

T. C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

FARKLI İNTRAKORONAL AĞARTMA MATERYALLERİNİN İRRİGASYON
SOLÜSYONLARINA MARUZ KALMIŞ KRON DENTİNİNİN TÜBÜL ÇAPI,
MİKROSERTLİĞİ VE MİNERAL İÇERİĞİNE ETKİSİ

Dt. Hakan KARAASLAN
UZMANLIK TEZİ

ANKARA
2019

T. C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

FARKLI İNTRAKORONAL AĞARTMA MATERYALLERİNİN İRRİGASYON
SOLÜSYONLARINA MARUZ KALMIŞ KRON DENTİNİNİN TÜBÜL ÇAPI,
MİKROSERTLİĞİ VE MİNERAL İÇERİĞİNE ETKİSİ

Dt. Hakan KARAASLAN
UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bahar ÖZÇELİK

ANKARA
2019

ONAY SAYFASI

13/12/2019

Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığı'na

Dt. Hakan KARAASLAN'ın 13.12.2019 tarihinde jürimiz önünde yaptığı savunmasında "Farklı İnttrakoronal Ağartma Materyallerinin İrrigasyon Solüsyonlarına Maruz Kalmış Kron Dentininin Tübül Çapı, Mikrosertliği ve Mineral İçeriğine Etkisi" başlıklı çalışması jürimiz tarafından Diş Hekimliği'nde Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Bahar ÖZÇELİK
Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Endodonti Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bahar ÖZÇELİK
Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Endodonti Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Cumhuri AYDIN
Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi
Endodonti Anabilim Dalı

Doç. Dr. Emre NAGAŞ
Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Endodonti Anabilim Dalı

ONAY : Tıpta ve Diş Hekimliğinde Uzmanlık Eğitimi Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıda jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. A. Rüya YAZICI
Dekan

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Dekanlık tarafından onaylanan uzmanlık tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 6 ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

23 / 12 / 2019

Hakan Karaaslan

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca emeği ve destekleri için tez danıŐmanım Prof. Dr. Bahar Özçelik'e, yardıma ihtiyacım olduğunda her zaman orada olan Doç. Dr. Emel Uzunolu-Özyürek'e, bütün hocalarıma, asistan ve uzman arkadaşlarıma, Endodonti Anabilim Dalı'nın akademik ve idari tüm personeline, destekleri için annem AyŐe Kadriye Gülçin Karaaslan, babam Oğuz Karaaslan ve ablam iğdem Karaaslan'a, ve her zaman yanımda olan Özge Erdoğan'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiŐtir.

(H.Ü.B.A.B Proje No: 17/745-36)

ÖZET

Karaaslan, H. Farklı intrakoronar ağartma materyallerinin irrigasyon solüsyonlarına maruz kalmış kron dentininin tübül çapı, mikrosertliği ve mineral içeriğine etkisi, Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Uzmanlık Tezi, Ankara, 2019. %35 Hidrojen peroksit (HP), %37 karbamid peroksit (CP) ve sodyum perborat (SP) kron içi beyazlatmada en çok kullanılan beyazlatma materyalleridir. Kron içi beyazlatma son zamanlarda yaygınlaşan ve merak uyandıran rejeneratif prosedürler sonrası da önem kazanmıştır. Bu çalışma bu ajanların ve kombinasyonlarının endodontik tedavi sırasında kullanılan irrigasyon protokolleri ile birlikte dentinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkisini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla 60 adet mandibular molar diş kronu kesilerek toplam 240 adet kron parçası elde edilmiştir. Bunlardan 120 örneğe irrigasyon protokolü (20 dakika 20mL %2,5 sodyum hipoklorit, 3 dakika 3mL %17 EDTA) uygulanmıştır. Diğer 120 örnek de irrigasyon kontrol grubu olarak salinde bekletilmiştir. Daha sonra her iki irrigasyon grubu da uygulanacak beyazlatma materyaline göre 6 gruba ayrılmıştır(Kontrol, SP, SPCP, CP, SPHP, HP). Her bir örneğin mikrosertliği beyazlatma ajanları uygulanmadan önce Vicker's mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür. Oluşturulan 6 gruba rastgele bir şekilde dağıtılan kron parçalarına, her birinin grubuna ait beyazlatma protokolü uygulanmıştır. 7 gün sonunda değiştirilen beyazlatma ajanları, toplam 14 gün sonunda uzaklaştırılmış ve kontrol grubuyla beraber hepsinin mikrosertlik değerleri yeniden ölçülmüştür. Yine beyazlatma sonrası tübül çapları SEM ile ölçülmüş ve kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. Mineral miktarları da SEM-EDX yöntemiyle ölçülmüş ve kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler iki yönlü ANOVA ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Irrigasyon protokolleri tek başına örneklerin mikrosertlik değerlerini değiştirmemiştir ($p > .05$). SP, SP+CP, CP ve SP+HP ile tedavi, irrigasyon protokolünden bağımsız olarak örneklerin mikrosertlik değerlerinde anlamlı bir artışa yol açmıştır ($p < .05$). Irrigasyon uygulanmış SP+CP örneklerinin mikrosertlik değerleri, irrigasyon uygulanmamış SP+CP örneklerine göre anlamlı bir miktarda yüksek ölçülmüştür ($p < .05$). Beyazlatma ajanları arasında dentin tübül çapı açısından HP grubunda anlamlı bir fark görülmüştür ve irrigasyon uygulanan örneklerde de örneğin dentin tübül çapı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır ($p < .05$). Beyazlatma ajanı uygulanan örnekler içerisinde hiçbirinde Ca, P değerleri ve Ca/P oranı anlamlı olarak değişmezken ($p > .05$), irrigasyon protokolü uygulanan dişlerde mineral değerlerinde artış görülmüştür ($p < .05$).

Anahtar Kelimeler: Kron içi beyazlatma, bleaching, walking bleach, sem, edx, vicker's mikrosertlik, irrigasyon, edta, sodyum hipoklorit

ABSTRACT

Karaaslan, H. Effect of different intracoronary bleaching agents on tubule radius, microhardness and mineral content of crown dentin exposed to irrigation solutions, Hacettepe University, School of Dentistry, Department of Endodontics, Turkey, 2019. Hydrogen peroxide 35% (HP), carbamide peroxide 37 % (CP) and sodium perborate (SP) are the most common intracoronary bleaching agents used in internal bleaching which has become an important treatment modality in discolored teeth after regenerative procedures. Similar dimensioned 240 dentin sections were obtained from 60 intact human mandibular molar crowns. Samples were randomly divided into 2 groups according to the root canal irrigation exposure. Half of the samples (120) were exposed to root canal irrigants (10 ml NaOCl %2,5 for 20 minutes, 3 ml EDTA %17 for 3 minutes). Then samples were further divided into 6 sub-groups (n=20) according to the bleaching agents used: SP, CP, HP, SP+CP, SP+HP and no bleaching as a negative control group. Samples were treated with respective bleaching agents, then they were isolated with PTFE tape and stored for 2 weeks. On day 7, bleaching agents were renewed. All samples were stored at 25°C in saline. Vickers microhardness values were measured before and after the bleaching procedure. Samples were inspected under SEM for tubule radii and mineral content. Data was statistically analyzed. Irrigation alone did not influence the microhardness values of samples ($p > .05$). Treatment with SP, SP+CP, CP, and SP+HP significantly increased the microhardness values of samples regardless of the final irrigation regimen ($p < .05$). Microhardness values of irrigated/SP + CP treated samples were statistically higher than not-irrigated/SP + CP treated samples ($p < .05$). There was no significant difference among the bleached groups in terms of tubule radii except the HP group, although irrigated samples had significantly increased radii ($p < .05$). There was no significant increase in mineral values(Ca, P and Ca/P) of the bleached test subgroups when compared with non-bleached control groups ($p > .05$) but all surface mineral values were statistically higher among irrigated samples .

Keywords: intracoronary bleaching, walking bleach, sem, edx, vicker's microhardness, irrigation, edta, sodium hypochlorite

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----------|
| ONAY SAYFASI | iii |
| YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI..... | iv |
| TEŞEKKÜR | v |
| ÖZET | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| İÇİNDEKİLER..... | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | x |
| ŞEKİLLER | xi |
| TABLolar..... | xiv |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 3 |
| 2.1 Diş Renklenmeleri | 3 |
| 2.1.1 İçsel Renklenmeler..... | 3 |
| 2.1.2 Dışsal Renklenmeler | 7 |
| 2.2 Diş Beyazlatma..... | 8 |
| 2.2.1 Diş Beyazlatmada Kullanılan Materyaller | 8 |
| 2.2.2 Diş Beyazlatma Teknikleri | 11 |
| 2.3 Dentin | 13 |
| 2.4 İrrigasyon Solüsyonları | 16 |
| 2.4.1 Sodyum Hipoklorit (NaOCl) | 16 |
| 2.4.2. Etilendiamintetraasetik Asit (EDTA)..... | 19 |
| 2.5 Mekanik Özellikler | 22 |
| 2.5.1 Scratch Sertlik Testi..... | 22 |
| 2.5.2 Rebound Sertlik Testi | 23 |
| 2.5.3 Indentation Sertlik Testleri | 24 |
| 2.5.4 Diş dokularının sertliği | 26 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 2.6 Görüntüleme Yöntemleri | 27 |
| 2.7 Mineral Analiz Yöntemleri..... | 30 |
| 3. GEREÇ VE YÖNTEM..... | 33 |
| 4. BULGULAR | 40 |
| 5. TARTIŞMA..... | 50 |
| 6. SONUÇ | 65 |
| 7. KAYNAKLAR | 67 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|-------------------------------|--|
| % | Yüzde |
| °C | Santigrat derece |
| mg | Miligram |
| g | Gram |
| mL | Mililitre |
| mm | Milimetre |
| µm | Mikrometre |
| N | Newton |
| SEM | Scanning Electron Microscope(Tarama Elektron Mikroskobu) |
| NaOCl | Sodyum Hipoklorit |
| EDTA | Etilendiamintetraasetik asit |
| H ₂ O ₂ | Hidrojen Peroksit |
| Std. | Standart Sapma |
| VHN | Vickers Hardness Number (Vickers Sertlik Numarası) |
| Ca | Kalsiyum |
| P | Fosfor |
| PTFE | Politetrafloroetilen |

ŞEKİLLER

| Şekil | Sayfa |
|---|-------|
| 2.1. Amelogenezis İmperfekta dişlerde sarı-kahverengi renklenmeler oluşturmaktadır | 5 |
| 2.2. A) Pulpa nekrozu sonrası demir sülfid oluşmaktadır B) Demir sülfidin dentin kanallarına girmesi sonucu dişteki Renklenme | 6 |
| 2.3. A) Başarılı bir rejeneratif endodontik tedavi sonrası oluşan renklenme ve B) renklenmenin giderilmesi | 6 |
| 2.4. A) Hidrojen Peroksit molekülünün yapısal diyagramı B) Hidrojen Peroksit'in keratinize yumuşak dokular üzerindeki etkisi C) Hidrojen peroksitin kararsız yapısı nedeniyle oluşan bozunma reaksiyonu ve son ürünleri | 9 |
| 2.5. Üre ve hidrojen peroksitten karbamit peroksit oluşumu | 10 |
| 2.6. Sodyum perboratın kimyasal yapısı | 10 |
| 2.7. Eksternal beyazlatma tekniği ve Nd:YAG lazer ile aktive edilen %35 hidrojen peroksit içeren hazır preparat | 11 |
| 2.8. Asit uygulanarak demineralizasyon sağlanmış, kollajen ağı ortaya çıkan dentin dokusu | 13 |
| 2.9. Dentin tübüllerinin longitudinal kesitinde görülen intertübüler ve peritübüler dentin yapısı | 14 |
| 2.10 Sodyum hipoklorit çözeltisinin denge reaksiyonu | 17 |
| 2.11 Mohs Sertlik test kiti | 23 |
| 2.12 Knoop Sertlik Testi formülü | 24 |
| 2.13 Brinell Sertlik Testi formülü | 25 |
| 2.14 Vickers Sertlik testi formülü | 25 |
| 2.15 Vickers mikrosertlik test cihazının elmas ucu | 26 |
| 2.16 SEM'de elektron etkileşimlerinin şematik gösterimi | 29 |
| 2.17 A) SEM çalışma prensibinin şematik gösterimi | |

| Şekil | Sayfa |
|--|--------------|
| B) SEM içerisinde elektronların etkileşimi | 29 |
| 3.1 Örneklerin hazırlanması A) Giriş kavitesi preparasyonu | |
| B) Dekoronizasyon işlemi C) Yüzük şekilli kron dan 4 adet dentin örneği hazırlanması | 34 |
| 3.2 A) Örneklerin metilmetakrilat bloklardaki görünümü | |
| B) Yüzey polisajı yapılan örneğin, dentin dokusu dışarı-yukarı bakacak şekilde görünümü | 35 |
| 3.3 A) Vickers Mikrosertlik cihazının eşkenar dörtgen izi | |
| B) Vickers mikrosertlik cihazı ölçüm hesaplaması | 36 |
| 3.4 A) FGM Whiteness Superendo %37 Karbamiit Peroksit | |
| B): Opalescence Endo %35 Hidrojen Peroksit C): Sodyum perborat D) Sodyum perborat toz hali | 37 |
| 3.5 A) Örnekler üzerine beyazlatma materyallerinin uygulanması | |
| B) Beyazlatma materyali uygulaması sonrası örneklerin PTFE bant ile izole edilmesi | 38 |
| 3.6 Ölçüm yapılan elektron mikroskobunun: A) Karbon kaplama cihazı | |
| B) Elektron Mikroskobunun ölçüm yapılan üniti | 38 |
| 3.7 A) SEM tablasına yerleştirilecek olan örnekler | |
| B) Örneklerin harita üzerine işaretlenmesi | 39 |
| 3.8 Şekil 3.7’de görülen örneklerin SEM tablasındaki ölçüm öncesi görünümü. | 39 |
| 4.1 Örneklerin tümünde beyazlatma maddeleri uygulanmadan önceki mikrosertlik değerlerinin kutu grafiği ile değerlendirilmesi | 40 |
| 4.2 İrrigasyon uygulanmış SP+CP grubunun, irrigasyon uygulanmış kontrol, CP grupları ile ve irrigasyon uygulanmamış SP+CP grubu ile karşılaştırılması | 42 |
| 4.3 İrrigasyon uygulanmış ve uygulanmamış yüzeylerde gruplara göre beyazlatma maddesi uygulanmış dentin yüzeylerinin x2000 büyütmedeki SEM görüntüsü | 47 |

| Şekil | Sayfa |
|---|--------------|
| 4.4 Artıkların uzaklaştırıldığı ve tübül içlerinin de en temiz olduğu belirlenen, irrigasyon sonrası HP uygulanmış gruba ait görünüşler. Temiz olmasına karşın, diğer gruplara göre yüzey hasarının fazla olduğu görülmekte. | 48 |
| 4.5 İrrigasyon sonrası yüzeylere CP ve SP'nin tek başına uygulanması sonrası dentin yüzey görünüşleri | 48 |
| 4.6 İrrigasyon uygulanmış yüzeylerde sodyum perborat kombinasyonları (SP+HP, SP+CP) uygulandığında SP+HP örneklerinde gözlenen nispeten daha temiz dentin yüzeyi | 49 |

TABLolar

| Tablo | Sayfa |
|---|--------------|
| 2.1. Kaynakları ve renklerine göre diş renklenmeleri | 4 |
| 3.1 Örneklerin gruplara göre dağılımı | 33 |
| 4.1 İrrigasyon uygulanan ve uygulanmayan beyazlatma gruplarının, beyazlatma işlemi öncesi ve sonrası Vickers mikrosertlik değerleri | 41 |
| 4.2 Beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmamasının beyazlatma sonrası Vickers mikrosertlik değerlerine olan etkisi | 42 |
| 4.3 Beyazlatma ve irrigasyon gruplarına göre örneklerin mineral ölçümleri | 43 |
| 4.4 Sadece irrigasyonun mineral ve tübül miktarlarına etkisi | 43 |
| 4.5 Beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmamasının dentin mineral değerlerine etkisi | 44 |
| 4.6 İrrigasyon uygulanan örnekler arasında yapılan tübül çapı karşılaştırmalarında, HP grubu ile SP ve SP+HP grupları arasında anlamlı fark bulunmuştur. | 45 |
| 4.7 Beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmaması ve tübül genişliği ilişkisi | 46 |

1. GİRİŞ

Estetik; felsefenin sanat, güzellik ve beğeni ile ilgilenen; kültür ve doğadan etkilenen bir dalıdır (1). Diş estetiği de kültüre ve zamana göre değişiklik gösterse de bin yılı aşkın bir süredir insan güzellik anlayışının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Diş eksikliklerinin giderilmesi, kozmetik değişiklikler yapılması ve dişin renginin değiştirilmesi, eski uygarlıklar tarafından modern diş hekimliğinin başlangıcından(2) yüzyıllar öncesinde uygulanmaya başlanmıştır(3–5). Günümüzde ise tek bir dişe veya ağızdaki bütün dişlere uygulanan beyazlatma protokolleri, diş hekimlerinin, diş diş yüzeyinin bütünlüğünü bozmadan uyguladığı kozmetik amaçlı dental işlemlerendir.

Diş rengini değerlendirmede, doğada rengi oluşturan bileşenlerden, parlaklık, ton ve yoğunluk esas alınmaktadır (6). Bu bileşenler birbirleriyle karmaşık bir etkileşim içerisindedir. Günümüzde uygulanan diş beyazlatma işlemleri bu bileşenlerin hepsine etki etse de en çok parlaklık değerini değiştirmektedir.

Dişlerin tümünün ya da bir veya birkaçının rengini daha beyaz daha parlak hale getirmek için, yüz yılı aşkın bir süredir farklı materyal ve yöntemler denenmektedir (7,8). Bu amaçla dişlerdeki renk değişikliklerine sebep olan lokal ve sistemik durumları belirleyip engellemek(9) ve oluşan renk değişikliklerini geri döndürerek komşu dişlerle daha uyumlu bir görünüm kazandırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Renklenmenin kaynağını tam olarak belirlemek tedavi yöntemini belirlememizde önemli bir aşamadır. Renklenmenin dışsal ya da içsel faktörlerle oluşuna göre beyazlatma tekniklerinin endikasyonları da değişmektedir. Beyazlatma tedavileri, diş kaynaklı renklenmelerin tedavisinde diş diş yüzeyine, iç kaynaklı renklenmelerin tedavisinde ise diş kronunun içine uygulanmaktadır.

Kron içi beyazlatma yöntemleri sistemik ve lokal içsel sebepler nedeniyle, komşu dişlerle renk uyumu bozulan dişleri beyazlatmak için kullanılmaktadır. Son yıllarda rejeneratif tedavilerin yaygınlaşması ile (10), mevcut endikasyonlara yenileri de eklenmiştir. Kök kanal tedavisi gerektiren bazı diş hastalıklarının yanı sıra kök kanal tedavisi sırasında kullanılan bazı materyaller nedeniyle de diş renklenmesi meydana gelebilir(11).

Kök kanal tedavisi, dişlerin pulpa boşluğunu ve kök kanallarını dolduran pulpa dokusunun, ve periapikal bölgenin patolojik oluşumlarının tedavisi için yüz yılı aşkın süredir uygulanmakta olan bir tedavidir. Kök kanal tedavisi temizleme ve şekillendirme, dezenfeksiyon ve kök kanalının doldurulması olmak üzere üç temel üzerine kurulmuştur. Bu işlem basamakları sırasında dezenfeksiyon amacı ile kullanılan yıkama solüsyonları ve diş renklenmelerini tedavi etmek için kullanılan beyazlatma materyalleri, diş sert dokularında kimyasal ve mekanik değişikliklere yol açmakta (12,13), bu değişiklikler dişin hayatta kalma oranına, fiziksel kuvvetlere olan dayanımına etki etmektedir.

Bu çalışma, literatürde beyazlatma amacıyla en çok kullanılan 3 kimyasalın ve çeşitli kombinasyonlarının dentin yapısına olan etkisinin, yaygın irrigasyon protokolleri ile birlikte değerlendirildiği bir çalışma olup, literatürde benzer amaçlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kron-içi beyazlatma tekniklerinin, çoğunlukla kök kanal tedavili dişlerde uygulandığı ve kök kanal tedavisi sırasında kullanılan irrigasyon protokollerinin de dişin mineral yapısına olan etkisi göz önünde bulundurulduğunda, hem kanıta dayalı diş hekimliğinin klinik uygulamalarında hem de klinik uygulamalara yön verecek bilimsel araştırmalara altyapı olması açısından bu çalışma sonuçlarının önem arz edeceği düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Diş Renklenmeleri

Dişlerin renklenmeleri, oluşma nedenlerine göre içsel ve dışsal olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Oluşumlarının kimyasal temellerine dayanarak başka sınıflandırmalar yapılsa da(14), dişlerdeki konum ve etiyolojilerine bağlı olarak yapılan bu sınıflama, yani içsel ve dışsal renklenmeler olarak kategorize edilmesi, hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi, dişlerin renkleri fizyolojik veya patolojik olarak sistemik durumlardan etkilenebileceği gibi, hem iyatrojenik hem de patolojik lokal durumlar diş renklenmelerine yol açmaktadır (11).

2.1.1 İçsel Renklenmeler

İçsel renklenmeler, sistemik veya lokal sebepler nedeniyle oluşabilir. Bu tip renklenmeler, dişin yapısına etki eder ve diş dış yüzeyinden daha çok, iç yapılarında değişiklikler oluşturarak renklenmeye sebep olurlar (15). İçsel renklenmeler etiyolojilerine göre sistemik veya lokal içsel renklenmeler olmak üzere iki alt başlıkta incelenebilir.

Sistemik İçsel Diş Renklenmeleri

Sistemik nedenli içsel diş renklenmeleri, genetik sebeplerle, sistemik hastalıklar ve sistemik olarak kullanılan ilaçlar nedeniyle oluşabilir. Bu renklenmeler dişlerin oluşumu esnasında veya dişler gelişimini tamamladıktan sonra olabilir(16). Amelogenesis imperfekta (17) ve dentinogenesis imperfekta(18) daimi ve/veya süt diş dizisinin tamamını etkileyen, dişte renklenmelerle beraber mine veya dentin dokusunun gelişim anomalileri ile karakterize genetik hastalıklardır (Şekil 2.1). Porfiriya, eritroblastozis fetalis ve talasemi, dişlerde renklenme oluşturduğu bilinen diğer genetik hastalıklardır (19,20). Dişin gelişme aşamasında geçirilen sistemik

hastalıklar ve beslenme yetersizlikleri de diş sert dokularında renk değişikliği ile karakterize defektler oluşturan sistemik iç kaynaklı diş renklenmelerine verilebilecek diğer örneklerdendir(21). Dişin gelişme aşamasında sistemik olarak yüksek florüre maruz kalınması, dişlerde bant şeklinde, beyaz opak lezyonlara yol açmaktadır. İleri düzey florozis hastalarında görülen, kahverengi-siyah renklenmeler ise yapısal olarak bozulmuş diş yüzeyine dışsal kaynaklı pigmentlerin tutunması ile oluşur(22,23). Florozis beyazlatma tekniklerine zor cevap veren renklenmelere sebep olmaktadır.

Tablo 2.1. Kaynakları ve renklerine göre diş renklenmeleri

| | Dış Kaynaklar | İç Kaynaklar | |
|-------------------------------------|--|---|--|
| | | Lokal | Sistemik |
| Siyah | Kahve, çay, tütün, şarap, kromojen bakteri, plak, metaller | Metal restorasyonlar, cam iyonomer siman, pulpa kanaması, minosiklin(revaskülarizasyon uygulamaları) | Tetrasiklin (sistemik) |
| Gri | | Metaller, Silika bileşikler(MTA) | Dentinogenezis İmperfekta (DI), talasemi |
| Kahverengi Kırmızı | Kahve, çay, tütün, şarap, klorheksidin, iyot, plak, | Servikal kök rezorpsiyonu, kompozit rezinler, cam iyonomer siman, travma, iyot, irrigasyon solüsyonları, pulpa kanaması, minosiklin | Amelogenenezis İmperfekta (AI), DI, Konjenital eritropoietik porfriya, Florozis, tetrasiklin, talasemi |
| Yeşil | Çay, kromojen bakteriler, metaller | - | Hiperbilirubinemi, talasemi |
| Turuncu | Kromojen bakteriler, doksisisiklin | - | - |
| Sarı | - | Aktif çürük, kompozit rezin, cam iyonomer siman, travma | Yaşlanma, AI, DI, travma, dentin displazileri, florozis, hemolitik hast., Rickets, hiperbilirubinemi |

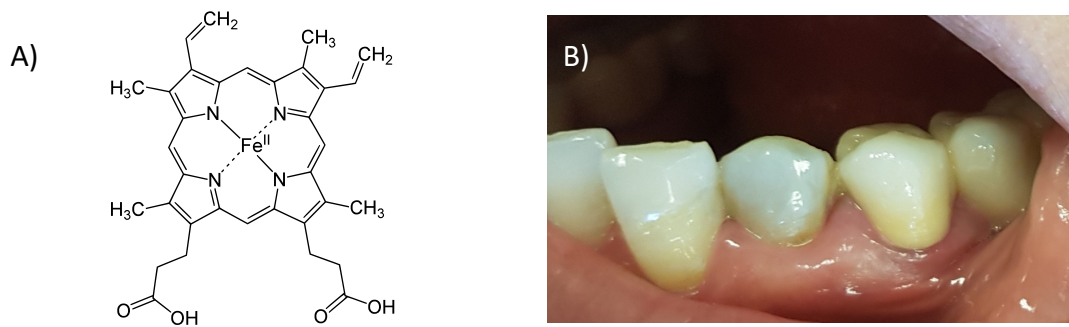
Tetrasiklin, plasenta duvarını geçebilen bir geniş spektrumlu antibiyotiktir. Dişin gelişme aşamasında sistemik olarak kullanılan tetrasiklin ve türevi diğer antibiyotikler, dentinogenezis (dentin gelişimi) veya amelogenezis (mine gelişimi) sırasında kullanılırsa ilgili dokuda birikerek renklenmeler yapabilmektedir(24). Yaşlanma ile oluşan sekonder dentin oluşumu, dentin ve minenin yapısında oluşan fizyolojik değişiklikler ve artan ortalama yaşam süresi, beyazlatma ile çözüm aranan diş renklenmelerinin önemli sebepleri arasında yer almaktadır(25).



Şekil 2.1. Amelogenesis İmperfekta dişlerde sarı-kahverengi renklenmeler oluşturmaktadır(26).

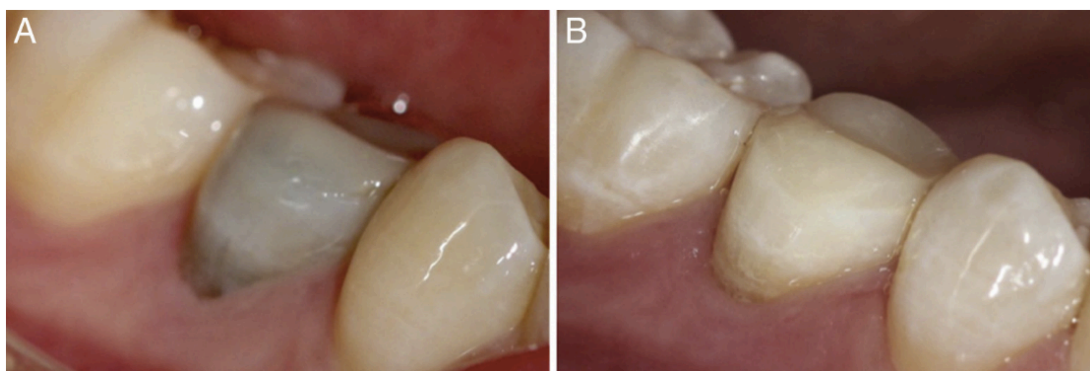
Lokal İçsel Diş Renklenmeleri

Sistemik olmayan sebeplerle, dişin iç yapılarında değişiklikler oluştuğunda diş sert dokularında lokal içsel diş renklenmeleri meydana gelmektedir. Bu renklenmeler pulpa nekrozu, travma sebebiyle oluşan pulpa kanaması, çürük, kalsifik metamorfoz ve kök rezorpsiyonu gibi patolojik sebepler nedeniyle oluşabileceği gibi, kök kanal tedavisi sonrası diş içerisinde bırakılmış pulpa dokusu, kullanılan restoratif materyaller, kök kanal medikamentleri , irrigasyon solüsyonları, kök kanal dolgu materyalleri gibi iyatrojenik nedenlerle de oluşabilir.



Şekil 2.2. A) Pulpa nekrozu sonrası demir sülfid oluşmaktadır B) Demir sülfidin dentin kanallarına girmesi sonucu dişteki renklenme

Pulpa nekrozu ve pulpa kanaması kaynaklı renklenmeler, pulpa dokusundaki hemoglobini oluşturan hem gruplarındaki demirin, hidrojen sülfid ile etkileşimi sonucu oluşan demir sülfidin dentin kanallarına girmesi sebebiyle olmaktadır(27) (Şekil 2.2). Metal içerikli restoratif materyaller (altın, amalgam vb.) dişlerde ve çevre yumuşak dokularda renklenmelere sebep olmaktadır. Restorasyondan ortama salınan metal iyonları, dentin tübüllerine girmekte ve renklenmeye yol açmaktadır(28).



Şekil 2.3. A) Başarılı bir rejeneratif endodontik tedavi sonrası oluşan renklenme ve B) renklenmenin giderilmesi (29)

Vital pulpa tedavilerinde, revaskülarizasyon ve perforasyon tamiri gibi artık çok geniş bir yelpazede kullanılan MTA'nın, ilk üretilen formlarındaki tetra-kalsiyum alümino ferritin çıkartılması ile renklenme sorunu azalsa da(30), beyaz MTA'larda

bulunan ve radyoopasite için eklenen bizmut oksit nedeniyle, beyaz MTA kullanılan vakalarda da renklenmeler bildirilmiştir(29,31) (Şekil 2.3) . Sistemik olarak uygulandığında vücut sert dokularında biriktiği gibi, lokal uygulamalarda da tetrasiklin ve türevi antibiyotik patları (minosiklin, doksisisiklin) kullanımı sonrası dişlerde renklenme görüldüğü bildirilmiştir. Revaskülarizasyon protokollerinde de bulunan üçlü antibiyotik patının (siprofloksasin, metronidazol, minosiklin), içeriğindeki tetrasiklin türevi antibiyotik minosiklin nedeniyle dişlerde renklenmeler oluşturduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir(32,33). Günümüzde artık kullanılmayan, gümüş koniler, gümüş içeren kök kanal dolgu patları da renklenmelere yol açan endodontik materyaller arasında sayılabilir(34,35).

2.1.2 Dışsal Renklenmeler

Tütün çiğnenmesi ve içilmesi, renkli gıdalar, kırmızı şarap, çay ve kahve gibi renkli içeceklerin tüketilmesi dişlerde dış renklenmelere yol açabilir. Dışsal renklenmeler oluşma şekillerine göre, direkt ve indirekt boyama yapanlar olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir. Direkt boyama ile etkisini gösteren renklendirici materyaller, kromojenlerin direkt olarak diş dokusuna tutunarak renklendirmesi ile diş renginde değişiklik oluştururlar(36). İndirekt boyama ile etkisini gösterenler ise diş yüzeyinde kimyasal olarak başka bir materyal ile etkileşime girerek renklenme oluştururlar(16). Klorheksidin glukonat gibi katyonik ağız gargaralarının uzun süreli kullanımı, diyet ile alınan anyonik kromojenlerin diş yüzeyine çökmesi ile oluştuğu düşünülen siyah-kahverengi renklenmelere neden olmaktadır(37).

Yukarıda sayılan dışsal renklenmelerin bir kısmı etkenin ortadan kaldırılması ile, bir kısmı farklı seviyelerdeki yüzey aşındırması ile uzaklaştırılabilir(38). Ancak dişin yapısına nüfuz etmiş, içsel renklenmeye yol açan moleküllerin fiziksel olarak uzaklaştırılması mümkün olmayacağı için, içsel renklenmelere ve dişin yapısına işlemiş dışsal renklenmelere kimyasal olarak müdahale edilmesi gerekmektedir(39).

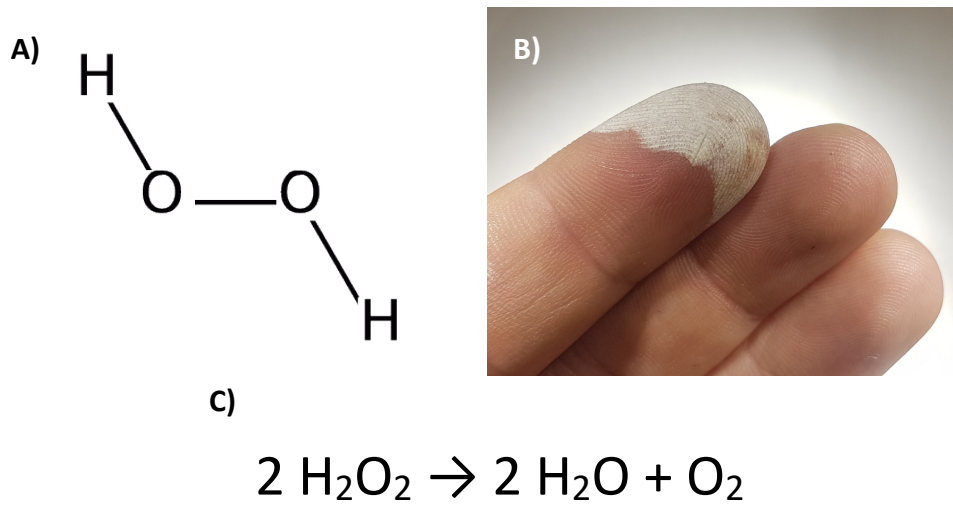
2.2 Diş Beyazlatma

Her geçen gün yüz estetiğinde dişin önemi giderek artmaktadır. Dişlerin ideal bir okluzyonda olması kadar rengi de bu estetiğin önemli bir parçasıdır (40). Genel eğilim, renklenme ile oluşan diş renginin komşu dişlerle renk uyumunun sağlanması kadar tüm dişlerin daha beyaz ve parlak olması şeklindedir. Bu amaçla yüz yılı aşkın süredir çeşitli yöntemler ve kimyasal maddeler kullanılmıştır. Modern diş hekimliğinde ise hidrojen peroksit ve ortama hidrojen peroksit açığa çıkmasına neden olan kimyasallar kullanılmaktadır. Bu materyaller etkilerini, dişin yapısında hapsolmuş uzun zincirli pigment moleküllerini oksidatif reaksiyonlar ile parçalayarak gösterirler (41).

2.2.1 Diş Beyazlatmada Kullanılan Materyaller

Hidrojen Peroksit

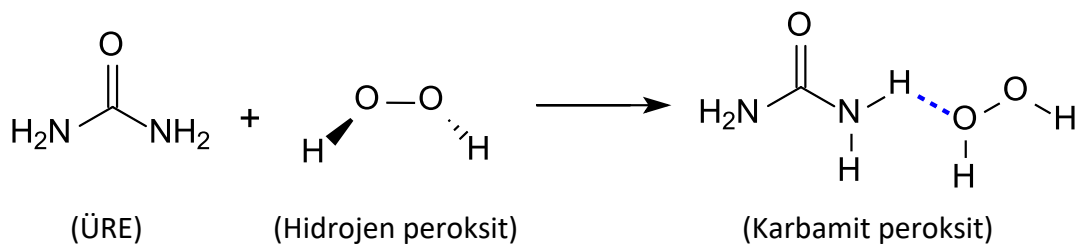
Kullanılan bu materyallerden hidrojen peroksit, insan vücudunda da bulunan, en basit peroksit formudur. Saf halinde, sudan hafifçe daha visköz şeffaf bir sıvıdır. Düşük konsantrasyonlu hidrojen peroksit formları dişeti hastalıklarının tedavisinde 1913 yılından beri önerilirken (42), kron içi beyazlatma için kullanılan formları günümüzde jel şeklinde %30-%35 konsantrasyonlarda da hazırlanmaktadır. Sodyum perborat ile beraber veya ısı uygulanarak beyazlatma etkisi artırılabilir. Yüksek konsantrasyonda ve uzun temas süresinde, yumuşak dokularda hasar ve keratinize dokularda renk değişikliği oluşturabileceği belirtilmiştir(43). (Şekil 2.4) Hafif asidik ortamda, bazik veya nötr ortama göre daha kararlıdır(44). Bozunma reaksiyonu ile OH^- veya H^+ ve HO_2 oluşur. Ortamda Fe^{+2} , Ag gibi başka moleküller yok ise, bu moleküller kendiliğinden H_2O ve O_2 ye dönüşür (Şekil 2.4). Bu nedenle hazır preparatlar raf ömürünün artırılması için asidik hazırlanmaktadır(45,46). Saf %50 hidrojen peroksit solüsyonunun pHı, 4.3 olarak bildirilmiştir. (47)



Şekil 2.4. A) Hidrojen Peroksit molekülünün yapısal diyagramı B) Hidrojen Peroksit'in keratinize yumuşak dokular üzerindeki etkisi C) Hidrojen peroksitin kararsız yapısı nedeniyle oluşan bozunma reaksiyonu ve son ürünleri.

Karbamit Peroksit

Bir diğer beyazlatma amaçlı kullanılan kimyasal ise, diş hekimliğinde daha çok karbamid peroksit diğer adıyla bilinen üre hidrojen peroksittir(IUPAC). Beyaz kristal formda bir katı madde olup 1:1 oranında üre ve hidrojen peroksitten oluşmaktadır (Şekil 2.5). Çözüldüğünde, ısı artışıyla üre ve hidrojen peroksite ayrışır. Sıvı hidrojen peroksite göre daha kararlı bir form olduğu ve suda çözündüğünde hidrojen peroksit elde edildiği için ticari preparatlarda tercih edilebilmektedir(48).

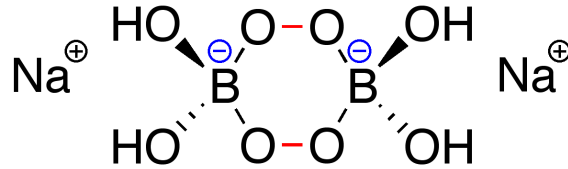


Şekil 2.5. Üre ve hidrojen peroksitten karbamid peroksit oluşumu.

Karbamit peroksitin jel şeklinde hazırlanan formları, kron içi beyazlatma işlemlerinde tek başına veya diğer peroksitler ile beraber kullanılmaktadır. Kron içi veya dışından uygulanan(eksternal) beyazlatma işlemlerinde kullanılan karbamit peroksit preparatlarının konsantrasyonları %10-%37 arasındadır. Bozduğunda 3:1 oranında bir konsantrasyonda hidrojen peroksit ortaya çıkarttığı bildirilmiştir(49).

Sodyum Perborat

Sodyum perborat, mono tri veya tetrahidrat olarak genellikle beyaz kokusuz suda çözünebilen toz preparat şeklinde bulunmaktadır. "Walking Bleach" tekniğinde su, anestezi veya etkinliğini artırmak için hidrojen peroksit ile beraber kullanılmaktadır. -2 değerlikli siklik anyon şeklindeki yapısı (Şekil 2.6), suda çözüldüğünde, hidroliz reaksiyonu ile borat ve hidrojen peroksit oluşturur. Literatürde farklı çalışmalarda kron içi beyazlatma uygulamalarında su ile 1g/mL, 2g/mL, 100µg/mL gibi değişen oranlarda karıştırılsa da, ortaya çıkan hidrojen peroksit miktarının ve beyazlatma etkinliğinin bu orana bağımlı olmadığı bildirilmiştir(50).



Şekil 2.6. Sodyum perboratın kimyasal yapısı

Bu materyaller tek başlarına veya çeşitli kombinasyonlarla ve farklı ticari biçimlerde, farklı teknikler ile kullanılmaktadır. Materyallerin diş dokusuna etkisini değerlendirmek için, bu materyallerin beyazlatma tekniklerinde diş nasıl ve ne kadar süre ile uygulandıklarını da incelemek gerekir.

2.2.2 Diş Beyazlatma Teknikleri

Genellikle dış kaynaklı renklenmeleri tedavi etmek için kullanılan eksternal beyazlatma teknikleri, diş hekimi tarafından klinikte uygulanan yöntem (*In-office*) ve hastanın kendi kendine uyguladığı (*At-home*) beyazlatma yönteminden oluşmaktadır. Isı veya ışık ile aktive *power bleaching* adı verilen ve diş hekimi tarafından klinikte uygulanan beyazlatma teknikleri de mevcuttur. Eksternal beyazlatma tekniklerinde beyazlatma işlemi bir arkın tamamına veya bir kısmına uygulanabilir. Tek bir dişin değil, hepsinin birden parlaklığı artırılarak daha beyaz bir diş dizisi hedeflenir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Eksternal beyazlatma tekniği ve Nd:YAG lazer ile aktive edilen %35 hidrojen peroksit içeren hazır preparat(51)

Dişin iç yapılarına nüfuz etmiş, genellikle iç kaynaklı renklenmeleri gidermek için kullanılan *internal* beyazlatma tekniği, dişin kronunun içine uygulandığı için *intrakoronel* veya kron içi beyazlatma olarak da isimlendirilmektedir. Bu yöntem dişin kronunun içine, beyazlatma materyalinin uygulanması şeklindedir. Eksternal beyazlatma tekniklerinin aksine, bir veya birkaç dişin çevre dişler ile renk, ton ve parlaklık uyumu hedeflenir. Mutlak bir beyazlık veya parlaklık esas amaç değildir. Kron içi beyazlatma teknikleri iki alt başlık altında incelenebilir.

Walking Bleach tekniğinde beyazlatma materyalleri pulpa boşluğuna yerleştirilir ve seanslar arasında 3 ila 10 gün beklenerek, istenen sonuç elde edilene kadar tekrarlanır. Modern diş hekimliğinde kullanılan kron içi beyazlatma materyalleri sodyum perborat, %30-35'lik hidrojen peroksit, %10-37'lik karbamid peroksit ve etkiyi artırmak için bunların kombinasyonlarıdır.

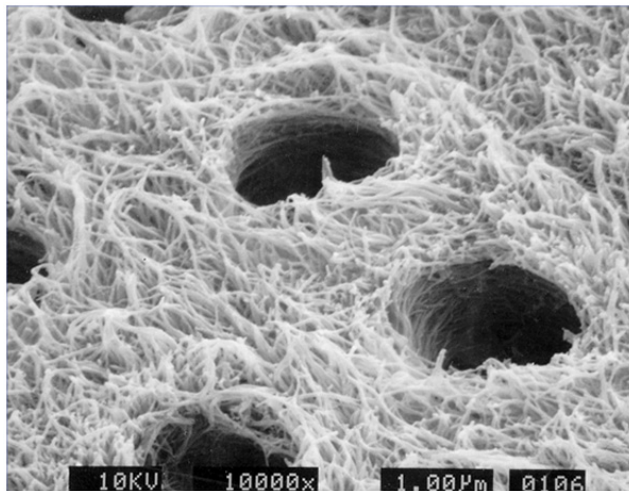
Termokatalitik beyazlatma tekniği ise, diğer bütün özellikleriyle *Walking Bleach* tekniği ile benzer olup, hasta koltuktayken peroksit materyallerinin özel sıcaklık veren cihazlarla aktive edilip, etkinliği artırılarak uygulanır. Araştırmacılar kron içi beyazlatma ajanlarını ultrasonik olarak aktive etmeyi denemiş; ancak etkinliğinde normal uygulamalardan anlamlı bir fark bulunamamıştır(52).

Beyazlatma materyallerin diş ve çevre dokulara biyolojik, mekanik ve kimyasal olarak etki ettikleri, bu dokularda bazı değişikliklere neden olduğu bilinmektedir. Literatürde çok sayıda çalışma olmasına rağmen uygulanan tekniklerin, beyazlatma materyallerinin konsantrasyonlarının ve deney tasarımlarının farklı olması nedeniyle beyazlatma materyallerinin dişin sert dokularındaki fiziksel ve kimyasal etkileri tartışmalıdır. Joiner ve arkadaşları (53) 2007 yılında yayınladıkları bir derlemede, eksternal beyazlatma tekniklerinde kullanılan beyazlatma materyallerinin dentin veya minenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerine bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. 2007 yılında Pinto ve arkadaşları (54) tarafından yayınlanan bir çalışmada, %37 karbamid peroksit, sodyum perborat ve %30'luk hidrojen peroksitin dentin mikrosertlik değerlerinde düşüşe neden olduğu bildirilmiştir. Kron içi beyazlatma tekniğinde kullanılan yüksek konsantrasyonlu peroksitlerin, mine ve dentin dokusunda mineral kaybına neden olduğu(55), dentinin mikromorfolojik özelliklerinde değişiklik oluşturduğu gösterilmiştir (56,57).

Yukarıda detaylandırılan, beyazlatma materyallerinin diş sert dokularına olan etkilerini daha da iyi anlamak için, dentin dokusunun fiziksel yapısını, türlerini ve kimyasal özelliklerini de incelemek gerekmektedir.

2.3 Dentin

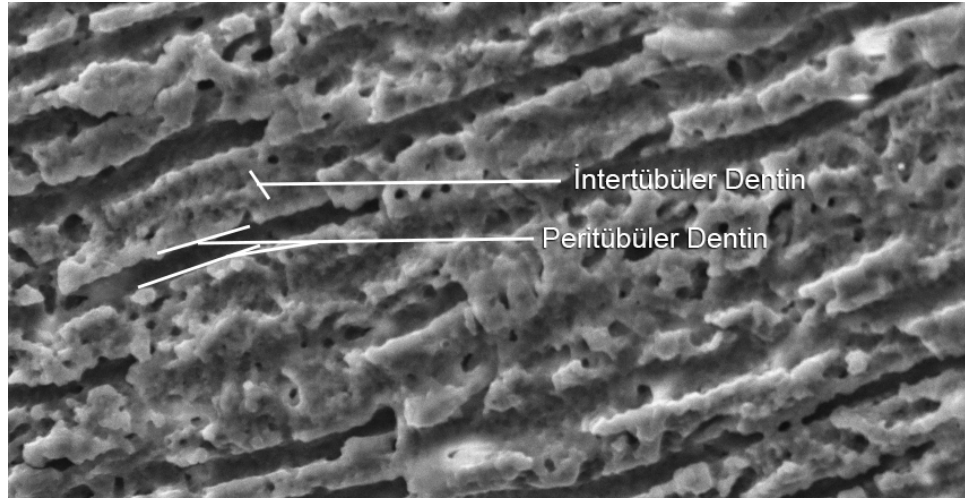
Dişin kron bölümünde mine ile, kök bölümünde de sement ile kaplı olan dentin, kök kanal sisteminin de duvarını oluşturur. İçeriği ağırlık olarak %70 inorganik, %20 organik materyallerden, kalan %10'u ise sudan oluşmaktadır. Organik matriksinin %91'ini kolajen proteinler oluşturmakta ve bu çoğunlukla tip 1 olmakla beraber, tip V kolajene de rastlanmaktadır (Şekil 2.8). İnorganik içeriğini hidroksiapatit [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$] kristalleri oluşturur. Embriyolojik olarak ektomezenşimal hücreler içeren dental papilla'dan köken alır. Gelişime mine-dentin birleşiminden başlar ve pulpa boşluğuna doğru ömür boyu salgılanmaya ritmik olarak devam eder. Bu ritm, ışık mikroskobu altında minede gözlenen Retzius çizgileri gibi, von Ebner çizgileri olarak adlandırılır(58). Kimyasal yapısı kemik ile benzerlik gösterir. Mineden daha az sert ve daha az kırılabilir, kemikten ise daha serttir. Kırılabilir mine dokusunu, destekler ve daha esnek olan yapısı sayesinde dişin kırılmasını engeller(59).



Şekil 2.8. Asit uygulanarak demineralizasyon sağlanmış, kollajen ağı ortaya çıkan dentin dokusu (60)

Dentin dokusu tübüler yapıda olup mine dokusunun aksine canlı bir yapıdır. Bu canlılığı yapısında bulunan dentin tübüllerine ve bu tübüllerin içerisindeki odontoblast hücrelerin uzantılarına ve pulpa-dentin kompleksindeki odontoblast hücre gövdelerine borçludur. Dentin tübüllerinin varlığından ilk defa Antoni Van

Leeuwenhoek 1677 yılında bahsetmiştir (61). Bu tübüllerin yoğunluğu ve çapı mine dentin birleşiminden pulpaya doğru gittikçe artar. Mine dentin birleşiminde ortalama $1\mu\text{m}$ olan tübül çapları, pulpa boşluğuna doğru ilerledikçe $3\mu\text{m}$ 'ye kadar ulaşır(62). Tübül sayısı da pulpaya en yakın noktadan mine dentin birleşimine gittikçe azalmaktadır. Farklı çalışmalarda, bu görüş ile tutarlı ancak sayısal olarak farklı sonuçlar bulunmuştur. Dentin dokusunda ortalama olarak mm^2 'de 40.000 ile 70.000 arası tübül bulunmaktadır(15); ancak yaş ve lokalizasyon gözetmeksizin ortalama olarak mm^2 'de 200.000 dentin tübülü bildiren çalışmalar da mevcuttur(63). Dentin tübüllerinin çapı ve yoğunluğu dentin geçirgenliğini de etkilemektedir.



Şekil 2.9. Dentin tübüllerinin longitudinal kesitinde görülen intertübüler ve peritübüler dentin yapısı

Dentin tübülünün çeperini oluşturan dentin dokusuna peritübüler dentin, tübüllerin arasını dolduran dentine ise intertübüler dentin denilmektedir (Şekil 2.9). Inter globüler dentin ise, başarısız mineralizasyon alanlarından oluşmaktadır. Dişin kronunda sirkumpulpal dentinde, kökünde ise sementin altındaki Tomes granüler tabakasında görülmektedir(64).

15sn süre ve 300g 'lık yükleme ile ölçüldüğünde, yüzeyel dentinin ortalama vickers sertlik değeri $61,93\text{ VHN}$, derin dentinin ortalama vickers sertlik değeri $63,01\text{ VHN}$ olarak bulunmuştur(65). Peritübüler dentinin sertliği mine'den daha az; ancak

intertübüler dentinden daha fazladır. Bu intertübüler dentinde nispeten daha az olan mineral miktarı ile de örtüşmektedir(66).

Dentin kalsifiye bir bağ dokusu olup yaşa, dişin özelliklerine, dentin üzerindeki lokasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterse de, 1 µm ile 3 µm arasında değişen çaptaki tübüllerin etrafında yüksek mineralize yapıdaki peritübüler dentin içermektedir (67). Dentinin inorganik yapısını oluşturan ve dentin kollajen matriksini dolduran hidroksiapatit'in ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) mineral ölçümlerinde, hidroksiapatit ana yapısını oluşturan Ca, P ve Ca:P değerleri temel alınmakta olup (13) diş sert dokularında demineralizasyon sürecinin belirlenmesi bakımından da önemli iyonlardır. Dentinin inorganik yapısının, Ca ağırlık olarak %37'sini, P ise %18'ini oluşturmaktadır. Farklı çalışmalardan elde edilen ortalama Ca:P oranı 1,969 olarak bildirilmiştir(68).

Oluşma zamanlarına, oluşma şartlarına ve histolojilerine göre memeli dentini 1959 yılında Kuttler ve arkadaşları(69) tarafından 3 alt sınıfta incelenmiştir:

Primer dentin dokusu, mine-dentin sınırının komşuluğunda başlamaktadır ve ilk oluşan manto dentin ile sekonder dentinin arasında bulunmaktadır. Dişin oklüzyona gelmesi ile veya apikal üçlüdeki dentin oluşumu tamamlandığı zaman üretimi sona erer. Bundan sonra üretilen dentin "Sekonder Dentin" olarak adlandırılmaktadır ve ikisi arasında genellikle bir demarkasyon alanı olduğu bildirilmiştir (69).

Sekonder dentin dokusu diş oklüzyona geldikten sonra veya apikal dentin oluşumu tamamlandığı zaman, ömür boyu bir uyarın olmaksızın fizyolojik olarak üretilen dentini ifade etmektedir. Tübül sayısı ve tübül çapları primer dentine göre daha fazladır(15).

Tersiyer dentin dokusu çürük, travma, iyatrojenik nedenler gibi bir uyarana bağlı olarak reaktif olarak üretilen dentindir. Tübül yapısı daha düzensiz, rengi daha koyudur. Primer ve sekonder dentin gibi dişin her bölgesinde değil, sadece uyarana bağlı olarak üretilir. Tübül yapısı düzensiz, tübül sayısı ve dolayısıyla geçirgenliği de azdır(69).

Sağlıklı bir dişin kron ve kök dentininin bilinen bu yapısında , maruz kalınan dış etkilerle renk değişikliğinin yanı sıra dentinin yapısal özelliklerinde de kimyasal, fiziksel ve mekanik değişiklikler meydana gelebilmektedir. Bu etkenler arasında kök kanal tedavisi sırasında uygulanan irrigasyon solüsyonları da bulunmaktadır.

2.4 İrrigasyon Solüsyonları

Kök kanal tedavisinin başarısını etkileyen faktörlerden en önemlisi, kök kanal sisteminin mikrobiyal durumudur (70). Kompleks kanal anatomisi, geniş bir spektrumda mikrobiyal flora ve toksisite, irrigasyon solüsyonunun önemini daha da artırmakta ve ideal irrigasyon solüsyonuna ulaşmayı zorlaştırmaktadır(71). Kanıta dayalı diş hekimliğinde kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu için kullanılan başlıca irrigasyon materyalleri sodyum hipoklorit, etilendiamintetraasetik asit (EDTA), klorheksidin glukonat, etilendiamintetraasetik asit ve cetrimide (EDTAC), REDTA, iyodin-potasyum iyodür (IKI) olarak sayılabilir. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan %2.5 sodyum hipoklorit ve %17 EDTA içeren irrigasyon protokolü uygulanmıştır(72).

2.4.1 Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

18. yy'dan beri dezenfeksiyon için farklı konsantrasyonları kullanılsa da(73), 1915 yılında Dakin (74) tarafından %0.5 konsantrasyonlu hali yara dezenfeksiyonu için tavsiye edilmiş ve 1. Dünya Savaşı'nda bu amaçla kullanılmıştır. 1919 yılında endodontik hastalıkların tedavisi için de tavsiye edilmiştir(75).

Sodyum hipoklorit, günümüzde en çok kullanılan endodontik irrigasyon solüsyonu olmasını yüksek antibakteriyel özelliğine, hem nekrotik hem de vital yumuşak dokuları çözme kapasitesine ve biyofilmler üzerindeki etkisine borçludur(76). Bu özelliklerini beş şekilde gösterir ve bu reaksiyonlara giren sodyum hipoklorit ürünleri dinamik bir denge içerisinde(71)(Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Sodyum hipoklorit çözeltisinin denge reaksiyonu

1. Sabunlaşma Tepkimesi: Sodyum hipokloritin sudaki çözeltisinin ürünlerinden sodyum hidroksit, organik bir çözücüdür ve yağ asitlerini, yağ asit tuzlarına (sabun) ve gliserole dönüştürür(71).
2. Nötralizasyon Tepkimesi: Sodyum hipokloritin sudaki çözeltisinin ürünlerinden sodyum hidroksit, aminoasitleri tuz ve su son ürünlerini oluşturarak nötralize eder(71).
3. Sodyum hipoklorit suda çözündüğünde hipoklorik asit oluşur ve bu madde amino asitlerin hidrolizine ve degradasyonuna neden olur(71).
4. Kloraminasyon Tepkimesi: Denge reaksiyonundan oluşan klor, proteinlerin amino gruplarına bağlanarak kloraminleri oluşturur. Kloraminler hücre metabolizmasını baskılar(71).
5. Yüksek pH: Sodyum hipoklorit güçlü bir bazdır, ve antimikrobiyal etkisini bu şekilde, hidroksil iyonunun açığa çıkması ile gösterir(71).

Farklı konsantrasyonlardaki sodyum hipoklorit çözeltileri, Enterococcus Faecalis'i de içeren antibakteriyel özellikleri açısından in vitro(77–80) ve invivo(81,82) birçok çalışmaya konu olmuştur: Biyofilmler üzerine etkisi(83,84) ve antifungal özellikleri(85,86) de birçok çalışmada test edilmiş ve başarılı bulunmuştur.

Dentinin ağırlık olarak %20 organik içeriğe sahip olduğu düşünülürken, uzun peptid zincirlerini parçalayan sodyum hipokloritin dentinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini değiştirdiği sonucuna varmak zor olmaz. In vitro olarak yapılan çalışmalarda, farklı konsantrasyonlardaki sodyum hipokloritin, dentinin bütünlüğüne zarar verdiği(87,88) ve in vitro koşullarda 24 saat uygulanan %5'lik sodyum hipokloritin dentin örneklerinde %14'e kadar ağırlık kaybına yol açtığı öne sürülmüştür(89). Renzo ve ark. tarafından yapılan çalışmada ise (90) 15 dakika uygulanan %12 sodyum hipokloritin, dentinin kimyasal yapısında gözlemlenebilir bir değişiklik oluşturmadığı bildirilmiştir.

Yapılan bir mikrosertlik çalışmasında, %2,5'luk sodyum hipokloritin 20 dakika uygulamasının farklı seviyelerdeki dentinin mikrosertliğinde belirgin bir düşüşe sebep olduğu ve uygulamanın ilk 10 dakikasının en büyük mikrosertlik kaybına sebep olduğu gösterilmiştir(91). 1996 yılında yapılan bir çalışmada, sodyum hipoklorit uygulamasının dentin üzerinde mineral akümülyasyonuna neden olduğu bildirilmiştir(92). Farklı metodolojilerle yapılan çalışmaları değerlendiren bir derlemede(93) sodyum hipoklorit'in uygulama süresinden, konsantrasyonundan ve uygulanan testlerden bağımsız olarak, dentin mikrosertliğinde azalmaya yol açtığı bildirilmiştir. Dentindeki mineral miktarı ve kompozisyonunun dentin mikrosertliği ile ilişkisi olduğu bildirilse de, Doğan ve arkadaşları (94) tarafından yapılan bir in vitro çalışmada, yalnızca sodyum hipokloritin dentinin mineral miktarı ve kompozisyonunda bir değişiklik oluşturmadığı gösterilmiştir.

Mareending ve arkadaşları (12), sodyum hipokloritin dentin üzerindeki doza bağlı etkilerini araştırmış ve %1 sodyum hipokloritin 1 saatlik uygulamasının dentinin mekanik özelliklerinde değişiklik oluşturmadığını, bu uygulamanın dentinin inorganik yapısında da anlamlı bir fark oluşturmadığını bildirmiş; ancak intertübüler dentinin organik yapısında yıkıma yol açtığını göstermişlerdir.

Farklı sürelerde ve konsantrasyonlarda uygulanan sodyum hipoklorit solüsyonunun, dentin tübüllerine değişen oranlarda penetre olduğu bildirilmiştir. (95). Sodyum hipoklorit kök kanal sistemi preparasyonu ve in vitro koşullarda örnek hazırlanması sırasında oluşan smear tabakasını uzaklaştıramamakta (96), tek başına kullanılan sodyum hipoklorit dentin tübüllerine tam olarak penetre olamamaktadır (97).

2.4.2. Etilendiamintetraasetik Asit (EDTA)

Etilendiamintetraasetik asit, yaygın kullanılan kısaltması ile EDTA, ilk defa 1935 yılında Ferdinand Münz tarafından Almanya'nın tekstil üretiminde dışa bağımlılığını azaltmak amacıyla, sitrik asite alternatif olarak sentezlenmiştir(98). EDTA solüsyonları hem hücre zarındaki metallere etki ederek antimikrobiyal etki gösterir hem de kalsiyum ile kararlı bileşikler oluşturarak şelasyon etkisi ortaya çıkartırlar. EDTA solüsyonlarının Endodonti alanında kullanımı ise 1957 yılında Nygaard-Östby tarafından bildirilmiştir (99). Sodyum hipoklorit endodontik irrigasyonda en çok kullanılan ve istenen özelliklere en yakın materyallerden biri olsa da, preparasyon sırasında oluşan inorganik dentin artıklarını çözemez ve dolayısıyla smear tabakası oluşumunu da engelleyemez. Modern endodontide EDTA'nın temizleme ve şekillendirme sonrası smear tabakasını kaldırmak için 1 dakika kullanımı tavsiye edilmektedir(72). Dentin tübüllerine daha iyi penetrasyon sağlanması için ultrasonik aktivasyon uygulanabilir(100). EDTA solüsyonlarının etkinliği uygulama zamanına, solüsyonun pH ve konsantrasyonuna bağlıdır(101,102).

Kök kanal tedavisi sırasında, mikrobiyal artıklara dentin preparasyon artıklarının da eklenmesi ile ortaya çıkıp dentin tübüllerine de penetre olacak şekilde kök kanalının iç yüzeyini kaplayan ve smear tabakası adı verilen bir tabaka oluşmaktadır. Bu tabaka hem inorganik hem de organik içeriğe sahiptir ve kanal içi medikamentlerin dentine penetrasyonunu ve kök kanal dolgu materyallerinin

dentine adezyonunu engellediğinden kök kanal preparasyonu sonrası uzaklaştırılması gerekmektedir(96).

EDTA solüsyonları tek başına, antimikrobiyal veya smear tabakasını kaldırmak için yeterli değildir, etkinliklerini ancak sodyum hipoklorit gibi bir proteolitik materyal yardımıyla tam olarak gösterebilirler(103). Antimikrobiyal etkisi tek başına kullanmak için yeterli değildir ve salin ile karşılaştırıldığında, şelasyon etkisi ile biyofilm tabakasını ortadan kaldırdığını bildiren çalışmalar bulunsa da, biyofilm ve E. Faecalis üzerine olan etkisi tartışmalıdır (104). EDTA'nın antimikrobiyal aktivitesi, salin ve %0,5 sodyum hipokloritten daha yüksek; ancak %2,5 sodyum hipokloritten daha düşüktür(105).

EDTA ve sodyum hipoklorit etkileşimi üzerine de çalışmalar yapılmış ve ortamda NaOCl varlığının EDTA'nın şelasyon etkisini düşürmediği; ancak ortamda EDTA varlığının NaOCl'nin etkinliğini ve ortamdaki serbest klor varlığını düşürdüğü bildirilmiştir(106). EDTA'nın etkinliğini artırmak için çeşitli modifikasyonlar yapılmıştır. EDTAC ve REDTA gibi solüsyonlarda yüzey gerilimini azaltmak için bir kuarterner amonyum bromit olan cetrimide eklenerek yüzey gerilimi azaltılmaya çalışılmış ve solüsyonun penetrasyonu artırılmaya çalışılmıştır(107)(99). EDTA'nın bir modifikasyonu olan etilenglikol-bis-N,N,N',N'-tetraasetik asit'in (EGTA) kalsiyum bağlama etkinliğinin ve dolayısıyla irrigasyon sırasındaki smear tabakasına olan etkisinin daha iyi olduğu bildirilen çalışmalar mevcuttur (108)(109).

İnorganik artıkların çözünmesi için kullanılan EDTA solüsyonları, ağırlık olarak %80 inorganik içeriğe sahip dentin dokusunda da fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açmaktadır(94). 2007 yılında yapılan bir çalışmaya göre tek başına veya sodyum hipoklorit ile beraber kullanılan %17'lik EDTA solüsyonu, dentin mikrosertlik değerlerini anlamlı derecede düşürmüştür(110). Yine Sayın ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada(111) tek başına veya sodyum hipoklorit ile beraber uygulanan EDTA solüsyonunun dentin yüzeyindeki kalsiyum miktarında azalmaya yol açtığı

bildirilmiştir. EDTA, kök kanal dentininin mineral kompozisyonunda, uygulama süresi ve konsantrasyona göre farklı oranlarda değişiklik oluşturmaktadır (112). Ari ve arkadaşları (113) 2005 yılında yayınladıkları çalışmada, %17 EDTA solüsyonunun dentinin kalsiyum ve fosfor içeriğini azalttığını bildirmişlerdir. SEM/EDX ile sodyum hipoklorit ve EDTA solüsyonunun dentin mineral miktarına olan etkisinin incelendiği bir çalışmada ise, bu kombinasyonun dentin kalsiyum(Ca), fosfor(P) ve Ca/P oranına bir etkisinin bulunmadığı bildirilmiştir (114).

Eldeniz ve arkadaşları (115) ise 2005 yılında yaptıkları çalışma sonucunda, 150sn %17 EDTA ve %5 sodyum hipoklorit uygulamasının, kontrol grubuna kıyasla dentin mikrosertliğinde anlamlı bir azalma ve dentin yüzey pürüzlülüğünde artış oluşturduğunu göstermişlerdir. 1999 yılındaki bir çalışmada da, farklı dentin seviyelerinden yapılan ölçümlerde, %17 EDTA ve/veya hidrojen peroksit/sodyum hipoklorit uygulamasının dentin mikrosertliğinde anlamlı azalmaya yol açtığı bildirilmiştir (116).

Niu ve arkadaşlarının 2002 tarihli çalışmasında(117), dentin yüzeyine 1 ve 3 dakika yalnızca %15 EDTA uygulamasının, smear tabakasını uzaklaştırıp dentin tübüllerini ortaya çıkardığı ancak bu uygulamaların %6 sodyum hipoklorit uygulaması ile kombinasyonunun dentin tübüllerinde ve intertübüler dentinde erozyon oluşturduğu bildirilmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki EDTA uygulamalarının, smear tabakasını uzaklaştırmakta başarılı olduğu ve dentin tübüllerini ortaya çıkardığını bildiren bir çalışmada ise (118), EDTA ile sodyum hipoklorit solüsyonlarının beraber uygulanmasının dentin tübüllerini açığa çıkarmada daha başarılı olduğu bildirilmiştir. Aynı şekilde, O'connell ve arkadaşları da (119) smear tabakasının uzaklaştırılmasında ve dolayısıyla dentin tübüllerinin ortaya çıkartılmasında, EDTA ve sodyum hipokloritin beraber uygulanmasını tavsiye etmişlerdir.

2.5 Mekanik Özellikler

Mühendislik alanında, malzemelerin karakterizasyonu, yani özelliklerinin belirlenmesi için farklı muayene yöntemleri kullanılmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemleri gözle muayene, x-ışını veya ultrasonografi ile muayene gibi yöntemlerde oluşurken, materyal üzerinde inceleme yaparken materyalde kalıcı deformasyon oluşturan yöntemlere de tahribatlı muayene yöntemleri denmektedir. Tahribatlı muayene yöntemleri arasında ise çekme, basma, germe, yorulma, sünme, sertlik gibi testler yer almaktadır(120).

Diş hekimliğinde diş dokusunun ve restoratif materyallerin fiziksel özelliklerini standardize bir şekilde karşılaştırabilmek ve nicel veriler elde edebilmek için, çeşitli katı ve akışkan malzemelerde kullanılan mekanik testler kullanılmaktadır. Katı örneklerde sertlik (hardness), dayanım(strength), dayanıklılık (toughness), esneklik(elasticity), rijidite (stiffness), süneklik(ductility), plastisite gibi fiziksel özellikler bulunmaktadır ve bunları ölçmek için kantitatif sonuçlar veren birçok test bulunmaktadır.

Sertlik, bir materyalin plastik deformasyona gösterdiği direnci ölçen mutlak bir değer değil, başka bir materyale göreceli bir sonuç değeri bildiren bir testtir. Bir materyalin sertliği aynı zamanda onun sünekliğine, rijiditesine, plastisitesine, gerilimine(strain), dayanımına, dayanıklılığına ve akışkanlığına bağlıdır. Materyallerin çizilmeye veya delinmeye olan direncini temsil eden farklı testler ile materyalin bu işlemlere karşı direncini temsil eder (121). Kullanılan işleme göre sertlik testleri 3 ana başlıkta tanımlanabilir.

2.5.1 Scratch Sertlik Testi

Daha çok mineralojide kullanılan bu sertlik yöntemi, 1824 yılında Friedrich Mohs tarafından bulunmuştur. En çok kullanılan test yöntemi de Mohs Sertlik Skalasıdır (Şekil 2.11). Önceden belirli 10 mineral tarafından çizilen materyal

üzerindeki çizik ölçülerek sayısal bir değer elde edilir. Prensip birbirine sürtülen iki materyalden daha sert olanının diğerini çizeceği üzerine kuruludur. Mohs skalasında 1 talk değeri iken, elmas 10'a karşılık gelmektedir. Sertlik testi sonucu alınan değer 1 ile 10 arasında bir değerdir. Sistemin en önemli sorunu sonuç değerlerinin lineer olmamasıdır(122).



Şekil 2.11. Mohs Sertlik test kiti

2.5.2 Rebound Sertlik Testi

Aynı zamanda dinamik sertlik olarak adlandırılan yöntemde, elmas bir ucun belirli bir yükseklikten materyal üzerine bırakıldığında geri sekme yüksekliği ölçülür. Materyalin esnekliği ile ilişkili bir testtir. Leeb, Bennet ve Schmidt testleri ile ölçülebilir (123).

2.5.3 Indentation Sertlik Testleri

Belirli bir materyalden yapılan, belirli bir ağırlıkta ve ölçülerde farklı delicilerin kullanıldığı, başlıcaları Knoop, Brinell, Vickers ve Rockwell olan 4 tip Indentation Hardness testi bulunmaktadır. Bu delicilerin materyallerde oluşturduğu izlerin ölçüleri, her test için belirli formüller içerisinde yerleştirilerek sayısal bir sertlik değeri elde edilir. Daha çok mühendislik ve metalürji alanlarında kullanılır (121). Diş hekimliğinde restoratif materyallerin ve diş sert dokularının sertlik değerlerini ölçmek için de yaygın olarak kullanılır (124,125).

Knoop Sertlik Testi

Piramit şekilli bir delicinin, belirli bir süre istenen materyal üzerine belirli bir kuvvet uygulaması ve materyalde oluşan izin ölçümü ile belirlenir (Şekil 2.12). Bu testte kullanılan piramidin tepe açısı 172°dir. Gevrek veya çok ince materyallerin sertlik ölçümünde kullanılmaktadır (126). Diş hekimliğinde, diş sert dokularının sertlik değerlerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır (116).

$$HK = \frac{\text{yük (kgf)}}{\text{iz alanı}(mm^2 \times Cp)} \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

Şekil 2.12. Knoop Sertlik Testi formülü (Cp: Düzeltme faktörü)

Brinell Sertlik Testi

Test edilen materyalin karakterine göre çelik veya tungsten karbid küre şekilli bir delici içermektedir. Kürenin materyalde oluşturduğu izin çapı ölçülerek materyalin sertlik değeri hesaplanır (Şekil 2.13) (121).

$$HBW = \frac{2 \times \text{yük (kgf)}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

Şekil 2.13. Brinell Sertlik Testi formülü (D: mm cinsinden delicinin çapı, d: mm cinsinden izin çapı)

Vickers Sertlik Testi

Smith ve Sandland (127) tarafından, 1922 yılında Brinell Sertlik ölçümüne alternatif olarak onun eksiklerini gidermek amacıyla sunulmuştur. Bütün metallerin sertlik ölçümünde kullanılabilir ve sertlik ölçümlerindeki en geniş skalaya sahiptir. Elde edilen sonuç, paskal birimine dönüştürülebilir. Delici olarak kare piramit şeklinde tepe açısı 136° olan bir elmas uç kullanır (Şekil 2.15). Bu ucun test edilmek istenen materyal üzerinde bıraktığı iz ölçülerek, VH (Vickers Pyramid Number) biriminde sayısal bir değer elde edilir (Şekil 2.14).

$$HV = \frac{1.8544 \times \text{yük (kgf)}}{d^2} \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

Şekil 2.14. Vickers Sertlik testi formülü (d: mm cinsinden izin köşegenlerinin ortalaması)



Şekil 2.15. Vickers mikrosertlik test cihazının elmas ucu

Vickers mikrosertlik testi, mikro veya makrosertlik ölçümleri için kullanılabilir. Mikrosertlik testleri, uygulanan yükün 2N altında olduğu sertlik testleridir. Genellikle makro düzeyde homojen olmayan yüzeye sahip, farklı bölgelerde farklı sertlik derecesine sahip materyallerin ölçümünde kullanılmaktadır. Bu testler mikroskop altında, oluşan izin analog olarak ölçülmesi ile belirlenebileceği gibi, bir kamera aracılığı ile dijital olarak ölçülüp, formül ile hesaplanması ile de gerçekleştirilebilir (121). Mine ve dentin gibi mikro düzeyde farklı sertlik sonuçları verebilecek materyallerin sertlik testleri için, *nanoindentation* tekniği kullanılabilmektedir (128). Çizici ucun, hedeflenen alana doğru bir şekilde isabet ettirilebilmesi için atomik kuvvet mikroskobu ile beraber kullanılması önerilmiştir (66).

2.5.4 Diş dokularının sertliği

Diş sert dokuları, makroskopik olarak düzgün yüzeyli olsa da, mikroskobik olarak homojen bir yüzeye sahip değildir. Dentin yüzeyinde, dentin tübüllerinin açıldığı boşluklar, tübül lümeninin etrafını çevreleyen ve diğer dentin bölgelerine göre daha mineralize peritübüler dentin, ve bu tübüllerin arasını dolduran, peritübüler dentine göre daha az mineralize intertübüler dentin bulunmaktadır. Bu sebepten dentin sertliği ölçümünde sertlik ölçümü, daha küçük delici ile daha az yük uygulanarak “mikrosertlik” yöntemi ile ölçülür. Knoop ve vickers sertlik ölçüm testleri,

dişlerin mikrosertliğini ölçmekte en sık kullanılan yöntemlerdir ve iki yöntem de birbiriyle örtüşen sonuçlar vermektedir (129).

Mine veya dentin, diş sert dokularının mikrosertlik değerleri, dokunun mineralizasyon derecesi, mineral kompozisyonu ve dokunun lokalizasyonu ile ilişkilendirilmiştir (130). Dokunun mineral yüzdesi, bu mineralizasyon içerisindeki Ca, P ve Ca:P değerleri; mikrosertlik değerleri arasında anlamlı ilişki bulunmuştur (131). Kinney ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada (132), daha mineralize peritübüler dentinin *nanoindentation* yöntemi ile ölçülen mikrosertlik değerinin, daha az mineralize intertübüler dentin dokusundan belirgin derecede yüksek olduğu bulunmuştur. 2003 yılında yapılan bir çalışmada ise (133), mine-dentin birleşimi ile pulpa arasında aynı seviyeden ölçülen dentin örneklerinin mikrosertlik değerlerinin benzer olduğu ancak pulpaya yaklaştıkça, artan tübül sayısı ve tübül çapı nedeniyle, dentin mikrosertlik değerinin belirgin bir şekilde azaldığı bildirilmiştir. Tübül sayısı ve mikrosertlik değerleri arasındaki korelasyon, Pashley ve arkadaşları tarafından da bildirilmiştir(134). Ayrıca yine aynı çalışmada, mine ve dentin arasındaki mikrosertlik farkının mineralizasyon derecesinin farkından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Farklı çalışmalardaki mikrosertlik değerlerinin karşılaştırılmasını zorlaştıran farklı testlerin kullanılması, aynı testte farklı kuvvet ve sürenin kullanılması, farklı örnekler ve aynı örneğin farklı lokalizasyonlarından ölçüm yapılması gibi bazı etkenler vardır. Yine de literatür incelendiğinde, değerler birbiri ile örtüşmektedir. 1959 yılında yapılan bir çalışmada (135) pulpa ve mine-dentin birleşimi ortasından yapılan ölçümlerde ortalama 74 KHN, 1996 yılında yapılan bir çalışmada ortalama 60.7 KHN, Salazar ve arkadaşlarının 2003 yılında yaptığı çalışmada (133) 50-60 VHN aralığında, Fuentes ve arkadaşlarının 2003 yılında yaptığı çalışmada (65) ortalama 62 VHN bildirmiştir.

2.6 Görüntüleme Yöntemleri

Diş hekimliği alanında, görüntüleme yöntemleri hem teşhis amacıyla hem de bilimsel çalışmalarda morfolojik, anatomik ve kimyasal incelemelerde uzun yıllardır kullanılmaktadır(136,137). Radyografik görüntüleme yöntemleri, endodontik tedavilerin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Radyografik incelemeler aynı zamanda endodontik tedavinin başarısını değerlendirmede(138) (139), kök gelişiminin takibinde, patolojik durumların değerlendirilmesinde, anatomik varyasyonların tespitinde (140) ve 3 boyutlu veya 2 boyutlu görüntü elde edilmesinde kullanılmaktadır(137). Ancak sert doku yüzey özellikleri, mikromorfolojik değerlendirmeler ve materyal testleri için, 3 boyutlu görüntü oluşturan, bilgisayarlı görüntüleme yöntemleri (CT) de yetersiz kalmakta, sert dokuların daha detaylı görüntülenmesine ve daha büyük büyütmeleme ihtiyacı duyulmaktadır.

Sert doku örneklerinin kesitlerini incelemeye kullanılan ışık mikroskopları ve endodontik çalışma mikroskobundan farklı olarak taramalı elektron mikroskobunda (SEM), görüntü elde etmek için hızlandırılmış elektron demetlerinden faydalanılır. Bu sayede örneğin yüzey özellikleri detaylı bir şekilde ayırt edilebilir, yüksek ayırım gücü ve büyütme oranı ile detaylı topografik incelemeler ve EDX gibi yöntemler kullanılarak mineral analizleri yapılabilir (141). SEM ile 100.000x'e kadar büyütme sağlanabilir. Diş hekimliğinde SEM kullanımının bir diğer avantajı da, SEM ile örneklerin monokromatik olarak elde edilmesi ve diş sert dokularının renginin optik stereomikroskoplara göre odaklamayı daha az etkilemesidir(142).

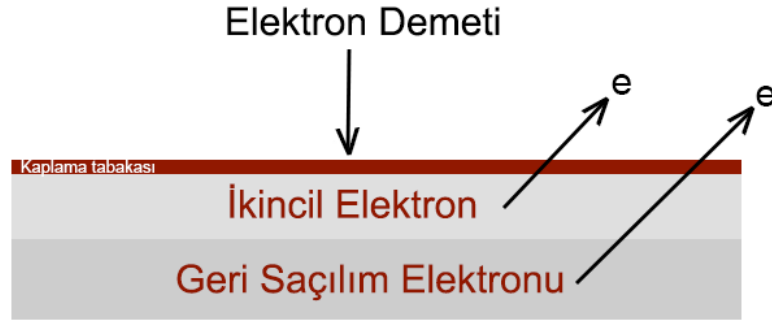
SEM görüntülemesi öncesi iletken olmayan örneklerin altın, altın-palladyum veya karbon gibi iletken bir madde ile çok ince bir şekilde kaplanması gerekmektedir. Bunun sebebi SEM'in çalışırken örneklerin yüzeyinde yük birikimine yol açmasının önüne geçilmesi, yüzey ısısının artarak örneğe zarar vermesinin engellenmesi ve görüntü kalitesinin artırılmasıdır (142). Şekil 2.17'da görüldüğü gibi SEM'in görüntü oluşturma aşamasında üç farklı detektör 3 adet sinyal yorumlar. Bunlar şu şekilde açıklanabilir;

Vakumlu ortamda SEM tarafından yollanan birincil elektron demetinden kaynak alıp örnek üzerinden geri saçılan elektronlar(Back-scattered electrons, BSE),

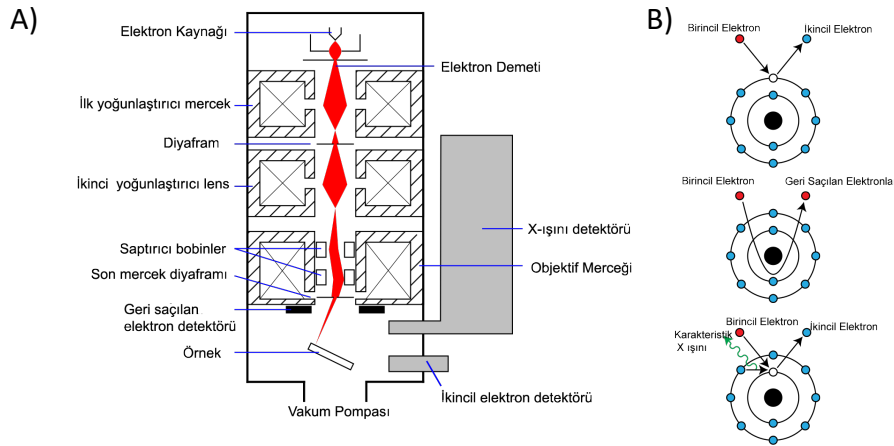
Birincil elektron demetinin örnek yüzeyindeki atomlardan kopardığı ikincil elektronlar (Secondary electrons, SE),

Birincil elektron demetinin, örnek yüzeyinden ikincil elektron koparıırken oluşturduğu x ışını.

Bu üç sinyal için de ayrı detektörler bulunmaktadır(şekil 2.17) (143). SEM’de görüntü bu üç detektörü kullanan farklı modlardan biri ile elde edilir. Her modun (SE, BSE, Auger, Cathodoluminescence) farklı avantajları ve dezavantajları vardır. İncelenecek materyalin özelliklerine ve görmek istenen veriye göre uygun görüntüleme modu seçilebilir(144).



Şekil 2.16. SEM’de elektron etkileşimlerinin şematik gösterimi



Şekil 2.17. A) SEM çalışma prensibinin şematik gösterimi B) SEM içerisinde elektronların etkileşimi

2.7 Mineral Analiz Yöntemleri

Diş sert dokularının mineral analizlerinde, direkt olarak mineral ölçümünü hedefleyen kantitatif ve kalitatif testler olduğu gibi, mikrosertlik değerleri, ağırlık kayıpları ve yüzey incelemeleri yapılarak da diş sert dokularının mineral miktarı hakkında yoruma varılabilen yöntemler bulunmaktadır (145).

Diş örneklerinden kesilen bir parçanın veya örneğin tamamının parçalara ayrılıp kimyasal olarak çözüldüğü ve mineral miktarlarının fiziksel olarak gözlemlendiği (146) veya atomik absorpsiyon spektroskopisi kullanılarak ölçüldüğü (147) çalışmalar mevcuttur. Mikrosertlik değerleri ve mikroradyografi yöntemi ile belirlenen mineral miktarları arasında ilişki bildiren (130), mikrosertlik değerleriyle mine erozyonu miktarını ölçen çalışmalar bulunmaktadır(148). Polarize ışık mikroskobu, mineral miktarının tayini için kullanılan yöntemlerden bir tanesidir (149). Yarı-kantitatif sayılacak, transvers mikroradyografi yöntemi ile minerede erozyon ile mineral kaybı Amaechi ve arkadaşları (150) tarafından yayınlanmıştır. Hals ve arkadaşları (151) tarafından yapılan bir çalışmada, sekonder çürük lezyonlarının mineral kaybı miktarı, x-ışını kullanılarak mikrosonda analizi ile belirlenmiştir. 1974 yılından beri kullanılan İyot Absorpsiyometrisi, bir radyasyon kaynağından yayılan

monokromatik bir radyasyonun yüzey absorpsiyonu temeline dayanmaktadır ve dentinin kantitatif mineral analizinde kullanılmaktadır (145). Mineral analizi için X ışını kullanılan kantitatif mineral analiz yöntemlerinden bir diğeri, Longitudinal mikroradyografidir ve polikromatik x-ışınları kullanılır (152). Bu yöntemde mine ve dentindeki erozyon demineralizasyon alanının derinliği ile belirlenir (153).

Yüzey ölçümleri yapılarak diş yüzeyindeki mineral erozyonu miktarını ölçen Yüzey Profilometre cihazında, lazer veya yüzeye temas eden bir elmas uç kullanılmaktadır. Yüzeyden uzaklaşan mineral miktarı ile beraber, kalan yüzeyin kalitatif durumu da incelenebilmektedir (154). Konfokal lazer tarama mikroskobu (CLSM) ile doku erozyonu hakkında daha çok kalitatif bilgiler elde edilebilse de kantitatif analizlerin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Heurich ve arkadaşları (155) CLSM yöntemini yüzey profilometre ölçümleriyle karşılaştırmış ve dental erozyon miktarının ölçümünde kantitatif sonuçlar için CLSM'nin daha hızlı ve doğru çalıştığını bildirmişlerdir.

QLF yani kantitatif ışık-induced floresans yöntemi kısaca sert dokunun mineral kaybıyla beraber oto-floresans kaybını ölçmektedir (156). Ağız gargaralarının mine üzerindeki mineral kaybına ve erozyona olan etkisinin ölçüldüğü 2003 tarihli bir çalışmada (157) transvers mikroradyografi ile QLF ölçümleri tutarlı sonuçlar vermiştir. Girişimsel olmayan OCT (Optical Coherence Tomografi), invaziv olmayan bir ölçüm yöntemidir ve hasta ağzındaki canlı dişlerde mineral kaybını ölçmek için kullanılabileceği, gastroözefageal reflü hastalarının dişlerindeki mineral kaybının ölçüldüğü bir çalışmada Wilder-Smith ve arkadaşları tarafından bildirilmiştir (158). Bu çalışmada mineral kaybını temsil etmesi için mine kalınlığında oluşan fark kullanılmıştır.

Güncel çalışmalarda, diş dokusunda mineral kaybını göstermek için alev emisyon yöntemi (111), atomik absorpsiyon spektrometresi (159), ikincil iyon kütle spektrometresi(160), ICP-AES (113) ve ICP-MS yöntemleri (55) de kullanılmaktadır.

1968 yılında, asit uygulanan dentinin yüzey değişimi ve mineral kaybının araştırıldığı bir çalışmada, elektron mikroskobu kullanılmıştır(161) . Taramalı elektron mikroskopunda, örnekler daha iyi görüntü elde edebilmek ve yüklenmelerini önlemek için analiz öncesi bir iletken ile kaplanmaktadır. Bu da örnekler için kalıcı olarak zarar vermekte ve tekrarlayan ölçümleri engellemektedir. Taramalı elektron mikroskopuyla beraber çalışabilen Enerji Saçılım Spektroskopisi (Energy-dispersive X-ray Spectroscopy, EDX, EDS) bir x ışını kaynağı ile örneğin etkileşimine dayanmaktadır. Taramalı elektron mikroskopunda bu etkileşimde elektron demeti kullanılır. Diş dokularının mineral miktarının ölçüldüğü çalışmalarda SEM ve EDS yöntemi sık kullanılan bir yöntemdir(94,113).

Diş sert dokularının mineral yapısını hidroksi apatit kristalleri $[Ca_5(PO_4)_3(OH)]$ oluşturmaktadır. Örneğin alındığı anatomik konumla değişiklik göstermekle beraber, mine ve dentin dokusunun, mineralizasyonunu belirlemek için Ca, P, Ca:P değerleri incelenmekte ve mineralizasyon hakkında yorum yapılmaktadır(113).

Bütün bu bilgiler ışığında bu çalışmada, intrakoronal ağartma amacıyla sıklıkla kullanılan sodyum perborat, %37 karbomit peroksit, %35 hidrojen peroksit ve bunların kombinasyonlarının kök kanal tedavisi sırasında uygulanan ve diş sert dokularında kimyasal ve fiziksel değişimler oluşturduğu bilinen irrigasyon protokollerine maruz kalmış dentin üzerindeki etkilerinin, dentinin mikrosertlik, mikromorfolojik ve mineral içeriklerinin belirlenmesi yoluyla karşılaştırmalı değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Uzmanlık tez çalışması olarak planlanan bu araştırma, Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir. Örneklerin hazırlanması, Vickers mikrosertlik değerlerinin ölçümleri Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ar-Ge laboratuvarında, SEM görüntülemeleri ve EDX ölçümleri Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Elektron Mikroskop Ünitesi'nde yapılmıştır. Çalışma, Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 12.09.2017 tarihli ve GO 17/745-36 sayılı karar ile etik açıdan uygun bulunmuştur.

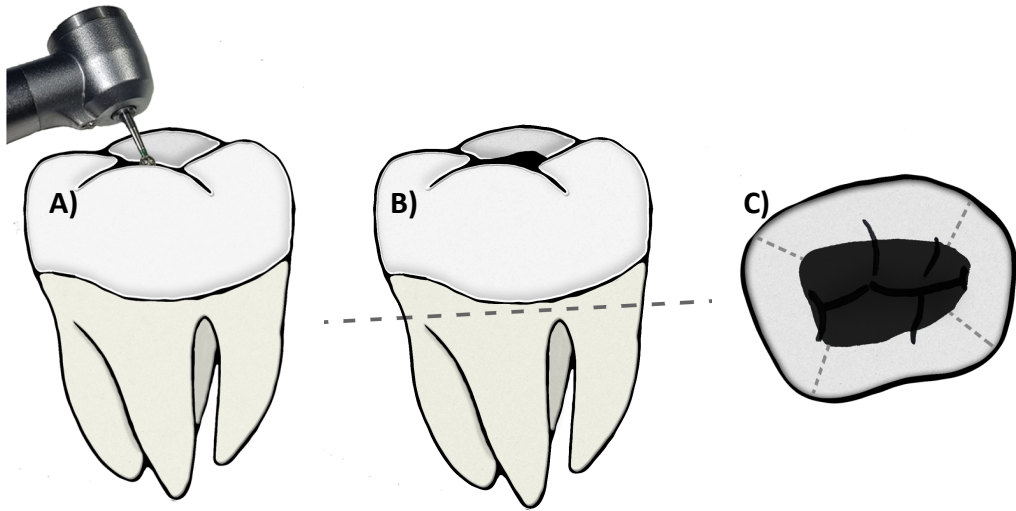
Tablo 3.1. Örneklerin gruplara göre dağılımı

| GRUP #* | BEYAZLATMA MATERYALİ** | İRRİGASYON |
|---------|------------------------|---------------------|
| 1 | Kontrol | Salin |
| 2 | SP + Distile su | Salin |
| 3 | SP+CP | Salin |
| 4 | CP | Salin |
| 5 | SP+HP | Salin |
| 6 | HP | Salin |
| 7 | Kontrol | %17 EDTA+ %2,5NaOCl |
| 8 | SP + Distile su | %17 EDTA+ %2,5NaOCl |
| 9 | SP+CP | %17 EDTA+ %2,5NaOCl |
| 10 | CP | %17 EDTA+ %2,5NaOCl |
| 11 | SP+HP | %17 EDTA+ %2,5NaOCl |
| 12 | HP | %17 EDTA+ %2,5NaOCl |

*Her grup için n=20. **SP: Sodyum Perborat, CP: Karbamid Peroksit %37, HP: Hidrojen Peroksit %35

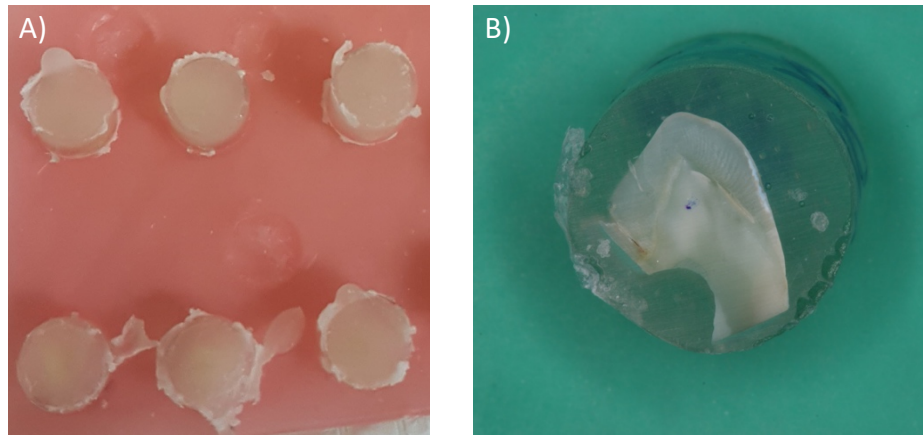
Bu çalışma 2,5x büyütme sahip lup (Carl Zeiss Eyemag Smart, Almanya) altında incelendiğinde çürük, çatlak, kırık ve gelişimsel bozukluklar içermeyen, periodontal nedenlerle çekilmiş 60 insan alt molar dişi üzerinde tamamlanmıştır.

Seçilen dişlerin giriş kaviteleri elmas frez ile açılarak #15 numara eğeler kullanılarak giriş yolu sağlanmış, dişi çevreleyen yumuşak doku artıkları ile pulpa dokuları uzaklaştırılmıştır. Sonrasında mine-sement birleşiminin 2mm apikalinden horizontal eksen doğrultusunda elmas disk (Sunshine Diamonds, Almanya) ile devamlı su altında yavaş hızda kesilerek kök ve kron birbirinden ayrılmıştır. Elde edilen yüzük şekilli diş örnekleri, maksimum dentin dokusu elde edecek şekilde (Şekil 3.1) 4 parçaya ayrılmıştır ve bu şekilde 240 adet örnek oluşturulmuştur. Daha sonra bunlar, dentin dokusu dışarı-yukarı bakacak şekilde, 1cm çapındaki metilmetakrilat (Integra, Türkiye) bloklara gömülüp, üstte kalan yüzeyler sırasıyla 600-800-1000-1200 gren numaralı Si kağıtlar ile düzeltilmiş ve yüzey polisajı yapılmıştır (Şekil 3.2). Bunun yanı sıra, Vickers cihazının sağlıklı sonuçlar vermesi için, içerisinde $\frac{1}{4}$ diş bulunan akrilik blokların üst ve alt yüzeyleri, birbirlerine paralel olacak şekilde getirilmiştir. Ardından örnekler 1'den 240'a kadar numaralandırılmıştır. Örneklerin üzerine suya dayanıklı kalem ile her örneğin özel numarası yazılmış ve örnekler rastgele 12 gruba dağıtılmıştır (Random.org, İrlanda) (bkz. Tablo 3.1). Örneklerin hepsi beyazlatma materyallerinin uygulandığı zamanlar haricinde deney sonuna kadar 25°C SF solüsyonunda bekletilmiştir.



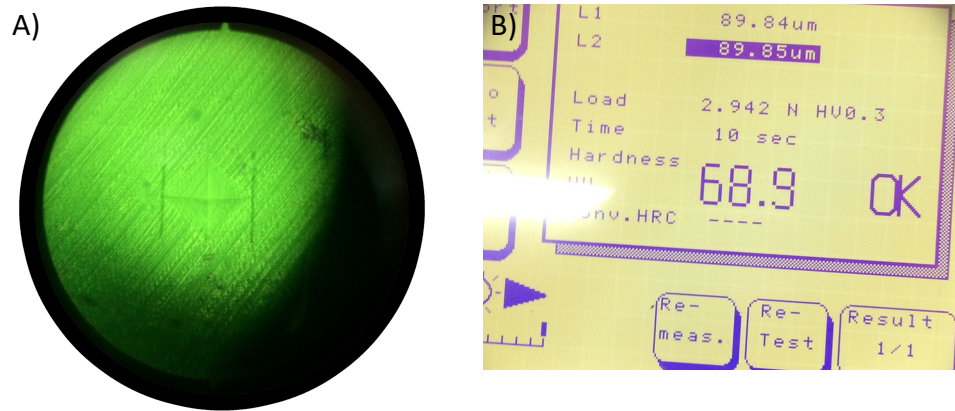
Şekil 3.1. Örneklerin hazırlanması A) Giriş kavitesi preparasyonu B) Dekoronizasyon işlemi C) Yüzük şekilli krongdan 4 adet dentin örneği hazırlanması

Literatürde ortak kabul gören tek bir irrigasyon protokolü bulunmadığı için, çalışmalarda ve klinik uygulamalarımızda en çok kullanılan irrigasyon materyalleri(72) ile bir irrigasyon protokolü hazırlanmıştır. İrrigasyon solüsyonlarının kontrol grupları(1-7 grupları) hariç olmak üzere, 20 dakika süreyle 10mL %2.5 konsantrasyonda NaOCl (Werax, Türkiye), 3 dakika süreyle 3mL %17 konsantrasyonda EDTA (Werax, Türkiye) solüsyonlarında bekletilmiştir.



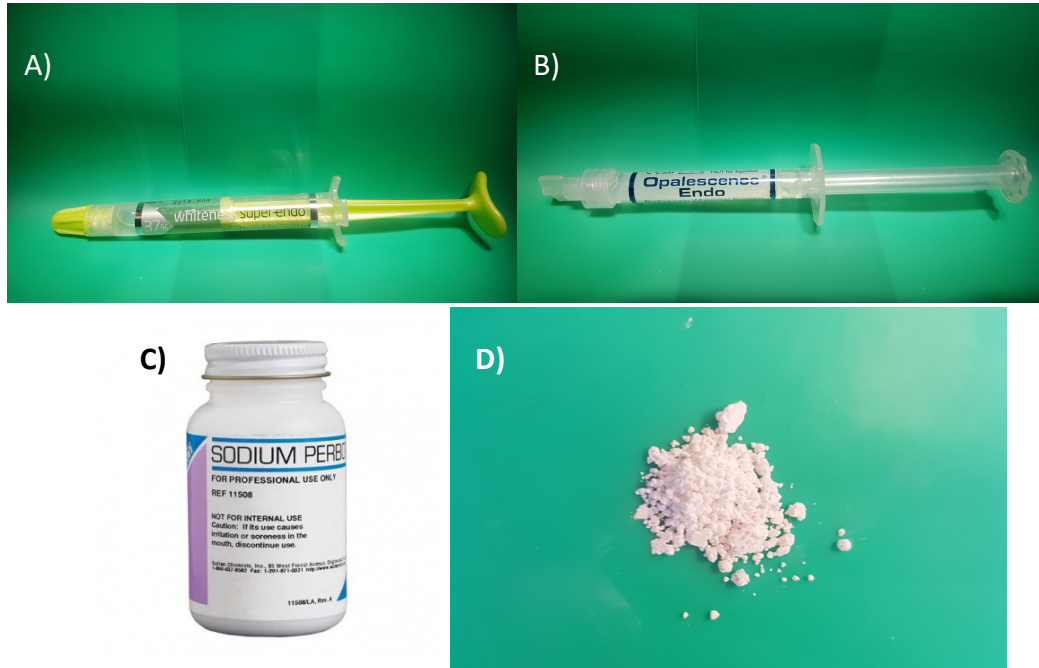
Şekil 3.2. A) Örneklerin metilmetakrilat bloklardaki görünümü B) Yüzey polisajı yapılan örneğin, dentin dokusu dışarı-yukarı bakacak şekilde görünümü

Ölçümlerin benzer konumlardan yapılabilmesi için, pulpa boynuzu etrafındaki bir bölgeye bir rehber nokta konulmuş ve bunun etrafındaki 3 ayrı noktadan mikrosertlik değerleri ölçülmüştür(Şekil 3.3). 240 örneğin tümünün Vickers Mikrosertlik değerleri, mikrosertlik test cihazında (HMV-700, Shimadzu Corp., Tokyo, Japonya), 3 sn boyunca 300g'lık kuvvet uygulanacak şekilde 3 noktadan, her noktada 3'er ölçüm yapılacak şekilde ölçülmüş ve ortalaması belirlenmiştir. Bu ortalama değerler kaydedilip, her örnek için özel olan örnek numaralarının karşısına not edilmiştir.



Şekil 3.3. A) Vickers Mikrosertlik cihazının eşkenar dörtgen izi B) Vickers mikrosertlik cihazı ölçüm hesaplaması

Sonrasında yine SF ile yıkanan örneklerle, %37 karbamid peroksit içeren Whiteness Superendo (FGM, Brezilya), %35 hidrojen peroksit içeren Opalescence Endo (Ultradent, ABD), sodyum perborat (1g/3mL) (Sigma Aldrich, ABD) şeklinde her gruba ait beyazlatma materyali uygulanmıştır (SP: 2g/1mL distile su, HPSP: 2g/1mL hidrojen peroksit jel, CPSP: 2g/1mL karbamid peroksit jel) (Şekil 3.4). Literatüre göre hazırlanan beyazlatma materyalleri kombinasyonları (50), dentin yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde her akril bloğun üst yüzeyine (dış yüzeyine) yerleştirilmiş ve politetrafloroetilen (PTFE) bant (Resiflon, İtalya) ile dış ortamdan izole edilmiştir (Şekil 3.5). Uygulanan beyazlatma materyalleri ve kombinasyonlarının pH değerleri, kullanım kılavuzuna uygun olarak kalibre edilmiş dijital pH ölçüm cihazı (AEK-Tech, Çin) ile materyal başına üç kez ölçülmüş ve ortalamaları not alınmıştır).



Şekil 3.4. A) FGM Whiteness Superendo %37 Karbamid Peroksit
 B): Opalescence Endo %35 Hidrojen Peroksit
 C): Sodyum perborat D) Sodyum perborat toz hali

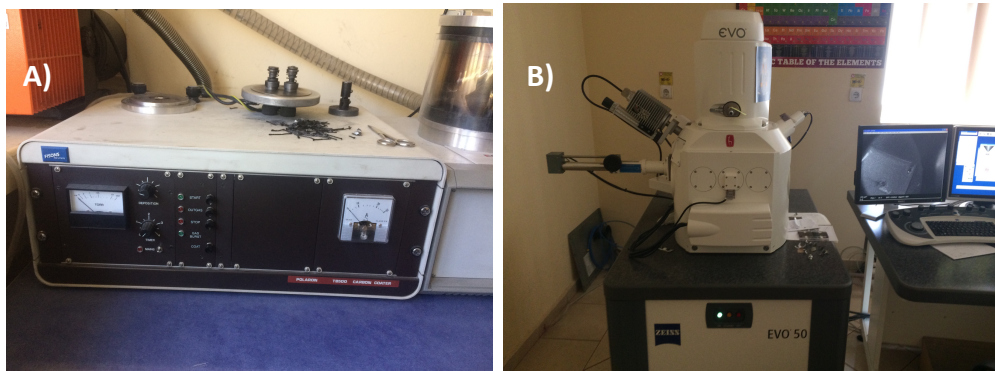
Beyazlatma maddelerinin ilk uygulandığı günden 7 gün sonra bütün örneklerin PTFE bantları açılıp örnekler SF ile yıkanmış ve hepsine yeniden aynı materyaller uygulanmış ve PTFE bant ile yeniden izolasyon sağlanmıştır. 14 gün sonunda beyazlatma materyalleri SF ile uzaklaştırılmış ve kurutulan örneklerin Vickers mikrosertlik değerleri, ilk ölçümle aynı şekilde ile 3 noktadan 3er kez ölçülerek ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. A) Örnekler üzerine beyazlatma materyallerinin uygulanması

B) Beyazlatma materyali uygulaması sonrası örneklerin PTFE bant ile izole edilmesi

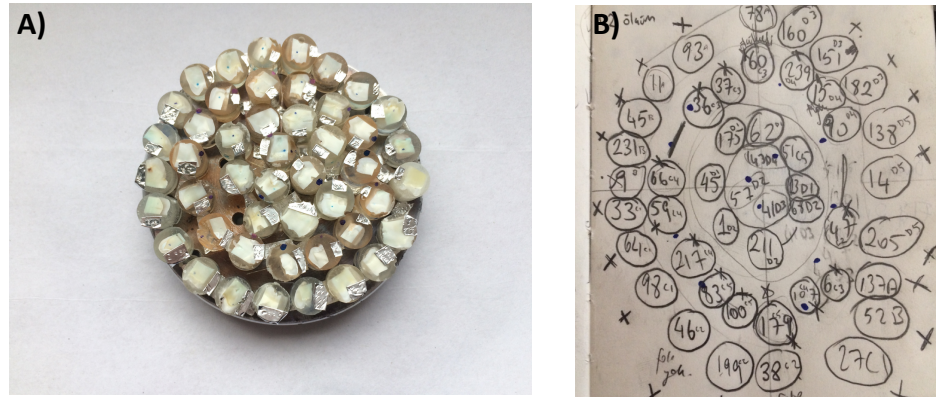
Sonrasında örnekler SEM görüntüleme ve EDX (Zeiss Evo 50, Carl Zeiss, Almanya) işlemleri için karbon ile kaplanmıştır (şekil 3.6) (Polaron TB 500, Quorum Technologies, Birleşik Krallık). SEM tablasına yerleştirilmeden önce örneklerin numaraları, şekil 3.7'de görüldüğü gibi harita üzerine işaretlenmiş ve sonrasında SEM ölçümleri yapılmıştır. Vickers değerlerinin ölçüldüğü bölgeler rehber olacak şekilde, her diş için 3 dentin tübül genişliği ölçülmüş ve değerlerin ortalamaları kaydedilmiştir. Ayrıca yine bu bölgelerden EDX yöntemi ile Ca, P ve Ca/P değerlerini içeren mineral analizleri yapılmıştır.



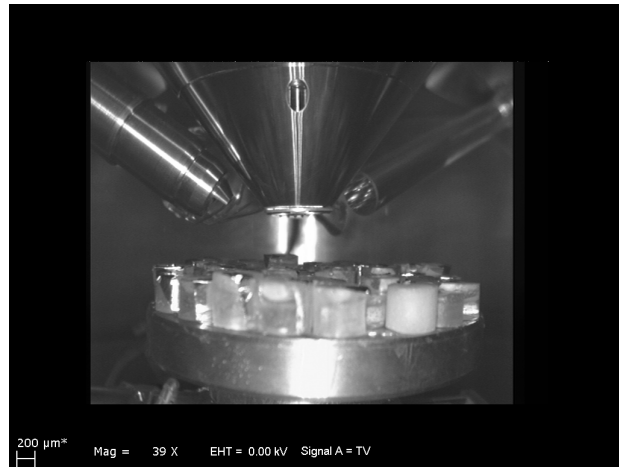
Şekil 3.6. Ölçüm yapılan elektron mikroskobunun: A) Karbon kaplama cihazı

B) Elektron Mikroskobunun ölçüm yapılan ünitesi

Vickers, SEM ve SEM EDX ölçümlerinin hepsi kör olarak yapılmış, bütün veriler elde edildikten sonra her bir örneğin özel numarası yardımıyla, veriler bir Excel (Microsoft Corp, Washington, ABD) dosyasına girilmiştir. Vickers ölçümleri tekrarlayan verilerde iki yönlü ANOVA ile ve mineral ve tübül ölçümleri ise iki yönlü ANOVA ile SPSS (IBM corp., NewYork, ABD) programında gerçekleştirilmiştir.



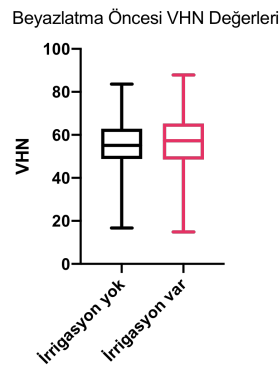
Şekil 3.7. A) SEM tablasına yerleştirilecek olan örnekler B) Örneklerin harita üzerine işaretlenmesi



Şekil 3.8. Şekil 3.7'de görülen örneklerin SEM tablasındaki ölçüm öncesi görünümü.

4. BULGULAR

Dentin mikrosertliğini belirlemek amacıyla elde edilen Vickers mikrosertlik değerleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde ; beyazlatma maddelerini uygulamadan önce, İrrigasyon uygulanmış(+) ve uygulanmamış(-) örneklere ait alınan ölçümlerden irrigasyon + ve irrigasyon - olarak ayrılan gruplarda ortalama yüzey mikrosertlik değerleri belirlenmiş olup gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Örneklerin tümünde beyazlatma maddeleri uygulanmadan önceki mikrosertlik değerlerinin kutu grafiği ile değerlendirilmesi

Dentin mikrosertliği belirlenip ardından irrigasyon uygulanmış ve uygulanmamış bu örneklere, beyazlatma materyalleri uygulanması sonrası alınan mikrosertlik ölçüm değerleri incelendiğinde ise ,HP ve kontrol grubu dışındaki tüm gruplarda, istatistiksel olarak anlamlı bir artış belirlenmiştir(Tablo 4.1).

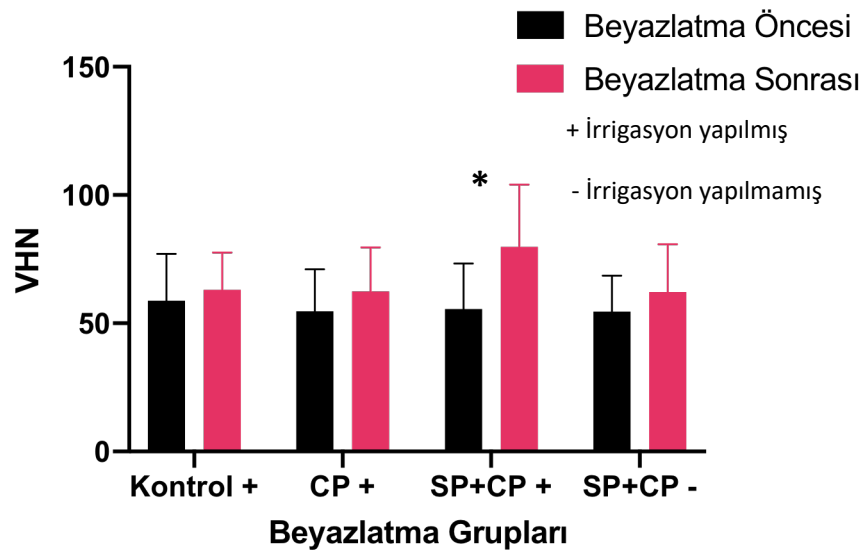
Tablo 4.1. İrrigasyon uygulanan ve uygulanmayan beyazlatma gruplarının, beyazlatma işlemi öncesi ve sonrası Vickers mikrosertlik değerleri (VHN)

| | | n | Beyazlatma Öncesi | | Beyazlatma sonrası | | p |
|----------------|---------|----|-------------------|-------|--------------------|-------|---------------|
| | | | Ortalama VHN | Std | Ortalama VHN | Std | |
| İRRİGASYON (-) | Kontrol | 13 | 57,43 | 16,17 | 57,69 | 15,47 | 0,956 |
| | SP | 18 | 61,48 | 13,53 | 69,48 | 12,8 | <u>0,048</u> |
| | SP+CP | 20 | 54,50 | 14,06 | 62,17 | 18,58 | <u>0,046</u> |
| | CP | 20 | 57,00 | 8,58 | 65,79 | 11,63 | <u>0,022</u> |
| | SP+HP | 20 | 49,32 | 10,41 | 63,33 | 15,56 | <u>0,0003</u> |
| | HP | 20 | 57,31 | 34,45 | 59,93 | 9,59 | 0,492 |
| İRRİGASYON (+) | Kontrol | 16 | 58,8 | 18,2 | 63,0 | 14,6 | 0,320 |
| | SP | 20 | 46,4 | 15,6 | 68,8 | 24,0 | <u>0,000</u> |
| | SP+CP | 20 | 55,5 | 17,8 | 79,8 | 24,3 | <u>0,000</u> |
| | CP | 20 | 54,7 | 16,3 | 62,4 | 17,1 | <u>0,045</u> |
| | SP+HP | 20 | 57,4 | 17,3 | 69,3 | 17,1 | <u>0,002</u> |
| | HP | 20 | 61,1 | 17,6 | 65,2 | 8,4 | 0,279 |

HP grubu dışında mikrosertlik artış değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, irrigasyon uygulanan gruba ait kontrol ve CP grubuna ve irrigasyon uygulanmamış SP+CP grubuna kıyasla en belirgin değişiklik irrigasyon uygulanan SP+CP grubunda belirlenmiş olup, irrigasyon varlığında istatistiksel olarak mikrosertlik değerlerinde anlamlı şekilde yukarıda sayılan gruplardan daha fazla artış belirlenmiştir (Şekil 4.2). Beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmaması değerlendirildiğinde ise irrigasyon uygulaması sadece SP+CP grubundaki mikrosertlik değerlerinde anlamlı bir artış oluşturmuştur (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmamasının beyazlatma sonrası Vickers mikrosertlik değerlerine olan etkisi

| | İRRİGASYON (-) | | | İRRİGASYON (+) | | | p |
|---------|----------------|--------------|-------|----------------|--------------|------|-------------|
| | n | Ortalama VHN | Std | n | Ortalama VHN | Std | |
| Kontrol | 13 | 57,69 | 15,47 | 16 | 63,0 | 14,6 | ,391 |
| SP | 18 | 69,48 | 12,80 | 20 | 68,8 | 24,0 | ,901 |
| SP+CP | 20 | 62,17 | 18,58 | 20 | 79,8 | 24,3 | <u>,001</u> |
| CP | 20 | 65,79 | 11,63 | 20 | 62,4 | 17,1 | ,519 |
| SP+HP | 20 | 63,33 | 15,56 | 20 | 69,3 | 17,1 | ,259 |
| HP | 20 | 59,93 | 9,59 | 20 | 65,2 | 8,4 | ,314 |



Şekil 4.2. Irrigasyon uygulanmış SP+CP grubunun, irrigasyon uygulanmış kontrol, CP grupları ile ve irrigasyon uygulanmamış SP+CP grubu ile karşılaştırılması

Dentin mineral içeriklerini belirlemek amacıyla yapılan Ca, P ve Ca/P ölçüm değerleri karşılaştırıldığında, irrigasyon işleminin etkisi tek başına değerlendirildiğinde Ca, P değerlerinde ve Ca/P oranında anlamlı artış gözlenirken (Tablo 4.4), kullanılan materyalden ve irrigasyon uygulamasından bağımsız değerlendirildiğinde, beyazlatma işlemi Ca değerlerinde anlamlı bir değişiklik oluşturmamıştır. Beyazlatma materyalleri, irrigasyondan bağımsız, irrigasyonlu ve irrigasyonsuz gruplar olarak değerlendirildiğinde de beyazlatma kontrol grubu ve

kendi aralarındaki karşılaştırmalarda Ca değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmamıştır (Tablo 4.3). Ancak beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmaması, içinde SP bulunan SP, SP+CP ve SP+HP gruplarındaki Ca değerlerinde anlamlı bir artış oluşturmuştur (Tablo 4.5).

Tablo 4.3. Beyazlatma ve irrigasyon gruplarına göre örneklerin mineral ölçümleri

| | | n | Ortalama % wt Ca | Std | Ortalama % wt P | Std | Ortalama Ca/P | Std |
|----------------|---------|----|---------------------|------|--------------------|------|------------------|------|
| İRRİGASYON (-) | Kontrol | 19 | 30,65 | 4,62 | 12,91 | 2,44 | 2,41 | 0,31 |
| | SP | 18 | 31,26 | 7,29 | 12,67 | 3,37 | 2,55 | 0,63 |
| | SP+CP | 19 | 31,29 | 6,14 | 12,60 | 2,71 | 2,53 | 0,45 |
| | CP | 19 | 32,47 | 5,50 | 14,51 | 2,95 | 2,26 | 0,30 |
| | SP+HP | 18 | 28,80 | 4,95 | 12,61 | 2,40 | 2,31 | 0,31 |
| | HP | 20 | 29,17 | 5,59 | 12,39 | 2,75 | 2,38 | 0,34 |
| İRRİGASYON (+) | Kontrol | 19 | 34,34 | 7,23 | 12,67 | 2,37 | 2,80 | 0,84 |
| | SP | 18 | 35,95 | 5,75 | 13,98 | 2,96 | 2,67 | 0,75 |
| | SP+CP | 19 | 35,88 | 5,69 | 14,40 | 2,78 | 2,55 | 0,55 |
| | CP | 19 | 34,54 | 9,42 | 14,47 | 3,62 | 2,37 | 0,52 |
| | SP+HP | 19 | 34,87 | 5,16 | 14,29 | 1,31 | 2,45 | 0,33 |
| | HP | 19 | 32,33 | 6,60 | 13,40 | 1,85 | 2,41 | 0,41 |

Tablo 4.4. Sadece irrigasyonun mineral ve tübül miktarlarına etkisi

| | İrrigasyon Arası Ortalama Fark | +/- Std | p |
|--------|-----------------------------------|------------|--------------|
| %wt Ca | 4,046 | 0,837 | <u>0,000</u> |
| %wt P | 0,921 | 0,358 | <u>0,011</u> |
| Ca/P | ,135 | 0,68 | <u>0,047</u> |
| Tübül | ,135 | 0,65 | <u>0,038</u> |

Kullanılan beyazlatma materyalinden ve irrigasyon uygulanmasından bağımsız olarak, örneklere beyazlatma materyallerinin uygulanması, ölçülen P değerlerinde anlamlı bir değişiklik oluşturmamıştır. Beyazlatma materyalleri, irrigasyondan

bağımsız, irrigasyonlu ve irrigasyonsuz gruplar olarak değerlendirildiğinde de, beyazlatma kontrol grubu ve kendi aralarındaki karşılaştırmalarda, ölçülen P değerlerinde anlamlı artış oluşturmamıştır. Ancak beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmaması değerlendirildiğinde, irrigasyon uygulaması sadece SPCP grubundaki P değerlerinde anlamlı bir fark ölçülmüştür.

Ca/P ölçümleri değerlendirilmek amacıyla beyazlatma maddelerini, hangi madde olduğuna bakılmaksızın düşündüğümüzde, beyazlatmanın Ca/P değerlerinde anlamlı bir fark oluşturmadığı görülmüş, irrigasyon uygulanmış ve uygulanmamış beyazlatma gruplarına ait ölçüm değerleri, kontrol grubu ile ve ayrıca gruplar da kendi aralarında karşılaştırıldığında, Ca/P değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Tablo 4.5. Beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmamasının dentin mineral değerlerine etkisi

| | %wt Ca | | | %wt P | | | Ca/P | | |
|----------------|-------------------------|-------|-------------|-------------------------|------|-------------|-------------------------|------|-------------|
| | İrrigasyon +/- farkı | Std | p | İrrigasyon +/- farkı | Std | p | İrrigasyon +/- farkı | Std | p |
| Kontrol | 3,693 | 2,040 | ,072 | -,243 | ,872 | ,781 | ,395* | ,165 | <u>,017</u> |
| SP | 4,689* | 2,096 | <u>,026</u> | 1,314 | ,896 | ,144 | ,119 | ,169 | ,483 |
| SP+CP | 4,592* | 2,040 | <u>,025</u> | 1,806* | ,872 | <u>,040</u> | ,017 | ,165 | ,916 |
| CP | 2,068 | 2,040 | ,312 | -,044 | ,872 | ,960 | ,106 | ,165 | ,522 |
| SP+HP | 6,074* | 2,069 | <u>,004</u> | 1,684 | ,884 | ,058 | ,140 | ,167 | ,403 |
| HP | 3,161 | 2,015 | ,118 | 1,007 | ,861 | ,243 | ,033 | ,163 | ,837 |

Dentinin mikromorfolojik yapısındaki değişiklikleri değerlendirmek için SEM bulguları incelenmiştir (Şekil 4.4). Bu çalışma bir smear değerlendirme çalışması olmamakla birlikte yüzey morfolojisinin değerlendirmesi sırasında, irrigasyon uygulanmayan örneklerde smear tabakasının gözlenmesinin yanısıra örnek yüzeylerinin klinik uygulamaya uygun şekilde SF ile yıkanarak beyazlatma maddelerinin uzaklaştırılmasına rağmen bu işlemin yetersiz olduğu ve diş yüzeyinde eklentiler kaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle tübül çapları değerlendirmeye alındığında

standart bir bölgeden değil dentinin iç yüzeyinde, pulpa boynuzu bölgesine yakın, yüzeyin temiz olduğu alanlardan ölçüm yapılmıştır. Bu şekilde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre; uygulanan irrigasyon protokolünün etkisi tek başına değerlendirildiğinde tübül çapı ölçümlerinde anlamlı artışa yol açmıştır(bkz. Tablo 4.4). Irrigasyon uygulanan örneklerde yüzey daha düzgün, tübüller daha belirgin eklentiler daha az görülmekte. HP grubu dışında bütün beyazlatma gruplarında çeşitli eklentiler, yüzey düzensizlikleri ve yer yer smear tabakası görülmekte, irrigasyon uygulanan ve uygulanmayan örneklerde kullanılan %35 hidrojen peroksitin, daha düzgün yüzey ve diğer gruplara kıyasla anlamlı olarak daha geniş tübül ağzlarına yol açtığı görülmüştür.

Tablo 4.6. Irrigasyon uygulanan örnekler arasında yapılan tübül çapı karşılaştırmalarında, HP grubu ile SP ve SP+HP grupları arasında anlamlı fark bulunmuştur.

| | HP ile ortalama fark | Std | p |
|----------------|-------------------------|------|-------------|
| Kontrol | ,468 | ,176 | ,126 |
| SP | <u>,561*</u> | ,178 | <u>,028</u> |
| SP+CP | ,487 | ,187 | ,148 |
| CP | ,271 | ,184 | 1,000 |
| SP+HP | <u>,536*</u> | ,178 | <u>,044</u> |

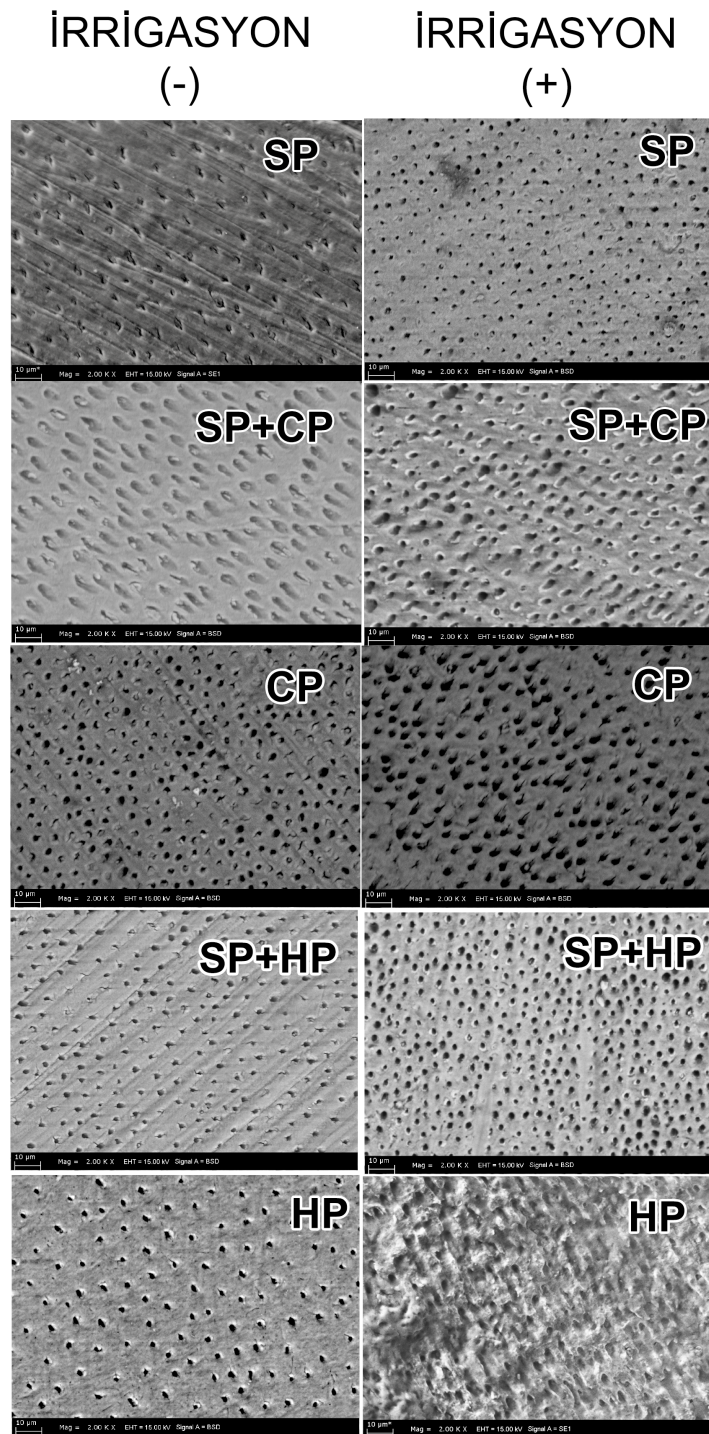
Kullanılan materyalden ve irrigasyon uygulamasından bağımsız bir şekilde beyazlatma işleminin etkisi değerlendirildiğinde, beyazlatma işlemi tübül çaplarında anlamlı bir artış oluşturmuştur. Beyazlatma materyalleri, irrigasyon uygulamasından bağımsız olarak, beyazlatma kontrol grubu ve birbirleri ile karşılaştırıldığında; HP grubu, beyazlatma kontrol grubuna göre tübül genişliğinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış oluşturmuştur. Irrigasyon uygulanan beyazlatma grupları değerlendirildiğinde ise beyazlatma kontrol grubu ve diğer beyazlatma grupları

karşılaştırıldığında (Tablo 4.6), HP grubu, SP ve SPHP grubuna göre tübül çaplarında anlamlı artış oluşturmuştur. Aynı değerlendirme irrigasyon uygulanmayan beyazlatma materyallerinin kendi aralarındaki ve beyazlatma kontrol grubu ile karşılaştırılmasında yapıldığında, tübül çaplarında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Uygulanan beyazlatma materyaline irrigasyon yapılıp yapılmamış olması değerlendirildiğinde ise, sadece HP grubunda irrigasyon uygulanmış örneklerde, irrigasyon uygulanmamış örnekler göre daha geniş tübül çapı ortalaması grlmştr(Tablo 4.7).

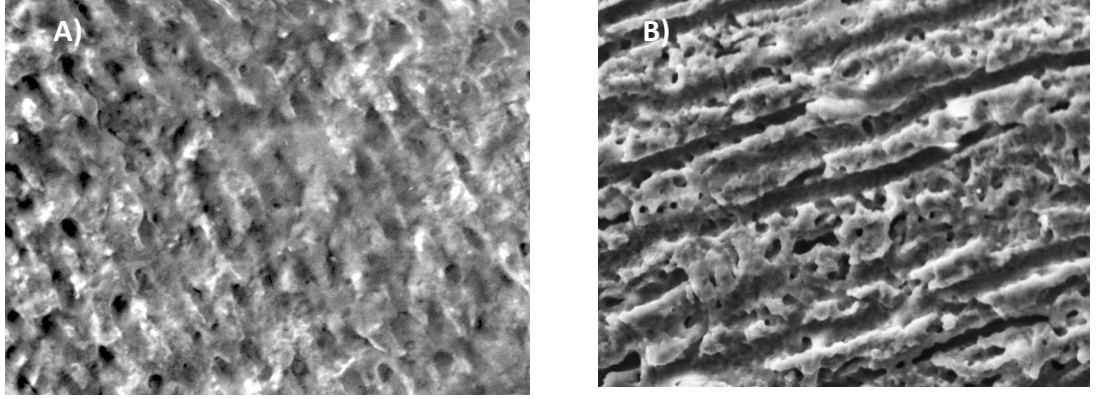
Tablo 4.7. Beyazlatma gruplarına irrigasyon uygulanıp uygulanmaması ve tübül genişliği ilişkisi.

| | İrrigasyon +/- farkı | Std | p |
|----------------|----------------------|------|-------------|
| Kontrol | ,274 | ,178 | ,127 |
| SP | -,037 | ,178 | ,835 |
| SP+CP | ,069 | ,192 | ,721 |
| CP | ,110 | ,184 | ,550 |
| SP+HP | ,011 | ,178 | ,952 |
| HP | ,398* | ,174 | <u>,023</u> |

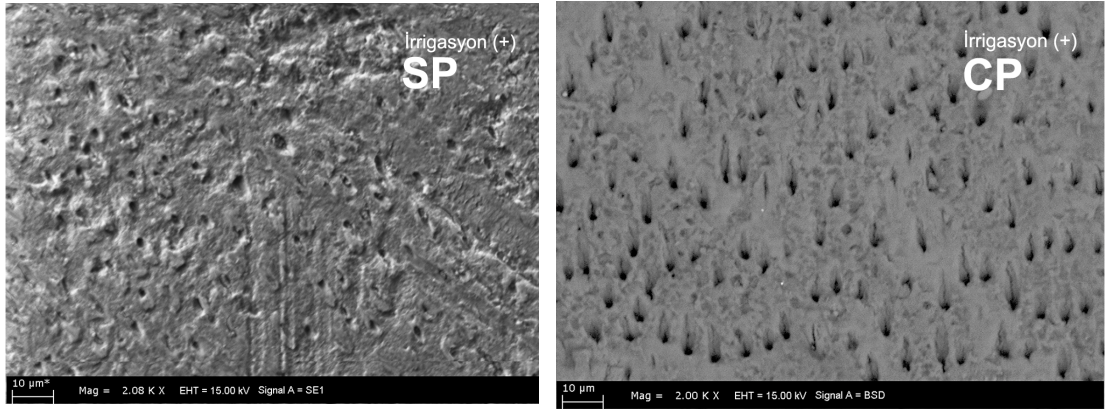
Kullanılan beyazlatma materyalleri ve kombinasyonlarının ortalama pH değerleri ise; %35 Hidrojen Peroksit 4.6, %37 Karbomit Peroksit 8.8, Sodyum Perborat+distile su 11,3, Sodyum Perborat + %35 Hidrojen Peroksit 8,8, Sodyum Perborat + %37 Karbomit Peroksit 9,6 olarak llmştr.



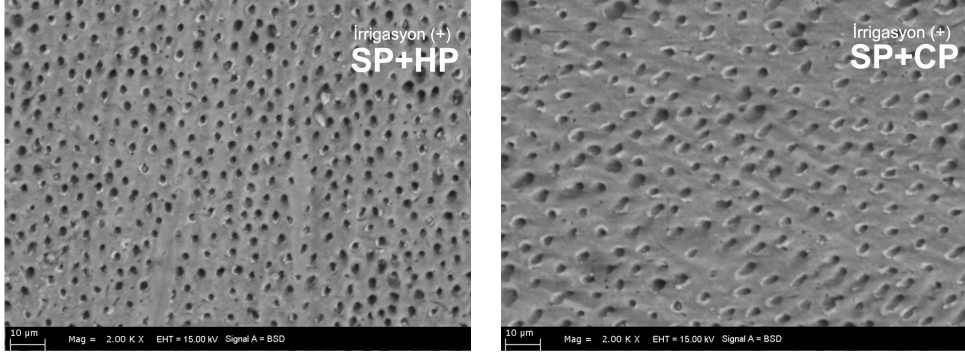
Şekil 4.3. İrrigasyon uygulanmış ve uygulanmamış yüzelerde gruplara göre beyazlatma maddesi uygulanmış dentin yüzeylerinin x2000 büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 4.4. Artıkların uzaklaştırıldığı ve tübül içlerinin de en temiz olduğu belirlenen, irrigasyon sonrası HP uygulanmış gruba ait görünüm. Temiz olmasına karşın, diğer gruplara göre yüzey hasarının fazla olduğu görülmekte.



Şekil 4.5. Irrigasyon sonrası yüzeylere CP ve SP'nin tek başına uygulanması sonrası dentin yüzey görüntüleri.



Şekil 4.6. İrrigasyon uygulanmış yüzeylerde sodyum perborat kombinasyonları (SP+HP, SP+CP) uygulandığında SP+HP örneklerinde gözlenen nispeten daha temiz dentin yüzeyi.

5. TARTIŞMA

Diş renklenmeleri, temel olarak dış ve iç kaynaklı renklenmeler olarak ikiye ayrılmakta olup her ikisinin kimyasal yolla giderilmesinde farklı konsantrasyon ve sürelerde peroksit uygulaması yapılmaktadır (162). Renklenmelerin giderilmesinde, dış kaynaklı renklenmeye yol açan pigment molekülleri dişin dış yüzeyinde olduğundan peroksitler mine yüzeyine uygulanmakta, iç kaynaklı renklenmelerde ise pigmentler dişin iç yapılarına gömüldüğü için peroksitler pulpa odasına yerleştirilmektedir (163).

İçsel renklenmelerde beyazlatma teknikleri ile yüksek estetik başarı elde edilse de uzun dönemde dentin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanısıra rezin polimerizasyonu ve bağlanma dayanımı üzerindeki olumsuz etkilere bağlı olarak restorasyonların klinik sorunları (164) ile hidrojen peroksit ve hidroksil radikallerinin ekstraradiküler difüzyonuna bağlı dış kök rezorpsiyonları literatürde bildirilmiştir (165–168).

Literatürde yer alan çeşitli araştırmalarda, içsel renklenmelerin giderilmesinde güvenli bir beyazlatma tekniği uygulamanın şartları arasında, kullanılan beyazlatma maddelerinin özellikleri de önemle vurgulanmaktadır (169). Beyazlatma amacıyla kullanılan peroksit ve türevi materyallerin farklı konsantrasyonlarının, diş sert dokularına ve çevre dokulara etkisi özellikle araştırma konusu olmuştur (53,170). Bu bilgiler doğrultusunda literatürde güvenli beyazlatma uygulaması amacıyla, sodyum perboratın daha güvenilir olduğu, %30 ve %35 konsantrasyondaki hidrojen peroksit solüsyonlarının tek başına ya da diğer maddelerle kombinasyonlarının rutin kullanılmaması gerektiği bildirilmiştir (171). Oysa ki %35 hidrojen peroksit ya da %37 karbomit peroksit (172) içeren hazır beyazlatma ürünleri dental pazarda yer almakta ve dolayısıyla klinik uygulamalarda da sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda beyazlatma amacıyla kullanılan hidrojen peroksit ve türevi materyallerin farklı konsantrasyonlarının, diş sert

dokularına etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiş, ancak mevcut irrigasyon protokolleri sonrası kron içi beyazlatma amacı ile kullanılan konsantrasyon ve kombinasyonlarının kron içi dentinine olan kümülatif etkilerine dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Endodontik tedavi görmüş dişlerde uygulanan kron içi beyazlatma uygulamalarının diş dokusuna etkisi incelenirken, endodontik tedavilerde kullanılan irrigasyon solüsyonlarının beyazlatma materyalleri ile olan kümülatif etkisini de değerlendirmek gerektiği düşüncesindeyiz. Bu nedenle çalışmamızda klinik uygulamada sıklıkla kullanılmakta olan sodyum perborat, %35 hidrojen peroksit (Ultradent Opalescence Endo, ABD) ve %37 karbomit peroksit (FGM Whiteness Superendo, Brezilya) içeren hazır preparatlar ve bunların kombinasyonlarının, dentin dokusu üzerine etkilerinin araştırılmasına, ayrıca endodontik tedavi sonrası uygulanan bu beyazlatma ürünlerinin, irrigasyon solüsyonlarına maruz kalmış bir bakıma hasarlı kron dentini üzerindeki etkisi de değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Dental amaçlı kullanılan kimyasalların diş sert dokuları üzerinde etkileri deneysel olarak incelenirken bu kimyasalların diş sert dokusunun mikrosertliği, kırılma dayanımı gibi fiziksel özelliklerinin yanısıra bu fiziksel özelliklerini etkileyen mineral içeriği ve yüzey topografik özelliklerine olan etkileri de incelenerek değerlendirmeler yapılmaktadır. Endodontik tedavi sonrası kullanılan kron içi beyazlatma maddelerinin etkileri de bu yöntemlerle değerlendirilebilmektedir. Yine endodontik tedavi sırasında kullanılan irrigasyon solüsyonlarının etkileri de literatürde ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

1999 yılında yapılan bir çalışmada, kök kanal dentini üzerine 60 saniye boyunca uygulanan %5 sodyum hipoklorit ve %17 EDTA solüsyonunun, dentin Knoop mikrosertlik değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalmaya yol açtığı bildirilmiştir(116). 2005 yılında Arı ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada da (173) 15 dakika %2,5 sodyum hipoklorit, %5 sodyum hipoklorit ve %17 EDTA uygulamasının kök kanal dentininin Vickers mikrosertlik değerlerinde anlamlı düşüşe neden olduğu gösterilmiştir. Yine bir Vickers mikrosertlik ölçüm çalışmasında, %5 EDTA

solüsyonunun mikrosertlik değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalma oluşturduğu bildirilmiştir(174). Ulusoy ve arkadaşları (175) ise 2013 tarihli çalışmalarında, 5 dakika %5 sodyum hipoklorit uygulanmasının dentin mikrosertlik değerlerini değiştirmediğini ancak aynı süre ile %17 EDTA uygulanmasının dentin Vickers mikrosertlik değerlerinde anlamlı azalmaya neden olduğunu göstermişlerdir. İrrigasyon solüsyonlarının mikrosertlik değerlerine olan etkisinin zamana bağlı olarak değiştiğini, ancak %2,5 sodyum hipoklorit ve %17 EDTA'nın klinik kullanım süresinde mikrosertlik değerlerini istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşürdüğünü gösteren birçok başka güncel çalışma da yayınlanmıştır (91,176–178).

İrrigasyon solüsyonlarının dentin inorganik yapısına olan etkisinin değerlendirildiği 2007 yılında yayınlanan bir çalışmada, farklı şelasyon ajanlarının sodyum hipoklorit ile beraber veya tek başlarına uygulanmasının, kök kanal dentininden solüsyona kalsiyum geçişine neden olduğu gösterilmiştir(111). 1988 tarihli bir çalışmada %10 sodyum hipoklorit uygulamasının, dentinden organik materyal ile birlikte bir miktar magnezyum uzaklaştırdığı ve dentin mineral fazında yapısal değişikliklere neden olduğu bildirilmiştir (87). Farklı endodontik irrigasyon solüsyonlarının dentin mineral miktarındaki değişimleri ICP-AES yöntemi ile değerlendiren, Arı ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada (113), 15 dakika %3 hidrojen peroksit, %17 EDTA ve %0,2 klorheksetidin glukonat uygulamalarının, dentindeki kalsiyum ve fosfor miktarlarını azalttığı 15 dakika %5 ve %2,5 sodyum hipoklorit uygulamasının ise, mineral miktarlarına bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir. Kök dentini ve sement sitrik asit uygulandığı bir SEM çalışmasında ise, dentin ve sement yüzeyinde Ca ve P miktarlarında azalma, Ca/P oranında ise artış gözlenmiştir(179).

Endodontide kullanılan irrigasyon solüsyonları, kök kanal yüzeyi üzerindeki organik ve inorganik artıkları temizlemek ve uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Bu solüsyonların dentinin organik ve inorganik yapısında da değişiklikler oluşturduğu bilinmektedir. 2012 yılında yapılan bir çalışmada, %17 EDTA solüsyonunun dentin

yüzeyini temizlemede etkili olduğu ve bazı bölgelerde dentin erozyonuna neden olduğu bildirilmiştir(180). Aynı çalışmada %5 sodyum hipoklorit kullanımında debrisin uzaklaştırıldığı ancak smear tabakasının dentin tübüllerini kapladığı bildirilmiştir. Ulusoy ve arkadaşları(175) ise aksi bir bulgu sunmuşlar, dentin yüzeyine 5 dakika uygulanan %17 EDTA, %2,5 ve %5 sodyum hipoklorit solüsyonunun dentin erozyonuna yol açmadığını ve EDTA solüsyonunun smear tabakasını uzaklaştırmada başarılı olduğunu göstermişlerdir. 2007 yılında yapılan bir çalışmada, %1-5-9 sodyum hipokloritin 1 saat uygulanmasının intertübüler dentinin geçirgenliğini artırdığı; ancak inorganik yapısında değişiklik oluşturmadığı bildirilmiştir(12). Başka bir çalışmada da %17 EDTA solüsyonunun 1 dakika uygulanmasının smear tabakasını uzaklaştırmada yeterli olduğu, 10 dakikalık uygulamanın ise dentin yüzeyinde peritübüler ve intertübüler dentin erozyonuna sebep olduğu Çalt ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir(102). %0,9-2,5-5 konsantrasyonlarında sodyum hipoklorit, %17 EDTA ve bunların kombinasyonlarının dentin yapısına olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, hepsinin dentin yüzeyinde morfolojik değişiklikler oluşturduğu(181), irrigasyon protokolü sonrası yüzey pürüzlülüğünün değerlendirildiği bir çalışmada da %2,5-5 konsantrasyonlarındaki sodyum hipoklorit ve %17 EDTA solüsyonunun dentin yüzey pürüzlülüğünü artırdığı bildirilmiştir(173). Saghiri ve arkadaşları (182) da 2009 yılındaki çalışmalarında, 5 dakika %17 EDTA uygulamasının peritübüler ve intertübüler dentin üzerinde erozyon oluşturduğunu göstermişlerdir. Irrigasyon solüsyonlarının yanısıra asitlerden açığa çıkan hidrojen iyonunun diş sert dokularındaki hidroksiapatit yapısında bulunan kalsiyum veya fosfata bağlanıp yapıyı bozarak bütün iyonları açığa çıkardığı, bu nedenle yüzey pürüzlülüğü olduğu yani erozyona neden olduğu bildirilmiştir (183).

Bizim çalışmamızda da uygulanan irrigasyon solüsyonlarının, dentin yüzey özellikleri ve mineral değerlerinde değişiklik yaptığı görülmüş ancak literatürdeki genel sonuçların aksine mineral değerlerinin bizim ölçümlerimizde arttığı gözlenmiştir. Örneklerin yüzey mineral analizi sonuçlarını değerlendirdiğimizde, beyazlatmadan bağımsız irrigasyon solüsyonlarının, dentin yüzey sertliğini

istatistiksel olarak etkilememiş olmasına karşın irrigasyon sonrası Ca, P ve Ca/P değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada uygulanan irrigasyon protokolü, uygulanan irrigasyon solüsyonlarının dentin üzerine etkisini yorumlamak için değil, bu solüsyonların beyazlatma uygulaması ile beraber etkisine bakabilmek için irrigasyon uygulanmış dentin yüzeyleri elde etmek amacıyla yapılmıştır. Bir çalışmada sodyum hipoklorit uygulamasının, yaklaşık %20'sini kollajen proteinlerinin oluşturduğu dentin dokusunun organik matriksine etki ettiği, Ca/P oranlarında artışa ve yüzeyde mineral toplanmasına neden olduğu bildirilmiştir (184). Biz de çalışmamızda irrigasyon uygulanan örneklerdeki mineral artışlarının nedeninin sodyum hipoklorit uygulamasının dentin organik içeriğinde azalmaya yol açarak, mineral oranlarında artış oluşturması olduğu görüşündeyiz. Sadece irrigasyon solüsyonlarının dentin mikrosertliğine olan etkisine baktığımızda ise irrigasyon(+) ve irrigasyon(-) grupları arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Literatür bilgilerine göre farklı konsantrasyon ve sürelerde uygulanan irrigasyon solüsyonları mikrosertlik değerini azaltma eğilimindedir. Bizim sonuçlarımızda ise irrigasyon uygulanması ve mikrosertlik arasındaki bu ilişki literatür ile benzerlik göstermemektedir. Çalışmamızın bir irrigasyon değerlendirme çalışması olmaması nedeniyle gruplarımızda ortalama değerler elde edilmiş ve irrigasyon uygulanmamış yüzeylerde beyazlatma maddelerinin tek başına etkileri belirlenip irrigasyon solüsyonu uygulanmış yüzeylerde beyazlatma maddelerinin kümülatif etkileri ile karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Fakat bu elde edilen ilk bulgular irrigasyon değerlendirme çalışması olmamasına rağmen dikkatimizi çekmiştir.

Çalışmamızda, beyazlatma materyallerinin irrigasyon uygulanmış ve uygulanmamış örnekler üzerine olan etkilerine baktığımızda, farklı sonuçlar görmekteyiz. Literatürde bu kapsamda irrigasyon solüsyonları ve beyazlatma materyallerinin etkisine aynı anda bakan bir çalışmaya rastlayamamakla beraber, sadece beyazlatma materyallerinin dentin özelliklerine olan etkileri de tartışmalıdır.

Literatürde %30 hidrojen peroksitin intertübüler dentin üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmada(185), 24 saat uygulamanın dentinin sertliği ve elastisite modülünde azalmaya yol açtığı gösterilmiştir. Yine aynı konsantrasyondaki hidrojen peroksitin 24 saat uygulanması sonrası intertübüler dentinin mikrosertliği '*nanoindentation yöntemi*' ile ölçülmüş ve intertübüler dentinin mikrosertliğinde %29-55 arası bir azalma bildirilmiştir(186). Sulieman ve arkadaşları (187) ise 2004 yılında yaptıkları bir çalışmada, mine ve dentin yüzeyine 30 dakika süre ile uygulanan %35 Hidrojen peroksitin mikrosertlik değerlerini değiştirmedeğini bildirmişlerdir. Joiner ve arkadaşları (188) tarafından aynı yıl yapılan bir çalışmada ise, %6 hidrojen peroksitin her biri yirmişer dakikalık 28 uygulamasının mine ve dentin mikrosertliği üzerine olan etkileri incelenmiş ve beyazlatma öncesi ve sonrası mikrosertlik değerlerinde anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Literatürde yer alan çalışmalarda uygulanan hidrojen peroksit konsantrasyonları ve uygulama süreleri de dahil olmak üzere, çalışma dizaynları birbirlerinden farklı olup bu nedenle sonuçlar farklı, yorumlar da birbirleriyle uyumlu değildir. Bizim çalışmamızda tamamen klinik uygulamalar esas alınarak konsantrasyon ve süre belirlenmiş olup, çoğu çalışmaya göre daha yüksek konsantrasyondaki %35 hidrojen peroksitin (Opalescence Endo) 14 gün uygulandığı örneklerimizde, irrigasyon uygulanan ve uygulanmayan örnekler kontrol grubu ve diğer beyazlatma grupları ile karşılaştırıldığında, literatürdeki hidrojen peroksit uygulamalarına benzer şekilde dentin mikrosertliğinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak %35 hidrojen peroksitin sodyum perborat ile karıştırıldığı SPHP grubunda ve sodyum perboratın karbomit peroksit ile karıştırıldığı SPCP gruplarında mikrosertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu gruplardaki mikrosertlik artışının sodyum perborat ve karbomit peroksit nedeniyle oluştuğu görüşündeyiz.

Sodyum perborat kron içi beyazlatma uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir başka beyazlatma maddesidir. Toz halindeki bu maddenin kavite içine yerleştirilmesi

amacıyla pat şekline getirilmesinde su ve çeşitli kimyasallardan yararlanılır. Sodyum perboratın hidrojen peroksitle birlikte kullanımı, sodyum perboratın etkinliğini arttırmak amacıyla 1963 den beri önerilen bir yöntemdir (189–192). Hidrojen peroksitin Sodyum Perboratla birlikte kullanımı sinerjistik etki yaratmakta olup %35 hidrojen peroksitin sodyum perboratla kombinasyonu sonucu % 50 konsantrasyondaki hidrojen peroksit etkisi elde edildiği bildirilmiştir(189). Önerilen bu klinik uygulamanın değerlendirilmesi amacıyla literatürde, %30 konsantrasyonundaki hidrojen peroksitin farklı sıcaklıklardaki uygulaması ve sodyum perborat ile kombinasyonunu karşılaştıran bir çalışmada, 37° ve 50°C de hidrojen peroksitin uygulandığı dentinde mikrosertliğin azaldığı, sodyum perborat ile karıştırılan yine %30 konsantrasyondaki hidrojen peroksitin ise, dentin mikrosertliğinde bir değişikliğe yol açmadığı bildirilmiştir(193). Çalışmamızda literatüre göre hazırlanan sodyum perboratın pH değeri 11,3 ölçülmüştür. Sodyum perborat uygulanan gruplarda ve diğer bütün kombinasyonlarında dentin mikrosertliğinin etkilendiği, sodyum perborat-serum fizyolojik karışımı ile sodyum perborat - %35 hidrojen peroksit karışımının etkileri karşılaştırıldığında ise mikrosertlik açısından aralarında anlamlı bir fark olmadığı belirlendiğinden burada sertliği etkileyenin sodyum perborat olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda, sodyum perboratın yüzeyden uzaklaştırılmasına dair bir açıklama yapılmamış olup, bu çalışmada klinik uygulamaya benzer şekilde bütün beyazlatma materyalleri salin ile uzaklaştırılmaya çalışılmıştır. Sodyum perborat örneklerinde , ölçüm öncesi patın yalnızca serum fizyolojikle yıkama ile yüzeyden tamamen uzaklaştırılmamasının ve yüzeyde kalan sodyum perboratın hidroliz reaksiyonu sonucu hidrojen peroksit ile beraber ortaya çıkan borat moleküllerinin, ölçümleri etkileyebileceği görüşünderiz. Uzaklaştırılmadığı yüzey mikroskobik incelemede belirlenen, eklenti şeklinde gözlemlediğimiz bu durumun ayrıca araştırılması gerektiği düşüncesindeyiz. Titley ve arkadaşlarının(194) yaptığı bir çalışmada, smear tabakasının uzaklaştırılmadığı örneklerde, 60 dakikaya kadar uygulanan %35 hidrojen peroksit uygulamasının, 20. dakikasından sonra dentin yüzeyinde bir çökelti oluştuğu gözlemlenmiştir. Bizim çalışmamızda HP grubunda daha az olmakla birlikte ,

örneklerin tümünde benzer bir tabakaya rastlanmış olup bu tabakanın da yüzey sertlik ölçümü tayininde göz önüne alınması gerektiği görüşündeyiz.

Çalışmamızda , dentin sertliğini etkileyen beyazlatma materyallerinden biri de karbamiit peroksit olup, sodyum perborat - % 37 karbamiit peroksit uygulandığında da irrigasyon uygulanan ve uygulanmayan örneklerde dentin sertliği artmıştır. Karbamiit peroksit beyazlatma amaçlı kullanılan, uygulandıktan sonra üre ve hidrojen peroksite ayrışan bir materyaldir. Ayrıştığında ortama çıkan üre nedeniyle pH sınır yüksek olduğu düşünölmektedir (49). Çalışmamızda kullanılan %37 karbamiit peroksit içeren Whiteness Superendo da bazik olup pH'sı 8,9 olarak ölçölmüştür. Düşük konsantrasyondaki beyazlatma maddelerinin dentin üzerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, %10'luk iki farklı hazır karbamiit peroksit preparatının dentin mikrosertliğini, uygulamanın 8. Saatinden itibaren düşürdüğu, ancak 14 günlük yapay tükürük uygulaması ile bu düşüşün geri dönebildiği gösterilmiştir(195). %10 ve %15 konsantrasyonunda karbamiit peroksitin bir çalışmada mine ve dentin yüzeyine 28 saat uygulandığında mikrosertlik değerlerinde kayda değer bir değişiklik gözlemlenmemiş iken bir başka çalışmada da aynı maddelerin dentin pürüzlölüğü ve morfolojisi gibi dentin yüzey özelliklerinde anlamlı bir değişiklik oluşturmadığı bildirilmiştir (196,197). Çalışmamızda da Çobankara ve ark. çalışmalarından farklı sürede ve yüksek konsantrasyonda karbamiit peroksitin(%37) irrigasyon sonrası uygulanmasının ardından yüzey mikrosertliğinde artış gözlenmiş, en fazla artış ise irrigasyon sonrası sodyum perborat ile karışımında görölmüştür. Karbamiit peroksitin etkisine ilaveten sodyum perboratın kümülatif etkisi nedeniyle bu sonucun ortaya çıktığı düşünölmüştür.

Literatürde hidrojen peroksit ve karbamiit peroksiti karşılaştıran çalışmaları da yer almaktadır. Llena ve arkadaşları(198). , %37,5 hidrojen peroksit ve %35 karbamiit peroksit içeren nötr pHlı hazır beyazlatma preparatlarının, dentin ve mine üzerine olan etkilerini incelemiş ve dentin üzerinde mineral miktarı ve dentin yüzey morfolojisi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik oluşturmadığını

bildirmişlerdir. Zalkind ve arkadaşları ise(199), 1996 yılında çekilmiş dişlerde yaptıkları bir çalışmada, %30 hidrojen peroksit ve %10 karbamid peroksitin, dentin yüzeyinin morfolojik özelliklerinde *etch-like* (asitle pürüzlendirilmiş benzeri) etki yarattığını, ancak hidrojen peroksitin etkisinin daha yoğun olduğunu bildirmiştir.

Hidrojen peroksitin tek başına uygulandığı grup dışındaki bütün beyazlatma gruplarında beyazlatma materyallerinin, uygulanan dentin yüzeylerinden tam uzaklaştırılmaması bu grupların mikrosertlik değerlerindeki artışın sebepleri arasında sayılabilir. Yapılan incelemelerimizde HP grubunda daha az eklenti görülmüştür. Sadece bu grupta mikrosertlik değerlerinde değişim olmaması nedeni ile eklentilerin sertlik değerlendirmelerini etkilediği düşünülmüştür. Çalışmamızda kullandığımız sodyum perborat ve karbamid peroksit preparatları bazik özellik göstermekte, asidik pH'daki tek beyazlatma materyali olan hidrojen peroksit dışındaki tüm gruplarda mikrosertlik değerlerindeki artışın bu pH farkı ile beraber yüzeyden uzaklaştırılmayan inorganik yapıdan kaynaklandığı görüşündeyiz. Çalışmamızda kullanılan %35 hidrojen peroksit hazır preparat olup firma sunumlarında, saf halde suya göre hafif visköz olan hidrojen peroksitin buradaki kıvamını oluşturan kimyasalların içeriği de tam ayrıntıları ile bildirilmemiştir. Sulieman ve arkadaşları (187) %35 hidrojen peroksit uyguladıkları mine ve dentinde erozyon oluşmadığını, bunun sebebinin ise kullandıkları ürünün 7 olan nötr pHı olduğunu bildirmişlerdir. Biz de çalışmamızda pH'sını 4,6 olarak belirlediğimiz %35 hidrojen peroksitin hafif asidik özelliği nedeniyle, diğer beyazlatma materyallerinden farklı sonuçlar elde ettiğimiz düşüncesindeyiz.

Literatürde beyazlatma materyallerinin dentin dokusuna olan etkisi değerlendirilirken, mineral miktarlarına olan etkisi de değerlendirilmiştir. Rotstein ve arkadaşları (13), yaptıkları bir SEM-EDX çalışmasında dentin üzerine uygulanan %10 karbamid peroksit, %30 hidrojen peroksit ve sodyum perboratın, kalsiyum miktarı ve Ca/P oranlarında azalmaya, P miktarında artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Yine Rotstein ve arkadaşlarının 1992 yılında yaptıkları bir başka çalışmada (159), %30

hidrojen peroksit ve sodyum perboratın birlikte ve tek tek uygulanmasının, dentinin organik fazında çözünmeye yol açtığı ve dolayısıyla inorganik materyal oranında artışa neden olduğu bildirilmiştir. 2007 yılında Journal of Dentistry’de yayınlanan bir makalede, siğir dentinine 24 saat %3-10-30 hidrojen peroksit uygulanmış ve artan peroksit konsantrasyonu ile birlikte dentin dokusundan açığa çıkan Ca ve P miktarlarında artış bildirilmiştir(55). 2018 yılında Llena ve arkadaşları (198) tarafından dentin ve mine üzerine 45 dakika %37,5 hidrojen peroksit, 90 dakika %35 karbamiit peroksit uygulanmış, bu dokular üzerinde histolojik değişiklikler bildirilse de Ca ve P miktarlarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Jiang ve arkadaşları ise (200), 24 saat %35 hidrojen peroksit (pH:7,4) uygulamasının, dentin inorganik yapısının yanısıra organik yapısında da azalmaya yol açmadığını, etkisini dentindeki dentin fosfoproteini okside ederek gösterdiğini bildirmişlerdir. Eimar ve arkadaşları da 2012 tarihli çalışmalarında(201), 4 gün %30 hidrojen peroksit uygulamasının dentin organik dokusunda oksidasyona neden olduğunu, ancak organik-inorganik materyal oranında değişiklik oluşturmadığını bildirmişlerdir. Berger ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları bir çalışmada (202), ısı ile birlikte veya tek başına uygulanan %35 hidrojen peroksitin mine üzerine olan etkisi Raman Spektrofotometresi ile incelenmiş ve Ca miktarlarında anlamlı bir azalma bildirilmiştir.

Bütün bu çalışmalar ve bizim çalışmamız sonuçları da benzer olup, uyguladığımız irrigasyon protokolünün dentinin yüzey özelliklerinde hasara yol açtığı, topografik görünümler ve mineral analizleri ile de defalarca kanıtlanmıştır. Çalışmamızda temel amacımız daha çok bu şekilde klinik uygulamaya benzer yolla uyguladığımız irrigasyon protokolü sonucu hasara uğramış bu dentin yüzeylerinde, beyazlatma maddelerinin etkilerinin değerlendirilmesidir.

Çalışmamızda, kullanılan beyazlatma materyalinden bağımsız değerlendirildiğinde, beyazlatma işleminin mineral miktarlarında değişiklik oluşturmadığı bulunmuştur. Peroksitler organik dokuyu okside etmekte, yüzeyde mineral oranları aynı kalmakta ancak mikrosertlik değerleri artmaktadır. Hidrojen

peroksitin asidik pH'sı da HP grubundaki mikrosertliğin aynı kalmasına neden olmuş olabilir(201). Ancak beyazlatma materyallerini tek tek ve irrigasyon ile olan etkileşimlerine göre değerlendirdiğimizde farklı sonuçlar görülmektedir. Irrigasyondan sonra beyazlatma grupları beyazlatma kontrol grubuyla karşılaştırıldığında Ca değerlerinde anlamlı bir fark görülmezken, beyazlatma maddelerinin irrigasyon solüsyonlarıyla etkileşiminin olup olmadığının belirlenebilmesi için aynı maddelerin irrigasyonlu ve irrigasyonsuz yüzeylere uygulanması ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde , içinde SP bulunan tüm gruplara (SP, SP+CP ve SP+HP) irrigasyon uygulamasının Ca değerlerinde anlamlı artış oluşturduğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin EDTA uygulaması sonrası, ortamdaki uzaklaştırılmayan EDTA-Ca kompleksi veya bozulan hidroksiapatit yapısındaki Ca'a sodyum perboratın hidrolizi sonucu ortaya çıkan borat moleküllerinin afinitesi olabileceği görüşündeyiz. Oluşan muhtemel bileşiğin kalsiyum borat olabileceği ve bu konu ve kalsiyum borat ile bu yönde daha fazla çalışma yapılması gerektiğini düşünmekteyiz.

Örneklerimiz P içeriği yönünden değerlendirildiğinde ise, irrigasyondan bağımsız beyazlatma maddelerinin P değerini etkilemediği fakat irrigasyon uygulanan SP+CP grubunda, irrigasyon uygulanmayan SP+CP grubuna göre P değerinin anlamlı bir şekilde artmış olduğu belirlenmiştir. Ca/P değerlerindeki anlamlı artışın sadece beyazlatma kontrol grubunda, irrigasyon uygulanan ve uygulanmayan arasında olduğu bulunmuştur. Bu sonuç beyazlatma materyallerinden bağımsız olarak irrigasyonun etkisi değerlendirildiğinde ortaya çıkan Ca/P artışı ölçümümüzle de örtüşmektedir.

Akkuş ve arkadaşları (203) yaptıkları çalışmada , diş sert dokularının mikrosertliği ile mineral içeriği arasında pozitif korelasyon olduğunu bildirmiştir; ancak bizim çalışmamızda mineral içeriği ve beyazlatma sonrası mikrosertlik artışı arasında net bir ilişki gösterilememiştir. Dişin mikrosertlik gibi fiziksel özelliklerinin, mineral içeriğinden çok, dokudaki organik ve inorganik materyallerin birbirine olan

oranından etkilendiği bildirilmiştir (133). 1992 yılında yapılan bir mikrosertlik mineral ilişki çalışmasında ise, mikrosertlik değerlerinin mine dokusundaki ufak mineral ve organik doku değişimleri yansıtmayacağı bildirilmiştir(131). Bu veriler de, bizim elde ettiğimiz sonuçları açıklayabilir.

Mineral ve mikrosertlik ölçümlerinin yanısıra, kullanılan materyallerin dentin yüzey özelliklerine olan etkisi de, tübül penetrasyonu, final restorasyonun adezyonu ve sızdırmazlık gibi konular açısından önem arz etmektedir. Titley ve arkadaşlarının(194) yaptığı bir çalışmada, smear tabakasının uzaklaştırılmadığı örneklerde, %35 hidrojen peroksit uygulamasının 60 dakikaya kadar olan uygulamalarında, 20 dakika sonrasında dentin yüzeyinde bir çökelti olduğu gözlemlenmiştir. Vieira ve ark. yayınladıkları 2012 tarihli bir makalede (164), %20-38 hidrojen peroksit, %37 karbomit peroksit, sodyum perborat ve bunların kombinasyonlarının uygulandığı örneklerin, restoratif materyallerle olan rezin bağlanımlarında azalma bildirmişlerdir. Aynı çalışmada dentin yüzeyinde smear tabakası, yarıklar ve yüzey düzensizlikleri bildirilmiştir. 2004 tarihli Sulieman ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada ise (187), 30 dk %35 hidrojen peroksit uygulamasının dentin mikromorfolojisinde anlamlı bir değişiklik oluşturmadığı gösterilmiştir. 20 gün boyunca %35 hidrojen peroksit, %37 karbomit peroksit ve sodyum perborat-%10 hidrojen peroksit uygulamasının sıgır dentini üzerine olan etkilerinin incelendiği bir çalışmada, Carasco-Guerisoli ve arkadaşları (56) bütün uygulamaların dentin yüzeyinde erozyon benzeri değişiklikler oluşturduğunu göstermiş ve kısa süre uygulanan bazik içerikli materyaller önerilmiştir. Çobankara ve arkadaşları (197) ise kısa süreli %10-15 karbomit peroksit uygulamasının dentin üzerinde morfolojik bir değişiklik oluşturmadığını, ancak yüksek konsantrasyonda ve uzun süre uygulanan beyazlatma ajanlarının araştırılması gerektiğini bildirmişlerdir. Beyazlatma materyallerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin incelendiği bir çalışmada(204), 3 haftalık %7,5-18-38 hidrojen peroksit ve %10 karbomit peroksit uygulamasının dentin yüzey pürüzlülüğünü artırdığı gösterilmiştir. Eimar ve

arkadaşları da 2012 tarihli çalışmalarında, 4 gün %30 hidrojen peroksit uygulamasının dentin organik dokusunda oksidasyona neden olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmamızda beyazlatma maddeleri uygulanmış yüzeylerden maddeler uzaklaştırılırken , klinik uygulamaya uygun şekilde son yıkama SF ile yapılmıştır. Ardından yapılan yüzey morfolojisi değerlendirmesinde örneklerin çoğunda smear tabakası olduğu, en az smear olan en temiz yüzeylerin ise % 35 Hidrojen Peroksit uygulanan irrigasyon (+) HP grubunda olduğu gözlenmiştir. Smear tabakasının gözlemlendiği durumların yanısıra örnek yüzeyleri SF ile yıkanarak beyazlatma maddesinin yüzeyden uzaklaştırılmasına çalışılmış ama bunun yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu nedenle tübül çapları değerlendirmeye alındığında standart bir bölgeden değil, mikrosertlik ölçümünün yapıldığı bölgelere yakın, yüzeyin temiz olduğu alanlardan ölçüm yapılmıştır. Bu şekilde yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, beyazlatma işleminden bağımsız, irrigasyon uygulanan örneklerde tübül çapları anlamlı olarak yüksek ölçülmüş, ve yüzeylerde smear tabakası daha az görülmüştür. HP grubu hariç, beyazlatma materyalleri ise tübül çapı değerlerinde değişiklik oluşturmamıştır. HP grubu dışındaki grupların asidik özellik taşıması ve yüzeyden uzaklaştırılamamasının bu farkı açıklayabileceği görüşündeyiz. Aynı zamanda tübül çapı açısından sadece HP grubunda, irrigasyon yapılmış örneklerin tübül çapları, irrigasyon uygulanmayan HP grubuna göre anlamlı ölçülmüş, diğer beyazlatma materyallerinin tübül çapında irrigasyon ile kümülatif bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Her in vitro çalışmada, çalışma planı in vivo ortamı belli bir ölçüye kadar taklit edebilmekte ve çalışmaların en büyük eksikliğini de bu durum oluşturmaktadır. Bu çalışmada kullanılmış beyazlatma maddeleri ve ticari formları, irrigasyon solüsyonları ve konsantrasyonları literatürde ilgili işlemlerde en çok kullanılanlardan seçilse de, benzer çalışmalarda kullanılan farklı ticari formlar, çalışmaların karşılaştırılabilirliğini azaltmaktadır. pH değerleri ve etken madde dışında preparat içinde kullanılan

yardımcı maddeler farklı olduğundan benzer konsantrasyondaki aynı maddeler, dentin üzerinde farklı sonuçlar oluşturabilmektedir.

Çalışmamızda, işlem öncesi ve sonrası ölçüm yapılmadığı için, deney grubundaki SEM-EDX değerleri, kontrol grupları ile karşılaştırılmıştır. Deney gruplarının beyazlatma ve irrigasyon uygulanmamış hallerinin mineral ve tübül ölçümleri bilinmemektedir. Ölçümler literatürde bildirilen değerlerle örtüşse de, yapısal farklılıklar yanıltıcı olabilir. Ayrıca örnekler belli bir yaş aralığından ve çürüksüz olarak seçilmiş olsa da, yaş aralığının geniş olması ve örnek-yaş eşleştirilmesinin yapılmamış olması, örneklerde kimyasal ve morfolojik parametlerde tutarsızlıklara yol açabilir.

Çalışmamızda literatürle karşılaştırmalı değerlendirebilmek amacıyla sıklıkla kullanılan Vickers testi kullanılmış olmasına rağmen, anizotropik yüzey özellikleri gösteren dentin dokusunda daha kesin sonuçlar bildirebilmek için nano düzeyde ölçümler yapılması görüşündeyiz.

Vickers ölçümleri ile örneğe kayda değer bir zarar verilmediği için beyazlatma öncesi ve sonrası ölçümler yapılabilmiş, hem kontrol grupları ile, hem de her örneğin kendi beyazlatma-öncesi/sonrası verileri ile kontrol edilebilmiştir. Irrigasyon uygulamadan önce örnekler Vickers ölçümü yapılmadığı için, irrigasyonun direkt etkisi incelenememiş, irrigasyon uygulanan beyazlatma grupları irrigasyon uygulanmayan beyazlatma grupları ile karşılaştırılmıştır. Beyazlatma öncesi Vickers ölçümlerinde, irrigasyon olan ve olmayan grupların genel karşılaştırılmasında anlamlı bir fark bulunmamış; ancak irrigasyon uygulanan SP grubu irrigasyon uygulanmayan SP grubuna kıyasla, irrigasyon sonrası beyazlatma öncesi Vickers ölçümlerinde anlamlı farklılık göstermektedir.

Beyazlatma materyallerinin uygulama süreleri ve aralıkları, literatüre göre belirlenmiştir. Ancak bu süre ve aralıklar, beyazlatma materyallerinin etkinlikleri göz önüne alınmadan, her materyal için aynı belirlenmiştir. %35 hidrojen peroksit ve %35

karbamiit peroksitein beyazlatma etkinliğinin incelendiği 2004 yılında yapılan bir çalışmada, ikisi arasında 7 gün sonunda etkinlik açısından bir fark olmadığı bildirilmiştir(205). Yine aynı çalışmada 14 gün sonunda, sodyum perborat, %35 hidrojen peroksit ve %35 karbamiit peroksitein beyazlatma etkinliklerinin aynı olduğu gösterilmiştir. Arı ve arkadaşları (206) yaptıkları çalışmada, sodyum perboratın farklı kombinasyonlarının beyazlatma etkinliğini araştırmış, ve %30 hidrojen peroksit veya su ile karıştırılan farklı kimyasal formlardaki sodyum perborat uygulamalarının 7-14 ve 21 gün sonundaki etkinliklerini aynı bulmuşlardır.. Klinik uygulamalarda, etkinliklerinin farklılıkları nedeniyle, farklı sürelerde ve tekraralarda uygulanan materyallerin dentin üzerindeki in vitro etkileri, klinik uygulamaları yansıtmayabilir.

6. SONUÇ

Bu çalışma sonuçlarına göre uyguladığımız irrigasyon protokolünde solüsyonlar dentinin yüzey mikrosertliğini etkilemezken uygulanan irrigasyon protokolünün beyazlatmadan bağımsız değerlendirildiğinde Ca, P ve Ca/P değerlerinde artışa neden olduğu ortaya çıkmıştır. Uygulanan irrigasyon protokolündeki sodyum hipokloritin dentinin kollajen dokusunda yani organik yapıda daha fazla çözünme oluşturması nedeniyle yüzeydeki mineral içeriğinde oransal değerlendirmede artış oluşturduğu yani bu yolla kimyasal yapıyı değiştirdiği sonucuna varılmıştır.

Beyazlatma materyallerinin etkisi değerlendirildiğinde ise , mikrosertlik gibi dentinin fiziksel özelliklerinde daha çok değişiklik yaptığı belirlenmiştir. %35 hidrojen peroksit mineral içeriğini ve yüzey sertliğini etkilemezken, SP, CP, SPCP, SPHP uygulamaları yüzey sertliğini azaltmayıp artırdığı, mineral içeriğini de mineral kaybı yönünden etkilemediği sonucu elde edilmiştir. Organik dokuyu okside ederek etki ettiği bilinen peroksitlerin, organik fazın yapısını değiştirdiği ve bu nedenle yüzey özelliklerini değiştirerek mikrosertlik değerlerinde artışa neden olduğu görüşündeyiz. Bu genel değerlendirme sonucuna göre çalışmada kullanılan beyazlatma materyallerinin örneklerin mineral içeriğinde sınırlı değişiklik oluşturdukları, dentinin daha çok organik yapısını etkilediği düşüncesindeyiz. Ancak irrigasyon solüsyonları sonrası uygulanan, özellikle de sodyum perborat içeren beyazlatma materyallerinin, irrigasyon solüsyonları ile beraber kümülatif etkisi sonucu Ca miktarlarında değişiklik oluşturabileceği, Ca/P oranlarında ise değişiklik oluşturmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

Klinik uygulamalara rehber olmak amacıyla beyazlatma materyalleri ile yapılan deneysel çalışmalarda beyazlatma materyali yüzeyden uzaklaştırıldıktan sonra ölçümler yapıldığı bildirilirken çalışmamız sonuçlarına göre yüzeyden kolay uzaklaştırılamadığını gözlemlediğimiz bu artık materyallerin tam olarak nasıl uzaklaştırılabildiği makalelerde bildirilmemiştir. Bu çalışma sonucunda görülmüştür ki

beyazlatma materyalleri yüzeyden kolayca uzaklaştırılmamakta dolayısıyla bu tabakanın hem araştırma sonuçlarını hem de estetik dolgu materyallerinin duvar adaptasyonunu etkileyeceği düşüncesindeyiz. Bu nedenle bu tabakaların uzaklaştırılması ve uzaklaştırıldıktan sonraki dentin yapısının deneysel olarak karşılaştırılması sağlıklı bir yorum yapabilmek için uygun olacaktır. Fakat uygulanan bu protokol çerçevesinde değerlendirildiğinde, irrigasyon uygulanmış dentin yüzeyine 2 haftalık uygulama sonucu, dentinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde en az değişiklik oluşturan beyazlatma materyalinin %35 hidrojen peroksit içeren hazır jel preparat olduğu sonucuna varılmıştır.

7. KAYNAKLAR

1. Riedel T. Review of Encyclopedia of Aesthetics 4 vol. Michael Kelly. Art Doc J Art Libr Soc North Am. 1999;18(2):48.
2. Lynch CD, O'Sullivan VRO, McGillicuddy CT. Pierre Fauchard: the father of modern dentistry. Br Dent J. 2006;201(12):779–81.
3. Hillson S. Dental Anthropology . Cambridge University Press; 1996.
4. Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M. Dental Anthropology: Fundamentals, Limits and Prospects. Springer Vienna; 2012.
5. Josef Zumbroich T. “Teeth as Black as a Bumble Bee’s Wings”: The Ethnobotany of Teeth Blackening in Southeast Asia. Ethnobot Res Appl. 2009;7:381–98.
6. Sarıkaya I, Güler AU. Diş Hekimliği Uygulamalarında Renk Kavramı. Türkiye Klin J Dent Sci. 2009;15(2):118–29.
7. Harlan AW. The removal of stains from the teeth caused by the administration of medicinal agents and the bleaching of pulpless teeth. Am J Dent Soc. 1884;20:10–2.
8. White JD, McQuillen JH, Ziegler GJ, White JW, Kirk EC, Anthony LP. The Dental Cosmos. S. S. White Dental Manufacturing Co.; 1906. 16–27 p.
9. Applebaum E. Lymph Channels in Dentine and Enamel Stained by Amalgam. J Dent Res. 1929;9(4):487–502.
10. D’Mello G, Moloney L. Management of coronal discolouration following a regenerative endodontic procedure in a maxillary incisor. Aust Dent J. 2017;62(1):111–6.
11. Cohen S, Hargreaves KM. Pathways of the Pulp. Elsevier Mosby; 2006.
12. Marending M, Luder HU, Brunner TJ, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M. Effect of sodium hypochlorite on human root dentine - Mechanical, chemical and structural evaluation. Int Endod J. 2007;40(10):786–93.
13. Rotstein I, Dankner E, Goldman A, Heling I, Stabholz A, Zalkind M. Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. J Endod.

- 1996;22(1):23–6.
14. NATHOO SA. the Chemistry and Mechanisms of Extrinsic and Intrinsic Discoloration. *J Am Dent Assoc.* 1997;128(April):6S-10S.
 15. John I. Ingle, Leif K. Bakland JCB. Ingle’s endodontics 6 / [edited by] John I. Ingle, Leif K. Bakland, J. Craig Baumgartner. *Ingle’s Endodontic 6.* 2008. 130–150 p.
 16. A.M. Sulieman M. An overview of tooth-bleaching techniques: chemistry, safety and efficacy. *Periodontol 2000.* 2008;48(1):148–69.
 17. Wright T. Amelogenesis imperfecta. *Eur J Oral Sci.* 2011;119(SUPPL.1):338–41.
 18. Barron MJ, McDonnell ST, MacKie I, Dixon MJ. Hereditary dentine disorders: Dentinogenesis imperfecta and dentine dysplasia. *Orphanet J Rare Dis.* 2008;3(1):1–10.
 19. Watts A, Addy M. Tooth discolouration and staining: A review of the literature. *Br Dent J.* 2001;190(6):309–16.
 20. Ciftci V, Kilavuz S, Bulut FD, Mungan HN, Bisgin A, Dogan MC. Congenital erythropoietic porphyria with erythrodonia: A case report. *Int J Paediatr Dent.* 2019;29(4):542–8.
 21. Fraser D, Nikiforuk G. The etiology of enamel hypoplasia in children - a unifying concept. *J Int Assoc Dent Child.* 1982;13(1):1–11.
 22. Allen HL, Estrada K, Lettre G, Berndt SI, Weedon MN, Rivadeneira F, et al. Hundreds of variants clustered in genomic loci and biological pathways affect human height. *Nature.* 2010;467(7317):832–8.
 23. Mascarenhas AK. Risk factors for dental fluorosis: A review of the recent literature. *Pediatr Dent.* 2000;22(4):269–77.
 24. Vennila V, Madhu V, Rajesh R, Ealla KKR, Velidandla SR, Santoshi S. Tetracycline-induced discoloration of deciduous teeth: case series. *J Int oral Heal JIOH.* 2014;6(3):115–9.
 25. Murray PE, Stanley HR, Matthews JB, Sloan AJ, Smith AJ. Age-related odontometric changes of human teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral*

- Radiol Endod. 2002;93(4):474–82.
26. Carlson BM, Carlson BM. Head and Neck. In: Human Embryology and Developmental Biology. W.B. Saunders; 2014 [cited 2019 Nov 26]. p. 294–334.
 27. Marin PD, Bartold PM, Heithersay GS. Tooth discoloration by blood: An in vitro histochemical study. *Endod Dent Traumatol.* 1997;13(3):132–8.
 28. Scholtanus JD, Özcan M, Huysmans MCDNJM. Penetration of amalgam constituents into dentine. *J Dent.* 2009;37(5):366–73.
 29. Timmerman A, Parashos P. Bleaching of a Discolored Tooth with Retrieval of Remnants after Successful Regenerative Endodontics. *J Endod.* 2018;44(1):93–7.
 30. Song JS, Mante FK, Romanow WJ, Kim S. Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, gray ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and gray MTA-Angelus. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2006;102(6):809–15.
 31. Belobrov I, Parashos P. Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2011;37(7):1017–20.
 32. Kim JH, Kim Y, Shin SJ, Park JW, Jung IY. Tooth discoloration of immature permanent incisor associated with triple antibiotic therapy: A case report. *J Endod.* 2010;36(6):1086–91.
 33. Kahler B, Rossi-Fedele G. A review of tooth discoloration after regenerative endodontic therapy. *J Endod.* 2016;42(4):563–9.
 34. Krastl G, Allgayer N, Lenherr P, Filippi A, Taneja P, Weiger R. Tooth discoloration induced by endodontic materials: A literature review. *Dent Traumatol.* 2013;29(1):2–7.
 35. Brady JM. Corrosion of endodontic silver cones in humans: a scanning electron microscope and X-ray microprobe study. *J Endod.* 1975;1(6):205–10.
 36. Sulieman M. An Overview of Tooth Discoloration: Extrinsic, Intrinsic and Internalized Stains. *Dent Updat.* 2005;32:463–71.
 37. Manuel ST, Abhishek P, Kundabala M. Etiology of tooth discoloration- a

- review. *Nig Dent*. 2010;18(2):56–63.
38. SUNDFELD RH, SUNDFELD-NETO D, MACHADO LS, FRANCO LM, FAGUNDES TC, BRISO ALF. Microabrasion in tooth enamel discoloration defects: three cases with long-term follow-ups. *J Appl Oral Sci*. 2014;22(4):347–54.
 39. Prathap S, Rajesh H, Bolor VA, Rao AS. Extrinsic stains and management : A new insight. 2013;1(January):435–42.
 40. Goldstein RE, Garber DA, Goldstein CE, Schwartz CG, Salama MA, Gribble AR, et al. Esthetic Update: The Changing Esthetic Dental Practice. *J Am Dent Assoc*. 2015;125(11):1447–57.
 41. Marshall M V., Cancro LP, Fischman SL. Hydrogen Peroxide: A Review of Its Use in Dentistry. *J Periodontol*. 2012;66(9):786–96.
 42. Gold SI. Early Origins of Hydrogen Peroxide Use in Oral Hygiene: A Historical Note. *J Periodontol*. 2012;54(4):247–247.
 43. Walsh LJ. Safety issues relating to the use of hydrogen peroxide in dentistry. *Aust Dent J*. 2000;45(4):257–69.
 44. Chen J-H, Xu J-W, Shing C-X. Decomposition rate of hydrogen peroxide bleaching agents under various chemical and physical conditions. *J Prosthet Dent*. 1993;69:46–8.
 45. Rotstein I, Friedman S. pH variation among materials used for intracoronal bleaching. *J Endod*. 1991;17(8):376–9.
 46. Xu B, Li Q, Wang Y. Effects of pH Values of Hydrogen Peroxide Bleaching Agents on Enamel Surface Properties. *Oper Dent*. 2011;36(5):554–62.
 47. Patnaik P. *Handbook of Inorganic Chemicals*. McGraw-Hill. 2003. 376 p.
 48. National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Carbamide peroxide, CID=31294. 2019 [cited 2019 Nov 22].
 49. Valera MC, Camargo CHR, Rodrigues CM. Effectiveness Of Carbamide Peroxide And Sodium Perborate In Non-Vital Discolored Teeth. *J Appl Oral Sci*. 2009;17(3):254–61.
 50. Tran L, Orth R, Parashos P, Tao Y, Tee CWJ, Thomas VT, et al. Depletion Rate of Hydrogen Peroxide from Sodium Perborate Bleaching Agent. *J Endod*.

- 2017;43(3):472–6.
51. Kinoshita J-I, Jafarzadehb H, Forghanib M. Vital Bleaching of Tetracycline-Stained Teeth by Using KTP Laser: A Case Report. *Eur J Dent.* 2009;03(03):229–32.
 52. Cardoso M, Martinelli CSM, Carvalho CAT, Borges AB, Torres CRG. Ultrasonic activation of internal bleaching agents. *Int Endod J.* 2013;46(1):40–6.
 53. Joiner A. Review of the effects of peroxide on enamel and dentine properties. *J Dent.* 2007;35(12):889–96.
 54. de Oliveira DP, Teixeira ECN, Ferraz CCR, Teixeira FB. Effect of Intracoronal Bleaching Agents on Dentin Microhardness. *J Endod.* 2007;33(4):460–2.
 55. Al-Salehi SK, Wood DJ, Hatton P V. The effect of 24 h non-stop hydrogen peroxide concentration on bovine enamel and dentine mineral content and microhardness. *J Dent.* 2007;35(11):845–50.
 56. Carrasco-Guerisoli LD, Schiavoni RJDS, Barroso JMH, Guerisoli DMZ, Pécora JD, Fröner IC. Effect of different bleaching systems on the ultrastructure of bovine dentin. *Dent Traumatol.* 2009;25(2):176–80.
 57. Cavalli V, Shinohara MS, Ambrose W, Malafaia FM, Pereira PNR, Giannini M. Influence of intracoronal bleaching agents on the ultimate strength and ultrastructure morphology of dentine. *Int Endod J.* 2009;42(7):568–75.
 58. Peter S. *Mammal Teeth.* Mammal Teeth. 2018;
 59. Berkovitz BKB, Boyde A, Frank RM, Höhling HJ, Moxham BJ, Nalbandian J, et al. *Teeth.* 1989.
 60. Marshall Jr. GW, Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent.* 1997;25(6):441–58.
 61. Leeuwenhoek A. Microscopical observations of the structure of Teeth and other Bones: made and communicated, in a letter by Mr. Anthony Leeuwenhoeck. 1677.
 62. Schilke R, Lisson JA, Bauß O, Geurtsen W. Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. *Arch Oral Biol.* 2000;45(5):355–61.

63. Carrigan PJ, Morse DR, Furst ML, Sinai IH. A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *J Endod.* 1984;10(8):359–63.
64. Linde A, Goldberg M. Dentinogenesis. 1993;4(5):679–728.
65. Fuentes V, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Microhardness of superficial and deep sound human dentin. *J Biomed Mater Res - Part A.* 2003;66(4):850–3.
66. Kinney JH, Balooch M, Marshall SJ, Marshall GW, Weihs TP. Atomic Force Microscope Measurements of the Hardness and Elasticity of Peritubular and Intertubular Human Dentin. *J Biomech Eng.* 1996;118(1):133.
67. Garberoglio R, Brannstrom M. Scanning electron of human microscopic investigation of human dentinal tubules. *Arch Oral Biol.* 1976;21:355–62.
68. Driessens FCM, Verbeeck RMH. The Probable Phase Composition of the Mineral in Sound Enamel and Dentine. *Bull Soc Chim Belg.* 1982;9:573–96.
69. Kuttler Y. Classification of dentine into primary, secondary, and tertiary. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* 1959;12(8):996–1001.
70. Ørstavik D, Qvist V, Stoltze K. A multivariate analysis of the outcome of endodontic treatment. *Eur J Oral Sci.* 2004;112(3):224–30.
71. Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J.* 2002;13(2):113–7.
72. Zehnder M. Root Canal Irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389–98.
73. Labarraque AG. On the Disinfecting Properties of Labarraque’s Preparations of Chlorine. *Oxford Univ.* 1827;XXX:60.
74. Dakin D. On The Use Of Certain Antiseptic Substances In The Treatment Of Infected Wounds. *Br Med J.* 1915;318–20.
75. Coolidge ED. The Diagnosis and Treatment of Conditions Resulting from Diseased Dental Pulp. *J Natl Dent Assoc.* 1919;6(4):337–49.
76. Senia ES, Marshall FJ, Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* 1971;31(1):96–103.

77. Siqueira JF. Antibacterial effects of endodontic irrigants on black-pigmented gram-negative anaerobes and facultative bacteria. *J Endod.* 1998;24(6):414–6.
78. Siqueira Jf, Machado Ag, Silveira Rm, Lopes Hp, Uzeda M. Evaluation of the effectiveness of sodium hypochlorite used with three irrigation methods in the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal, *in vitro*. *Int Endod J.* 1997;30(4):279–82.
79. Gomes BPFA. *In vitro* antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J.* 2001;34(6):424–8.
80. Berber VB, Gomes BPFA, Sena NT, Vianna ME, Ferraz CCR, Zaia AA, et al. Efficacy of various concentrations of NaOCl and instrumentation techniques in reducing *Enterococcus faecalis* within root canals and dentinal tubules. *Int Endod J.* 2006;39(1):10–7.
81. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* 1983;55(3):307–12.
82. Siqueira JF, Rôças IN, Paiva SSM, Guimarães-Pinto T, Magalhães KM, Lima KC. Bacteriologic investigation of the effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine during the endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2007;104(1):122–30.
83. Spratt DA, Pratten J, Wilson M, Gulabivala K. An *in vitro* evaluation of the antimicrobial efficacy.pdf. 2001;300–7.
84. Clegg MS, Vertucci FJ, Walker C. The Effect of Exposure to Irrigant Solutions on Apical Dentin Biofilms *In Vitro*. *J Endod.* 2006;32(5):434–7.
85. Ferguson JW, Hatton JF, Gillespie MJ. Effectiveness of intracanal irrigants and medications against the yeast *Candida albicans*. *J Endod.* 2002;28(2):68–71.
86. Waltimo TMT, Ørstavik D, Sirén EK, Haapasalo MPP. *In vitro* susceptibility of *Candida albicans* to four disinfectants and their combinations. *Int Endod J.*

- 1999;32(6):421–9.
87. Sakae T, Mishima H, Kozawa Y. Changes in Bovine Dentin Mineral with Sodium Hypochlorite Treatment. *J Dent Res.* 1988;67(9):1229–34.
 88. HAIKEL Y, GORCE F, ALLEMANN C, VOEGEL J -C. In vitro efficiency of endodontic irrigation solutions on protein desorption. *Int Endod J.* 1994;27(1):16–20.
 89. Barbosa S V., Safavi KE, Spangberg LSW. Influence of sodium hypochlorite on the permeability and structure of cervical human dentine. *Int Endod J.* 1994;27(6):309–12.
 90. Renzo M Di, Ellis TH, Sacher E, Stangel I. A photoacoustic FTIRS study of the chemical modifications of human dentin surfaces: I. Demineralization. *Biomaterials.* 2001;22(8):793–7.
 91. Slutzky-goldberg I, Maree M, Liberman R, Heling I. Effect of Sodium Hypochlorite on Dentin Microhardness. *J Endod.* 2004;30(12):880–2.
 92. Inaba D, Ruben J, Takagi O, Arends J. Effect of Sodium Hypochlorite Treatment on Remineralization of Human Root Dentine in vitro. *Caries Res.* 1996;30(c):218–24.
 93. Pascon FM, Kantovitz KR, Sacramento PA, Nobre-dos-Santos M, Puppini-Rontani RM. Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. *J Dent.* 2009;37(12):903–8.
 94. Dogan H, Çalt S. Effects of Chelating Agents and Sodium Hypochlorite on Mineral Content of Root Dentin. *J Endod.* 2001;27(9):578–80.
 95. Zou L, Shen Y, Li W, Haapasalo M. Penetration of Sodium Hypochlorite into Dentin. *J Endod.* 2010;36(5):793–6.
 96. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - A review. *Int Endod J.* 2010;43(1):2–15.
 97. Ghorbanzadeh A, Aminsobhani M, Sohrabi K, Chiniforush N, Ghafari S, Shamshiri AR, et al. Penetration depth of sodium hypochlorite in dentinal tubules after conventional irrigation, passive ultrasonic agitation and Nd: YAG laser activated irrigation. *J Lasers Med Sci.* 2016;7(2):105–11.

98. Paolieri M. Ferdinand Munz: EDTA and 40 Years of Inventions. *Bull Hist Chem.* 2017;2(42):133–40.
99. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon Á. Chelating agents in root canal treatment: Mode of action and indications for their use. *Int Endod J.* 2003;36(12):810–30.
100. Plotino G, Grande NM, Mercade M, Cortese T, Staffoli S, Gambarini G, et al. Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *J Appl Oral Sci.* 2019;27(0):1–6.
101. Parmar G, Chhatariya A. Demineralising effect of EDTA at different concentration and pH—a spectrophotometer study. *Endodontology.* 2004;16(1):54–7.
102. Çalt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod.* 2002;28(1):17–9.
103. Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen DMDH, Grady J. New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod.* 1976;2(9):257–60.
104. Jhajharia K, Parolia A, Shetty KV, Mehta LK. Biofilm in endodontics: A review. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2015;5(1):1–12.
105. Heling I, Chandler NP. Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules. *Int Endod J.* 1998;31(1):8–14.
106. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J.* 2003;36(6):411–5.
107. Goldberg F, Abramovich A. Analysis of the effect of EDTAC on the dentinal walls of the root canal. *J Endod.* 1977;3(3):101–5.
108. Calt S, Serper A. Smear Layer Removal by EGTA. *J Endod.* 2000;26(August):459–61.
109. Schmid RW, Reilly CN. New Complexon for Titration of Calcium in the Presence of Magnesium. *Anal Chem.* 1957;29(2):264–8.
110. Sayin TC, Serper A, Cehreli ZC, Otlu HG. The effect of EDTA, EGTA, EDTAC, and

- tetracycline-HCl with and without subsequent NaOCl treatment on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2007;104(3):418–24.
111. Sayin TC, Serper A, Cehreli ZC, Kalayci S. Calcium Loss From Root Canal Dentin Following EDTA, EGTA, EDTAC, and Tetracycline-HCl Treatment With or Without Subsequent NaOCl Irrigation. *J Endod*. 2007;33(5):581–4.
 112. Cobankara FK, Erdogan H, Hamurcu M. Effects of chelating agents on the mineral content of root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2011;112(6):e149–54.
 113. Ari H, Erdemir A. Effects of endodontic irrigation solutions on mineral content of root canal dentin using ICP-AES technique. *J Endod*. 2005;31(3):187–9.
 114. Capar ID, Aydinbelge HA. Surface change of root canal dentin after the use of irrigation activation protocols: Electron microscopy and an energy-dispersive X-ray microanalysis. *Microsc Res Tech*. 2013;76(9):893–6.
 115. Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S. Effect of EDTA and Citric Acid Solutions on the Microhardness and the Roughness of Human Root Canal Dentin. *J Endod*. 2004;30(11):792–5.
 116. Saleh AA, Ettman WM. Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentine. *J Dent*. 1999;27(3):43–6.
 117. Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *Int Endod J*. 2002;35(11):934–9.
 118. Aktener BO, Bilkay U. Smear layer removal with different concentrations of EDTA-ethylenediamine mixtures. *J Endod*. 1993;19(5):228–31.
 119. O’Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod*. 2000;26(12):739–43.
 120. Savaskan T. *Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi*. Papatya Yayıncılık Eğitim; 2017.
 121. Donald R. Askeland, Pradeep P. Fulay WJW. *What is Materials Science and*

- Engineering ? Virginia Tech. 2010;sixth edit:12–3.
122. Tabor D. The physical meaning of indentation and scratch hardness. *Br J Appl Phys.* 1956;7(5):159–66.
 123. Demirdag S, Yavuz H, Altindag R. The effect of sample size on Schmidt rebound hardness value of rocks. *Int J Rock Mech Min Sci.* 2009;46(4):725–30.
 124. Mahoney E, Holt A, Swain M, Kilpatrick N. The hardness and modulus of elasticity of primary molar teeth: An ultra-micro-indentation study. *J Dent.* 2000;28(8):589–94.
 125. Seghi RR, Denry IL, Rosenstiel SF. Relative fracture toughness and hardness of new dental ceramics. *J Prosthet Dent.* 1995;74(2):145–50.
 126. Knoop F, Peters CG, Emerson WB. A sensitive pyramidal-diamond tool for indentation measurements. *J Res Natl Bur Stand (1934).* 1939;23(1):39.
 127. Smith RL, Sandland GE. An Accurate Method of Determining the Hardness of Metals. *Proc Inst Mech Eng.* 1922;(May):623–41.
 128. Forner L, Salmerón-Sánchez M, Palomares M, Llena C, Amengual J. The Use of Atomic Force Microscopy in Determining the Stiffness and Adhesion Force of Human Dentin After Exposure to Bleaching Agents. *J Endod.* 2009;35(10):1384–6.
 129. Ryge G, Foley DE, Fairhurst CW. *Micro-indentation Hardness.* 2016;
 130. Featherstone JDB, ten Cate JM, Shariati M, Arends J. Comparison of Artificial Caries-Like Lesions by Quantitative Microradiography and Microhardness Profiles.
 131. Kodaka T, Debari K, Yamada M, Kuroiwa M. Correlation between Microhardness and Mineral Content in Sound Human Enamel. *Karger.* 1992;
 132. Kinney JH, Balooch M, Marshall SJ, Marshall GW, Weihs TP. Hardness and young's modulus of human peritubular and intertubular dentine. *Arch Oral Biol.* 1996;41(1):9–13.
 133. Salazar MDPG, Gasga JR. Microhardness and chemical composition of human tooth. *Mater Res.* 2003;6(3):367–73.

134. Pashley D, Okabe A, Parham P. The relationship between dentin microhardness and tubule density. *Dent Traumatol.* 1985;1(5):176–9.
135. Craig RG, Gehring PE, Peyton FA. Relation of Structure to the Microhardness of Human Dentin. *J Dent Res.* 1959;38(3):624–30.
136. STEWART ADG, BOYDE A. Ion Etching of Dental Tissues in a Scanning Electron Microscope. *Nature.* 1962;196(4849):81–2.
137. Deepak B, Narmatha V, Snehil T, Subash T, Anamika T, Nandini D. Imaging Techniques in Endodontics: An Overview. *J Clin Imaging Sci.* 2012;2(1):13.
138. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J.* 2005;38(9):617–26.
139. Keleş A, Alcin H, Kamalak A, Versiani MA. Micro-CT evaluation of root filling quality in oval-shaped canals. *Int Endod J.* 2014;47(12):1177–84.
140. Keleş A, Keskin C. Detectability of Middle Mesial Root Canal Orifices by Troughing Technique in Mandibular Molars: A Micro-computed Tomographic Study. *J Endod.* 2017;43(8):1329–31.
141. Erdin N. Tarama Elektron Mikroskobunun Temel Prensipleri ve Numune Hazırlama. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Derg [Internet].* 1986;36(2):861–85.
142. Paradella TC, Bottino MA. Scanning Electron Microscopy in modern dentistry research. *Brazilian Dent Sci.* 2012;15(2).
143. Saghiri MA, Asgar K, Lotfi M, Karamifar K, Saghiri AM, Neelakantan P, et al. Back-scattered and secondary electron images of scanning electron microscopy in dentistry: A new method for surface analysis. *Acta Odontol Scand.* 2012;70(6):603–9.
144. Stokes DJ. Principles and Practice of Variable Pressure/Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM). *Principles and Practice of Variable Pressure/Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM).* 2008. 1–221 p.
145. Ten Bosch JJ, Angmar-Månsson B. Invited Review: A Review of Quantitative Methods for Studies of Mineral Content of Intra-oral Incipient Caries Lesions.

- J Dent Res. 1991;70(1):2–14.
146. v.d. Linden AHIM, Meiring HD, ten Bosch JJ, Arends J. Inorganic Phosphate Assay with the Ascorbic Acid or Stannous Chloride Method: Influence of Fluoride. *J Dent Res.* 1991;70(1):2–14.
 147. Grenby TH. Methods of assessing erosion and erosive potential. *Eur J Oral Sci.* 1996;104(2):207–14.
 148. Barbour ME, Rees JS. The laboratory assessment of enamel erosion: A review. *J Dent.* 2004;32(8):591–602.
 149. THYLSTRUP A, FEJERSKOV O, LARSEN MJ. Polarized light microscopy of enamel structure in incisors from newborn infants. *Eur J Oral Sci.* 1976;84(5):243–54.
 150. Amaechi BT, Higham SM, Edgar WM. Use of Transverse Microradiography to Quantify Mineral Loss by Erosion in Bovine Enamel. *Caries Res.* 1998;32(5):351–6.
 151. Halse A, Hals E. Electron probe microanalysis of secondary carious lesions adjacent to silicate fillings. *Calcif Tissue Res.* 1976;21(12):183–93.
 152. Herkströter FM, Ten Bosch JJ. Wavelength-independent Microradiography: A Method for Non-destructive Quantification of Enamel and Dentin Mineral Concentrations using Polychromatic X-rays. *J Dent Res.* 1990;69(8):1522–6.
 153. Ganss C, Klimek J, Starck C. Quantitative analysis of the impact of the organic matrix on the fluoride effect on erosion progression in human dentine using longitudinal microradiography. *Arch Oral Biol.* 2004;49(11):931–5.
 154. Field J, Waterhouse P, German M. Quantifying and qualifying surface changes on dental hard tissues in vitro. *J Dent.* 2010;38(3):182–90.
 155. Heurich E, Beyer M, Jandt KD, Reichert J, Herold V, Schnabelrauch M, et al. Quantification of dental erosion-A comparison of stylus profilometry and confocal laser scanning microscopy (CLSM). *Dent Mater.* 2010;26(4):326–36.
 156. de Josselin de Jong E, Sundström F, Westerling H, Tranaeus S, ten Bosch JJ, Angmar-Månsson B. A New Method for in vivo Quantification of Changes in Initial Enamel Caries with Laser Fluorescence. *Karger.* 1994;

157. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM. The erosive potential of commercially available mouthrinses on enamel as measured by Quantitative Light-induced Fluorescence (QLF). *J Dent.* 2003;31(5):313–9.
158. Wilder-Smith CH, Wilder-Smith P, Kawakami-Wong H, Voronets J, Osann K, Lussi A. Quantification of dental erosions in patients with GERD using optical coherence tomography before and after double-blind, randomized treatment with esomeprazole or placebo. *Am J Gastroenterol.* 2009;104(11):2788–95.
159. Rotstein I. Effect of bleaching agents on inorganic components of human dentin and cementum. *J Endod.* 1992;18(6):290–3.
160. Attin T. Methods for assessment of dental erosion. *Monogr oral Sci.* 2006;20:152–72.
161. Selvig KA. Ultrastructural changes in human dentine exposed to a weak acid. *Archs oral Biol* 1968 a 13:719-734. *Archs oral Biol.* 1968;13:719–34.
162. Joiner A. The bleaching of teeth : A review of the literature. *J Dent.* 2006;34:412–9.
163. Plotino G, Buono L, Grande NM, Pameijer CH, Somma F. Nonvital Tooth Bleaching: A Review of the Literature and Clinical Procedures. *J Endod.* 2008;34(4):394–407.
164. Vieira C, Silva-Sousa YTC, Pessarelo NM, Rached FAJ, Souza-Gabriel AE. Effect of high-concentrated bleaching agents on the bond strength at dentin/resin interface and flexural strength of dentin. *Braz Dent J.* 2012;23(1):28–35.
165. Lee GP, Lee MY, Lum SOY, Poh RSC, Lim KC. Extraradicular diffusion of hydrogen peroxide and pH changes associated with intracoronal bleaching of discoloured teeth using different bleaching agents. *Int Endod J.* 2004;37(7):500–6.
166. Gökay O, Ziraman F, Çali Asal A, Saka OM. Radicular peroxide penetration from carbamide peroxide gels during intracoronal bleaching. *Int Endod J.* 2008;41(7):556–60.
167. Lou EK, Cathro P, Marino V, Damiani F, Heithersay GS. Evaluation of hydroxyl radical diffusion and acidified thiourea as a scavenger during intracoronal

- bleaching. *J Endod.* 2016;42(7):1126–30.
168. Ubaldini ALM, Baesso ML, Medina Neto A, Sato F, Bento AC, Pascotto RC. Hydrogen peroxide diffusion dynamics in dental tissues. *J Dent Res.* 2013;92(7):661–5.
169. Tredwin CJ, Naik S, Lewis NJ, Scully Cbe C. Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: Review of adverse effects and safety issues. *Br Dent J.* 2006;200(7):371–6.
170. Madhu K, Hegde S, Mathew S, Lata D, Bhandi SH, N S. Comparison of Radicular Peroxide Leakage from four Commonly used Bleaching agents following Intracoronar Bleaching in Endodontically treated teeth - An In Vitro Study. *J Int oral Heal JIOH.* 2013;5(4):49–55.
171. Rotstein I, Ingle JI. *Ingle's Endodontics 7th.* PMPHUSA. 2019.
172. Hou L, Fu J, Wang J, Gong N, Zhao W, Geng S. Walking bleach technique for endodontically treated teeth with 35% hydrogen peroxide and 37% carbamide peroxide may result in similar improvements in tooth color and patient satisfaction. *JADA.* 2016;149(8):e113.
173. Ari H, Erdemir A, Belli S. Evaluation of the Effect of Endodontic Irrigation Solutions on the Microhardness and the Roughness of Root Canal Dentin. *J Endod.* 2005;31(2):107–10.
174. Akcay I, Sen BH. The effect of surfactant addition to EDTA on microhardness of root dentin. *J Endod.* 2012;38(5):704–7.
175. Ulusoy ÖIA, Görgül G. Effects of different irrigation solutions on root dentine microhardness, smear layer removal and erosion. *Aust Endod J.* 2013;39(2):66–72.
176. Aslantas EE, Buzoglu HD, Altundasar E, Serper A. Effect of EDTA, sodium hypochlorite, and chlorhexidine gluconate with or without surface modifiers on dentin microhardness. *J Endod.* 2014;40(6):876–9.
177. De-Deus G, Paciornik S, Mauricio MHP. Evaluation of the effect of EDTA, EDTAC and citric acid on the microhardness of root dentine. *Int Endod J.* 2006;39(5):401–7.

178. Baldasso Fer, Roletto L, Silva Vd Da, Morgental Rd, Kopper Pmp. Effect of final irrigation protocols on microhardness reduction and erosion of root canal dentin. *Braz Oral Res.* 2017;31(0):1–8.
179. Hennequin M, Douillard Y. Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *J Clin Periodontol.* 1995;22(7):550–7.
180. Karunakaran J, Kumar Ss, Kumar M, Chandrasekhar S, Namitha D. The effects of various irrigating solutions on intra-radicular dentinal surface: An SEM analysis. *J Pharm Bioallied Sci.* 2012;4(6):125.
181. Lima Nogueira BM, Da Costa Pereira TI, Pedrinha VF, de Almeida Rodrigues P. Effects of different irrigation solutions and protocols on mineral content and ultrastructure of root canal dentine. *Iran Endod J.* 2018;13(2):209–15.
182. Saghiri MA, Delvarani A, Mehrvarzfar P, Malganji G, Lotfi M, Dadresanfar B, et al. A study of the relation between erosion and microhardness of root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2009;108(6):e29–34.
183. Featherstone JDB, Lussi A. Understanding the Chemistry of Dental Erosion. *Food Carbohydrates.* 2005;20:2–21.
184. Brand HS, Gambon DL, Paap A, Bulthuis MS, Veerman ECI, Amerongen a VN. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Dent J.* 2009;59(6):358–62.
185. Chng HK, Ramli HN, Yap AUJ, Lim CT. Effect of hydrogen peroxide on intertubular dentine. *J Dent.* 2005;33(5):363–9.
186. Hairul Nizam BR, Lim CT, Chng HK, Yap AUJ. Nanoindentation study of human premolars subjected to bleaching agent. *J Biomech.* 2005;38(11):2204–11.
187. Sulieman M, Addy M, Macdonald E, Rees JS. A safety study in vitro for the effects of an in-office bleaching system on the integrity of enamel and dentine. *J Dent.* 2004;32(7):581–90.
188. Joiner A, Thakker G, Cooper Y. Evaluation of a 6% hydrogen peroxide tooth whitening gel on enamel and dentine microhardness in vitro. *J Dent.* 2004;32(SUPPL.):27–34.

189. Freedman G. Bleaching. In: Contemporary Esthetic Dentistry. 2012. p. 341–404.
190. Ho S, Goerig AC. An in vitro comparison of different bleaching agents in the discolored tooth. *J Endod.* 1989;15(3):106–11.
191. Chng HK, Palamara JEA, Messer HH. Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on biomechanical properties of human dentin. *J Endod.* 2002;28(2):62–7.
192. Weiger R, LÖST C. In Vitro Comparison of Various Types of Sodium Perborate Used for Intracoronary Bleaching of Discolored Teeth. *J Endod.* 2007;20(7):338–41.
193. Lewinstein I, Hirschfeld Z, Stabholz A, Rotstein I. Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on the microhardness of human enamel and dentin. *J Endod.* 1994;20(2):61–3.
194. Titley K, Torneck CD, Smith DC. Effect of concentrated hydrogen peroxide solution on the surface morphology of cut human dentin. *Dent Traumatol.* 2006;4(1):32–6.
195. Moreira De Freitas P., Basting RT., Rodrigues Jr. AL., Serra MC. d. Effects of two 10% peroxide carbamide bleaching agents on dentin microhardness at different time intervals. *Quintessence Int (Berl).* 2002;33(5):370–5.
196. Ünlü N, Çobankara FK, Altinöz HC, Özer F. Effect of home bleaching agents on the microhardness of human enamel and dentin. *J Oral Rehabil.* 2004;31(4):57–61.
197. Çobankara FK, Ünlü N, Altinöz HC, Özer F. Effect of home bleaching agents on the roughness and surface morphology of human enamel and dentine. *Int Dent J.* 2004;54(4):211–8.
198. Llana C, Esteve I, Forner L. Effects of in-office bleaching on human enamel and dentin. Morphological and mineral changes. *Ann Anat.* 2018;217:97–102.
199. Zalkind M, Arwaz JR, Goldman A, Rotstein I. Surface morphology changes in human enamel, dentin and cementum following bleaching: a scanning electron microscopy study. *Endod Dent Traumatol.* 1996;12(2):82–8.

200. Jiang T, Guo YR, Feng XW, Sa Y, Yang X, Wang M, et al. Hydrogen Peroxide Might Bleach Natural Dentin by Oxidizing Phosphoprotein. *J Dent Res*. 2018;97(12):1339–45.
201. Eimar H, Siciliano R, Abdallah MN, Nader SA, Amin WM, Martinez PP, et al. Hydrogen peroxide whitens teeth by oxidizing the organic structure. *J Dent* . 2012;40(SUPPL.2):e25–33.
202. Berger SB, Cavalli V, Martin AA, Soares LES, Arruda MAZ, Brancalion ML, et al. Effects of combined use of light irradiation and 35% hydrogen peroxide for dental bleaching on human enamel mineral content. *Photomed Laser Surg*. 2010;28(4):533–8.
203. Akkus A, Karasik D, Roperto R. Correlation between micro-hardness and mineral content in healthy human enamel. *J Clin Exp Dent*. 2017;9(4):e569–73.
204. Faraoni-Romano JJ, Da Silveira AG, Turssi CP, Serra MC. Bleaching agents with varying concentrations of carbamide and/or hydrogen peroxides: Effect on dental microhardness and roughness. *J Esthet Restor Dent*. 2008;20(6):395–402.
205. Lim MY, Lum SOY, Poh RSC, Lee GP, Lim KC. An in vitro comparison of the bleaching efficacy of 35% carbamide peroxide with established intracoronal bleaching agents. *Int Endod J*. 2004;37(7):483–8.
206. Ari H, Üngör M. In vitro comparison of different types of sodium perborate used for intracoronal bleaching of discoloured teeth. *Int Endod J*. 2002;35(5):433–6.