



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISININ BİYOAKTİF ENDODONTİK PATLARIN KİMYASAL
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

DT. TÜLAY BAKIRCI

UZMANLIK TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

DOÇ. DR. FATİMA BETÜL BAŞTÜRK

2020 - İSTANBUL

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmemiş bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

14/09/2020

Tülay Bakırcı

İmza

TEŞEKKÜR

Sadece tez çalışmalarım sırasında değil her konuda ve her zaman desteğini ve sevgisini hissettiğim, çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Fatıma Betül Baştürk'e

Her konuda samimiyetini ve desteğini hissettiğim Anabilim Dalı Başkanımız Prof. Dr. Hesna Sazak Öveçoğlu'na,

Akademik hayatım süresince bilgilerini ve klinik tecrübelerini benimle paylaşan bölüm hocalarıma, özellikle Prof. Dr. Mahir Günday, Dr. Öğretim Üyesi Dilek Türkaydın, ve Doç. Dr. Emre İriboz'a,

Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde gerçekleştirdiğim deneyler sırasında sağladıkları imkan ve katkılardan dolayı Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin Yaltırık ve Dr. Öğretim Üyesi Serhat Yanık'a,

Aynı kıdemi paylaşmaktan mutluluk duyduğum asistan arkadaşlarıma,

Uzmanlık eğitimim boyunca yardım ve desteklerini gördüğüm Endodonti Anabilim Dalı asistanları ve personeline,

Hayatım boyunca her başarımda emeği olan, her zaman beni yüreklendiren, sevgi ve ilgileriyle bana destek olan sevgili annem Hatice Gürçay, kardeşlerim Tayfun Gürçay ve Hediye Erkal'a ve ailemizin biricigi, bana teyzeliği tattıran minigimiz Zeynep Hüma Erkal'a,

Hayatı benim için daha anlamlı kılan, her zaman en büyük destekçim canım eşim Enes Bakırcı'ya;

En içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
RESİMLER LİSTESİ.....	x
1. ÖZET.....	1
2. SUMMARY.....	2
3. GİRİŞ VE AMAÇ.....	3
4. GENEL BİLGİLER.....	5
4.1. Kök Kanal Dolgu Patları.....	5
4.1.1. Çinko-oksit ojenol içerikli patlar	6
4.1.2. Rezin bazlı patlar (polimerler)	7
4.1.2.1. Epoksi-amin rezin içerikli patlar	7
4.1.2.2. Metakrilat rezin esaslı patlar	8
4.1.2.3. Polivinil (poliketon) içerikli patlar	9
4.1.2.4. Silikon içerikli kök kanal patları	9
4.1.3. Cam iyonmer esaslı patlar	10
4.1.4. Kalsiyum hidroksit içerikli patlar	10
4.1.5. Biyoseramikler ve kanal dolgu patlarındaki güncel gelişmeler.....	11
4.2. Çalışmamızda Kullanılan Kök Kanal Dolgu Patları	16
4.2.1. AH Plus	16
4.2.2. MTA Fillapex	17
4.2.3. CeraSeal.....	20
4.3. Kök Kanal Dolum Yöntemleri	21
4.3.1. Isı ile yumuşatılmış güta perka dolum yöntemleri.....	21
4.3.1.1. Sıcak vertikal kondensasyon	22
4.3.1.2. Devamlı ısıyla kondensasyon tekniği	22
4.3.1.3. Sıcak lateral kondensasyon	23

4.3.1.4. Termoplastik enjeksiyon teknikleri	23
4.3.1.5. Güta perka taşıyıcı sistemleri	24
4.3.1.6. Termomekanik kondensasyon tekniği	25
4.3.2. Sıcak güta perka yönteminde kullanılan pluggerlarda oluşan ısı.....	26
4.4. Taramalı Elektron Mikroskopu ve Enerji Dağılımlı X-ışını spektrokopisi (SEM-EDS).....	27
4.5. X-ışını Kırınımı Analizi (XRD)	30
4.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR).....	32
5. GEREÇ ve YÖNTEM.....	35
5.1. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektrometresi (EDX) Analizi.....	36
5.2. X ışını Kırınımı (XRD) Analizi	39
5.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi.....	41
6.BULGULAR.....	42
6.1.SEM-EDS Analizi	42
6.1.1. AH Plus grubuna ait bulgular	42
6.1.2. MTA Fillapex grubuna ait bulgular	49
6.1.3. CeraSeal grubuna ait bulgular.....	54
6.2. XRD Analizi.....	59
6.2.1. AH Plus grubuna ait bulgular	59
6.2.2. MTA Fillapex grubuna ait bulgular	62
6.2.3. CeraSeal grubuna ait bulgular.....	65
6.3. FT-IR Analizi	69
6.3.1. AH Plus grubuna ait bulgular	69
6.3.2. MTA Fillapex grubuna ait bulgular	71
6.3.3. CeraSeal grubuna ait bulgular.....	73
7. TARTIşMA ve SONUÇLAR.....	76
8. KAYNAKLAR	88
9. ZGEÇMİş	102

KISALTMALAR ve SİMGELER

μm Mikrometre

mm Milimetre

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kalsiyum Hidroksit

Ca^{++} Kalsiyum iyonu

OH^- Hidroksil iyonu

pH Hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması

MTA Mineral Trioksit Agregatı

ZOE Çinko Oksit Öjenol

$^{\circ}\text{C}$ Derece Selsius

$\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ Kalsiyum Silikat Jel

$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ Trikalsiyum Silikat

$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ Dikalsiyum Silikat

$3\text{CaO}.2\text{SiO}_2$ Trikalsiyum disilikat

H_2O Su

sa Saat

dk Dakika

SEM Scanning Electron Microscobe (Tarama Yüzey Mikroskobu)

EDX Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi

XRD X-Ray Diffractometer (X-Işını Kırınımı)

ICDD International Centre for Diffraction Data

% Yüzde

IR Infrared (Kızılötesi)

FT-IR Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

C Karbon

O Oksijen

Ca Kalsiyum

Zr Zirkonyum

W Tungsten

Si Silisyum

Al Alüminyum

S Kükürt

P Fosfor



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. SEM-EDS şematik görünümü

Şekil 2. EDS çalışma prensibi

Şekil 3. XRD çalışma prensibi

Şekil 4. Elektromanyetik dalga spektrumu ve Infrared (Kızılötesi) bölge

Şekil 5. FT-IR spektrometre şematik görünüm

Şekil 6. AH Plus SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 7. AH Plus SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 8. AH Plus SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 9. AH Plus SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 10. MTA Fillapex SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 11. MTA Fillapex SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 12. MTA Fillapex SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 13. CeraSeal SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 14. CeraSeal SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 15. CeraSeal SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

Şekil 16. AH Plus 37°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 17. AH Plus 100°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 18. AH Plus 200°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 19. AH Plus 37°C, 100°C ve 200°C'de karşılaştırılmalı X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 20. AH Plus 37°C, 100°C ve 200°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 21. MTA Fillapex 37°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 22. MTA Fillapex 100°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 23. MTA Fillapex 200°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 24. MTA Fillapex 37°C, 100°C ve 200°C'de karşılaştırmalı X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 25. MTA Fillapex 37°C, 100°C ve 200°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 26. CeraSeal 37°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 27. CeraSeal 100°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 28. CeraSeal 200°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 29. CeraSeal 37°C, 100°C ve 200°C karşılaştırmalı X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 30. CeraSeal 37°C, 100°C ve 200°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

Şekil 31. AH Plus FT-IR Spektrumu (37°C)

Şekil 32. AH Plus FT-IR Spektrumu (100°C)

Şekil 33. AH Plus FT-IR Spektrumu (200°C)

Şekil 34. AH Plus FT-IR Spektrumu (37°C, 100°C ve 200°C)

Şekil 35. MTA Fillapex FT-IR Spektrumu (37°C)

Şekil 36. MTA Fillapex FT-IR Spektrumu (100°C)

Şekil 37. MTA Fillapex FT-IR Spektrumu (200°C)

Şekil 38. MTA Fillapex FT-IR Spektrumu (37°C, 100°C ve 200°C)

Şekil 39. CeraSeal FT-IR Spektrumu (37°C)

Şekil 40. CeraSeal FT-IR Spektrumu (100°C)

Şekil 41. CeraSeal FT-IR Spektrumu (200°C)

Şekil 42. CeraSeal FT-IR Spektrumu (37°C, 100°C ve 200°C)

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Çalışmada kullanılan patların içeriği

Tablo 2. AH Plus grubunun farklı sıcaklıklardaki kristallik derecesi

Tablo 3. MTA Fillapex grubunun farklı sıcaklıklardaki kristallik derecesi

Tablo 4. CeraSeal grubunun farklı sıcaklıklardaki kristallik derecesi



RESİMLER LİSTESİ

Resim 1. Çalışmada kullanılan kök kanal patları

Resim 2. Çalışmada kullanılan polipropilen kalıplar, silikon içerisine gömülmüş halleri ve elde edilen numune örneği

Resim 3. Altın kaplama cihazı ve örneklerin kaplanma aşaması

Resim 4. SEM-EDS cihazı

Resim 5. Örneklerin toz haline getirildiği havan ve örneklerin yerleştirildiği numune tutucu

Resim 6. XRD cihazı

Resim 7. FT-IR cihazında örneklerin yerleştirildiği bölüm

Resim 8. FT-IR spektrometre

Resim 9. AH Plus: İkincil elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)

Resim 10. AH Plus: Geri saçılan elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)

Resim 11. MTA Fillapex: İkincil elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)

Resim 12. MTA Fillapex: Geri saçılan elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)

Resim 13. CeraSeal: İkincil elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)

Resim 14. CeraSeal: Geri saçılan elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)

1. ÖZET

Isının Biyoaktif Endodontik Patların Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

Öğrenci Adı: Tülay BAKIRCI

Danışman Adı: Doç. Dr. Fatıma Betül BAŞTÜRK

Amaç: Son dönemlerde biyoaktif endodontik patlar; güçlendirilmiş fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik özellikleriyle dikkat çekmektedir. Klinik pratiğinde biyoaktif endodontik patlar ve sıcak güta perka dolum tekniklerinin kullanımı artmaya başlamıştır. Ancak bu patlara ısının etkisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Çalışmamızın amacı; ısının, biyoaktif kök kanal dolgu patlarının kimyasal yapılarına etkilerinin araştırılmasıdır.

Gereç ve yöntem: Çalışmamızda rezin esaslı AH Plus ve biyoaktif patlardan MTA Fillapex ve CeraSeal kök kanal dolgu patları kullanılmıştır. Patların içeriğinin değerlendirilmesi ve karakterizasyonu amacıyla taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılım spektrometre (SEM-EDS) kullanılmıştır. Isının endodontik patlara etkisini değerlendirmek amacıyla; patlara 37°C, 100°C ve 200°C’de 1 dakika ısı uygulandıktan sonra kimyasal özelliklerin tayininde X-Işını Difraksiyonu (XRD) ve Kızılötesi Absorbsiyon Spektroskopisi (FT-IR) analizlerinden faydalanılmıştır.

Bulgular: Çalışmamızda kullanılan patların içeriğinde üretici bilgilerinde yer almayan elementler olduğu görülmüştür. EDS analizi ile AH Plus ve CeraSeal kanal patlarının alüminyum (Al), MTA Fillapex’in kükürt (S) içerdiği ortaya konmuştur. FT-IR spektroskopi sonuçlarına göre; ısı uygulaması MTA Fillapex ve CeraSeal’de değişime neden olmamıştır, AH Plus’ta değişimler olduğu görülmüştür.

Sonuç: Kanal dolum tekniği seçilirken pat seçimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Biyoaktif endodontik patların sıcak güta perka dolum teknikleriyle kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Biyoaktif endodontik patlar, sıcak güta perka teknikleri, enerji dağılım spektrometre, X-ışını kırınımı, kızılötesi absorbsiyon spektroskopisi.

2. SUMMARY

Effect of heat application on chemical properties of bioactive endodontic sealers

Student Name: Tulay BAKIRCI

Name of Supervisor: Assoc. Prof. Fatıma Betül BASTURK

Objective: Most recently introduced bioactive endodontic sealers have enhanced physical, chemical, mechanical, and biological properties. The use of bioactive endodontic sealers and warm gutta percha obturation techniques has increased in clinical practice. In our study, we aimed to assess the chemical changes of bioactive root canal sealers induced by heat.

Material and methods: A resin based root canal sealer AH Plus and bioactive root canal sealers MTA Fillapex and CeraSeal were tested. The materials were characterized by scanning electron microscopy and energy-dispersive spectroscopy (EDS) to determine the constituents. The effects of various temperatures (37°C, 100°C ve 200°C applied for 1 min) during warm gutta percha techniques were investigated by X-ray diffraction analysis and fourier transform infrared spectroscopy.

Results : All tested materials had elements that were not disclosed in their info sheets. AH Plus and CeraSeal had traces of aluminium, MTA Fillapex of sulphur. According to the infrared spectroscopy results; the applied temperatures did not change the chemical properties of MTA Fillapex and CeraSeal. Spectral changes were evident in AH Plus sealer.

Conclusion: The choice of sealer should be considered when selecting the obturation technique. Bioactive endodontic sealers were found suitable for warm gutta percha obturation techniques.

Key words: Bioactive endodontic sealers, warm gutta percha obturation, energy dispersive spectroscopy, X-ray diffraction, fourier transform infrared spectroscopy.

3. GİRİŞ VE AMAÇ

Kök kanal tedavisinin amacı; kök kanal sisteminin enfekte veya nekrotik artıklardan ve mikroorganizmalardan temizlenmesini takiben kök kanalının üç boyutlu olarak doldurulmasıdır. Günümüzde ideal dolgu materyali olarak güta perka ve pat kombinasyonu tercih edilmektedir. İdeal sonuçlar elde etmek için kanal dolgu patının dentin tübüllerine penetrasyonunu sağlamak amacıyla genellikle güta perka soğuk ya da sıcak olarak kondanse edilerek uygulanır (Guigand et al., 2005). Son yıllarda daha homojen ve kanal duvarlarına daha iyi adapte olabilir özellikte kanal dolumu sağlayabilmek için sıcak güta perka dolum yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Schilder, 2006).

Sıcak güta perka dolum yöntemleri güta perkanın kök kanallarına adaptasyonunu arttırsada, güta perkanın adezyon özelliğinin olmaması nedeniyle bir kök kanal dolgu patı ile birlikte kullanılması gerekir. Kök kanal dolgu patı kullanılmadan uygulanan dolum teknikleri daha fazla sızıntıya neden olmuştur (Wu et al., 2000, Shipper et al., 2004, Wu et al., 2004).

Sıcak güta perka dolum yöntemlerinde, çoğu sistem 200⁰ C'de çalıştırılır (Buchanan, 2004). Bir dizi çalışma termoplastik sistemlerde kullanılan pluggerların uç kısımlarının gerçek sıcaklıklarını araştırmıştır (Venturi et al., 2002, Viapiana et al., 2014c, Viapiana et al., 2015, Qu et al., 2015, Dimopoulos et al., 2017, Chang et al., 2017, Atmeh et al., 2020, Choi et al., 2002). Pluggerların uç kısımlarındaki sıcaklığın LCD ekranda (dijital ekran) ayarlanandan daha düşük olduğu gösterilmiştir (Viapiana et al., 2014c, Viapiana et al., 2015). Başka bir çalışmanın sonuçları; 200 ° C'ye ayarlanmış pluggerların sıcaklığının 112 ° C ile 199 ° C arasında değiştiğini göstermiştir (medyan = 140 ° C) (Qu et al., 2015).

Endodontik patlar, sıcak güta perka dolum yöntemleriyle birlikte kullanıldığında yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar (Beltes et al., 2008). Sınırlı sayıda çalışma, sıcaklığın endodontik patların özelliklerine olan etkilerini araştırmıştır.

Sıcak güta perka teknikleri ile güta perkanın kimyasal bileşiminde belirgin bir değişiklik olmaksızın geri dönüşümlü fiziksel değişimler meydana gelebilir (Cohen et al., 1992). Yüksek sıcaklıklar polimer matriksinin değişimine ve bozulmasına neden olabilir (Rose et al., 1994).

Son dönemlerde biyoaktif endodontik patlar; etkileyici fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik özellikleriyle dikkat çekmektedir. Klinik pratiğinde biyoaktif endodontik patlar ve sıcak güta perka dolum tekniklerinin kullanımı artmaya başlamıştır. Ancak bu patlara ısının etkisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Çalışmamızın amacı; ısının, AH Plus, MTA Fillapex ve CeraSeal kök kanal dolgu patlarının kimyasal yapılarına etkilerinin araştırılmasıdır.

Çalışmamızda ısının endodontik patların kimyasal özelliklerine etkisini incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılım spektrometre (SEM-EDS), X-Işını Difraksiyonu (XRD) ve Kızılötesi Absorbsiyon Spektroskopisi (FT-IR) analizlerinden faydalanılmıştır. Bu analizler materyallerin bileşiminin incelenmesi ve kimyasal değişikliklerin değerlendirilmesi amacıyla farklı çalışmalarda kullanılmıştır (Asgary et al., 2005, Camilleri et al., 2005a, Elzubair et al., 2006, Formosa et al., 2012, Islam et al., 2006, Torabinejad et al., 1995, Viapiana et al., 2014b, Xuereb et al., 2015).

4. GENEL BİLGİLER

Kök kanal tedavisinin amacı; pulpa boşluğunu mekanik ve kimyasal olarak temizlendikten sonra inert, boyutsal olarak stabil ve biyolojik olarak uyumlu bir kanal dolgu materyali ile apikal foramene kadar hermetik bir şekilde üç boyutlu olarak doldurmaktır (Wang et al., 2011, Schilder, 2006, Al-Nazhan, 1999).

4.1. Kök Kanal Dolgu Patları

Kök kanallarının doldurulması için bugüne kadar birçok teknik ve kanal dolgu maddesi kullanılmıştır. Birçok dolum tekniği, bir kor materyali ve bir pattan oluşmaktadır. Kanal patı, kor materyalinden bağımsız olarak bütün teknikler için gereklidir (Li et al., 2014).

Kök kanal patlarının başlıca kullanım amaçları şu şekilde sıralanabilir:

1. Kanal patları, antimikrobiyal özellikleriyle kanalda varlığını sürdürebilen mikroorganizmalar üzerinde etkili olur.
2. Kanal patları, güta perka ile dentin duvarları arasında kalan boşluğu doldurarak yüksek sızdırmazlık etkisi sağlar.
3. Kanal patları, akışkan şekilde kanala yerleştirildikten sonra kanal içinde sertleşerek dentin duvarları ile güta perkanın birbirine bağlanmasını sağlar.
4. Kök kanal patlarının kanal içinde oluşturduğu akışkanlık sayesinde kanal dolgusu kolayca uygulanabilir (Çalışkan, 2006, Alaçam, 2012, Johnson, 2002).

İdeal kök kanal dolgu patında bulunması gereken özellikler Grossman tarafından şu şekilde sıralanmıştır:

1. Kök kanal dolgu patı kanal duvarı ve dolgu maddesi ile iyi bir adezyon sağlamalıdır.
2. Sızdırmaz bir tıkama sağlamalıdır.
3. Radyografide görülebilmesi için radyopak olmalıdır.
4. Likiti ile kolayca karışabilmesi için toz partiküller oldukça küçük olmalıdır.

5. Boyutsal olarak stabil olmalıdır.
6. Diş yapılarını boyamamalıdır.
7. Bakteriyostatik olmalıdır veya en azından bakteriyel büyümeyi desteklememelidir.
8. Yavaş sertleşmelidir.
9. Doku sıvılarında çözünmemelidir.
10. Periapikal dokuları irrite etmemelidir.
11. Kök kanal dolgusunun sökülmesi gerektiğinde kolayca sökülebilmelidir.
12. Periapikal dokularda immün yanıt oluşturmamalıdır.
13. Mutajen ve karsinogen olmamalıdır (Ingle et al., 2008, Grossman, 1982).

Kök kanal tedavisinde kullanılan patların sınıflandırılması (Alaçam, 2012):

1. Çinko-oksit ojenol içerikli patlar
 - a. Çinko Oksit Ojenol
 - b. İlaçlı olanlar
 - i. Paraformaldehit içerenler
 - ii. Paraformaldehit içermeyenler
 - c. Ojenolsüz çinko oksit
2. Rezin bazlı patlar (polimerler)
 - a. Epoksi-amin rezin içerikli patlar
 - b. Metakrilat rezin esaslı patlar
 - c. Polivinil (poliketon) rezin içerikli patlar
 - d. Silikon polimerler
3. Cam iyonomer esaslı patlar
4. Kalsiyum hidroksit içerikli patlar
5. Biyoseramik esaslı patlar

4.1.1. Çinko-oksit ojenol içerikli patlar

Grossman tarafından önerilen çinko oksit esaslı patlar uzun yıllar yaygın olarak kullanılmıştır ve standart pat olarak kabul edilmiştir. Çinko oksit ojenol içerikli kök kanal dolgu patları, genelde toz ve likit olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Formülündeki toz kısmı; çinko oksit, hidrojenize edilmiş rezin, bizmut subkarbonat,

baryum sülfat, sodyum borattan oluşurken; likit olarak da öjenol kullanılır. Çinko oksit öjenol, kimyasal ve fiziksel süreçlerin kombinasyonu şeklinde çinko öjenolat kristalleri matrisi içerisinde gömülmüş ve sertleşmiş çinko oksit kristalleri oluşturarak donan bir bileşiktir (Alaçam, 2012).

Çinko oksit öjenol patı periapikal dokulara taşıdığı rezorbe olur (Augsburger and Peters, 1990), sertleşme zamanı uzundur (Allan et al., 2001). En önemli avantajı antimikrobiyal aktivitesidir (Mickel et al., 2003). En önemli dezavantajı ise; sürekli öjenol salınımı ile birlikte suyla temas ettiğinde dekompoze olmasıdır (Ingle et al., 2002). Çözünürlüklerinin doku sıvılarında yüksek olması ve radyoopak özelliğini veren gümüş nedeniyle diş dokularını boyaması da diğer önemli dezavantajlarıdır.

Çinko oksit öjenol içerikli patlar; epoksi rezin ya da kalsiyum hidroksitli patlardan daha fazla sızıntı göstermektedirler, güta-perka konlarına adezyonu yeterlidir (Çalışkan, 2006).

Bu grubu oluşturan başlıca patlar şunlardır (Tarhan and Uzunoğlu, 2010) : Wach patı, Rickert's patı, Proco-sol, Grossman patı, Kerr root kanal sealer, Tubli-seal, Roth 501 ve 801 patı, Estazone, Merpasone, Propylor, Kloroperka.

Formaldehit içerenler: Endomethasone, N2, Riebler's patı

Öjenolsüz çinko oksit patlar: Nogenol root canal sealer, Canals-N

Endomethasone (Septodont, Fransa) ve N2 (Indrag-Agsa, Losone, İsviçre) patları çinko oksit öjenol esaslı olmalarına rağmen paraformaldehit içerikli patlar olarak da adlandırılırlar. Bu tip patlar, formaldehitin antibakteriyel özelliğinden yararlanmak amacıyla geliştirilmiştir ancak toksik potansiyelleri nedeniyle kullanımı önerilmemektedir (Geurtsen and Leyhausen, 1997).

4.1.2. Rezin bazlı patlar (polimerler)

4.1.2.1. Epoksi-amin rezin içerikli patlar

Epoksi rezin içerikli kök kanal patları kabul edilebilir biyouyumluluğu olan (Kaplan et al., 2003), boyutsal olarak stabil, düşük çözünürlük gösteren, tıkama özelliği iyi olan etkili patlardır (McMichen et al., 2003). AH 26 ve AH Plus uzun yıllardır klinik kullanımı kanıtlanmış klasik örnekleridir.

Epoksi rezin içerikli AH 26 patı, ilk olarak Schröder tarafından tanıtılmıştır. AH 26'nın dentin duvarı ve gütâ perkaya adezyonu iyidir ve uzun sertleşme süresi vardır (Spångberg et al., 1993). Yüksek radyoopasite ve düşük çözünürlük gösterir (Barthel et al., 1994). Ancak içeriğindeki gümüşten dolayı diş sert dokularında renkleşmeye sebep olması ve formaldehit salınımı gibi dezavantajları vardır.

AH 26 patının toksisitesi kimyasal sertleşme reaksiyonu sırasında formaldehit salmasından kaynaklanır (Barthel et al., 1994). Polimerizasyon sırasında açığa çıkan formaldehit, patın antiseptik özelliğinin uzun süreli devamını sağlar. İlk başta açığa çıkan formaldehit yüksek oranda toksik etki gösterir ancak formaldehit salınımı geleneksel formaldehit içerikli patlardan daha düşüktür (Spångberg et al., 1993).

4.1.2.2. Metakrilat rezin esaslı patlar

Rezin teknolojilerinin diş hekimliğinde kullanılmaya başlanmasının ardından metakrilat rezin esaslı kök kanal dolgu patları geliştirilmiştir. Bugüne kadar 4 farklı nesil metakrilat bazlı pat üretilmiştir (Kim et al., 2010).

Metakrilat esaslı başlıca kök kanal patları şunlardır:

1. Nesil metakrilat rezinler: Hydron
2. Nesil metakrilat rezinler: EndoREZ
3. Nesil metakrilat rezinler: Epiphany, RealSeal, Rezinate, Simplifill, FibreFill R.C.S.
4. Nesil metakrilat rezinler: MetaSeal, Epiphany SE, Rezinol SE, Rezinate SE, Simplifill SE

Metakrilat içerikli patlar, hidrofilik özellikleri sayesinde hibrit tabakası oluşturarak dentin tübüllerine derin penetrasyon gösterir ve mikromekanik kenetlenme sağlarlar (Tarhan and Uzunoğlu, 2010).

Birinci nesil metakrilat içerikli pat olan Hydron 1970'li yılların ortalarında tanıtılmıştır. İkinci nesil metakrilat bazlı patlar, dentin adezivine gerek duymayan ve hidrofilik yapıya sahip olan sistemlerdir (Tay et al., 2005). Smear tabakasının kaldırılmasından sonra, yan kanallara ve dentin tübüllerine akarak rezin uzantılarının oluşturulması ve retansiyon sağlanması amacıyla geliştirilmiştir. EndoREZ,

radioopak hidrofilik üretilen dimetakrilat içerikli bir kök kanal dolgu patıdır. Kabul edilebilir biyouyumluluğa (Zmener, 2004, Zmener et al., 2005) ve iyi tıkama (sealing) özelliğine sahiptir (Kardon et al., 2003). Rezinle kaplanmış EndoRez güta perkaları ile kullanımı önerilmektedir (Jensen and Fischer, 2004).

Üçüncü nesil metakrilat içerikli patlar, self-etching primer ve dual-cure rezin kompozit içerir. FibreFill R.C.S. kök kanal dolgu patı (Pentron Clinical Technologies) üçüncü nesil kök kanal patlarından biridir. Kök kanalına bağlamasının ve tıkama özelliğinin iyi olduğu bildirilmiştir (Gogos et al., 2004, Shipper and Trope, 2004). Poliestere bazlı bir dolgu materyali olan resilon, self etching primer ve bir rezin pat olan Epiphany'den oluşan "Epiphany-resilon" sistemi üçüncü neslin en önemli örneğidir. Kendi içerisinde ve dentin ile oluşturduğu monoblok sayesinde diş dokularının direncini kuvvetlendirdiği, koronal ve apikal sızıntının önüne geçtiği, iyi bir tıkama sağladığı bildirilmiştir (Shipper et al., 2005).

Dördüncü nesil patların geliştirilmesi ile dentin adeziv primerlerin içerisinde olan asidik rezin monomerler rezin esaslı kanal dolgu patının içerisine yerleştirilerek; asit, primer ve pat tek bir formülde birleştirilmiştir (Alaçam, 2012). Ticari olarak ilk üretilen 4. nesil metakrilat bazlı pat MetaSeal'dir (Lawson et al., 2008).

4.1.2.3. Polivinil (poliketon) içerikli patlar

Bu gruptan en popüler pat Diaket-A'dır (3M ESPE AG, Seefeld, Almanya). Çinko oksit ve bizmut fosfat karışımı vinil polimer içerikli poliketon bileşiklerdir. Uygulanması ve gerektiğinde kanaldan sökülmesi kolaydır. Nemden ve kandan etkilenmez, bakteriyostatiktir. Ancak çalışma zamanı kısadır. Cam üzerinde 7 dakikada sertleşirken, ağız içerisinde bu süre kısaldır (Alaçam, 2012). Sızdırmazlığı iyidir (Özata et al., 1999).

4.1.2.4. Silikon içerikli kök kanal patları

RoekoSeal ve GuttaFlow silikon içerikli kök kanal patlarına örnek olarak verilebilir. RoekoSeal polivinilsiloksan esaslı bir kök kanal dolgu patıdır. Büzülme göstermeden polimerizasyonunu tamamlar ve biyolojik özellikleri iyidir (Miletić et al., 2005, Huuonen et al., 2003). GuttaFlow, ince güta perka partiküllerinin RoekoSeal patına

eklenmesiyle oluşan öjenol içermeyen, soğuk ve akışkan bir güta perka kök kanal dolgu sistemidir (Hargreaves and Berman, 2015). Enjeksiyonlu bir sistem olması daha kolay ve hızlı kullanılmasını sağlar. Kök kanallarına yeterli adaptasyon sağladığı gösterilmiştir (Elayouti et al., 2005). Sertleşme esnasında hafif bir genişleme (%0.2) gösterir. Isıtılmasına gerek olmadığı için soğuma sırasında büzülme göstermez ve buna bağlı olarak daha iyi sızdırmazlığa sahiptir (Kontakiotis et al., 2007). Örtücü özelliği iyidir, apikal sızıntı oranı ve çözünürlüğü düşüktür (Wu et al., 2002). Yapılan bir çalışmada antibakteriyel özelliğinin yetersiz olduğu gösterilmiştir (Saleh et al., 2004)

4.1.3. Cam iyonomer esash patlar

Cam iyonomer içerikli kök kanal dolgu patlarının avantajları; mine ve dentinin hidroksiapatitine kimyasal olarak bağlanmaları (Kocll et al., 1994), biyouyumlulukları (Blackman et al., 1989), flor salınımları ve antibakteriyel özellikleridir.

Cam iyonomer içerikli kök kanal dolgu patlarının en önemli dezavantajı; kanaldan uzaklaştırılmasının zor olması ve patın sökülmesini kolaylaştıran herhangi bir çözücünün olmamasıdır (Dalat and Önal, 1998, Friedman et al., 1992). Ayrıca sertleşme sırasında neme hassastır, nem varlığında çözünürlüğü çok yüksektir (Carvalho-Júnior et al., 2003, Kaplan et al., 1997).

Cam iyonomer içerikli kök kanal dolgu patı olarak, Ketac-Endo (3M Espe, Seefeld, Almanya) ve Activ GP (Brasseler USA, Savanah, GA, ABD) örnek verilebilir. Ketac-Endo kök kanal dolgu patının çok az doku irritasyonuna neden olduğu (Zetterqvist et al., 1988) ve hafif toksisite gösterdiği öne sürülmüştür (Kolokuris et al., 1996).

4.1.4. Kalsiyum hidroksit içerikli patlar

Kalsiyum hidroksit içerikli kök kanal patları, kalsiyum hidroksitin tedavi edici etkisinden yararlanmak amacıyla üretilmiştir. Kalsiyum hidroksitin hazırlanmasının kolay olması, alkalen pH'sı, rezorptif defektlerde koşulları iyileşme açısından ideal

şartlara çevirmesi, kök kanalının dışına çıktığında rezorbe olabilmesi ve sert doku oluşumuna katkı sağlaması gibi avantajları vardır (Alaçam, 2012).

Ca(OH)_2 'in terapötik olarak etkili olabilmesi için Ca^{++} ve OH^- iyonlarına ayrılması gerekir. Bu çözünme patın özelliklerini olumsuz etkiler. Kalsiyum hidroksit çözündüğünde kanal dolgusunda boşluklar bırakır. Bu yüzden tıkama özellikleri iyi değildir ve sızıntıya yol açarlar (Tagger et al., 1988).

Bu gruba ait örnek kök kanal dolgu patları şunlardır; Sealapex, Biocallex, Acreseal, CRCS (Calcibiotic Root Canal Sealer), Apexit ve Apexit Plus.

Kalsiyum hidroksitli patlar, biyouyumluluk açısından genel olarak tatmin edicidir (Ersev et al., 1999, Telli et al., 1999, Osorio et al., 1998). Ancak birkaç çalışmada tatmin edici olmayan sonuçlar bulunmuştur (Boiesen and Brodin, 1991, Silva et al., 1997).

Yapılan çalışmalarda Sealapex ve CRCS'nin dokularda kolayca çözündüğü ve her iki patın kronik inflamasyona neden olabileceği belirtilmiştir (Soares et al., 1990, Tronstad et al., 1988).

4.1.5. Biyoseramikler ve kanal dolgu patlarındaki güncel gelişmeler

Biyoseramikler; tıp ve diş hekimliğinde kullanılmak üzere geliştirilen, vücudun işlevini yitiren organlarının onarımı veya zarar gören ve yeniden yapılandırılması gereken dokularının tedavisi amacıyla özel olarak tasarlanan seramik esaslı biyomalzemelerdir. Alumina ve zirkonyum, biyoaktif cam, cam seramik, kompozitler, hidroksiapatit, rezorbe olabilen kalsiyum fosfatlar ve radyoterapi camları gibi materyaller biyomalzemelere örnek olarak gösterilebilir (Best et al., 2008, Jefferies, 2014).

Biyoseramikler şu şekilde sınıflandırılabilir;

Biyoinert: Biyolojik sistemlerle etkileşime girmez.

Biyoaktif: Çevre doku ile ara yüzey etkileşimlerine girebilir.

Biyobozunur, çözünür, rezorbe olabilir: Dokuların yerini alır ya da dokulara katılır.

Biyoinert materyaller biyolojik sistem veya konakçı organizmada önemli bir cevap uyandırmazlar. Paslanmaz çelik, titanyum, alümina, kısmen stabilize zirkonya ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen bu materyallere örnektir.

Biyoaktif materyal canlı ve cansız maddeler arasında doğal bir bağlanma arayüzü geliştirerek osteogenez ile uyumlu ve bazı durumlarda yumuşak dokularla uyumlu bir ortam yaratır (Niu et al., 2014). Bir materyalin biyoaktif olabilmesi için arayüzde biyolojik cevap ortaya çıkarması ve materyal ile doku arasında bağ oluşumunu indüklemesi gerekir (Gandolfi et al., 2010, Hench and West, 1996).

Biyoaktif materyallerin (kalsiyum fosfatlar, kalsiyum silikatlar, biyoaktif cam ve cam seramikler) en karakteristik özelliklerinden biri, fizyolojik sıvılarla veya simule vücut sıvılarıyla temas ettiğinde yüzeylerinde apatit benzeri tabaka oluşturma yeteneğidir (Gandolfi et al., 2009, Gandolfi et al., 2008, Taddei et al., 2009a, Taddei et al., 2009b).

Endodontik biyoseramikler neme ve kana duyarlı olmayan, toksik olmayan materyallerdir. Kabul edilebilir boyutsal stabiliteleri vardır. Sertleşmeleri tamamlanmadan önce antibakteriyel, sertleştikten sonra biyoaktif ve biyoyumluurlar (Assadian et al., 2016).

Biyoseramik teknolojisinin gelişimi ve MTA'nın avantajlı biyolojik özellikleri MTA ve trikalsiyum silikat esaslı kök kanal patlarının gelişimine zemin hazırlamıştır (Viapiana et al., 2014a). MTA ilk olarak 1990'lı yıllarda retrograd dolgu materyali olarak tanıtılmıştır (Torabinejad et al., 1995). Daha sonraları furkal perforasyonlarda, kök rezorbsiyonlarında, direkt pulpa kuafajında, kök gelişimi tamamlanmamış dişlerin tedavilerinde ve kök kanal dolgu materyali olarak kullanılmaya başlanmıştır (Parirokh and Torabinejad, 2010, Haapasalo et al., 2015). Biyoyumlu ve biyoaktif olması, yüksek Ph'sı ve sızdırmazlık özellikleriyle tüm biyoseramiklerin özelliklerini gösteren MTA birçok klinik durum için altın standart haline gelmiştir (Torabinejad and Chivian, 1999).

MTA; Portland simanı ve bizmut oksitten oluşmaktadır. Radyoopasiteyi sağlamak amacıyla 4:1 oranında bizmut oksit eklenmiştir. MTA'nın temel komponenti olan Portland simanı ise trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum alüminat ve

tetrakalsiyum alüminoferritten oluşmaktadır. Portland simanının ağır metaller içermesi, bizmut oksitin dişlerde renklemeye neden olması, MTA'nın uzun sertleşme zamanı ve klinik kullanımının zorluğu yeni nesil materyallerin geliştirilmesine ortam hazırlamıştır. Portland simanı yerine trikalsiyum silikat simanın kullanımı, radyoopasite sağlamak amacıyla bizmut oksit yerine alternatif materyallerin kullanımı gündeme gelmiştir. Bu gelişmelerle birlikte endodontide biyoseramik terimi daha sık kullanılmaya başlanmıştır.

Biyoseramik esaslı kanal patları aynı paterni takip ederek, orijinal MTA formülasyonunda değişiklikler yapılarak geliştirilmektedir. Patların özelliklerini geliştirmek için çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesi ve klinik kullanımın kolaylaştırılması amacıyla önceden karıştırılmış kullanıma hazır formların piyasaya sunulması son dönemlerde oldukça popüler hale gelmiştir (Camilleri, 2017).

Geleneksel patların en önemli eksikliği; sertleşirken büzülme göstermeleri ve doku sıvılarının varlığından etkilenmeleridir. Klinik pratiğinde kök kanalının apikal bölgesindeki sıvı ve kan kontaminasyonu veya dentin tübüllerindeki nem varlığı beklenebilen bir durumdur. Bu nemli ortam ve tübüllerde kalan nem, geleneksel hidrofobik patların bağlanma yeteneğini etkiler (Roggendorf et al., 2007). Bu problemin patın hidrofilik yapıda olması ile çözülebileceği öngörülmektedir. Ayrıca kök kanal patları güta perka konlarına adezyon göstermezler ve sertleşirken büzülme gösterdikleri için mikrobiyal sızıntı potansiyeli olan bir boşluk bırakırlar (Ørstavik et al., 2001, Mutal and Gani, 2005).

Biyoseramik esaslı patların en önemli özellikleri (Trope et al., 2015);

- Biyoseramik patlar son derece hidrofiliktir. Kök kanalındaki ve tübüllerdeki doğal nem geleneksel patların aksine bu patlar için avantajdır.
- Biyoseramik patlar, sertleşmeden önce 12nin üzerinde pH'a sahiptir. Antibakteriyal özellikleri kalsiyum hidroksite benzerdir.
- Biyoseramik patlar sertleşirken büzülme göstermezler, hafifçe genişleme gösterirler ve doku sıvılarından etkilenmezler.
- Nanopartikül biyoseramik ile kaplanmış güta perka ile birlikte kullanıldıklarında pat ve güta perka arasında boşluk oluşmayacaktır.

Biyoseramik esaslı patların en belirgin özelliği biyoaktif olmalarıdır. Biyoaktivite; kalsiyum iyon salınımı, elektroiletkenlik, kalsiyum hidroksit üretimi, pat ve dentin duvarı arasında arayüz tabakasının oluşumu, materyalin fosfat içeren sıvılarla temas ettiğinde apatit tabakası üretme kabiliyeti olarak tanımlanmıştır (Parirokh et al., 2018).

Biyoseramik esaslı patların dentine bağlanma mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte aşağıdaki mekanizma ortaya atılmıştır (Al-Haddad et al., 2016) ;

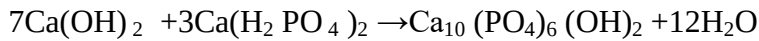
- Mekanik bir bağlanma sağlamak için pat partiküllerinin dentin tübüllerine difüzyonu (Tübüler difüzyon) gerçekleşir.
- Kök kanal dolgu patının mineral içeriğinin intertübüler dentine difüze olması ile mineral infiltrasyon zonu oluşur.
- Dentineki nem varlığında fosfatın kalsiyum silikat ve kalsiyum hidroksit ile parsiyel reaksiyonu, mineral infiltrasyon zonu boyunca hidroksiapatit formasyonu oluşumuyla sonuçlanır.

Biyoseramik esaslı pat, kök kanalına uygulandığında dentin tübüllerindeki sıvıyı absorbe eder ve patın içeriğindeki dikalsiyum silikat ve trikalsiyum silikatın su ile reaksiyonu sonucu kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidrat jel oluşur. Kalsiyum hidroksit, fosfat iyonlarıyla reaksiyona girerek hidroksiapatit çökmesini ve su oluşmasını sağlar. Bu reaksiyon yoluyla sağlanan su hidrasyon reaksiyonun hızını ve patın sertleşme süresini etkiler (Koch and Brave, 2009).

Kalsiyum silikatın hidrasyon reaksiyonu:



Çökme reaksiyonu:



Piyasaya sunulan biyoseramik esaslı ilk kök kanal patlarından biri MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Brazil) 'tir. Çalışmalar MTA Fillapex'in biyouyumlu olduğunu, mineralizasyonu stimüle ettiğini (Gomes-Filho et al., 2012) ve hidroksiapatit oluşumunu indükleyerek biyoaktivite gösterdiğini desteklemektedir (Salles et al., 2012b).

Klinik olarak kullanılan çeşitli kalsiyum silikat esaslı patlar mevcuttur. Bunlardan biri olan BioRoot RCS (Septodont, St. Maure de Fosses, France) toz /likit formunda hidrolik trikalsiyum silikat esaslı kanal patıdır. Şubat 2015'ten beri piyasadadır. Soğuk lateral kondensasyon veya tek kon dolum tekniği ile kullanımı önerilmektedir (Siboni et al., 2017).

iRoot SP (Innovative BioCeramix, Vancouver, BC, Canada), EndoSequence BC Sealer (Brasseler USA, Savannah, GA) ve EndoSeal MTA (Maruchi, Wonju-si, Korea) diğer patlardan farklı olarak karıştırılmaya gerek olmayan, enjekte edilebilir formdadır. Kullanımı kolaydır.

Bu materyallerin önemli dezavantajı ise sertleştikten sonra, kanal tedavisinin yenilenmesi veya post yeri hazırlığı için kök kanal sisteminden uzaklaştırılmalarının zor olmasıdır (Garrib and Camilleri, 2020).

Biyoseramik esaslı patların kullanımı ile birlikte kök kanal dolum konsepti de değişmeye başlamıştır. Biyoseramik esaslı patlarla birlikte tek kon dolum tekniğinin kullanımı önerilmektedir (Camilleri, 2017).

4.2. Çalışmamızda Kullanılan Kök Kanal Dolgu Patları

4.2.1. AH Plus

AH Plus (Dentsply, DeTrey, Konstanz, Almanya), epoksi rezin esaslı bir kök kanal dolgu patıdır. AH 26'nın epoksi-amin kimyası korunarak geliştirilmiştir. Renkleşme eğilimi ve formaldehit açığa çıkışı elimine edilerek, gerektiğinde sökülebilirliğinin artması için termoplastik özellik kazandırılmıştır. AH Plus kök kanal dolgu patı çabuk ve kolay karıştırılmasını sağlamak amacıyla, AH 26'daki toz/ likit sistem yerine, A ve B patları eşit hacimde karıştırılan çift patlı sistem halinde kullanıma sunulmuştur (Alaçam, 2012). Pat A; bisfenol-A epoksi rezin, bisfenol-F epoksi rezin, kalsiyum tungstat, zirkonyum oksit, silika ve demir oksit pigmentleri içerir. Pat B'nin içeriğinde ise dibenzildiamin, aminoadamantan, trisiklodekan-diamin, kalsiyum tungstat, zirkonyum oksit, silika ve silikon yağı bulunur (Dentsply, 2015). Yaklaşık 25 yıldır kullanılan AH Plus, düşük çözünürlük ve yeterli boyutsal kararlılık göstermektedir (Versiani et al., 2006). Çalışma süresi 23 °C' de minimum 4 saattir. Sertleşme zamanı 37 °C' de 8 saattir. AH 26'ya oranla arttırılmış radyoopasitesi olduğu, kısaltılmış donma süresine sahip olduğu ve daha iyi akıcılığı olduğu bildirilmektedir (Tarhan and Uzunoğlu, 2010).

AH Plus'ın sitotoksitesi konusunda çelişkili çalışmalar vardır. Farklı testleri içeren çeşitli çalışmalarda yüksek, orta ya da hafif sitotoksik olduğu belirtilmiştir (Cohen et al., 2000, Telli et al., 1999, Koulaouzidou et al., 1998). Huang ve ark. (2002) AH Plus ve AH 26 kök kanal patlarının sitotoksik olduğunu, AH Plus'ın AH 26 kök kanal dolgu patına kıyasla sitotoksite potansiyelinin düşük olduğunu vurgulamışlardır. AH Plus ile ilgili sitotoksite çalışmalarında özellikle yeni karıştırılmış halinin sitotoksik olduğunu bildiren araştırmalar çoğunluktadır (Zoufan et al., 2011, Bin et al., 2012b, Eldeniz et al., 2007, Lodiené et al., 2008). Pinna ve ark. (2008) AH Plus'ın ilk 3 gün ciddi sitotoksik etkisinin olduğunu ve 3 hafta sonra sitotoksik etkisinin bulunmadığını bildirilmişlerdir. Zhou ve ark. (2015) ise AH Plus'ın 0. saatte konsantrasyona bağlı sitotoksik etkisinin bulunduğunu, 2 hafta sonra sitotoksik etkinin görülmediğini bildirmişlerdir.

AH Plus, kök dentininin organik fazına özellikle de kollajen ağına bağlanır. Bu nedenle son yıkama sırasında kollajen ağını açığa çıkaran şelasyon ajanlarının kullanımı patın dentine bağlanmasını kuvvetlendirir (Neelakantan et al., 2011). Patın kök dentinine bağlanması doğrudan kimyasal işleminden etkilenir ve devamlı şelasyon irrigasyon protokolü bağlanma üzerinde önemli etkiye sahiptir (Neelakantan et al., 2012).

AH Plus altın standart olarak kabul edilmiş ve çok sayıda çalışmada kullanılmıştır. Kök kanal dolgu patlarının dentine bağlanma dayanımının değerlendirildiği çalışmalarda genellikle yüksek bağlanma dayanımına sahip olduğu görülmüştür. iRoot SP, AH Plus ve MTA Fillapex'in kullanıldığı ve bağlanma dayanımlarının push-out testi ile değerlendirildiği çalışmada; iRoot SP kanal patının kökün apikal, orta ve koronal kesitlerinin tümünde AH Plus'a benzer ve MTA Fillapex'ten daha yüksek bağlanma değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir (Kara Tuncer et al., 2014). Ersahan ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada; iRoot SP ve AH Plus'ın bağlanma dayanımlarının benzer olduğu ve Sealapex ve EndoREZ'den daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Smear tabakası varlığının AH Plus ve EndoSequence BC Sealer'ın bağlanma dayanımına etkisini inceleyen başka bir araştırmada; AH Plus'ın EndoSequence BC Sealer'a eşit bağlanma dayanımına sahip olduğu ve smear tabakası varlığı ya da yokluğunun iki patın da bağlanma dayanımını etkilemediği raporlanmıştır (Shokouhinejad et al., 2013).

4.2.2. MTA Fillapex

MTA 1990'ların başından itibaren endodontik uygulamalarda kullanılan bir materyaldir. Üstün fiziksel ve biyolojik özellikleri sebebiyle geniş kullanım alanı bulan bu materyalin, orjinal formülü kanal patı olarak kullanılmasına imkan sağlayacak şekilde değiştirilerek, MTA esaslı kanal patları üretilmiştir (Yoshino et al., 2013).

MTA Fillapex (Angelus Industria de Produtos Odontologicos S/A, Londrina, Brazil) kanal dolgu patının içeriğinde MTA, salisilat rezin, doğal rezin, bizmut ve silika bulunmaktadır. (Silva et al., 2013). MTA Fillapex iki tüp halindedir. Tüplerden

birinin içeriğinde MTA bulunur. Patın diğer tüpü salisilat rezin içerir (Bin et al., 2012a).

MTA'nın radyoopasitesi önerilen ISO standartlarının üzerindedir (Silva et al., 2013). Patın radyografik olarak kabul edilebilir özellikte olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda MTA Fillapex'in radyoopasitesinin AH Plus'tan daha düşük olduğu gösterilmiştir. Daha düşük radyoopasiteye sahip olmasının nedeni; içeriğindeki bizmut oksittir (Borges et al., 2014). Bizmut oksitin MTA'nın hidrasyonunu etkilediği ve mekanik özellikleri üzerinde negatif etki gösterdiği rapor edilmiştir (Camilleri, 2007, Coomaraswamy et al., 2007). Ayrıca bizmut oksitin kök kanallarında kalan sodyum hipoklorit ile reaksiyona girmesi sonucu siyah bir çökelti oluşturduğu (Camilleri, 2014a), içeriğinde bizmut oksit bulunan kök kanal patlarının kullanımından kaçınılması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenlerle bizmut oksite alternatif radyoopak maddelerin kullanımı test edilmiştir (Cutajar et al., 2011). MTA Fillapex'in piyasaya yeni sürülen formlarında radyoopaklaştırıcı madde olarak kalsiyum tungstat yer almaktadır. Bizim çalışmamızda kullanılan MTA Fillapex'in içeriğinde; salisilat rezin, doğal rezin, kalsiyum tungstat, nanopartiküllü silika, pigmentler ve MTA bulunmaktadır (Angelus, 2016).

MTA Fillapex'in biyouyumluluğu ve biyoaktivitesini değerlendirmek amacıyla yapılan ve odontoblast benzeri hücrelerin kullanıldığı bir çalışmada; MTA Fillapex kanal dolgu patının sertleştikten sonra sitotoksitesinin azaldığı ve hidroksiapatit oluşumunu uyarmak için uygun biyoaktivite gösterdiği belirtilmiştir (Salles et al., 2012a).

MTA Fillapex yüksek çözünürlüğe sahiptir ve yüksek kalsiyum iyon salınımı yaptığı gözlemlenmiştir (Borges et al., 2012). AH Plus, Sealer26, Epiphany SE, Sealapex, Activ GP, MTA Fillapex ve deneysel MTA esaslı kök kanal dolgu patının antibiyofilm aktivitesi, Ph ve çözünürlüğünün değerlendirildiği çalışmada; sadece Sealapex ve MTA Fillapex'in *E.faecalis*'e karşı antibiyofilm aktivitesine sahip olduğu belirtilmiştir. MTA Fillapex'in yüksek çözünürlük gösterdiği ve Sealapex ile birlikte en yüksek Ph'a sahip olduğu rapor edilmiştir (Faria-Júnior et al., 2013). Antibakteriyel etkinliğin değerlendirildiği başka bir çalışmada; MTA Fillapex ve Endofill kanal dolgu patlarının *E. faecalis*'e karşı sertleşmeden önce antibakteriyel

etki gösterirken, sahip oldukları yüksek pH'a rağmen sertleştikten sonra antibakteriyel etkinlik gösteremedikleri rapor edilmiştir (Morgental et al., 2011).

Amin ve ark. (2012) kanallara önceden yerleştirilmiş kalsiyum hidroksit uzaklaştırıldıktan sonra MTA Fillapex, iRoot SP ve AH Plus kanal dolgu patlarının bağlanma dayanımını test etmişlerdir. AH Plus kanal dolgu patının en yüksek bağlanma dayanımına sahip olduğu, MTA Fillapex patının bağlanma dayanımının iRoot SP ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Nagaş ve ark. (2012) kök kanallarındaki nem varlığının bağlanma dayanımına etkisini değerlendirmişler ve kanaldaki nem miktarının kök kanal patlarının dentine adezyonunu önemli ölçüde etkileyebileceğini bildirilmişlerdir. MTA Fillapex'in nemli kanallarda bağlanmasının daha iyi olduğu fakat AH Plus kadar etkili bağlanma göstermediği gözlenmiştir.

İn vitro olarak sitotoksitenin değerlendirildiği bir çalışmada AH Plus, MTA Fillapex ve Endosequence BC Sealer sertleşme aşaması boyunca (karıştırılmadan ve karıştırıldıktan hemen sonra 4 hafta boyunca) incelenmiştir. BC Sealer herhangi bir aşamada sitotoksik göstermemiştir. AH Plus ilk karıştırıldığında sitotoksik etki gösterirken, sertleştikten sonra sitotoksitesi azalmaya başlamış ve 2 hafta sonunda herhangi bir toksik etki göstermediği belirtilmiştir. MTA Fillapex'in 4 hafta boyunca sitotoksik etki gösterdiği gözlemlenmiştir (Zhou et al., 2015). Farklı seyreltiler kullanılarak yapılan başka bir çalışmada AH Plus ve MTA Fillapex kanal dolgu patının orta düzey sitotoksik etkilerinin olduğu bildirilmiştir (Bin et al., 2012b). MTA Fillapex, Angelus MTA ve iRoot SP kanal patlarının bağ doku reaksiyonlarına yanıtları değerlendirilmiş ve MTA Fillapex'in enjekte edildiği bölgede 90 gün sonra bile sitotoksik etkisi olduğu görülmüştür (Bósio et al., 2014). Bu çalışmalardan farklı olarak MTA Fillapex'e karşı oluşacak kemik dokusu reaksiyonlarının incelendiği başka bir çalışmada, patın biyouyumlu olduğu gösterilmiştir (Assmann et al., 2015). MTA Fillapex, gri MTA ve beyaz MTA'nın pH ve kalsiyum salınımının değerlendirildiği çalışmada değerlendirilen tüm materyallerin alkalik pH gösterdiği ve en düşük değerlerin MTA Fillapex kanal dolgu patına ait olduğu bildirilmiştir (Kuga et al., 2011).

Vitti ve ark. (2013) MTA Fillapex ve AH Plus'ın fiziksel özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, AH Plus'ın daha yüksek akışkanlık gösterdiğini, daha uzun çalışma

ve sertleşme zamanına sahip olduğunu bildirilmişlerdir. Ayrıca AH Plus grubunda daha yüksek çözünürlük ve su absorpsiyonu verileri elde edilmiştir.

4.2.3. CeraSeal

CeraSeal (Meta Biomed Co., Cheongju, Korea) yeni piyasaya sürülmüş biyoseramik esaslı kanal patıdır. Kalsiyum silikat, zirkonyum oksit ve kıvam arttırıcı maddeler içerir.

Grossman (1982) ideal kök kanal dolgu patı kriterlerini yayınladığında, patlar toz ve likit formdan oluşmaktaydı. Günümüzde çift patlı sistemler ya da tek bileşenli kök kanal patları satışa sunulmaktadır. CeraSeal tek bileşenli, önceden karıştırılmış enjekte edilebilir formdaki patlardan biridir.

Üretici firmaya göre sertleşme süresi 5 saat 30 dakikadan azdır. Hidrofilik bir pat olup sertleşmesi için neme ihtiyaç duyduğundan, kuru kanallarda bu sürenin uzaması beklenen bir durumdur. Sertleşme sonrası büzülme ya da ekspansiyon görülmediği, kanaldan uzaklaştırılamayan medikamentlerin sertleşmesini bozacağı bildirilmiştir (MetaBiomed, 2019).

CeraSeal piyasaya yeni sürülmüş patlardan biri olduğu için sınırlı sayıda çalışmada kullanılmıştır. Ceraseal ile ilgili yayınlanmış ilk çalışma, EndoSeal MTA ve EndoSequence BC Sealer ile birlikte bu üç patın biyolojik özelliklerinin değerlendirildiği çalışmadır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre; kalsiyum iyon salınımının en fazla olduğu pat CeraSeal'dir. Onu sırasıyla EndoSequence BC Sealer ve EndoSeal MTA takip etmiştir. Çalışmada kullanılan tüm patlar alkaline pH göstermiştir. EndoSeal MTA diğerlerine kıyasla anlamlı derecede daha yüksek pH sergilemiştir. EndoSequence BC Sealer ve CeraSeal'in EndoSeal MTA'ya oranla daha yüksek hücre bağlanması, hücre göçü, gen ekspresyonu ve mineralizasyon kapasitesi değerlerine sahip olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; EndoSequence BC Sealer ve CeraSeal'in kök kanal tedavisi için uygun biyolojik özelliklere sahip olduğunu göstermektedir (Lopez-Garcia et al., 2019).

CeraSeal, güncel endodontik kök kanal patlarının karşılaştırıldığı bir derlemede trikalsiyum silikat esaslı patlar sınıflamasında yer almıştır. Sertleşme mekanizması

diğer trikalsiyum silikat esaslı patlar gibi dentindeki nem varlığıyla gerçekleşmektedir. Sertleşme süresinin 3.5 saat olduğu bildirilmiştir. Değerlendirilen patlar içerisinde trikalsiyum silikat esaslı patların AH Plus'a göre en az mikrosızıntı gösteren grup olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca başarılı klinik sonuçlar elde edebilmek için patların sızdırmazlık özelliğinin önemli olduğuna vurgu yapılmıştır (Komabayashi et al., 2020).

4.3. Kök Kanal Dolum Yöntemleri

Kök kanal sisteminin doldurulması amacıyla günümüze kadar pek çok farklı yöntem önerilmiştir. Ingle'a göre (2002) ; dolum yöntemleri kondansasyon yönüne (lateral veya vertikal) ve/veya güta perkaya ısı uygulanıp uygulanmamasına göre değişiklik göstermektedir.

Kök kanal dolum teknikleri şu şekilde sınıflandırılabilir (Hargreaves and Berman, 2015):

1. Lateral kondensasyon
2. Sıcak vertikal kondensasyon
3. Devamlı ısıyla kondensasyon tekniği
4. Sıcak lateral kondensasyon
5. Termoplastik enjeksiyon teknikleri (Obtura II, Ultrafil 3D)
6. Güta Perka Taşıyıcı Sistemleri (Thermafil, Successfil, Simplifill)
7. Termomekanik kondensasyon tekniği
8. Çözücü kullanılan teknikler

4.3.1. Isı ile yumuşatılmış güta perka dolum yöntemleri

Nikel titanyum döner eğeler ve açılı güta perkaların gelişmesiyle birlikte termoplastik tekniklerin kullanımı artmaya başlamıştır. Bu tekniklerin kullanımı ile temel olarak üç boyutlu bir tıkama sağlanması hedeflenmektedir (Hargreaves and Berman, 2015).

4.3.1.1. Sıcak vertikal kondensasyon

Bu yöntem Schilder tarafından kök kanal boşluğunun üç boyutlu dolumu için geliştirilmiştir. Çalışma boyunun 0.5-2 mm gerisinde sıkışan bir ana kon kanala yerleştirilir. Kanala pat uygulanır, kon yerleştirilir ve koronal kısmı sıcak bir aletle kesilir. Apikalde kalan gütä perka ısıyla yumuşar. Kanala yerleştirilen plugger ile apikale doğru kondanse edilir ve apikal üçlünün dolması sağlanır. Geri kalan koronal kısım küçük gütä perka parçalarına ısı uygulanıp pluggerlarla sıkıştırılarak doldurulur (Schilder, 2006).

Tekniğin avantajları; homojen kanal dolgusu oluşması, gütä perkanın kanal duvarlarına uyumunun artması, lateral kanalların ve düzensiz alanların doldurulma şansının artmasıdır (Wu et al., 2001).

Vertikal kök kırığı riski, boyutsal kontrolün zayıf olması, apikalden taşma riski ve eğri kanallarda aşırı genişletme gerektirmesi gibi dezavantajlara sahip bir tekniktir (Hargreaves and Berman, 2015).

4.3.1.2. Devamlı ısıyla kondensasyon tekniği

Devamlı ısıyla kondensasyon tekniği; sıcak vertikal kondensasyon tekniğinin modifiye edilmiş halidir. Bu teknikte kullanılan System B (SybronEndo, Orange, CA), oldukça popülarite kazanmış bir cihazdır. System B; dijital ısı göstergesi ve ısı ayarlamaya yarayan rezistansa sahiptir. System B, Buchanan tarafından geliştirilmiştir (Buchanan, 1996).

System B ısı kaynağının ucundaki pluggerlar, ısıyı gütä- perkaya iletir. Pluggerlar standart boyutlarda olabildiği gibi, konvansiyonel gütä perka konlarla uyumlu non-standardize (Fine, Fine-Medium, Medium, Medium-Large) boyutlarda da olabilirler. Kök kanal preparasyonuna uygun bir non-standardize gütä perka kon seçilir. Gütä perka kon kanala yerleştirildiğinde çalışma boyundan 0,5-1 mm mesafede sıkışmalıdır. Daha sonra System B ısı kaynağı ile kullanılmak üzere uygun plugger seçilir. Plugger, çalışma boyundan 5-7 mm mesafeye ayarlanır. Bu referans noktası lastik stop ile işaretlenir. Kanala pat uygulandıktan sonra, kon kanala yerleştirilir ve plugger ucuyla kanal ağzından kesilir. System B plugger ucu kanal ağzına yerleştirilir ve cihaz aktive edilir. Isı uygulanan plugger gütä perka içinde apikal

yönde referans noktasından 2-3 mm mesafeye kadar ilerletilir. Bu noktada aktivasyon düğmesi bırakılır ve plugger lastik stop referans noktasına ulaşınca kadar ilerletilir. Güta perka soğurken 10 saniye boyunca apikal basınç uygulanır. Daha sonra kısa bir süre için ısı düğmesi aktive edilir ve plugger kanaldan çıkarılır. Bu noktada soğuk bir plugger kullanılarak apikal basınç uygulanabilir (Buchanan, 1996). Devamlı ısıyla kondensasyon tekniğinde apikal üçlünün doldurulma işlemi (downpacking) System B kullanılarak, geri kalan kısımların doldurulma işlemi (backfilling) termoplastik enjeksiyon tekniği ile yapılabilmektedir.

System B ve benzeri diğer cihazlarda ısı farklı modlara ayarlanabilmektedir. System B'nin genellikle 200⁰C'de kullanılması önerilir. Sıcaklığın artırılması kondensasyon başarısını arttırmamaktadır. Pluggerların derin penetrasyonu kanal dolum başarısını etkilemektedir (Jung et al., 2003).

Yöntemin kullanımı sırasında ısıyla periodonsiyumda oluşan olası etkileri göz önüne alınmalıdır. Zira 10⁰C'lik bir ısı artışının periradiküler dokularda irritasyonlara yol açtığı bilinmektedir (Floren et al., 1999)

4.3.1.3. Sıcak lateral kondensasyon

Bu teknik soğuk lateral kondensasyon tekniğine benzemektedir, tek fark ısıtılmış bir spreader kullanılmasıdır. Öncelikle kanal içindeki güta perkaya ısıtılmış spreader uygulanır. Daha sonra soğuk bir spreader uygulanır ve açılan boşluk aksesuar konularla doldurulur. Bu işlemlere kök kanalı tamamen dolana kadar devam edilir.

Isıyla beraber uygulanan lateral kompaksiyon yöntemi ile güta perkanın akışı ve yoğunluğu artırılabilir. Soğuk lateral kompaksiyon yöntemine göre daha homojen kanal dolgusu elde edildiği bildirilmiştir (Nelson et al., 2000).

4.3.1.4. Termoplastik enjeksiyon teknikleri

Termoplastik enjeksiyon yönteminde, ısıtılmış ve akışkanlık kazanan güta perka basıçla kanala enjekte edilir. Kök kanal sisteminin üç boyutlu olarak lateral/vertikal daha hızlı ve etkili doldurulabildiği bir tekniktir. Obtura III, Calamus, Elements, HotShot ve Ultrafill 3D termoplastik enjeksiyon tekniğinde kullanılan cihazlardır.

Obtura II, yüksek ısı (160°C) enjektabl termoplastize güta perka tekniğidir. Bu yöntemde güta perka özel ısıtıcısında ısıtılmış bir enjektörün ucundaki gümüş kanüller aracılığıyla kanal içine enjekte edilmektedir. Bu sistemde kanülün boyu çalışma boyundan 3-5 mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirilir ve kanül içerisindeki eritilmiş güta perka enjekte edilir. Enjeksiyon işlemi sırasında enjektörün geri gelme hissine dikkat edilmelidir. Kanal tamamen doldurulduğunda vertikal yönde güta-perka kondanse edilmelidir.

Termoplastik enjeksiyon yöntemi ile kök kanalı içerisindeki yan ve aksesuar kanallar, apikal delta ve düzensiz bölgeler doldurabilmektedir. Bu sistemde boyutsal kontrol olmadığı için taşkın dolgu oluşma riskine karşı ideal bir apikal stop hazırlanmalıdır. Taşkın veya eksik kanal dolumunu engellemek amacıyla hibrit teknik kullanılması da önerilmiştir. Kanalın apikal bölümü doldurulduktan sonra geri kalan kısmının termoplastik yöntemle doldurulması şeklinde kullanımı yaygındır (Hargreaves and Berman, 2015).

Ultrafil, düşük ısı (70-90°C) termoplastik güta perka enjeksiyon tekniğ i olup 1984’de Michanowics ve Czonstkowsky tarafından geliştirilmiştir. Sistem; enjeksiyon şırıngası, ucunda iğne olan güta perka kanülü ve 120 Voltluk bir ısıtıcıdan oluşmaktadır (Michanowicz and Czonstkowsky, 1984). Kanal dolumunun hızlı bir şekilde yapılmasına olanak vermesi ve kanallara adaptasyonun iyi olması gibi avantajlara sahiptir. Ancak tekniğ in uygulanabilmesi için kök kanallarının aşırı genişletilmesi gerekliliğ i, hızlı soğuma nedeniyle kondensasyonun zayıf olması, dolayısıyla boşlukların olduğ u homojen olmayan dolguların oluşması ve iğnelerin kırılabilmesi gibi dezavantajlarının olduğ u bildirilmiştir (Gutmann and Rakusin, 1987).

4.3.1.5. Güta perka taşıyıcı sistemleri

Bu sistemler taşıyıcı korların üzerinin güta perka ile kaplanması ile elde edilir. zeri alfa fazında güta perka ile kaplanmış plastik veya metal korların, özel fırınında ısıtılıp kök kanalına uygulanması esasına dayanmaktadır. Thermafil, Alphaseal, Successfil, Softcore, Simplifill gibi taşıyıcı sistemler mevcuttur.

Bu sistemler ile kanal dolumu yapılırken; öncelikli olarak kanal patı ince tabaka halinde kanala uygulanır. Kök kanalına uygun olarak seçilmiş obturator ile aynı boyuta sahip verifler/boyut doğrulayıcı ile kanal kontrol edilir. Oburatorda bulunan rondel ile çalışma uzunluğu işaretlenir ve obturator fırına yerleştirilir. Üretici firmanın önerdiği süre kadar beklendikten sonra, obturator gecikmeden ve herhangi bir rotasyon hareketi yapmadan tek hamlede yerleştirilerek apikal kısma doğru itilir. Radyografi ile kontrol yapıldıktan sonra güta perka yumuşakken bir plugger ile kondanse edilir. Obturator kanal ağzı seviyesinden uzaklaştırılmadan önce güta perkanın soğuması beklenir ve obturatorun kalan kısmı uzaklaştırılır (Whitworth, 2005).

Thermafil, taşıyıcı sistemler arasında en çok bilinen yöntemdir. Bu sistemde alfa faz güta perka kaplı 3 farklı thermafil obturatörü mevcuttur. Bunlar; paslanmaz çelik, titanyum ve plastik taşıyıcılardır.

Tekniğin avantajları; yerleştirme kolaylığı ve yumuşayan, akışkan hale gelen güta perkanın kök kanal içerisindeki düzensiz alanlara penetrasyonunun iyi olmasıdır. Ancak oluşan taşkın dolgular, metalik korların tekrarlayan tedavi ihtiyacında veya post-core benzeri restorasyonlara ihtiyaç duyulduğunda işlemleri zorlaştırması dezavantajlarıdır (Gutmann et al., 1993).

Son zamanlarda geliştirilen yeni kor taşıyıcılı sistem olan GuttaCore (Dentsply Tulsa), taşıyıcı olarak plastik yerine çapraz bağlı güta perkadan oluşmaktadır. Bu sistemle kanal tedavisi tekrarı ve post boşluğu hazırlanması işlemlerinin kolaylaştırılması amaçlanmıştır (Beasley et al., 2013, Nevares et al., 2015).

Successfil sisteminde ISO standartlarında, sisteme özgü, özel titanyum taşıyıcılar bulunmaktadır. Kullanılan güta perka bir şırıngadan gelmektedir. Ayrıca güta perkanın daha akıcı olması için maddenin molekül ağırlığı yoğun bir öğütme ile düşürülmüştür. Kendine özel ısıtıcısı vardır.

4.3.1.6. Termomekanik kondensasyon tekniği

McSpadden tarafından ortaya atılan termomekanik kondensasyon tekniğinde Hedström eğeye benzeyen ama ters yönde yivleri bulunan ‘McSpadden kompaktörü’

kullanılarak, güta perka ve döner alet arasındaki sürtünme ile aıġa çıkan ısı sonucu güta perka yumuŖatılarak kök kanal boŖluġunun doldurulması amaçlanır.

Kullanılan aletlerin basit olması, iŖlemin kısa sürmesi ve kanal düzensizliklerini doldurabilmesi avantajları vardır. Dar kanallarda kullanılamaması, kompaktör uçlarının kırılabilmesi, taŖkın dolgulara yol açabilmesi termomekanik kondensasyon tekniġinin dezavantajları arasında sayılabilir (Hargreaves and Berman, 2015).

4.3.2. Sıcak güta perka yönteminde kullanılan pluggerlarda oluŖan ısı

Isı kaynaġı kullanılan sıcak güta perka dolum tekniklerinde ortaya çıkan ısıнын dentin ve sement boyunca evre dokulara transfer olabileceġi bildirilmiŖtir. Kanal boŖluġunda oluŖan ısıнын kök yüzeyinde ısı artıŖına neden olduġu farklı alıŖmalarla ortaya konmuŖtur. Normal vücut ısısının 10°C zerindeki bir artıŖın periodontal dokularda geri dnŖmsz hasara neden olabileceġi gsterilmiŖtir (Floren et al., 1999). 1 dakika boyunca vücut sıcaklıġının 10°C zerindeki artıŖın kritik eŖik olduġu bildirilmiŖtir. Bu kritik seviyeye kadar olan deġerlerin normal kemik onarımıyla uyumlu olduġu ve zararlı olmadığı bildirilmiŖtir. Ancak daha yüksek sıcaklıklar ve daha uzun uygulama süresinin periodontal ligamentte hasara ve kemik dokusunda nekroza neden olabileceġi bildirilmiŖtir (Eriksson and Albrektsson, 1983).

Muhtemel termal hasar nedeniyle, yapılan araŖtırmalar genellikle kök yüzeyinde oluŖan ısı artıŖına odaklanmıŖtır. Farklı ısı kaynaklarının kullanıldıġı ex-vivo alıŖmaların oġu kök yüzeyinde oluŖan ısı artıŖının güvenli olduġunu gstermiŖtir (Romero et al., 2000, Sweatman et al., 2001, Venturi et al., 2002). Fakat bu alıŖmaların kök yüzeyindeki biyolojik faktörleri simule etmediġi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Sıcak güta perka dolum yöntemlerinde, oġu sistem 200°C'de alıŖtırılır (Buchanan, 2004). Bir dizi alıŖma termoplastik sistemlerde kullanılan pluggerların uç kısımlarının gerçek sıcaklıklarını araŖtırmıŖtır (Venturi et al., 2002, Viapiana et al., 2014c, Viapiana et al., 2015, Qu et al., 2015, Dimopoulos et al., 2017, Chang et al., 2017, Atmeh et al., 2020). Pluggerların uç kısımlarındaki sıcaklıġın LCD ekranda (dijital ekran) ayarlanandan daha dŖk olduġu gsterilmiŖtir (Viapiana et al., 2014c,

Viapiana et al., 2015). Başka bir çalışmanın sonuçları; 200°C'ye ayarlanmış pluggerların sıcaklığının 112°C ile 199°C arasında değiştiğini göstermiştir (medyan = 140°C) (Qu et al., 2015).

Venturi ve ark. (2002) System B ile kök yüzeyinde minör ısı değişimleri olduğunu ve periodontal dokular için zararlı olmadığı ileri sürmüşlerdir. Ayrıca pluggerların uç kısımlarının sıcaklığını değerlendirerek, pluggerın en yüksek sıcaklık değerlerine uç kısmından 2 mm uzaklıkta ulaştığını gözlemlemişlerdir. Viapiana iki farklı çalışmada pluggerların uç sıcaklığını değerlendirmiştir. Sıcaklığın en fazla pluggerın gövde kısmında olup 80°C olduğunu (Viapiana et al., 2014c) ve pluggerın uç sıcaklığının pluggerın konikliğine göre değiştiğini (Viapiana et al., 2015) belirtmiştir.

Dimopoulos ve ark. (2017) pluggerın en yüksek sıcaklığının uç noktasında olduğunu ve 200°C'ye ayarlanmış pluggerın sıcaklığının 94°C olduğunu ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda klinik uygulama sırasında güta perka ve pat ile temas eden ana kısmın pluggerların uç kısmı olduğu, 4 saniyelik aktivasyonun güta perkanın faz dönüşümü için yeterli olduğu vurgulanmıştır.

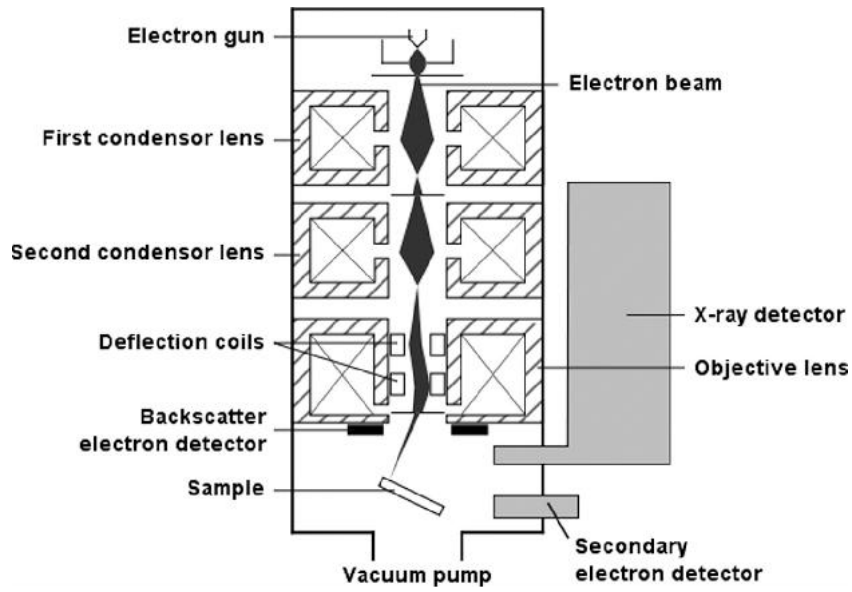
Dört farklı sistem ve farklı boyutlardaki pluggerlar kullanarak yapılan bir çalışmada; sıcaklığın kullanılan pluggerın açısına ve kullanılan sisteme bağlı olarak değiştiği görülmüştür (Chang et al., 2017). Bu konu ile ilgili literatürdeki son yayın; kullanılan farklı ısı kaynaklarının standardize olmadığını ve her bir pluggerın uç sıcaklığının ekranda ayarlanan sıcaklıktan farklı bir değere sahip olduğunu göstermektedir (Atmeh et al., 2020).

4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-ışını spektrokopisi (SEM-EDS)

Taramalı Elektron mikroskobu (SEM), ilk olarak 1937 yılında Manfred von Ardenne (1985) tarafından geliştirilmiştir. Elektronları kullanarak örnek yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü alınmasını sağlayan sistemlerdir.

SEM katı örneklerin karakteristik mikro yapılarının incelenmesi ve analiz edilmesi için kullanılan bir cihazdır. SEM’de yapılan görüntü analizleri, incelenen örneğin genel morfolojik özellikleri ile içyapısını oluşturan bileşenlerin yapısal özellikleri hakkında detaylı bilgiyi sağlar (Chescoe et al., Yañez and Barbosa, 2003).

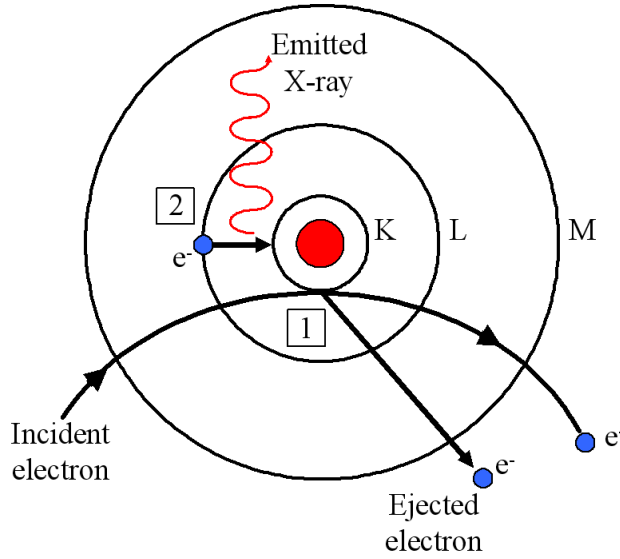
SEM; optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır (Akhtar et al., 2018).



Şekil 1. SEM-EDS şematik görünümü (Hamilton and Quail, 2011)

SEM’de görüntü oluşturma örnek üzerine gönderilen elektron demetinin örnekten yansıması ve yansıyan sinyallerin algılanması esasına dayanır. Algılanan sinyaller görüntüye dönüştürüleceği bir bilgisayar sisteminde toplanmaktadır. Örneğin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında, örneği oluşturan atomların iç yörüngesinden elektron kopmasına sebep olur. Atomik kararlılığın devamı için iç yörüngeden kopan elektronun yerine dış yörüngeden bir elektron geçer. Dış yörünge elektronları, iç yörünge elektronlarına göre daha yüksek enerji barındırırlar. Bu nedenle dış yörüngeden iç yörüngeye elektron geçişi sırasında karakteristik X-ışını salınımı gerçekleşir (şekil 2.). Salınan X-ışını, ilgili atom hakkında bilgiler sağlar ve

örneği oluşturan elementlerin saptanmasına yardımcı olur (Erdin, 1986, Zhou et al., 2006).



Şekil 2. EDS çalışma prensibi (McAneney, 2006)

Taramalı elektron mikroskobuna bir X-ışını spektrometresi ekleyerek, karakteristik X-ışınlarıyla görüntü elde edilmesi ilk olarak 1950’li yıllarda Raymond Castaing tarafından geliştirilmiştir (Colliex, 2019). SEM-EDS kısa adı ile bilinmektedir. Enerji dağılımlı X ışını spektroskopisi (EDS), materyaller üzerinde elemental analiz yapabilme olanağı sağlar. Bu teknik her bir elementin kendine has atomik yapısının diğer elementlerden ayrılmasını sağlayarak materyallerin karakterizasyonunda kullanılmaktadır. Spektrumdaki karakteristik pikler örnekte bulunan elementleri göstermektedir.

SEM’de görüntüleme yapabilmek için; örneklerin elektriği geçirmesi ve yüzeydeki elektrik yükünün birikmesini engellemek için topraklanmış olması gerekir. Altın, altın/paladyum alaşımı, tungsten, krom ve grafit gibi iletken materyaller örnekleri kaplamada kullanılabilir. Kaplama elektron ışıması sırasında statik elektrik yükünün birikmesine engel olmaktadır (Zhou et al., 2006).

SEM, diş hekimliğinde geniş kullanım alanına sahiptir. Diş sert dokularının, dental seramiklerin ve kompozitlerin incelenmesi; frez, döner alet ve kanal eğesi gibi materyallerin özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla pek çok araştırmada önemli

bir görüntüleme yöntemi olarak kullanılmıştır (Alapati et al., 2005, Pest et al., 2002, Dos Santos et al., 2010, Foschi et al., 2004). SEM, katı bir numunenin yüzeyini keşfetmek için mikrogörüntülemeye kullanılan güçlü bir tekniktir (Borges et al., 2014). Bu nedenle farklı çalışmalarda kanal patlarının yüzey özelliklerini değerlendirmek için de kullanılmıştır (Yang et al., 2018, Sampaio et al., 2014, Borges et al., 2014, Resende et al., 2009).

SEM-EDS; kök kanal patlarının ve diğer endodontik materyallerin kimyasal yapılarının değerlendirilmesinde fayda sağlayan temel analiz yöntemlerinden biridir. Portland simanının kimyasal kompozisyonunun değerlendirilmesinde (Camilleri, 2008), MTA'nın içeriğinin belirlenmesinde (Camilleri et al., 2005b) MTA ve Portland simanının kimyasal içeriğinin karşılaştırılmasında (Oliveira et al., 2007), MTA'nın hidrasyon mekanizmasının açıklanmasında (Camilleri, 2007), trikalsiyum silikat simanların karakterizasyonu ve hidrasyon mekanizmasının anlaşılmasında (Camilleri, 2011), trikalsiyum silikat esaslı simanlarına rezin ve çeşitli radyoopak maddelerin etkisinin değerlendirilmesinde (Camilleri, 2014b) kullanılmıştır.

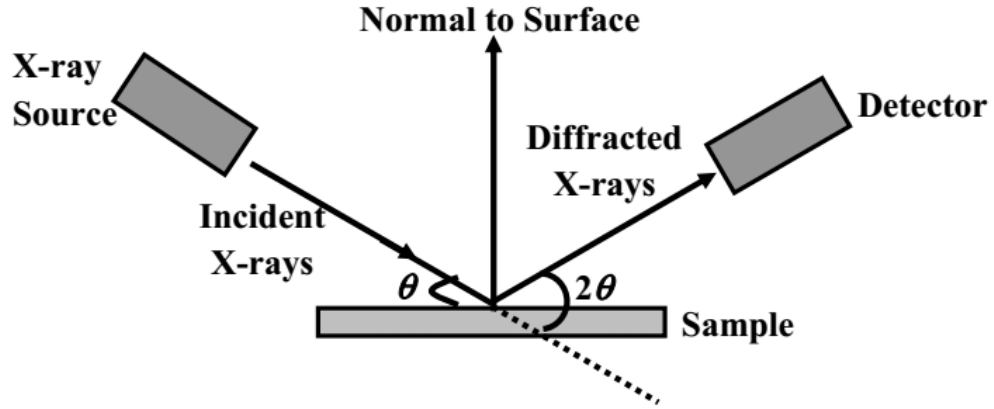
SEM-EDS dental materyallerin mikroyapılarının değerlendirilmesi için güçlü bir araçtır. EDS analizi biyoseramik esaslı simanların ve patların; kalsiyum, karbon, oksijen, sodyum, sülfür ve bizmut gibi temel bileşenlerini tanımlamak için kullanılmıştır (Zhu et al., 2014).

4.5. X-Işını Kırınımı Analizi (XRD)

1895 yılında Wilhelm Conrad Roentgen tarafından X-ışınlarının keşfinin ardından, 1912'de Max von Laue X-ışınlarının dalga özelliğine sahip olduğunu ve kristallerden kırınımına uğradığını ispatlamıştır. 1913 yılında Lawrence Bragg ise X-ışınlarının kristal içindeki atomlar tarafından kırınımını anlatan Bragg yasasını ifade etmiştir (He, 2009).

X-Ray Diffraction (XRD) olarak da bilinen X-ışını kırınımı; bir kristal düzlemine gönderilen x ışınlarının kristalin atom düzlemlerine çarparak yansması olayıdır. Kristalin materyallerin kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır (Skoog et al., 2013). XRD tekniğinde θ geliş açısı ile materyalin üzerine gönderilen X-ışını kristal yüzeyine

çarpar ve yine θ açısı ile yansır. Yansıyan X-ışınları detektör tarafından durdurulur ve kaydedilir (Şekil 3). Bu yansıyan ışınların uzaysal dağılımı ve yoğunluğu, materyalin yapısı tarafından belirlenen ve materyale özgü olan kırınım desenini oluşturur (Klug and Alexander, 1974). Bu kırınım desenleri, o kristalin kendine özgü yapısının tanımlanmasını sağlar.



Şekil 3. XRD çalışma prensibi (Wubet, 2019)

XRD analizi ile kristalin materyallerin kalitatif veya kantitatif analizleri yapılabilmektedir. Bir karışım içerisindeki temel bileşenlerin tanımlanması, kristalografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesi mümkün olabilmektedir (Cullity, 1956).

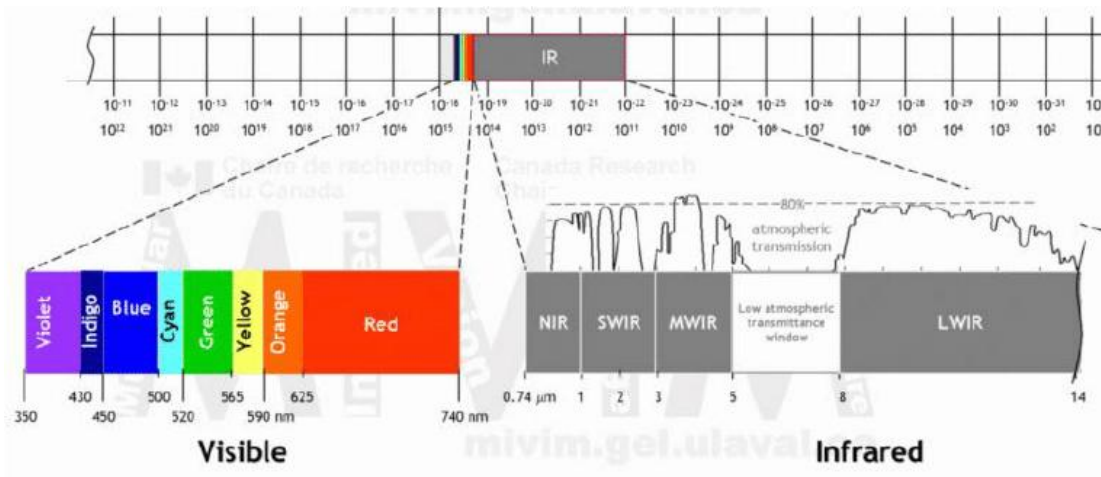
XRD diş hekimliğinde özellikle kalsiyum silikat esaslı simanların ve patların ana bileşenlerini ve farklı koşullarda altındaki faz değişimlerini incelemek için kullanılmıştır. Portland simanın kimyasal kompozisyonunun belirlenmesinde (Camilleri, 2008), MTA'nın temel bileşenlerinin değerlendirilmesinde (Camilleri et al., 2005b) ve Portland simanı ile karşılaştırılmasında (Islam et al., 2006), trikalsiyum silikat esaslı simanlarına rezin ve çeşitli radyoopak maddelerin etkisinin değerlendirilmesinde (Camilleri, 2014b), SEM-EDS analizi ile birlikte kullanılmıştır. Alaşımların yapılarının ve farklı ısılarda faz değişimlerinin incelenmesinde (Iijima et al., 2008), ısıtma işlemlerinin Ni-Ti döner aletler üzerine etkilerinin incelenmesinde (Alapati et al., 2009) de XRD analizinden faydalanılmıştır.

XRD tekniği, örnek bir materyal içerisindeki kristal yapıları tanımlarken, amorf yapıları tanımlayamaz. Portland simanı, trikalsiyum silikat siman ve bizmut oksit gibi kristal yapıların kimyasal analizinde faydalıdır. Ayrıca çöktürölmüş bileşikler olan kalsiyum hidroksit, kalsiyum karbonat ve kalsiyum fosfat kristal yapıda olduklarından, bu bileşiklerin analizinde de kullanılır (Formosa et al., 2012).

XRD cihazı ile bir numunedeki amorf ve kristal bileşiklerin miktarını belirlemek amacıyla kantitatif faz analizi de yapılabilmektedir. Degree of crystallinity (DOC) olarak da bilinen kristallilik derecesi analizi, numunedeki kristal ve amorf madde miktarını yüzde (%) olarak göstermektedir (Mo and Zhang, 1995).

4.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR)

Kızılötesi “Infrared (IR)”spektroskopi tekniği 1800’lü yıllarda William Herschel’in elektromanyetik spektrumda IR bölgeyi keşfetmesi ile gelişmeye başlamıştır (Jackson et al., 1997). Elektromanyetik spektrumun (Şekil 4.) dalga boyuna göre 0.78-1000 μm (1 mm) arası infrared alan olup, bunun 0.78-2.5 μm arasında kalan bölge yakın IR, 2.5–25 μm (dalga sayısı cinsinden ifade edilirse; 4000-400 cm^{-1}) arasında kalan bölge orta IR bölgesi ve 25 -1000 μm arasındaki bölge ise uzak IR olarak bilinmektedir (Smith, 2011).

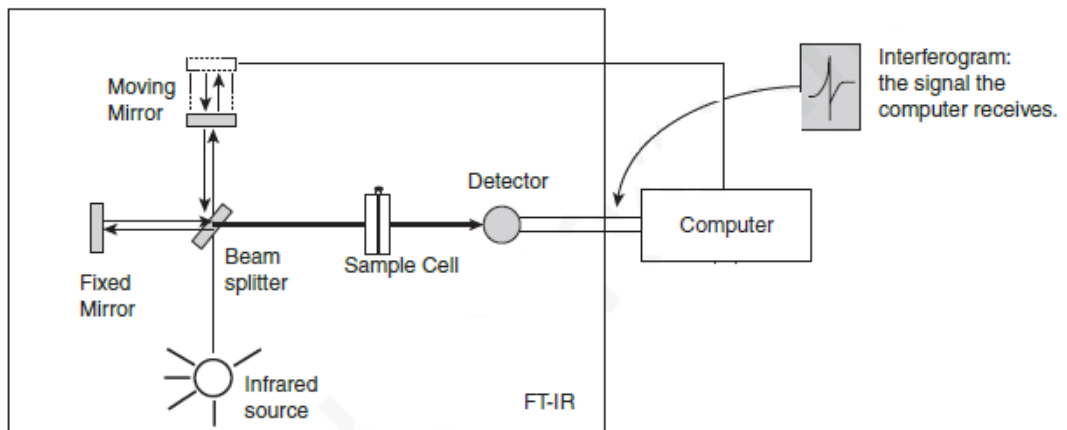


Şekil 4. Elektromanyetik dalga spektrumu ve Infrared (Kızılötesi) bölge (Akhloufi and Bendada, 2013)

IR Spektroskopisi maddenin infrared ışınlarını absorplaması üzerine kurulmuş bir spektroskopi dalıdır. IR ışınları moleküllerin titreşim hareketlerini ve enerji seviyelerini değiştirirler. IR spektroskopisi, IR ışınlarının moleküller üzerinde oluşturduğu titreşimlerin neden olduğu karakteristik frekans değerlerinin kullanılması ile analiz yapılmasını sağlar. Infrared absorpsiyonu sonucu oluşan titreşim bantları birçok molekülün nicel ya da nitel analizinde kullanılabilir.

Infrared spektroskopide her bir bağın kendine özgü titreşim frekansı bulunmaktadır. Böylece maddelerin infrared spektrumları onlar için parmak izi niteliği taşımaktadır. Ayrıca, yapının sahip olduğu her bir bağ spektrum üzerinde absorpsiyon piki verdiği için infrared spektroskopisi kimyasal grupların tanınmasına da yardımcı olmaktadır. Infrared spektroskopisi ile bileşiklerin yapılarındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu ve bağlanma yerleri gibi birçok bilgi elde edilebilmektedir (Hsu, 1997).

FT-IR spektrometreyle sinyal formatında elde edilen bilgiye interferogram denmektedir. Interferogram infrared spektrumunu oluşturan bütün frekansları bünyesinde bulunduran ve birçok dalga boyu içerdiği için karmaşık bir yapıya sahip olan güçlü bir sinyaldir (Şekil 5). Bu nedenle elde edilen interferograma Fourier Dönüşümü (Fourier Transform) olarak bilinen matematiksel işlem uygulanarak frekansa karşı şiddetin çizilmesiyle oluşan spektrum elde edilmektedir (Gauglitz and Vo-Dinh, 2003).



Şekil 5. FT-IR spektrometre şematik görünüm (Pavia et al., 2009)

FT-IR analizi; kimyasal maddelerin fonksiyonel gruplarının belirlenmesine ve kimyasal yapıdaki değişikliklerin tanımlanmasına olanak sağlar (Arias-Moliz et al., 2015). FT-IR analizi ile kalsiyum silikat esaslı materyallerin çeşitli sıvılarla etkileşimi değerlendirilmiştir (Tay et al., 2007, Coleman et al., 2007, Han et al., 2010). Bu analiz, sıcak vertikal kondensasyon tekniğinin kanal patlarının kimyasal özelliklerine etkisini değerlendiren çalışmalarda da karşımıza çıkmaktadır (Viapiana et al., 2014c, Viapiana et al., 2015).

Viapiana ve arkadaşları (2014b) epoksi rezin ve portland simanı bazlı patların kimyasal karakterizasyonunda, Camilleri (2015) sıcak güta perka dolum tekniklerinin patların kimyasal yapısına etkisini değerlendirmede SEM-EDS, XRD ve FT-IR analizlerinden faydalanmıştır. Arias Moliz ve ark. (2015) AH Plus kanal patına benzalkonyum klorit ilavesi sonrasında oluşan kimyasal değişiklikleri gözlemlemek, Donnermeyer ve ark. (2020) rezin ve çinko oksit öjenol esaslı patlara farklı sıcakların etkisini değerlendirmek amacıyla FT-IR analizini kullanmışlardır.

Neelakantan ve ark. (2015), dentin ve kanal patı arasındaki kimyasal etkileşimi ve bu etkileşime irrigasyon protokolünün etkisini değerlendirmiştir. AH Plus'ın dentin kollajenine kimyasal olarak bağlandığı FT-IR analizi ile doğrulanmıştır. Bu bağlanmanın irrigasyon protokolünden etkilendiği, son yıkama ajanı olarak dekalsifiye edici bir ajan kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

5. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan kök kanal patları (Resim 1);

AH Plus (Dentsply, DeTrey, Konstanz, Almanya),

MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Brezilya),

CeraSeal (Meta Biomed, Cheongju, Kore)'dir.



Resim 1. Çalışmada kullanılan kök kanal patları

Çalışmada kullanılacak kök kanal patlarının kompozisyonu SEM-EDS analiziyle incelenmiştir. SEM-EDS analizi ile patların elemental içeriğinin bilinmesi, ısı uygulaması sonrası oluşabilecek değişikliklerin yorumlanmasına olanak tanımaktadır.

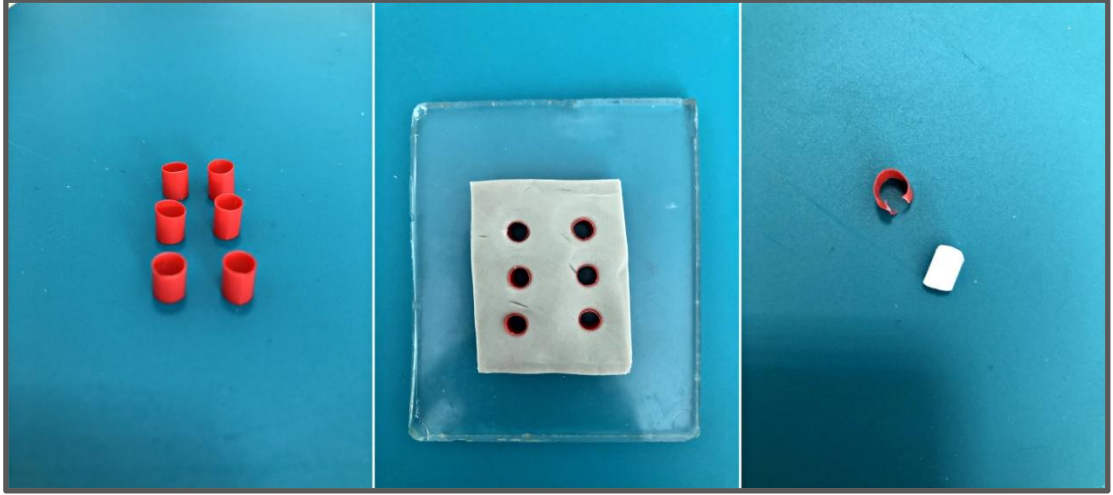
Sıcak güta perka dolum teknikleri sırasında oluşan ısının, patların kimyasal özellikleri üzerine etkisi 37°C, 100°C ve 200°C'de test edilerek değerlendirilmiştir. Isı sonrası oluşan kimyasal değişimler XRD ve FT-IR analizleriyle incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan patların içeriği (Tablo 1);

Kanal Dolgu Patı	İçeriği	Üretici Firma
AH Plus	Paste A: Bisfenol-A epoksi rezin, Bisfenol-F, epoksi rezin, kalsiyum tungstat, silica, zirkonyum oksit, demir oksit pigmentleri Paste B: Dibenzildiamin, aminoadamantan, trisiklodekan-diamin, kalsiyum, tungstat, zirkonyum oksit, silica, silikon yağı.	Dentsply, De Trey, Konstanz, Germany
MTA Fillapex	Baz: Salisilat rezin, doğal rezin, kalsiyum tungstat, nanopartiküllü silica, pigmentler. Katalizör: Yoğunluğu azaltılmış rezin, MTA, nanopartiküllü silica, pigmentler.	Angelus Industria de Produtos Odontologicos S/A, Londrina, Brazil
CeraSeal	Kalsiyum silikatlar, zirkonyum oksit ve kıvam arttırıcı maddeler	(Meta Biomed Co., Cheongju, Korea)

5.1. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektrometresi (EDX) Analizi

Çalışmada kullanılmak üzere 4mm yükseklik, 4mm çapı olan polipropilen kalıplar hazırlanmıştır. Polipropilen kalıplar, patların yerleştirilmesi esnasında kolay manipülasyonu ve kalıp şekillerinin deformasyonunu engellemek amacıyla silikon içerisine gömülmüştür. Kanal patları, otoklavda steril edilmiş el aletleri ile siman camı üzerinde firmaların önerdiği şekilde karıştırılarak bu kalıplara yerleştirilmiştir. Önceden silikon içerisine gömülerek desteklenmiş polipropilen kalıplar bir cam plaka üzerine yerleştirilmiştir. Nemli bir kağıt havlu üzerine aktarılmış numuneler 37°C ve %100 nemli ortamda 2 gün boyunca inkübatörde bekletilmiştir. Örnekler kalıplardan zarar görmeyecek şekilde çıkarılmıştır (Resim 2).



Resim 2. Çalışmada kullanılan polipropilen kalıplar, silikon içerisine gömülmüş halleri ve elde edilen numune örneği

Örneklerin analizi Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Biyomedikal Görüntüleme ve Tanı Sistemleri Geliştirme Laboratuvarında yapılmıştır. Örnekler, karbon bantlar aracılığıyla numune tutucuya monte edildikten sonra altın kaplama cihazında (Quorum SC7620) 180 saniye 20 mA altın-palladyum ile kaplanmıştır (Resim 3). Kaplama yapılmış örnekler SEM cihazında (ZEISS EVO MA10, Almanya) (Resim 4), 15 kV voltajla, x1000, x2000, x5000 ve x10000 büyütmede incelenmiştir. SEM cihazında ikincil elektron (Secondary electrons) ve geri saçılan elektron (Back-scattered electrons) dedektörleri ile mikrofotograflar alınmıştır. İkincil elektron görüntüleme ile örneklerin yüzey özellikleri; geri saçılan elektron görüntüleme ile yüzeyin derin bölgelerinden ve atomik kompozisyona bağlı olarak değişen bileşimine dair bilgiler elde edilmiştir. Böylece farklı atom numarasına sahip atomların değişen parlaklığına bağlı olarak farklı kontrastta görüntüler elde edilmiştir.

Enerji dağılımlı X ışını spektroskopisi (EDS, EDX), örneklerin elemental analizi ve kimyasal karakterizasyonu için kullanılmıştır. Ölçüm için her gruptan 3 farklı nokta saptanarak ölçüm gerçekleştirilmiştir.



Resim 3. Altın kaplama cihazı ve örneklerin kaplanma aşaması



Resim 4. SEM-EDS cihazı

5.2. X Işını Kırınımı (XRD) Analizi

Kanal patları, otoklavda steril edilmiş el aletleri ile siman camı üzerinde firmaların önerdiği şekilde karıştırılarak hazırlanmıştır. Her bir pat için 3 grup oluşturulmuştur.

Birinci grup: Herhangi bir ısı uygulanmadan direkt 37°C’de %100 nemli ortamda 2 gün bekletilmiştir.

İkinci grup: 100°C sıcaklığa 1 dakika boyunca maruz bırakıldıktan sonra 37°C’de %100 nemli ortamda 2 gün bekletilmiştir.

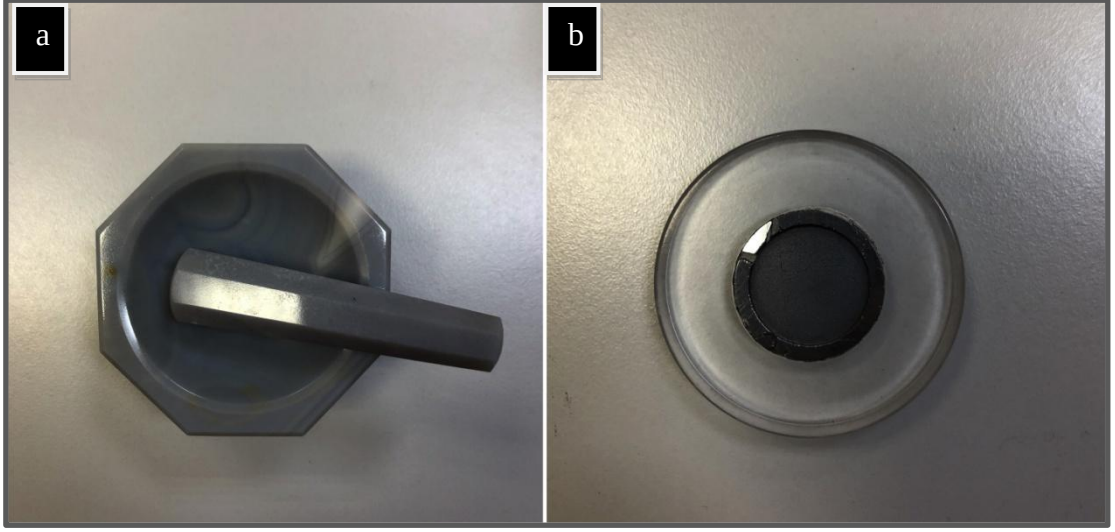
Üçüncü grup: 200°C sıcaklığa 1 dakika maruz bırakıldıktan sonra 37°C’de %100 nemli ortamda 2 gün bekletilmiştir.

Patlara sıcaklık uygulamak amacıyla fırın kullanılmıştır ve termometre ile sıcaklık ölçülerek örnekler hazırlanmıştır.

Örneklerin X-ışını kırınımı analizleri, Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü araştırma laboratuvarında yapılmıştır. Agat havanda toz haline getirilen örnekler, iç boyutu 20 mm çapında ve 0.1 mm yüksekliğinde olan özel numune tutuculara konulmuştur (Resim 5). Küçük bir cam ile örneklerin yüzeyleri düzgün hale getirildikten sonra cihazın özel örnek localarına yerleştirilmiştir. Örneklerin X-ışını kırınım spektrumları XRD cihazı (Bruker D2 Phaser, Karlsruhe, Germany) kullanılarak jeneratör akımı 10mA ve jeneratör gerilimi 30kV, $2\theta=10^{\circ}$ - 60° arasında alınmıştır. XRD ölçümleri monokromatik $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,54059\text{\AA}$) ışını ile gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen XRD difraktogramı, difraktometreye bağlı DIFFRAC EVA programında ve ICCD (International Center For Diffraction Data) verilerine göre değerlendirilmiştir. ICDD kartlarında bulunan maddeler ile karşılaştırma yapılarak fazlar belirlenmiştir. XRD analizi çekiminden sonra alınan sayısal verilerle Origin programında XRD grafikleri çizilmiştir.

XRD ile faz analizinin yanında degree of crystallinity (DOC) olarak da bilinen kristallik derecesi analizi yapılmıştır.



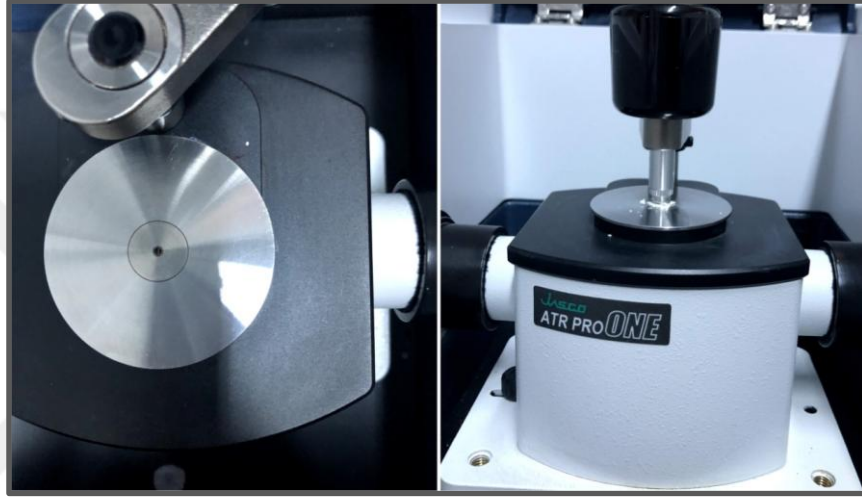
Resim 5. Örneklerin toz haline getirildiği havan ve örneklerin yerleştirildiği numune tutucu



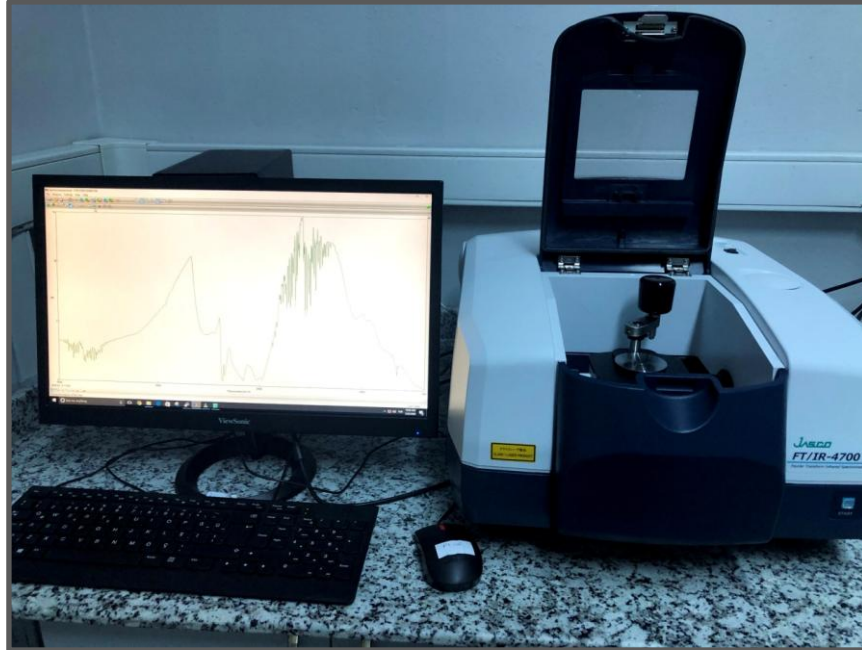
Resim 6. XRD cihazı

5.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi

Örneklerin analizi Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Biyomedikal Görüntüleme ve Tanı Sistemleri Geliştirme Laboratuvarında yapılmıştır. Örnekler agat havanda toz haline getirilmiştir. Toz haline getirme işleminden sonra Infrared Spektrometre cihazına (JASCO FT/IR-4700) yerleştirilerek spektroskopik grafikler elde edilmiştir ve bilgisayar ekranında dalga sayısına karşı absorpsanları ölçülmüştür.



Resim 7. FT-IR cihazında örneklerin yerleştirildiği bölüm



Resim 8. FT-IR spektrometre

6.BULGULAR

6.1.SEM-EDS Analizi

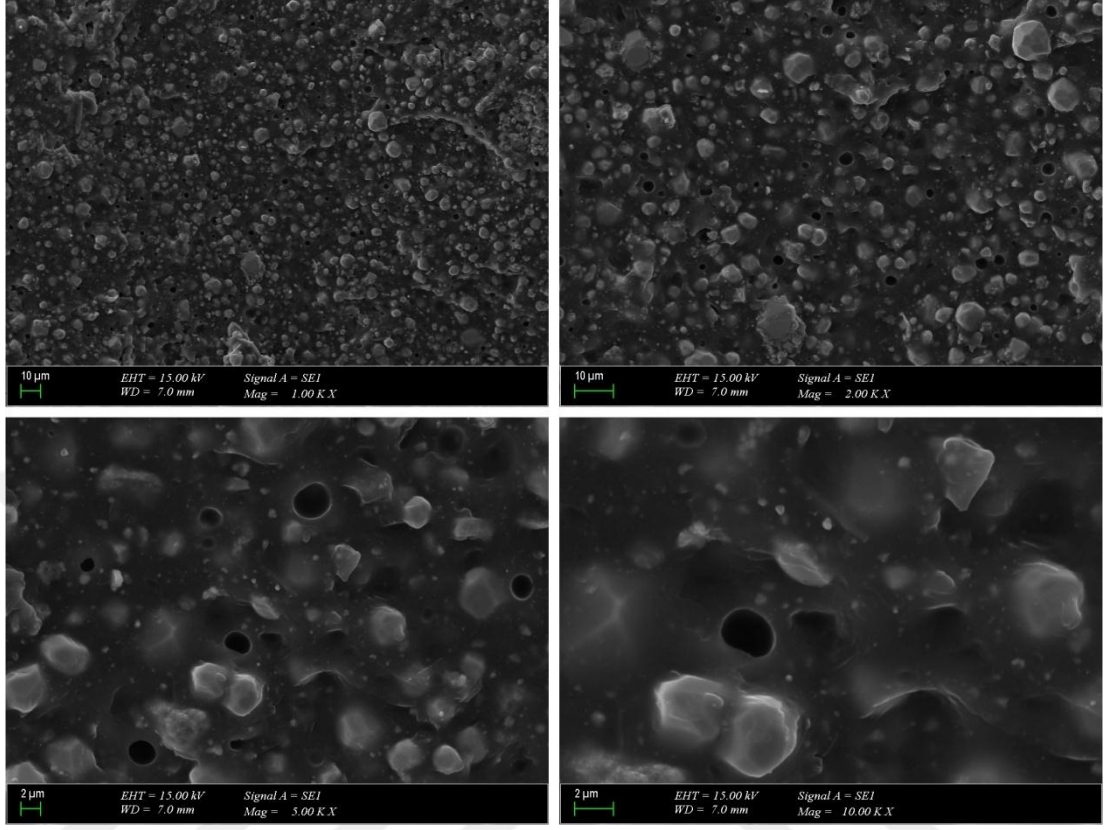
Örnekler SEM cihazı ile x1000, x2000, x5000 ve x10000 büyütmede incelenmiştir. SEM cihazında ikincil elektron (Secondary electrons) ve geri saçılan elektron (Back-scattered electrons) dedektörleri ile mikrofotograflar alınmıştır. İkincil elektron görüntüleme ile örneklerin yüzey özellikleri; geri saçılan elektron görüntüleme ile yüzeyin derin bölgelerinden ve atomik kompozisyona bağlı olarak değişen bileşimine dair bilgiler elde edilmiştir. Böylece farklı atom numarasına sahip atomların değişen parlaklığına bağlı olarak farklı kontrastta görüntüler elde edilmiştir. Örneklerin seçilmiş bölgelerinden alınan mikrofotograflar ile morfolojik özelliklerine dair bilgiler elde edilmiştir. Yapılan yüzey analizinde; yüzey düzgünlüğü, elementlerin dağılımı, partikül şekilleri ve ortalama boyutları değerlendirilmiştir.

SEM görüntüleri değerlendirilerek 3 farklı noktadan EDS analizi yapılmış ve patların içeriğindeki temel kimyasal elementler tanımlanmıştır.

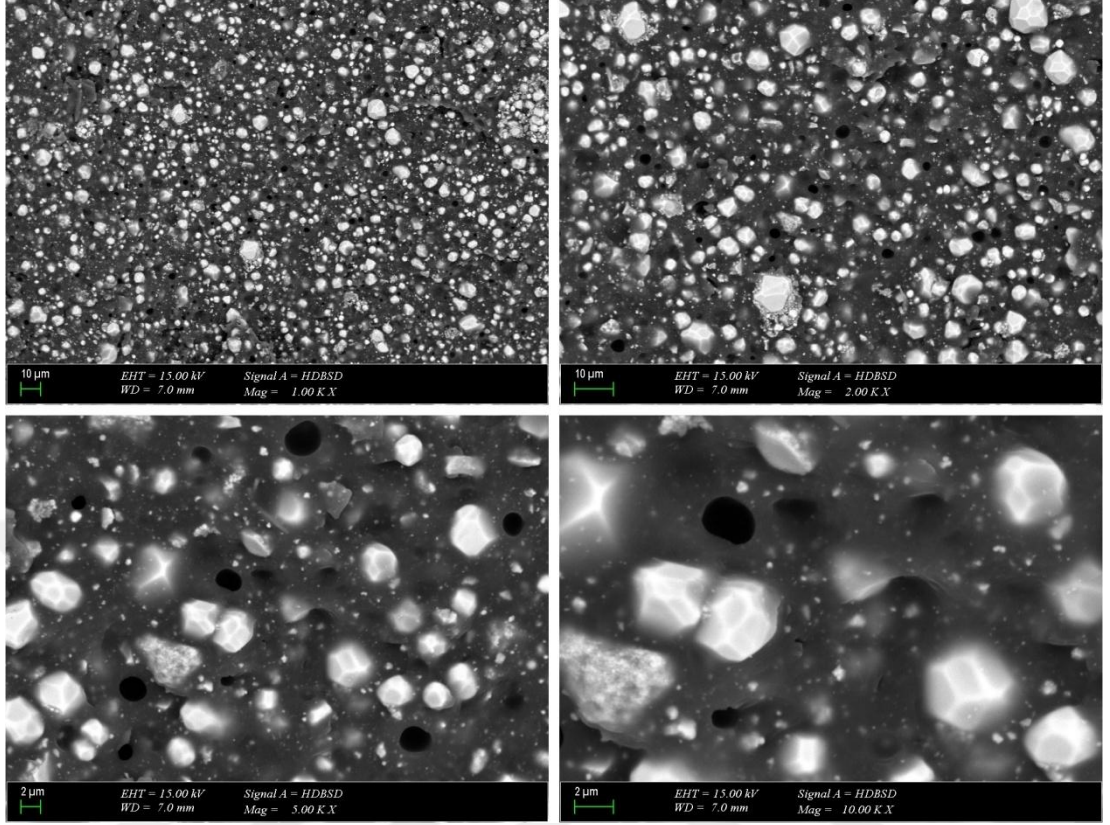
6.1.1. AH Plus grubuna ait bulgular

AH Plus kompakt ve homojen yüzey özellikleri göstermektedir. SEM ile alınan görüntülerde, düzenli, birbirine yakın ve küresel şekilli partiküllere sahip olduğu görülmüştür. Diğer patlara kıyasla daha uniform ve daha küçük parçacık boyutlarına sahiptir.

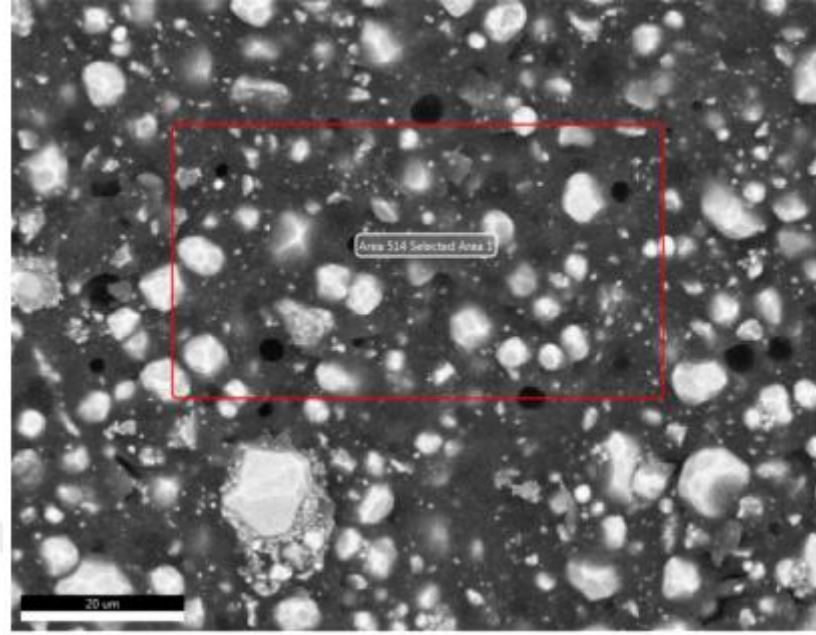
AH Plus'ın içeriğindeki temel elementler EDS analizi ile değerlendirilmiştir. Farklı noktalardan yapılan EDS analizi; karbon (C), oksijen (O), kalsiyum (Ca), zirkonyum (Zr), tungsten (W) ve silisyum (Si) elementlerine ait pikleri göstermektedir.



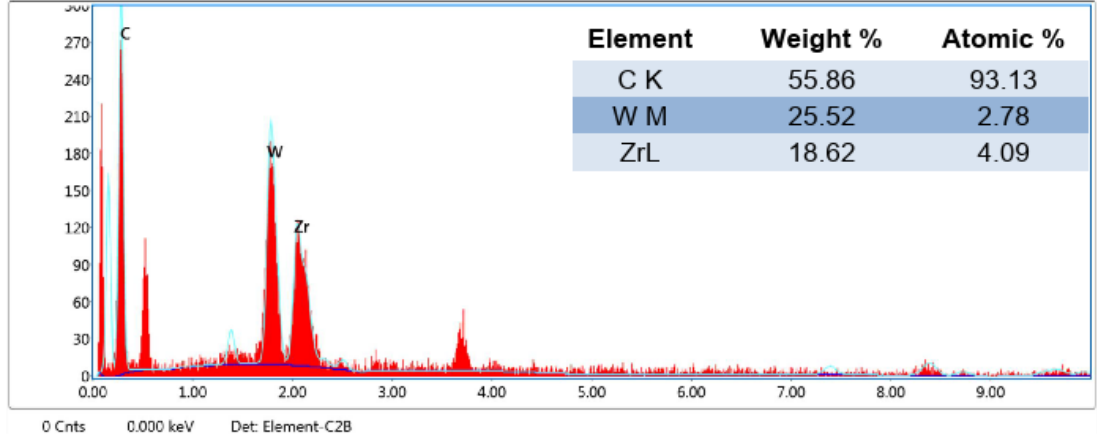
Resim 9. AH Plus: İkincil elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)



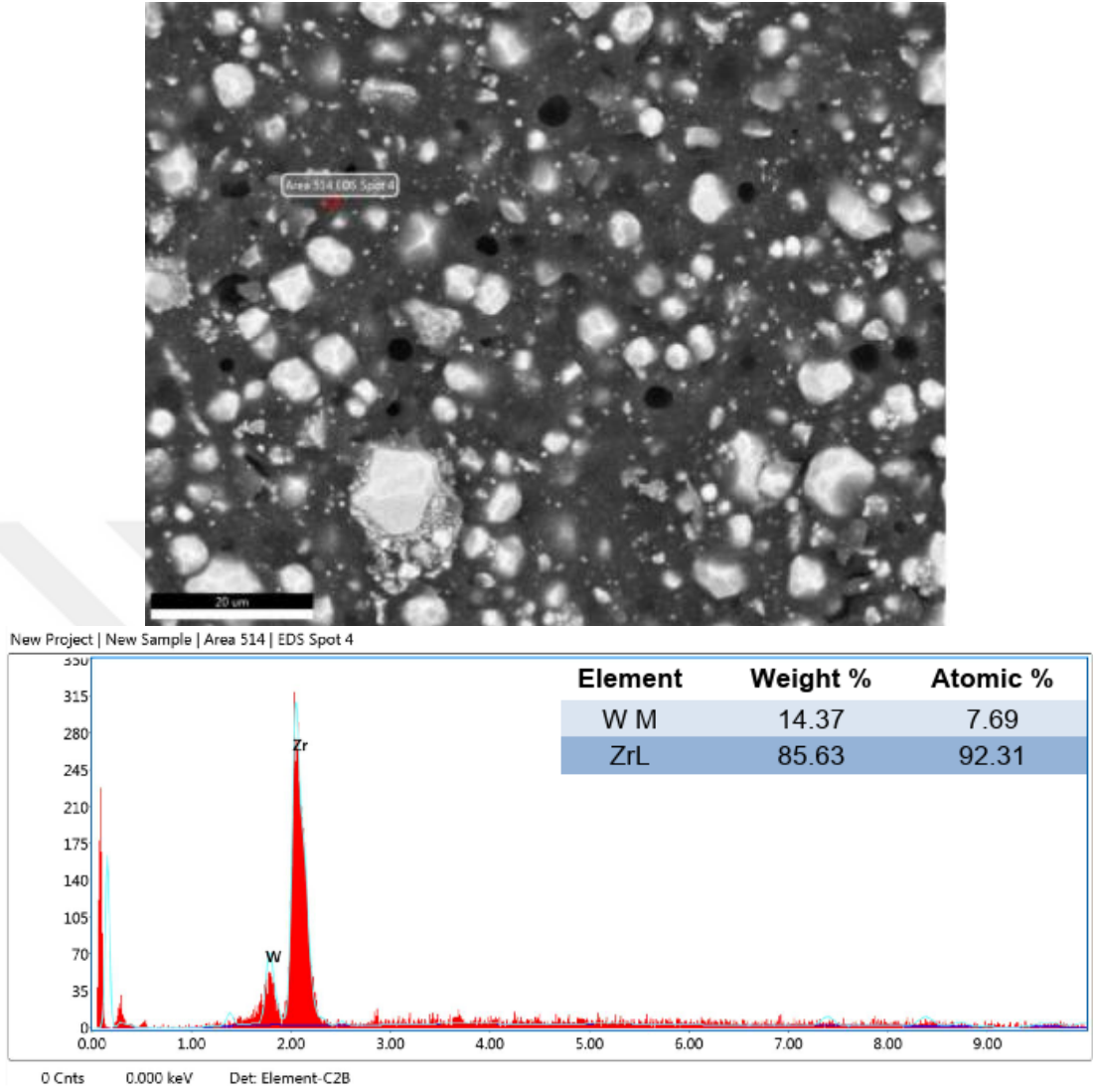
Resim 10. AH Plus: Geri saçılan elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)



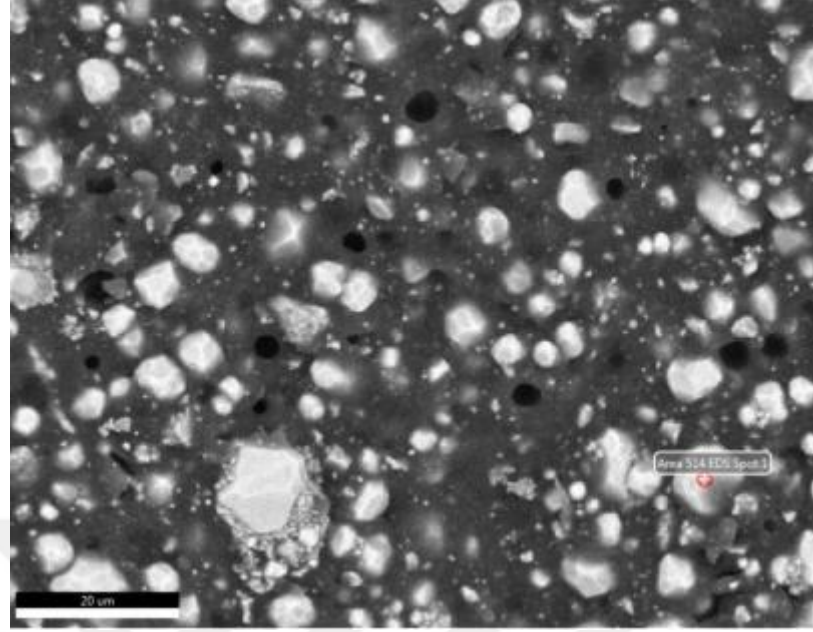
New Project | New Sample | Area 514 | Selected Area 1



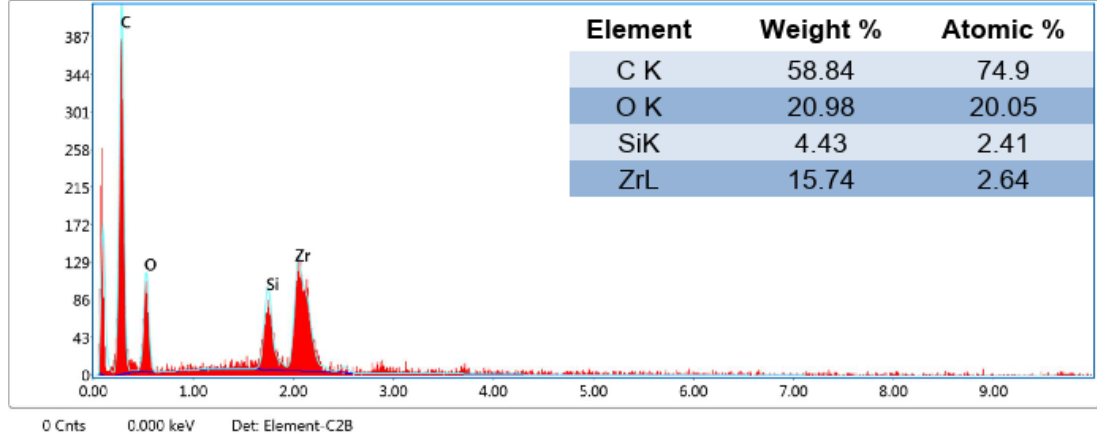
Şekil 6. AH Plus SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları



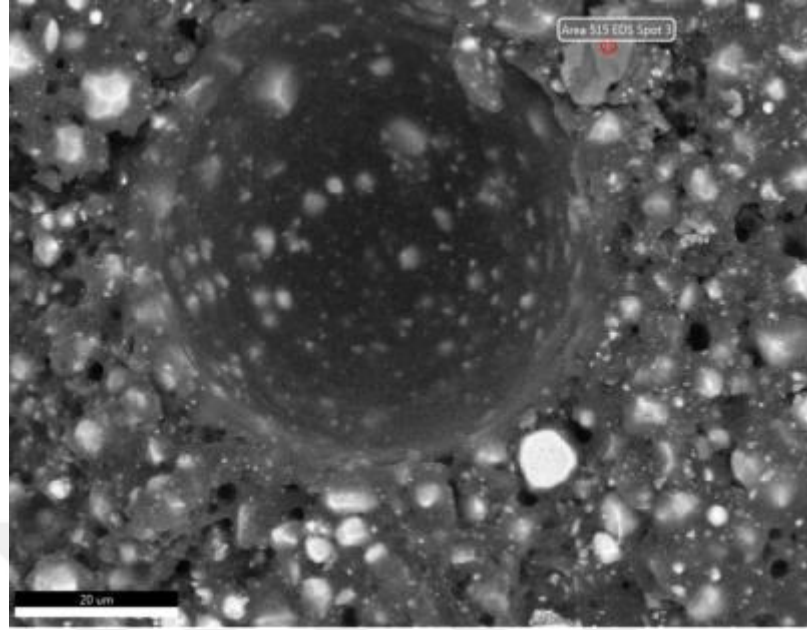
Şekil 7. AH Plus SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları



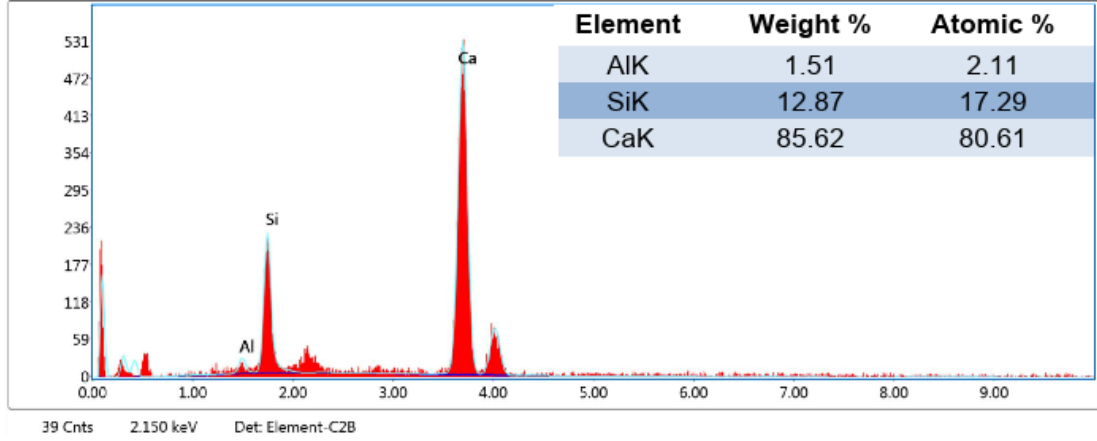
New Project | New Sample | Area 514 | EDS Spot 1



Şekil 8. AH Plus SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları



New Project | New Sample | Area 515 | EDS Spot 3

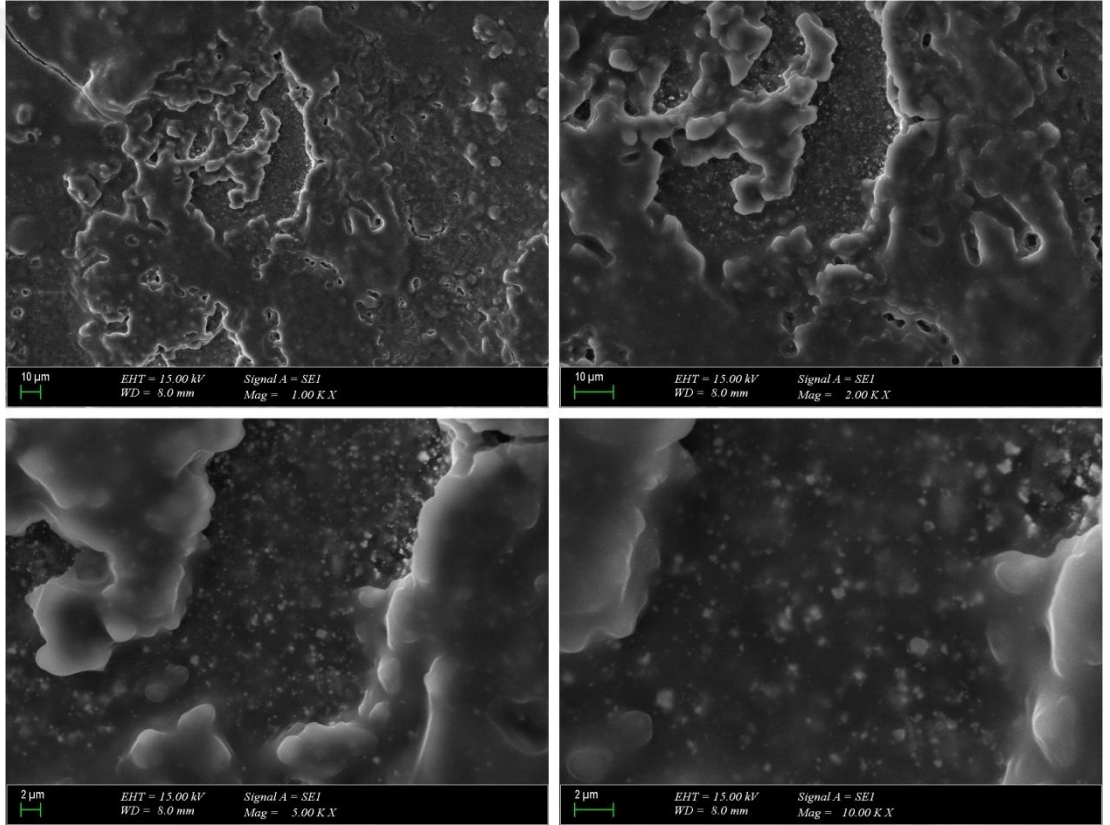


Şekil 9. AH Plus SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

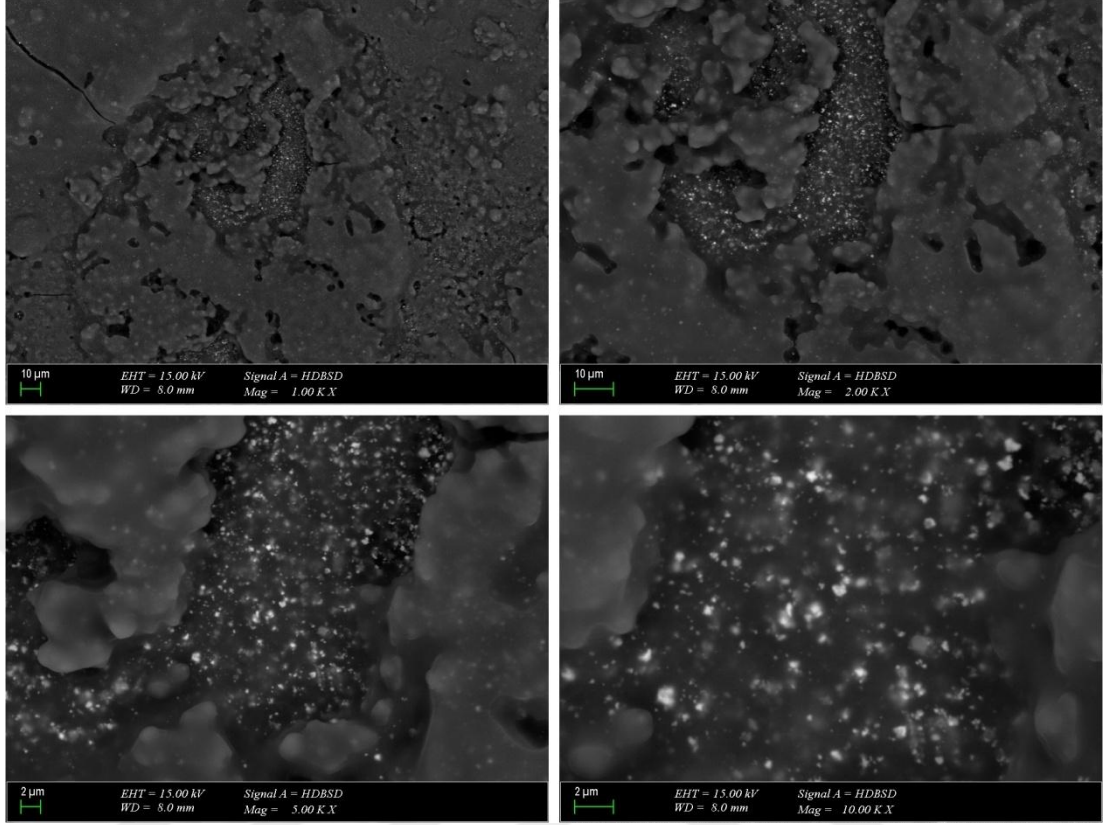
6.1.2. MTA Fillapex grubuna ait bulgular

MTA Fillapex, pürüzlü ve homojen olmayan bir yüzeye sahiptir. Alınan SEM görüntülerinde çeşitli boyutta ve şekillerde partiküller görülmüştür.

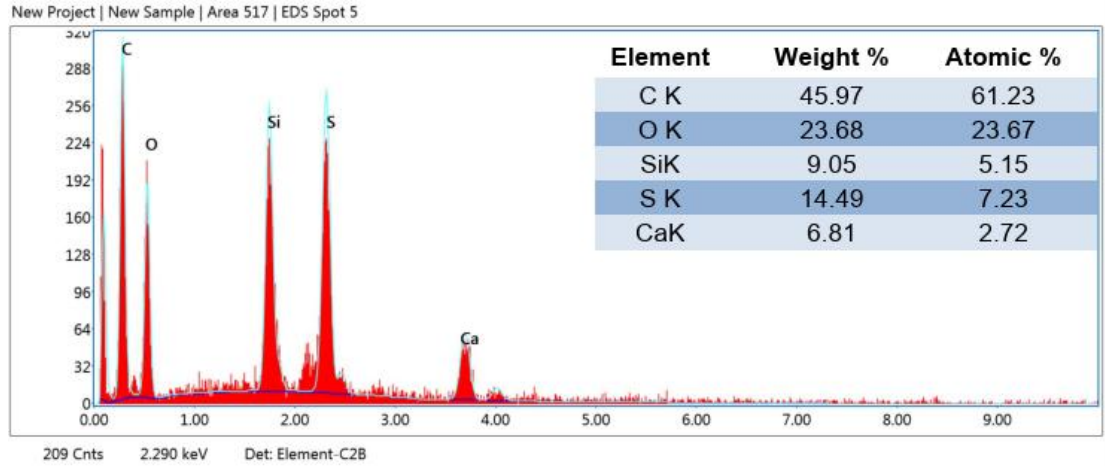
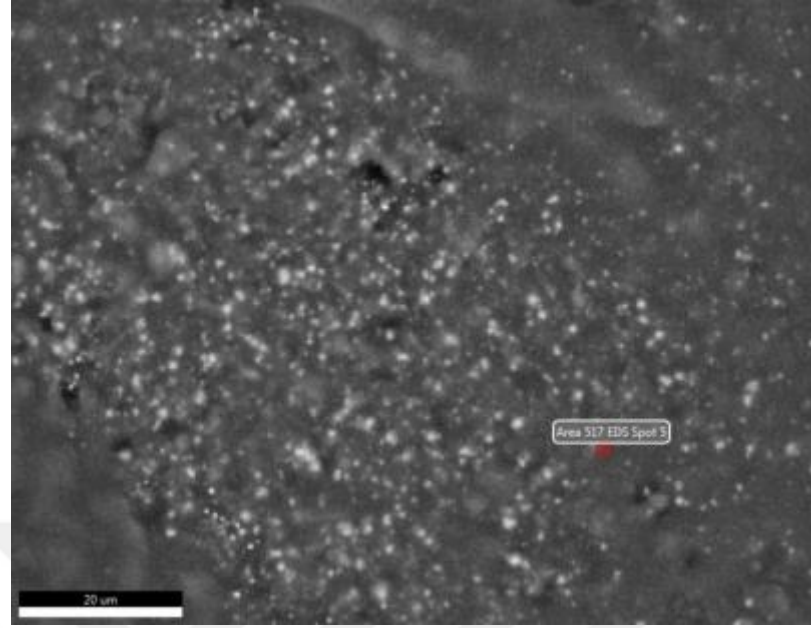
MTA Fillapex'in içeriğindeki temel elementler EDS analizi ile değerlendirilmiştir. Farklı noktalardan yapılan EDS analizi; karbon (C), oksijen (O), kalsiyum (Ca), tungsten (W), silisyum (Si) ve kükürt (S) elementlerine ait pikleri göstermektedir.



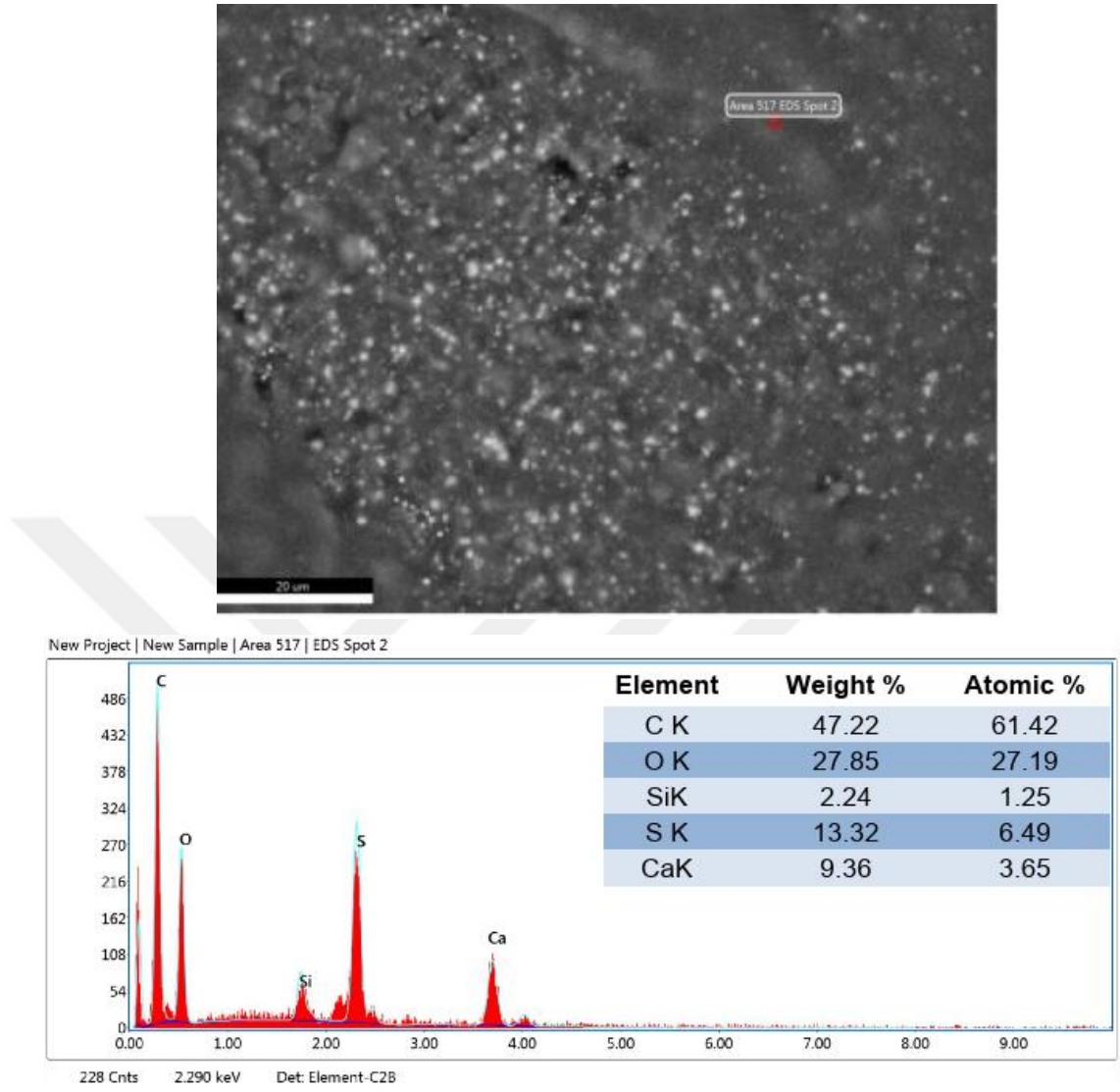
Resim 11. MTA Fillapex: İkincil elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)



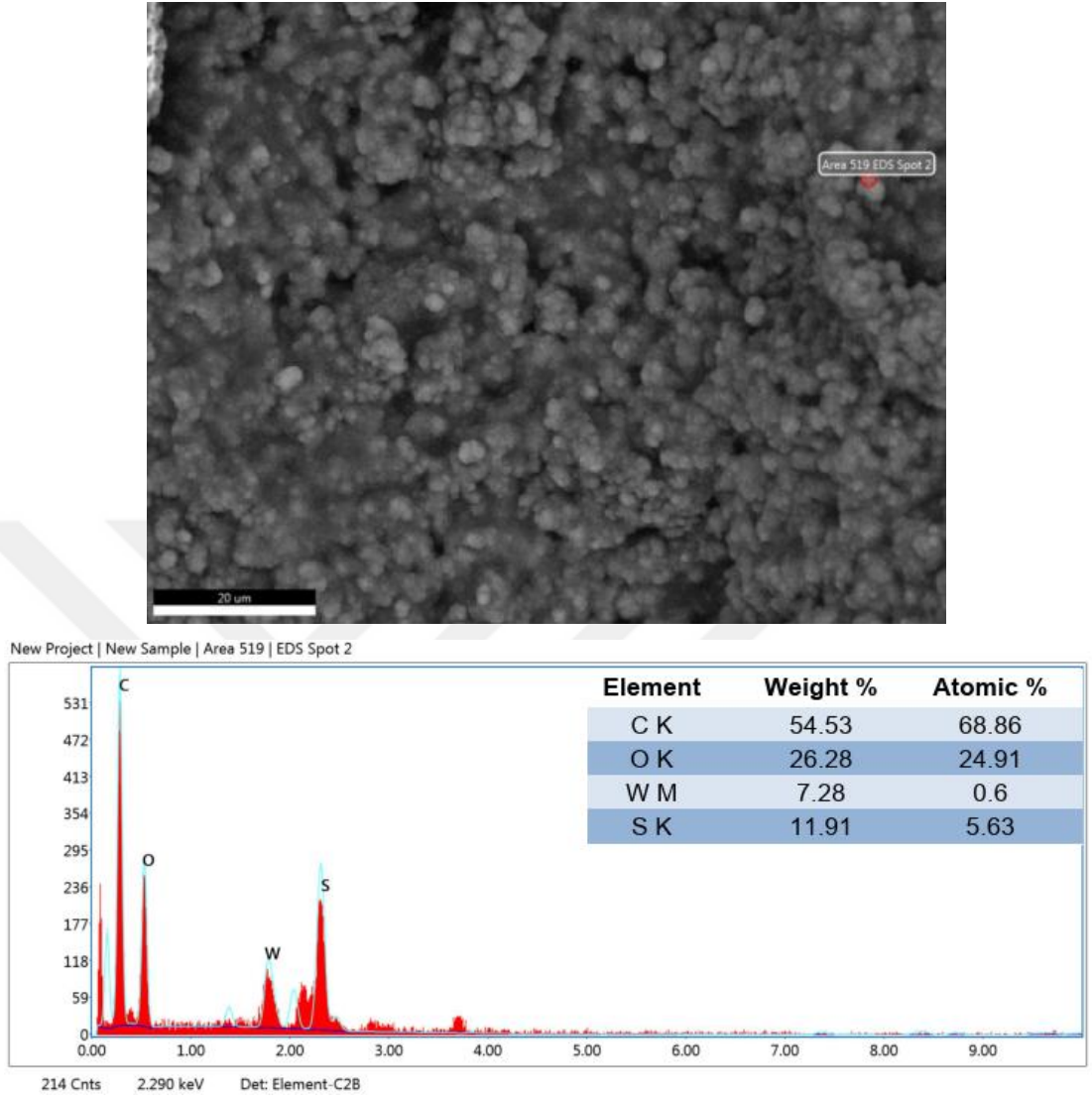
Resim 12. MTA Fillapex: Geri saçılan elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)



Şekil 10. MTA Fillapex SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları



Şekil 11. MTA Fillapex SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

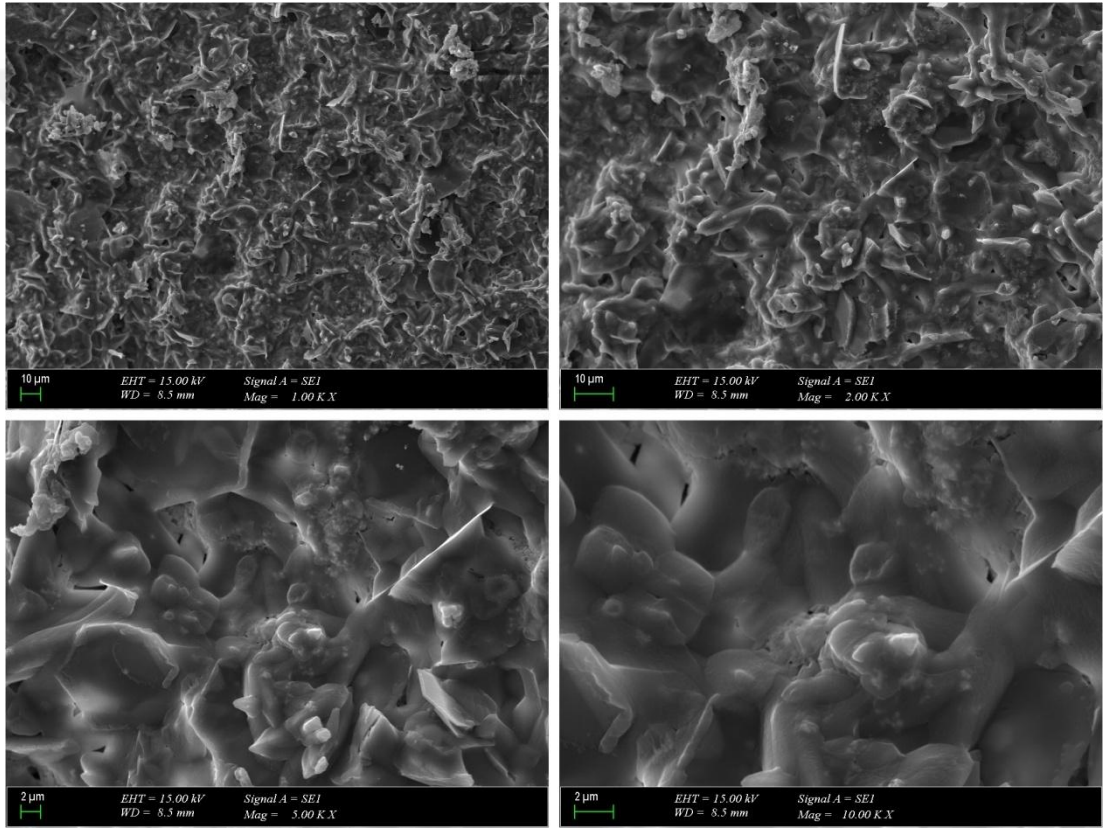


Şekil 12. MTA Fillapex SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

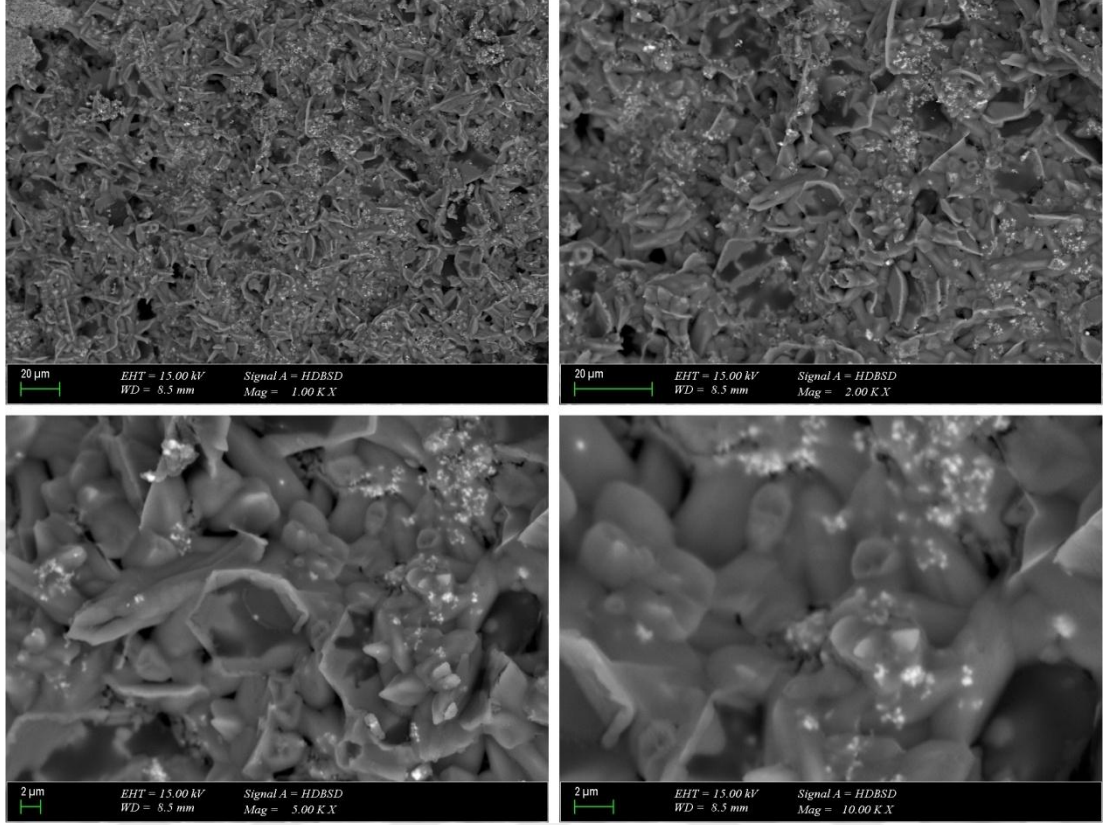
6.1.3. CeraSeal grubuna ait bulgular

CeraSeal pürüzlü bir yüzeye sahiptir. Alınan SEM görüntülerinde çeşitli boyutta ve şekillerde partiküller görülmüştür. İğnemsî şekilde partiküller çoğunluktadır.

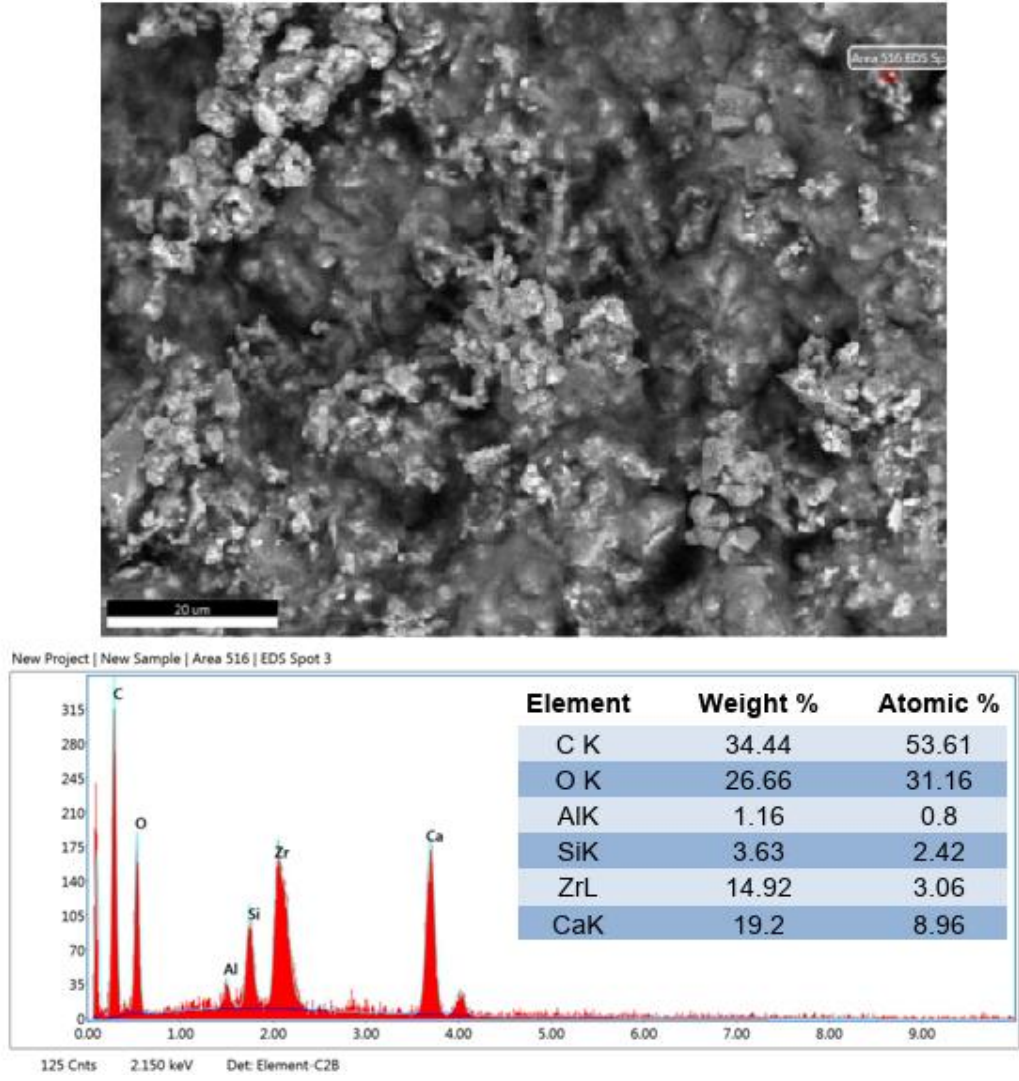
CeraSeal'in içeriğindeki temel elementler EDS analizi ile değerlendirilmiştir. Farklı noktalardan yapılan EDS analizi; karbon (C), oksijen (O), kalsiyum (Ca), zirkonyum (Zr), silisyum (Si), fosfor (P) ve alüminyum (Al) elementlerine ait pikleri göstermektedir.



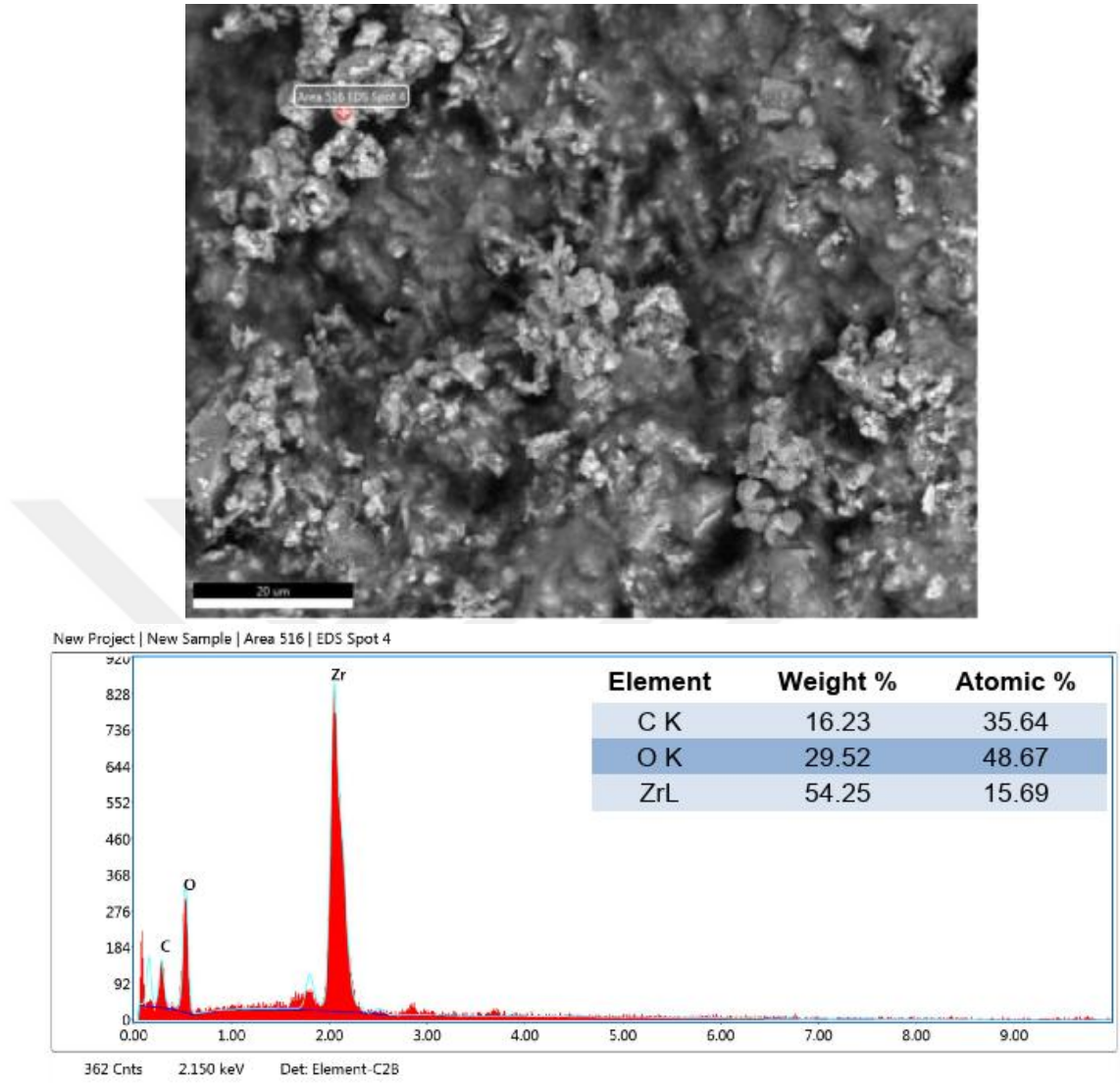
Resim 13. CeraSeal: İkincil Elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)



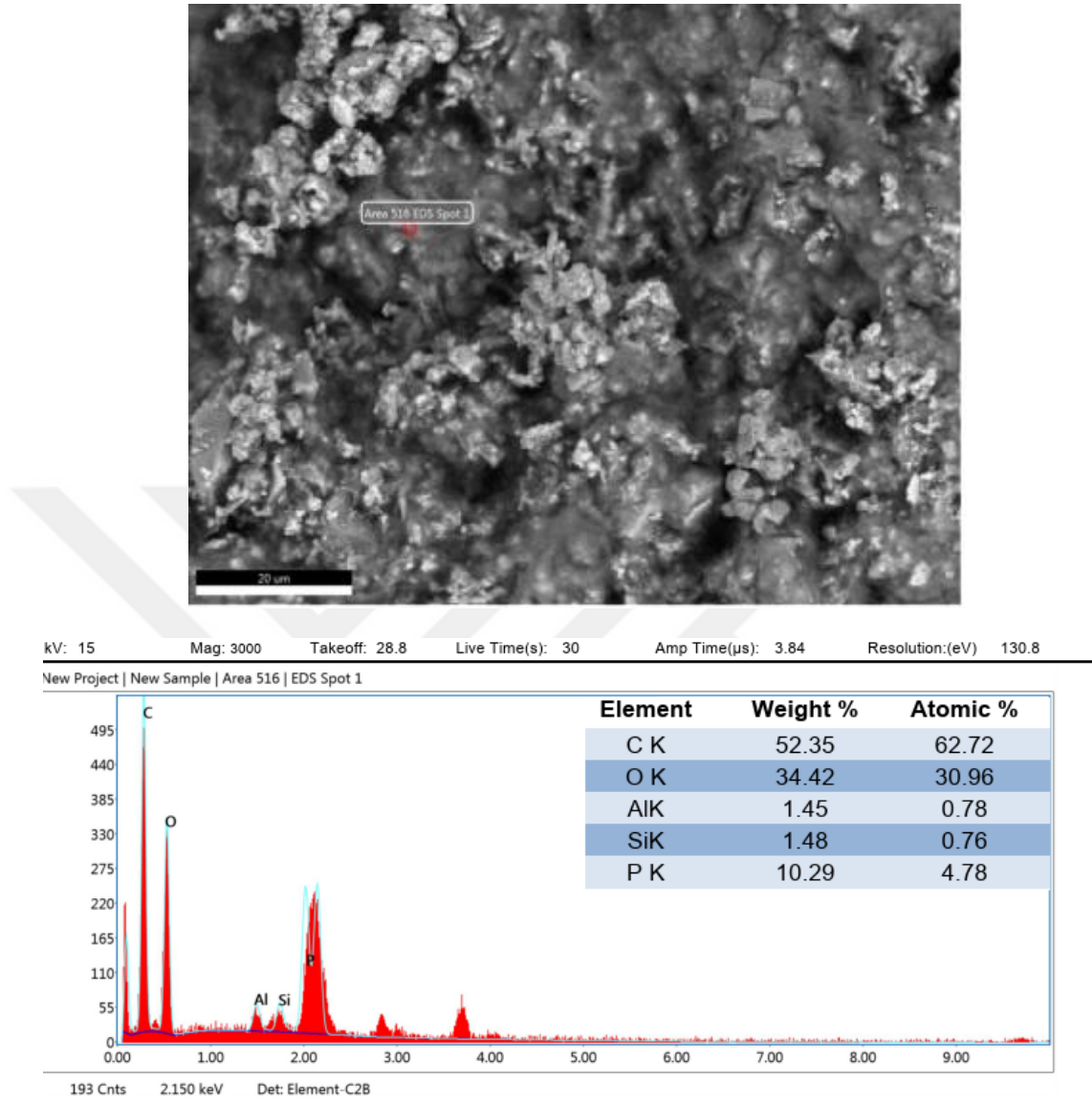
Resim 14. CeraSeal: Geri saçılan elektron dedektörleri kullanılarak alınan SEM görüntüsü (1.00, 2.00, 5.00, 10.00 KX büyütme)



Şekil 13. CeraSeal SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları



Şekil 14. CeraSeal SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları



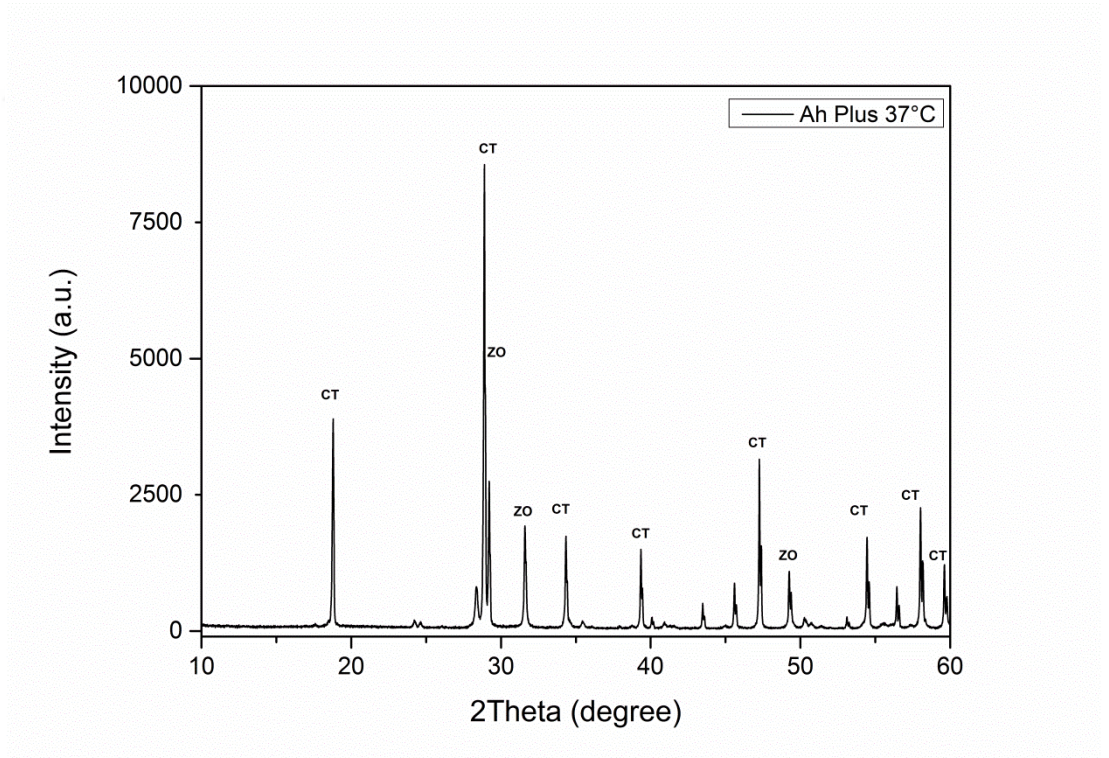
Şekil 15. CeraSeal SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları

6.2. XRD Analizi

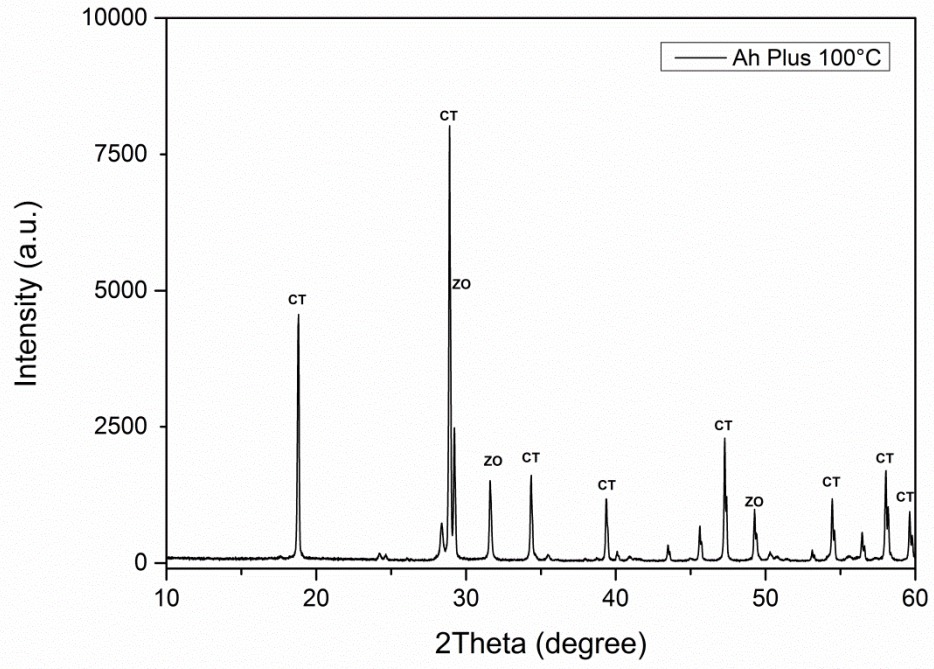
6.2.1. AH Plus grubuna ait bulgular

AH Plus grubu için X-ışını kırınımı desenine ait grafiklerde kalsiyum tungstat ve zirkonyum oksit fazlarına ait belirgin pikler görülmüştür. Kalsiyum tungstat için (ICDD: 01-072-0257) 18.6347, 28.7436, 34.2043, 39.2300, 47.1499, 54.3474, 57.9366, 59.5277° 2 θ değerlerinde pikler görülmüştür. Zirkonyum oksit için (ICDD: 00-002-0536) 28.0597, 31.3878° 2 θ değerlerinde pikler görülmüştür.

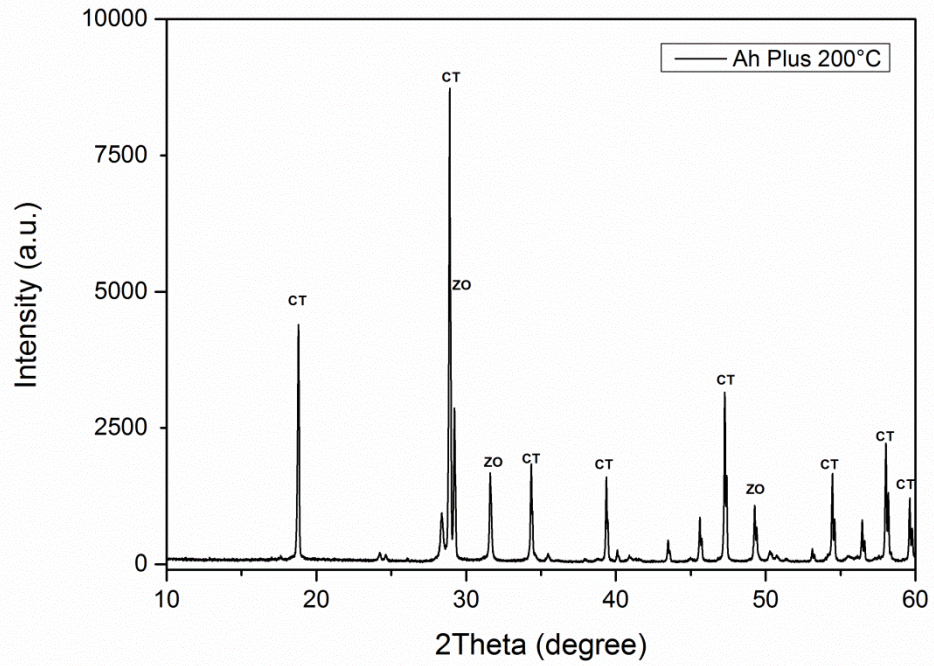
AH Plus grubunda 37°C, 100°C ve 200°C sıcaklıklarda hazırlanan örneklerin XRD sonuçları şekil 16, 17, 18, 19 ve 20'de görülmektedir. Farklı sıcaklıklarda X-ışını kırınım analiz sonuçları arasında fark görülmemiştir. Tüm grafiklerde aynı fazlar mevcut olup, herhangi bir fazda etkilenme olmamıştır. Yüksek sıcaklık AH Plus kök kanal patının kristal yapısında değişime neden olmamıştır.



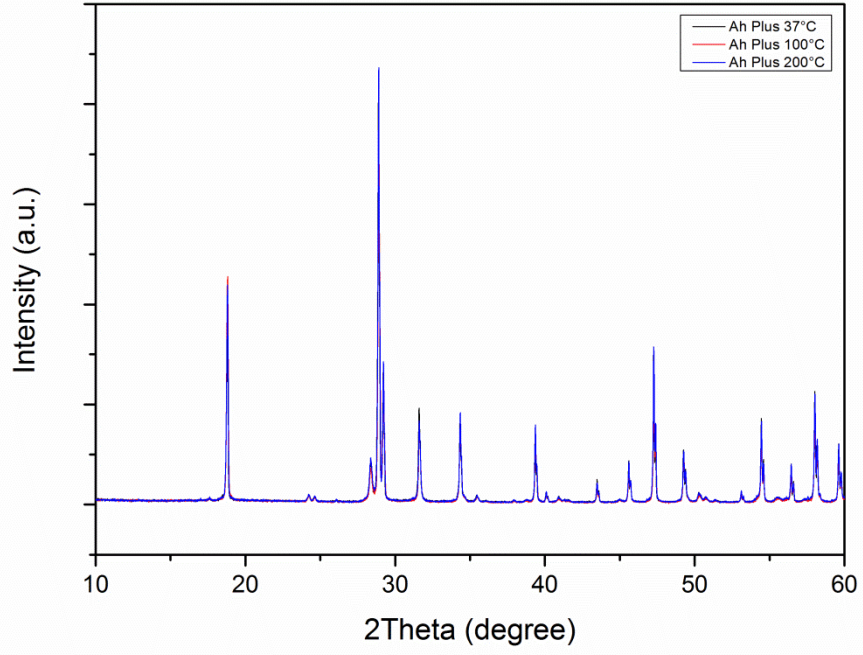
Şekil 16. AH Plus 37°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



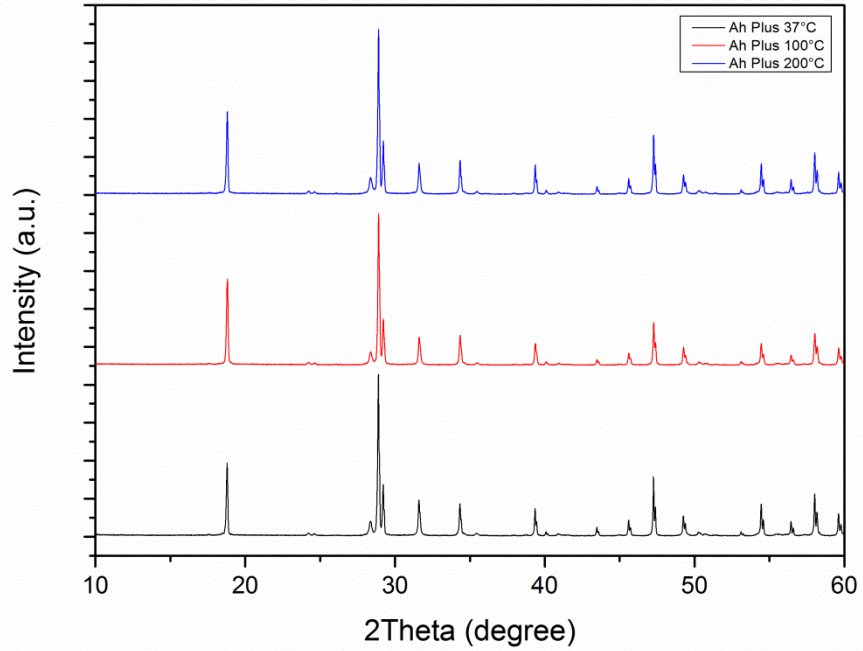
Şekil 17. AH Plus 100°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



Şekil 18. AH Plus 200°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



Şekil 19. AH Plus 37°C, 100°C ve 200°C’de Karşılaştırılmalı X-Işını Kırınım analizi sonuçları



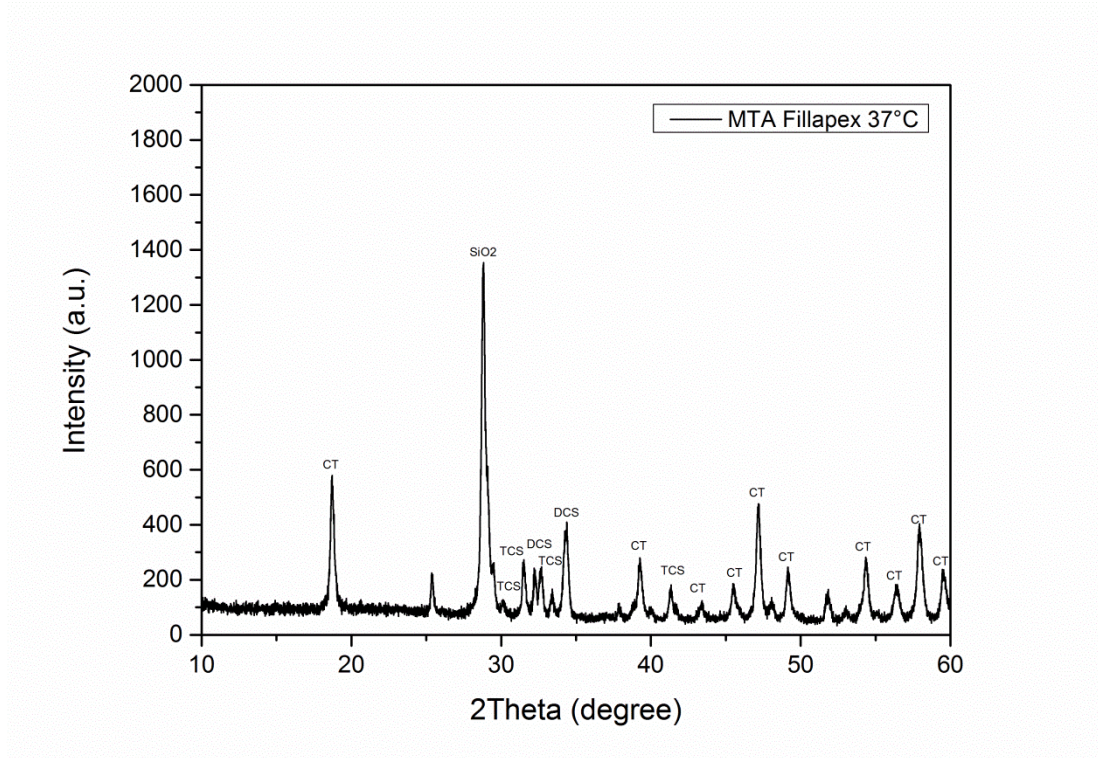
Şekil 20. AH Plus 37°C, 100°C ve 200°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

6.2.2. MTA Fillapex grubuna ait bulgular

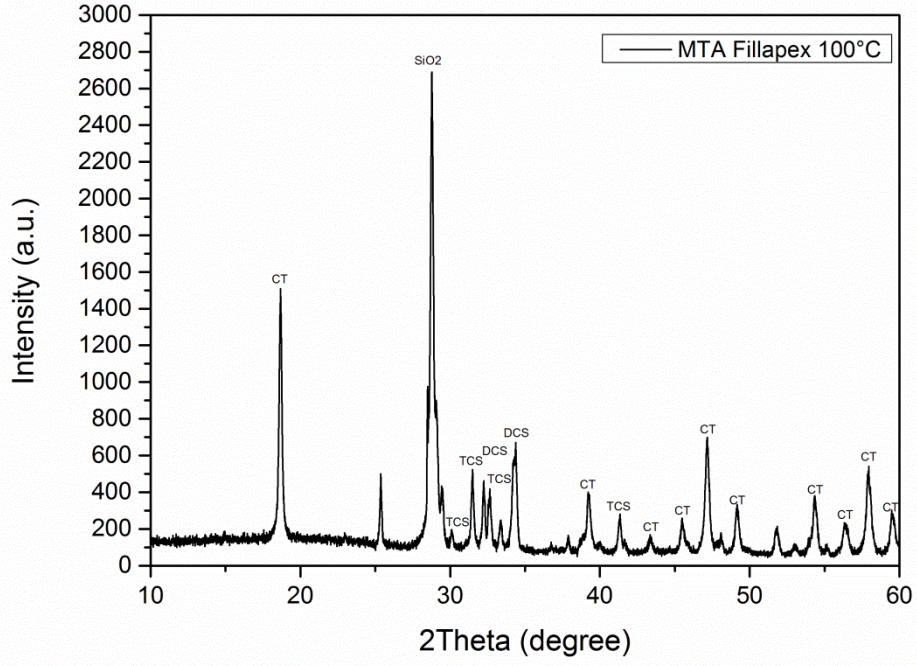
MTA Fillapex grubu için X-ışını kırınım desenlerine ait grafiklerde trikalsiyum silikat (mineral adı: hatrurite), dikalsiyum silikat, kalsiyum silikat, silikon oksit (mineral adı: coesite) ve kalsiyum tungstatın (mineral adı: Scheelite) ana fazları oluşturduğu görülmektedir.

Trikalsiyum silikat (ICDD:01-073-0599) fazına ait pikler 29.4495, 32.2603, 32.6266, 34.4064, 38.8023, 41.3468, 51.8236° 2 θ , kalsiyum silikat (ICDD:00-003-0753) fazına ait pikler 32.1994, 32.6825, 34.2245, 41.4194° 2 θ , dikalsiyum silikat (ICDD:01-072-1660) fazına ait pikler 29.3779, 32.2679, 32.693, 47.4360° 2 θ , silikon oksit (ICDD:00-014-0654) fazına ait pikler 25.9773, 28.8945° 2 θ , kalsiyum tungstat fazına ait pikler (ICDD: 01-072-0257) 18.6347, 28.7436, 34.2043, 39.2300, 47.1499, 54.3474, 57.9366, 59.5277° 2 θ değerlerinde görülmektedir.

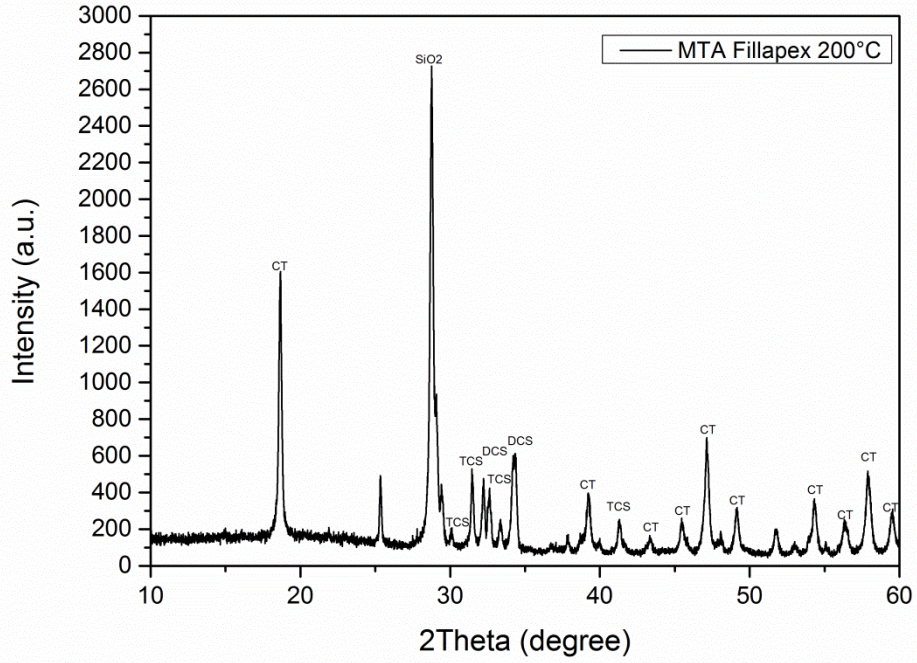
Farklı sıcaklıklarda MTA Fillapex'e ait örneklerin XRD sonuçları şekil 21, 22 ve 23'de görülmektedir. Üç farklı sıcaklık değerinin karşılaştırıldığı Şekil 24 ve şekil 25 oluşan fazlarda bir değişim olmadığını göstermektedir.



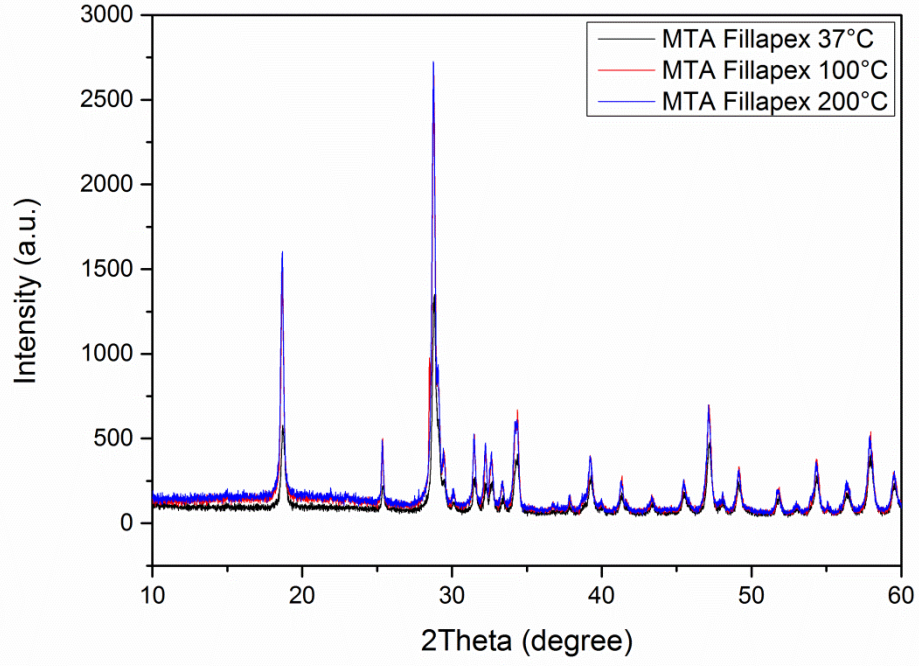
Şekil 21. MTA Fillapex 37°C'de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



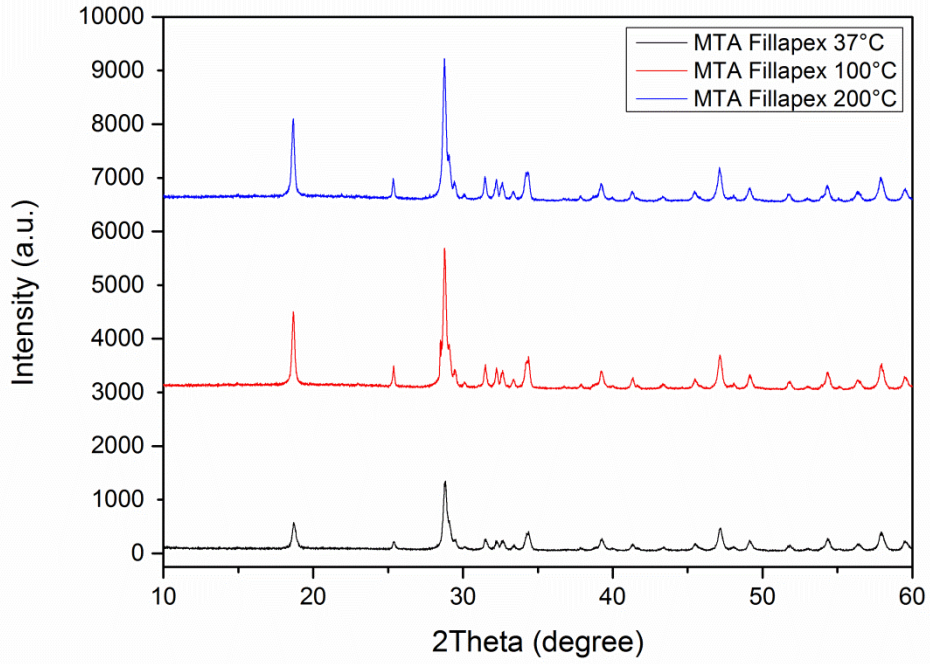
Şekil 22. MTA Fillapex 100°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



Şekil 23. MTA Fillapex 200°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



Şekil 24. MTA Fillapex 37°C, 100°C ve 200°C’de karşılaştırmalı X-Işını Kırınım analizi sonuçları



Şekil 25. MTA Fillapex 37°C, 100°C ve 200°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

6.2.3. CeraSeal grubuna ait bulgular

CeraSeal grubu için X-ışını kırınım desenlerine ait grafiklerde zirkonyum oksit, kalsiyum silikat (mineral ismi: hatrurite) ve kalsiyum hidroksit (mineral ismi: portlandite) fazlarına ait pikler görülmüştür.

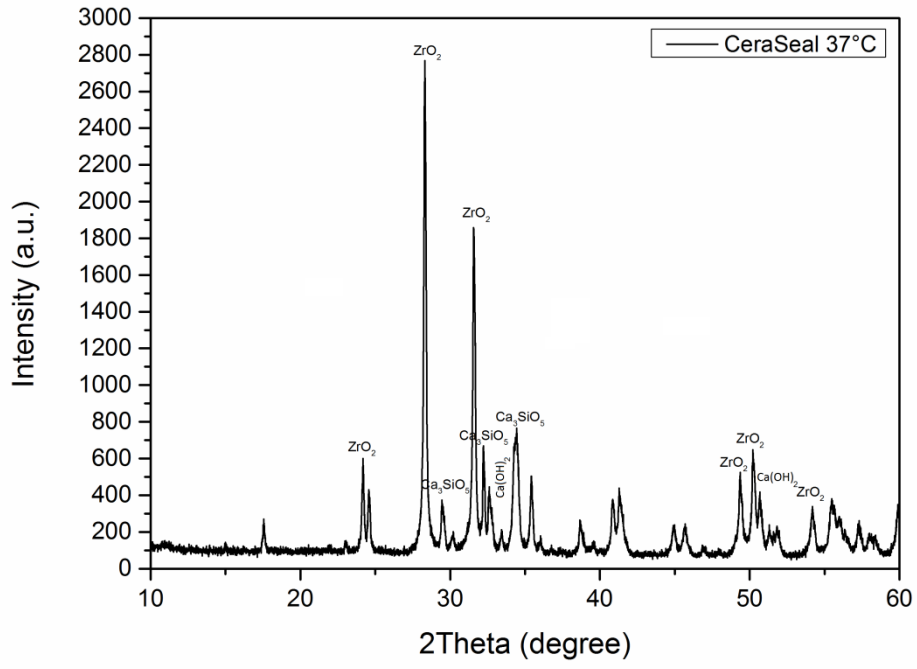
Zirkonyum oksit (ICDD:00-005-0543) fazına ait pikler 24.2517, 28.0597, 31.3878, 49.4255, 50.2992, 54.1759° 2 θ değerlerinde görülmüştür.

Kalsiyum silikat (ICDD: 01-073-0599) fazına ait pikler 29.4495, 32.6266, 34.4064° 2 θ değerlerinde görülmüştür.

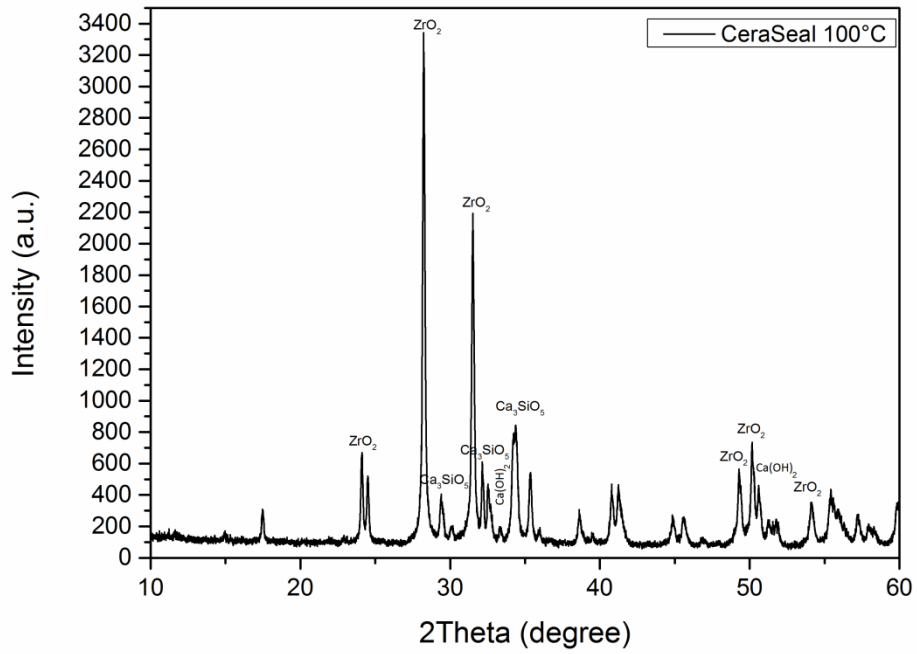
Kalsiyum hidroksit (ICDD: 00 002 0967) fazına ait pikler 34.0903, 47.0864, 50.7180° 2 θ değerlerinde görülmüştür.

Farklı sıcaklıklarda CeraSeal ile hazırlanan örneklerin XRD sonuçları şekil 26, 27, 28, 29 ve 30'da görülmektedir.

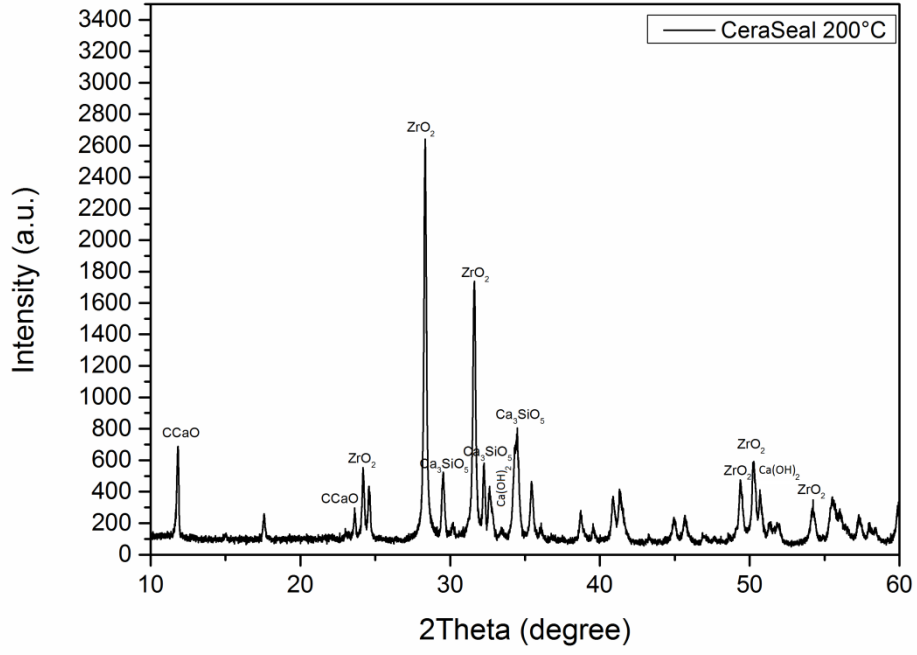
37°C, 100°C ve 200°C'de değerlendirilen CeraSeal grubunda X-ışını kırınım analiz sonuçlarına dair grafiklerde 3 ayrı sıcaklık değerinde ana fazlarda değişim olmadığı görülmüştür. Bütün numunelerde zirkonyum oksit (ICDD:00-005-0543), kalsiyum silikat (ICDD: 01-073-0599) ve Kalsiyum hidroksit (ICDD: 00 002 0967) ile karakterize tipik yansımalar görülmüştür. Yalnızca CeraSeal 200°C grubunda yeni bir faz ortaya çıkmıştır. Yeni oluşan kalsiyum okzalat krokonat hidrat (ICDD:00-060-1173) fazı 15.3995, 24.5080° 2 θ değerlerinde pik yapmıştır. Yüksek sıcaklık CeraSeal kök kanal patının kristal yapısında değişime neden olmuştur.



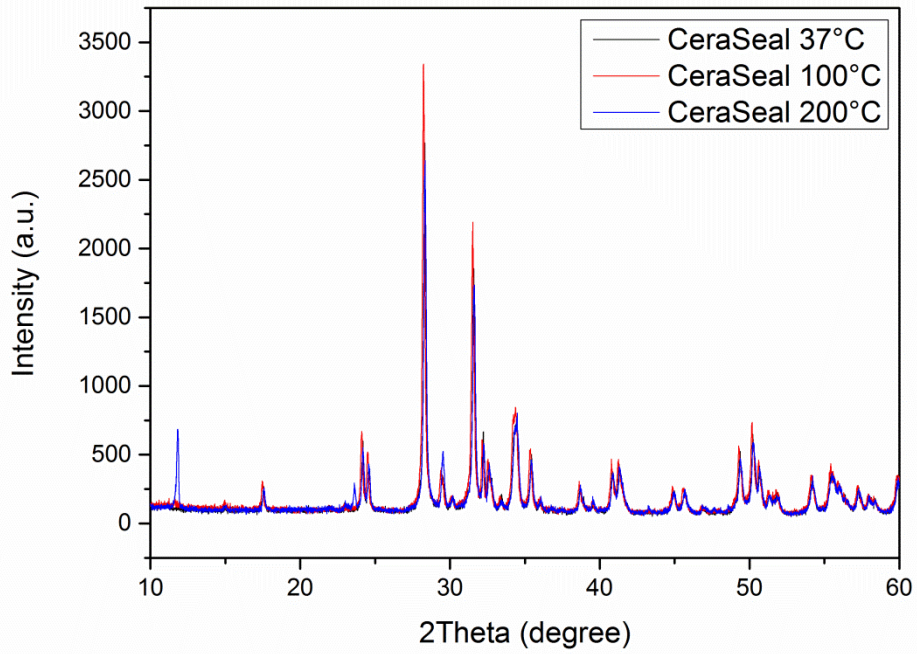
Şekil 26. CeraSeal 37°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



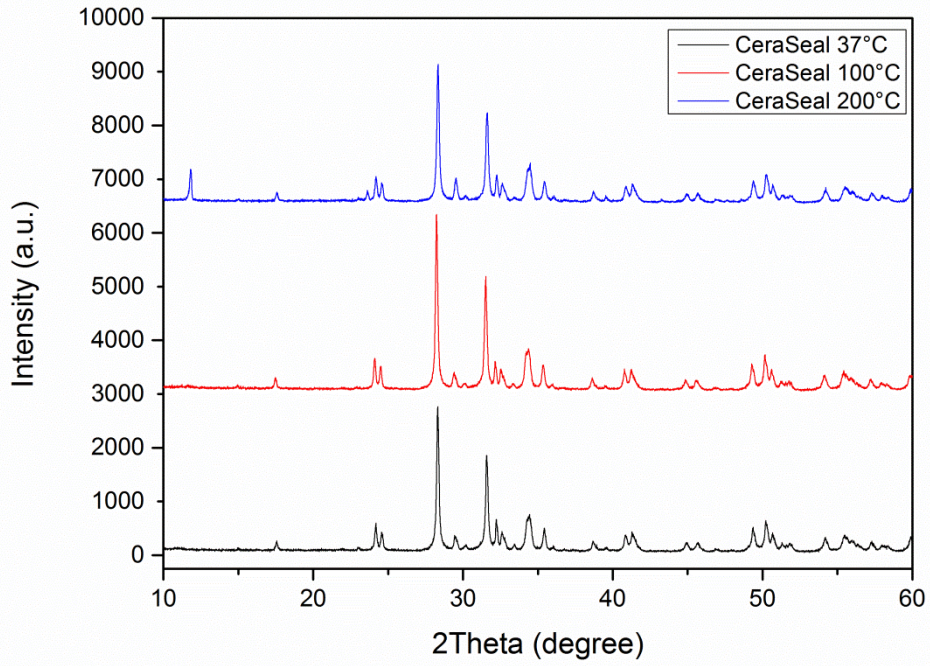
Şekil 27. CeraSeal 100°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



Şekil 28. CeraSeal 200°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları



Şekil 29. CeraSeal 37°C, 100°C ve 200°C karşılaştırmalı X-Işını Kırınım analizi sonuçları



Şekil 30. CeraSeal 37°C, 100°C ve 200°C’de X-Işını Kırınım analizi sonuçları

	37°C	100°C	200°C
Kristal	%91.7	%91.1	%90.5
Amorf	%8.3	%8.9	%9.5

Tablo 2. AH Plus Grubunun Farklı Sıcaklıklardaki Kristallik Derecesi

	37°C	100°C	200°C
Kristal	%84.4	%84.6	%80.6
Amorf	%15.6	%15.4	%19.4

Tablo 3. MTA Fillapex Grubunun Farklı Sıcaklıklardaki Kristallik Derecesi

	37°C	100°C	200°C
Kristal	%84.9	%84.5	%82
Amorf	%15.1	%15.5	%18

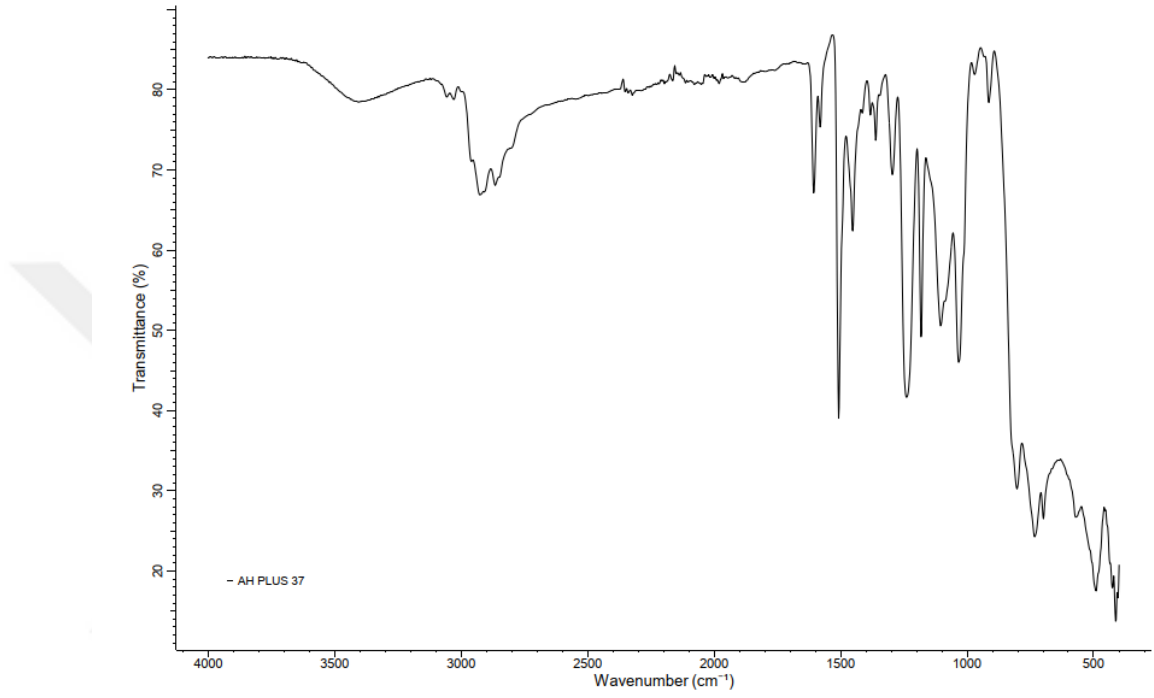
Tablo 4. CeraSeal Grubunun Farklı Sıcaklıklardaki Kristallik Derecesi

Tablolarda farklı sıcaklıklarda üç farklı kanal patının kristallik ve amorf fraksiyonlarının oranı yüzde olarak belirtilmiştir.

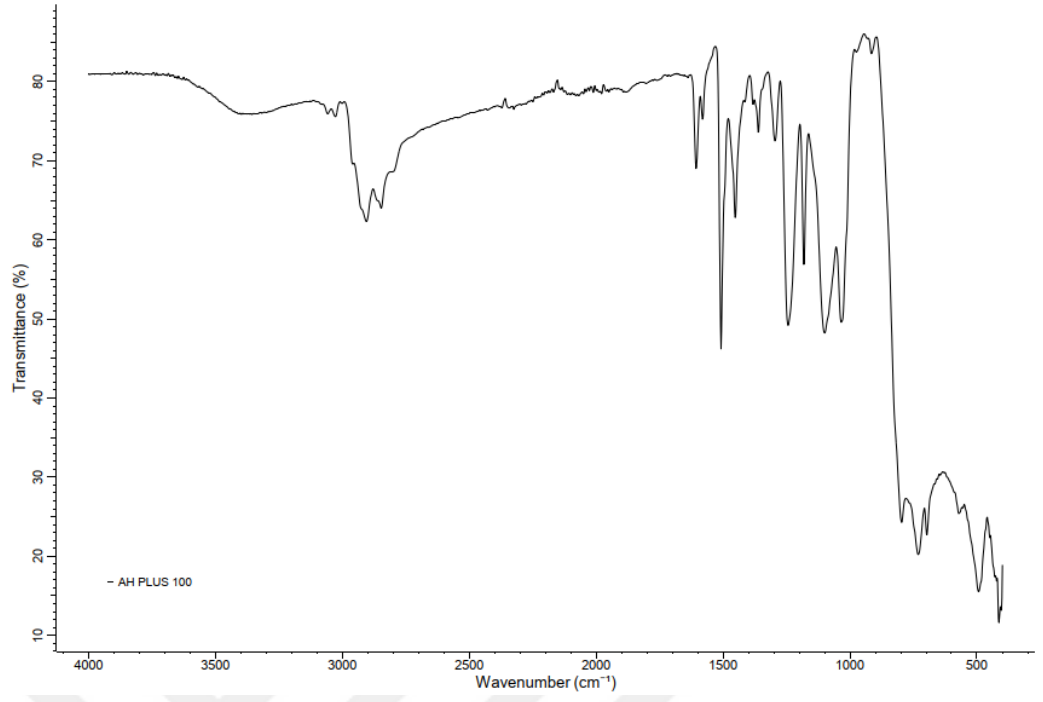
6.3. FT-IR Analizi

6.3.1. AH Plus grubuna ait bulgular

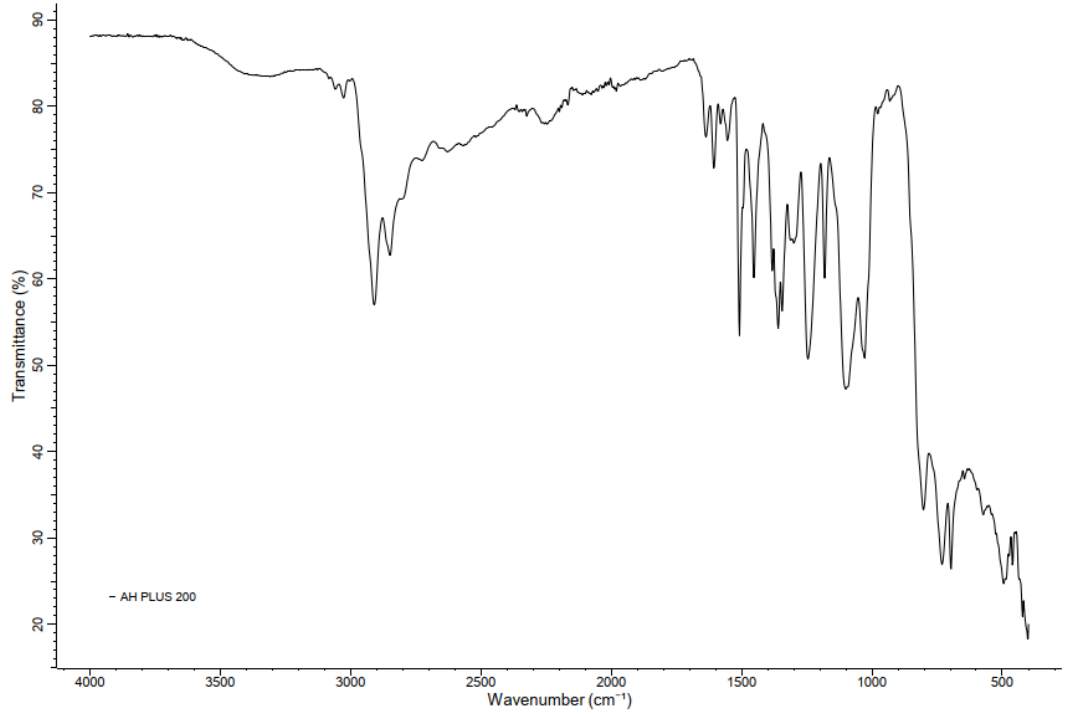
AH Plus kanal patına farklı ısı uygulamaları sonrasında elde edilen FT-IR spektrumları şekil 31, 32, 33 ve 34’te görülmektedir.



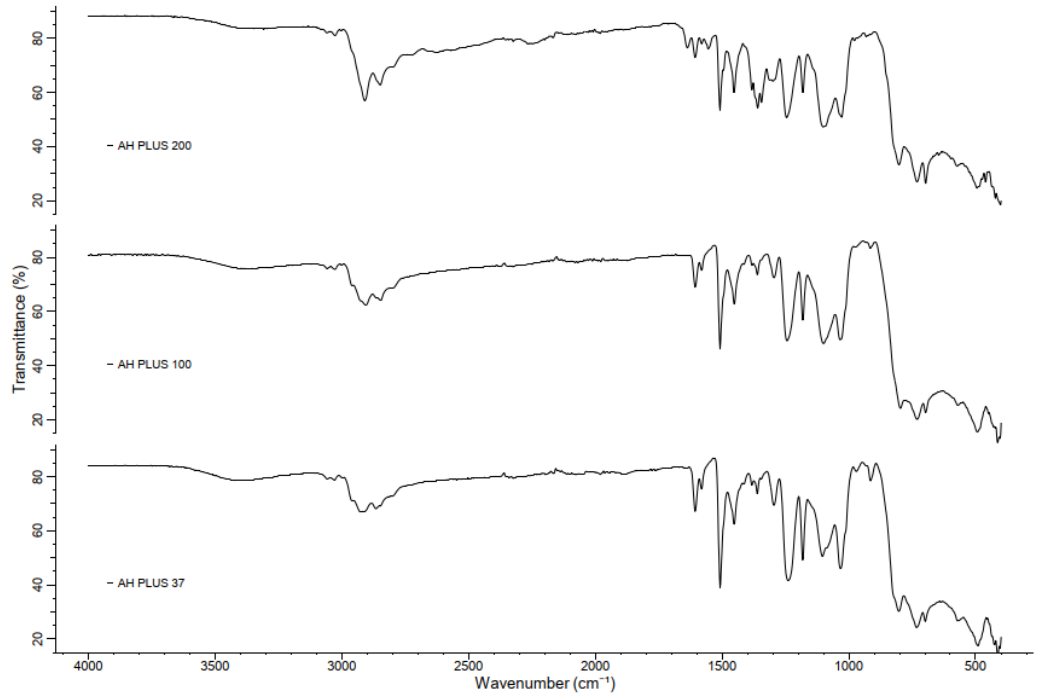
Şekil 31. AH Plus FT-IR Spektrumu (37°C)



Şekil 32. AH Plus FT-IR Spektrumu (100°C)



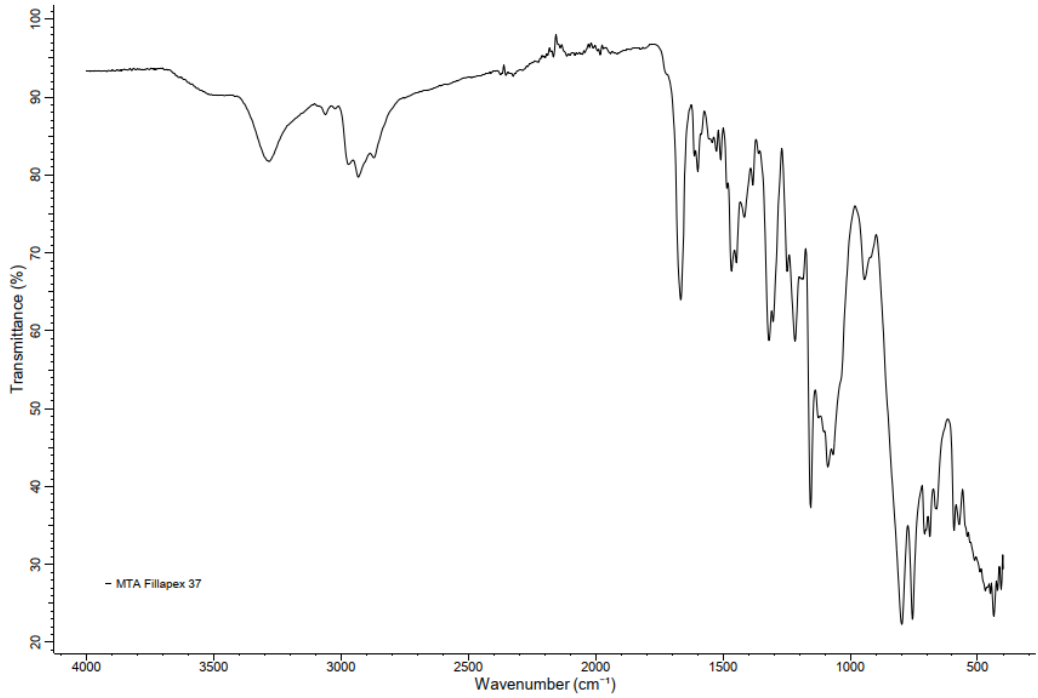
Şekil 33. AH Plus FT-IR Spektrumu (200°C)



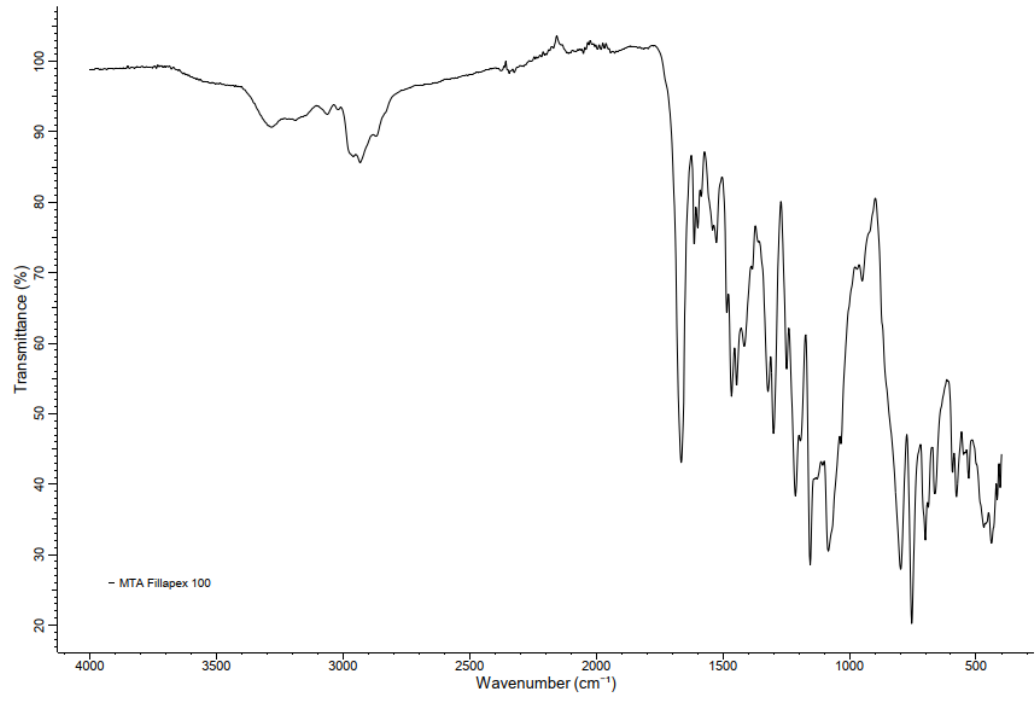
Şekil 34. AH Plus FT-IR Spektrumu (37°C, 100°C ve 200°C)

6.3.2. MTA Fillapex grubuna ait bulgular

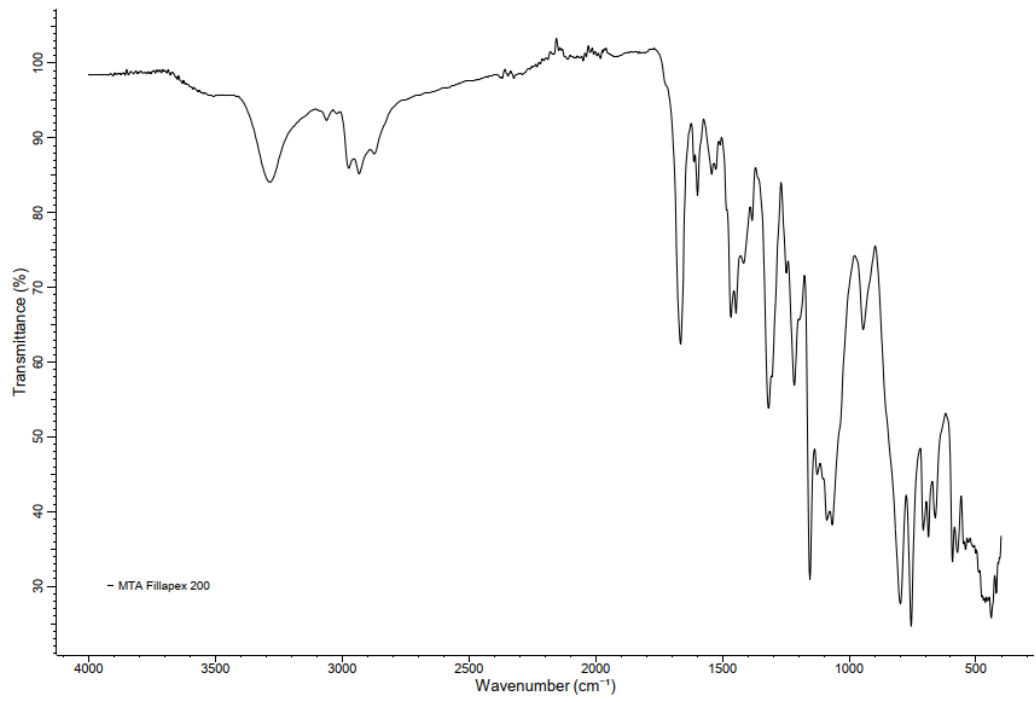
MTA Fillapex grubuna farklı ısı uygulamaları sonrasında elde edilen FT-IR spektrumları şekil 35, 36, 37 ve 38’de görülmektedir.



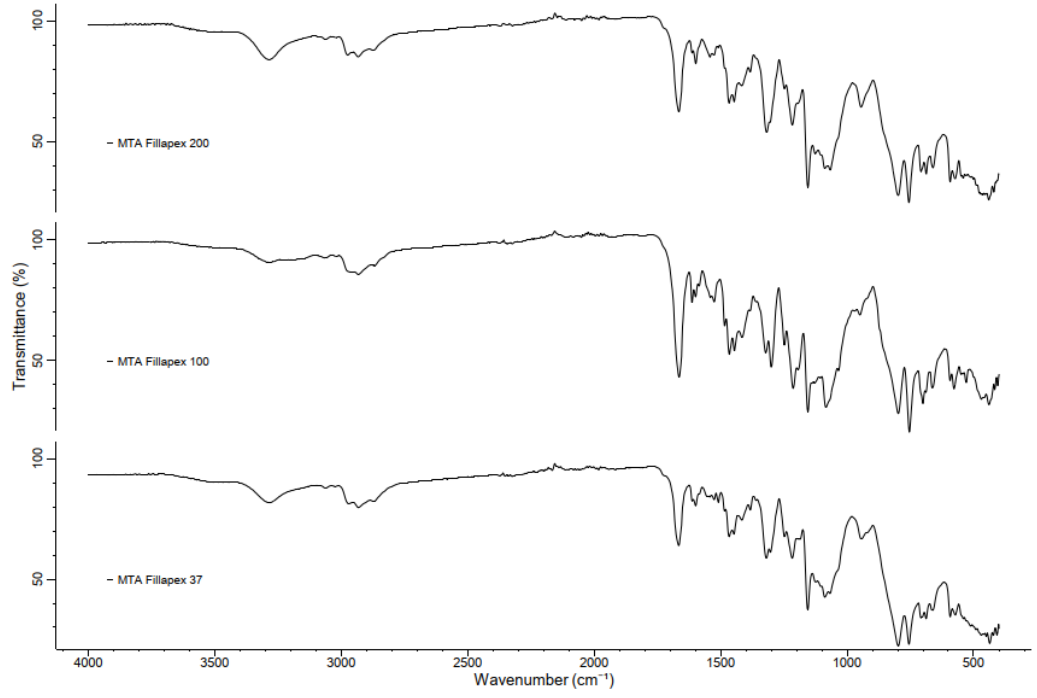
Şekil 35. MTA Fillapex FT-IR Spektrumu (37°C)



Şekil 36. MTA Fillapex FT-IR Spektrumu (100 °C)



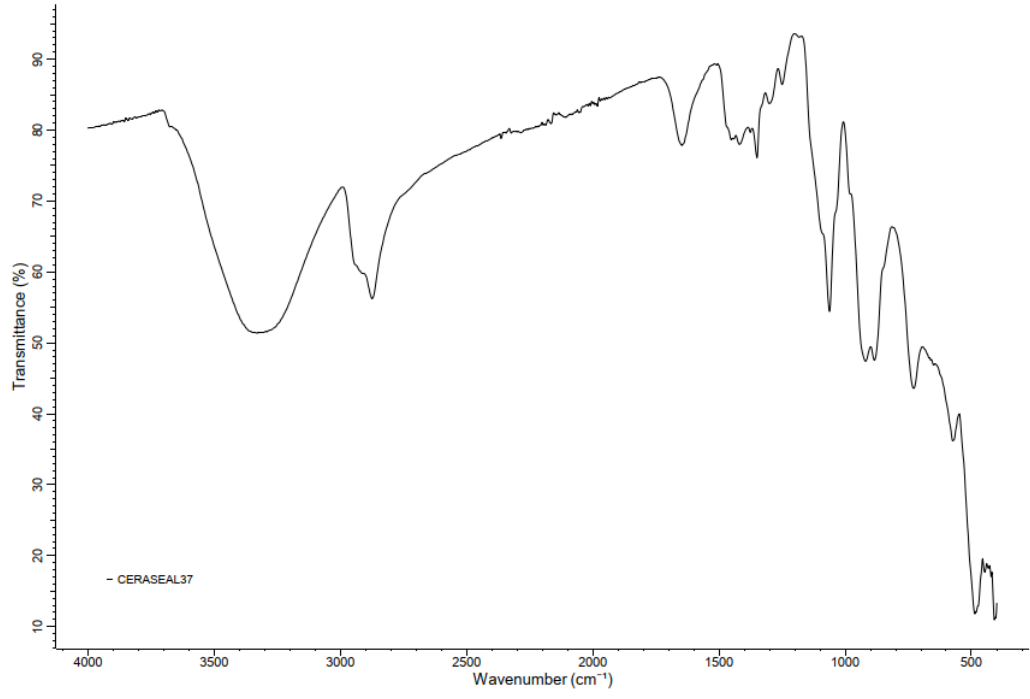
Şekil 37. MTA Fillapex FT-IR Spektrumu (200 °C)



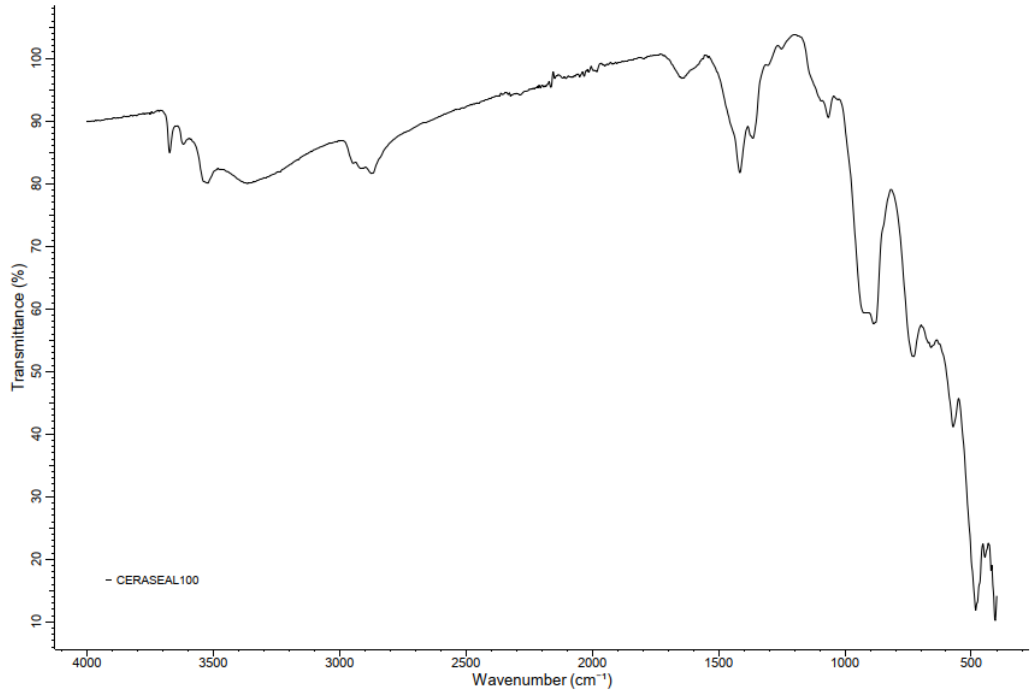
Şekil 38. MTA Fillapex FT-IR Spektrumu (37°C, 100°C ve 200°C)

6.3.3. CeraSeal grubuna ait bulgular

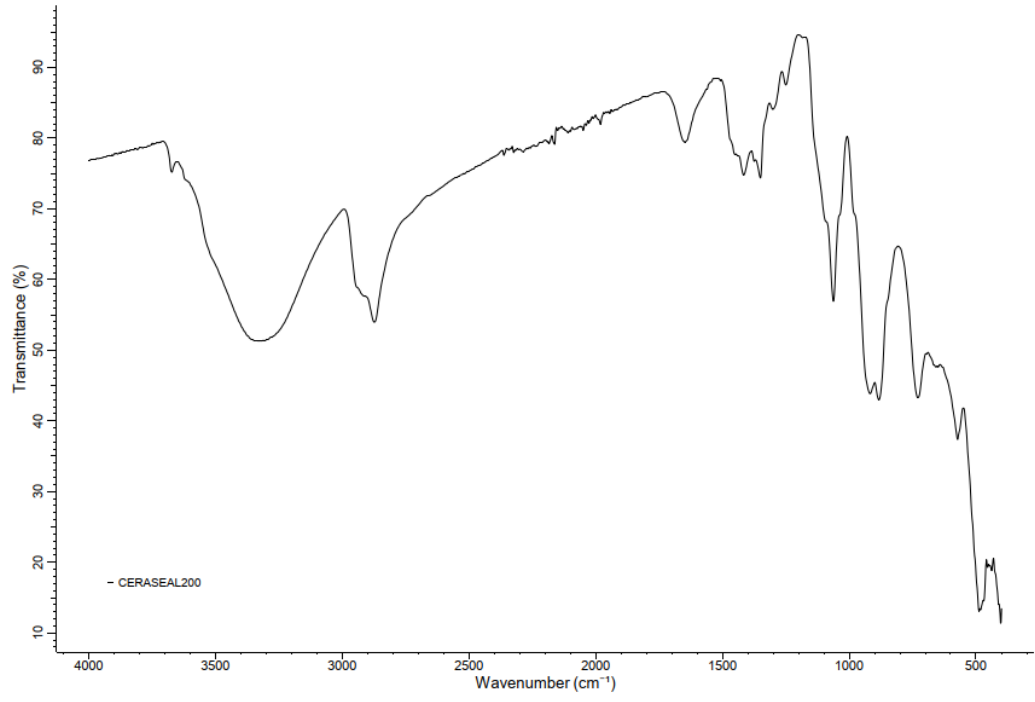
CeraSeal grubuna farklı ısı uygulamaları sonrasında elde edilen FT-IR spektrumları şekil 39, 40, 41 ve 42’de görülmektedir.



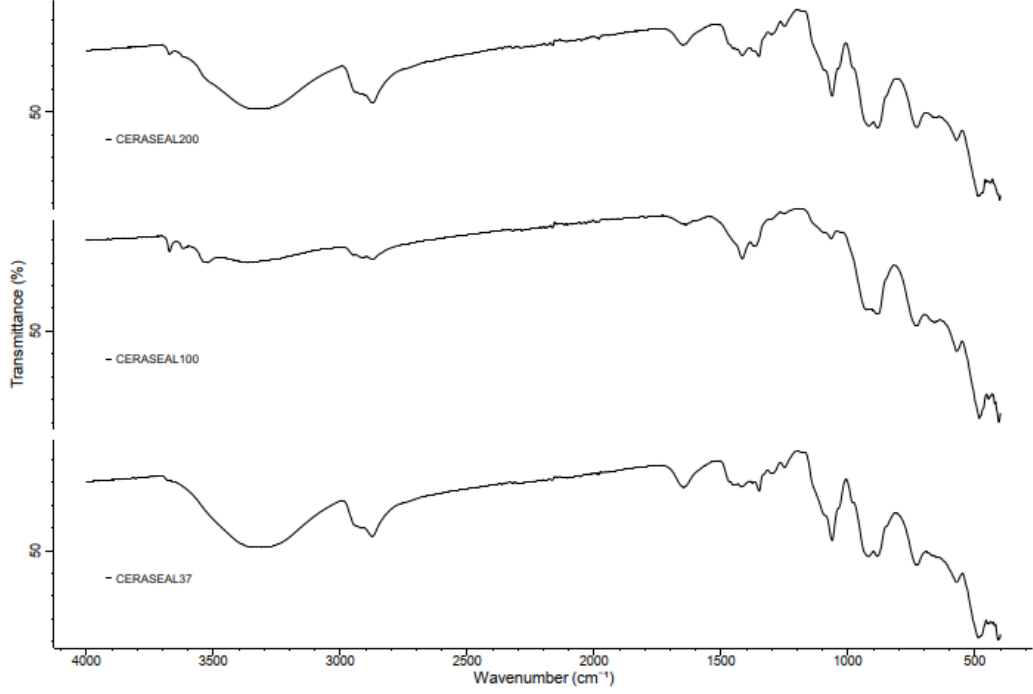
Şekil 39. CeraSeal FT-IR Spektrumu (37°C)



Şekil 40. CeraSeal FT-IR Spektrumu (100°C)



Şekil 41. CeraSeal FT-IR Spektrumu (200°C)



Şekil 42. CeraSeal FT-IR Spektrumu (37°C, 100°C ve 200°C)

7. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Kök kanallarının doldurulması amacıyla kullanılan birçok dolum tekniği, bir kor materyali ve bir pattan oluşmaktadır (Li et al., 2014). En popüler kor materyali olan gütta perkanın, ısıtılarak kullanıldığı kanal dolum tekniklerinde gütta perkanın faz değişimi sırasında maruz kaldığı ısı endodontik patları da etkilemektedir. Günümüzde kullanılan pek çok pat olmakla birlikte, özellikle son yıllarda biyoaktif endodontik patlar yaygınlaşmaya başlamıştır. Çalışmamızın amacı; biyoaktif endodontik patların sıcak gütta perka teknikleriyle kullanımı sırasında maruz kaldığı ısının, kimyasal yapıları üzerine olan etkilerini değerlendirmektir.

Biyoaktif endodontik patlar; üstün biyolojik ve fiziksel özelliklere sahiptir. Hidrofilik olduklarından nemli ortamda sertleşebilirler ve büzülme göstermezler (Trope et al., 2015). Doku sıvılarının varlığında hidroksiapatit oluşturma özellikleri biyoaktivite olarak tanımlanmaktadır (Parirokh et al., 2018). Geleneksel patların en önemli dezavantajı; sertleşirken büzülme göstermeleri ve doku sıvılarının varlığından etkilenmeleridir (Roggendorf et al., 2007). Bu sebeplerle çalışmamızda biyoaktif özellik gösteren kalsiyum silikat esaslı CeraSeal ve MTA esaslı MTA Fillapex patı tercih edilmiştir. Kontrol grubu olarak rezin esaslı bir pat olan ve altın standart olarak kabul edilen AH Plus kullanılmıştır.

Kök kanallarının doldurulmasında gütta perkanın ısı ile yumuşatılarak kullanıldığı dolum teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Sıcak gütta perka tekniklerinin daha homojen ve yoğun kanal dolgusu oluşturmaları (Lea et al., 2005), yan kanallar ve kanal düzensizlikleri içine daha kolay adapte olmaları gibi avantajları mevcuttur (Collins et al., 2006, Venturi et al., 2005). Klinik pratiğinde, sıcak gütta perka yöntemleri arasında sıklıkla kullanılanlar; devamlı ısıyla kondensasyon ve termoplastik yöntemlerdir. Bu yöntemlerle birlikte kullanılmak üzere System-B (Sybron Dental, Orange, CA, USA), Elements (Sybron Endo, EIE/ Analytic Technology, USA), SuperEndo B&L (B&L Biotech, Gyeonggi-do, Korea), E&Q Master (Meta Biomed, Chalfont, PA, USA) gibi cihazlar geliştirilmiştir.

Sıcak gütta perka dolum yöntemlerinde, çoğu sistem 200°C'de çalıştırılır (Buchanan, 2004). Bir dizi çalışma termoplastik sistemlerde kullanılan pluggerların uç

kısımlarının gerçek sıcaklıklarını araştırmıştır. Yapılan çalışmalarda; pluggerların uç kısımlarındaki sıcaklığın LCD ekranda (dijital ekran) ayarlanan değer ile korelasyon göstermediği bildirilmiştir (Venturi et al., 2002, Viapiana et al., 2014c, Viapiana et al., 2015, Qu et al., 2015, Dimopoulos et al., 2017, Chang et al., 2017, Atmeh et al., 2020, Choi et al., 2002) Ekranda ayarlanan değerden daha düşük olduğunu gösteren çalışmalar olduğu gibi (Viapiana et al., 2014c, Viapiana et al., 2015, Atmeh et al., 2020, Dimopoulos et al., 2017), daha yüksek olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (Choi et al., 2002, Chang et al., 2017, Qu et al., 2015). Sıcaklığın en fazla pluggerın gövde kısmında ve 80°C olduğu (Viapiana et al., 2014c), ayrıca pluggerın uç sıcaklığının konikliğine göre değiştiği (Viapiana et al., 2015) belirtilmiştir. Başka bir çalışmanın sonuçları; 200°C'ye ayarlanmış pluggerların sıcaklığının 112°C ile 199°C arasında değiştiğini göstermiştir (medyan = 140°C) (Qu et al., 2015).

Pluggerların uç sıcaklığının değerlendirilmesinin zor olmasının nedeni; çok fazla değişkene sahip olmasıdır. Pluggerların gerçek sıcaklığı; kullanılan cihaza, pluggerın boyutuna ve ayarlanan değere göre farklılık göstermektedir (Chang et al., 2017). Yaptığımız pilot çalışmadan elde ettiğimiz verilere göre; pluggerlar ekranda ayarlanan sıcaklıktan daha yüksek değerlere sahiptir ve en yüksek sıcaklık değerlerine uç noktalarında ulaşmaktadır. Klinikte güta perka ile temas eden kısmın pluggerın uç kısmı olmasından dolayı bu kritik bölgedeki sıcaklıklar dikkate alınmıştır.

Pluggerların gerçek sıcaklıklarını araştıran çalışmalardan ve Elements Free ısı kaynağı kullanarak yaptığımız pilot çalışmadan elde ettiğimiz veriler ışığında; patlara ısının etkisinin değerlendirmek amacıyla üç farklı sıcaklık (37°C, 100°C, 200°C) değeri kullanılmıştır. Isının patlara etkisini değerlendiren sınırlı sayıda çalışmada 80°C (Beltes et al., 2008), 100°C (Viapiana et al., 2014c, Camilleri, 2015, Chen et al., 2020) ve 140°C (Qu et al., 2016) gibi farklı sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

Devamlı ısıyla kondensasyon tekniğinde ısıyı ileten pluggerlarla dolum gerçekleştirilir ve klinik koşullarda tüm işlem ortalama 1 dakika içerisinde sonlanır (Camilleri, 2015). Bu nedenle çalışmamızda klinik koşullarda patın maruz kalacağı ısı göz önüne alınarak 1 dakikalık ısı uygulanmıştır.

Klinikte kullandığımız pluggerların uç sıcaklığı farklı değerlere sahip olabileceğinden, patlara iletilen ısının da farklı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle Viapiana ve ark. (2015) yaptığı çalışmadan farklı olarak patlara ısı uygulamak amacıyla ısı kaynağı olarak System B ya da Elements Free gibi bir cihaz kullanılmamıştır. Çalışmamızda tüm patlara aynı sıcaklığı uygulayabilmek amacıyla ısı ayarlanabilir fırın kullanılmıştır. Camilleri (2015), Atmeh ve ark. (2017) da çalışmamızla benzer şekilde patlara ısı uygulamak amacıyla fırın kullanmışlardır.

Kök kanal patları sınıflandırılırken ana bileşenlerine veya kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaktadır. Kök kanal patlarının kimyasal bileşimine dair sağlam ve güvenilir bilgiler, bu patların karakteristik özelliklerinin ve temas ettiği dokularla etkileşiminin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır (Dammachke et al., 2005). Kök kanal patlarının içeriğinde bulunan bileşenler; dokular tarafından tolere edilmesini, antibakteriyel özelliklerini ve dentine bağlanması gibi çeşitli faktörleri etkileyebilmektedir (Sampaio et al., 2014). Antimikrobiyal özellikler direkt olarak kimyasal kompozisyonla ilişkilendirilebilmektedir. Rezin esaslı patların antimikrobiyal aktivitesi de direkt olarak kimyasal yapısı ile ilişkilendirilmiştir. AH Plus'ın antimikrobiyal etkinliği içeriğinde bulunan bisfenol-A epoksi rezin ve amin grupları ile sağlanmaktadır (Yasuda et al., 2008). MTA Fillapex'in antibakteriyel etkinliği rezin içeriği ile ilişkilendirildiği gibi (Morgental et al., 2011) yüksek alkalik pH ve kalsiyum salınımının antibakteriyel etkinlik gösterdiği de bildirilmiştir (Kuga et al., 2013). Patların en önemli özelliklerinden biri olan biyouyumluluk kimyasal yapısından direkt olarak etkilenmektedir. Biyolojik dokulara yakın irritan bileşenlerin varlığı kimyasal yapının bilinmesiyle açıklanabilmektedir (Dammachke et al., 2005). Bu nedenlerle kök kanal patlarının kimyasal içeriğinin bilinmesi ve ısı sonrası oluşacak kimyasal değişimlerin ortaya konması bu patların fiziksel ve biyolojik etkileşimlerinin değerlendirilmesine yeni bir bakış açısı kazandırabilir. Çalışmamızda patların farklı ısı uygulamaları sonrasında kimyasal yapılarının değişip değişmediğini incelemek amacıyla EDS, XRD ve FT-IR analizlerinden faydalanılmıştır.

Patların karakterizasyonu amacıyla kullanıldığımız EDS analizi; materyali oluşturan temel elementler hakkında bilgi verirken, bileşimin kompozisyonu hakkında herhangi bir bilgi sağlamamaktadır. XRD tekniği ise kristalin yapı hakkında bilgi vererek temel fazları tanımlar (Camilleri, 2007). Bir materyalin temel bileşenlerinin tanımlanabilmesi, o materyalin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılması sağlar (Islam et al., 2006). Diş hekimliğinde kalsiyum silikat esaslı simanların ve patların ana bileşenlerini ve farklı koşullarda altındaki faz değişimlerini incelemek için bu analizler kullanılmıştır. Portland simanın kimyasal kompozisyonunun belirlenmesinde (Camilleri, 2008), MTA'nın temel bileşenlerinin değerlendirilmesinde (Camilleri et al., 2005b) ve Portland simanı ile karşılaştırılmasında (Islam et al., 2006), trikalsiyum silikat esaslı simanlarına rezin ve çeşitli radyoopak maddelerin etkisinin değerlendirilmesinde (Camilleri, 2014b) bu analizlerden faydalanılmıştır. Her iki analiz yönteminin birlikte kullanımı materyaller içindeki bileşiklerin tanımlanmasında önemlidir.

FT-IR analizi; kimyasal maddelerin fonksiyonel gruplarının belirlenmesi ve kimyasal yapıdaki değişikliklerin tanımlanmasına olanak sağlar (Arias-Moliz et al., 2015). Fonksiyonel kimyasal grupların tanımlanmasında kullanılan spesifik olmayan bir testtir. Viapiana ve ark. (2014b) epoksi rezin ve portland simanı bazlı patların kimyasal karakterizasyonunda, Camilleri (2015) sıcak gütta perka dolum tekniklerinin patların kimyasal yapısına etkisini değerlendirmede, Arias Moliz ve ark. (2015) AH Plus kanal patına benzalkonyum klorit ilavesi sonrasında oluşan kimyasal değişikliklerin incelenmesi amacıyla FT-IR analizini kullanmışlardır.

Çalışmamızın ilk aşamasında, SEM cihazında ikincil elektron (Secondary electrons) ve geri saçılan elektron (Back-scattered electrons) dedektörleri ile farklı büyütme ölçeklerinde mikrofotografılar alınmıştır. İkincil elektron görüntüleme ile örneklerin yüzey özellikleri; geri saçılan elektron görüntüleme ile yüzeyden daha derin bölgelerden bilgiler elde edilmektedir. Yapılan yüzey analizinde; yüzey düzgünlüğü, elementlerin dağılımı, partikül şekilleri ve ortalama boyutları değerlendirilmiştir. SEM kullanarak AH Plus ve MTA Fillapex patlarının yüzey morfolojilerinin değerlendirildiği çalışmalarda, çalışmamızla benzer sonuçlar ortaya konmuştur

(Borges et al., 2014, Sampaio et al., 2014). AH Plus'ın daha düzenli ve eşit boyutta partiküllere sahip olduğu gösterilmiştir.

Patların yüzey morfolojisi, partikül boyutları ve dağılımları fiziksel özelliklerini etkiler. Partikül boyutları arasındaki farklar mekanik özellikler için büyük öneme sahiptir. Partikül boyutlarının daha benzer olduğu patlarda daha yüksek mekanik direnç olması beklenir (Borges et al., 2014). Bizim çalışmamızda incelenen patlar arasında MTA Fillapex'in mekanik özelliklerinin daha zayıf olması beklenen bir özelliktir. Çünkü; diğer patlara kıyasla farklı partikül boyutlarına sahiptir ve partikül şekilleri birbirinden daha farklıdır.

Yüzey düzgünlüğü, hücre adezyonu için önemli bir faktördür (Balto and Al-Nazhan, 2003). Bu nedenle düzgün yüzeye sahip ve elementlerin benzer dağılım gösterdiği patların daha iyi hücre adezyonuna sahip olması beklenebilir. Yaptığımız çalışmada AH Plus grubunun daha düzgün yüzey özelliklerine sahip olduğu ve elementlerin benzer dağılım gösterdiği görüldüğünden hücre adezyonunun daha iyi olması beklenmektedir. Fakat tek başına yüzey düzgünlüğü hücre adezyonu ve biyouyumluluğun değerlendirilmesi için yeterli değildir (Ashraf2017).

Çalışmamızda AH Plus, MTA Fillapex ve Ceraseal'ın içeriğindeki temel elementler EDS analizi ile değerlendirilmiştir. Sampaio ve ark. (2014) AH Plus ve MTA Fillapex'in de içinde bulunduğu 6 farklı patın yer aldığı EDS analizinde, Reszka ve ark. (2016) yaptıkları kimyasal analiz çalışmasında bizim çalışmamızla benzer sonuçlar bulmuşlardır. Bizim çalışmamızdan farklı olarak MTA Fillapex içeriğinde az miktarda bizmut (Bi) ve titanyum (Ti) olduğu gösterilmiştir (Sampaio et al., 2014, Reszka et al., 2016, Camilleri, 2015). Çalışmamızda kullanılan MTA Fillapex'in içeriği bugüne kadar yapılan çalışmalarda kullanılanlardan farklı olup, radyoopasite sağlayıcı olarak bizmut oksit yerine kalsiyum tungstat yer almaktadır (Angelus, 2016). MTA Fillapex'in tungsten (W) içerdiği yaptığımız EDS analizinde gösterilmiştir. İçeriğindeki radyoopasite sağlayıcı maddenin değişmesi üretim sırasında mineralojisinde de değişiklikler olabileceğini düşündürmektedir.

Çalışmamızda kullanılan patların içeriğinde üretici bilgilerinde yer almayan elementler olduğu görülmüştür. EDS analizi ile AH Plus ve CeraSeal kanal patlarının

alüminyum (Al), MTA Fillapex'in kükürt (S) içerdiği ortaya konmuştur. Üretici bilgileri dışında rastladığımız bu elementler üretim sırasındaki bir kontaminasyonla veya endüstriyel sırlar ile ilişkilendirilebilir. Kimyasal kompozisyon değerlendirildiğinde ağır metaller içeren materyallerin saflığından şüphe edilmelidir. Bu bilgiler ışığında patların istediğimiz saflıkta olmadığını söyleyebilmemiz mümkündür. Gandolfi ve Prati (2010) MTA Fillapex'in alüminyum ve sülfür içerdiğini, AH Plus'ın alüminyum ve demir içerdiğini ortaya koyan çalışmasıyla, sonuçlarımızı desteklemektedir. AH Plus'ın içeriğinde Al, MTA Fillapex'in içeriğinde Al ve S varlığını gösteren çalışmalar olmakla birlikte (Sampaio et al., 2014, Camilleri, 2015), Reszka ve ark. (2016) EDS analizi ile kimyasal analiz yaptıkları çalışmalarında bu patların kompozisyonunda Al veya S varlığını gözlemlememiştir.

Dental tedaviler sırasında kullanılan kalsiyum silikat esaslı simanlardan salınan alüminyumun deney hayvanlarının karaciğer ve plazmasında bulunabileceği gösterilmiştir (Torun et al., 2016). Alüminyum migrasyonu ve toksisitesi, deney hayvanlarının beyin dokularında da alüminyum varlığının gösterilmesi ile desteklenmiştir (Demirkaya et al., 2017). Alüminyum osteoblastlar için toksiktir ve kemik mineralizasyonunu inhibe eder (Savarino et al., 2000). Ayrıca kromozomlar, paratiroid bezleri, kırmızı kan hücreleri üzerinde toksik etkisi vardır. Böbrek distrofisi, demans ve Alzheimer'ı tetikler (Savarino et al., 2000). Beyin dokuları ile temas halinde olan yüksek miktardaki alüminyum seviyeleri Alzheimer hastalığı ile ilişkilendirilmiştir (Exley, 2017).

MTA'nın en önemli bileşeni olan Portland çimentosunun en önemli dezavantajı; içeriğindeki alüminyum bileşiklerinin kalsiyum sülfat alüminatlar oluşturarak biyolojik sistemlere alüminyum salınımına neden olmasıdır. Portland çimentosu kullanımı ile ortaya çıkan alüminat fazını ve ağır metal içeriğini önlemek amacıyla; yeni nesil kalsiyum silikat esaslı patlar Portland çimentosu yerine saf trikalsiyum silikat kullanılarak geliştirilmektedir (Camilleri, 2017). Ayrıca bazı firmalar patın alüminyum içermediğini özellikle vurgulamak için "Aluminium-free" ifadelerine yer vermektedir. EndoSequence BC (Brasseler, Savannah, USA), iRoot SP ve DiaRoot Bioaggregate (Innovative Bioceramics, Vancouver, Canada) bu patlara örnektir.

Alüminyum, kükürt, bizmut, zirkonyum ve tungsten gibi çeşitli elementler belirli konsantrasyonlarda insan hücrelerine zarar verebilirler (Sampaio et al., 2014) Çalışmamızda analiz edilen patların içeriğinde bulunan bu elementler sitotoksosite veya genotoksosite sonuçları sorgulanırken göz önüne alınmalıdır. Birkaç farklı çalışmada AH Plus (Cohen et al., 2000, Silva et al., 2012) ve MTA Fillapex'in (Scelza et al., 2012, Zhou et al., 2015) sitotoksik olduğu belirtilmiştir. AH Plus'ın sitotoksitesi kimyasal yapısının ana bileşeni olan rezin gruplarının amin ve formaldehit salınımına neden olması ile ilişkilendirilmiştir. AH Plus'ın içeriğinde bulunan yüksek oranda zirkonyum ve tungsten, MTA Fillapex içeriğinde yer alan bizmut sitotoksite sonuçlarının sorgulanmasında fikir vericidir. İçeriklerinde yer alan az miktarda alüminyum ve kükürt de toksisite açısından soru işareti oluşturmaktadır.

CeraSeal'in SEM-EDS analizinde üretici bilgilerinden farklı olarak fosfor elementi içerdiği görülmüştür. Biyoseramik esaslı patların kimyasal kompozisyonuna kalsiyum fosfat fazının ilave edildiği bilinmektedir. Trikalsiyum silikatın hidrasyonu sonucunda oluşan kalsiyum iyonları doku sıvılarındaki fosfatlarla temas ettiğinde kalsiyum fosfat fazını oluşturur. Patların içeriğinde fosfat fazının bulunması, mineralizasyonu indüklemek için çözeltide serbest fosfat iyonu sağlar. iRoot SP (Innovative BioCeramix Inc., Vancouver, BC, Canada) olarak da bilinen EndoSequence BC Sealer (Brasseler USA, Savannah, GA) kalsiyum fosfat silikat esaslı kök kanal patlarına örnek olarak verilebilir. BC Sealer'ın sertleşmesi sırasında içeriğinde bulunan kalsiyum fosfat, kalsiyum hidroksit ile su ve hidroksiapatit üretmek için reaksiyona girer (Loushine et al., 2011). CeraSeal için üretici firma tarafından böyle bir bilgi verilmemesine rağmen bu patın da ilave faz içeren patlar grubunda yer alabileceği düşünülmektedir. XRD analizinde fosfat içeren bir faz oluşumu görülmemiştir. Bu durum; XRD analizinin kristal yapıyı tanımlamada üstün olması ve oluşan fazın amorf yapıda olması ile açıklanabilmektedir.

AH Plus'ın XRD analiz bulguları literatürde bu konu ile ilgili yapılmış çalışmalarla uyum içerisindedir (Camilleri, 2015, Viapiana et al., 2015, Viapiana et al., 2014b, Arias-Moliz et al., 2015) Çalışmamızda AH Plus grubunda, kalsiyum tungstat ve zirkonyum oksit fazlarına ait pikler görülmüştür. 37°C, 100°C ve 200°C'de

değerlendirilen AH Plus grubunda; var olan piklerde bir değişim olmadığı ve farklı sıcaklıklarda yeni bir fazın oluşmadığı gözlemlenmiştir. Camilleri (2015) tarafından AH Plus'ın iki farklı sıcaklık değerinde elde edilen XRD analiz bulguları çalışmamızın sonuçlarını desteklemektedir.

MTA Fillapex'in kompozisyonu ve hidrasyonu ile ilgili bilgiler oldukça sınırlıdır. (Xuereb et al., 2015, Camilleri, 2015) MTA Fillapex'in XRD analizinin yapıldığı az sayıda çalışma mevcuttur ve bu çalışmalarda grafiklerin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bizim çalışmamızda da diğer çalışmalardan farklı bir XRD faz analiz grafiği elde edilmiştir. Bu durum; çalışmamızda kullanılan MTA Fillapex'in içeriğinin farklı olması, radyoopasite sağlayıcı olarak bizmut oksit yerine kalsiyum tungstat yer alması ve MTA Fillapex'in üretim aşamasında mineralojisinde yapılan değişikliklerle ilişkilendirilebilmektedir. Camilleri ve ark. (2013) MTA Angelus'un sinterleme koşullarına bağlı olarak mineralojisinde önemli değişiklikler oluşabileceğini bildirmiştir. Bunun sonucu olarak bir partiden diğerine MTA Angelus'un içeriğinde farklılıklar olmasının beklenen bir özellik olduğu belirtilmiştir.

MTA Fillapex'in XRD analizinde trikalsiyum silikat fazına ait pikler görülmesi bu patın kalsiyum silikat esaslı bir pat olduğunu doğrulamaktadır. Kalsiyum silikat içerikli patların hidrasyonunun son ürünü olarak kalsiyum hidroksit oluşur. Çalışmamızda MTA Fillapex'in XRD analizinde kalsiyum hidroksit fazının oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu sonuçlar daha önce MTA Fillapex'in XRD analizinin yapıldığı çalışmalarla benzer sonuçlar göstermektedir (Camilleri, 2015, Marciano et al., 2016, Viapiana et al., 2014b, Xuereb et al., 2015). MTA Fillapex'in MTA'nın yanında rezin bileşeninin de bulunduğu bilinmektedir. Resin esaslı materyallerin sertleşme mekanizması kalsiyum silikat içerikli patlardan farklıdır. Marciano ve ark.(2016) resin bileşeninin MTA'nın hidrasyon mekanizmasını etkileyebileceğini ve hidrasyon mekanizmasının etkilenmesi sonucu kalsiyum hidroksit salınımı görülmeyebileceğini bildirmişlerdir.

37°C, 100°C ve 200°C'de değerlendirilen CeraSeal grubunda X-ışını kırınım analiz sonuçlarına göre ana fazları; trikalsiyum silikat, zirkonyum oksit ve kalsiyum hidroksit oluşturmaktadır. Kalsiyum silikat içerikli patların hidrasyonunun son ürünü

olarak oluşan kalsiyum hidroksit fazı CeraSeal grubunda gözlemlenmiştir. Diğer gruplardan farklı olarak 200 °C’de kalsiyum okzalit krokonat hidrat fazının oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu fazın yüksek sıcaklığın yanma reaksiyonuna sebep olması sonucu oluştuğu düşünölmektedir. Yüksek sıcaklık CeraSeal kök kanal patının kristal yapısında değişime neden olmuştur.

XRD analizi ile üç farklı sıcaklıkta kök kanal patlarının kristallik derecesi değerlendirildiğinde; AH Plus’ın MTA Fillapex ve CeraSeal’e göre daha kristal yapıda olduğu ve farklı sıcaklıklar altında bu yapıyı koruyabildiği gözlemlenmiştir. Üç pat için de özellikle 200 °C’de kristal yapılarında değişim olduğu görölmüştür. Sıcaklık artışıyla birlikte amorf yapının artışı MTA Fillapex ve CeraSeal grubunda dikkat çekmektedir.

Rezin bazlı materyallerin radyoopasitesinin değerlendirildiği bir çalışmada; silikon gibi atom numarası daha düşük elementler radyolusensi ile baryum gibi atom numarası büyük elementler radyoopasite ile ilişkilendirilmiştir (Sabbagh et al., 2004). İncelediğimiz patlar içerisinde en radyoopak patın AH Plus olduğu bilinmektedir (Reszka et al., 2019). AH Plus’ın içeriğinde bulunan kalsiyum tungstat ve zirkonyum oksit yüksek radyoopasitesini doğrulamaktadır.

MTA Fillapex’in daha önce piyasaya sürölen formlarında içeriğinde radyoopaklaştırıcı olarak kullanılan bizmut oksit, dişlerde renkleşmeye sebep olması ile bilinmektedir (Marciano et al., 2014) (Berger et al., 2014). Ayrıca MTA’nın hidrasyonunu bozduğu (Camilleri, 2007), mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği (Coomaraswamy et al., 2007) ve sodyum hipoklorit ile reaksiyona girerek siyah bir çökelti oluşturduğu (Camilleri, 2014a) bildirilmiştir. Son dönemlerde yayınlanan birkaç çalışmada MTA Fillapex’in içeriğindeki bizmut oksitin kalsiyum tungstat ile değiştirilerek biyolojik özelliklerinin geliştirilmeye çalışıldığı belirtilmiştir. (Delfino et al., 2020, Almeida et al., 2019, Donnermeyer et al., 2018). Bizim alışmamızda kullandığımız MTA Fillapex de radyoopaklaştırıcı olarak kalsiyum tungstat içermektedir.

CeraSeal’in içeriğinde radyoopaklaştırıcı olarak zirkonyum oksit yer alır. Zirkonyum oksit; yeterli radyoopasite sağlaması (Duarte et al., 2009), kalsiyum silikat esaslı

materyallerin hidrasyon mekanizmasını bozmaması (Camilleri et al., 2013) bizmut oksite göre daha biyouyumlu olması ve dişlerde renkleşmeye neden olmaması ile bizmut oksite alternatif olarak kullanılan radyoopakite sağlayıcı ajanlardan biridir.

FT-IR spektroskopi sonuçlarına göre; ısı uygulaması MTA Fillapex ve CeraSeal’de değişime neden olmamıştır, AH Plus’ta değişimler olduğu görülmüştür. Rezin esaslı AH Plus patının FT-IR spektrumunda 37°C’de 900 cm⁻¹ bandında görülen pikin (CO gerilme titreşimi), 100°C ve 200°C’de görülmediği gözlemlenmiştir. AH Plus’ın FT-IR spektrumlarındaki değişikliklerin, sertleşme reaksiyonuna ve epoksi halkalarının açılmasına bağlı olarak meydana geldiği düşünülmektedir. Atmeh ve ark. (2017) ısıнын AH Plus’ın sertleşme reaksiyonunu hızlandırabileceği görüşünü desteklemektedir. AH Plus’ın 200°C’de elde edilen FT-IR spektrumunda görülen 2850 cm⁻¹ piki, rezinin yapısında değişiklikler ile ilişkilendirilebilmektedir.

Isı uygulaması kalsiyum silikat esaslı patların yapısında saptanabilir değişikliklere neden olmamıştır. Artan sıcaklığın su kaybına neden olması sonucu mikroyapısal değişiklikler meydana gelmiştir. Isının, patların kimyasal özelliklerine etkisini inceleyen sınırlı sayıda çalışmada çalışmamızla benzer sonuçlar ortaya konmuştur (Viapiana et al., 2015, Camilleri, 2015, Atmeh and AlShwaimi, 2017).

Kanal dolum tekniği seçilirken pat seçimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılan kanal patının kanal dolum tekniğine uygunluğu, kanal tedavisinin başarılı sonuçları için önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Rezin esaslı AH Plus kanal patının sıcak güta perka teknikleriyle birlikte kullanımının uygun olmadığı, biyoaktif endodontik patların sıcak güta perka dolum teknikleriyle kullanımının uygun olduğu görülmüştür. CeraSeal’in 200°C’de XRD analizinde görülen, yanma reaksiyonuna bağlı olarak oluşan faz dikkate alınarak; daha yüksek sıcaklıklar ve daha uzun uygulama sürelerinin negatif etkilere neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

CeraSeal piyasaya yeni sürülen bir pattr. Çalışmamız bu patın karakterizasyonu ve kimyasal yapısının değerlendirildiği ilk çalışma olma özelliğini taşımaktadır.

Çalışmamızın in vitro bir çalışma olması nedeniyle klinik koşullarda farklı sonuçlarla karşılaşılabileceği göz önünde tutulmalıdır. Oluşan kimyasal değişikliklerin kısa

veya uzun vadede klinik sonuçları belirsizdir. Bu nedenle bu tür değişikliklerin sonuçlarını değerlendirmek için daha fazla araştırma gerekmektedir.



SONUÇLAR

1. Çalışmamızda kullanılan kanal patlarının bileşenleri ve yapısı incelendiğinde patların içeriğinde üretici bilgilerinde yer almayan elementler olduğu görülmüştür. EDS analizi ile AH Plus ve CeraSeal kanal patlarının alüminyum (Al), MTA Fillapex'in kükürt (S) içerdiği ortaya konmuştur.
2. SEM kullanılarak patlarının yüzey morfolojileri değerlendirilmiştir. AH Plus'ın daha düzenli ve eşit boyutta partiküllere sahip olduğu görülmüştür. CeraSeal'in SEM görüntülerinde çeşitli boyutta ve iğnemsî şekillerde partiküllere sahip olduğu görülmüştür. MTA Fillapex'in diğer patlara kıyasla farklı partikül boyutlarına sahip olması ve partikül şekillerinin birbirinden daha farklı olması nedeniyle mekanik özelliklerinin daha zayıf olması beklenen bir durumdur.
3. MTA Fillapex'in içeriğinin değiştirildiği görülmüştür. Radyopaklaştırıcı madde olarak bizmut oksit yerine kalsiyum tungstat kullanılmıştır.
4. Rezin esaslı AH Plus kanal patı, sıcak gütâ perka dolum tekniklerinin kullanımı sırasında uygulanan ısıdan etkilenmektedir.
5. Kalsiyum silikat içerikli MTA Fillapex ve CeraSeal kanal patlarında ısıya bağlı değişiklikler oluşmamıştır.
6. Kanal dolum tekniği seçilirken pat seçimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılan kanal patının kanal dolum tekniğine uygunluğu, kanal tedavisinin başarılı sonuçları için önemli faktörlerden biri haline gelmiştir.
7. Biyoaktif endodontik patların sıcak gütâ perka dolum teknikleriyle kullanımının uygun olduğu görülmüştür.
8. Yüksek sıcaklık (200°C) CeraSeal kanal patının kristal yapısında değişime neden olmuş, kimyasal yapısında değişime neden olmamıştır. Yüksek sıcaklığın CeraSeal'in kristal yapısında değişime sebep olması nedeniyle, daha yüksek sıcaklıklar ve daha uzun uygulama sürelerinin kullanılan tüm patlar için negatif etkilere neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
9. Kök kanal patlarının kimyasal içeriğinin bilinmesi ve ısı sonrası oluşacak kimyasal değişimlerin ortaya konması bu patların fiziksel ve biyolojik etkileşimlerinin değerlendirilmesine yeni bir bakış açısı kazandırabilmektedir.

8. KAYNAKLAR

- AKHLOUFI, M. & BENDADA, A. 2013. *Fusion of active and passive infrared images for face recognition*.
- AKHTAR, K., KHAN, S. A., KHAN, S. B. & ASIRI, A. M. 2018. Scanning Electron Microscopy: Principle and Applications in Nanomaterials Characterization. *Handbook of Materials Characterization*. Springer.
- AL-HADDAD, A., AB AZIZ, C. & ZETI, A. 2016. Bioceramic-based root canal sealers: a review. *International journal of biomaterials*, 2016.
- AL-NAZHAN, S. 1999. Incidence of four canals in root-canal-treated mandibular first molars in a Saudi Arabian sub-population. *International Endodontic Journal*, 32, 49-52.
- ALAÇAM, T. 2012. *Endodonti. 1. baskı*, Ankara.
- ALAPATI, S. B., BRANTLEY, W. A., IJIMA, M., SCHRICKER, S. R., NUSSTEIN, J. M., LI, U.-M. & SVEC, T. A. 2009. Micro-XRD and temperature-modulated DSC investigation of nickel–titanium rotary endodontic instruments. *Dental Materials*, 25, 1221-1229.
- ALAPATI, S. B., BRANTLEY, W. A., SVEC, T. A., POWERS, J. M., NUSSTEIN, J. M. & DAEHN, G. S. 2005. SEM observations of nickel-titanium rotary endodontic instruments that fractured during clinical use. *Journal of Endodontics*, 31, 40-43.
- ALLAN, N. A., WALTON, R. E. & SCHAFFER, M. 2001. Setting times for endodontic sealers under clinical usage and in vitro conditions. *Journal of Endodontics*, 27, 421-423.
- ALMEIDA, L., GOMES, A., GASTMANN, A., POLA, N., MORAES, R., MORGENTAL, R., CAVA, S., FELIX, A. & PAPPEN, F. 2019. Bone tissue response to an MTA-based endodontic sealer, and the effect of the addition of calcium aluminate and silver particles. *International endodontic journal*, 52, 1446-1456.
- AMIN, S. A. W., SEYAM, R. S. & EL-SAMMAN, M. A. 2012. The effect of prior calcium hydroxide intracanal placement on the bond strength of two calcium silicate–based and an epoxy resin–based endodontic sealer. *Journal of endodontics*, 38, 696-699.
- ANGELUS 2016. MTA Fillapex Profile.
- ARIAS-MOLIZ, M. T., RUIZ-LINARES, M., CASSAR, G., FERRER-LUQUE, C. M., BACA, P., ORDINOLA-ZAPATA, R. & CAMILLERI, J. 2015. The effect of benzalkonium chloride additions to AH Plus sealer. Antimicrobial, physical and chemical properties. *Journal of dentistry*, 43, 846-854.
- ASGARY, S., PARIROKH, M., EGHBAL, M. J. & BRINK, F. 2005. Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*, 31, 101-103.
- ASSADIAN, H., HAMZELOUEI MOGHADDAM, E., AMINI, A., NAZARI MOGHADDAM, K. & HASHEMZEH, M. 2016. A Review of Endodontic Bioceramics. *Journal of Islamic Dental Association of Iran*, 28, 20-33.
- ASSMANN, E., BÖTTCHER, D. E., HOPPE, C. B., GRECCA, F. S. & KOPPER, P. M. P. 2015. Evaluation of bone tissue response to a sealer containing mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*, 41, 62-66.
- ATMEH, A., HADIS, M. & CAMILLERI, J. 2020. Real-time chemical analysis of root filling materials with heating: guidelines for safe temperature levels. *International Endodontic Journal*, 53, 698-708.
- ATMEH, A. R. & ALSHWAIMI, E. 2017. the effect of heating time and temperature on epoxy resin and calcium silicate–based endodontic sealers. *Journal of endodontics*, 43, 2112-2118.
- AUGSBURGER, R. A. & PETERS, D. D. 1990. Radiographic evaluation of extruded obturation materials. *Journal of endodontics*, 16, 492-497.

- BALTO, H. & AL-NAZHAN, S. 2003. Attachment of human periodontal ligament fibroblasts to 3 different root-end filling materials: Scanning electron microscope observation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 95, 222-227.
- BARTHEL, C. R., LÖSCHE, G. M., ZIMMER, S. & ROULET, J.-F. 1994. Dye penetration in root canals filled with AH26 in different consistencies. *Journal of endodontics*, 20, 436-439.
- BEASLEY, R. T., WILLIAMSON, A. E., JUSTMAN, B. C. & QIAN, F. 2013. Time required to remove guttacore, thermafil plus, and thermoplasticized gutta-percha from moderately curved root canals with protaper files. *Journal of endodontics*, 39, 125-128.
- BELTES, P., KEKI, P., KODONAS, K., GOGOS, C. & ECONOMIDES, N. 2008. Effect of heat application on adhesion of epoxy resin sealer. *Journal of endodontics*, 34, 1378-1380.
- BERGER, T., BARATZ, A. Z. & GUTMANN, J. L. 2014. In vitro investigations into the etiology of mineral trioxide tooth staining. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 17, 526.
- BEST, S., PORTER, A., THIAN, E. & HUANG, J. 2008. Bioceramics: past, present and for the future. *Journal of the European Ceramic Society*, 28, 1319-1327.
- BIN, C., VALERA, M., CAMARGO, S., RABELO, S., SILVA, G., BALDUCCI, I. & CAMARGO, C. 2012a. Cytotoxicity and genotoxicity of root canal sealers based on mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*, 38, 495.
- BIN, C. V., VALERA, M. C., CAMARGO, S. E., RABELO, S. B., SILVA, G. O., BALDUCCI, I. & CAMARGO, C. H. R. 2012b. Cytotoxicity and genotoxicity of root canal sealers based on mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*, 38, 495-500.
- BLACKMAN, R., GROSS, M. & SELTZER, S. 1989. An evaluation of the biocompatibility of a glass ionomer-silver cement in rat connective tissue. *Journal of endodontics*, 15, 76-79.
- BOIESEN, J. & BRODIN, P. 1991. Neurotoxic effect of two root canal sealers with calcium hydroxide on rat phrenic nerve in vitro. *Dental Traumatology*, 7, 242-245.
- BORGES, Á. H., DORILEO, O., GONÇALES, M. C., VILLA, R. D., BORBA, A. M., SEMENOFF, T. A. D. V., GUEDES, O. A., ESTRELA, C. R. A. & BANDECA, M. C. 2014. Physicochemical properties and surfaces morphologies evaluation of MTA FillApex and AH plus. *The Scientific World Journal*, 2014.
- BORGES, R., SOUSA-NETO, M., VERSIANI, M., RACHED-JÚNIOR, F., DE-DEUS, G., MIRANDA, C. & PÉCOR, J. 2012. Changes in the surface of four calcium silicate-containing endodontic materials and an epoxy resin-based sealer after a solubility test. *International endodontic journal*, 45, 419.
- BÓRIO, C., FELIPPE, G., BORTOLUZZI, E., FELIPPE, M., FELIPPE, W. & RIVERO, E. 2014. Subcutaneous connective tissue reactions to iR oot SP, mineral trioxide aggregate (MTA) F illapex, D ia R oot B io A ggregate and MTA. *International endodontic journal*, 47, 667-674.
- BUCHANAN, L. 1996. The continuous wave of obturation technique: 'centered' condensation of warm gutta percha in 12 seconds. *Dentistry today*, 15, 60-2, 64-7.
- BUCHANAN, L. 2004. Filling root canal systems with centered condensation: concepts, instruments, and techniques. *Dentistry today*, 23, 102, 104, 106 passim-102, 104, 106 passim.
- CAMILLERI, J. 2007. Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*, 40, 462-470.

- CAMILLERI, J. 2008. Characterization and chemical activity of Portland cement and two experimental cements with potential for use in dentistry. *International endodontic journal*, 41, 791-799.
- CAMILLERI, J. 2011. Characterization and hydration kinetics of tricalcium silicate cement for use as a dental biomaterial. *Dental Materials*, 27, 836-844.
- CAMILLERI, J. 2014a. Color stability of white mineral trioxide aggregate in contact with hypochlorite solution. *Journal of endodontics*, 40, 436-440.
- CAMILLERI, J. 2014b. Tricalcium silicate cements with resins and alternative radiopacifiers. *Journal of endodontics*, 40, 2030-2035.
- CAMILLERI, J. 2015. Sealers and warm gutta-percha obturation techniques. *J Endod*, 41, 72-8.
- CAMILLERI, J. 2017. Will bioceramics be the future root canal filling materials? *Current Oral Health Reports*, 4, 228-238.
- CAMILLERI, J., MONTESIN, F., DI SILVIO, L. & PITT FORD, T. 2005a. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *International endodontic journal*, 38, 834-842.
- CAMILLERI, J., MONTESIN, F. E., BRADY, K., SWEENEY, R., CURTIS, R. V. & FORD, T. R. P. 2005b. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dental Materials*, 21, 297-303.
- CAMILLERI, J., SORRENTINO, F. & DAMIDOT, D. 2013. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dental Materials*, 29, 580-593.
- CARVALHO-JÚNIOR, J. R., GUIMARÃES, L. F. L., CORRER-SOBRINHO, L., PÉCORÁ, J. D. & SOUSA-NETO, M. D. 2003. Evaluation of solubility, disintegration, and dimensional alterations of a glass ionomer root canal sealer. *Brazilian dental journal*, 14, 114-118.
- CHANG, H.-S., PARK, S.-H., CHO, K.-M. & KIM, J.-W. 2017. Plugger temperature of cordless heat carriers according to the time elapsed. *Restorative dentistry & endodontics*, 43.
- CHEN, B., HAAPASALO, M., MOBUCHON, C., LI, X., MA, J. & SHEN, Y. 2020. Cytotoxicity and the Effect of Temperature on Physical Properties and Chemical Composition of a New Calcium Silicate-based Root Canal Sealer. *Journal of Endodontics*, 46, 531-538.
- CHESCOE, D., GOODHEW, P. J. & MICROSCOPICAL, R. The Operation Of Transmission And Scanning Electron Microscopes.
- CHOI, S.-A., KIM, S.-H., HWANG, Y.-C., YOUN, C., OH, B.-J., CHOI, B.-Y., JUHNG, W.-N., JEONG, S.-W., HWANG, I.-N. & OH, W.-M. 2002. Infrared thermographic analysis of temperature rise on the surface of buehler plugger. *Restorative Dentistry and Endodontics*, 27, 370-381.
- COHEN, B., COMBE, E. & LILLEY, J. 1992. Effect of thermal placement techniques on some physical properties of gutta-percha. *International endodontic journal*, 25, 292-296.
- COHEN, B. I., PAGNILLO, M. K., MUSIKANT, B. L. & DEUTSCH, A. S. 2000. An in vitro study of the cytotoxicity of two root canal sealers. *Journal of Endodontics*, 26, 228-229.
- COLEMAN, N. J., NICHOLSON, J. W. & AWOSANYA, K. 2007. A preliminary investigation of the in vitro bioactivity of white Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 37, 1518-1523.
- COLLIE, C. 2019. The "father" of microanalysis: Raymond Castaing, creator of a generation of scientific instruments, still in worldwide operation. *Comptes Rendus Physique*, 20, 746-755.

- COLLINS, J., WALKER, M. P., KULILD, J. & LEE, C. 2006. A comparison of three gutta-percha obturation techniques to replicate canal irregularities. *Journal of endodontics*, 32, 762-765.
- COOMARASWAMY, K. S., LUMLEY, P. J. & HOFMANN, M. P. 2007. Effect of bismuth oxide radioopacifier content on the material properties of an endodontic Portland cement-based (MTA-like) system. *Journal of endodontics*, 33, 295-298.
- CULLITY, B. D. 1956. *Elements of X-ray Diffraction*, Addison-Wesley Publishing.
- CUTAJAR, A., MALLIA, B., ABELA, S. & CAMILLERI, J. 2011. Replacement of radiopacifier in mineral trioxide aggregate; characterization and determination of physical properties. *Dental Materials*, 27, 879-891.
- ÇALIŞKAN, M. K. 2006. *Endodontide tanı ve tedaviler*, Nobel Tıp Kitabevleri.
- DALAT, D. M. & ÖNAL, B. 1998. Apical leakage of a new glass ionomer root canal sealer. *Journal of endodontics*, 24, 161-163.
- DAMMASCHKE, T., GERTH, H. U., ZÜCHNER, H. & SCHÄFER, E. 2005. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dental Materials*, 21, 731-738.
- DELFINO, M. M., GUERREIRO-TANOMARU, J. M., TANOMARU-FILHO, M., SASSO-CERRI, E. & CERRI, P. S. 2020. Immunoinflammatory response and bioactive potential of GuttaFlow bioseal and MTA Fillapex in the rat subcutaneous tissue. *Scientific Reports*, 10, 1-15.
- DEMIRKAYA, K., DEMIRDÖĞEN, B. C., TORUN, Z. Ö., ERDEM, O., ÇIRAK, E. & TUNCA, Y. 2017. Brain aluminium accumulation and oxidative stress in the presence of calcium silicate dental cements. *Human & experimental toxicology*, 36, 1071-1080.
- DENTSPLY 2015. AH Plus Brochure.
- DIMOPOULOS, F., DERVENIS, K., GOGOS, C. & LAMBRIANIDIS, T. 2017. Temperature rise on the plugger surface of 2 commercially available gutta-percha heating devices. *Journal of endodontics*, 43, 1885-1887.
- DONNERMEYER, D., BUNNE, C., SCHÄFER, E. & DAMMASCHKE, T. 2018. Retreatability of three calcium silicate-containing sealers and one epoxy resin-based root canal sealer with four different root canal instruments. *Clinical oral investigations*, 22, 811-817.
- DONNERMEYER, D., URBAN, K., BÜRKLEIN, S. & SCHÄFER, E. 2020. Physico-chemical investigation of endodontic sealers exposed to simulated intracanal heat application: epoxy resins and zinc oxide–eugenols. *International Endodontic Journal*, 53, 690-697.
- DOS SANTOS, P. A., GARCIA, P. P. N. S., DE OLIVEIRA, A. L. B. M., CHINELATTI, M. A. & PALMA-DIBB, R. G. 2010. Chemical and morphological features of dental composite resin: Influence of light curing units and immersion media. *Microscopy research and technique*, 73, 176-181.
- DUARTE, M. A. H., D'ARC DE OLIVEIRA EL, G., VIVAN, R. R., TANOMARU, J. M. G., TANOMARU FILHO, M. & DE MORAES, I. G. 2009. Radiopacity of portland cement associated with different radiopacifying agents. *Journal of endodontics*, 35, 737-740.
- ELAYOUTI, A., ACHLEITHNER, C., LÖST, C. & WEIGER, R. 2005. Homogeneity and adaptation of a new gutta-percha paste to root canal walls. *Journal of endodontics*, 31, 687-690.
- ELDENİZ, A., MUSTAFA, K., ØRSTAVIK, D. & DAHL, J. 2007. Cytotoxicity of new resin-, calcium hydroxide- and silicone-based root canal sealers on fibroblasts derived from human gingiva and L929 cell lines. *International endodontic journal*, 40, 329-337.

- ELZUBAIR, A., ELIAS, C. N., SUAREZ, J. C. M., LOPES, H. P. & VIEIRA, M. V. B. 2006. The physical characterization of a thermoplastic polymer for endodontic obturation. *Journal of dentistry*, 34, 784-789.
- ERDIN, N. 1986. Tarama elektron mikroskobunun temel prensipleri ve numune hazırlığı. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 102-124.
- ERIKSSON, A. & ALBREKTSSON, T. 1983. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *Journal of prosthetic dentistry*, 50, 101-107.
- ERSAHAN, S. & AYDIN, C. 2010. Dislocation resistance of iRoot SP, a calcium silicate-based sealer, from radicular dentine. *Journal of endodontics*, 36, 2000-2002.
- ERSEV, H., SCHMALZ, G., BAYIRLI, G. & SCHWEIKL, H. 1999. Cytotoxic and mutagenic potencies of various root canal filling materials in eukaryotic and prokaryotic cells in vitro. *Journal of Endodontics*, 25, 359-363.
- EXLEY, C. 2017. Aluminum should now be considered a primary etiological factor in Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's disease reports*, 1, 23-25.
- FARIA-JÚNIOR, N., TANOMARU-FILHO, M., BERBERT, F. L. C. V. & GUERREIRO-TANOMARU, J. 2013. Antibiofilm activity, pH and solubility of endodontic sealers. *International endodontic journal*, 46, 755-762.
- FLOREN, J. W., WELLER, R. N., PASHLEY, D. H. & KIMBROUGH, W. F. 1999. Changes in root surface temperatures with in vitro use of the system B HeatSource. *Journal of endodontics*, 25, 593-595.
- FORMOSA, L., MALLIA, B., BULL, T. & CAMILLERI, J. 2012. The microstructure and surface morphology of radiopaque tricalcium silicate cement exposed to different curing conditions. *Dental Materials*, 28, 584-595.
- FOSCHI, F., NUCCI, C., MONTEBUGNOLI, L., MARCHIONNI, S., BRESCHI, L., MALAGNINO, V. & PRATI, C. 2004. SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments. *International Endodontic Journal*, 37, 832-839.
- FRIEDMAN, S., MOSHONOV, J. & TROPE, M. 1992. Efficacy of removing glass ionomer cement, zinc oxide eugenol, and epoxy resin sealers from retreated root canals. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 73, 609-612.
- GANDOLFI, M. & PRATI, C. 2010. MTA and F-doped MTA cements used as sealers with warm gutta-percha. Long-term study of sealing ability. *International endodontic journal*, 43, 889-901.
- GANDOLFI, M., TADDEI, P., TINTI, A. & PRATI, C. 2010. Apatite-forming ability (bioactivity) of ProRoot MTA. *International Endodontic Journal*, 43, 917-929.
- GANDOLFI, M. G., CIAPETTI, G., PERUT, F., TADDEI, P., MODENA, E., ROSSI, P. L. & PRATI, C. 2009. Biomimetic calcium-silicate cements aged in simulated body solutions. Osteoblast response and analyses of apatite coating. *Journal of Applied Biomaterials and Biomechanics*, 7, 160-170.
- GANDOLFI, M. G., SILVIA, F., GASPAROTTO, G. & CARLO, P. 2008. Calcium silicate coating derived from Portland cement as treatment for hypersensitive dentine. *Journal of Dentistry*, 36, 565-578.
- GARRIB, M. & CAMILLERI, J. 2020. Retreatment efficacy of hydraulic calcium silicate sealers used in single cone obturation. *Journal of Dentistry*, 103370.
- GAUGLITZ, G. & VO-DINH, T. 2003. *Handbook of spectroscopy*, Wiley Online Library.
- GEURTSSEN, W. & LEYHAUSEN, G. 1997. Biological aspects of root canal filling materials—histocompatibility, cytotoxicity, and mutagenicity. *Clinical Oral Investigations*, 1, 5-11.

- GOGOS, C., ECONOMIDES, N., STAVRIANOS, C., KOLOKOURIS, I. & KOKORIKOS, I. 2004. Adhesion of a new methacrylate resin-based sealer to human dentin. *Journal of endodontics*, 30, 238-240.
- GOMES-FILHO, J. E., WATANABE, S., LODI, C. S., CINTRA, L. T. A., NERY, M. J., FILHO, J. A. O., DEZAN JR, E. & BERNABÉ, P. F. E. 2012. Rat tissue reaction to MTA FILLAPEX®. *Dental Traumatology*, 28, 452-456.
- GROSSMAN, L. 1982. Endodontic Practice "10th ed". Philadelphia: Lea & Febiger, 297.
- GUIGAND, M., GLEZ, D., SIBAYAN, E., CATHELINÉAU, G. & VULCAIN, J.-M. 2005. Comparative study of two canal obturation techniques by image analysis and EDS microanalysis. *British dental journal*, 198, 707.
- GUTMANN, J. & RAKUSIN, H. 1987. Perspectives on root canal obturation with thermoplasticized injectable gutta-percha. *International endodontic journal*, 20, 261-270.
- GUTMANN, J., SAUNDERS, W., SAUNDERSZ, E. & NGUYEN, L. 1993. An assessment of the plastic Thermafil obturation technique: Part 2 Material adaptation and scalability. *International Endodontic Journal*, 26, 179-183.
- HAAPASALO, M., PARHAR, M., HUANG, X., WEI, X., LIN, J. & SHEN, Y. 2015. Clinical use of bioceramic materials. *Endodontic topics*, 32, 97-117.
- HAMILTON, A. & QUAIL, F. 2011. Detailed state of the art review for the different online/inline oil analysis techniques in context of wind turbine gearboxes. *Journal of Tribology*, 133.
- HAN, L., OKIJI, T. & OKAWA, S. 2010. Morphological and chemical analysis of different precipitates on mineral trioxide aggregate immersed in different fluids. *Dental Materials Journal*, 29, 512-517.
- HARGREAVES, K. M. & BERMAN, L. H. 2015. *Cohen's pathways of the pulp expert consult*, Elsevier Health Sciences.
- HE, B. B. 2009. *Two-dimensional X-ray diffraction*, Wiley Online Library.
- HENCH, L. L. & WEST, J. K. 1996. *Biological applications of bioactive glasses*, Harwood Academic Publishers.
- HSU, C.-P. S. 1997. Infrared spectroscopy. *Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry*, 249.
- HUANG, F. M., TAI, K. W., CHOU, M. Y. & CHANG, Y. C. 2002. Cytotoxicity of resin-, zinc oxide-eugenol-, and calcium hydroxide-based root canal sealers on human periodontal ligament cells and permanent V79 cells. *International Endodontic Journal*, 35, 153-158.
- HUUMONEN, S., LENANDER-LUMIKARI, M., SIGURDSSON, A. & ØRSTAVIK, D. 2003. Healing of apical periodontitis after endodontic treatment: a comparison between a silicone-based and a zinc oxide-eugenol-based sealer. *International endodontic journal*, 36, 296-301.
- IIJIMA, M., BRANTLEY, W., GUO, W., CLARK, W., YUASA, T. & MIZOGUCHI, I. 2008. X-ray diffraction study of low-temperature phase transformations in nickel-titanium orthodontic wires. *Dental Materials*, 24, 1454-1460.
- INGLE, J., NEWTON, C. & WEST, J. 2002. Obturation of the radicular space In: Ingle JI, Bakland LK. *Endodontics. 5th ed. Hamilton: BC Decker Inc*, 571-4.
- INGLE, J. I., BAKLAND, L. K. & BAUMGARTNER, J. C. 2008. Ingle's endodontics 6th ed. *United States of America: BC Decker*, 342-5.
- ISLAM, I., CHNG, H. & YAP, A. 2006. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *International endodontic journal*, 39, 220-225.
- JACKSON, M., SOWA, M. G. & MANTSCH, H. H. 1997. Infrared spectroscopy: a new frontier in medicine. *Biophysical Chemistry*, 68, 109-125.

- JEFFERIES, S. R. 2014. Bioactive and biomimetic restorative materials: a comprehensive review. Part I. *Journal of esthetic and restorative dentistry*, 26, 14-26.
- JENSEN, S. D. & FISCHER, D. E. 2004. Method for filling and sealing a root canal. Google Patents.
- JOHNSON, W. T. 2002. *Color atlas of endodontics*, Saunders.
- JUNG, I.-Y., LEE, S.-B., KIM, E.-S., LEE, C.-Y. & LEE, S.-J. 2003. Effect of different temperatures and penetration depths of a System B plugger in the filling of artificially created oval canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 96, 453-457.
- KAPLAN, A., GOLDBERG, F., ARTAZA, L., DE SILVIO, A. & MACCHI, R. 1997. Disintegration of endodontic cements in water. *Journal of endodontics*, 23, 439-441.
- KAPLAN, A. E., ORMAECHEA, M., PICCA, M., CANZOBRE, M. & UBIOS, A. 2003. Rheological properties and biocompatibility of endodontic sealers. *International endodontic journal*, 36, 527-532.
- KARA TUNCER, A., TUNCER, S. & GÖKYAY, S. S. 2014. Correlation between sealer penetration into dentinal tubules and bond strength of two new calcium silicate-based and an epoxy resin-based, endodontic sealer. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28, 702-710.
- KARDON, B. P., KUTTLER, S., HARDIGAN, P. & DORN, S. O. 2003. An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system. *Journal of endodontics*, 29, 658-661.
- KIM, Y. K., GRANDINI, S., AMES, J. M., GU, L.-S., KIM, S. K., PASHLEY, D. H., GUTMANN, J. L. & TAY, F. R. 2010. Critical review on methacrylate resin-based root canal sealers. *Journal of endodontics*, 36, 383-399.
- KLUG, H. P. & ALEXANDER, L. E. 1974. X-ray diffraction procedures: for polycrystalline and amorphous materials. *X-Ray Diffraction Procedures: For Polycrystalline and Amorphous Materials, 2nd Edition*, by Harold P. Klug, Leroy E. Alexander, pp. 992. ISBN 0-471-49369-4. Wiley-VCH, May 1974., 992.
- KOCH, K. & BRAVE, D. 2009. The increased use of bioceramics in endodontics. *Dentaltown*, 10, 39-43.
- KOCLL, K., MIN, P. S. & STEWART, G. G. 1994. Comparison of apical leakage between Ketac Endo sealer and Grossman sealer. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 78, 784-787.
- KOLOKURIS, I., BELTES, P., ECONOMIDES, N. & VLEMMAS, I. 1996. Experimental study of the biocompatibility of a new glass-ionomer root canal sealer (Ketac-Endo). *Journal of endodontics*, 22, 395-398.
- KOMABAYASHI, T., COLMENAR, D., CVACH, N., BHAT, A., PRIMUS, C. & IMAI, Y. 2020. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dental Materials Journal*, 2019-288.
- KONTAKIOTIS, E. G., TZANETAKIS, G. N. & LOIZIDES, A. L. 2007. A 12-month longitudinal in vitro leakage study on a new silicon-based root canal filling material (Gutta-Flow). *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 103, 854-859.
- KOULAOUZIDOU, E., PAPAZISIS, K., BELTES, P., GEROMICHOLOS, G. & KORTSARLS, A. 1998. Cytotoxicity of three resin-based root canal sealers: an in vitro evaluation. *Dental Traumatology*, 14, 182-185.
- KUGA, M. C., DE CAMPOS, E. A., VISCARDI, P. H., CARRILHO, P. Z., XAVIÉR, F. C. & SILVESTRE, N. P. 2011. Hydrogen ion and calcium releasing of MTA Fillapex® and MTA-based formulations. *RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, 8, 271-276.

- KUGA, M. C., FARIA, G., WECKWERTH, P. H., DUARTE, M. A. H., CAMPOS, E. A. D., SÓ, M. V. R. & VIOLA, K. S. 2013. Evaluation of the pH, calcium release and antibacterial activity of MTA Fillapex. *Revista de Odontologia da UNESP*, 42, 330-335.
- LAWSON, M. S., LOUSHINE, B., MAI, S., WELLER, R. N., PASHLEY, D. H., TAY, F. R. & LOUSHINE, R. J. 2008. Resistance of a 4-META-containing, methacrylate-based sealer to dislocation in root canals. *Journal of endodontics*, 34, 833-837.
- LEA, C. S., APICELLA, M. J., MINES, P., YANCICH, P. P. & PARKER, M. H. 2005. Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *Journal of Endodontics*, 31, 37-39.
- LI, G.-H., NIU, L.-N., ZHANG, W., OLSEN, M., DE-DEUS, G., EID, A. A., CHEN, J.-H., PASHLEY, D. H. & TAY, F. R. 2014. Ability of new obturation materials to improve the seal of the root canal system: a review. *Acta biomaterialia*, 10, 1050-1063.
- LODIENÉ, G., MORISBAK, E., BRUZELL, E. & ØRSTAVIK, D. 2008. Toxicity evaluation of root canal sealers in vitro. *International Endodontic Journal*, 41, 72-77.
- LOPEZ-GARCIA, S., MYONG-HYUN, B., LOZANO, A., GARCIA-BERNAL, D., FORNER, L., LLENA, C., GUERRERO-GIRONES, J., MURCIA, L. & RODRIGUEZ-LOZANO, F. 2019. Cytocompatibility, bioactivity potential, and ion release of three premixed calcium silicate-based sealers. *Clinical Oral Investigations*, 1-11.
- LOUSHINE, B. A., BRYAN, T. E., LOONEY, S. W., GILLEN, B. M., LOUSHINE, R. J., WELLER, R. N., PASHLEY, D. H. & TAY, F. R. 2011. Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *Journal of endodontics*, 37, 673-677.
- MARCIANO, M. A., COSTA, R. M., CAMILLERI, J., MONDELLI, R. F. L., GUIMARAES, B. M. & DUARTE, M. A. H. 2014. Assessment of color stability of white mineral trioxide aggregate angelus and bismuth oxide in contact with tooth structure. *Journal of Endodontics*, 40, 1235-1240.
- MARCIANO, M. A., DUARTE, M. A. H. & CAMILLERI, J. 2016. Calcium silicate-based sealers: assessment of physicochemical properties, porosity and hydration. *Dental Materials*, 32, e30-e40.
- MCANENEY, J. 2006. *Characteristics of Thin and Ultrathin Film Ferroelectric Capacitor Structures*. Queen's University of Belfast.
- MCMICHEN, F., PEARSON, G., RAHBARAN, S. & GULABIVALA, K. 2003. A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers. *International endodontic journal*, 36, 629-635.
- METABIOMED 2019. CeraSeal Calcium Silicate-based Bioceramic Sealer.
- MICHANOWICZ, A. & CZONSTKOWSKY, M. 1984. Sealing properties of an injection-thermoplasticized low-temperature (70° C) gutta-percha: a preliminary study. *Journal of Endodontics*, 10, 563-566.
- MICKEL, A. K., NGUYEN, T. H. & CHOGLÉ, S. 2003. Antimicrobial activity of endodontic sealers on *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics*, 29, 257-258.
- MILETIĆ, I., DEVČIĆ, N., ANIĆ, I., BORČIĆ, J., KARLOVIĆ, Z. & OSMAK, M. 2005. The cytotoxicity of RoekoSeal and AH plus compared during different setting periods. *Journal of Endodontics*, 31, 307-309.
- MO, Z. & ZHANG, H. 1995. The degree of crystallinity in polymers by wide-angle x-ray diffraction (WAXD). *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 35, 555-580.
- MORGENTAL, R. D., VIER-PELISSER, F. V., OLIVEIRA, S. D. D., ANTUNES, F. C., COGO, D. M. & KOPPER, P. 2011. Antibacterial activity of two MTA-based root canal sealers. *International endodontic journal*, 44, 1128-1133.

- MUTAL, L. & GANI, O. 2005. Presence of pores and vacuoles in set endodontic sealers. *International Endodontic Journal*, 38, 690-696.
- NAGAS, E., UYANIK, M. O., EYMIRLI, A., CEHRELI, Z. C., VALLITTU, P. K., LASSILA, L. V. & DURMAZ, V. 2012. Dentin Moisture Conditions Affect the Adhesion of Root Canal Sealers. *Journal of Endodontics*, 2, 240-244.
- NEELAKANTAN, P., SHARMA, S., SHEMESH, H. & WESSELINK, P. R. 2015. Influence of irrigation sequence on the adhesion of root canal sealers to dentin: a Fourier transform infrared spectroscopy and push-out bond strength analysis. *Journal of endodontics*, 41, 1108-1111.
- NEELAKANTAN, P., SUBBARAO, C., SUBBARAO, C., DE-DEUS, G. & ZEHNDER, M. 2011. The impact of root dentine conditioning on sealing ability and push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer. *International Endodontic Journal*, 44, 491-498.
- NEELAKANTAN, P., VARUGHESE, A., SHARMA, S., SUBBARAO, C., ZEHNDER, M. & DE-DEUS, G. 2012. Continuous chelation irrigation improves the adhesion of epoxy resin-based root canal sealer to root dentine. *International endodontic journal*, 45, 1097-1102.
- NELSON, E. A., LIEWEHR, F. R. & WEST, L. A. 2000. Increased density of gutta-percha using a controlled heat instrument with lateral condensation. *Journal of endodontics*, 26, 748-750.
- NEVARES, G., DE ALBUQUERQUE, D. S., BUENO, C. & CUNHA, R. 2015. Is guttacore more easily removed from the root canal than thermafil? An ex-vivo study. *J Can Dent Assoc*, 81, f22.
- NIU, L.-N., JIAO, K., ZHANG, W., CAMILLERI, J., BERGERON, B. E., FENG, H.-L., MAO, J., CHEN, J.-H., PASHLEY, D. H. & TAY, F. R. 2014. A review of the bioactivity of hydraulic calcium silicate cements. *Journal of dentistry*, 42, 517-533.
- OLIVEIRA, M. G. D., XAVIER, C. B., DEMARCO, F. F., PINHEIRO, A. L. B., COSTA, A. T. & POZZA, D. H. 2007. Comparative chemical study of MTA and Portland cements. *Brazilian dental journal*, 18, 3-7.
- ØRSTAVIK, D., NORDAHL, I. & TIBBALLS, J. E. 2001. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dental materials*, 17, 512-519.
- OSORIO, R. M., HEFTI, A., VERTUCCI, F. J. & SHAWLEY, A. L. 1998. Cytotoxicity of endodontic materials. *Journal of Endodontics*, 24, 91-96.
- ÖZATA, F., ÖNAL, B., ERDILEK, N. & TÜRKÜN, Ş. L. 1999. A comparative study of apical leakage of Apexit, Ketac-Endo, and Diaket root canal sealers. *Journal of endodontics*, 25, 603-604.
- PARIROKH, M. & TORABINEJAD, M. 2010. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of endodontics*, 36, 16-27.
- PARIROKH, M., TORABINEJAD, M. & DUMMER, P. 2018. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview—part I: vital pulp therapy. *International endodontic journal*, 51, 177-205.
- PAVIA, D., LAMPMAN, G., KRIZ, G. & VYVYAN, J. 2009. Introduction to Spectroscopy, forth ed. Brooks/Cole, Cengage Learning, USA.
- PEST, L. B., CAVALLI, G., BERTANI, P. & GAGLIANI, M. 2002. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dental Materials*, 18, 596-602.
- PINNA, L., BRACKETT, M. G., LOCKWOOD, P. E., HUFFMAN, B. P., MAI, S., COTTI, E., DETTORI, C., PASHLEY, D. H. & TAY, F. R. 2008. In vitro cytotoxicity evaluation of a self-adhesive, methacrylate resin-based root canal sealer. *Journal of endodontics*, 34, 1085-1088.

- QU, W., BAI, W., LIANG, Y.-H. & GAO, X.-J. 2016. Influence of warm vertical compaction technique on physical properties of root canal sealers. *Journal of Endodontics*, 42, 1829-1833.
- QU, W., BAI, W., LIANG, Y. & GAO, X. 2015. Real temperature of the continuous-wave pluggers. *Beijing da xue xue bao. Yi xue ban = Journal of Peking University. Health sciences*, 47, 834-837.
- RESENDE, L., RACHED-JUNIOR, F., VERSIANI, M., SOUZA-GABRIEL, A., MIRANDA, C., SILVA-SOUSA, Y. & SOUSA NETO, M. 2009. A comparative study of physicochemical properties of AH Plus, Epiphany, and Epiphany SE root canal sealers. *International Endodontic Journal*, 42, 785-793.
- RESZKA, P., GROCHOLEWICZ, K., DROŹDZIK, A. & LIPSKI, M. 2019. Evaluation of the radiopacity of selected calcium-silicate root canal sealers. *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 65.
- RESZKA, P., NOWICKA, A., LIPSKI, M., DURA, W., DROŹDZIK, A. & WOŹNIAK, K. 2016. A comparative chemical study of calcium silicate-containing and epoxy resin-based root canal sealers. *BioMed research international*, 2016.
- ROGGENDORF, M. J., EBERT, J., PETSCHT, A. & FRANKENBERGER, R. 2007. Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *Journal of Endodontics*, 33, 31-33.
- ROMERO, A. D., GREEN, D. B. & WUCHERPFENNIG, A. L. 2000. Heat transfer to the periodontal ligament during root obturation procedures using an in vitro model. *Journal of endodontics*, 26, 85-87.
- ROSE, N., LE BRAS, M., BOURBIGOT, S. & DELOBEL, R. 1994. Thermal oxidative degradation of epoxy resins: evaluation of their heat resistance using invariant kinetic parameters. *Polymer degradation and stability*, 45, 387-397.
- SABBAGH, J., VREVEN, J. & LELOUP, G. 2004. Radiopacity of resin-based materials measured in film radiographs and storage phosphor plate (Digora).
- SALEH, I., RUYTER, I., HAAPASALO, M. & ØRSTAVIK, D. 2004. Survival of *Enterococcus faecalis* in infected dentinal tubules after root canal filling with different root canal sealers in vitro. *International Endodontic Journal*, 37, 193-198.
- SALLES, L., GOMES-CORNÉLIO, A., GUIMARÃES, F., HERRERA, B., BAO, S., ROSSA-JUNIOR, C., GUERREIRO-TANOMARU, J. & TANOMARU-FILHO, M. 2012a. Mineral trioxide aggregate-based endodontic sealer stimulates hydroxyapatite nucleation in human osteoblast-like cell culture. *Journal of endodontics*, 38, 971.
- SALLES, L. P., GOMES-CORNÉLIO, A. L., GUIMARÃES, F. C., HERRERA, B. S., BAO, S. N., ROSSA-JUNIOR, C., GUERREIRO-TANOMARU, J. M. & TANOMARU-FILHO, M. 2012b. Mineral trioxide aggregate-based endodontic sealer stimulates hydroxyapatite nucleation in human osteoblast-like cell culture. *Journal of Endodontics*, 38, 971-976.
- SAMPAIO, F. C., ALENCAR, A. H. G. D., GUEDES, O. A., VELOSO, H. H. P., SANTOS, T. O. D. & ESTRELA, C. 2014. Chemical elements characterization of root canal sealers using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray analysis.
- SAVARINO, L., CERVELLATI, M., STEA, S., CAVEDAGNA, D., DONATI, M., PIZZOFERRATO, A. & VISENTIN, M. 2000. In vitro investigation of aluminum and fluoride release from compomers, conventional and resin-modified glass-ionomer cements: a standardized approach. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 11, 289-300.
- SCELZA, M., LINHARES, A., DA SILVA, L., GRANJEIRO, J. & ALVES, G. 2012. A multiparametric assay to compare the cytotoxicity of endodontic sealers with primary human osteoblasts. *International Endodontic Journal*, 45, 12-18.

- SCHILDER, H. 2006. Filling root canals in three dimensions. *Journal of endodontics*, 32, 281-290.
- SHIPPER, G., ØRSTAVIK, D., TEIXEIRA, F. B. & TROPE, M. 2004. An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon). *Journal of endodontics*, 30, 342-347.
- SHIPPER, G., TEIXEIRA, F. B., ARNOLD, R. R. & TROPE, M. 2005. Periapical inflammation after coronal microbial inoculation of dog roots filled with gutta-percha or resilon. *Journal of Endodontics*, 31, 91-96.
- SHIPPER, G. & TROPE, M. 2004. In vitro microbial leakage of endodontically treated teeth using new and standard obturation techniques. *Journal of endodontics*, 30, 154-158.
- SHOKOUHINEJAD, N., GORJESTANI, H., NASSEH, A. A., HOSEINI, A., MOHAMMADI, M. & SHAMSHIRI, A. R. 2013. Push-out bond strength of gutta-percha with a new bioceramic sealer in the presence or absence of smear layer. *Australian Endodontic Journal*, 39, 102-106.
- SIBONI, F., TADDEI, P., ZAMPARINI, F., PRATI, C. & GANDOLFI, M. 2017. Properties of BioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *International endodontic journal*, 50, e120-e136.
- SILVA, E., ACCORSI-MENDONÇA, T., ALMEIDA, J., FERRAZ, C., GOMES, B. & ZAIA, A. 2012. Evaluation of cytotoxicity and up-regulation of gelatinases in human fibroblast cells by four root canal sealers. *International endodontic journal*, 45, 49-56.
- SILVA, E., ROSA, T., HERRERA, D., JACINTO, R., GOMES, B. & ZAIA, A. 2013. Evaluation of Cytotoxicity and Physicochemical Properties of Calcium Silicate-based Endodontic Sealer MTA Fillapex. *Journal of Endodontics*, 39, 274-277.
- SILVA, L. B., LEONARDO, M. R., FACCIOLI, L. H. & FIGUEIREDO, F. 1997. Inflammatory response to calcium hydroxide based root canal sealers. *Journal of endodontics*, 23, 86-90.
- SKOOG, D. A., WEST, D. M., HOLLER, F. J. & CROUCH, S. R. 2013. *Fundamentals of analytical chemistry*, Nelson Education.
- SMITH, B. C. 2011. *Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy*, CRC press.
- SOARES, I., GOLDBERG, F., MASSONE, E. J. & SOARES, I. M. 1990. Periapical tissue response to two calcium hydroxide-containing endodontic sealers. *Journal of endodontics*, 16, 166-169.
- SPÅNGBERG, L. S., BARBOSA, S. V. & LAVIGNE, G. D. 1993. AH26 releases formaldehyde. *Journal of endodontics*, 19, 596-598.
- SWEATMAN, T. L., BAUMGARTNER, J. C. & SAKAGUCHI, R. L. 2001. Radicular temperatures associated with thermoplasticized gutta-percha. *Journal of Endodontics*, 27, 512-515.
- TADDEI, P., TINTI, A., GANDOLFI, M., ROSSI, P. & PRATI, C. 2009a. Vibrational study on the bioactivity of Portland cement-based materials for endodontic use. *Journal of Molecular Structure*, 924, 548-554.
- TADDEI, P., TINTI, A., GANDOLFI, M. G., ROSSI, P. L. & PRATI, C. 2009b. Ageing of calcium silicate cements for endodontic use in simulated body fluids: a micro-Raman study. *Journal of Raman Spectroscopy: An International Journal for Original Work in all Aspects of Raman Spectroscopy, Including Higher Order Processes, and also Brillouin and Rayleigh Scattering*, 40, 1858-1866.
- TAGGER, M., TAGGER, E. & KFIR, A. 1988. Release of calcium and hydroxyl ions from set endodontic sealers containing calcium hydroxide. *Journal of Endodontics*, 14, 588-591.

- TARHAN, S. Ç. & UZUNOĞLU, E. 2010. Kök kanal dolgu maddeleri. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences Special Topics*, 1, 1-15.
- TAY, F. R., LOUSHINE, R. J., MONTICELLI, F., WELLER, R. N., BRESCHI, L., FERRARI, M. & PASHLEY, D. H. 2005. Effectiveness of resin-coated gutta-percha cones and a dual-cured, hydrophilic methacrylate resin-based sealer in obturating root canals. *Journal of endodontics*, 31, 659-664.
- TAY, F. R., PASHLEY, D. H., RUEGGERBERG, F. A., LOUSHINE, R. J. & WELLER, R. N. 2007. Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the Portland cement component of white mineral trioxide aggregate with a phosphate-containing fluid. *Journal of endodontics*, 33, 1347-1351.
- TELLI, C., SERPER, A., DOĞAN, A. L. & GÜC, D. 1999. Evaluation of the cytotoxicity of calcium phosphate root canal sealers by MTT assay. *Journal of endodontics*, 25, 811-813.
- TORABINEJAD, M. & CHIVIAN, N. 1999. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*, 25, 197-205.
- TORABINEJAD, M., HONG, C., MCDONALD, F. & FORD, T. P. 1995. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of endodontics*, 21, 349-353.
- TORUN, Z. O., AKAY, C., CETINKAYA, S., CAN DEMİRDÖĞEN, B., ERDEM, O. & DEMİRKAYA, K. 2016. In vivo evaluation of the effects of hydraulic calcium silicate dental cements on plasma and liver aluminium levels in rats.
- TRONSTAD, L., BARNETT, F. & FLAX, M. 1988. Solubility and biocompatibility of calcium hydroxide-containing root canal sealers. *Dental Traumatology*, 4, 152-159.
- TROPE, M., BUNES, A. & DEBELIAN, G. 2015. Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? *Endodontic Topics*, 32, 86-96.
- VENTURI, M., DI LENARDA, R., PRATI, C. & BRESCHI, L. 2005. An in vitro model to investigate filling of lateral canals. *Journal of endodontics*, 31, 877-881.
- VENTURI, M., PASQUANTONIO, G., FALCONI, M. & BRESCHI, L. 2002. Temperature change within gutta-percha induced by the System-B Heat Source. *International Endodontic Journal*, 35, 740-746.
- VERSIANI, M., CARVALHO-JUNIOR, J., PADILHA, M., LACEY, S., PASCON, E. & SOUSA-NETO, M. 2006. A comparative study of physicochemical properties of AH Plus™ and Epiphany™ root canal sealants. *International Endodontic Journal*, 39, 464-471.
- VIAPIANA, R., BALUCI, C. A., TANOMARU-FILHO, M. & CAMILLERI, J. 2015. Investigation of chemical changes in sealers during application of the warm vertical compaction technique. *Int Endod J*, 48, 16-27.
- VIAPIANA, R., FLUMIGNAN, D., GUERREIRO-TANOMARU, J., CAMILLERI, J. & TANOMARU-FILHO, M. 2014a. Physicochemical and mechanical properties of zirconium oxide and niobium oxide modified Portland cement-based experimental endodontic sealers. *International endodontic journal*, 47, 437-448.
- VIAPIANA, R., GUERREIRO-TANOMARU, J. M., HUNGARO-DUARTE, M. A., TANOMARU-FILHO, M. & CAMILLERI, J. 2014b. Chemical characterization and bioactivity of epoxy resin and Portland cement-based sealers with niobium and zirconium oxide radiopacifiers. *Dental Materials*, 30, 1005-1020.
- VIAPIANA, R., GUERREIRO-TANOMARU, J. M., TANOMARU-FILHO, M. & CAMILLERI, J. 2014c. Investigation of the effect of sealer use on the heat generated at the external root surface during root canal obturation using warm vertical compaction technique with System B heat source. *J Endod*, 40, 555-61.
- VITTI, R. P., PRATI, C., SILVA, E. J. N. L., SINHORETI, M. A. C., ZANCHI, C. H., E SILVA, M. G. D. S., OGLIARI, F. A., PIVA, E. & GANDOLFI, M. G. 2013. Physical properties of MTA Fillapex sealer. *Journal of endodontics*, 39, 915-918.

- VON ARDENNE, M. 1985. On the history of scanning electron microscopy, of the electron microprobe, and of early contributions to transmission electron microscopy. *"The Beginnings of Electron Microscopy"*. Academic Press Orlando.
- WANG, Q., YU, G., ZHOU, X.-D., PETERS, O. A., ZHENG, Q.-H. & HUANG, D.-M. 2011. Evaluation of X-ray projection angulation for successful radix entomolaris diagnosis in mandibular first molars in vitro. *Journal of endodontics*, 37, 1063-1068.
- WHITWORTH, J. 2005. Methods of filling root canals: principles and practices. *Endodontic topics*, 12, 2-24.
- WU, M.-K., TIGOS, E. & WESSELINK, P. R. 2002. An 18-month longitudinal study on a new silicon-based sealer, RSA RoekoSeal: A leakage study in vitro. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 94, 499-502.
- WU, M.-K., VAN DER SLUIS, L. W. & WESSELINK, P. R. 2004. Fluid transport along gutta-percha backfills with and without sealer. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 97, 257-262.
- WU, M. K., FAN, B. & WESSELINK, P. 2000. Diminished leakage along root canals filled with gutta-percha without sealer over time: a laboratory study. *International Endodontic Journal*, 33, 121-125.
- WU, M. K., KAŠT'ÁKOVÁ, A. & WESSELINK, P. 2001. Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars. *International Endodontic Journal*, 34, 485-491.
- WUBET, W. 2019. Green Synthesis of CuO Nanoparticles for the Application of Dye Sensitized Solar Cell.
- XUEREB, M., VELLA, P., DAMIDOT, D., SAMMUT, C. V. & CAMILLERI, J. 2015. In situ assessment of the setting of tricalcium silicate-based sealers using a dentin pressure model. *Journal of endodontics*, 41, 111-124.
- YAÑEZ, M. J. & BARBOSA, S. E. 2003. Changes in particle area measurements due to SEM accelerating voltage and magnification. *Microscopy research and technique*, 61, 463-468.
- YANG, D.-K., KIM, S., PARK, J.-W., KIM, E. & SHIN, S.-J. 2018. Different setting conditions affect surface characteristics and microhardness of calcium silicate-based sealers. *Scanning*, 2018.
- YASUDA, Y., KAMAGUCHI, A. & SAITO, T. 2008. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of a new resin-based endodontic sealer against endodontic pathogens. *Journal of oral science*, 50, 309-313.
- YOSHINO, P., NISHIYAMA, C. K., MODENA, K. C. D. S., SANTOS, C. F. & SIPERT, C. R. 2013. In vitro cytotoxicity of white MTA, MTA Fillapex® and Portland cement on human periodontal ligament fibroblasts. *Brazilian dental journal*, 24, 111-116.
- ZETTERQVIST, L., ANNEROTH, G., DANIN, J. & RÖDING, K. 1988. Microleakage of retrograde fillings—a comparative investigation between amalgam and glass ionomer cement in vitro. *International endodontic journal*, 21, 1-8.
- ZHOU, H.-M., DU, T.-F., SHEN, Y., WANG, Z.-J., ZHENG, Y.-F. & HAAPASALO, M. 2015. In vitro cytotoxicity of calcium silicate-containing endodontic sealers. *Journal of Endodontics*, 41, 56-61.
- ZHOU, W., APKARIAN, R., WANG, Z. L. & JOY, D. 2006. Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). *Scanning microscopy for nanotechnology*. Springer.
- ZHU, L., YANG, J., ZHANG, J., LEI, D., XIAO, L., CHENG, X., LIN, Y. & PENG, B. 2014. In vitro and in vivo evaluation of a nanoparticulate bioceramic paste for dental pulp repair. *Acta biomaterialia*, 10, 5156-5168.

- ZMENER, O. 2004. Tissue response to a new methacrylate-based root canal sealer: preliminary observations in the subcutaneous connective tissue of rats. *Journal of Endodontics*, 30, 348-351.
- ZMENER, O., BANEGAS, G. & PAMEIJER, C. H. 2005. Bone tissue response to a methacrylate-based endodontic sealer: a histological and histometric study. *Journal of Endodontics*, 31, 457-459.
- ZOUFAN, K., JIANG, J., KOMABAYASHI, T., WANG, Y.-H., SAFAVI, K. E. & ZHU, Q. 2011. Cytotoxicity evaluation of Gutta flow and endo sequence BC sealers. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112, 657-661.



9. ÖZGEÇMİŞ

Adı	Tülay	Soyadı	BAKIRCI
Doğum Yeri	İstanbul	Doğum Tarihi	
Uyruğu	T.C	Tel	
E-mail			

Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Doktora/Uzmanlık	Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti A.B.D.	2020
Lisans	Bülent Ecevit Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2015

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (Yıl - Yıl)
Araştırma Görevlisi	Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2017-2020

Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama*	Konuşma*	Yazma*
İngilizce	Çok iyi	iyi	iyi

Yabancı Dil Sınav Notu #								
YDS	ÜDS	IELTS	TOEFL IBT	TOEFL PBT	TOEFL CBT	FCE	CAE	CPE
86,25								

	Sayısal	Eşit Ağırlık	Sözel
ALES Puanı			
(Diğer) Puanı			

Bilgisayar Bilgisi

Program	Kullanma becerisi
Windows Word, Excel, Power Point, EndNote	iyi

*Çok iyi, iyi, orta, zayıf olarak değerlendiriniz.