalnızca estetik açıdan değil, aynı zamanda hasta memnuniyeti ve tedavi planlaması açısından da kritik rol oynadığını göstermektedir (Alkhatib ve ark., 2005; Samorodnitzky-Naveh ve ark., 2007).

Ortodontik tedaviler sırasında diş rengini etkileyen içsel faktörler, çoğunlukla pulpa ve dentin kompleksi ile ilişkilidir. Dentin yapısındaki mineralizasyon düzeyi, sekonder dentin oluşumu ve yaşa bağlı pulpada meydana gelen volüm azalması, dişin daha koyu veya daha sarı görünmesine neden olan temel iç değişikliklerdir (Sharma ve ark., 2005). Travma, ortodontik kuvvetlerin aşırı uygulanması veya inflamatuvar pulpal yanıtlar da iç kaynaklı renk değişimlerinin önemli nedenleri arasındadır. Özellikle yüksek ortodontik kuvvet uygulamalarının pulpal kan akımını geçici olarak azaltabildiği ve bunun kısa süreli opaklık artışı veya koyulaşma ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Barwick & Ramsay, 1996). Bu nedenle iç kaynaklı renk değişimlerinde hem bireyin biyolojik yanıt kapasitesi hem de uygulanan kuvvetin şiddeti belirleyici rol oynamaktadır.

Dışsal faktörler, ortodontik tedavilerde diş renginde en sık karşılaşılan değişim mekanizmalarından biridir. Braketler, adezivler, elastomerikler ve ortodontik apareylerin plastik bileşenleri, zamanla renklenmeye yatkın polimer yapılar içerdiği için yüzeyde renk değişimine neden olabilir (Paravina ve ark., 2015). Ortodontik braketlerin yarattığı retansiyon bölgeleri nedeniyle plak birikimi artar ve bu durum dış kaynaklı pigmentlerin (çay, kahve, kırmızı şarap, kola, nikotin) diş yüzeyinde daha kolay tutulmasına neden olur (Joiner, 2004). Ayrıca ağız ortamındaki pH değişimleri, mine yüzeyinin mikropürüzlülüğünü artırarak dışsal pigmentlerin adsorpsiyonunu kolaylaştırabilir. Ortodontik tedavi gören bireylerde bu nedenle plak kontrolü eksikliği en yaygın dış kaynaklı renk değişimi sebebidir.

Sistemik faktörlere bağlı renk değişimleri daha nadir görülmekle birlikte, ortodontik tedavi sırasında diş rengini etkileyebilecek önemli biyolojik mekanizmalardır. Tetrasiklin kullanımına bağlı dentin içi bant şeklinde renklenme, fluorozis, hipomineralizasyon ve metabolik bozukluklar sistemik faktörlere

örnektir ve diş rengini doğrudan etkileyen yapısal değişiklikler oluşturur (Sharma ve ark., 2005). Pubertal dönem boyunca hormon düzeylerindeki değişimlerin periodontal dokuların vaskülarizasyonunu etkileyerek dolaylı yoldan renk algısını değiştirebileceği de belirtilmiştir (Joiner, 2004). Bu tür sistemik etkiler ortodontik tedavi sürecinde kontrol edilemez. Ancak bunların varlığının doğru şekilde tanımlanması tedavi sonrası estetik beklentiler açısından önem taşır.

Ortodontik materyallerin kimyasal yapısı, diş renginde meydana gelen değişimlerin en önemli dışsal bileşenlerinden biridir. Kompozit rezinler, adeziv sistemler ve braket bazındaki polimer içerikler, su absorpsiyonu ve yüzey yaşlanması nedeniyle zamanla renklenme eğilimi gösterebilir. Ayrıca bonding prosedürü sırasında mine yüzeyinin asitle pürüzlendirilmesi, minerallerin çözünmesi ve yüzey pürüzlülüğünün artması sonucu renk tutuculuğu artabilir (Joiner, 2004). Sabit ortodontik tedavide kullanılan reçine esaslı adezivlerin renk stabilitesinin ışık kaynağı, polimerizasyon süresi ve materyalin kimyasal yapısına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle ortodontik tedavide kullanılan materyallerin optik stabilitesi, özellikle tedavi sonrası estetik memnuniyet açısından kritik bir faktördür.

Sistemik faktörlere bağlı renk değişimleri daha nadir görülmekle birlikte, ortodontik tedavi sırasında diş rengini etkileyebilecek önemli biyolojik mekanizmalardır. Tetrasiklin kullanımına bağlı dentin içi bant şeklinde renklenme, fluorozis, hipomineralizasyon ve metabolik bozukluklar sistemik faktörlere örnektir ve diş rengini doğrudan etkileyen yapısal değişiklikler oluşturur (Sharma ve ark., 2005). Pubertal dönem boyunca hormon düzeylerindeki değişimlerin periodontal dokuların vaskülarizasyonunu etkileyerek dolaylı yoldan renk algısını değiştirebileceği de belirtilmiştir (Joiner, 2004). Bu tür sistemik etkiler ortodontik tedavi sürecinde kontrol edilemez. Ancak bunların varlığının doğru şekilde tanımlanması tedavi sonrası estetik beklentiler açısından önem taşır.

Ortodontik materyallerin kimyasal yapısı, diş renginde meydana gelen değişimlerin en önemli dışsal bileşenlerinden biridir. Kompozit rezinler, adeziv sistemler ve braket bazındaki polimer içerikler, su absorpsiyonu ve yüzey yaşlanması nedeniyle zamanla renklenme eğilimi gösterebilir (Paravina ve ark., 2015). Ayrıca bonding prosedürü sırasında mine yüzeyinin asitle pürüzlendirilmesi, minerallerin çözünmesi ve yüzey pürüzlülüğünün artması sonucu renk tutuculuğu artabilir (Joiner, 2004). Sabit ortodontik tedavide kullanılan reçine esaslı

adezivlerin renk stabilitesinin ışık kaynağı, polimerizasyon süresi ve materyalin kimyasal yapısına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle ortodontik tedavide kullanılan materyallerin optik stabilitesi, özellikle tedavi sonrası estetik memnuniyet açısından kritik bir faktördür.

Diş renginin belirlenmesinde en kritik unsurlar mine ve dentinin optik özellikleridir. Mine yüksek derecede mineralize hidroksiapatit prizmalarından oluşmasına rağmen, translusent yapısı nedeniyle rengi doğrudan belirlemez. Altındaki dentin tabakasının tonunu geçirgenlik yoluyla dışarı yansıtır. Bu nedenle mine daha çok ışığın yansıma ve kırılma davranışını etkilerken, temel renk tonunu belirleyen asıl doku dentindir (Joiner, 2004). Dentin ışığı daha fazla absorbe eden organik matrikse sahip olduğu için sarımsı bir alt ton sağlar ve bu alt ton mine kalınlığına, dentin yapısının mineralizasyon derecesine ve yaşa bağlı dentin sekonder yapımına göre değişiklik gösterebilir (Paravina ve ark., 2015). Mine kalınlığının azalması, dentin geçirgenliğinin artması veya minesel opasitenin değişmesi gibi faktörler dişin daha koyu veya sarı görünmesine neden olabilir. Bu biyolojik yapılar birlikte değerlendirildiğinde, diş renginin tek bir dokudan değil, ışığın mine ve dentin kompleksinde uğradığı çoklu optik etkileşimlerin toplamından oluştuğu anlaşılr (Sharma ve ark., 2005).

Dişin doğal renginin optik bileşenlerinin anlaşılması klinik estetik değerlendirme açısından büyük önem taşır. Translusensi, mine ve dentinin ışığı ne ölçüde geçirdiğini belirler ve özellikle insizal bölgede dişin doğal ışıltısını oluşturur. Opasite ise ışığın dokuda ne kadar dağıldığını ve geri yansıdığını belirleyerek dişin mat ya da parlak algısını şekillendirir (Joiner, 2004). Kromatik ton ve satürasyon, dentin pigmentasyonu ve mineralizasyon düzeyi ile ilişkilidir. Yaşla birlikte dentin sekonder kalınlığının artması genellikle daha sarı ve daha doymun bir renk tonuna yol açar (Paravina ve ark., 2015). Estetik restorasyonların başarısında bu üç parametrenin doğru şekilde değerlendirilmesi kritik önem taşır. Çünkü aynı  $L^*$  değeriyle ölçülen iki dişin farklı translusensi veya opasite düzeylerine bağlı olarak klinik görünümü tamamen farklılaşabilir (Sharma ve ark., 2005). Bu nedenle diş renginin optik bileşenleri yalnızca estetik açıdan değil, renk analizinin bilimsel doğruluğu açısından da temel belirleyicilerdir.

Diş renginin estetikteki rolü hem hasta algısını hem de klinik tedavi kararlarını doğrudan etkiler. Estetik beklentilerin yüksek olduğu modern toplumlarda, diş rengindeki küçük değişiklikler bile kişinin özsaygısı, sosyal

etkileşimleri ve psikolojik durumu üzerinde belirgin etkiler oluşturabilir. Diş hekimliğinde estetik değerlendirme yalnızca kozmetik bir unsur değil, aynı zamanda tedavi planlamasının temel bir bileşenidir. Renk değişiminin nedeninin içsel mi yoksa dışsal mı olduğunu belirlemek, doğru tedavi modalitesinin seçilmesi açısından kritiktir. Mine kaynaklı yüzey renklenmeleri daha çok dış etkenlere bağlıdır. Dentin kaynaklı renk değişimleri genellikle travma, yaşlanma veya pulpal olaylarla ilişkilidir (Sharma ve ark., 2005). Ortodontik tedavilerde kullanılan braketler, adezivler ve genişletme apareyleri gibi materyallerin oluşturduğu renk değişiklikleri de klinik estetiği etkileyebilir ve tedavi sonrası hasta memnuniyetini belirleyen önemli bir faktör haline gelir (Paravina ve ark., 2015). Bu nedenle diş rengi yalnızca estetik bir kavram değil, tedavi planlaması ve sonuçların objektif değerlendirilmesi açısından da kritik bir parametredir.

#### **2.14 Literatürde HÜÇG ve Diş Rengi İlişkisi**

Ortodontik tedavi sırasında kullanılan apareyler, braketler ve adeziv materyaller, dişlerin yüzey özelliklerini değiştirerek renklenmeye neden olabilir. Bu renk değişiklikleri genellikle estetik kaygılar yaratır ve tedavi sonrası hasta memnuniyetini olumsuz etkileyebilir (Eliades ve ark., 2001; Niknam ve ark., 2023).

Sabit ortodontik tedavilerde kullanılan braketler, kompozit rezinler ve adeziv sistemlerin diş yüzeyinde renk değişimine neden olabileceği literatürde iyi belgelenmiştir. Kompozit materyaller, su absorpsiyonu ve polimer matriksin yaşlanması nedeniyle zamanla renklenmeye eğilimlidir ve bu durum özellikle uzun süre ağız ortamında kalan adeziv kalıntılarının daha belirgin renk değişimleri oluşturmaya yol açabilir (Paravina ve ark., 2015). Braketlerin yarattığı plak retansiyon bölgeleri de dışsal pigmentlerin (kahve, çay, şarap, nikotin) diş yüzeyine daha kolay bağlanmasına zemin hazırlar (Joiner, 2004). Sabit tedavi sonrası yapılan renk analizlerinde, braket çevresindeki mine yüzeyinin daha sarı ve daha düşük L\* değerine sahip olduğu bildirilmiştir (Sharma ve ark., 2005). Bu bulgular, ortodontik tedavilerde kullanılan materyallerin diş rengi üzerine olan etkilerinin göz ardı edilemeyeceğini ve genişletme tedavileri gibi uzun süreli aparey kullanımını içeren süreçlerde bu etkinin daha belirgin olabileceğini düşündürmektedir.

Pekiştirme döneminde kullanılan Hawley, essix retainer veya damaklı akrilik apareylerin diş rengi üzerine etkileri literatürde doğrudan çok kapsamlı incelenmemiş olsa da mevcut veriler bu apareylerin yüzey mikroyapısını ve ağız içi

ekosistemi etkileyerek dolaylı olarak renk değişimine katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Essix tipi şeffaf plakların yüzeyinde zamanla oluşan mikropürüzlülük, plak birikimini kolaylaştırarak dışsal pigmentlerin mine yüzeyine daha fazla tutunmasına neden olabilir (Joiner, 2004). Akrilik plak materyalinin su absorpsiyonu ve mikrobiyal kolonizasyonu, hem apareyin hem de temas ettiği diş yüzeyinin renk stabilitesini etkileyebilir (Paravina ve ark., 2015). Ayrıca uzun süreli retansiyon apareyi kullanımı sırasında oral hijyenin yetersiz olması, mine yüzeyine yapışan pigment miktarını artırarak diş renginin koyulaşmasına yol açabilir. Bu nedenle pekiştirme dönemindeki aparey seçimi, kullanım süresi ve hijyen protokolleri diş rengi stabilitesinin korunmasında önemli klinik faktörlerdir.

Hızlı üst çene genişletmesinin diş rengi üzerine doğrudan etkisini inceleyen yayın sayısı sınırlıdır; ancak genişletme sırasında oluşan biyomekanik ve biyolojik süreçler, diş renginde değişiklik oluşabileceğini düşündürmektedir. HÜÇG sırasında dişlere iletilen kuvvetler periodontal ligamentte basınç ve gerilim bölgeleri oluşturur ve bu durum pulpal kan akımında geçici değişikliklere yol açabilir. Barwick ve Ramsay'ın pulpal hemodinami üzerine yaptıkları çalışma, ortodontik kuvvetlere bağlı geçici vasküler değişimlerin mine ve dentin kompleksi üzerinde kısa süreli optik değişiklikler oluşturabileceğini göstermektedir (Barwick & Ramsay, 1996). Ayrıca genişletme apareylerinin damak bölgesinde yarattığı örtücülük, ağız içi nem dengesini etkileyerek mine yüzeyinin hidrasyon durumunu değiştirebilir; bu durum L\* değerlerinde geçici dalgalanmalara neden olabilir (Joiner, 2004).

HÜÇG tedavisinde kullanılan bantlı veya akrilik tabanlı apareylerin yüzey pürüzlülüğü ve plak retansiyonu üzerinde etkili olduğu bilindiğinden, bu bölgelerde pigment birikimine bağlı dışsal renk değişimleri görülebilir (Paravina ve ark., 2015). Akrilik rezin materyallerinin su absorpsiyonu ve mikrobiyal kolonizasyona yatkınlığı, damaklı aparey taşıyan hastalarda hem aparey hem de diş yüzeyinde renk farklılaşmasına zemin hazırlayabilir. Dolayısıyla mevcut literatür, HÜÇG'nin diş rengi üzerine etkisinin dolaylı yollarla ortaya çıktığını; bunun pulpal vasküler değişiklikler, materyal kaynaklı renklenme ve ağız içi ekosistem değişiklikleri gibi mekanizmalarla ilişkili olabileceğini göstermektedir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Çalışma Grubu

Çalışmamızın gerçekleştirilebilmesi için, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 2024/353 karar numarası ile etik onayı alınmıştır (EK-1). Hastalara ve velilerine çalışma hakkında bilgi verilmiş, çalışmaya dahil olmayı kabul edenlere, bilgilendirilmiş gönüllü olur formu imzalatılarak çalışmaya başlanılmıştır (EK-2).

Bu çalışma, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'na başvuran ve maksiller transversal iskeletsel darlık tanısı alan toplam 60 hasta üzerinde yürütülmüştür. Hastalar üç gruba ayrılmıştır:

- Grup 1 (Hyrax, n=20): Hyrax tipi banded hızlı üst çene genişletme apareyi ile tedavi edilen hastalar.
- Grup 2 (Bonded akrilik cap splint, n=20): Bonded akrilik cap splint hızlı üst çene genişletme apareyi ile tedavi edilen hastalar.
- Grup 3 (Kontrol, n=20): Herhangi bir genişletme tedavisi uygulanmayan kontrol grubu.

Çalışmada her hastanın sağ ve sol yarım arkından üst santral, üst birinci premolar ve üst birinci molar olmak üzere toplam 360 diş değerlendirmeye dâhil edilmiştir.

#### **Çalışma grupları (Grup 1 ve 2 ) için dahil edilme kriterleri:**

- Daimî dişlenme döneminde bulunmak,
- Transverseal iskeletsel maksiller darlık tanısı konmuş ve ortodontik genişletme tedavisi endike olmak,
- Son 3 ay içerisinde antibiyotik ve/veya antimikrobiyal gargara kullanmamış olması,
- Daha önce ortodontik tedavi görmemiş olmak,
- Sistemik hastalığı bulunmamak,
- Ağız hijyeninin yeterli seviyede olması,
- Araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul edip veli/yasal vasiden yazılı onam alınmış olmak,
- Tedavi ve ölçüm seanslarına düzenli katılım sağlayabilecek olmak.

#### **Hariç tutulma kriterleri:**

- Daha önce ortodontik tedavi, özellikle maksiller genişletme tedavisi görmüş olanlar,
- Dudak-damak yarığı ya da diğer kraniofasiyal anomalilere sahip bireyler,
- Şiddetli periodontal hastalığı bulunanlar,
- Diyabet, kalp hastalığı, koagülopati vb. sistemik hastalık öyküsü olanlar,
- Mine hipoplazisi, fluorozis, yaygın çürük veya geniş restorasyon varlığı nedeniyle spektrofotometre ile doğru ölçüm yapılmasına engel teşkil eden bireyler,
- Oral hijyen alışkanlığı yetersiz ve tedavi uyumu düşük olanlar,
- Retansiyon fazını tamamlamadan tedaviyi yarıda bırakanlar,
- Düzenli kontrol randevularına katılım göstermeyenler,
- Tedavi sürecinde antibiyotik, sistemik kortikosteroid gibi mine rengi ölçümlerini etkileyebilecek ilaç kullanan bireyler.

#### **Kontrol Grubu (Grup 3) İçin Dahil Edilme Kriterleri**

- Daimî dişlenme döneminde bulunmak,
- Çalışma süresi boyunca herhangi bir ortodontik aparey veya ortopedik tedavi uygulanmamış olmak,
- Son 3 ay içerisinde antibiyotik ve/veya antimikrobiyal gargara kullanmamış olmak,
- Daha önce ortodontik tedavi görmemiş olmak,
- Sistemik hastalığı bulunmamak,
- Ağız hijyeninin yeterli seviyede olması,
- Spektrofotometrik ölçümleri etkileyebilecek geniş restorasyon, yaygın çürük veya belirgin mine defekti bulunmamak,
- Araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul etmek ve veli/yasal vasiden yazılı onam alınmış olmak,
- Ölçüm seanslarına düzenli katılım sağlayabilecek olmak.

### **Kontrol Grubu (Grup 3) İçin Hariç Tutulma Kriterleri**

- Daha önce ortodontik veya ortopedik tedavi görmüş olmak,
- Dudak-damak yarığı veya diğer kraniofasiyal anomalilere sahip olmak,
- Şiddetli periodontal hastalık varlığı,
- Diyabet, kalp hastalığı, koagülopati gibi sistemik hastalık öyküsü bulunması,
- Mine hipoplazisi, fluorozis, yaygın çürük veya spektrofotometrik ölçümü etkileyebilecek restorasyon varlığı,
- Oral hijyen alışkanlığı yetersiz olan bireyler,
- Çalışma süresi boyunca antibiyotik, sistemik kortikosteroid veya diş rengi ölçümlerini etkileyebilecek ilaç kullanımı,
- Ölçüm zamanlarında ( $T_0$ – $T_1$ ) diş yüzeylerinde akut inflamasyon, travma veya renk ölçümünü etkileyebilecek klinik durum bulunması,
- Kontrol ve ölçüm randevularına düzenli katılım göstermeyen bireyler.

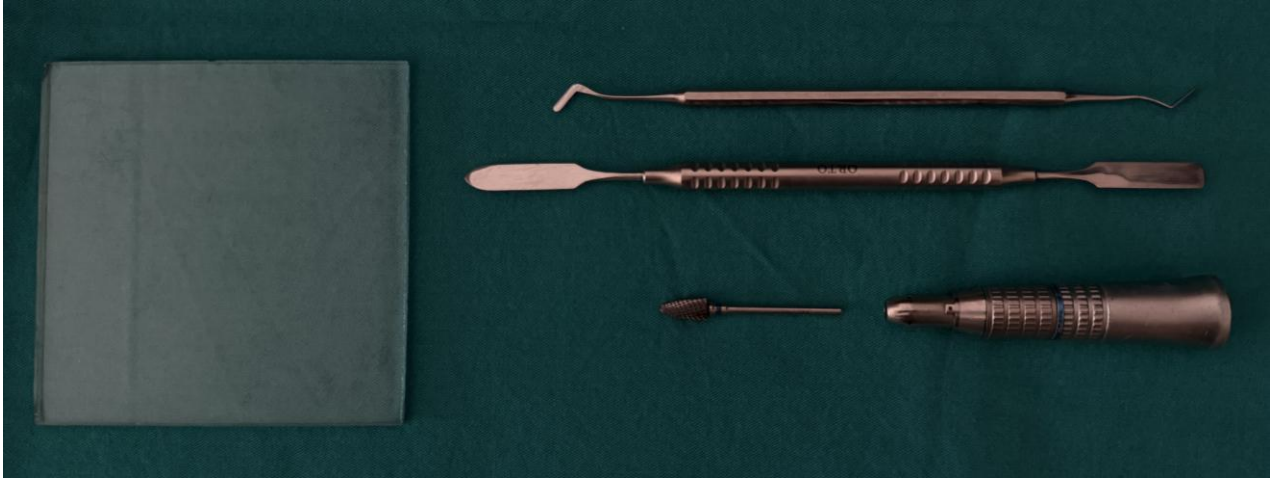
## **3.2 Kullanılan Apareyler ve Uygulama Protokolü**

### **3.2.1 Hyrax apareyi**

Bu çalışmada Hyrax apareyi, üst birinci molar ve premolar dişlere uygun boyutta bantlanmış ve 11 mm genişletme vidası (Morelli Ortodonti, Brezilya) laboratuvar ortamında hazırlanarak klinik randevuda ilgili dişlere cam iyonomer siman (Meron®, Voco GmbH, Almanya) kullanılarak simante edilmiştir. Genişletme protokolü doğrultusunda vida ilk hafta boyunca günde iki kez 0,25 mm çevrilmiş ve günlük toplam 0,5 mm genişleme uygulanmıştır. Aktif genişletmenin tamamlanmasının ardından aparey 3 ay süreyle pasif pozisyonda ağızda bırakılarak retansiyon sağlanmıştır.



Fotoğraf 3.1. Hyrax ve bonded akrilik cap splint apareylerinin dişlere simantasyonunda kullanılan cam iyonomer esaslı yapıştırıcı siman (Meron®, Voco GmbH, Almanya).



Fotoğraf 3.2. Apareylerinin uygulanması sırasında kullanılan klinik yardımcı aletler



Fotoğraf 3.4. Çalışmada kullanılan Hyrax hızlı üst çene genişletme apareyinin ağız dışı görünümü. Üst birinci molar ve premolar dişlere bantlanmak üzere hazırlanmış, merkezi genişletme vidası ve bağlantı kolları görülmektedir.



Fotoğraf 3.3. Hyrax hızlı üst çene genişletme apareyinin ağız dışı önden görünümü. Üst birinci molar ve premolar dişlere bantlanmak üzere tasarlanmış metal kollar ve merkezi genişletme vidası görülmektedir.

### 3.2.2 Bonded akrilik cap splint apareyi

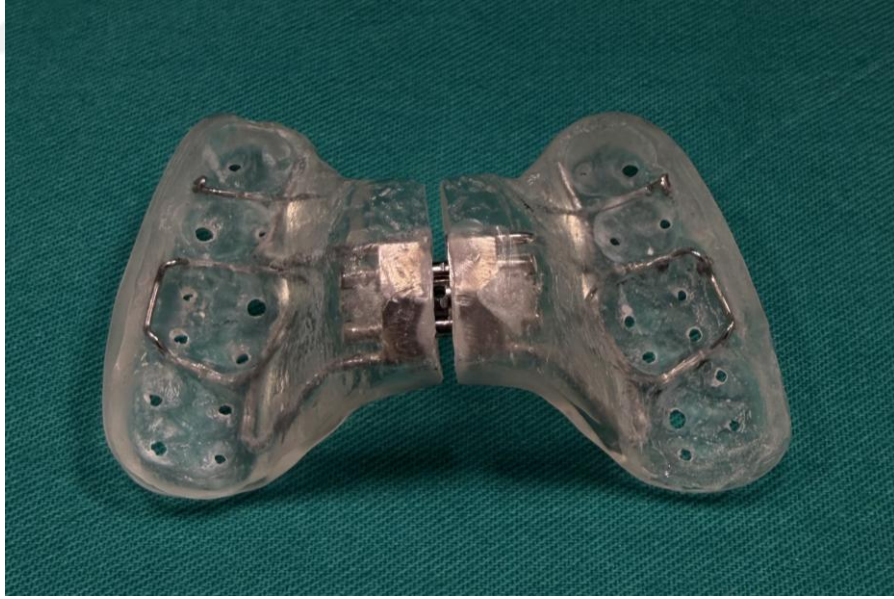
Bu çalışmada Bonded akrilik cap splint apareyi, üst premolar ve molar dişleri tamamen kapsayan akrilik bir blok şeklinde ve 11 mm genişletme vidası (Morelli Ortodonti, Brezilya) kullanılarak laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Apareyler, klinik randevuda dişlere cam iyonomer siman ile yapıştırılmıştır. Genişletme protokolü Hyrax ile aynı şekilde uygulanmış (0,5 mm/gün aktivasyon) ve aktif genişletme 14–21 gün arasında tamamlanmıştır. Ardından aparey 3 ay süreyle pasif retansiyon amacıyla ağızda tutulmuştur.



Fotoğraf 3.5. Bonded akrilik cap splint genişletme apareyinin alçı model üzerindeki ağız dışı görünümü. Üst premolar ve molarları tamamen kaplayan akrilik blok yapısı ve merkezi genişletme vidası görülmektedir.



Fotoğraf 3.6. Bonded akrilik cap splint genişletme apareyinin ağız dışı üstten görünümü. Üst premolar ve molarları tamamen kaplayan akrilik splint yapısı ve orta kısımda genişletme vidası görülmektedir.



Fotoğraf 3.7. Bonded akrilik cap splint genişletme apareyinin ağız dışı alttan görünümü. Akrilik splintin iç yüzeyindeki retansiyon delikleri ile tel destek elemanlarının konfigürasyonu izlenmektedir.



Fotoğraf 3.8. Bonded akrilik cap splint genişletme apareyinin alçı model üzerindeki ağız dışı görünümü. Üst premolar ve molarları tamamen kaplayan akrilik blok yapısı ve genişletme vidası görülmektedir.

### 3.3 Apareylerin Sökümü ve Diş Yüzeyi Temizliği

Retansiyon sürecinin tamamlanmasını takiben Hyrax ve Bonded akrilik cap splint apareyleri  $T_1$  ölçümleri öncesinde sökülmüştür. Söküm sonrası diş yüzeylerinde kalan siman artıkları, mine yüzeyine zarar vermemek amacıyla 12 bıçaklı tungsten karbid frezler (Dentaurum GmbH & Co. KG, Almanya) kullanılarak, düşük devirli angldruvada (yaklaşık 10.000–15.000 devir/dakika) temizlenmiştir. Daha sonra düşük devirli angldruva ve polisaj lastikleri yardımıyla florürsüz pomza (Pumice Powder®, Whip Mix Corp., Louisville, KY, ABD) ile tüm diş yüzeylerine polisaj uygulanmıştır. Bu işlem renk ölçümlerinin yüzey kalıntılarından etkilenmemesi amacıyla standartlaştırılmıştır. Kontrol grubunda ise  $T_1$  öncesinde herhangi bir polisaj veya profesyonel temizlik yapılmamıştır.

### **3.4 Klinik Takip Sıklığı**

Aktif genişletme sürecinde hastalar haftalık kontrollere çağrılmış ve vida aktivasyonunun doğru şekilde ilerleyip ilerlemediği kontrol edilmiştir. Bant stabilitesi, yumuşak doku durumu ve genişletme apareyinin ağız içi konumu değerlendirilmiştir. Retansiyon döneminde ise kontroller aylık olarak gerçekleştirilmiş ve apareyin pasif konumunu koruyup korumadığı ile hijyen durumu izlenmiştir. Tüm takip randevularında prosedür aynı klinisyen tarafından yürütülmüş olup ortam koşulları standart tutulmuştur. Böylece genişletme ve retansiyon süreçlerinde metodolojik tutarlılık sağlanmıştır.

### **3.5 Renk Ölçümü Prosedürü**

Renk ölçümleri klinik ortamda standartlaştırılmış koşullar altında VITA Easyshade® Advance 4.0 dijital spektrofotometre ile yapılmıştır. Ölçümler aynı klinik ortamda gerçekleştirilmiştir. Dış ışığın etkisini azaltmak amacıyla dental üniten üst ışığı kapatılmış, ölçüm yalnızca cihazın kendi LED ışık kaynağı ile yapılmıştır.

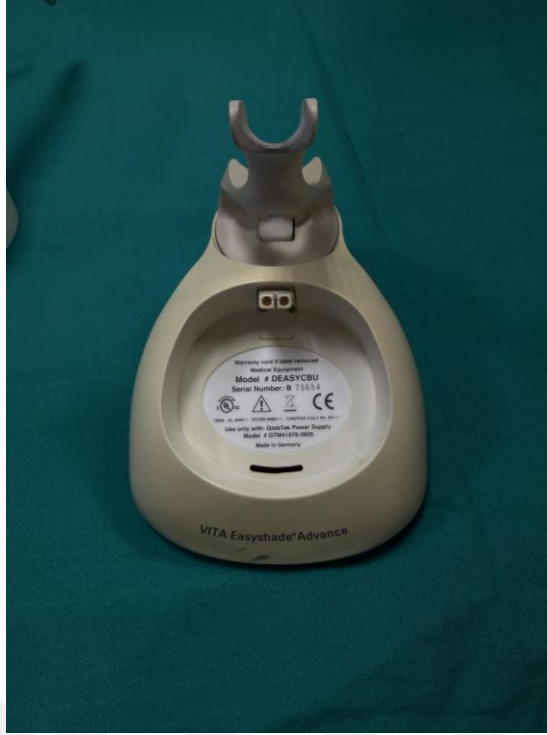
Hastalar dental üniteye dik pozisyonda konumlandırılmış; ölçüm öncesi diş yüzeyleri pamuk rulolarla izole edilmiş, tükürükten arındırılmış ve yüzey aşırı kurutulmadan hafifçe hava ile kurutulmuştur. Gerekli durumlarda yüzeysel plak profilaktik temizlik ile uzaklaştırılmıştır. Ölçümlerde her dişin orta üçlüsü referans bölge olarak kullanılmış, cihazın ucu yüzeye dik konumda sabit temas ile yerleştirilmiş ve her diş için üç ardışık ölçüm alınarak ortalama değer analize dahil edilmiştir.



Fotoğraf 3.10. Çalışmada kullanılan VITA Easyshade Advanced spektrofotometre cihazının yandan görünümü



Fotoğraf 3.9. Çalışmada kullanılan VITA Easyshade Advanced spektrofotometre cihazının önden görünümü.



Fotoğraf 3.11. Çalışmada kullanılan VITA Easysshade Advanced spektrofotometre cihazının şarj edilirken oturduğu yuva.



Fotoğraf 3.12. Çalışmada kullanılan VITA Easysshade Advanced spektrofotometre cihazının her hastadan önce yapılan kalibrasyonu.



Fotoğraf 3.14. Ölçümlerin yapıldığı klinik ortam.



Fotoğraf 3.13. L\*, a\*, b\* değerlerinin VITA Easyshade Advanced cihazının ekranında görüntülenmesi.



Fotoğraf 3.15. Renk tonu ölçümünün VITA Easyshade Advanced cihazı ekranında görüntülenmesi.

### 3.5.1 Cihazın Teknik Özellikleri

VITA Easyshade® Advance 4.0, LED tabanlı sabit ışık kaynağına sahip kapalı optik bir sistem ile çalışmakta olup dış ortam aydınlatmasından bağımsız ölçüm yapılmasına olanak sağlamıştır. Temas odaklı prob tasarımı, ölçüm noktasının yüzeye dik açıyla ve sabit temas basıncıyla konumlandırılmasına imkân vermiştir. Böylece operatör kaynaklı pozisyon varyasyonları minimize edilmiştir. Cihaz her hastadan önce üretici talimatlarına uygun olarak seramik kalibrasyon bloğu ile kalibre edilmiş ve ardışık ölçümlerin ortalamasını veriye dönüştürerek sonuçların tekrarlanabilirliğini artırmıştır. (GmbH & Co, 2022)

### 3.5.2 Renk Değerlerinin Kaydedilmesi ve ΔE Hesaplaması

Her birey için T0 ve T1 olmak üzere iki zaman noktasında ölçüm alınmıştır. Elde edilen ölçümler CIE L\*a\*b\* renk uzayında kaydedilmiş ve toplam renk değişimini belirlemek için ΔE kullanılmıştır:

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

ΔE değeri, CIE L\*a\*b\* renk uzayında iki ölçüm arasındaki toplam renk farkını temsil eden boyutsuz bir parametredir.

### 3.6 İstatistiksel Analiz

Verilerin analizinde öncelikle tanımlayıcı istatistikler kullanılmış, sayısal değişkenler için ortalama ve standart sapma ile medyan ve minimum-maksimum değerleri raporlanmıştır. Sürekli değişkenlerin normallik dağılımı Shapiro–Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Verilerin parametrik test varsayımlarını karşılamaması nedeniyle gruplar arası karşılaştırmalarda Kruskal–Wallis testi kullanılmıştır. Anlamlı fark saptanan durumlarda, farkın hangi gruplardan kaynaklandığını belirlemek amacıyla, Dunn post hoc testi Bonferroni düzeltmesi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Grup içi bağımlı ölçümler arasındaki farkların incelenmesinde Wilcoxon Signed Rank testi kullanılmıştır. Her bireyde ölçüm yapılan dişlere ait L\*, a\*, b\* ve ΔE değerlerinin ortalamaları alınarak istatistiksel analizler hasta bazında gerçekleştirilmiştir. Tüm istatistiksel analizler MedCalc® Statistical Software version 22.006 (MedCalc Software Ltd, Ostend, Belgium; 2023) programı kullanılarak yapılmış ve anlamlılık düzeyi p<0,001 olarak kabul edilmiştir.

#### 4. BULGULAR

Bu bölümde, Bonded akrilik cap splint, Hyrax ve kontrol gruplarında elde edilen  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk parametreleri ile bu parametreler arasındaki farklardan hesaplanan  $\Delta E$  değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur. Çalışmada, her üç grupta  $T_0$  (tedavi öncesi) ve  $T_1$  (tedavi sonrası) dönemlerine ait ölçümler değerlendirilmiş; analizler grup içi ve gruplar arası karşılaştırmalar temelinde gerçekleştirilmiştir.

Başlangıç ölçümleri incelendiğinde, Bonded akrilik cap splint, Hyrax ve kontrol grupları arasında  $L_0$ ,  $a_0$  ve  $b_0$  değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamış olup, bu durum grupların başlangıçta renk ölçümlerinin benzer olduğunu göstermektedir.

$L^*$  parametresi açısından Bonded akrilik cap splint grubunda  $T_0$ – $T_1$  değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p = 0,356$ ). Hyrax grubunda ise  $L^*$  değerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma saptanmıştır ( $p < 0,001$ ). Kontrol grubunda  $L^*$  değerindeki değişim anlamlı değildir ( $p = 0,401$ ).

Gruplar arası karşılaştırmalarda  $L_1$ – $L_0$  ( $\Delta L$ ) değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir ( $p < 0,001$ ). Yapılan post hoc analizlerde bu farkın Bonded akrilik cap splint–Hyrax ve Hyrax–Kontrol grupları arasındaki karşılaştırmalardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu bulgular,  $L^*$  eksenindeki en belirgin değişimin Hyrax grubunda gerçekleştiğini göstermektedir.

$a^*$  parametresi değerlendirildiğinde, Bonded akrilik cap splint grubunda  $T_0$ – $T_1$  değişiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ( $p = 0,006$ ). Hyrax grubunda  $a^*$  değerlerindeki değişim istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p = 0,067$ ). Kontrol grubunda ise  $a^*$  değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış saptanmıştır ( $p < 0,001$ ).

Gruplar arası karşılaştırmalarda  $a_1$ – $a_0$  ( $\Delta a$ ) değerleri açısından anlamlı fark bulunmuştur ( $p < 0,001$ ). Post hoc analizler, bu farkın Bonded akrilik cap splint–Hyrax ve Hyrax–Kontrol grupları arasındaki karşılaştırmalardan kaynaklandığını göstermiştir. Bu sonuçlar,  $a^*$  ekseninde Hyrax grubunun diğer iki gruptan farklı bir değişim paterni sergilediğini ortaya koymaktadır.

$b^*$  parametresi incelendiğinde, her üç grupta da  $T_0$ – $T_1$  dönemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı değişim saptanmıştır. Bonded akrilik cap splint

grubunda  $p = 0,015$ , Hyrax grubunda  $p < 0,001$  ve kontrol grubunda  $p < 0,001$  olup, sarı–mavi ekseninde tüm gruplarda belirgin bir değişim gözlenmiştir.

Gruplar arası karşılaştırmalarda  $b1-b0$  ( $\Delta b$ ) değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ( $p < 0,001$ ). Bu farkın Bonded akrilik cap splint–Kontrol ve Hyrax–Kontrol grupları arasındaki karşılaştırmalardan kaynaklandığı saptanmıştır. Bu bulgu, kontrol grubunun  $b^*$  ekseninde aparey kullanılan gruplardan farklı bir renk değişimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Toplam renk değişimini temsil eden  $\Delta E$  değerleri incelendiğinde, her üç grupta da  $T_0-T_1$  dönemleri arasında algılanabilir düzeyde renk değişimi meydana geldiği görülmüştür ( $\Delta E > 1$ ). Gruplar arası  $\Delta E$  karşılaştırması istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0,001$ ).

Yapılan post hoc analizlerde, farkın Bonded akrilik cap splint–Kontrol ve Hyrax–Kontrol grupları arasındaki karşılaştırmalardan kaynaklandığı, Bonded akrilik cap splint ile Hyrax grupları arasında ise  $\Delta E$  açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, toplam renk değişiminin aparey tipinden ziyade aparey kullanımına bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir.

Elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, renk değişiminin tüm renk eksenlerinde aynı şekilde gerçekleşmediği bulunmuştur. Aparey kullanımının  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  parametreleri üzerinde farklı yönlerde etkiler oluşturduğu görülmektedir. Hyrax grubunda  $L^*$  ekseninde daha belirgin değişimler izlenirken, Bonded akrilik cap splint ve kontrol gruplarında  $a^*$  ve  $b^*$  eksenlerindeki değişimler daha ön plandadır.  $\Delta E$  sonuçları, kontrol grubunda da zamanla belirli düzeyde renk değişimi meydana geldiğini ve mine renginin bu süreçte tamamen stabil olmadığını göstermektedir.

Tablo 1. Aparey gruplarında L\*, a\* ve b\* parametrelerinin T<sub>0</sub> ve T<sub>1</sub> ölçümleri ile grup içi değişimlerin ve ΔE değerlerinin karşılaştırılması

| Aparey                    | N  | L              |                | p      | a              |                | p      | b              |                | p       | ΔE        |
|---------------------------|----|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|---------|-----------|
|                           |    | L <sub>0</sub> | L <sub>1</sub> |        | a <sub>0</sub> | a <sub>1</sub> |        | b <sub>0</sub> | b <sub>1</sub> |         |           |
|                           |    | Ort±SS         | Ort±SS         |        | Ort±SS         | Ort±SS         |        | Ort±SS         | Ort±SS         |         | Ort±SS    |
| Bonded akrilik cap splint | 20 | 81,7 ± 4,2     | 82,2 ± 3,9     | 0,356  | 0,8 ± 2,9      | 1,8 ± 2,7      | 0,006  | 12,3 ± 2,4     | 12,8 ± 2,5     | 0,015   | 5,7 ± 5,7 |
| Hyrax                     | 20 | 82,0 ± 5,3     | 80,3 ± 5,6     | <0,001 | 1,4 ± 2,9      | 0,4 ± 2,7      | 0,067  | 13,1 ± 2,7     | 13,3 ± 2,5     | <0,0012 | 5,4 ± 4,8 |
| Kontrol                   | 20 | 82,0 ± 4,0     | 81,7 ± 4,8     | 0,401  | 1,3 ± 2,7      | 2,4 ± 3,1      | <0,001 | 12,2 ± 2,3     | 14,5 ± 2,7     | <0,0012 | 3,3 ± 4,0 |

p < 0,001

Tablo 2. Bonferroni düzeltmeli post hoc ikili karşılaştırma sonuçları  
p<0,05 değerleri istatistiksel olarak anlamlıdır.

| Parametre            | Bonded akrilik cap splint -Hyrax | Bonded akrilik cap splint -Kontrol | Hyrax-Kontrol |
|----------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------|
| $L_1 - L_0$          | <0,001                           | 1,000                              | <0,001        |
| $a_1$                | 0,001                            | 1,000                              | <0,001        |
| $b_1$                | 1,000                            | 0,015                              | 0,001         |
| $b_1-b_0$            | 1,000                            | <0,001                             | <0,001        |
| Delta ( $\Delta E$ ) | 1,000                            | <0,001                             | <0,001        |

## 5. TARTIŞMA

Bu çalışmada hızlı üst çene genişletmesi yapılan hastalarda belirli dişlerde oluşan renk değişiminin objektif olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Literatürde HÜÇG'nin dentoalveoler ve iskeletsel etkileri geniş şekilde incelenmiş olsa da aparey kullanımına bağlı estetik değişiklikler, özellikle de diş rengi değişimi, oldukça sınırlı araştırılmıştır. Bu nedenle çalışmamızda HÜÇG sonrası diş renginin CIE L\*a\*b\* sistemi ile değerlendirilmesi, mevcut literatüre hem yöntemsel hem de klinik bir katkı sağlamaktadır.

Çocuk ve ergen hastalarda ortodontik tedavi planlaması sırasında, apareyin tipi ve ağız içindeki görünürlüğü, hastalar ve aileleri tarafından sıklıkla merak edilen konular arasında yer almaktadır. Klinik pratikte hızlı üst çene genişletmesi gibi apareylerin nasıl bir yapıya sahip olduğu, ağız dışından fark edilip edilmeyeceği ve sosyal çevrede nasıl algılanacağı, özellikle okul çağındaki hastalarda tedaviye yaklaşımı etkileyebilmektedir. Bu ilk merak ve sosyal algı kaygılarının yanı sıra, tedavi sürecinde diş renginde meydana gelebilecek olası değişimler de aileler açısından estetik açıdan değerlendirilmesi gereken ikincil bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda, hızlı üst çene genişletmesi sonrası diş renginde oluşabilecek değişimlerin objektif yöntemlerle incelenmesi, yalnızca biyolojik etkilerin değerlendirilmesi değil, aynı zamanda hasta ve ailelerin tedavi sürecine yönelik bilgilendirilmesine katkı sağlayabilecek tamamlayıcı bir yaklaşım olarak ele alınmıştır.

Diş renginin görsel olarak değerlendirilmesi ışık koşullarından, gözlemcinin yorgunluğundan ve operatör deneyiminden etkilendiği için subjektif bulunmaktadır. Bu nedenle güncel çalışmalar spektrofotometre gibi aletsel sistemlerin kullanılmasını önermektedir (Chu ve ark., 2010; Joiner, 2004). Biz de yaptığımız bu çalışmada renk ölçümünde VITA Easyshade Advanced cihazını kullandık. Bu cihazın yüksek doğruluğu ve in vivo ölçümlerde tekrarlanabilir sonuçlar verdiği literatürde güçlü biçimde desteklenmektedir (Kim-Pusateri ve ark., 2009). Ölçümlerin aynı klinik ortamda, aynı ışık koşullarında ve aynı operatör tarafından yapılması, elde edilen verilerin güvenilirliğini artırmıştır.

CIE L\*a\*b\* sistemi, diş rengi değişiminin kantitatif değerlendirilmesinde yaygın kullanılan objektif bir yöntemdir.  $\Delta E$  değeri ise iki ölçüm arasındaki toplam renk farkını ifade eden bir vektörel parametredir. Klinik algılanabilirlik için

literatürde sıklıkla 3.3–3.7 aralığı eşik kabul edilmektedir (Johnston & Kao, 1989). Bu eşik doğrultusunda çalışmamızda elde edilen değerlerin yorumu yapılmıştır.

Diş renginin objektif değerlendirilmesinde CIE L\*a\*b\* sisteminin tercih edilmesi yalnızca ölçümün sayısallaştırılmasını değil, aynı zamanda klinik algıyla ilişkilendirilebilir bir çerçeve kurulmasını da sağlar. Joiner'in diş rengi ve beyazlık literatürünü derleyen çalışmasında, renk algısının aydınlatma, translüenslik, yüzey parlaklığı ve göz-beyin bütünleşik değerlendirmesiyle şekillendiğini açıkça belirtilmiştir (Joiner, 2004). Bu nedenle cihaz temelli ölçümlerin özellikle klinik araştırmalarda standartlaştırma açısından kritik olduğu vurgulanmıştır (Chu ve ark., 2010; Joiner, 2004; Joiner ve ark., 2008). Bu bağlamda  $\Delta E$ , farklı zaman noktaları arasında toplam renk farkını özetleyerek klinik yorumda ortak bir dil oluşturmaktadır. Ancak ölçümün klinik anlamı, eşik değerlerin yanı sıra değerlendirme koşullarındaki farklılıklara (ışık, nem/hidrasyon, yüzey özellikleri) da duyarlıdır (Johnston & Kao, 1989; Joiner, 2004). Bu nedenle çalışmamızda ölçümlerin aynı klinik ortam ve aynı koşullarda yapılmış olması,  $\Delta E$ 'nin klinik algılanabilirlikle ilişkilendirilmesini güçlendirmektedir.

Hasta ve aile beklentilerinin diş rengindeki biyolojik değişimi doğrudan etkilemesi beklenmemekle birlikte, bu beklentilerin renk değişiminin algılanışı ve klinik olarak yorumlanması üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Literatürde, ölçülebilir  $\Delta E$  değişimleri ile bireylerin estetik memnuniyeti arasında her zaman doğrusal bir ilişki olmadığı; bazı durumlarda objektif olarak saptanan renk farklılıklarının hasta tarafından fark edilmediği veya estetik bir sorun olarak algılanmadığı bildirilmiştir (Alkhatib ve ark., 2005; Joiner, 2004). Bu durum, diş rengi değerlendirmesinin yalnızca sayısal parametrelerle değil, bireysel beklentiler, sosyal algı ve klinik bağlam ile ele alınması gerektiğini göstermektedir. Çalışmamızda renk değişiminin objektif olarak değerlendirilmesi, bu algısal farklılıkların klinik olarak daha doğru yorumlanmasına katkı sağlamaktadır.

HÜÇG uygulanan gruplarda (Hyrax ve Bonded akrilik cap splint), tedavi sonrası ölçülen ortalama  $\Delta E$  değerlerinin çoğunlukla klinik kabul edilebilir sınır olan 3.7'nin altında kaldığı görülmüştür. Bu bulgu, HÜÇG'nin diş renginde dramatik veya estetik açıdan olumsuz bir değişiklik oluşturmadığını göstermektedir. Kontrol grubunda ise zamana bağlı olarak minimal, fizyolojik düzeyde renk değişiklikleri gözlenmiştir. Bu değişikliklerin de klinik açıdan dikkat çekici olmadığı belirlenmiştir. Renk analiz yöntemlerini karşılaştıran çalışmalarda,

$\Delta E$  parametresinin klinik algılanabilirliği en iyi yansıtan ölçüt olduğu ve bu nedenle ortodontik çalışmalarda temel değerlendirme kriteri olarak kullanıldığı bildirilmektedir (Johnston & Kao, 1989; Ragain & Johnston, 2001).

Aparey kullanılan gruplarda bazı bireylerde  $\Delta E$  değerlerinin göreceli olarak daha yüksek olmasının çeşitli nedenleri olabilir. Literatürde ortodontik tedavi sırasında bant mine ara yüzüne siman sızıntısı, plak retansiyonu, akrilik parçaların tükürük temizliğini azaltması ve mine yüzeyindeki mikroskobik pürüzlenmelerin renk stabilitesini etkileyebileceği belirtilmektedir (Bishara & Ostby, 2008; Eliades ve ark., 2001). Mine yüzey pürüzlülüğündeki artışın renklenmeye neden olabilecek her türlü ajanın tutulumunu kolaylaştırarak  $\Delta E$  değerlerinde yükselmeye yol açtığı ve bu etkinin özellikle bonding ve yüzey temizleme işlemleri sonrası daha belirgin hale geldiği bildirilmektedir (Eliades ve ark., 2001; Torlak, 2017). Bonded akrilik hızlı üst çene genişletme apareylerinin kullanımı sırasında, diş yüzeylerinde plak retansiyonunun artabildiği ve bunun mine yüzeyinde mikroyapısal değişikliklere yol açabildiği daha önce bildirilmiştir. Yapılan bir çalışmada, bonded akrilik HÜÇG apareyi uygulanan hastalarda, özellikle aparey çevresinde plak birikiminin arttığı ve buna bağlı olarak mine demineralizasyonu ile translüsens kaybının gelişebildiği gösterilmiştir. Demineralizasyon sürecinin, mine yapısında ışık kırılma indeksini değiştirdiği ve bu durumun diş renginin daha opak veya mat algılanmasına neden olabileceği vurgulanmıştır (Korkmaz, 2017). Bu biyolojik mekanizma, çalışmamızda hızlı üst çene genişletmesi uygulanan gruplarda gözlenen  $\Delta E$  artışlarını açıklayabilecek önemli bir zemin sunmaktadır. Mine yüzeyinde gelişen demineralizasyon ve translüsens azalmasının, özellikle  $L^*$  ve  $b^*$  eksenlerindeki değişimlere katkı sağlayarak toplam renk farkının artmasına yol açabileceği düşünülmektedir. Benzer optik değişimler, şeffaf ortodontik apareyler ve pekiştirme aygıtları üzerinde yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir. Işık geçirgenliğindeki azalmanın dişin daha opak algılanmasına ve  $L^*$  değerinde düşüşe neden olabildiği belirtilmiştir (Tekin, 2022; Ten Bosch & Coops, 1995). Bu yönüyle elde edilen bulgularımız, bonded HÜÇG apareylerinin mine yüzeyi ve optik özellikler üzerindeki etkilerini inceleyen önceki çalışmalarla uyum göstermektedir (Korkmaz, 2017). Ayrıca bireylerin ağız hijyen düzeyi, renklendirici gıda tüketimi, tükürük akış hızı ve motivasyon gibi kişisel faktörlerin de renk değişimini etkileyebildiği bilinmektedir (Alkhatib ve ark., 2005; Joiner, 2004). Çalışmamızdaki farklı bireysel  $\Delta E$  sonuçları bu mekanizmalarla uyumlu

görülmektedir. Ortodontik literatürde mine rengindeki değişimin önemli bir kısmının doğrudan apareyin varlığından ziyade, mine yüzeyinde oluşan mikromorfolojik değişimler ve rezin/adeziv artıklarının optik etkileriyle ilişkili olabileceği vurgulanmıştır (Eliades ve ark., 2001; Torlak, 2017). Özellikle debonding sonrası temizlik ve polisaj protokollerinin değerlendirildiği çalışmalarda, mine renginde ölçülebilir değişimlerin görülebildiği ve rezin tag penetrasyonunun daha kısa olduğu sistemlerde iatrojenik renk değişiminin daha sınırlı olabileceği bildirilmiştir (Bishara & Ostby, 2008; Eliades ve ark., 2001). Bu bulgular, çalışmamızda bant-siman arayüzü ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörleri öne çıkaran yorumlarımızı destekler niteliktedir. Yani gözlenen  $\Delta E$  artışları, tek bir materyale indirgenmekten ziyade yüzey topografisi, optik saçılma ve ağız içi çevre bileşkesinde ele alınmalıdır (Joiner, 2004; Ten Bosch & Coops, 1995).

Ortodontik materyallerin ve yapıştırıcı sistemlerin renk stabilitesini inceleyen çalışmalarda, yüzey pürüzlülüğü ile renk değişimi arasında güçlü bir ilişki olduğu; mikroskobik yüzey düzensizliklerinin boyayıcı ajanların tutunmasını artırarak  $\Delta E$  değerlerini yükseltebildiği gösterilmiştir (Bishara & Ostby, 2008; Eliades ve ark., 2001; Iyisu, 2017). Bu bulgular, çalışmamızda SEM veya profilometrik değerlendirme yapılmamış olsa dahi, gözlenen renk değişimlerinin literatürde tanımlanan yüzey topografisi mekanizmaları ile uyumlu olabileceğini düşündürmektedir.

Ayrıca diş renginin algılanmasında mine kalınlığı ve alttaki dentin dokusunun optik özellikleri belirleyici rol oynamaktadır. Mine kalınlığının daha ince olduğu bölgelerde dentin renginin daha baskın hale gelmesi, özellikle  $b^*$  eksenindeki değişimlerin klinik algılanabilirliğini artırabilmektedir (Joiner, 2004; Ten Bosch & Coops, 1995).

Mine yüzeyinde klinik olarak fark edilmeyen mikro çatlaklar ve mikroyapısal düzensizlikler de diş renginin algılanmasında rol oynayabilen faktörler arasında yer almaktadır. Mine yüzeyinin ışık yansıtma ve saçılma özelliklerini değiştirebilmekte ve optik bütünlüğü bozabilmektedir. Mikro çatlaklar, doğrudan bir renklenme oluşturmazlar. Plak, mikroorganizma ve besin artıklarının tutunmasına elverişli mikro nişler oluşturarak zamanla yüzeyde optik heterojenliğe yol açabilmektedir. Bu durum, özellikle cihazla yapılan renk ölçümlerinde  $L^*$  ve  $b^*$  parametrelerinde küçük ancak ölçülebilir değişimlere zemin hazırlayabilir. Ortodontik tedavi sürecinde mine yüzeyinin maruz kaldığı mekanik

yükler, ağız içi çevresel faktörler ve hijyen değişiklikleri ile değerlendirildiğinde, bu mikroyapısal düzensizliklerin gözlenen bireysel  $\Delta E$  varyasyonlarına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir (Joiner, 2004; Ten Bosch & Coops, 1995).

Hızlı üst çene genişletmesi sırasında özellikle bonded akrilik cap splint tipinde oklüzal temasların değişmesi, renk değişiminin yorumlanmasında göz önünde bulundurulabilecek bir diğer klinik değişkendir. Akrilik tabanın oklüzal yüzeylerde daha geniş temas alanı oluşturması, çiğneme kuvvetlerinin dağılımını değiştirebilir ve posterior bölgede tek taraflı ya da aşırı temasların oluşmasına neden olabilir. Klinik pratikte bu tür prematür temasların canavar frez ile kontrollü olarak azaltılarak iki taraflı ve daha dengeli çiğneme sağlanması, dişler ve destek dokular üzerindeki lokal stresin azalmasına katkı sağlayabilir. Bu düzenlemenin diş rengine olası etkisi doğrudan bir pigmentasyon mekanizmasından ziyade dolaylı yollarla açıklanabilir. Daha dengeli oklüzal temaslar ile gingival irritasyon ve inflamatuvar yanıtın azalması, plak birikim paterninin değişmesi ve hastanın fırçalama konforunun artması gibi faktörler, yüzeydeki optik değişimlerin şiddetini sınırlandırabilir. Öte yandan akrilik yüzeyde yapılan aşındırma işlemi yeterli polisaj ile tamamlanmadığında yüzey pürüzlülüğünü artırarak boyayıcı ajanların tutunmasını kolaylaştırabilir. Bu nedenle bonded apareylerde oklüzal ayarlama ve bitim polisaj kalitesi, bireysel  $\Delta E$  değişkenliğine katkıda bulunabilecek klinik ayrıntılar olarak değerlendirilebilir. Ayrıca ortodontik kuvvetlerin ve fonksiyonel yüklerin pulpa-dentin kompleksinde geçici hemodinamik değişimlere yol açabileceği yönündeki bilgiler dikkate alındığında, çiğneme kuvvetlerinin dağılımındaki değişimin kısa dönem  $L^*$  parametresi üzerinde dolaylı bir etkisi olabileceği de düşünülmektedir (Ahn ve ark., 2007).

Çiğneme fonksiyonunun düzenlenmesi, ağız içi ortamın doğal temizlenme mekanizmaları üzerinde de etkili olabilmektedir. Dengeli bilateral çiğneme, tükürük akışının fonksiyonel olarak artmasına ve diş yüzeylerinin mekanik olarak daha etkin şekilde yıkanmasına katkı sağlayabilir. Tükürüğün bu “self-cleaning” etkisi, plak matriksinin olgunlaşmasını yavaşlatarak boyayıcı ajanların diş yüzeyine tutunmasını sınırlandırabilir (Dawes, 2008). Buna karşılık tek taraflı veya dengesiz çiğneme paternlerinde, belirli bölgelerde tükürük akışının azalması ve plak birikiminin lokalize hale gelmesi, yüzey optiğinde heterojen değişimlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilir. Bu durum, özellikle bonded akrilik cap splint kullanılan hastalarda, çiğneme fonksiyonunun dengelenmesi ile diş renginde

gözlenen bireysel  $\Delta E$  farklılıkları arasındaki ilişkinin dolaylı bir açıklaması olarak değerlendirilebilir (Alkhatib ve ark., 2005; Joiner, 2004).

Diş rengine gözlenen bireysel farklılıkların açıklanmasında, ağız içi mikrobiyal floranın kişiden kişiye değişkenlik göstermesi de dikkate alınması gereken bir faktördür. Ağız florasının bileşimi, plak oluşum hızı, plak matriksinin yapısı ve kromojenik mikroorganizmaların varlığı gibi özellikler açısından bireyler arasında farklılık gösterebilmektedir. Bu mikrobiyal farklılıklar, diş yüzeyinde boyayıcı ajanların tutunma eğilimini ve yüzeyde oluşan optik değişimlerin derecesini dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Ortodontik apareylerin varlığında plak retansiyonunun artmasıyla birlikte, kişiye özgü mikrobiyal profilin diş rengi üzerindeki etkilerinin daha belirgin hale gelebileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda çalışmamızda gözlenen bireysel  $\Delta E$  varyasyonlarının, yalnızca aparey tipi ve hijyen düzeyi ile değil, ağız florasına özgü biyolojik farklılıklarla da ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir (Alkhatib ve ark., 2005; Joiner, 2004).

Hızlı üst çene genişletmesi gibi plak retansiyonunu artırabilen tedavilerde, estetik değişimin yalnızca ekstrinsik renklenme ile sınırlı olmadığı ve mine demineralizasyonunun optik parametreleri etkileyerek renk algısını değiştirebileceği de dikkate alınmalıdır (Joiner, 2004; Ten Bosch & Coops, 1995). Benzer şekilde beyaz mine lezyonları ve demineralizasyon süreçlerini inceleyen çalışmalarda, mine mineral içeriğindeki kaybın ışık kırılma indeksini değiştirerek diş renginin daha opak algılanmasına neden olabildiği bildirilmiştir (Willmot, 2008). HÜÇG sonrası mine demineralizasyonunu nicel yöntemlerle inceleyen klinik çalışmalarda, tedavi sürecinde özellikle riskli yüzeylerde demineralizasyon bulgularının artabildiği gösterilmiştir (Korkmaz, 2017). Bu tür mikroyapısal değişimlerin ışık saçılımını artırarak translüensliği azaltması, klinikte daha opak/mat algıyı güçlendirebilir. Bunun sonucu olarak  $\Delta E$  artışının bir kısmı pigment birikiminden bağımsız olarak optik ortamın değişmesine bağlı olabilir (Joiner, 2004; Ten Bosch & Coops, 1995). Bu yaklaşım, çalışmamızda bonded ve bantlı sistemlerde gözlenen bireysel varyasyonların açıklanmasında biyolojik yanıt, ağız hijyeni ve çevresel faktörler bileşkesini daha olası kılmaktadır (Alkhatib ve ark., 2005; Joiner, 2004).

Ortodontik tedavilerde renk değişiminin değerlendirilmesinde zaman faktörü önemli bir belirleyici olarak kabul edilmektedir. Erken dönemde gözlenen renk değişimlerinin bir kısmının, mine yüzeyinde oluşan geçici hidrasyon–

dehidrasyon dengesizlikleri ve yüzey optiğinde meydana gelen kısa süreli değişimlerle ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Tükürük ile temasın yeniden sağlanması ve oral hijyenin iyileşmesiyle birlikte, bu erken dönem değişimlerin zaman içerisinde kısmen geri dönebileceği veya stabil hale gelebileceği ifade edilmektedir. Bu nedenle kısa dönem ölçümlerde saptanan  $\Delta E$  artışlarının, kalıcı estetik bir sorun olarak yorumlanmaması gerektiği vurgulanmaktadır (Joiner, 2004; Ten Bosch & Coops, 1995). Bu çalışmada hızlı üst çene genişletmesi süreci yaklaşık üç aylık kısa bir gözlem dönemini kapsamaktadır. Dolayısıyla elde edilen  $\Delta E$  değişimleri, genişletme apareylerinin diş rengi üzerindeki erken dönem etkilerini yansıtmakta olup, uzun dönem renk stabilitesi hakkında kesin çıkarımlar yapılmasına olanak tanımamaktadır. Ancak literatürde, erken dönemde gözlenen renk değişimlerinin önemli bir kısmının zaman içerisinde azalabildiği veya klinik olarak stabil hale gelebildiği bildirildiğinden, çalışmamızda saptanan  $\Delta E$  artışlarının geçici biyolojik ve optik adaptasyon süreçleriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Tekin, 2022; Ten Bosch & Coops, 1995; Tunca & Kaya, 2023).

Ortodontik tedavilerde diş rengi değişiminin klinik açıdan yorumlanmasında, ölçülen  $\Delta E$  değerlerinin istatistiksel anlamlılığından ziyade hastalar tarafından algılanabilirliği ve estetik kabul edilebilirliği ön plana çıkmaktadır. Literatürde, klinik olarak algılanabilir renk değişimi ile hasta memnuniyeti arasında her zaman birebir ilişki olmadığı ve bazı durumlarda ölçülebilir  $\Delta E$  artışlarına rağmen hastaların estetik açıdan rahatsızlık hissetmeyebildiği bildirilmiştir. Bu durum, diş rengi algısının yalnızca sayısal parametrelerle değil, dişin çevre dokularla uyumu, ışık yansıma özellikleri ve bireysel estetik beklentilerle birlikte değerlendirildiğini göstermektedir (Alkhatib ve ark., 2005; Joiner, 2004). Bu bağlamda, çalışmamızda hızlı üst çene genişletmesi uygulanan gruplarda  $\Delta E$  değerlerinin kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek bulunmasına rağmen, ortalama değerlerin büyük ölçüde klinik kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması önemlidir. Elde edilen bulgular, HÜÇG tedavisinin diş renginde ölçülebilir ancak çoğu birey için estetik açıdan tolere edilebilir değişikliklere yol açtığını düşündürmektedir. Benzer şekilde sabit ortodontik tedavi, bonding ve pekiştirme aygıtlarını inceleyen in-vivo çalışmalarda da ölçülen renk değişimlerinin klinik eşik değerlerin altında kaldığı ve hasta memnuniyetini belirgin biçimde olumsuz etkilemediği rapor edilmiştir (Johnston & Kao, 1989; Kaya, 2020; Ragain & Johnston, 2001; Tekin, 2022).

Ortodontik tedavi sürecinde diş rengi değişiminin değerlendirilmesi, yalnızca kullanılan apareyin tipiyle sınırlı bir yaklaşım yerine, hastaya özgü biyolojik ve çevresel yanıtların birlikte ele alındığı bütüncül bir çerçeve gerektirmektedir. Literatürde, benzer ortodontik materyaller kullanılsa dahi bireyler arasında  $\Delta E$  değerlerinde belirgin farklılıklar gözlenebildiği; bu varyasyonun mine yapısı, tükürük kompozisyonu, plak kontrol düzeyi ve günlük beslenme alışkanlıkları gibi faktörlerle ilişkili olabileceği bildirilmektedir. Bu nedenle renk değişimi, tek başına aparey materyaline atfedilebilecek lineer bir sonuçtan ziyade, bireysel biyolojik yanıtların ve tedavi süresince değişen ağız içi çevrenin etkileşimiyle ortaya çıkan dinamik bir süreç olarak değerlendirilmelidir (Alkhatib ve ark., 2005; Joiner, 2004; Tekin, 2022).

Bu çalışmanın çocuk ve ergen yaş grubunu kapsamaması, diş rengi değişiminin değerlendirilmesinde çevresel ve davranışsal faktörlerin daha belirgin rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Bu yaş grubunda beslenme alışkanlıklarının genellikle yüksek oranda asidik ve renklendirici içecekler ile işlenmiş gıdalar içermesi, mine yüzeyinin optik özelliklerini etkileyebilecek önemli bir çevresel faktör olarak değerlendirilmektedir. Özellikle kola ve benzeri gazlı içecekler, mine yüzeyinde geçici demineralizasyon ve yüzey pürüzlülüğünde artışa yol açarak boyayıcı ajanların tutunmasını kolaylaştırabilmektedir. Çay gibi kromojen içeriği yüksek içeceklerin ise düzenli tüketimle birlikte diş renginin sarı ekseninde algılanabilir değişikliklere katkıda bulunabildiği bildirilmektedir (Alkhatib ve ark., 2005; Joiner, 2004). Bu bağlamda çalışmamızda gözlenen bireysel  $\Delta E$  farklılıklarının yalnızca aparey tipine değil, çocuk ve ergen hastalara özgü beslenme ve hijyen alışkanlıklarına da bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Bu yaklaşım doğrultusunda, çalışmamızda Hyrax ve Bonded akrilik cap splint grupları arasında  $\Delta E$  açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamış olması, iki apareyin diş rengi üzerindeki etkilerinin klinik ortamda büyük ölçüde benzer biyolojik ve çevresel mekanizmalarla şekillendiğini düşündürmektedir. Aparey tasarımıındaki materyal farklılıklarının teorik olarak farklı risk profilleri oluşturabileceği öne sürülse de klinik pratikte bu farkların çoğu zaman hasta faktörleri ve hijyen düzeyi tarafından dengelendiği bildirilmektedir. Bu bağlamda elde edilen bulgular, HÜÇG tedavisi sırasında estetik açıdan belirleyici unsurun aparey tipinden ziyade tedavi süresince ağız içi çevrenin

kontrolü ve hasta uyumu olduğunu desteklemektedir (Karadeniz, 2023; Tunca & Kaya, 2023).

Sabit ortodontik tedavi sonrası yapılan in-vivo çalışmaların çoğunda  $\Delta E$  değerlerinin 1–2 aralığına düştüğü ve estetik açıdan kabul edilebilir olduğu bildirilmektedir (Kaya, 2020). Bizim çalışmamızda da Hyrax ve Bonded akrilik cap splint gruplarında elde edilen  $\Delta E$  değerleri bu aralıkla benzerdir ve klinik eşiğin altında kalmaktadır. Bu durum, HÜÇG tedavisinin sabit tedavilere benzer şekilde hafif fakat kontrol edilebilir seviyede renk değişikliğine neden olabileceğini göstermektedir.

Apareyin mekanik yapısı da renk değişimi açısından önemlidir. Hyrax apareyi daha metal ağırlıklı bir yapı sunarken, Bonded akrilik cap splint apareyinin akrilik tabanı palatal yüzeyde daha geniş bir alanı kaplamaktadır. Bu nedenle literatürde akrilik yüzeylerin tükürüğün temizleme etkisini azaltarak lokal renklenmeye daha yatkın olabileceği tartışılmaktadır. Ancak çalışmamızda Bonded akrilik cap splint grubunda Hyrax’a kıyasla anlamlı derecede daha yüksek  $\Delta E$  elde edilmemiştir. Bu bulgu, ağız hijyen eğitiminin etkili verilmiş olduğuna ve bireysel hijyen farklarının sonuçlara daha büyük etkisi olabileceğine işaret etmektedir. Benzer şekilde, sabit ortodontik tedavilerde diş renginin cihazla ölçüldüğü prospektif çalışmalarda, bonding/debonding ve yüzey bitirme işlemlerini takiben  $L^*a^*b^*$  parametrelerinde ve toplam  $\Delta E$ 'de istatistiksel düzeyde değişimler bildirildiği ancak klinik açıdan bu değişimlerin çoğu zaman tolere edilebilir sınırlar içinde kaldığı raporlanmıştır (Eliades ve ark., 2001; Kaya, 2020). Ayrıca, asitleme tekniği ve kullanılan sistemlerin rezin penetrasyon paternlerini değiştirebilmesi, renk stabilitesine ilişkin sonuçları etkileyebilmektedir (Bishara & Ostby, 2008; Eliades ve ark., 2001). Bu çerçevede, çalışmamızda iki aparey tipi arasında anlamlı fark saptanmamasını ‘materyal farkı yok’ şeklinde basitleştirmek yerine, klinik ortamda hijyen, diyet, tükürük özellikleri ve yüzey optiğinin birlikte belirleyici olduğu bir denge modeliyle yorumlamayı daha uygun hale getirir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışmamızın bulguları HÜÇG’nin diş renginde genişleme sonrası klinik olarak kabul edilebilir düzeyde bir değişikliği yol açtığını göstermektedir. Bu sonuçlar, HÜÇG tedavisinin estetik açıdan güvenli bir uygulama olduğunu desteklemektedir. Ancak örneklem büyüklüğünün sınırlı olması ve uzun dönem takip verilerinin olmaması, sonuçların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Daha geniş örneklemli ve uzun takip süreli çalışmalar, HÜÇG

sonrası diş rengi stabilitesinin daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Dişlerdeki renk değişimi, mine translüensliği, yüzey pürüzlülüğü, ışık yansıtma özellikleri, oral hijyen ve çevresel faktörler gibi pek çok değişken tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle ortodontik aparey kullanımının renk üzerinde doğrudan mı yoksa dolaylı mı bir değişim yarattığı, literatürde tam olarak netleşmiş bir konu değildir.

Renk değişiminin diş yüzeyinde oluşmasının temel nedeni; sert doku geçirgenliğinin artması, tükürük akışının değişmesi veya mine yüzeyinde geçici hidrasyon/dehidrasyon dengesinin bozulmasıdır. Sabit ortodontik braketlerle ilişkili in vitro çalışmalarda, yapıştırıcı rezinlerin mine dokusu içerisine penetre olabildiği ve bu rezin artıklarının yaşlandırma sonrası zamanla renklenmeye yatkın olduğu bildirilmiştir (Eliades ve ark., 2001). Bu bulgu sabit braketlerle ilgili olsa da aparey bandı ile siman etkileşimi de benzer şekilde mine yüzeyinde mikroskobik değişikliklere neden olabilir.

HÜÇG sırasında uygulanan kuvvetlerin periodontal ligament üzerindeki basınç dağılımını değiştirmesi ilgili dişlerde geçici pulpal vasküler değişimlere yol açabilmektedir. Literatürde, ortodontik kuvvetlerin pulpa dentin kompleksini etkileyerek dentin geçirgenliğini artırabildiği ve bunun renk parametreleri üzerinde kısa dönemli değişikliklere neden olabildiği bildirilmektedir (Ahn ve ark., 2007). Bu çalışma HÜÇG sürecinin özellikle L\* değerini etkileyerek dişin açıklık ve koyuluk derecesini değiştirebileceğini düşündürmüştür.

Özellikle  $\Delta E$  değeri, iki ölçüm arasındaki toplam renk farkını ifade etmesi ve klinik algılanabilirliği doğrudan yansıtması nedeniyle ortodontik çalışmalarda temel bir değerlendirme kriteri olarak kabul edilmektedir (Johnston & Kao, 1989; Ragain & Johnston, 2001). Bu çalışmada, hızlı üst çene genişletmesi uygulanan gruplarda (Hyrax ve Bonded akrilik cap splint) elde edilen  $\Delta E$  değerlerinin kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek olduğu, ancak bu artışın büyük ölçüde klinik kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Bu bulgu, sabit ortodontik tedavi ve bonding işlemleri sonrasında mine renginde ölçülebilir ancak sınırlı düzeyde değişiklikler bildirilen önceki çalışmalarla uyumludur. Sabit ortodontik tedavi sonrası mine rengini inceleyen çalışmalar, bonding ve debonding işlemlerinin, kullanılan adeziv materyallerin ve yüzey bitirme prosedürlerinin  $\Delta E$  üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Ancak bu etkinin çoğu zaman estetik açıdan

tolere edilebilir düzeyde kaldığını göstermektedir (Eliades ve ark., 2001; Karadeniz, 2023; Tunca & Kaya, 2023).

Pekiştirme aygıtları ve şeffaf plaklarla yapılan çalışmalarda, ortodontik materyallerin uzun süreli ağız içi kullanımına rağmen  $\Delta E$  değerlerinin çoğunlukla düşük düzeylerde seyrettiği ve klinik eşik değerlerin altında kaldığı bildirilmektedir (Tekin, 2022; Tunca & Kaya, 2023). Termoplastik pekiştirme aygıtları ve Essix plakları üzerine yapılan araştırmalar, materyalin ışık geçirgenliği ve yüzey özelliklerinin renk stabilitesini etkileyebildiğini, ancak uygun hijyen koşullarında bu değişimlerin sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu bulgular, çalışmamızda aparey gruplarında gözlenen  $\Delta E$  artışlarının dramatik bir renklenmeye işaret etmediğini desteklemektedir.

Beyaz mine lezyonları ve demineralizasyon-remineralizasyon süreçlerini inceleyen in-vitro çalışmalarda, mine yapısındaki mineral kaybı ve geri kazanımının ışık kırılma indeksini etkileyerek renk algısında değişikliklere yol açabileceği gösterilmiştir. Remineralizasyon ajanları, mikroabrazyon ve rezin infiltrasyon gibi farklı tedavi yaklaşımlarının  $\Delta E$  üzerinde farklı düzeylerde etkiler oluşturduğu bildirilmiştir (Bishara & Ostby, 2008; Karamouzos ve ark., 2010; Willmot, 2008). Bu çalışmalar, mine yüzeyinde meydana gelen mikroyapısal değişikliklerin renk stabilitesinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu da HÜÇG sürecinde gözlenen renk değişimlerinin yalnızca aparey varlığına değil, mine-çevre etkileşimine de bağlı çok faktörlü bir süreç olduğunu düşündürmektedir. Yüzey düzgünlüğü ile renk stabilitesi arasındaki ilişkinin dental seramiklerde de gösterilmiş olması, yüzey özelliklerinin optik algı üzerindeki belirleyici rolünü desteklemektedir (Rahmaty, 2022).

Bununla birlikte, genişletme apareylerinin diş rengi üzerindeki etkileri değerlendirilirken kullanılan yapıştırıcı siman ve adeziv materyallerin içerikleri de dikkate alınmalıdır. Cam iyonomer simanların flor salınımı sayesinde demineralizasyonu sınırlayıcı ve remineralizasyonu destekleyici etki gösterebildiği literatürde bildirilmiştir (Nicholson, 2014; Sidhu, 2011). Flor salınımının, mine yüzeyinde mineral dengesini koruyarak ışık saçılım özelliklerini stabilize edebileceği ve böylece renk değişimini sınırlayabileceği öne sürülmektedir.

Bu çalışmada bantların yapıştırılmasında yalnızca flor salımlı cam iyonomer siman (Meron®, VOCO) kullanılmıştır. Renk indikatörlü veya pigment içeren adeziv sistemler (örneğin mavi band-lock rezinler) potansiyel renklendirici

etkileri nedeniyle tercih edilmemiştir. Bu yaklaşım gözlenen renk değişimlerinin adeziv kaynaklı pigmentasyon veya rezin penetrasyonuna bağlı olmadığını, daha çok mine yüzeyinde gelişen mikroyapısal ve çevresel değişikliklerle ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Nitekim rezin esaslı ve renk indikatörlü adezivlerin mine dokusu içerisine penetre olarak uzun dönemde renk stabilitesini olumsuz etkileyebileceği önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Eliades ve ark., 2001; Karadeniz, 2023; Tunca & Kaya, 2023).

Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen  $\Delta E$  değişimlerinin, flor salınlı cam iyonomer siman kullanımına rağmen ortaya çıkmış olması, HÜÇG sürecinde gözlenen renk değişimlerinin tek başına siman materyaline bağlanamayacağını desteklemektedir. Benzer şekilde florürlü ajanların remineralizasyonu desteklemesine rağmen, yüzey optik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin renk stabilitesini tamamen engelleyemediği önceki çalışmalarda da vurgulanmıştır (Fırıncioğulları & Urdinç, 2025; Nicholson, 2014). Mine-çevre etkileşimi, plak retansiyonu, tükürük özellikleri ve bireysel hijyen alışkanlıkları gibi çok faktörlü mekanizmalarla açıklanması gerektiğini desteklemektedir.

Hyrax ve Bonded akrilik cap splint apareylerinin karşılaştırıldığı çalışmamızda, iki aparey tipi arasında  $\Delta E$  açısından anlamlı bir fark bulunmaması, literatürde farklı ortodontik materyallerin mine rengi üzerindeki etkilerinin çoğunlukla benzer düzeylerde rapor edilmesiyle uyumludur. Akrilik ve metal içerikli sistemlerin teorik olarak farklı biyolojik etkiler oluşturabileceği öne sürülse de klinik ortamda bireysel hijyen alışkanlıkları, diyet faktörleri ve tükürük özelliklerinin bu etkileri büyük ölçüde dengelediği bildirilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, hızlı üst çene genişletmesi sırasında kullanılan ortodontik apareylerin diş renginde ölçülebilir değişikliklere yol açabileceğini ancak bu değişimlerin literatürde bildirilen diğer ortodontik uygulamalarla benzer düzeylerde ve klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, HÜÇG tedavisinin diş estetiği açısından güvenli bir yöntem olduğunu desteklemekte ve önceki çalışmalarla tutarlı bir çerçeveye sunmaktadır.

Hyrax ve Bonded akrilik cap splint apareyleri, hızlı üst çene genişletmesi sırasında dişlere iletilen kuvvetlerin karakteri, kullanılan materyaller ve ağız içi temas yüzeyleri açısından belirgin yapısal farklılıklar göstermektedir. Hyrax apareyi metal bantlar ve diş destekli bir mekanizma içerirken, Bonded akrilik cap

splint apareyi akrilik tabanı sayesinde diş kronlarının büyük bir bölümünü kaplayan bir tasarıma sahiptir. Bu yapısal farklar, teorik olarak plak retansiyonu, tükürük temizleme etkisi ve mine yüzeyinin çevresel faktörlerle teması açısından farklı biyolojik yanıtlar oluşturabilir.

Bu çalışmada, Hyrax ve Bonded akrilik cap splint grupları arasında  $\Delta E$  açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu bulgu, apareylerin farklı materyal ve tasarımlara sahip olmalarına rağmen, toplam renk değişimi üzerinde benzer düzeyde etki oluşturduklarını göstermektedir. Ortodontik literatürde, farklı adeziv sistemler ve aparey materyalleri kullanıldığında mine yüzeyinde ölçülebilir renk değişimleri oluşabildiği, ancak bu değişimlerin çoğu zaman materyal tipinden ziyade bireysel hijyen alışkanlıkları ve tedavi süresince oluşan çevresel faktörlerle ilişkili olduğu bildirilmektedir (Karadeniz, 2023; Tunca & Kaya, 2023).

Akrilik esaslı apareylerin mine yüzeyini kısmen izole edebileceği ve dışsal boyayıcı ajanlarla temasını sınırlayabileceği öne sürülürken, metal bantlı apareylerin gingival bölgede plak birikimini artırarak renk değişimine zemin hazırlayabileceği belirtilmiştir. Ancak mevcut çalışmada bu iki farklı mekanizmanın, toplam  $\Delta E$  değeri açısından birbirini dengeleyen etkiler oluşturduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde, sabit ortodontik tedavilerde kullanılan farklı adeziv materyallerinin ve yüzey işlemlerinin  $\Delta E$  üzerinde istatistiksel olarak sınırlı farklılıklar yarattığını bildiren çalışmalar, materyal tipinin tek başına belirleyici bir faktör olmadığını ortaya koymuştur (Karadeniz, 2023; Tunca & Kaya, 2023).

İn-vitro çalışmalarda, mine yüzeyinin pürüzlendirilmesi, adeziv penetrasyonu ve yüzey bitirme işlemlerinin ışık yansıtma ve translüenslik özelliklerini değiştirebildiğini ve bu değişimlerin hem akrilik hem de metal içerikli sistemlerde benzer  $\Delta E$  değerleri ile sonuçlanabildiği gösterilmiştir (Eliades ve ark., 2001; Johnston & Kao, 1989; Ragain & Johnston, 2001). Bu bulgular, çalışmamızda Hyrax ve Bonded akrilik cap splint grupları arasında  $\Delta E$  açısından anlamlı bir fark bulunmamasını destekler niteliktedir.

Ayrıca, ortodontik tedavi sürecinde hastaların ağız hijyenine yönelik motivasyonunun artması ve düzenli klinik kontroller, aparey tipinden bağımsız olarak renk değişimini sınırlayan önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu

durum, apareylerin materyal farklılıklarının teorik etkilerinin klinik ortamda daha sınırlı düzeyde yansıtılmasına neden olabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları Hyrax ve Bonded akrilik cap splint apareylerinin hızlı üst çene genişletmesi sürecinde diş rengi üzerinde benzer düzeyde ve klinik olarak kabul edilebilir renk değişimlerine yol açtığını göstermektedir. Aparey tasarımı ve materyal farklılıklarının  $\Delta E$  üzerinde belirleyici bir üstünlük sağlamadığını göstermektedir. Toplam renk değişiminin daha çok bireysel biyolojik yanıtlar, hijyen alışkanlıkları ve çevresel faktörlerle ilişkili olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar, klinisyenlerin aparey seçiminde estetik kaygılar açısından belirgin bir avantaj veya dezavantaj öngörmelerinin gerekli olmadığını düşündürmektedir.

Literatürde farklı temizleme ve bonding prosedürlerinin mine yüzeyinde farklı oranlarda renk değişimine yol açabileceği bildirilmiştir (Kaya, 2020). Bu çalışmalar, mine yüzeyine uygulanan mekanik işlem yoğunluğunun  $\Delta E$  üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

HÜÇG tedavisinde özellikle bantlanan birinci ve ikinci büyük azı dişlerinin çiğneme kuvvetlerine yüksek maruziyeti, sirkülasyon ve nem kontrolünün daha düşük olması bant ve yapıştırıcı siman arayüzündeki mikrosızıntı olasılığı sebebiyle renk değişimine daha yatkın olduğu düşünülmektedir. Bu durum, çalışmamızda molar bölgedeki  $\Delta E$  değerlerinin diğer diş gruplarına göre daha belirgin olmasını açıklamaktadır.

Bu çalışmada  $L_0$  ve  $L_1$  ölçümlerinde gruplar arasında anlamlı bir fark saptanmamış, ancak  $L_{fark}$  değerinde Bonded akrilik cap splint, Hyrax ve kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur.  $L^*$  değeri, diş yüzeyinin açıklık-koyuluk düzeyini ifade eder. HÜÇG uygulanan hastalarda  $L^*$  değerinin değişmesi, ağız içi nem dengesinin değişimi, apareylerin gölgeleme etkisi, minede ışık geçirgenliğinin farklılaşması veya plak retansiyonu gibi faktörlerle ilişkilendirilebilir.

Literatürde HÜÇG'nin  $L^*$  değerine etkisi hakkında farklı sonuçlar bildirilmiştir. Mine dokusundaki geçici dehidratasyonun ışık saçılmasını artırarak translüensliği azalttığı ve bunun dişlerin  $L^*$  değerlerinde düşüşe yol açabildiği bildirilmiştir (Ten Bosch & Coops, 1995). Pekiştirme aygıtlarının incelendiği çalışmada Hawley ve termoplastik pekiştirme aygıtı kullanan gruplarda  $L^*$  değerlerinde anlamlı değişiklikler gözlenmiştir (Tekin, 2022). Bazı in vitro

çalışmalar  $L^*$  değerinde anlamlı farklılık göstermediğini bildirmiştir (Kaya, 2020). Bizim çalışmamızda  $L_0$  ve  $L_1$  değerlerinin anlamlı farklılık göstermemesi, genişletme apareylerinin doğrudan bir koyulaştırıcı etkiye sahip olmadığını düşündürür. Ancak  $L_1-L_0$  değerinin anlamlı çıkması, özellikle Hyrax grubunda gözlenen  $L_1-L_0$  değerindeki küçülme eğilimi, metal destekli genişletme aygıtlarının daha fazla plak retansiyonu ve gölgeleme etkisi yaratmasıyla açıklanabilir. Buna ek olarak, molar bantların metal içeriğinde bulunan iyonların ağız ortamında tükürük, çiğneme kuvvetleri ve asidik pH değişimleri etkisiyle korozyona uğrayabilmesi ve bu korozyon sonucu açığa çıkan metal iyonlarının mine yüzeyinin optik özelliklerini dolaylı olarak etkileyerek  $L^*$  değerinde azalmaya katkıda bulunmuş olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Eliades & Athanasiou, 2002; Schiff ve ark., 2005). Kontrol grubunda  $L_1-L_0$  değerinin değişken olması ise çevresel faktörleri işaret eder. Hasta yaş grubu itibarıyla çay kahve tüketimi, fırçalama alışkanlıkları ve mine hidrasyonu gibi değişkenler  $L^*$  parametresini etkileyebilir.

$a^*$  değeri, dişin kırmızılık-yeşillik yönündeki rengini ifade eder. Çalışmamızda  $a_1$  değerlerinde gruplar arasında fark bulunmazken,  $a_1$  ve  $a_1-a_0$  ölçümlerinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.  $a_1-a_0$  değerinin negatif yönde olması, zaman içerisinde diş renginde kırmızılıktan yeşil eksene doğru bir kayma eğilimi olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, genişletme apareylerinin kırmızılık bileşenini doğrudan değil, zaman içerisinde ortaya çıkan biyolojik ve çevresel faktörler yoluyla etkilediğini düşündürmektedir.

$a^*$  değerindeki değişim literatürde genellikle gingival inflamasyon, hormonal değişiklikler, mine porozitesindeki artış, besin boyayıcılarının etkisi ile ilişkilendirilmiştir. Buna ek olarak, ortodontik tedavi sonrası uygulanan debonding ve adeziv artıklarının uzaklaştırılması sırasında mine yüzeyinde oluşabilen mikroyapısal değişikliklerin, yüzey pürüzlülüğünü ve optik özellikleri etkileyerek  $a^*$  parametresinde ölçülebilir değişimlere yol açabileceği bildirilmiştir (Eliades ve ark., 2001).

Özellikle Hyrax gibi diş destekli metal aygıtların kullanıldığı çalışmalarda, gingival inflamasyonun  $a^*$  değerinde artışa yol açabildiği bildirilmiştir (Kocadereli, 1996). Ancak bu çalışmada Hyrax grubunda  $a_1-a_0$  değerinin negatif yönde bulunması, kırmızılık artışına bağlı bir inflamatuvar yanıtı desteklememekte; aksine mine yüzeyinin optik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler, plak birikim paternindeki farklılıklar ve metal bantların ağız ortamında korozyona

uğraması sonucu açığa çıkan metal iyonlarının dolaylı boyayıcı etkileri ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (Eliades & Athanasiou, 2002).

Aynı zamanda kontrol grubunda da anlamlı  $a^*$  değişimi gözlenmiş olması, çevresel faktörlerin ve boyayıcı ajanların  $a^*$  parametresi üzerindeki etkisinin güçlü olduğunu desteklemektedir.

$b^*$  değeri diş renginin sarı-mavi eksenini temsil eder ve klinik açıdan en kritik parametrelerden biridir. Bu çalışmada  $b_1$  ve  $b_1-b_0$  değerlerinde anlamlı fark bulunmuştur.  $b^*$  değerinin sarılaşma eğilimini göstermesi, genişletme apareylerinin kullanım süresince plak tutulumunu artırması, mine yüzeyinde yansıtma özelliklerini değiştirmesi, besin boyayıcılarından etkilenmeyi kolaylaştırması ile açıklanabilir.

Hyrax grubunda  $b^*$  değerinin daha yüksek olması şaşırtıcı değildir. Çünkü metal bantlı apareyler gingival bölgede daha fazla besin birikmesine sebep olur. Literatürde, HÜÇG uygulama döneminde oral hijyenin zorlaştığı bildirilmiştir (Kocadereli, 1996). Ortodontik tedavi sürecinde, özellikle posterior bölgede bant ve ataşmanların varlığının ağız hijyenini zorlaştırarak diş rengi değişimlerine katkıda bulunabileceği bildirilmiştir (Ahn ve ark., 2007). Sarılaşmanın estetik kaygı ile en çok ilişkilendirilen değişken olduğunu bildirmiştir (Alkhatib ve ark., 2005). Kontrol grubunda  $b_1$  değişiminin yüksek olması ise yine çevresel etkilerin renk değişimi üzerindeki payını göstermektedir.

Delta E ( $\Delta E$ ), CIE  $L^*a^*b^*$  renk uzayında iki zaman noktası arasındaki toplam renk farkını temsil eden ve klinik algılanabilirliği en iyi yansıtan parametre olarak kabul edilmektedir (Johnston & Kao, 1989; Ragain & Johnston, 2001). Bu nedenle ortodontik tedavilerde diş rengindeki değişimlerin değerlendirilmesinde  $\Delta E$ , tek tek  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  parametrelerine kıyasla daha bütüncül ve klinik olarak anlamlı bir ölçüt sunmaktadır.

Bu çalışmada  $\Delta E$  değerleri gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. Yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda, Bonded akrilik cap splint ve Hyrax gruplarında elde edilen  $\Delta E$  değerlerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu, ancak Bonded akrilik cap splint ile Hyrax grupları arasında  $\Delta E$  açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, hızlı üst çene genişletmesi sırasında kullanılan apareylerin diş renginde zamana bağlı fizyolojik değişimlere ek olarak ilave bir renk değişimi oluşturabildiğini, ancak bu etkinin aparey tipleri arasında

belirgin şekilde farklılaşmadığını düşündürmektedir. Bununla birlikte, çalışmanın yaklaşık üç aylık kısa bir gözlem süresini kapsamaması nedeniyle elde edilen  $\Delta E$  değişimleri yalnızca erken dönem renk değişikliklerini yansıtır. Uzun dönem renk stabilitesi ve olası geri dönüşümlerin değerlendirilmesi için daha uzun takip sürelerine ihtiyaç olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Ortodontik literatürde, sabit apareylerin mine yüzeyinde oluşturduğu renk değişiminin genellikle bonding işlemi, kullanılan adeziv materyaller, mine yüzeyinin pürüzlendirilmesi ve tedavi süresince artan plak retansiyonu ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Eliades ve ark., 2001; Karadeniz, 2023). Farklı braket sistemleri ve bitirme prosedürlerinin değerlendirildiği bir çalışmada, ortodontik tedavi sonrası  $\Delta E$  değerlerinde artış gözlemlendiğini ancak bu artışın çoğunlukla klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığını belirtmiştir (Kaya, 2020). Benzer şekilde diğer 2 çalışmada, bonding ve debonding işlemlerinin mine yüzeyinde ölçülebilir ancak sınırlı düzeyde renk değişimine yol açtığını bildirmiştir (Torlak, 2017; Tunca & Kaya, 2023). Bu bulgular, çalışmamızda aparey kullanılan gruplarda kontrol grubuna kıyasla daha yüksek  $\Delta E$  değerleri elde edilmesiyle uyumludur.

Bununla birlikte, çalışmamızda aparey gruplarında  $\Delta E$  değerleri kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuş olsa da ortalama  $\Delta E$  değerlerinin büyük ölçüde literatürde bildirilen klinik kabul edilebilirlik eşiği ( $\Delta E \approx 3,3-3,7$ ) civarında veya altında kaldığı görülmüştür. Sabit ortodontik tedavi ve pekiştirme dönemini inceleyen in-vivo çalışmalarda,  $\Delta E$  değerlerinin sıklıkla 1-3 aralığında rapor edildiği ve bu değişimlerin estetik açıdan tolere edilebilir olduğu bildirilmektedir (Johnston & Kao, 1989; Kaya, 2020; Ragain & Johnston, 2001; Tekin, 2022). Bu durum, çalışmamızda elde edilen  $\Delta E$  artışlarının klinik olarak dramatik bir renklenmeye işaret etmediğini, aksine ölçülebilir ancak sınırlı düzeyde bir renk değişimini yansıttığını göstermektedir.

Renk çalışmalarında önemli bir diğer konu, ölçülen değişimin zaman içinde geri dönüşümlülüğüdür. Mine yüzeyinde kısa dönemli hidrasyon/dehidrasyon değişimleri ve tükürükle yeniden mineralizasyon süreçleri, erken dönemde ölçülen  $\Delta E$ 'nin daha sonraki dönemde azalmasına veya stabil hale gelmesine yol açabilir (Joiner, 2004; Ten Bosch & Coops, 1995). Debonding yöntemlerinin ve yüzey topografisinin uzun dönem renk değişimiyle ilişkisini derleyen güncel bir kapsamlı derlemede, uzun dönem renk stabilitesi verilerinin görece daha sınırlı

olduğu ve yöntemsel heterojenliğin yorum gücünü azalttığı belirtilmiştir (Tunca & Kaya, 2023). Bu nedenle, çalışmamızın yaklaşık üç aylık izlem süresinde saptanan değişimlerin erken dönem niteliği özellikle vurgulanmalı ve özellikle erken dönem etkileri yansıttığı dikkate alınmalıdır. Daha uzun takiplerle klinik anlamın daha net değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Aparey gruplarında gözlenen  $\Delta E$  artışının olası nedenleri arasında bant ve akrilik komponentlerin plak retansiyonunu artırması, mine yüzeyinde ışık yansıtma ve translüsenslik özelliklerinin değişmesi ile tedavi süresince mine hidrasyon ve dehidrasyon dengesinde meydana gelen geçici değişiklikler yer alabilir. İn-vitro çalışmalarda, mine yüzeyinin pürüzlendirilmesi ve adeziv materyallerin mineye penetrasyonunun, ışık kırılma indeksini değiştirerek  $\Delta E$  üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir (Eliades ve ark., 2001; Karadeniz, 2023; Tunca & Kaya, 2023). Bu mekanizmalar, çalışmamızda Hyrax ve Bonded akrilik cap splint gruplarında benzer düzeylerde  $\Delta E$  artışı gözlenmesini açıklayabilir.

Bonded akrilik cap splint ve Hyrax grupları arasında  $\Delta E$  açısından anlamlı bir fark bulunmaması, apareylerin yapısal farklılıklarına rağmen renk değişimi üzerinde benzer biyolojik ve çevresel etkilere sahip olabileceğini düşündürmektedir. Akrilik tabanlı apareylerin mine yüzeyini kısmen izole edebilmesi ile metal bantlı apareylerde görülebilen plak birikimi eğiliminin, toplam renk değişimi açısından birbirini dengeleyen etkiler oluşturduğu söylenebilir. Literatürde farklı ortodontik materyallerin  $\Delta E$  üzerinde istatistiksel olarak sınırlı farklar oluşturduğunu bildiren çalışmalar da bu yorumu desteklemektedir. Kontrol grubunda ise  $\Delta E$  değerlerinin aparey gruplarına kıyasla daha düşük bulunması, herhangi bir ortodontik materyal teması olmaksızın gözlenen renk değişiminin büyük ölçüde fizyolojik süreçler ve çevresel faktörlerle sınırlı kaldığını göstermektedir (Karamouzos ve ark., 2010; Willmot, 2008). Sabit ortodontik tedavi ve bonding işlemleri uygulanmayan bireylerde, zamana bağlı diyet alışkanlıkları ve oral hijyen değişkenlerinin  $\Delta E$  üzerindeki etkisinin daha sınırlı olduğu önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Tekin, 2022).

Sonuç olarak, bu çalışmada hızlı üst çene genişletmesi uygulanan hastalarda  $\Delta E$  değerlerinin kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek olduğu, ancak bu artışın klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Elde edilen bulgular, HÜÇG sırasında kullanılan Bonded akrilik cap splint ve Hyrax apareylerinin diş renginde ölçülebilir fakat estetik açıdan sınırlı bir değişime

yol açtığını ve bu açıdan klinik olarak güvenli kabul edilebileceğini düşündürmektedir.

Hızlı üst çene genişletmesi gibi dentoalveoler ve iskeletsel etkileri belirgin olan bir ortodontik işlemin, diş rengi üzerindeki in-vivo etkilerinin sistematik olarak değerlendirilmesi literatürde sınırlı sayıda ele alınmış bir konudur. Mevcut çalışmaların büyük bir bölümü HÜÇG'nin transversal genişleme miktarı, sutural yanıt veya dental devrilme gibi biyomekanik ve iskeletsel sonuçlarına odaklanırken, diş rengindeki değişim gibi estetik bir parametreyi doğrudan inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışma, hızlı üst çene genişletmesi sürecinde ortaya çıkan renk değişimlerini objektif ölçüm yöntemleriyle değerlendirmesi ve klinik ortamda elde edilen veriler üzerinden yorumlaması açısından literatüre farklı bir bakış açısı sunmaktadır.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle örneklem büyüklüğünün nispeten sınırlı olması, bireysel varyasyonların yüksek olduğu renk ölçümü çalışmalarında sonuçların genellenebilirliğini kısmen azaltabilir. Ayrıca yalnızca kısa dönem renk değişimleri değerlendirilmiş olup, hızlı üst çene genişletmesi sonrası uzun dönem renk stabilitesi incelenmemiştir. Mine yüzeyinin zaman içerisinde tükürük ile yeniden mineralize olabilmesi, gingival iyileşme süreci ve hijyen alışkanlıklarının değişkenlik gösterebilmesi dikkate alındığında, uzun süreli takip yapılmamış olması önemli bir kısıt olarak değerlendirilebilir. Apareylerin metal ve akrilik yüzeylerinin tükürük akışı ve plak retansiyonu üzerindeki etkilerinin bireyden bireye farklılık göstermesi, elde edilen sonuçların tamamen aparey tipine atfedilmesini sınırlandırmaktadır. Diş rengi değişimini etkileyebilecek önemli faktörlerden biri olan ağız hijyeni durumu, çalışmada gingival indeks ve plak indeksi gibi kantitatif parametreler kullanılarak objektif olarak değerlendirilmemiştir. Her ne kadar çalışma grupları ağız hijyeninin yeterli olduğu bireylerden oluşturulmuş ve klinik kontroller düzenli olarak yapılmış olsa da, plak ve gingival durumun indekslerle sayısal olarak izlenmemiş olması, bireyler arası hijyen farklılıklarının renk değişimi üzerindeki olası etkilerinin ayrıntılı analizini sınırlamıştır. Gelecekte yapılacak çalışmaların daha geniş örneklemle, farklı yaş gruplarında ve uzun dönemli takip protokolleri ile gerçekleştirilmesi, hızlı üst çene genişletmesinin diş rengi üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Özellikle tedavi sonrası 6 ay, 1 yıl ve 2 yıl gibi zaman aralıklarında yapılacak değerlendirmeler, renk değişiminin sürekliliği

ve geri dönüşümlülüğü hakkında daha net sonuçlar sunabilir. Ayrıca metal bantlı ve akrilik tabanlı farklı ekspansiyon apareylerinin renk stabilitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması, klinisyenlerin aparey seçiminde estetik açıdan yol gösterici olabilir. Tükürük akış hızı, beslenme alışkanlıkları, bireysel hijyen motivasyonu gibi hasta faktörlerinin  $\Delta E$  değerleri ile ilişkilendirildiği multifaktöriyel modellerin kullanılması ve farklı adeziv sistemler ile bant simanlarının renk stabilitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, renk değişiminin mekanizmasını daha ayrıntılı açıklamaya yardımcı olabilir.



## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

1. Tedavi öncesi ve sonrası L\* değerleri açısından gruplar arasında anlamlı bir fark saptanmamış, genişletme apareylerinin doğrudan koyulaştırıcı bir etki oluşturmadığı görülmüştür.
2. a\* parametresinde başlangıç değerleri benzer olmakla birlikte zaman içerisinde gruplar arasında anlamlı değişimler izlenmiş, bu değişimlerin inflamasyondan ziyade mine optiği, plak birikimi ve çevresel faktörlerle ilişkili olabileceği düşünülmüştür.
3. b\* değerleri açısından gruplar arasında anlamlı farklılıklar bulunmuş, ancak bu değişimler klinik kabul edilebilirlik sınırlarının altında kalmıştır.
4. ΔE değerleri aparey gruplarında kontrol grubuna kıyasla daha yüksek bulunmuş, ancak Bonded akrilik cap splint ve Hyrax grupları arasında ΔE açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır.
5. Elde edilen ΔE artışlarının klinik olarak dramatik bir renklenmeye işaret etmediği, daha çok ölçülebilir ancak sınırlı düzeyde bir renk değişimini yansıttığı görülmüştür.
6. Bu bulgular, hızlı üst çene genişletmesi sırasında kullanılan apareylerin diş renginde zamana bağlı fizyolojik değişimlere ek olarak sınırlı bir renk değişimi oluşturabileceğini, ancak bu etkinin aparey tipleri arasında belirgin şekilde farklılaşmadığını göstermektedir.
7. Hızlı üst çene genişletmesi tedavisinde, özellikle bantlanan mine yüzeylerinde plak birikimini azaltmaya yönelik hijyen eğitiminin ve düzenli klinik kontrollerin önemli olduğu düşünülmektedir.
8. Gelecekte yapılacak çalışmaların daha geniş örneklemelerle, farklı yaş gruplarında ve uzun dönemli takip protokolleri ile gerçekleştirilmesi, diş rengindeki değişimlerin sürekliliği ve geri dönüşümlülüğü hakkında daha kapsamlı bilgi sağlayacaktır.
9. Tedavi sonrası 6 ay, 1 yıl ve 2 yıl gibi zaman aralıklarında yapılacak değerlendirmeler, hızlı üst çene genişletmesinin uzun dönem estetik etkilerinin daha net ortaya konmasına katkı sağlayabilir.
10. Metal bantlı ve akrilik tabanlı farklı ekspansiyon apareylerinin renk stabilitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması, klinisyenlerin aparey seçiminde estetik açıdan yol gösterici olabilir.

11. Tükürük akış hızı, beslenme alışkanlıkları, bireysel hijyen motivasyonu ve kullanılan adeziv sistemlerin  $\Delta E$  değerleri ile değerlendirildiği multifaktöriyel çalışmalar, renk değişiminin mekanizmasını daha ayrıntılı açıklayabilir.



## KAYNAKLAR

- Ahn, S.-J., Lee, S.-J., Lim, B.-S., & Nahm, D.-S. (2007). Quantitative determination of adhesion patterns of cariogenic streptococci to various orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132(6), 815-821. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.09.034>
- 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>
- Andrucioli, M. C. D., & Matsumoto, M. A. N. (2020). Transverse maxillary deficiency: treatment alternatives in face of early skeletal maturation. *Dental Press J Orthod*, 25, 70-79. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.25.1.070-079.bbo>
- Angelieri, F., Cevidanes, L. H., Franchi, L., Goncalves, J. R., Benavides, E., & McNamara, J. A. (2013). Midpalatal suture maturation: Classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 144(5), 759-769. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.022>
- Angell, E. H. (1860). Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. *Dental Cosmos*, 1, 540-544.
- Annisa, M., Harsini, H., & Nuryanti, A. (2023). The comparison of two programmes to measure color difference (I\* E) from tooth sample photo. *J Appl Oral Sci*, 10(2), 257-267. <https://doi.org/10.30659/odj.10.2.257-267>
- Asanza, S., Cisneros, G. J., & Nieberg, L. G. (1997). Comparison of Hyrax and bonded expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 112(5), 571-576. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1997\)067<0015:COHABE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1997)067<0015:COHABE>2.3.CO;2)
- Babacan, H., Doruk, C., & Bicakci, A. A. (2010). Pulpal blood flow changes due to rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*, 80(6), 1136-1140. <https://doi.org/10.2319/031010-139.1>
- Baccetti, T., Franchi, L., Cameron, C. G., & McNamara Jr, J. A. (2001). Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*, 71(5), 343-350. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2001\)071<0343:TTFRME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2001)071<0343:TTFRME>2.0.CO;2)
- Baccetti, T., McGill, J. S., Franchi, L., McNamara Jr, J. A., & Tollaro, I. (1998). Skeletal effects of early treatment of Class III malocclusion with maxillary expansion and face-mask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 113(3), 333-343. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(98\)70306-3](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(98)70306-3)
- Bagheri, R., Burrow, M., & Tyas, M. (2005). Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *Dent J (Basel)*, 33(5), 389-398. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.10.018>
- Baltzer, A., & Kaufmann-Jinoian, V. (2005). Shading of ceramic crowns using digital tooth shade matching devices. *Int J Comput Dent*, 8(2), 129-152.
- Baratieri, C., Alves Jr, M., de Souza, M. M. G., de Souza Araujo, M. T., & Maia, L. C. (2011). Does rapid maxillary expansion have long-term effects on airway dimensions and breathing? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 140(2), 146-156. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.02.019>
- Barwick, P. J., & Ramsay, D. S. (1996). Effect of brief intrusive force on human pulpal blood flow. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 110(3), 273-279. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(96\)80011-4](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(96)80011-4)
- Bell, R. A. (1982). A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 81(1), 32-37. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(82\)90285-8](https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90285-8)

- Betts, N., Vanarsdall, R., Barber, H., Higgins-Barber, K., & Fonseca, R. (1995). Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*, 10(2), 75-96.
- Betts, N. J., Vanarsdall, R. L., Barber, H. D., Higgins-Barber, K., & Fonseca, R. J. (1995). Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 7(2), 1-23.
- Bilgin, D. T., & Özcan, M. M. CAD/CAM Seramiklerinin Fonksiyon Sonrası Oluşan Mekan Değişiklerinin Değerlendirilmesi.
- Bishara, S. E., Burkey, P. S., & Kharouf, J. G. (1994). Dental and facial asymmetries: a review. *Angle Orthod*, 64(2), 89-98. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1994\)064<0089:DAFAAR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1994)064<0089:DAFAAR>2.0.CO;2)
- Bishara, S. E., & Ostby, A. W. (2008). White spot lesions: formation, prevention, and treatment. *Semin Orthod*,
- Bishara, S. E., & Staley, R. N. (1987). Maxillary expansion: Clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 91(1), 3-14. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(87\)90202-2](https://doi.org/10.1016/0889-5406(87)90202-2)
- Brewer, J. D., Wee, A., & Seghi, R. (2004). Advances in color matching. *Dent Clin North Am*, 48(2), 341-358. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2004.01.004>
- Cantarella, D., Dominguez-Mompell, R., Moschik, C., Mallya, S. M., Pan, H. C., Alkahtani, M. R., Elkenawy, I., & Moon, W. (2018). Midfacial changes in the coronal plane induced by microimplant-supported skeletal expander, studied with cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 154(3), 337-345. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.11.033>
- Carlson, C., Sung, J., McComb, R., Machado, A., & Moon, W. (2015). Microimplant-assisted rapid palatal expansion in young adults: A CBCT study. *Angle Orthod*, 85(2), 253-260.
- Carlson, C., Sung, J., McComb, R. W., Machado, A. W., & Moon, W. (2016). Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 149(5), 716-728. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.04.043>
- Ceylan, İ., Oktay, H., & Demirci, M. (1996). The effect of rapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *Angle Orthod*, 66(4), 301-308. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1996\)066<0301:TEORME>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1996)066<0301:TEORME>2.3.CO;2)
- Chu, S. J., Paravina, R. D., Sailer, I., & Miesleszko, A. J. (2017). *Color in dentistry: a clinical guide to predictable esthetics* (Vol. 129). Quintessence Publishing Hanover Park (IL). [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. *Dent J (Basel)*, 38, e2-e16. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.001>
- Cistulli, P. A., Palmisano, R. G., & Poole, M. D. (1998). Treatment of obstructive sleep apnea syndrome by rapid maxillary expansion. *Sleep*, 21(8), 831-835. <https://doi.org/10.1093/sleep/21.8.831>
- Compadretti, G. C., Tasca, I., & Bonetti, G. A. (2006). Nasal airway measurements in children treated by rapid maxillary expansion. *Am J Rhinol Allergy*, 20(4), 385-393. <https://doi.org/10.2500/ajr.2006.20.2881>
- Çörekçi, B., & Göyenç, Y. B. (2013). Dentofacial changes from fan-type rapid maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion in early mixed dentition: a prospective clinical trial. *Angle Orthod*, 83(5), 842-850. <https://doi.org/10.2319/103112-837.1>

- da Silva Filho, O. G., Santamaria Jr, M., & Filho, L. C. (2007). Epidemiology of posterior crossbite in the primary dentition. *J Clin Orthod*, 32(1), 73-78. <https://doi.org/10.17796/jcpd.32.1.h53g027713432102>
- 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. *J Prosthet Dent*, 99(5), 361-368. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60083-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60083-9)
- Darendeliler, M. A., Strahm, C., & Joho, J.-P. (1994). Light maxillary expansion forces with the magnetic expansion device. A preliminary investigation. *Eur J Orthod*, 16(6), 479-490. <https://doi.org/10.1093/ejo/16.6.479>
- Davis, W. M., & Kronman, J. H. (1969). Anatomical changes induced by splitting of the midpalatal suture. *Angle Orthod*, 39(2), 126-132. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1969\)039<0126:ACIBSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1969)039<0126:ACIBSO>2.0.CO;2)
- Dawes, C. (2008). Salivary flow patterns and the health of hard and soft oral tissues. *J Am Dent Assoc*, 139, 18S-24S. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2008.0351>
- de Silva Fo, O. G., Boas, C. V., & Capelozza, L. F. (1991). Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 100(2), 171-179. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(05\)81524-0](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(05)81524-0)
- DEAN, L. W. (1909). The Influence on the Nose of Widening the Palatal Arch. *J Am Dent Assoc*, 52(12), 941-943. <https://doi.org/10.1001/jama.1909.25420380007001b>
- Della Bona, A. (2020). *Color and appearance in dentistry* (Vol. 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42626-2>
- DiCosimo, C., Alsulaiman, A. A., Shah, C., Motro, M., Will, L. A., & Parsi, G. K. (2021). Analysis of nasal airway symmetry and upper airway changes after rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 160(5), 695-704. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.06.038>
- Dipaolo, R. (1970). Thoughts on palatal expansion. *J Clin Orthod*, 4(9), 493-497.
- Doğan, D. A., & Yüzügüllü, B. (2011). Renk seçiminde güncel teknolojik gelişmeler. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2011(4), 65-72.
- Doruk, C., Bicakci, A. A., Basciftci, F. A., Agar, U., & Babacan, H. (2004). A comparison of the effects of rapid maxillary expansion and fan-type rapid maxillary expansion on dentofacial structures. *Angle Orthod*, 74(2), 184-194. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2004\)074<0184:ACOTEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2004)074<0184:ACOTEO>2.0.CO;2)
- Dozic, A., Kleverlaan, C. J., Aartman, I. H., & Feilzer, A. J. (2004). Relation in color of three regions of vital human incisors. *Dent Mater J*, 20(9), 832-838. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.10.013>
- Echarri-Nicolás, J., González-Olmo, M. J., Echarri-Lobiondo, P., Lagravère, M., & Romero, M. (2024). Tooth-Bone-Borne vs Bone-Borne Rapid Maxillary Expanders on Dentoskeletal Changes. *J Multidiscip Healthc*, 1877-1886. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S433693>
- Eichenberger, M., & Baumgartner, S. (2014). The impact of rapid palatal expansion on children's general health: A literature. *Eur. J. Paediatr. Dent*, 15, 67. <https://doi.org/10.5167/uzh-94158>
- Ekström, C., Henrikson, C. O., & Jensen, R. (1977). Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 71(4), 449-455. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(77\)90248-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(77)90248-2)
- Eliades, T., & Athanasiou, A. E. (2002). In vivo aging of orthodontic alloys: implications for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility. *Angle Orthod*, 72(3), 222-237. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2002\)072<0222:IVAOOA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2002)072<0222:IVAOOA>2.0.CO;2)

- Eliades, T., Kakaboura, A., Eliades, G., & Bradley, T. G. (2001). Comparison of enamel colour changes associated with orthodontic bonding using two different adhesives. *Eur J Orthod*, 23(1), 85-90. <https://doi.org/10.1093/ejo/23.1.85>
- Erdoğan, A. E., Ugur, T., & Erbay, E. (1999). A comparison of different treatment techniques for posterior crossbite in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 116(3), 287-300. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(99\)70240-4](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(99)70240-4)
- Erdur, E. A., Yıldırım, M., Karatas, R. M. C., & Akin, M. (2020). Effects of symmetric and asymmetric rapid maxillary expansion treatments on pharyngeal airway and sinus volume. *Angle Orthod*, 90(3), 425-431. <https://doi.org/10.2319/050819-320.1>
- Farronato, G., Giannini, L., Galbiati, G., & Maspero, C. (2012). RME: influences on the nasal septum. *Minerva Dent Oral Sci*, 61(4), 125-134. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22441415/>
- Fattouh, M., Kenawi, L., & Aboelela, O. A. (2021). Repeatability of visual, spectrophotometer and intraoral scanner methods in shade matching: A comparative in-vivo study. *Int J Dent Oral Sci*, 8(5), 2439-2445. <https://doi.org/10.19070/2377-8075-21000480>
- Ferrario, V. F., Garattini, G., Colombo, A., Filippi, V., Pozzoli, S., & Sforza, C. (2003). Quantitative effects of a nickel-titanium palatal expander on skeletal and dental structures in the primary and mixed dentition: a preliminary study. *Eur J Orthod*, 25(4), 401-410. <https://doi.org/10.1093/ejo/25.4.401>
- Fırıncıoğulları, E., & Urdinç, A. (2025). Effects of Fluoride-containing Biomimetic Agents on Remineralization and Color Change of Enamel White Spot Lesions: An In Vitro Study. *Oper Dent*, 50(1), 78-92. <https://doi.org/10.2341/24-048>
- Garib, D. G., Henriques, J. C., Carvalho, P. E. G., & Gomes, S. C. (2007). Longitudinal effects of rapid maxillary expansion: a retrospective cephalometric study. *Angle Orthod*, 77(3), 442-448. <https://doi.org/10.4317/jced.53544>
- Garib, D. G., Henriques, J. F. C., Janson, G., de Freitas, M. R., & Fernandes, A. Y. (2006). Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129(6), 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.02.021>
- Gasparik, C., Grecu, A. G., Culic, B., Badea, M. E., & Ducea, D. (2015). Shade-matching performance using a new light-correcting device. *J Esthet Restor Dent*, 27(5), 285-292. <https://doi.org/10.1111/jerd.12150>
- Gelgör, İ. E., Karaman, İ. A., & Ercan, E. (2007). Prevalence of malocclusion among adolescents in central anatolia. *Eur J Dent*, 1(03), 125-131. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1698327>
- Gerlach, K. L., & Zahl, C. (2005). Surgically assisted rapid palatal expansion using a new distraction device: report of a case with an epimucosal fixation. *J Oral Maxillofac Surg*, 63(5), 711-713. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2004.12.017>
- Ghinea, R., Pérez, M. M., Herrera, L. J., Rivas, M. J., Yebra, A., & Paravina, R. D. (2010). Color difference thresholds in dental ceramics. *Dent J (Basel)*, 38, e57-e64. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.008>
- GmbH, V. Z. H. R., & Co, K. G. (2022). VITA Easyshade® Advance 4.0: Technical Information and Operating Instructions.
- Görgülü, S., Gokce, S. M., Olmez, H., Sagdic, D., & Ors, F. (2011). Nasal cavity volume changes after rapid maxillary expansion in adolescents evaluated with 3-dimensional simulation and modeling programs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 140(5), 633-640. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.12.020>

- Graber, L. W., Vanarsdall, R. L., Vig, K. W. L., & Huang, G. J. (2017). *Orthodontics: Current principles and techniques*. Elsevier.
- Graber, T., & Vanarsdall Jr, R. (1994). *Orthodontics. Current principles and techniques*, Mosby. Year Book Inc., St Louis University of Michigan, 233-238.
- Gray, L. P. (1975). Results of 310 cases of rapid maxillary expansion selected for medical reasons. *J Laryngol Otol*, 89(6), 601-614. <https://doi.org/10.1017/S0022215100080804>
- Guilleminault, C., & Li, K. K. (2004). Maxillomandibular expansion for the treatment of sleep-disordered breathing: preliminary result. *Laryngoscope*, 114(5), 893-896. <https://doi.org/10.1097/00005537-200405000-00020>
- Gungor, A. Y., & Turkkahraman, H. (2009). Effects of airway problems on maxillary growth: a review. *Eur J Dent*, 3(03), 250-254. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1697440>
- Haas, A. (1980). Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *Angle Orthod*, 50(3), 189-217. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1980\)050<0189:LPEORP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1980)050<0189:LPEORP>2.0.CO;2)
- Haas, A. J. (1961). Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod*, 31(2), 73-90. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1961\)031<0073:REOTMD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1961)031<0073:REOTMD>2.0.CO;2)
- Haas, A. J. (1965). The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod*, 35(3), 200-217. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1965\)035<0200:TTOMDB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1965)035<0200:TTOMDB>2.0.CO;2)
- Haas, A. J. (1970). Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 57(3), 219-255. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(70\)90241-1](https://doi.org/10.1016/0002-9416(70)90241-1)
- Halicioglu, K., Kiki, A., & Yavuz, İ. (2011). Hızlı üst çene genişletmesi'nin tıbbi faydaları: Literatür derlemesi. *Cumhuriyet Dental Journal*, 14(3), 258-263. <https://www.academia.edu/23659168>
- Helm, S. (1968). Malocclusion in Danish children with adolescent dentition: an epidemiologic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 54(5), 352-366. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(68\)90304-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(68)90304-7)
- Hershey, H. G., Stewart, B. L., & Warren, D. W. (1976). Changes in nasal airway resistance associated with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 69(3), 274-284. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(76\)90076-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(76)90076-2)
- Hesse, K. L., Årtun, J., Joondeph, D. R., & Kennedy, D. B. (1997). Changes in condylar position and occlusion associated with maxillary expansion for correction of functional unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 111(4), 410-418. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(97\)80023-6](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(97)80023-6)
- Huang, M., Ye, H., Chen, H., Zhou, Y., Liu, Y., Wang, Y., & Sun, Y. (2022). Evaluation of accuracy and characteristics of tooth-color matching by intraoral scanners based on Munsell color system: an in vivo study. *Odontology*, 110(4), 759-768. <https://doi.org/10.1007/s10266-022-00694-9>
- Irgin, C. (2024). Simulation of oral environmental conditions through artificial aging of teeth for the assessment of enamel discoloration in orthodontics. *BMC Oral Health*, 24(1), 1533. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05353-9>
- Isaacson, R. J., Wood, J. L., & Ingram, A. H. (1964). Forces produced by rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*, 34(4), 256-260. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1964\)034<0261:FPBRME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1964)034<0261:FPBRME>2.0.CO;2)

- Işeri, H., Tekkaya, A. E., Öztan, Ö., & Bilgic, S. (1998). Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *Eur J Orthod*, 20(4), 347-356. <https://doi.org/10.1093/ejo/20.4.347>
- Iyisu, S. N. (2017). *Sabit ortodontik pekiştiricilerin yapıştırılmasında kullanılan çeşitli materyallerin farklı renklendirici solüsyonlarla renk değişimlerinin incelenmesi* [Uzmanlık Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. Trabzon.
- Johnston, W., & Kao, E. (1989). Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *JDR Clin Trans Res*, 68(5), 819-822. <https://doi.org/10.1177/00220345890680051301>
- Joiner, A. (2004). Tooth colour: a review of the literature. *Dent J (Basel)*, 32, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2003.10.013>
- Joiner, A., Hopkinson, I., Deng, Y., & Westland, S. (2008). A review of tooth colour and whiteness. *Dent J (Basel)*, 36, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2008.02.001>
- Joy, J., & Kumar, A. (2021). Methods of maxillary arch expansion in orthodontics: A literature review. *Int J Appl Dent Sci*, 7, 251-254. <https://doi.org/10.22271/oral.2021.v7.i2d.1218>
- Karadeniz, H. (2023). *Farklı adezivlerin ve ofis tipi beyazlatma uygulamasının braketli dişlerde minenin renk değişikliği üzerine etkisinin spektrofotometrik incelemesi: Bir in vitro çalışma* [Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. Samsun. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Karamouzos, A., Athanasiou, A. E., & Papadopoulos, M. A. (2010). Clinical characteristics and treatment of white spot lesions in orthodontic patients. *Prog Orthod*, 11(2), 82-88.
- Kartalian, A., Gohl, E., Adamian, M., & Enciso, R. (2010). Cone-beam computerized tomography evaluation of the maxillary dentoskeletal complex after rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 138(4), 486-492. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.10.025>
- Kaya, A. (2020). *Farklı braket sistemleri ve bitirme prosedürlerinin mine renklenmesi ile ilişkisinin değerlendirilmesi* [Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi]. Hatay.
- Keyf, F., Uzun, G., & Altunsoy, S. (2009). Diş hekimliğinde renk seçimi. *Hacettepe Diş Hek Fak Derg*, 33(4), 52-58.
- Kilic, N., Kiki, A., Oktay, H., & Selimoglu, E. (2008). Effects of rapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *Angle Orthod*, 78(3), 409-414. <https://doi.org/10.2319/050407-217.1>
- Kiliç, N., & Oktay, H. (2008). Effects of rapid maxillary expansion on nasal breathing and some naso-respiratory and breathing problems in growing children: a literature review. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 72(11), 1595-1601. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2008.07.014>
- Kim-Pusateri, S., Brewer, J. D., Davis, E. L., & Wee, A. G. (2009). Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent*, 101(3), 193-199. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(09\)60028-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(09)60028-7)
- Klaff, D. (2010). Achieving the predictable composite resin restoration: the nature of colour. *Int Dent SA*, 12, 64-77.
- Kocadereli, I. (1996). Rapid maksiller ekspansiyon. *Türk J Orthod*, 9, 138-142.
- Korkhaus, G. (1960). Present orthodontic thought in Germany: jaw widening with active appliances in cases of mouth breathing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 46(3), 187-206. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(60\)90081-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(60)90081-6)
- Korkmaz, Y. N. (2017). *Akrilik bonded hızlı üst çene genişletme apareyi uygulanan hastalarda beyaz nokta lezyonlarını önleme yöntemlerinin karşılaştırılması* [Uzmanlık Tezi, Erciyes Üniversitesi]. Kayseri, Türkiye. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

- Koudstaal, M. J., Poort, L., Van der Wal, K., Wolvius, E., Prahl-Andersen, B., & Schulten, A. (2005). Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 34(7), 709-714. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2005.04.025>
- Kuehni, R. G. (2002). The early development of the Munsell system. *Color Res. Appl.*, 27(1), 20-27. <https://doi.org/10.1002/col.10002>
- Kumar, S. A., Gurunathan, D., Muruganandham, S. S., & Kumar, S. (2011). Rapid maxillary expansion: a unique treatment modality in dentistry. *J Clin Diagn Res*, 5(4), 906-911.
- Kurol, J., & Berglund, L. (1992). Longitudinal study and cost-benefit analysis of the effect of early treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. *Eur J Orthod*, 14(3), 173-179. <https://doi.org/10.1093/ejo/14.3.173>
- Kutin, G., & Hawes, R. R. (1969). Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 56(5), 491-504. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(69\)90210-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(69)90210-3)
- Lagouvardos, P. E., Fougia, A. G., Diamantopoulou, S. A., & Polyzois, G. L. (2009). Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Prosthet Dent*, 101(1), 40-45. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60289-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60289-9)
- Lagravère, M. O., Hansen, L., Harzer, W., & Major, P. W. (2006). Plane orientation for standardization in 3-dimensional cephalometric analysis with computerized tomography imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129(5), 601-604. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.11.031>
- Lagravere, M. O., Major, P. W., & Flores-Mir, C. (2005). Long-term dental arch changes after rapid maxillary expansion treatment: a systematic review. *Angle Orthod*, 75(2), 155-161. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2005\)075<0151:LDACAR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2005)075<0151:LDACAR>2.0.CO;2)
- Lamparski Jr, D. G., Rinchuse, D. J., Close, J. M., & Sciote, J. J. (2003). Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 123(3), 321-328. <https://doi.org/10.1067/mod.2003.10>
- Landa, E. R., & Fairchild, M. D. (2005). Charting color from the eye of the beholder: A century ago, artist albert henry munsell quantified colors based on how they appear to people; specializations of his system are still in wide scientific use. *Am Sci*, 93(5), 436-443.
- Laptook, T. (1981). Conductive hearing loss and rapid maxillary expansion: report of a case. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 80(3), 325-331. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(81\)90294-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(81)90294-3)
- Larsson, E. (1986). The effect of dummy-sucking on the occlusion: a review. *Eur J Orthod*, 8(2), 127-130. <https://doi.org/10.1093/ejo/8.2.127>
- Lee, Y.-K. (2005). Comparison of CIELAB  $\Delta E^*$  and CIEDE2000 color-differences after polymerization and thermocycling of resin composites. *Dent Mater J*, 21(7), 678-682. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.09.005>
- Liberato, W. F., Barreto, I. C., Costa, P. P., de Almeida, C. C., Pimentel, W., & Tiossi, R. (2019). A comparison between visual, intraoral scanner, and spectrophotometer shade matching: A clinical study. *J Prosthet Dent*, 121(2), 271-275. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.05.004>
- Lima Filho, R. M., & Lima, A. L. (2003). Long-term outcome of skeletal Class II division 1 malocclusion treated with rapid palatal expansion and Kloehe cervical headgear. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 124(2), 216-224. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00241-5](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00241-5)

- Lima, R. M., & Lima, A. L. (2000). Case report: long-term outcome of Class II division 1 malocclusion treated with rapid palatal expansion and cervical traction. *Angle Orthod*, 70(1), 89-94. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2000\)070<0089:CRLTOO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2000)070<0089:CRLTOO>2.0.CO;2)
- Lin, L., Ahn, H.-W., Kim, S.-J., Moon, S.-C., Kim, S.-H., & Nelson, G. (2015). Tooth-borne vs bone-borne rapid maxillary expanders in late adolescence. *Angle Orthod*, 85(2), 253-262. <https://doi.org/10.2319/030514-156.1>
- Liu, Y., Zhang, R., Ye, H., Wang, S., Wang, K.-P., Liu, Y., & Zhou, Y. (2019). The development of a 3D colour reproduction system of digital impressions with an intraoral scanner and a 3D printer: a preliminary study. *Sci Rep*, 9(1), 20052.
- Lux, C. J., Conradt, C., Burden, D., & Komposch, G. (2004). Transverse development of the craniofacial skeleton and dentition between 7 and 15 years of age—a longitudinal postero-anterior cephalometric study. *Eur J Orthod*, 26(1), 31-42. <https://doi.org/10.1093/ejo/26.1.31>
- MacGinnis, M., Chu, H., Youssef, G., Wu, K. W., Machado, A. W., & Moon, W. (2014). The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex—a finite element method (FEM) analysis. *Prog Orthod*, 15(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s40510-014-0052-y>
- Marshall, S. D., Southard, K. A., & Southard, T. E. (2005). Early transverse treatment. *Semin Orthod*,
- Massaro, C., Garib, D., Cevdanes, L., Janson, G., Yatabe, M., Lauris, J. R. P., & Ruellas, A. C. (2021). Maxillary dentoskeletal outcomes of the expander with differential opening and the fan-type expander: a randomized controlled trial. *Clin Oral Investig*, 25(9), 5247-5256. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03832-9>
- Mc Donald, R., & Avery, D. (1994). *Dentistry for the child and adolescent*. Mosby-Year Book. Inc: 6th ed. St. Louis, 601-605.
- McNamara, J. A. (2000). Maxillary transverse deficiency. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 117(5), 567-570. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(00\)70202-2](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(00)70202-2)
- McNamara, J. A., & Brudon, W. L. (1993). *Orthodontic and orthopedic treatment in the mixed dentition*. Needham Press Ann Arbor, Mich.
- McNamara, J. A., Brudon, W. L., & Kokich, V. G. (2001). *Orthodontics and dentofacial orthopedics* (Vol. 3). Needham Press Ann Arbor, Mich.
- McNamara Jr, J. A. (2002). Early intervention in the transverse dimension: is it worth the effort? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 121(6), 572-574. <https://doi.org/10.1067/mod.2002.124167>
- McNamara Jr, J. A., Baccetti, T., Franchi, L., & Herberger, T. A. (2003). Rapid maxillary expansion followed by fixed appliances: a long-term evaluation of changes in arch dimensions. *Angle Orthod*, 73(4), 344-353. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2003\)073<0344:RMEFBF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2003)073<0344:RMEFBF>2.0.CO;2)
- Mehl, A., Bosch, G., Fischer, C., & Ender, A. (2017). In vivo tooth-color measurement with a new 3D intraoral scanning system in comparison to conventional digital and visual color determination methods. *Int J Comput Dent*, 20(4). <https://doi.org/10.5167/uzh-144972>
- Melsen, B. (1975). Palatal growth studied on human autopsy material: a histologic microradiographic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 68(1), 42-54. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90158-X](https://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90158-X)
- Mew, J. (1997). In favor of semirapid expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 112(4), 20A-21A. [https://www.ajodo.org/article/S0889-5406\(97\)70063-5/fulltext](https://www.ajodo.org/article/S0889-5406(97)70063-5/fulltext)

- Moss, J. (1968). Rapid expansion of the maxillary arch. II. Indications for rapid expansion. *J. Clin. Orthod.*, 2(5), 215. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5244978/>
- Mossaz, C., Byloff, F., & Richter, M. (1992). Unilateral and bilateral corticotomies for correction of maxillary transverse discrepancies. *Eur J Orthod*, 14(2), 110-116. <https://doi.org/10.1093/ejo/14.2.110>
- Motro, M., Schauseil, M., Ludwig, B., Zorkun, B., Mainusch, S., Ateş, M., Küçükkeleş, N., & Korbmacher-Steiner, H. (2016). Rapid-maxillary-expansion induced rhinological effects: a retrospective multicenter study. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 273(3), 679-687. <https://doi.org/10.1007/s00405-015-3584-y>
- Moussaoui, H., El Mdaghri, M., Gouma, A., & Bennani, B. (2018). Accuracy, repeatability and reproducibility of digital intraoral scanner for shade selection: Current status of the literature. *Oral Health Dental Sci*, 2(4), 1-6.
- Moyers, R. E. (1973). *Handbook of orthodontics for the student and general practitioner* (3 ed.). Year Book Medical Publishers.
- Moyers, R. E. (1988). *Handbook of orthodontics*. Year Book Medical Publishers.
- Muia, P. J. (1993). Esthetic restorations: improved dentist-laboratory communication.
- Naoum, S., Goonewardene, M., Abbott, P. V., Karunanayake, K., & Budgeon, C. (2019). Changes in pulp blood flow and pulp sensibility resulting from surgically assisted rapid maxillary expansion: a clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 155(5), 632-641. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.05.025>
- Nicholson, J. W. (2014). Fluoride-releasing dental restorative materials: An update. *Balk J Dent Med*, 18(2), 60-69. <https://doi.org/10.1515/bjdm-2015-0010>
- Niknam, O., Shamohammadi, M., Ataei, Z., & Rakhshan, V. (2023). Combined effects of different bracket bonding adhesives and different resin removal methods on enamel discoloration: a preliminary study. *Int J Dent*, 2023(1), 8838264. <https://doi.org/10.1155/2023/8838264>
- Nohl, F., Steele, J., & Wassell, R. (2002). Crowns and other extra-coronal restorations: aesthetic control. *Br Dent J*, 192(8), 443-450. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4801443>
- O'Brien, W. J. (2002). *Dental materials and their selection* (Vol. 10). Quintessence Chicago.
- Odont, E. L. (2001). Sucking, chewing, and feeding habits and the development of crossbite: a longitudinal study of girls from birth to 3 years of age. *Angle Orthod*, 71(2), 116-119. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2001\)071<0116:SCAFHA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2001)071<0116:SCAFHA>2.0.CO;2)
- Oliveira, N. L., Da Silveira, A. C., Kusnoto, B., & Viana, G. (2004). Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: a comparison of 2 kinds of palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126(3), 354-362. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.07.008>
- Paik, S. I., Lehman, M. N., Seiden, A. M., Duncan, H. J., & Smith, D. V. (1992). Human olfactory biopsy: the influence of age and receptor distribution. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 118(7), 731-738. <https://doi.org/10.1001/archotol.1992.01880070061012>
- Paravina, R. D., Ghinea, R., Herrera, L. J., & et al. (2015). Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(Suppl 1), S1-S9. <https://doi.org/10.1111/jerd.12149>
- Paravina, R. D., Ontiveros, J. C., & Powers, J. M. (2004). Accelerated aging effects on color and translucency of bleaching-shade composites. *J Esthet Restor Dent*, 16(2), 117-126. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2004.tb00018.x>

- Paravina, R. D., Pérez, M. M., & Ghinea, R. (2019). Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *J Esthet Restor Dent*, 31(2), 103-112. <https://doi.org/10.1111/jerd.12465>
- Paul, S., Peter, A., Pietrobon, N., & Hämmerle, C. (2002). Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *JDR Clin Trans Res*, 81(8), 578-582. <https://doi.org/10.1177/154405910208100815>
- Persson, M., & Thilander, B. (1977). Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 72(1), 42-52. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(77\)90123-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(77)90123-3)
- Pirelli, P., Saponara, M., & Guilleminault, C. (2004). Rapid maxillary expansion in children with obstructive sleep apnea syndrome. *Sleep*, 27(4), 761-766. <https://doi.org/10.1093/sleep/27.4.761>
- Proffit, W., Fields, H., Ackerman, J., Sinclair, P., Thomas, P., & Tulloch, J. (1993). Contemporary Orthodontics. Mosby-Year Book. Inc., St Louis, 12.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B., & Sarver, D. M. (2019). *Contemporary orthodontics*. Elsevier.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., & Sarver, D. M. (2019). *Contemporary Orthodontics*. Elsevier.
- Proffit, W. R., White, R. P., & Sarver, D. M. (2003). *Contemporary treatment of dentofacial deformity* (Vol. 283). Mosby St. Louis.
- Ragain, J. C., & Johnston, W. M. (2001). Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Res. Appl.*, 26(6), 432-438. [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)
- Rahmaty, M. E. (2022). *Ortodontik bonding sonrası farklı CAD/CAM seramik yüzeylerde glaze veya cila uygulanmasının renk stabilitesine etkisinin değerlendirilmesi* [Uzmanlık Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. Trabzon.
- Revilla-León, M., Methani, M. M., & Özcan, M. (2021). Impact of the ambient light illuminance conditions on the shade matching capabilities of an intraoral scanner. *J Esthet Restor Dent*, 33(6), 906-912. <https://doi.org/10.1111/jerd.12662>
- Reyes, J., Acosta, P., & Ventura, D. (2019). Repeatability of the human eye compared to an intraoral scanner in dental shade matching. *Heliyon*, 5(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02076>
- Rutkūnas, V., Dirsė, J., & Bilius, V. (2020). Accuracy of an intraoral digital scanner in tooth color determination. *J Prosthet Dent*, 123(2), 322-329. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.12.020>
- Samorodnitzky-Naveh, G. R., Geiger, S. B., & Levin, L. (2007). Patients' satisfaction with dental esthetics. *J Am Dent Assoc*, 138(6), 805-808. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2007.0269>
- 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. *J Prosthet Dent*, 121(2), 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.03.009>
- Sánchez, A. R., Rogers III, R. S., & Sheridan, P. J. (2004). Tetracycline and other tetracycline-derivative staining of the teeth and oral cavity. *Int J Dermatol*, 43(10), 709-715. <https://doi.org/10.1111/j.1365-4632.2004.02108.x>
- Sandikcioglu, M., & Hazar, S. (1997). Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 111(3), 321-327. [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(97\)70191-4](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(97)70191-4)

- Sarıkaya, I., & Güler, A. U. (2009). Diş hekimliği uygulamalarında renk kavramı. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci*, 15(2), 118-129.
- Sarver, D. M., & Ackerman, M. B. (2003). Dynamic smile visualization and quantification: Part 1. Evolution of the concept and dynamic records for smile capture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 124(1), 4-12. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00306-8](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00306-8)
- Schaefer, O., Decker, M., Wittstock, F., Kuepper, H., & Guentsch, A. (2014). Impact of digital impression techniques on the adaption of ceramic partial crowns in vitro. *Dent J (Basel)*, 42(6), 677-683. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.01.016>
- Schiff, N., Dalard, F., Lissac, M., Morgon, L., & Grosgeat, B. (2005). Corrosion resistance of three orthodontic brackets: a comparative study of three fluoride mouthwashes. *Eur J Orthod*, 27(6), 541-549. <https://doi.org/10.1093/ejo/cji050>
- Schulz, S. O., McNamara Jr, J. A., Baccetti, T., & Franchi, L. (2005). Treatment effects of bonded RME and vertical-pull chin cup followed by fixed appliance in patients with increased vertical dimension. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 128(3), 326-336. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.03.039>
- Schuster, G., Borel-Scherf, I., & Schopf, P. M. (2005). Frequency of and complications in the use of RPE appliances—results of a survey in the Federal State of Hesse, Germany. *J Orofac Orthop*, 66(2), 148-161. <https://doi.org/10.1007/s00056-005-0431-6>
- Schütz-Fransson, U., & Kuroi, J. (2008). Rapid maxillary expansion effects on nocturnal enuresis in children: a follow-up study. *Angle Orthod*, 78(2), 201-208. <https://doi.org/10.2319/021407-71.1>
- Sharma, G., Wu, W., & Dalal, E. N. (2005). The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Res. Appl.*, 30(1), 21-30. <https://doi.org/10.1002/col.20070>
- Sidhu, S. (2011). Glass-ionomer cement restorative materials: a sticky subject? *Aust Dent J*, 56, 23-30. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01293.x>
- Sproull, R. C. (1973). Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. *J Prosthet Dent*, 29(4), 416-424. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(73\)80019-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(73)80019-8)
- Staley, R. N., Stuntz, W. R., & Peterson, L. C. (1985). A comparison of arch widths in adults with normal occlusion and adults with Class II, Division 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 88(2), 163-169. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(85\)90241-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90241-6)
- Stuart, D. A., & Wiltshire, W. A. (2003). Rapid palatal expansion in the young adult: time for a paradigm shift? *J Can Dent Assoc*, 69(6), 374-377.
- Subtelny, J. D. (1980). Oral respiration: facial maldevelopment and corrective dentofacial orthopedics. *Angle Orthod*, 50(3), 147-164. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1980\)050<0147:ORFMAC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1980)050<0147:ORFMAC>2.0.CO;2)
- Suda, N., Takada, J., & Ohyama, K. (2006). Orthodontic treatment in a patient with Van der Woude's syndrome. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129(5), 696-705. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.12.024>
- Suri, L., & Taneja, P. (2008). Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 133(2), 290-302. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.01.021>
- 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. *J Esthet Restor Dent*, 33(8), 1084-1104. <https://doi.org/10.1111/jerd.12816>

- Tam, W.-K., & Lee, H.-J. (2017). Accurate shade image matching by using a smartphone camera. *J Prosthet Dent*, 61(2), 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.07.004>
- Taşpınar, F., Üçüncü, H., & Bishara, S. E. (2003). Rapid maxillary expansion and conductive hearing loss. *Angle Orthod*, 73(6), 669-673. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2003\)073<0669:RMEACH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2003)073<0669:RMEACH>2.0.CO;2)
- Tekin, E. (2022). *Farklı pekiştirme aygıtları kullanan hastalarda pekiştirme dönemindeki diş renk değişiminin incelenmesi* Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi]. Bolu.
- Ten Bosch, J., & Coops, J. (1995). Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *JDR Clin Trans Res*, 74(1), 374-380. <https://doi.org/10.1177/00220345950740011401>
- Thilander, B., & Lennartsson, B. (2002). A study of children with unilateral posterior crossbite, treated and untreated, in the deciduous dentition occlusal and skeletal characteristics of significance in predicting the long-term outcome: Occlusal and skeletal characteristics of significance in predicting the long-term outcome. *J Orofac Orthop*, 63(5), 371-383. <https://doi.org/10.1007/s00056-002-0210-6>
- Thilander, B., Wahlund, S., & Lennartsson, B. (1984). The effect of early interceptive treatment in children with posterior cross-bite. *Eur J Orthod*, 6(1), 25-34. <https://doi.org/10.1093/ejo/6.1.25>
- Timms, D. (1981). Rapid Palatal Expansion, Ed. Timms DJ. In: Chicago: Quintessence Publishing Co.
- Timms, D., Preston, C., & Daly, P. (1982). A computed tomographic assessment of maxillary movement induced by rapid expansion—a pilot study. *Eur J Orthod*, 4(2), 123-127. <https://doi.org/10.1093/ejo/4.2.123>
- Timms, D., & Vero, D. (1981). The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 19(3), 180-196. [https://doi.org/10.1016/0007-117X\(81\)90003-2](https://doi.org/10.1016/0007-117X(81)90003-2)
- Timms, D. J. (1974). Some medical aspects of rapid maxillary expansion. *Br. J. Orthod*, 1(4), 127-132. <https://doi.org/10.1179/bjo.1.4.127>
- Timms, D. J. (1980). A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 77(5), 500-507. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(80\)90129-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(80)90129-3)
- Timms, D. J. (1986). The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance. *Br. J. Orthod*, 13(4), 221-228. <https://doi.org/10.1179/bjo.13.4.221>
- Timms, D. J. (1990). Rapid maxillary expansion in the treatment of nocturnal enuresis. *Angle Orthod*, 60(3), 229-233. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1990\)060<0229:RMEITT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1990)060<0229:RMEITT>2.0.CO;2)
- Torlak, B. (2017). Farklı pürüzlendirme yöntemlerinin mine renklenmesi üzerine etkisi/Examination of different etching techniques on enamel color. <https://www.proquest.com/docview/3227463402?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- Toroglu, M. S., Uzel, E., Kayalioglu, M., & Uzel, İ. (2002). Asymmetric maxillary expansion (AMEX) appliance for treatment of true unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 122(2), 164-173. <https://doi.org/10.1067/mod.2002.125563>
- Tunca, M., & Kaya, Y. (2023). Effect of various orthodontic adhesives on enamel colour changes after fixed treatment. *J Orofac Orthop*, 84(2), 125-133. <https://doi.org/10.1007/s00056-021-00338-7>

- Usumez, S., İşeri, H., Orhan, M., & Basciftci, F. A. (2003). Effect of rapid maxillary expansion on nocturnal enuresis. *Angle Orthod*, 73(5), 532-538. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2003\)073<0532:EORMEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2003)073<0532:EORMEO>2.0.CO;2)
- Ülgen, M. (1986). *Ortodontik tedavi prensipleri*. Dicle Üniversitesi. <https://books.google.com.tr/books?id=18nDngEACAAJ>
- Ülgen, M. (2000). *Ortodonti: anomaliler, sefalometri, etoloji, büyüme ve gelişim,tanı*. Yeditepe Üniversitesi. <https://books.google.com.tr/books?id=12LtZwEACAAJ>
- Vanarsdall Jr, R. L. (1999). Transverse dimension and long-term stability. *Semin Orthod*,
- Vanarsdall, R., & White Jr, R. (1994). Three-dimensional analysis for skeletal problems. In (Vol. 9, pp. 159).
- Venkateshwaran, K., Kaur, S., & Shaon, S. Slow maxillary expansion: A review. *Int. J. Health Sci.*, 303-314. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v5nS2.5776>
- Viarani, V., Festa, P., Galasso, G., D'Antò, V., Putrino, A., Mariani, A., Bompiani, G., & Galeotti, A. (2025). Randomized Controlled Clinical Trial to Evaluate Skeletal and Dental Treatment Effects of Rapid Maxillary Expansion in Children: Comparison Between Two-Band Expander and Bonded Palatal Expander. *World Appl Sci J*, 15(13), 7187. <https://doi.org/10.3390/app15137187>
- Warren, J. J., BISHARA, S. E., STEINBOCK, K. L., YONEZU, T., & NOWAK, A. J. (2001). Effects of oral habits' duration on dental characteristics in the primary dentition. *J Am Dent Assoc*, 132(12), 1685-1693. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2001.0121>
- Watts, A., & Addy, M. (2001). Tooth discolouration and staining: a review of the literature. *Br Dent J*, 190(6). <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4800959>
- Wertz, R. A. (1970). Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 58(1), 41-66. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(70\)90127-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(70)90127-2)
- Willis, F. (1911). Rapid separation of the superior maxillary bones to relieve deflected nasal septum and contracted nares. *Dental Cosmos*, 53, 784-786.
- Willmot, D. (2008). White spot lesions after orthodontic treatment. *Semin Orthod*,
- Wilmes, B., Su, Y.-Y., & Drescher, D. (2008). Insertion angle impact on primary stability of orthodontic mini-implants. *Angle Orthod*, 78(6), 1065-1070. <https://doi.org/10.2319/100707-484.1>
- Wozniak, W., Siew, E., Lim, J., McGill, S., Sabri, Z., & Moser, J. (1993). Color mixing in dental porcelain. *Dent Mater J*, 9(4), 229-233. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(93\)90066-Y](https://doi.org/10.1016/0109-5641(93)90066-Y)
- Yoon, H. I., Bae, J. W., Park, J. M., Chun, Y. S., Kim, M. A., & Kim, M. (2018). A study on possibility of clinical application for color measurements of shade guides using an intraoral digital scanner. *J Prosthodont*, 27(7), 670-675. <https://doi.org/10.1111/jopr.12559>
- Zachrisson, B. U. (1998). Esthetic factors involved in anterior tooth display and the smile: vertical dimension.
- Zimring, J. F., & Isaacson, R. J. (1965). Forces produced by rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*, 35(3), 178-186.

# EKLER

## EK 1. Bilgilendirilmiş Onam Form

### BİLGİLENDİRİLMİŞ OLUR FORMU

(Tek sayfa olarak hazırlanacaktır)

Bu katıldığınız çalışma bilimsel bir araştırma olup, araştırmanın adı Hızlı üst çene genişletmesi yapılan hastalarda dişlerdeki renk değişimlerinin ~~incelenmesidir~~. Bu araştırmanın amacı, ~~okaleler~~ darlığa bağlı oluşan ~~okaleli yapıların düzeltilmesinde~~ kullanılan hızlı üst çene genişletme aparatlarının dişlerdeki renk değişikliklerinin incelenmesidir. Bu çalışmada yer almanız öngörülen süre 3-4 ay olup, çalışmada yer alacak gönüllülerin sayısı 60 kişidir.

Bu araştırma ile ilgili olarak diş fırçalayarak ağız hijyenine dikkat etmek ve hızlı üst çene genişletmesi için yerleştirilen vidayı gösterildiği gibi doğru zamanlarda çevirmek sizin sorumluluklarınızdır.

Bu çalışmada sizin için rutin hızlı üst çene genişletme prosedürleri uygulanacaktır. Bu hızlı üst çene genişletmesinin kontrol aşamalarında 2-3 dakikalık renk ölçümü yapılacaktır. Bu renk ölçümü size rahatsızlık veya ağrı veren bir işlem değildir. Bu sebeple renk ölçümüne bağlı herhangi bir risk ve rahatsızlığın olması söz konusu değildir ve sizin için beklenen bir yarar bulunmamaktadır.

Bu araştırmanın tedavisinde uygulanabilecek, ancak şimdilik uygulanmayacak olan herhangi bir işlem bulunmamaktadır.

Araştırma bağlı bir zarar söz konusu olduğunda, bu durumun tedavisi sorumlu araştırmacı tarafından yapılacak, ortaya çıkan masraflar Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği fakültesi tarafından karşılanacaktır (Sağlık Bakanlığı'ndan izin alınması gerekli olmayan araştırmalar için zorunlu değildir). Araştırma sırasında sizi ilgilendirebilecek herhangi bir gelişme olduğunda, bu durum size veya yasal temsilcinize derhal bildirilecektir. Araştırma hakkında ek bilgiler almak için ya da çalışma ile ilgili herhangi bir sorun, istenmeyen etki ya da diğer rahatsızlıklarınız için 0374 253 45 00-01 / 6910 no.lu telefondan Dr. Öğr. Üyesi Musa ~~BULUT~~ baş vurabilirsiniz.

Bu çalışmada yer almanız nedeniyle size hiçbir ödeme yapılmayacaktır; ayrıca, bu araştırma kapsamındaki bütün muayene, tetkik, testler ve tıbbi bakım hizmetleri için sizden veya bağlı bulunduğunuz sosyal güvenlik kuruluşundan hiçbir ücret istenmeyecektir. Bu araştırma Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği fakültesi (kurum/kuruluş) tarafından desteklenmektedir.

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

Size ait tüm tıbbi ve kimlik bilgileriniz gizli tutulacaktır ve araştırma yayınlansa bile kimlik bilgileriniz verilmeyecektir, ancak araştırmanın izleyicileri, yoklama yapanlar, etik kurullar ve resmi makamlar gerektiğinde tıbbi bilgilerinize ulaşabilir. Siz de istediğinizde kendinize ait tıbbi bilgilere ulaşabilirsiniz (tedavinin gizli olması durumunda, gönüllüye kendine ait tıbbi bilgilere ancak verilerin analizinden sonra ulaşabileceği bildirilmelidir).

#### Çalışmaya Katılma Onayı:

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

Bu formun imzalı bir kopyası bana verilecektir.

|                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gönüllünün,</b><br><br>Adı-Soyadı:<br><br>Tel.-Faks:<br><br>Tarih ve İmza:                                                                     | <b>Açıklamaları yapan araştırmacının,</b><br><br>Adı-Soyadı:<br><br>Tel.-Faks:<br><br>Tarih ve İmza:                                                                                                         |
| <b>Velayet veya vesayet altında bulunanlar için veli veya vasiinin,</b><br><br>Adı-Soyadı:<br><br>Adresi:<br><br>Tel.-Faks:<br><br>Tarih ve İmza: | <b>Olur alma işlemine başından sonuna kadar tanıklık eden kuruluş görevlisinin/görüşme tanığının,</b><br><br>Adı-Soyadı:<br><br><u>Görevi:</u><br><br><u>Adresi:</u><br><br>Tel.-Faks:<br><br>Tarih ve İmza: |

## EK 2. Anabilim Dalı Tez Konusu Onay Kararı



T.C.  
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
Diş Hekimliği Fakültesi  
Ortodonti Ana Bilim Dalı Başkanlığı

TOPLANTI SAYISI  
2023/3

KARAR SAYISI  
2023/3-12

TOPLANTI TARİHİ  
15.05.2023

### ORTODONTİ ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Karar 3 : Arş. Gör. Tuğba ISLAK'ın Tez Danışmanlarının 1. Danışman Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT, 2. Danışman Dr. Öğr. Üyesi Yasin HEZENCİ, Tez Konusunun ise "Üç farklı kuvvet miktarı uygulanan twin blok hastalarında kraniyofasial ve dental etkilerin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi" olarak belirlenmesine.

Karar 4 : Arş. Gör. Metehan AKMAN'ın Tez Danışmanının Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ, Tez Konusunun ise " Farklı keser inklınasyonlarına ve yüksekliklerine yerleştirilen üç pasif kapaklı braketin tork değerine etkisinin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi" olarak belirlenmesine.

Karar 5 : Arş. Gör. Çağlar GÖKSU 'nun Tez Danışmanının Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ, Tez Konusunun ise "Ortodontik retainer plaklarının pH'a bağlı mekanik özelliklerinin, renk değişimlerinin ve çözünürlüğünün kıyaslanması" olarak belirlenmesine.

Karar 6 : Arş. Gör. Burak Basri ÜSTÜNÜNAL'ın Tez Danışmanlarının; 1. Danışman Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ, 2. Danışman Dr. Öğr. Üyesi Yasin HEZENCİ, Tez Konusunun ise "Şeffaf plak ataçmanlarında kullanılan farklı kompozit materyallerinin basma dayanımları ve aşınma dirençlerinin karşılaştırılması" olarak belirlenmesine.

Karar 7 : Arş. Gör. Muhammed Sertaç ŞENGÜL'ün Tez Danışmanının Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT, Tez Konusunun ise "Hızlı üst çene genişletmesi yapılan hastalarda dişlerdeki renk değişimlerinin incelenmesi" olarak belirlenmesine.

Karar 8 : Arş. Gör. Elif ÖNER'in Tez Danışmanının Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT, Tez Konusunun ise "Farklı Beyazlatma Ajanlarının Metal Braketlerin İyon Salınımına Etkisinin İncelenmesi" olarak belirlenmesine.

Karar 9 : Arş. Gör. Pouria POURHAZ'ın Tez Danışmanının Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT, Tez Konusunun ise "Kemik Destekli Maksiller Protraksiyon ve Diş Destekli Carriere Motion Aparenti ile Yapılan Sınıf III Tedavilerin Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile Karşılaştırılması" olarak belirlenmesine.

Karar 10 : Arş. Gör. Gökçe KIRYAMAN'ın Tez Danışmanlarının, 1. Danışman Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT 2. Danışman Doç. Dr. Semiha ARSLAN, Tez Konusunun ise "Semaphorin 3A'nın osteosit biyolojisindeki rolü" olarak belirlenmesine.

Karar 11 : Arş. Gör. Muhteber DURMUŞ'un Tez Danışmanlarının, 1. Danışman Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT, 2. Danışman Dr. Öğr. Üyesi Yasin HEZENCİ, Tez Konusunun ise "Sınıf II Maloklüzyon Tedavisinde Kullanılan Şeffaf Plak Mandibular İlerletme Aparenti ile Twin Block Aparentinin 3 Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Karşılaştırılması" olarak belirlenmesine.

Karar 12 : Arş. Gör. Gamze BOZKURT'un Tez Danışmanlarının, 1. Danışman Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ, 2. Danışman Doç. Dr. Semiha ARSLAN, Tez konusunun ise "Tek Taraflı Gömülü Kanin Dişinin Mandibular Kondillerin Alveoler Kemik Yoğunluğu Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi: Retrospektif Bir KİBT Çalışması" olarak belirlenmesine.

Adres: İzzet Baysal Kampüsü 14090 Gölöy / Bolu

Telefon No: (0 374) 2534500 - 01

e-Posta:

Kep Adresi: [ibu@ibu1.kep.tr](mailto:ibu@ibu1.kep.tr)

Faks No:

İnternet Adresi: <http://www.ibu.edu.tr/>

Bölge için:

Halil Ibrahim Cebeci  
Ana Bilim Dalı Sekreteri

Telefon No:

(0 374) 2541000 - 8158

