



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



**ULTRASONİK İRRİGASYON CİHAZININ PLASTİK
VE METAL UÇLARIYLA SMEAR TABAKASININ
UZAKLAŞTIRILMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Makbule TAŞYÜREK

UZMANLIK TEZİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Sadullah KAYA

DİYARBAKIR

2025



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



**ULTRASONİK İRRİGASYON CİHAZININ PLASTİK
VE METAL UÇLARIYLA SMEAR TABAKASININ
UZAKLAŞTIRILMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Makbule TAŞYÜREK

UZMANLIK TEZİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Sadullah KAYA

DİYARBAKIR
2025

Bu tez Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünce
desteklenmiştir (Proje No: DİŞ.24.012).



Anneme ...

BEYAN

Bu tez çalışmasının tamamının şahsıma ait olduğunu, planlama aşamasından yazım sürecine kadar tüm süreçlerde akademik dürüstlük ilkesine bağlı kaldığımı, çalışmam süresince etik dışı herhangi bir eylemde bulunmadığımı, tez kapsamında sunduğum tüm bilgileri bilimsel ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tez kapsamında yer almayan tüm alıntı ve görüşleri ilgili kaynaklara atıf yaparak belirttiğimi ve bu kaynakları kaynakça bölümünde eksiksiz olarak listelediğimi, ayrıca çalışma sürecinde herhangi bir patent ya da telif hakkı ihlali gerçekleştirmediğimi ve tezimin Dicle Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun şekilde hazırlandığını beyan ederim.

25.04.2025

Makbule TAŞYÜREK

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimleriyle bana her zaman rehberlik eden, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve öğrencisi olmaktan onur duyduğum kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Sadullah KAYA'ya,

Eğitim sürecim boyunca her zaman yol gösterici olan, engin bilgi ve tecrübeleriyle daima başvurduğum, sadece akademik değil, insani yönüyle de bana ilham veren Prof. Dr. Özkan ADIGÜZEL'e,

Uzmanlık sürecimin en başında bana inanarak destek veren, mesleki duruşumun, çalışma azmimin ve istikrarımın temellerini atan çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Neslihan ŞİMŞEK'e

Destek, bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yardımlarına başvurduğum çok kıymetli hocalarım Doç. Dr. Merve YENİÇERİ ÖZATA ve Dr. Öğr. Üyesi İbrahim UYSAL'a,

Üniversite öğrencilik yıllarımda Endodonti Anabilim Dalı'nı sevdiren, mesleki yolculuğumda bu alana yönelmemde büyük rol oynayan çok kıymetli hocalarım Doç. Dr. Emre BAYRAM ve değerli eşi Doç. Dr. Hüda Melike BAYRAM'a

Uzmanlık eğitimim boyunca hem abla, hem arkadaş, hem de yol gösterici birer hoca olan Doç. Dr. Berivan DÜNDAR, Doç. Dr. Ayça Deniz İZGİ ve Doç. Dr. Suzan CANGÜL'e,

Tez sürecim boyunca desteğini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Mehmet ÇOLAK ve Doç. Dr. Murat YAVUZ'a,

Her zaman desteklerini hissettiğim, sıkıntılara mutluluklarıma ortak olan başta Dt. Bora İLCAN, Dt. Mehmet Ali ALTUNKUM, Dt. Ayşenur ÇAM, Dt. Merve DEFİŞET, Uzm. Dt. Gamze Durak ÖZKILIÇ, Uzm. Dt. Hasret KILIVAN, Dt. Tolga MAVİGÖZ, Dr. Öğr. Üyesi Muharrem BATUR'a, Gülbin ÇETİNTAŞ, Fatma TUNA ve diğer arkadaşlarıma,

Hayatım boyunca her anımda yanımda olan, sevgileriyle güç veren canım aileme; desteği, anlayışı ve dostluğuyla her zaman en yakınımnda hissettiğim kıymetli kardeşlerim Hatice Kübra TAŞYÜREK ve Zehra TAŞYÜREK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
RESİMLER LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
ÖZET.....	XIII
ABSTRACT	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Smear Tabakası	3
2.2 Smear Tabakasının Uzaklaştırılması	4
2.3 Smear Tabakası Uzaklaştırma Yöntemleri.....	4
2.3.1 Kimyasal Yöntemler.....	4
2.3.1.1 Endodontide Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları.....	5
2.3.2 Mekanik Yöntemler.....	13
2.3.2.1 Manuel Aktivasyon Yöntemleri.....	15
2.3.2.2 Makine Destekli Aktivasyon Sistemleri.....	17
2.4 Endodontide Görüntüleme Yöntemleri	26
2.4.1 Işık Mikroskobu.....	26
2.4.2 Elektron Mikroskobu.....	27
3. MATERYAL VE METOT.....	29
3.1 Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması.....	29
3.2 Dişlerin Hazırlanması.....	30

3.3	Çalışmada Kullanılacak Materyaller	30
3.4	Kök Kanallarının Preparasyonu.....	32
3.5	Smear Uzaklaştırma ve SEM Analizi.....	34
3.5.1	Final İrrigasyon İşlemi	34
3.5.2	Örnek Kesitlerin Hazırlanması	36
3.5.3	SEM Cihazı ile Örneklerin Analizi	36
3.5.4	İstatiksel Analiz.....	38
4.	BULGULAR	40
4.1	SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi	40
4.2	İstatistiksel Değerlendirme	46
5.	TARTIŞMA	51
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	61
7.	KAYNAKÇA	62
8.	EKLER.....	74
9.	ORJİNALLİK RAPORU	75
10.	ÖZGEÇMİŞ	76

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Çalışmada kullanılan %5 derişimli NaOCl çözeltilisinin görüntüsü.....	31
Resim 3.2. Çalışmada kullanılan %17 derişime sahip EDTA çözeltilisinin görüntüsü.	31
Resim 3.3. Çalışmada plastik uç ve metal uç ile kullanılan pasif ultrasonik aktivasyon cihazı	32
Resim 3.4. Çalışmada kullanılan endodontik motor	33
Resim 3.5. Çalışmada kullanılan Reciproc R25 ve R40 döner eğe sistemi	33
Resim 3.6. SEM görüntülemesi için hazırlanan kök yarımaları	37
Resim 3.7. Örneklerin incelenmesi için kullanılan SEM görüntüleme cihazı	37
Resim 4.1. Grup 1 koronal bölge SEM görüntüsü	40
Resim 4.2. Grup 1 için orta bölge SEM görüntüsü.	41
Resim 4.3. Grup 1 için apikal bölge SEM görüntüsü.	41
Resim 4.4. Grup 2 koronal bölge SEM görüntüsü.	42
Resim 4.5. Grup 2 orta bölge SEM görüntüsü.	43
Resim 4.6. Grup 2 apikal bölge SEM görüntüsü.	43
Resim 4.7. Grup 3 koronal bölge SEM görüntüsü.	44
Resim 4.8. Grup 3 orta bölge SEM görüntüsü.	45
Resim 4.9. Grup 3 apikal bölge SEM görüntüsü.	45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. İrrigasyon aktivasyon teknikleri ve cihazlar	14
Şekil 4.1. Apikal için irrigasyon yöntemlerine ait karşılaştırmalar.	49
Şekil 4.2. Orta üçlü için irrigasyon yöntemlerine ait karşılaştırmalar.	50
Şekil 4.3. Koronal üçlü için irrigasyon yöntemlerine ait karşılaştırmalar	50



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Klinisyenlerin yaptığı smear skorlamalarına ait genel tanımlayıcılar	46
Tablo 4.2. GŞİ, plastik uç ve metal uç ile aktivasyon yapılan dişlerde klinisyen 1 ve klinisyen 2 arasındaki uyuma ait skorlar	47
Tablo 4.3. Tüm dişlerde klinisyen 1 ve klinisyen 2 arasındaki uyuma ait skorlar	47
Tablo 4.4. Gruplar arasında değişkenlere ait karşılaştırmalar.....	49



SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Sembol	Açıklama
°C	Derece Celsius
µL	Mikrolitre
µm	Mikrometre
Dk	Dakika
G	Gram
kV	Kilovolt
kHz	Kilohertz
Mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
sn	Saniye

Kısaltma	Açıklama
CA	Sitrik asit
CHX	Klorheksidin
EDTA	Etilendiamin tetraasetik asit
EDTAC	Etilendiamin tetraasetik asit / Cetavlon
GŞİ	Geleneksel şırınga irrigasyonu
HEDP	Etidronik asit
MTAD	Mixture of tetracycline isomer, acid and detergent
PCA	<i>para</i> -Kloroanilin
SEM	Taramalı elektron mikroskopisi
Sİ	Sonik irrigasyon
PUI	Pasif ultrasonik irrigasyon
FAC	Free Available Chlorine

SAF

Self adjusting file

NaOCl

Sodyum hipoklorit



ÖZET

Ultrasonik İrrigasyon Cihazının Plastik ve Metal Uçlarıyla Smear Tabakasının Uzaklaştırılmasının Değerlendirilmesi

Makbule TAŞYÜREK

Danışman: Prof. Dr. Sadullah KAYA

Endodonti Anabilim Dalı

Nisan 2025, 80 Sayfa

Amaç

Bu çalışmanın amacı %17'lik EDTA (Etilendiamin tetraasetik asit) ve %5'lik NaOCl (Sodyum hipoklorit) yıkama solüsyonları kullanarak, metal ve plastik uçlu ultrasonik irrigasyon cihazıyla aktivasyon yaptıktan sonra taramalı elektron mikroskopunda (SEM) smear tabakasının uzaklaştırılmasının değerlendirilmesidir.

Gereç ve Yöntem

Çalışmamızda toplam 60 adet mandibular premolar diş kullanıldı. Tüm apikalden itibaren 15 mm olacak şekilde ölçüm yapılarak dekontaminasyon işlemi gerçekleştirildi.

Kök kanal preparasyonu, apikalden 1 mm kısa olacak biçimde M40 (40/0.04) (T- Endo Must, İstanbul, Türkiye) nikel-titanyum (NiTi) döner eğelerle tamamlandı. Enstrümantasyon süresince 15 mL %5'lik NaOCl solüsyonu, 3 mL distile su ile irrigasyon uygulandı. Dişler Grup 1: Kontrol Grubu: Geleneksel Şırınga İrrigasyonu (GŞİ) (n: 20), Grup 2: Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUİ) Cihazı, Plastik Uç ile Aktivasyon (n: 20) , Grup 3: PUİ Cihazı, Metal Uç ile Aktivasyon (n: 20) olmak üzere rastgele 3 gruba ayrıldı.

Her grupta final irrigasyon protokolü kapsamında 5 mL %5'lik NaOCl ve 2 mL %17'lik EDTA solüsyonu ile yıkama işlemi gerçekleştirildi ve ardından 3 mL distile su ile durulama yapıldı. PUİ gruplarda (Grup 2 ve 3), %5'lik NaOCl solüsyonuna toplam 60 sn, %17'lik EDTA solüsyonuna ise toplam 30 sn aktivasyon sağlandı. Son olarak örnekler 3 mL distile su ile yıkandı.

Ardından kökler iki eşit parçaya ayrıldı. Değerlendirme amacıyla, dişlerin koronal, orta ve apikal kesitlerinden alınan SEM görüntülerindeki smear tabakası iki bağımsız klinisyen tarafından skorlandı.

Verilerin analizi, SPSS V25 (IBM Inc., Armonk, NY, ABD) yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi. Nicel değişkenler için ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum) değerleri sunuldu. Nitel değişkenlerin ikiden fazla kategori içermesi ve

normal dağılım varsayımlarının sağlanmaması nedeniyle Kruskal-Wallis H testi ile gruplar arasındaki farklar değerlendirildi. Anlamlı farklılık tespit edilen değişkenlerde, hangi ikili grupların farklılık oluşturduğunu belirlemek amacıyla Bonferroni düzeltilmeli Mann-Whitney U testi uygulandı. İki bağımsız gözlemci tarafından yapılan skorlamalar arasındaki uyumun değerlendirilmesi için ise Cronbach α katsayısı hesaplandı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edildi.

Bulgular

Smear tabakası uzaklaştırma etkinliği bakımından apikal, orta ve koronal bölgeler arasında irrigasyon yöntemleri bakımından anlamlı fark bulundu ($p<0,05$). Bütün irrigasyon yöntemlerinde koronal ve orta bölgede smear tabakası uzaklaştırma etkinliği apikal bölgeye göre anlamlı derecede daha yüksektir ($p<0,05$). GŞİ- plastik uç ve metal uç arasında orta ve koronal bölgede anlamlı farklar bulundu ($p<0,001$). GŞİ ve metal uç arasında apikal bölgede anlamlı fark bulunmadı ($p>0,001$). Orta ve koronal bölgede plastik ve metal uç GŞİ' ye göre daha iyi smear tabakasını uzaklaştırmıştır. GŞİ ve plastik uç arasında ise apikal bölgede anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Apikalde plastik uç GŞİ' ye göre daha etkili bulundu. Plastik uç ve metal uç grupları arasında ise smear uzaklaştırma etkinliği bakımından sadece apikal bölgede anlamlı fark bulundu ($p<0,001$). Plastik uç-metal uç arasında orta ve koronal bölgede fark bulunmadı ($p>0,001$). Apikal bölgede plastik uç metal uca göre daha iyi smear tabakası uzaklaştırdı.

Sonuç

Smear tabakasını uzaklaştırma etkinliği bakımından PUI cihazının plastik ucu ve metal ucu arasında apikal bölgede fark vardır. Kök kanal irrigasyon aktivasyon yöntemlerinden PUI cihazının metal ve plastik uçların kullanımıyla ilgili olarak daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Pasif ultrasonik irrigasyon, Metal uç, Plastik uç, Smear tabakası uzaklaştırma, Aralıklı aktivasyon, Taramalı elektron mikroskop.

ABSTRACT

Evaluation of Smear Layer Removal with Plastic and Metal Tips of Ultrasonic Irrigation Device

Makbule TAŞYÜREK

Advisor of Thesis: Prof. Dr. Sadullah KAYA

Department of Endodontics

April 2025, 80 Pages

Aim

The aim of this study was to evaluate the removal of the smear layer under scanning electron microscopy (SEM) after activation with a metal and plastic tip ultrasonic irrigation device using 17% EDTA and 5% NaOCl washing solutions.

Materials and Methods

A total of 60 mandibular premolar teeth were used in our study. The decoronation process was performed by measuring 15 mm from the entire apical.

Root canal preparation was performed M40 (40/0.04) nickel-titanium (NiTi) rotary instruments (Must, Istanbul, Turkey), with instrumentation ending 1 mm short of the apical foramen. Throughout the shaping process, irrigation was conducted using 15 mL of 5% sodium hypochlorite (NaOCl) followed by 3 mL of distilled water. The specimens were then randomly assigned into three experimental groups: Group 1 (Control): Conventional syringe irrigation (CSI) (n = 20); Group 2: Passive Ultrasonic Irrigation (PUI) activated with a plastic tip (n = 20); and Group 3: PUI activated with a metal tip (n = 20). In all groups, the final irrigation protocol consisted of 5 mL of 5% NaOCl and 2 mL of 17% EDTA, each followed by a 3 mL rinse with distilled water. For Groups 2 and 3, ultrasonic activation was applied for a total of 60 seconds with NaOCl and 30 seconds with EDTA. The final rinse in all groups was completed using 3 mL of distilled water.

Subsequently, the roots were sectioned longitudinally into two equal halves. To assess the smear layer, scanning electron microscope (SEM) images obtained from the coronal, middle, and apical thirds of each specimen were evaluated and scored independently by two blinded clinicians. Data analysis was performed using IBM SPSS V25 (IBM Inc., Armonk, NY, ABD) software. Mean±standard deviation and median (minimum-maximum) values were presented for quantitative variables. Since qualitative variables contained more than two categories and normal distribution assumptions were not met, differences between the groups were evaluated with the

Kruskal-Wallis H test. In the variables where significant differences were detected, the Mann-Whitney U test with Bonferroni correction was applied to determine which binary groups created the difference. Cronbach α coefficient was calculated to evaluate the agreement between the scores made by two independent observers. The statistical significance level was accepted as $p < 0.05$.

Results

There was a significant difference in terms of smear layer removal effectiveness between the apical, middle and coronal regions in terms of irrigation methods ($p < 0.05$). In all irrigation methods, smear layer removal effectiveness in the coronal and middle regions was significantly higher than in the apical region ($p < 0.05$). Significant differences were found between GSI-plastic tip and metal tip in the middle and coronal distances ($p < 0.001$). There was no significant difference between GSI and metal tip in the apical region ($p > 0.001$). In the middle and coronal regions, plastic and metal tip removed the smear layer better than GSI. A significant difference was found between GSI and plastic tip in the apical region ($p < 0.001$). The plastic tip was found to be more effective than GSI in the apical region. There was a significant difference between the plastic tip and metal tip groups in terms of smear removal effectiveness only in the apical region ($p < 0.001$). There was no difference between plastic tip and metal tip in the middle and coronal regions ($p > 0.001$). The plastic tip in the apical region removed the smear layer better than the metal tip.

Conclusion

A notable difference in smear layer removal efficiency was observed between the plastic and metal tips of the PUI device in the apical third. This finding highlights the need for further investigation into the performance and clinical implications of using different tip materials in passive ultrasonic irrigation, a commonly employed root canal irrigation activation technique.

Keywords: Passive ultrasonic irrigation, metal tip, plastic tip, smear layer removal, intermittent activation, scanning electron microscope

1. GİRİŞ

Endodontik tedavi, kök kanalının tüm uzunluğu boyunca biyouyumlu bir malzeme ile doldurulmasını sağlamak amacıyla kanal boşluğunun kemo-mekanik yöntemlerle hazırlanmasını içeren bir süreçtir. Bu tedavi, dişin iç yapısındaki enfekte veya hasarlı dokuların temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi ile başlar. Ardından, kanalın formu korunarak biyouyumlu bir dolgu malzemesi ile kanal boşluğu doldurulur, böylece dişin işlevi ve bütünlüğü korunmuş olur. Bu işlem, dişin sağlığını yeniden kazanmasına ve daha uzun süreli kullanımına olanak tanır. Böylece periradiküler dokuların sağlığını korumak veya yeniden kazanmak amacıyla ayrışabilen ve bakteriyel büyümeyi sürdürebilecek mikroorganizmalar ve organik maddeler etkili bir şekilde ortadan kaldırılır. Bu sayede, enfeksiyonun önlenmesi ve dokuların iyileşme sürecinin desteklenmesi hedeflenir (1).

Kök kanal boşluğunun el ve döner aletlerle enstrümantasyonu bir smear tabakası oluşturur (2). Kanal duvarlarının yüzeyini kaplayan smear tabakası, kanal içi ilaç olarak kullanılan maddelerin difüzyonunu engeller. Ayrıca kök kanal dolgu maddelerinin dentin tübüllerine infiltrasyonunu önler (3). Smear tabakasının varlığı kök kanalının sızdırmazlığını tehlikeye atar ve potansiyel olarak yeniden enfeksiyon olasılığını artırır (4). Önceki çalışmalar, klinisyenlerin kalsiyum şelatlayıcı bir madde olan etilendiamin tetraasetik asit (EDTA) ve organik bir doku çözücü olan sodyum hipoklorit (NaOCl) solüsyonunun dönüşümlü uygulamalarını kullanarak smear tabakasını temizlemelerini önermiştir (2).

Kök kanalından debridmanların yeterli düzeyde uzaklaştırılmasını sağlayan faktörlerden biri de irrigantların kanal duvarlarıyla doğrudan temas etmesidir. Böyle bir prosedürün geleneksel iğne ve şırınga irrigasyon (GŞİ) protokolleri kullanılarak gerçekleştirilmesi imkansızdır (5). Bu nedenle, kök kanal sistemi içindeki irrigantların akışını ve dağılımını artırmak için farklı irrigasyon teknikleri ve cihazları önerilmiş veya tasarlanmıştır (6).

Pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ), kavitasyon kabarcık patlamaları ve/veya akustik akış yoluyla kök kanal irrigantlarının dağılımını iyileştirir (7). Bu irrigasyon tekniği, solüsyonların erişilmesi zor alanlara nüfuz etmesini sağlar (8). PUİ tekniği, smear tabakasının (7) ve sert doku kalıntılarının (9) daha kapsamlı bir şekilde çıkarılmasını destekler. Dahası PUİ, bakteri içeriğini azaltarak kimyasal irrigantların dezenfeksiyon etkinliğini artırır (10). Bu avantajlara rağmen aktive edilecek solüsyon türü ve konsantrasyonu açısından PUİ için standart bir protokol yoktur (11).

Bu çalışmanın amacı %17'lik EDTA ve %5'lik NaOCl yıkama solüsyonları kullanarak, metal ve plastik uçlu ultrasonik irrigasyon cihazıyla aktivasyon yaptıktan sonra taramalı elektron mikroskopunda (SEM) smear tabakasının uzaklaştırılmasının değerlendirilmesidir.

Çalışmanın 2 sıfır hipotezi (H0) vardır.

¹H₀: Kanalin apikal, orta ve koronal bölgesinden bağımsız olarak ultrasonik aktivasyonun metal ve plastik uçlarının smear tabakası uzaklaştırma etkinliği arasında fark yoktur.

²H₀: Ultrasonik aktivasyonun metal ve plastik uçlarından bağımsız olarak kök kanalının apikal, orta ve koronal bölgesinde smear tabakası uzaklaştırma etkinliği bakımından fark yoktur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Smear Tabakası

Smear tabakası, giriş kavitesi hazırlığı esnasında ve kök kanal aletleri ile gerçekleştirilen debridman sonrası kök kanal duvarlarında kalan organik ve inorganik madde kalıntılarının yanı sıra bakteri ve bakteri ürünlerini de içerebilen bir yapıdır. Smear tabakasının varlığına ilişkin ilk bilgiler, 1970 yılında SEM kullanılarak elde edilmiştir (12). Önceki araştırmalarda, smear tabakasının kalınlığının 1-2 µm olduğu rapor edilmiştir (2).

Hazırlanmış kök kanal yüzeylerinde smear tabakasının varlığı ilk kez 1975 yılında McComb ve Smith tarafından rapor edilmiştir. Bu araştırmacılar, kavite hazırlığı sırasında oluşan ve yalnızca dentin partiküllerinden oluşan smear tabakasından farklı olarak, endodontik işlemler sırasında meydana gelen smear tabakasının yapısında odontoblast uzantıları, pulpa kalıntıları, mikroorganizmalar ve bunlara ait yan ürünlerin de bulunduğunu ortaya koymuşlardır (13). Kısacası, kök kanalındaki smear tabakası hem organik hem de inorganik bileşenler içerir (14). Smear tabakasında yer alan organik yapı taşları; pulpa kalıntıları, odontoblast uzantıları, kan hücreleri ve mikroorganizmalar gibi biyolojik unsurlardan oluşmaktadır. Buna karşılık, tabakanın ana kitlesini oluşturan inorganik bileşenler ise dentin partiküllerinden meydana gelmektedir (15). Lester ve Boyde, “smear” tabakasını, inorganik dentin parçacıkları arasında sıkışmış organik madde olarak adlandırmışlardır (16).

Smear tabakası, yüzeyel ve derin olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Yüzeyel tabaka, dentine gevşek şekilde bağlı olup 1-2 µm kalınlığındadır. Derin tabaka ise dentin kanalcıklarına 40 µm derinliğe kadar nüfuz edebilir ve bu kanalcıkların ağzlarını kapatabilir (2). Su içeriği yüksek olduğundan dolayı, bu tabaka sabit ve homojen değildir, bu da sızıntıya karşı daha hassas olmasına neden olur (17).

2.2 Smear Tabakasının Uzaklaştırılması

Smear tabakasının kök kanallarının irrigasyonu ve doldurulması üzerindeki etkileri hakkında çeşitli görüşler mevcuttur (18). Bazı araştırmalara göre, smear tabakasının varlığı, kullanılan irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini azaltmakta ve bu tabakanın bakteri üremesi için uygun bir ortam sağladığı, dentine nüfuz ederek bakterilerin dentine geçişini kolaylaştırdığı belirtilmiştir (19). Bu nedenle, smear tabakasının uzaklaştırılması gerektiği savunulmaktadır (20).

Gençoğlu ve çalışma arkadaşlarının (21) gerçekleştirdiği araştırmada, smear tabakasının uzaklaştırılmasının; gerek lateral kondensasyon tekniğinde gerekse Thermafil ve Ultrafil gibi iki farklı termoplastik kök kanal dolum tekniğinde, gutta perkanın kök kanal duvarlarına olan uyumunun arttığı sonucuna varılmıştır.

2.3 Smear Tabakası Uzaklaştırma Yöntemleri

Araştırmalar, smear tabakasının kimyasal yöntemler, mekanik yöntemler ve lazer sistemleri kullanılarak etkili bir şekilde uzaklaştırılabileceğini göstermektedir (22).

2.3.1 Kimyasal Yöntemler

Mekanik enstrümantasyon, enfekte kök kanallarından bakterilerin çıkarılması için temel bir yöntemdir. Ancak, kök kanallarının karmaşık anatomisi nedeniyle bakterilerin tamamen uzaklaştırılması zordur (23). Bu sebeple, mekanik enstrümantasyona ilave olarak, güçlü antibakteriyel özelliklere sahip irrigasyon solüsyonlarının kullanımı önerilmektedir (24).

Kök kanal tedavisinde kullanılan irrigasyon solüsyonları, üç ana amaca hizmet eder: mekanik, kimyasal ve biyolojik. Mekanik amaçlar arasında kanal içindeki debrisleri temizlemek ve kayganlaştırıcı etki sağlamak yer alır. Kimyasal amaçlar ise organik ve inorganik dokuların çözülmesini sağlamak ve enstrümantasyon sırasında oluşan smear tabakasını ortadan kaldırmaktır. Biyolojik amaçlar ise kök kanalı içindeki mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkiler göstermektir (25).

İdeal irrigasyon ajanı özellikleri ise (14);

- Antibakteriyel özelliklere sahip olarak dentin tübüllerine iyi yapışabilmeli.
- Smear tabakasını kolayca ortadan kaldırabilmeli.
- Hem organik hem de inorganik yapıları çözüp uzaklaştırabilmeli.
- Güçlü bir dezenfektan etkisi bulunmalı.
- Kayganlaştırıcı özellikte etkisi olmalı.
- Düşük yüzey gerilimine sahip olmalı.
- Dokulara zarar vermemeli ve periradiküler dokuları tahriş etmemeli.
- Çevredeki dokulara toksik etkide bulunmamalı.
- Kanalda uzun süre etkili kalabilmeli.
- Kanal dolgu maddelerinin kanal duvarlarına uyumunu olumsuz etkilememeli.
- Dentin dokusunun fiziksel özelliklerini değiştirmemeli.
- Kullanımı kolay ve pratik olmalı.
- Pahalı olmamalı.
- Dişin renginde değişikliğe yol açmamalı.
- Uzun bir raf ömrüne sahip olmalı.

2.3.1.1 Endodontide Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları

Sodyum hipoklorit (NaOCl): NaOCl en yaygın kullanılan irrigasyon solüsyonudur. Diğer irrigasyon solüsyonlarıyla karşılaştırıldığında idealdir çünkü en çok ihtiyaç duyulan özelliklere sahip olan tek solüsyondur. Kimyasal olarak üretilen ilk sıvı klor solüsyonu, Berthollet (1748-1822) tarafından Fransa'da keşfedilen potasyum hipokloritti. Kimyager Labarraque (1777-1850), doğum sonrası dönem ve diğer bulaşıcı hastalıkların önlenmesi için NaOCl kullanımını önermiştir (26).

NaOCl geniş bir antibakteriyel spektruma sahiptir, sporisidal ve virüsidedir. Doku çözücü aktivitesi nekrotik doku için vital dokudan daha fazladır. Bu değerli özellikler, 1920'lerin başından beri endodontide temel bir irrigasyon solüsyonu olarak sıvı NaOCl kullanımını teşvik etmiştir (26).

Pécora ve diğerleri, NaOCl'nin su ile reaksiyona girdiğinde aşağıda gösterildiği gibi dinamik bir dengeye ulaştığını göstermiştir (27).



NaOCl organik dokuyla reaksiyona girerek sabunlaşma, aminoasit nötralizasyonu ve kloramin reaksiyonlarına neden olur. Nekrotik dokular üzerindeki çözücü etkisi nedeniyle NaOCl endodontide en yaygın kullanılan irrigasyon solüsyonu haline gelmiştir (28).

Kök kanallarındaki organik madde (iltihaplı eksüda, doku kalıntısı ve mikrobiyal kütle) NaOCl'nin etkisini azaltır. Yüksek NaOCl konsantrasyonları daha iyi doku çözücü etkilere sahiptir. Yüksek hacimlerde kullanılan düşük konsantrasyonlar, yüksek konsantrasyonlara eşdeğer bir güce sahiptir (29).

Kök kanal sisteminin anatomisi yalnızca kök sınırları içerisinde tedaviye olanak sağladığından, periapikal dokulara verilmediği takdirde kök kanal tedavisi sırasında NaOCl yüksek konsantrasyonlarda güvenli ve güvenilir bir şekilde kullanılabilir. NaOCl'nin tüm kanal yüzeyleriyle optimum süre boyunca temasını sağlamak, NaOCl konsantrasyonundan çok daha önemlidir (13).

NaOCl'nin nekrotik doku çözücü özelliği benzersizdir (30). Etkinliği; uygulama konsantrasyonu, sıcaklığı ve süresiyle artar (31). Smear tabakasındaki hidroksiapatit kollajen yüzeyini kapladığı için NaOCl ilk irrigant olarak kullanıldığında, dentin organik doku çözücü etkisi çok güçlü değildir. Ancak, NaOCl'den önce bir dekalsifiye edici madde kullanıldığında, hidroksiapatit kolayca çözünür ve alttaki kollajen fibrilleri berraklaşır. NaOCl bu aşamada kullanıldığında, doğrudan kollajene etki ederek yüzeysel dentindeki kollajenin hızla yok olmasına yol açar. NaOCl çözeltilerinin doku çözme kapasitesi, çözelti sıcaklığını artırarak, ultrasonik aktivasyonla ve çalışma süresini uzatarak artırılabilir (26).

Aktiviteyi artırmanın en sık kullanılan yöntemlerinden biri, düşük konsantrasyonlu bir NaOCl çözeltisinin sıcaklığını artırmaktır. 45 °C’de %1’lik bir NaOCl çözeltisinin doku çözme kapasitesinin, 20 °C’de %5,25’lik bir çözeltiye eşdeğer olduğu bulunmuştur. Ek olarak, sıcaklığı yükseltilmiş düşük yoğunluklu NaOCl çözeltilerinin sistemik toksisitesi, sıcaklığı arttırılmamış, daha yüksek konsantrasyonlu olanlardan daha azdır (32).

Moorer ve Wesselink, NaOCl ile mekanik aktivasyonun doku çözücü bir etki oluşturmak için çok önemli olduğunu buldular (33). Ultrasonik aktivasyon, kök kanal duvarının apikal üçte birinde %5’lik NaOCl solüsyonunun aktivitesini artırmıştır (34).

NaOCl ve klorheksidin (CHX) arasındaki reaksiyon, kanserojen olan *para*-kloroanilin (PCA) üretir. Bu reaksiyon ürünü, kök kanallarının yüzeylerini kapatır, dentin tübüllerini tıkayarak kök kanalının sızdırmazlığını tehlikeye atar (35).

NaOCl hayati dokular üzerinde toksik etkilere sahiptir. Hemolize, cilt ülserasyonuna ve nekroza neden olur. Hekimin ve hastanın göz ve kıyafetlerine zarar verebilir. Apikal foramenden taşıp dokulara zarar verebilir. Alerjik reaksiyonlara sebep olabilir. Bununla birlikte, NaOCl solüsyonları ucuzdur, kullanımı kolaydır ve uzun bir raf ömrüne sahiptirler (36).

Etilendiamin tetraasetik asit (EDTA): Kök kanal sisteminin bütünüyle temizlenmesi için hem organik hem de inorganik doku çözücü irrigasyon solüsyonları bir arada kullanılmalıdır. NaOCl yalnızca organik dokuları etkili bir şekilde çözer; bu nedenle, kök kanal sisteminden smear tabakasını ve kalıntıları temizlemek için ek solüsyonlar kullanmak gereklidir. Kök kanal tedavisi sırasında, EDTA ve sitrik asit (CA) gibi demineralize edici ajanların yardımcı solüsyon olarak kullanımı önerilmektedir. Şelat oluşturan maddelerin endodontik işlemlerdeki potansiyel kullanımına dair ilk öneri, 1957 yılında Nygaard-Østby tarafından getirilmiş olup, bu ajanların özellikle dar ya da kalsifiye kanalların şekillendirilmesinde fayda sağlayabileceği belirtilmiştir. Bu kapsamda önerilen ilk EDTA solüsyonu %15’lik bir konsantrasyona sahiptir ve pH değeri 7,3 olarak belirlenmişti (37).

Smear tabakasını çıkarmak için şelat oluşturan ajanların kullanıldığı kimyasal yaklaşım, şimdiye kadar en yaygın kullanılan yöntem olmuştur ve EDTA en yaygın kullanılan ajandır (38). Smear tabakasının etkili bir şekilde çıkarılması için EDTA ve NaOCl'nin dönüşümlü olarak kullanılması önerilmektedir (Resim 2.2) (39).

Ancak, bu kombine irrigasyon rejiminin, intraradiküler dentinin yanlışlıkla aşınmasına neden olabileceği endişesi vardır (40).

EDTA uygulamasından sonra kök kanalında kalan EDTA, kanal dolgu maddeleriyle etkileşime geçebilir. Bu etkileşim, dolgu materyallerinin ve adeziv dolguların dişlere bağlanma yeteneğini olumsuz etkileyebilir (41). Bu problemi engellemek amacıyla, kök kanalları doldurulmadan önce kalan EDTA'nın serum distile su ile iyice temizlenmesi gerekmektedir (42).

EDTA, düşük seviyede antibakteriyel etkiye sahiptir. Ancak temas süresi uzatıldığında, bazı bakterilerin hücre zarındaki metal iyonlarıyla etkileşime girerek bu bakterilerin ölümüne yol açabilir (43).

Etilendiamin tetraasetik asit (EDTA) / Cetavlon [EDTAC]: EDTA artı kuaterner amonyum bromür (Cetavlon) kombinasyonu olarak bilinen EDTAC, EDTA'nın yüzey geriliminin düşürülmesinde, smear tabakasının çıkarılmasında ve açılan dentin tübüllerinin çapının artırılmasında çok etkili olduğu gösterilmiştir (44).

Sitrik asit (CA): Sitrik asit (CA) konsantrasyonu %1 ile %50 arasında değişen oranlarda uygulanabilmektedir. %10 CA'nın son durulama solüsyonu olarak kullanımı, smear tabakasının temizlenmesinde oldukça etkili sonuçlar sağlamıştır (45).

CA, EDTA ile benzer konsantrasyonlarda biraz daha etkili performans sergilemiştir; ancak her iki solüsyon da smear tabakasını kök kanal duvarlarından temizlemede oldukça başarılıdır (46). *In vitro* çalışmalar, şelatörlerin sitotoksitesisi hakkında fikir

sağlamıştır. %10 CA solüsyonunun %17 EDTA solüsyonundan daha biyoyoumlu olduğu kanıtlanmıştır (47).

Etidronik asit (HEDP): HEDP, etidronik asit ya da etidronat adıyla da bilinir. NaOCl ile çok az etkileşime giren bir dekalsifiye edici maddedir. EDTA veya CA'ya alternatif olarak önerilmiştir (46).

HEDP kemik erimesini önler bu nedenle osteoporoz ve Paget hastalığının tedavisinde sistemik bir ilaç olarak kullanılır (48). Endodontide güncel bir şelasyon ajanı olarak kullanılmak üzere sunulmuş olup, pH değeri yaklaşık 10,7'dir ve bu ajan, nispeten zayıf bir şelasyon etkisi göstermektedir (46). %9 veya %18 HEDP ile demineralizasyon, %17 EDTA ile olandan daha yavaştır (49). NaOCl ile beraber kullanıldığında etkileşime girmez, NaOCl'nin antibakteriyel ve proteolitik etkisini azaltmaz (50). HEDP, EDTA ve MTAD'a kıyasla reçine bazlı örtücülerin kök kanal dentinine bağlanma mukavemetini arttırdığı gösterilmiştir (51).

Klorheksidin (CHX): Klorheksidin, kimyasal yapısı katyonik bis-biguanid olan bir bileşiktir ve genellikle glukonat tuzları formundadır. 1953'ten bu yana tıp alanında kullanılan bu bileşik, diş hekimliğinde en çok klorheksidin diğlukonat formunda tercih edilmektedir. pH aralığı 5,5-7,0 olan bu geniş spektrumlu antibakteriyel ajan, mikroorganizmaların hücre duvarlarına bağlanarak ve hücre içindeki bileşenlerin dışarı çıkmasına yol açarak etki eder. Konsantrasyona bağlı olarak etki mekanizması değişmekte; düşük düzeylerde bakteriyostatik, yüksek düzeylerde ise bakterisidal özellik sergilemektedir (14).

CHX moleküllerinin kademeli salınımı, uzun süreli antibakteriyel etkinin sağlanmasına yardımcı olur (52). Araştırmacılar, klorheksidinin antimikrobiyal etkisi, etkisinin sürekliliği, bakteriyel lipopolisakkaritler üzerindeki etkisi, biyoyoumluluğu ve hastalar tarafından tolere edilebilir tat ve kokusu gibi avantajları nedeniyle NaOCl'ye alternatif olarak değerlendirmişlerdir. Bu faydalı özellikleri sebebiyle, birçok uzman klorheksidini kanal irrigasyon maddesi olarak önermektedir (53). Ancak, dokuları çözme kapasitesinin yetersizliği klorheksidinin dezavantajıdır (54).

Kimyasal-mekanik hazırlık esnasında genellikle sıvı formda olan irrigasyon maddeleri kullanılır. Ancak bazı çalışmalar, klorheksidin gibi jel formdaki daha viskoz irrigatörlerin daha iyi lubrikant özellikte olduğunu ve antimikrobiyal etkinliklerinin artırıldığını öne sürmektedir. Bununla birlikte, bu viskoz maddelerin su içinde düşük çözünürlüğe sahip olması, son yıkama ajanı olarak kullanıldığında dentin duvarlarında kalıntı kalmasına neden olabilir (55).

CHX genel olarak güvenli bir solüsyon olarak kabul edilse de nadiren de olsa alerjik reaksiyonlara yol açtığı bildirilmiştir. Yapılan araştırmaların yaklaşık %2'sinde, CHX'in hassasiyet oluşturduğuna dair raporlar bulunmaktadır (56-58).

QMix: Günümüzde kullanılan irrigasyon solüsyonlarının hiçbiri, smear tabakasının hem organik hem de inorganik bileşenlerini aynı anda tamamen ortadan kaldırma kapasitesine tek başına sahip değildir. İrigasyon ajanlarının birlikte kullanılarak kombinasyon yapılması önerilmektedir (46).

QMix; EDTA, CHX, yüzey aktif bir ajan ve sudan oluşan, patentli formülasyona sahip bir irrigasyon solüsyonudur. Geliştirilme amacı, hem smear tabakasının etkin bir şekilde uzaklaştırılması hem de *Enterococcus faecalis* gibi dirençli bakterilere karşı antimikrobiyal etki sağlamaktır. Bu çift yönlü etki, endodontik tedavilerde irrigasyon protokollerine yenilikçi bir katkı sunmaktadır. (59). QMix, son irrigasyon solüsyonu olarak kullanıldığında, NaOCl ile reaksiyona girerek çökelti oluşturmaz ve smear tabakasından arındırılmış dentin yüzeyine derinlemesine penetre olarak bakterileri elimine edebilir. Bu özellikleriyle, EDTA'nın smear tabakasını uzaklaştırma yeteneği ile klorheksidinin antimikrobiyal etkisini ve bu etkinin kalıcılığını bir araya getirmeyi hedeflemektedir(60). İçeriğindeki deterjan sayesinde QMix, düşük yüzey gerilimi özellikleri gösterir (61).

Araştırmalar, QMix'in EDTA ile benzer seviyede smear tabakası temizleme kapasitesine sahip olduğunu ve biofilm ile *E. faecalis* bakterilerini ortadan kaldırmada CHX'ten çok daha etkili olduğunu göstermektedir (62). EDTA ile CHX'in bir arada kullanımı beyaz renkli bir çökelti oluşumuna yol açarken, QMix'in özel kimyasal

bileşimi bu tür çökelti oluşumunu önleyecek şekilde formüle edilmiştir(63). Bununla birlikte, NaOCl ve CHX etkileşimi sonucunda ortaya çıkan ve potansiyel toksisite riski taşıyan kahverengi renkli parakloroanilin oluşumu, QMix kullanımı sırasında gözlenmemektedir (64).

MTAD (*Mixture of tetracycline isomer, acid and detergent*): MTAD (Tulsa Dentsply, Tulsa, Ok, USA), Torabinejad (65) tarafından son durulama çözeltisi şeklinde kullanmak amacıyla tasarlanmıştır. Endodontik smear tabakalarını çıkarmak için tetrasiklin izomeri olan doksisisiklin ve sitrik asit ayrı ayrı kullanılmış olsa da, %3 doksisisiklin, %4,25 sitrik asit ve %0,5 Tween 80 deterjanından oluşan sulu bir çözelti olan MTAD'nin (65), endodontik smear tabakalarını çıkarmada, geleneksel endodontik irrigantlara ve pansumanlara dirençli mikropları ortadan kaldırmada ve doksisisiklinin diş sert dokularına bağlanma afinitesi yoluyla sürekli antimikrobiyal aktivite sağlamada etkili olduğu bildirilmiştir (66-68).

MTAD'nin bileşiminde yer alan doksisisiklin, esasında bakteriyostatik özellikte bir antibiyotiktir ve geniş spektrumlu olup Hem Gram-pozitif hem de Gram-negatif bakterilere karşı etkilidir; ancak mantarları hedef almaz (69).

EDTA'ya benzer şekilde, enstrümante edilmiş kök kanallarının seyreltilmiş NaOCl ile ilk durulaması, MTAD'nin endodontik smear tabakalarını çözmedeki etkinliğini artırmak için önerilir. EDTA'nın son durulama olarak kullanılmasının aksine, NaOCl ve MTAD benzer bir sırayla kullanıldığında intraradiküler dentinin minimal erozyonu bildirilmiştir (68).

NaOCl sonrasında son yıkama solüsyonu olarak BioPure MTAD kullanıldığında, dişte ışığa maruz kalma sonucunda renk değişikliklerine yol açabileceği öne sürülmüştür. NaOCl ile MTAD arasındaki redoks reaksiyonu, kahverengi renklenmelere neden olurken, aynı zamanda doksisisiklinin antimikrobiyal etkisinde azalmaya da sebep olabilmektedir (70).

Tetraclean: Tetraclean (Ogna Laboratori Farmaceutici, Muggiò, Italy), MTAD gibi, sitrik asit, doksisisiklin (MTAD'den daha düşük bir konsantrasyonda) ve bir deterjan karışımından oluşur. MTAD'den farklı olarak, Tetraclean'in antibiyotik konsantrasyonu (doksisisiklin 50 mg/mL) ve deterjan bileşeni (propilen glikol) değişiklik göstermektedir. Tetraclean organik dokuları çözmez; bu yüzden öncelikle kemomekanik hazırlık yapılması ve ardından NaOCl kullanımı tavsiye edilir (71).

Tetraclean, hem anaerobik hem de fakültatif anaerobik bakterilere karşı güçlü bir antibakteriyel etki sergilemektedir. Yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, Tetraclean'in, MTAD'ye göre *Enterococcus faecalis*'in planktonik formlarına ve çoklu bakteri türlerinden oluşan in vitro biyofilm yapısına karşı daha üstün bir etkinlik gösterdiğini ortaya koymuştur (72).

SmearOFF: SmearOFF (Vista Dental Products, Racine, WI), %1'in altında CHX ve %18 oranında tetrasodyum etilendiamintetraasetat dihidrat içeren bu yeni nesil irrigasyon solüsyonu, NaOCl ile reaksiyona girerek çökelti oluşturmaması amacıyla formüle edilmiş ve bu özelliğiyle klinik kullanıma sunulmuştur (73).

Üretici, NaOCl'nin kanaldan temizlenmeden kullanılabileceğini önermektedir; bu diğer irrigantları kullanmadan önce tuzlu su veya alkol ile yapılan 3 adımlı uzaklaştırma prosedürü yerine, sadece 2 adımlı bir işlem olarak uygulanabilir (74).

Üreticilere göre, kalsiyum süspansiyonu iyileştirilmiştir, üstün şelasyona sahiptir ve NaOCl ile birleştirildiğinde çökelmez. SmearOFF'u EDTA ile karşılaştıran önceki araştırmalar, hem düz hem de eğimli kök kanallarında SmearOFF'un smear tabakasını çıkarmada daha etkili olduğunu göstermiştir (75).

NaOCl'nin protein parçalamasından ve bakteriyel enzimlerin inhibisyonundan sorumlu olan serbest klor içeriği (Free Available Chlorine in NaOCl Solutions [FAC])'dir (36).

Krishnan ve ark., yaptıkları çalışmada NaOCl solüsyonlarıyla karıştırıldığında SmearOFF'un EDTA'ya benzer şekilde FAC'de belirgin bir azalmaya neden olmasından ötürü NaOCl ile birlikte kullanımı önermediler (73).

Serum fizyolojik: Kanal preparasyon işleminden sonra, kök kanalındaki debris uzaklaştırma imkanı sağlar. Diğer irriganlara kıyasla daha az doku zararı oluşturduğundan, etkili irrigasyon sıvısı olarak kabul edilir (76).

Kanal içi irrigasyonda antimikrobiyal maddeler kullanılmadığında, aletlerin mekanik hareketleri ve kanaldaki bakteri miktarını azalttığı fakat genellikle tamamen yok edemediği bildirilmiştir. Bu sebeple tek başına serum fizyolojik yerine antimikrobiyal irrigasyon solüsyonlarıyla kullanılır (77).

Ozonlu su: Ozon doğal olarak oluşan bir gazdır ve çok güçlü ve seçici bir oksidandır (78). Ozon tedavisi, ozonun (O₃) hızla suya ayrıştığı ve hücreleri oksitleyebilen reaktif bir oksijen formu saldığı, böylece ilaç direnci oluşturmadan antimikrobiyal etkili olduğu varsayımına dayanır (79).

Ozon, endodontide preparasyon, dezenfeksiyon ve NaOCl'ye alternatif ajan olarak çeşitli alanlarda kullanılmıştır (79).

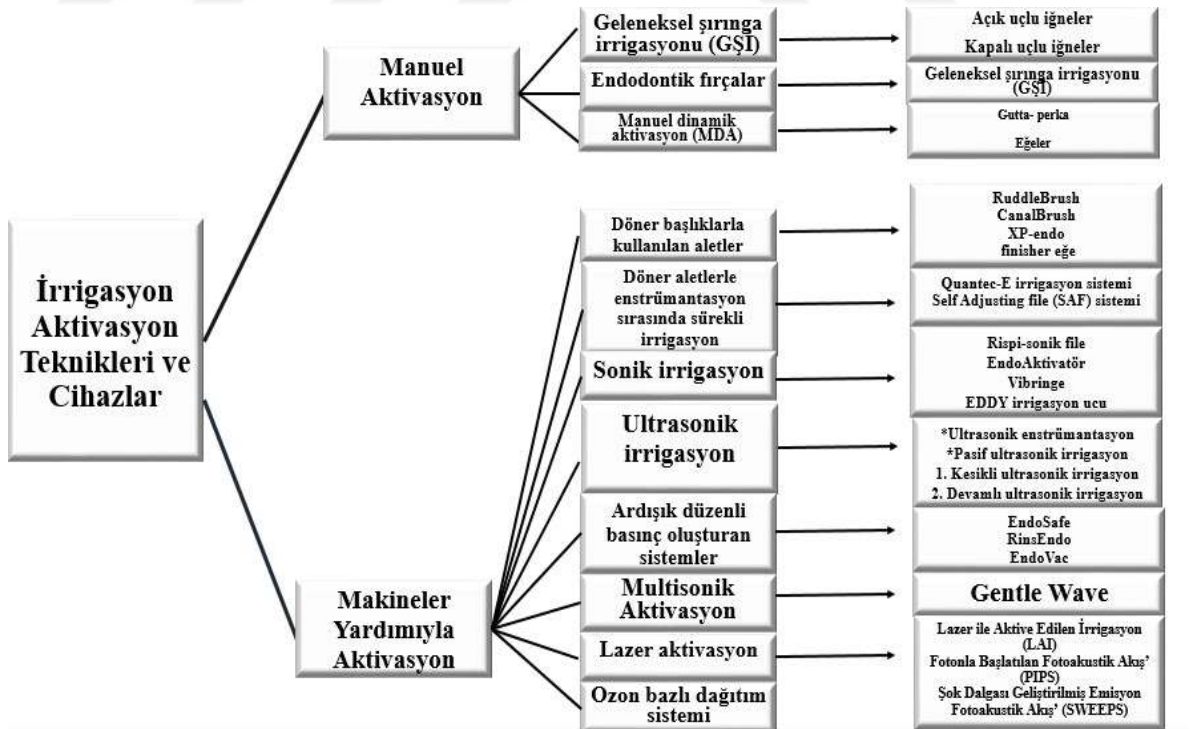
2.3.2 Mekanik Yöntemler

Kök kanal sisteminde, enstrümantasyonun etkin bir şekilde uygulanabildiği bölgelerin yanı sıra, kanal aletlerinin erişiminin kısıtlandığı lateral kanallar, isthmuslar ve apikal deltalar gibi anatomik bölgeler de bulunmaktadır. Bu bölgelerde, enstrümantasyon sürecinde oluşan smear tabakasının ve dentin debrislerinin etkin bir şekilde uzaklaştırılması, kanal dezenfeksiyonunun başarısını artıran kritik bir adımdır. Söz konusu biyolojik ve mekanik temizlik süreçlerinin optimizasyonunda, irrigasyon protokolleri temel bir rol oynamakta olup, hem organik hem de inorganik kalıntıların eliminasyonunda belirleyici faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir (80).

Kök kanal irrigasyonunun tipik yolu bir şırınga kullanılarak yapılan irrigasyondur. Ancak bu yeterli bir irrigasyon sağlamaz. Bu nedenle irrigasyon etkisini arttırmak için daha gelişmiş ve etkili irrigasyon teknikleri ve cihazları bulunmaktadır (43).

İrrigasyon solüsyonunun etkinliğini artırmak için; pH'ın düşürülmesi, sıcaklığın yükseltilmesi ve yüzey aktif maddelerin eklenmesi gibi yöntemler uygulansa bile, tüm bu gereksinimleri karşılayabilecek tek bir irrigasyon solüsyonu mevcut değildir (71). Daha da önemlisi, bu irrigasyonların etkili bir etki gösterebilmesi için özellikle de küçük kök kanallarının apikal kısımları, kurvatürlü kanallar vb. için tüm kanal duvarı yüzeyleriyle doğrudan temas ettirilmesi gerekir, bu yüzden irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu gerekmektedir (81).

Endodonti alanında, kök kanal irrigasyonunu daha etkili hale getirmek ve aktivasyon sistemlerini iyileştirmek amacıyla tarih boyunca sürekli olarak çeşitli yöntemler ve uygulamalar geliştirilmiştir. Bu sistemler iki geniş kategoriye ayrılabilir, manuel aktivasyon teknikleri ve makine destekli aktivasyon cihazları (Şekil 2.1) (82).



Şekil 2.1. İrrigasyon aktivasyon teknikleri ve cihazları

2.3.2.1 Manuel Aktivasyon Yöntemleri

İğneler/kanüllerle geleneksel şırınga irrigasyonu (GŞİ): Pasif ultrasonik aktivasyonun ortaya çıkmasından önce, şırınga kullanılarak yapılan geleneksel irrigasyon, irrigantın uygulanması için etkili bir yöntem olarak görülmekteydi (83). Günümüzde bu yöntem, hem genel diş hekimliği pratiğinde hem de endodonti alanında uzmanlaşmış klinisyenler tarafından yaygın olarak tercih edilen bir uygulama haline gelmiştir (84).

Teknik, iki aşamadan oluşur: İlk olarak, farklı çaplarda iğneler veya kanüller kullanılarak irrigantın pasif şekilde kanala verilmesi sağlanır. İkinci aşamada ise iğne, kanal boşluğu içerisinde yukarı ve aşağı hareket ettirilerek irrigantın daha etkin bir şekilde dağılımı amaçlanır. Bazı iğneler irrigantı en uzak uçlarından vermek üzere tasarlanmıştır, diğerleri ise irrigantı kapalı uçlu, yandan delikli kanallardan vermek üzere tasarlanmıştır (85). Yandan delikli iğne tasarımında, bir irrigantın hidrodinamik aktivasyonunu iyileştirmek ve apikal ekstrüzyon olasılığını azaltmak için önerilmiştir (86).

İrigasyon sırasında iğnenin/kanülün kanal içinde gevşek kalması çok önemlidir. Bu, irrigantın geri akmasına izin verir ve daha fazla debrisin kanaldan uzaklaştırılmasını sağlar. Böylece irrigantın periapikal dokulara yanlışlıkla iletilmesi önlenmiş olur (83).

Şırınga ile irrigasyonun bir avantajı, kanal içerisindeki iğnenin ne kadar derinlemesine yerleştirildiğini ve kanala verilen irrigant hacmini nispeten kolay bir şekilde kontrol edebilme imkanı sunmasıdır (83).

Bununla birlikte, geleneksel elde tutulan şırınga iğnesi irrigasyonu ile oluşturulan mekanik yıkama etkisi nispeten zayıftır. Geleneksel şırınga iğnesi irrigasyonundan sonra, erişilemeyen kanal uzantıları ve düzensizliklerinin döküntü ve bakteri barındırması muhtemeldir, bu da kapsamlı kanal debridmanını zorlaştırır (87).

Apikal bölgede irrigasyon etkinliğini artırmak için kök kanalının yeterli şekilde genişletilmesi gerekir (88). Kanal apekte #40 numaradan daha küçük bir boyuta

genişletildiğinde elde tutulan şıringa iğnesi irrigasyonunun daha az etkili olduğu bildirilmiştir (89).

Fırçalar: Fırçalar, kanal boşluklarına doğrudan irrigant uygulamak için değil, kanal duvarlarını temizlemek veya kök kanal irrigantının daha iyi dağılmasını sağlamak amacıyla kullanılan yardımcı araçlar olarak tasarlanmıştır. Ayrıca kanal boşlukları içinde irrigantların transferinde dolaylı olarak rol oynayabilirler (81). İki tipi vardır: Navitip FX (Ultradent Products Inc, South Jordan, UT) ve Endobrush (C & S Microinstruments Limited, Markham, Ontario, Kanada).

- **Navitip FX:** 30 gauge kalınlığında fırça kıllarıyla donatılmış bir irrigasyon iğnesidir. Bu cihaz, kök kanallarına irrigasyon solüsyonları uygulanırken fırça kıllarıyla kanal duvarlarının temizlenmesini sağlamayı hedefler. Bununla birlikte, kanal içindeki düzensizlikler nedeniyle oluşan sürtünme sonucu fırça kıllarının kopma ihtimali vardır ve bu kıllar radyolusent olduklarından klinisyenler tarafından fark edilmeme riski taşırlar (82).

- **Endobrush:** Endobrush (C&S Microinstruments Ltd, Markham, Ontario, Kanada), bükülmüş tellere yerleştirilmiş naylon kıllardan oluşan endodontik kullanım için tasarlanmış bir spiral fırçadır. 1990'ların başlarında, Keir ve ark., tarafından kanal fırçalarının kullanımıyla kanal debridmanının iyileştirildiğini gösteren benzer bulgular rapor ettiler. Ancak Endobrush'ın boyutu nedeniyle tam çalışma uzunluğuında kullanılma güçlüğu fırçalamadan sonra kanalın apikal bölümüne debris birikmesine yol açabilir (90).

Manuel dinamik irrigasyon: Manuel dinamik irrigasyon, iyi uyum sağlayan bir gutta-perkayı, prepare edilmiş kanal içerisinde 2 ila 3 mm'lik kısa ve nazik hareketlerle yukarı aşağı kaydırarak etkili bir hidrodinamik etki oluşturan bir yöntemdir. Bu teknik, irrigasyon solüsyonlarının yer değiştirmesini ve kanal duvarlarıyla temasını önemli ölçüde artırarak daha iyi bir temizlik sağlar (91).

McGill ve ark. (92) ve Huang ve ark., (93) tarafından yapılan çalışmalarda, manuel dinamik irrigasyonun otomatik dinamik irrigasyon sisteminden (RinsEndo; Du'rr

Dental Co, Bietigheim-Bissingen, Almanya) ve statik irrigasyondan önemli ölçüde daha etkili olduğunu göstermiştir.

Manuel dinamik irrigasyonun etkinliğine katkı sağlayan çeşitli faktörler söz konusu olabilir. Bunlardan ilki, kök kanalına uyumlu bir gutta-perka konunun ileri-geri hareketi sırasında özellikle itme fazında oluşan yüksek basınç dalgalanmalarının, irrigan solüsyonun daha önce temas etmemiş kanal yüzeylerine ulaşmasını kolaylaştırmasıdır. Bir diğer önemli unsur ise, gutta-perkanın itme-çekme hareketlerinin frekansıdır; saniyede yaklaşık 3,3 vuruşluk (30 saniyede 100 vuruş) bu ritim, RinsEndo cihazının sağladığı 1,6 Hz'lik pozitif-negatif hidrodinamik basınca kıyasla daha yüksektir. Bu daha hızlı frekans, kanalda artan türbülans düzeyi ile irrigantın daha etkin dağılmasına olanak tanıyabilir (92).

2.3.2.2 Makine Destekli Aktivasyon Sistemleri

Döner başlıklarla beraber kullanılan aletler: Döner aletlerle birlikte kullanılan mikro fırçalar, kök kanal tedavisi sırasında oluşan debris ve smear tabakasını temizlemek amacıyla ilk defa Ruddle (94) tarafından tanıtılmıştır. İki tip vardır: RuddleBrush, CanalBrush.

- ***RuddleBrush:*** Enstrümante edilmiş kök kanallarındaki debris ve smear tabakasını temizlemek amacıyla döner bir el aleti üzerine monte edilmiş mikro fırçalar kullanılmıştır. Bu fırçalar, merkezi bir tel çekirdekten radyal olarak yayılmış çok sayıda kıl içerir. Debridman aşaması sırasında, mikro fırça yaklaşık 300 rpm' de döner ve kalan smear tabakasının koronal bir yönde kanaldan dışarı atılmasına yardımcı olur. Ancak bu ürün, patent 2001'de onaylandığından beri ticari olarak mevcut değildir (94).

- ***CanalBrush:*** Kısa süre önce piyasaya sunulan CanalBrush, endodontik kullanım amacıyla tasarlanmış esnek yapılı bir mikro fırçadır. Tamamen polipropilenden üretilmiş olan bu fırça, 600 devir/dakika hızla çalışmakta olup kanal içi uygulamalarda irrigant ile birlikte kullanılmaktadır. Weise ve ark.

(95)'nın yayımladığı güncel bir çalışmada, CanalBrush'ın dar ve düzensiz kanal anatomilerini taklit eden simüle edilmiş yapılardan smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırabildiği bildirmiştir.

Döner aletlerle enstrümantasyon sırasında sürekli irrigasyon:

- ***Quantec-E irrigasyon sistemi:*** Quantec-E, döner enstrümantasyon esnasında sürekli olarak irrigasyon solüsyonunu aktif hale getiren bir sistemdir. Bu sistem, iki irrigasyon haznesi ve bir tüp düzeni içeren bir irrigasyon aktivasyon mekanizmasından oluşur (96).

İdeal olarak, aktif döner enstrümantasyon sırasında sürekli irrigasyon çalkalaması, daha fazla miktarda irrigasyon oluşturur, irrigasyon temas süresini artırır ve kök kanalının içine daha fazla derinlikte irrigasyon solüsyonunun nüfuz etmesini kolaylaştırır. Bu yöntem, şırınga iğnesi kullanılarak yapılan irrigasyona kıyasla daha etkili bir kanal temizliği sağlar (97).

- ***XP-Endo finisher eği:*** XP-endo Finisher (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), nikel-titanyum alaşımından (MaxWire; FKG Dentaire) üretilmiş ve kök kanalı enstrümantasyonunun ardından temizlik ve dezenfeksiyonun artırılması amacıyla son aşamada kullanılmak üzere tasarlanmış bir eği sistemidir (98). #25 uç çapına sahip olan, taper açısı olmayan ve esneklik sağlayan bu döner eği, üretici firmanın talimatlarına göre 1 Ncm tork ve 800 rpm hız ile çalıştırılmalıdır (99).

Eğin şekli, çevre sıcaklığına bağlı olarak değişir. Oda sıcaklığında, martensitik fazda (M-fazı) düz bir yapı sergilerken, vücut sıcaklığına ulaştığında östenitik faza (A-fazı) geçer. Bu geçişle birlikte, eğinin apikal 10 mm'lik kısmı kaşık benzeri bir biçim alır, derinliği ise 1,5 mm'yi bulur. Üreticiye göre, alet rotasyon modunda kanal içine yerleştirildiğinde, A-fazındaki bu biçim, eğinin dentine zarar vermeden ve kanalın doğal yapısını bozmadan, diğer aletlerin erişemediği

alanlara ulaşmasını ve bu bölgelerin etkin şekilde dezenfekte edilmesini sağlar (100).

- **Self Adjusting file (SAF) sistemi:** Nikel-titanyum malzemeden yapılmış, sıkıştırılabilir, ince duvarlı, silindirik, içi boş ve esnek bir kök kanal eğesidir. Bu sistemde, eğenin dış yüzeyinin aşındırıcı etkisiyle ileri geri ve titreşim hareketleriyle kanal duvarları şekillendirilirken, aynı zamanda içi boş yapısı sayesinde irrigasyon solüsyonu sürekli olarak kök kanalına iletilir ve solüsyon aktif hale getirilir (101). SAF, hazırlık sırasında sürekli solüsyon akışı sağlayarak oldukça etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır (102).

Sonik irrigasyon (Sİ): Tronstad ve ark., (103) 1985 yılında endodontik tedavide sonik cihazların kullanımını raporlayan ilk araştırmacılardandır. Ses enerjisini hareket enerjisine çevirme mekanizmasıyla bulmuşlardır. Sonik aletlerle birlikte EDTA ve NaOCl solüsyonlarının kullanımını karşılaştırarak, sonik cihazlarla EDTA solüsyonu kullanımının, NaOCl solüsyonuna kıyasla smear tabakasını uzaklaştırmada daha başarılı olduğunu vurgulamışlardır.

Sonik sistemler, 1-10 kHz frekans aralığında çalışarak dönme hareketi gerçekleştirilmeden hava basıncıyla etkinleşen aktif özel kanal aletlerini (Rispi-Sonic File, EndoActivator, Vibringe, Eddy) kullanır. Bu cihazlar, yatay titreşimler ve dikey hareketlerle kök kanalını temizler (104).

- **Rispi-sonic file:** Rispi-Sonic eğeler, düzensiz koniklikte ve dikenimsi bir tasarıma sahiptir. Bu eğeler, sonik motorla birlikte kullanılmak üzere geliştirilmiş olup, dentin dokusunu kesmek ve irrigasyon solüsyonunu etkinleştirmek amacıyla tasarlanmıştır (105).

- **EndoActivator:** EndoActivator, sonik irrigasyon için özel olarak tasarlanmış bir cihazdır. Kesici olmayan polimer ucu, irrigasyon sıvısına belirli bir hız ve güç kazandırarak etkinliğini artırır. EndoActivator'ün etki mekanizması, polimer ucunun kök kanalında ileri geri hareketleriyle sağlanan sinerjik etkiden kaynaklanan hidrodinamik aktivasyonla ilişkilidir (106).

Bu uçların kök kanal duvarlarıyla temas etse dahi zarar vermediği, basamak oluşumuna, apikal transportasyona ve perforasyona yol açmadığı öne sürülmektedir. Ancak, aktivasyon esnasında EndoActivator uçlarının kanal içerisinde kırılması durumunda, radyografide görünmemesi nedeniyle tespit edilmesinin zorlaşması bu sistemin dezavantajlarından biridir (94).

Rödig ve ark. (107), farklı irrigasyon aktivasyon tekniklerinin eğimli kök kanallarındaki debris ve smear tabakasının temizlenmesindeki etkinliğini inceleyen çalışmalarda, EndoActivator sistemi, ultrasonik irrigasyon ve CanalBrush uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmediği rapor etmişlerdir.

- **Vibringe:** Vibringe, manuel sıvı akışı ile sonik aktivasyonu bir araya getiren bir sistemdir. Bu sistem, şırınga ucuna bağlanarak kök kanalı içerisine sürekli ve titreşimli bir şekilde solüsyonun iletimini sağlar.

Kök kanalındaki düzensizliklerden ve apikal bölgede biriken atık maddelerin uzaklaştırılmasında geleneksel iğneyle yapılan irrigasyondan daha etkili olduğu rapor edilmiştir (108).

- **Eddy irrigasyon ucu:** EDDY ucu, yüksek frekansta (6000 Hz) sonik aktivasyon sırasında dentine zarar vermeden ve kök kanalının yapısını değiştirmeden çalışan, ayrıca kanal içinde kırılma riskini azaltan esnek bir poliamid malzemeden üretilmiştir. EDDY sonik aktivasyon cihazının, kanal duvarlarından debris ve organik dokuları etkili bir şekilde temizlemede başarılı olduğu bildirilmiştir (109).

Ultrasonik sistemler: Ultrasonik aletler, ilk olarak aşındırma amacıyla kullanılarak kavite preparasyonları için diş hekimliğine tanıtıldı (110). Ultrason üretiminin iki temel yöntemi vardır. İlk olarak, elektromanyetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren süreç manyetostriksiyon olarak adlandırılır. Bir el aletindeki manyetostriktif metal şeritlerin bir yığını, titreşimlerin üretildiği sabit ve alternatif bir manyetik alana tabi tutulur. İkinci yöntem, bir elektrik yükü uygulandığında boyut

değiştiren bir kristalin kullanıldığı piezoelektrik prensibe dayanır. Bu kristalin deformasyonu, ısı üretmeden mekanik salınıma dönüştürülür (15).

Zinner (111), diş yüzeyindeki birikintilerin uzaklaştırılmasında ultrasonik bir aletin kullanımına ilişkin bir bildirimde bulundu. Bu, Johnson ve Wilson (112) tarafından geliştirilmiş ve ultrasonik ölçekleyici diş taşı ve plağı çıkarmada yerleşik bir araç haline getirilmiştir. Endodontide ultrasonik kullanma konsepti ilk olarak Richman (113) tarafından 1957'de tanıtıldı. Ancak Martin ve ark. (114), ultrasonik olarak etkinleştirilen K tipi eğelerin dentini kesme kapasitesi belirgin hale gelene kadar, bu uygulama kök kanallarının preparasyonunda dolgu ve obtürasyon öncesi yaygın olarak kullanılmamıştır. Endosonik terimi Martin ve Cunningham (115) tarafından ortaya atılmış ve kök kanal enstrümantasyonu ve dezenfeksiyonunun ultrasonik ve sinerjik sistemi olarak tanımlanmıştır.

Orijinal ultrasonik ünitelerde kullanılan frekans aralığı 25 ile 40 kHz arasındadır (15). Sonrasında, diş yüzeyinde daha az değişikliğe yol açan ve düşük kayma gerilimleri üreten, 1 ila 8 kHz frekans aralığında çalışan düşük frekanslı ultrasonik el aletleri geliştirilmiştir (116).

Endodontide ultrasonik cihaz kullanımı (117);

- Kalsifiye kanal bulunması ve pulpa taşı çıkarılması.
- Kanal içi tıkanıklıkların giderilmesi.
- İrrigasyon solüsyonlarının etkisinin artırılması.
- Guta-perkanın ultrasonik cihazla kondanse edilmesi.
- Mineral trioksit agregatının (MTA) yerleştirilmesi.
- Cerrahi endodonti: Kök ucu boşluğunun hazırlanması ve rafine edilmesi ve kök ucu obtürasyon materyalinin yerleştirilmesi.
- Kök kanalının hazırlanması.

İki tip ultrasonik irrigasyon sistemi vardır. İlk tipi, ultrasonik irrigasyon ile enstrümantasyonun aynı anda yapılması ile gerçekleştirilir. İkinci yöntem ise pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ) olarak adlandırılmakta olup, bu teknikte herhangi bir kanal şekillendirme işlemi gerçekleştirilmeden yalnızca irrigasyon uygulanmaktadır. İlk yöntemde dentin kesiminin kontrol edilmesi zor olduğu ve uygulama sonrası kanal şeklinin değişebileceği için klinik alanda kullanımı tercih edilmemektedir. Bu sebeple, geleneksel manuel enstrümantasyonun yerini almamaktadır (118).

PUİ, ilk defa Weller ve ark. (119) tarafından kullanılmış ve endodontik bir eğeye ultrasonik enerji verilerek kök kanalındaki irrigasyon solüsyonunun aktive edilmesi sağlanmıştır. Pasif ultrasonik irrigasyon uygulanmadan önce kök kanalının yeterli genişliğe ulaşması, ultrasonik uçların kök kanal duvarlarıyla temas etmemesini ve güvenli bir şekilde çalışabilmesini sağlar (120).

Ultrasonik aktivasyonla yapılan irrigasyon, sürekli bir irrigasyon hareketi oluşturan ultrasonik titreşimle birlikte bir irrigasyonun, temas etmesi zor olan anatomik bölgelerin, kök kanal boşluğunun temizlenmesi, debris ve bakterilerin uzaklaştırılması ile doğrudan ilişkili olduğu gösterilmiştir (121).

PUİ ile iki farklı tür irrigasyon sağlanabilir: kesikli ve devamlı ultrasonik irrigasyon (122).

Sürekli PUİ’ de, irrigasyon sıvısı ultrasonik aktivasyon ile eşzamanlı olarak kök kanalına iletilir (82).

Kesikli PUİ’de, irrigasyon sıvısı enjektör aracılığıyla kök kanalına verilip ardından ultrasonik uçla aktivasyon gerçekleştirilir. Bu yöntem, kök kanalının apikal kısmına uygulanan sıvı miktarını, şırınganın yerleştirilme derinliğini ve verilen sıvı hacmini kontrol etme imkanı sunar, bu da kesikli pasif ultrasonik irrigasyonu sürekli pasif ultrasonik irrigasyona kıyasla avantajlı kılar (118).

Ardışık düzenli basınç oluşturan sistemler: Aynı anda hem solüsyonu enjekte edip hem de geri emen sistemlerdir. Bu sistemler, kök kanallarının koronal ve orta bölgeleri için geniş bir kanül, apikal bölge için iğneye eklenen ince bir kanül ve dental üniteye entegre edilmiş bir aspirasyon sistemi içermektedir (123).

Düzenli basınç oluşturan sisteme örnekler: EndoSafe, RinsEndo ve EndoVac (123).

- **Endosafe:** Esnek, açık uçlu 30-G iğne ucu ve katlanabilir tahliye başlığı aracılığıyla çalışma uzunluğunda irrigasyonu aynı anda verip geri çekerek güvenli bir şekilde irrigasyon sağlar (124).

- **RinsEndo:** RinsEndo sistemi, 65 mL irrigasyon solüsyonunu 1-6 Hz frekansında titreşim hareketiyle kanüle ileterek ardından aspire eder. Cihaz, bu basınç-vakum döngüsünü dakikada ortalama 100 kez tekrarlar.

Kullanım yönergelerine göre, sistemin kanülü kök kanalının koronal üçlüsüne yerleştirilmelidir. Ancak, üretici firma, sıvı akışının darbelik özelliği nedeniyle, kanalın apikal üçlüsünde de etkili bir irrigasyon sağladığını iddia etmektedir (82).

- **EndoVac:** EndoVac (Discus Dental, Culver City, CA) sistemi, irrigasyon solüsyonunun kök kanal sisteminin apikal bölgelerine ve morfolojik düzensizliklere daha etkili şekilde iletilmesini amaçlayan negatif basınç esaslı bir irrigasyon yöntemidir. Bu sistem, çalışma uzunluğuna yerleştirilen özel bir emme kanülü aracılığıyla, irrigantın pulpa odasından kanal içerisine doğru kontrollü bir akışla ilerlemesini sağlar. Böylece irrigant, apikal bölgelere ulaşırken ekstrüzyon riskini azaltır (125).

Plastik makrokanül, .02 konikliğe sahip 55 numaralı açık ucu ile kök kanalının koronal kısmını brüt bir şekilde yıkamak için titanyum bir sapa tutturulmuştur. 32 numaralı paslanmaz çelik mikrokanülün kapalı ucunun yanında, lazerle kesilmiş ve yanal olarak yerleştirilmiş ofset delikler bulunur. Bu, çalışma

uzunluğunda konumlandırılarak kanalın apikal kısmının irrigasyonu için bir titanyum parmak parçasına tutturulmuştur (126).

Mikrokanül kullanımı, genellikle genişliği ISO 35 veya üzeri olan kök kanalları için uygundur. Bu sistemde, irrigasyon süresince irrigantın iletimi ve uzaklaştırılması, özel olarak tasarlanmış dağıtım ve tahliye uçları aracılığıyla gerçekleştirilir; böylece solüsyon, etkin bir şekilde pulpa odasına yönlendirilir ve fazla sıvıyı geri çekerek taşmayı önler. Kanaldaki kanül, eş zamanlı olarak negatif basınç uygulayarak irrigasyon solüsyonunu taze su kaynağından alıp kanal boyunca ilerletir ve ardından kanülün ucundan iç kısmına yönlendirerek emiş hortumu aracılığıyla dışarı tahliye eder. Böylece, çalışma uzunluğuna negatif basınçla sürekli bir taze irrigasyon akışı iletilir (126).

Nielsen ve Baumgartner (125), çekilmiş dişler üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, EndoVac sisteminin, geleneksel iğne irrigasyonuna kıyasla çalışma uzunluğunun 1 mm gerisinde anlamlı derecede daha etkili bir doku artışı uzaklaştırma sağladığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Shin ve ark. (127) EndoVac sisteminin, konvansiyonel yöntemlere göre daha az artık materyal bıraktığını bildirmiştir. Bu bulgular, EndoVac sisteminin apikal temizlikte üstün bir irrigasyon alternatifi sunduğunu göstermektedir.

GentleWave irrigasyon sistemi: GentleWave, kök kanalını minimal şekillendirme prosedürleriyle temizlemek için geliştirilen yeni bir irrigasyon sistemidir (128).

Dişin içindeki gazdan arındırılmış sıvı içinde geniş bir ses dalgası spektrumu üreten güçlü bir hidrodinamik kaviteasyon yaratır ve bu da solüsyonun endodontik aletler tarafından genellikle dokunulmayan alanlara ulaşmasını sağlar (129). Son zamanlarda, GentleWave sisteminin endodontik yeniden tedavi için iyi bir seçenek olarak kabul edilebileceği öne sürülmüştür (128).

Multisonik enerjinin etkisi, sıvı dinamikleri ve kullanılan sıvının kimyasal özellikleriyle birleşerek hem pulpa dokusunun hem de biyofilm gibi organik

maddelerin çözünmesini ve temizlenmesini sağlar. Kök kanallarının minimal düzeyde hazırlanmasına olanak tanınarak dişin yapısal bütünlüğü ve dayanıklılığı korunur (130).

Sigurdsson ve çalışma arkadaşları tarafından yürütülen bir araştırmada, kök kanal tedavisi sonrası 12 aylık izlem süresince GW kullanımının yüksek oranda iyileşme ile ilişkilendirildiği rapor edilmiştir. (130).

Lazerler: 1960'lı yıllarda Leon Goldman tarafından diş hekimliğinde lazer araştırmaları başlatılmıştır (131). İlk araştırmaların çoğunda, mine ve dentin üzerinde oluşan doku tepkimelerini değerlendirmek amacıyla en sık tercih edilen lazer türlerinden biri yakut lazer olmuştur (131). Daha sonra, araştırmacılar CO₂ (karbondioksit), Nd:YAG (Neodymium-Doped Yittrium Aluminum Garnet, Er:YAG (Erbium:Yittrium-Aluminum Garnet Laser's), Er, Cr: YSGG (Erbium, Chromium:Yittrium-Scandium-Gallium-Garnet Laser), Argon gibi diğer lazer türleri ve fotonla indüklenen foto-akustik akım (PIPS) üzerine çalışmalar yapmaya başlamışlardır (132).

Lazerle irrigasyon aktivasyonu, irrigasyon solüsyonuna lazer enerjisi uygulanarak kök kanalında kavitasyon etkisi yaratılmasıyla gerçekleştirilmektedir (133). Kavitasyon, akış değişiklikleri veya akıştaki dalgalanmalar sonucu sıvıda oluşan gerilim kuvvetleri nedeniyle solüsyon içinde boşluklar oluşması olarak tanımlanmaktadır (121).

Lazerlerin termal etkileri, su moleküllerinin genişleyip büzülmesine neden olarak kök kanalındaki solüsyonda ikincil kavitasyon yaratmaktadır. Bu amaçla, son yıllarda Er: YAG lazer sistemleriyle uyumlu özel fiber uçlar (PIPS) kullanılmaktadır. PIPS (Photon Induced Photoacoustic Streaming) sistemi, 2940 nm dalga boyuna sahip Er: YAG lazer cihazlarında uygulanır ve uçlar, irrigasyon solüsyonu ile dolu kök kanalına yerleştirilerek kullanılır. Her lazer atışında, bu özel uçlar kullanılarak solüsyonda şok dalgaları oluşturulur ve böylece kök kanal sisteminin ulaşılması zor bölgeleri dahil tüm alanlarda kavitasyon etkisi sağlanması hedeflenir (134).

Ozon bazlı dağıtım sistemi: Ozon, üç oksijen atomundan oluşan ve yüksek oksidatif potansiyele sahip üç atomlu bir moleküldür. Dental uygulamalarda ozon, ozonlu su, ozonlanmış zeytinyağı ve oksijen/ozon gazı gibi farklı formlarda oral dokulara uygulanabilmektedir. Ozon gazı (O_3), kararsız bir yapıya sahip olup hızla oksijene (O_2) dönüşerek serbest radikal formundaki singlet oksijeni (O_1) açığa çıkarır. Bu güçlü oksidan etki, mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal aktivite göstererek biyofilm eliminasyonuna katkı sağlamaktadır. Endodontik irrigasyon uygulamalarında ozonun kullanımını sağlayan Neo Ozone WaterS, Heal Ozone ve OzoTop gibi çeşitli taşıyıcı sistemler geliştirilmiştir. Nagayoshi ve çalışma arkadaşlarının gerçekleştirdiği araştırmada, ozonlanmış suyun (0,5-4 mg/L) hem gram pozitif hem de gram negatif mikroorganizmaların eradikasyonunda yüksek etkinlik gösterdiği belirlenmiştir (135).

2.4 Endodontide Görüntüleme Yöntemleri

2.4.1 Işık Mikroskobu

Mikroskobun ilk olarak, 1590 civarında Hollandalı Zacharias Janssen tarafından, bir teleskop üzerinde yaptığı değişikliklerle icat edildiği düşünülmektedir. Bununla birlikte, aynı dönemlerde başka Hollandalı, Alman, İngiliz ve İtalyan bilim insanları da ters çevrilmiş bir teleskop mercekle sisteminin nesneleri büyütme amacıyla kullanılabileceğinin farkına varmışlardır. İtalyan bilim insanı Galileo Galilei (1564-1642) iki mercek kullanarak bazı deneyler gerçekleştirmiştir. 17. yüzyılda Hollandalı bilim insanı Anton van Leeuwenhoek ile İngiliz doğa filozofu Robert Hooke'un öncü çalışmalarıyla şekillenmiştir (136).

Işık mikroskobunun büyütme kapasitesinin 2500 katın üzerine çıkamaması nedeniyle, bazı malzemelerin incelenmesinde yetersiz kaldığı görülmüştür. 1933 yılında, iki Alman bilim insanı, Max Knoll ve Ernst Ruska, görüntü oluşturmak amacıyla fotonlar yerine elektronları kullanan elektron mikroskobunu icat etmişlerdir. Bu buluş sayesinde, ışık mikroskobuyla görünemeyen yapılar daha detaylı bir şekilde incelenebilmiştir (136).

2.4.2 Elektron Mikroskobu

1924 yılında Louis de Broglie, hareket eden her nesneye bir dalganın eşlik ettiğini ve elektronların dalga özellikleri sergilediğini teorik olarak öne sürmüştür. 1927 yılında, elektronların dalga yapısı deneysel olarak doğrulanmıştır (136).

Ardenne, tarama ilkesini hem daha yüksek büyütmelere erişmek hem de elektron mikroskobunun yapısal olarak içerdiği kromatik sapmaları ortadan kaldırmak amacıyla SEM (Scanning Electron Microscope) kullanmıştır (137).

SEM (Scanning Electron Microscope): Yüksek enerjili elektronların küçük bir bölgeye odaklanarak yüzey taraması yapılması ilkesine dayanır. 1930’larda Manfred von Ardenne’nin öncülüğünde geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan haliyle, yüzeyden yayılan ikincil elektronların ölçümü, özellikle yüzeyin topografik özelliklerini gösteren bir görüntü elde edilmesini sağlar (136).

SEM, tipik olarak 40 keV’a kadar enerjilere sahip elektronlardan oluşan ince bir prob bir numuneye odaklanır ve paralel çizgilerden oluşan bir desen boyunca taranır. Olay elektronlarının çarpması sonucu çeşitli sinyaller üretilir ve bunlar bir görüntü oluşturmak veya numune yüzeyini analiz etmek için dedektörler vasıtası ile toplanır. Bunlar çoğunlukla birkaç eV enerjiye sahip ikincil elektronlardır, birincil ışıktan geri saçılan yüksek enerjili elektronlar ve karakteristik X ışınlarıdır. Bu bölüm, bu kadar zengin fiziksel etkileşimi pratik bir araçta kullanmaya olanak veren en önemli adımları gözden geçirir ve SEM’i bugün malzeme ve yaşam bilimlerinde oldukça güçlü bir araç haline getirir (138).

SEM’de elektron optiği, genellikle küçük bir tungsten ucu olan elektron kaynağının boyutunu küçültmek ve mümkün olan en küçük probu oluşturmak için kullanılır. Küçültme, bir dizi “yoğunlaştırıcı mercekle” ve “prob oluşturan” mercek olarak da bilinen son bir “objektif mercek” kullanılarak elde edilir (138).

Sapmalar, ışının odaklanma yeteneğini sınırlar ve bu nedenle görüntüyü bulanıklaştırır. Zorluk iki ana sapmadan kaynaklanır. Küresel sapma nedeniyle, optik

eksenden uzağa giden ışınlar eksene yakın olanlardan daha güçlü bir şekilde odaklanır. Bu etkiyi azaltmak için, dış ışınların mercekten geçme açısını sınırlamak için objektif bir mercek açıklığı kullanılır. Kromatik sapma da biraz farklı dalga boylarına sahip elektronlar az veya çok güçlü bir şekilde odaklandığından görüntüyü bulanıklaştırır. Dar enerji dağılımına sahip elektron ışınları bu etkiyi sınırlamak için kullanılır. Günümüzde, bir mikroskoptaki ışının enerji yayılımı tipik olarak termal bir kaynak için 2 eV'den ve alan emisyon kaynakları için 1 eV'den azdır (138).

SEM'in çözme gücü, çözme derinliği ve büyütme kapasitesi avantajlıdır. SEM'de vakum sistemi oldukça önemlidir; çünkü basıncın yeterince düşük olması, elektron tabancasının düzgün çalışmasını sağlar. Elektron yayan yüzeylerin korozyona uğramasını engellemek için yüksek kalitede vakum gereklidir. Vakum yeterince iyi değilse, yüzeyde kirlilik birikir ve bu kirlilik, Elektron Tabanca haznesine dolarak performansı düşürür, aynı zamanda voltaj ölçümlerinin doğruluğunu azaltır. Ayrıca, iletken olmayan numuneler de SEM'de incelenmeden önce kaplama işlemine tabi tutulmalıdır. SEM cihazları pahalıdır ve bakım masrafları oldukça yüksektir (136).

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez araştırması, Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı bünyesinde yürütülmüştür. Çalışmanın başlamasından önce, etik uygunluğunun değerlendirilmesi amacıyla Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Etik Kurulu'na başvuruda bulunulmuş ve araştırma, 29.05.2024 tarihli ve 2024-16 sayılı kurul kararı ile etik açıdan onaylanmıştır. Araştırma kapsamında elde edilen örneklerle ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülemeleri, Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (DÜBTAM) bünyesindeki SEM Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışma aşağıdaki başlıklar altında planlanıp tamamlandı.

3.1 Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması

Bu çalışmada, Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı'ndan temin edilen, periodontal ve ortodontik nedenlerle çekilmiş, apikal gelişimini tamamlamış, kalsifikasyon içermeyen, tek ve düz köklü toplam 60 adet mandibular premolar diş örneği kullanılmıştır.

Tüm örnek dişlere ait dijital periapikal radyografiler alınarak, kök kanal morfolojisinde olası kompleks yapılar ile rezorptif değişikliklerin varlığı ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir.

Dişlerin dahil edilme kriterleri;

- Dişlerin tek kanallı olması,
- Kök kanalının kalsifiye olmaması,
- Kök kanallarının Schneider (139) sınıflamasına göre düz bir yapı sergilemesi,
- Dişlerde herhangi bir restorasyon uygulanmamış ve kron hasarı bulunmaması,
- Köklerde rezorpsiyon, kırık veya benzeri hasarların olmaması,
- Kök uzunluğunun en az 16 mm olması.

Dişlerin dahil edilmeme kriterleri;

- Dişlerde birden fazla kök kanalının bulunması,
- Kök yüzeyinde fraktür, çatlak veya rezorpsiyon bulunması
- Kök kanallarının Schneider (139) sınıflamasına göre düz morfolojide olmaması,
- Koronal yapıda harabiyet bulunması, koronal restorasyon varlığı ya da daha önce kanal tedavisi uygulanmış olması
- Kök kanalının kalsifiye veya oblitere olması.

3.2 Dişlerin Hazırlanması

Seçilen dişler, debris ve yumuşak doku kalıntılarından periodontal küret ile temizlendikten sonra, oda sıcaklığında distile suda bekletildi.

Tüm dişlerin kanal boylarının standardizasyonunu sağlamak amacıyla, her bir örnek dijital kumpas ile apikalden itibaren 15 mm olacak şekilde ölçüldü ve fissür elmas frez (Diatech Dental AG, Swiss Dental Instruments, CH-9450 Altstatten, Switzerland) yardımıyla, sürekli su soğutması altında koronal kısımları uzaklaştırıldı. Endodontik erişim boşlukları, su soğutması altında yuvarlak elmas frezle Diatech Dental AG, Swiss Dental Instruments, CH-9450 Altstatten, Switzerland) hazırlandı. Çalışma uzunluğu ise, #10 K-eğesi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ucu apikal foramenden görüldüğünde, bu noktadan 1 mm daha kısa olacak biçimde belirlendi.

Kök kanal şekillendirme ve hazırlık işlemleri, çalışma aşamasında yalnızca bir operatör tarafından gerçekleştirildi.

3.3 Çalışmada Kullanılacak Materyaller

İrrigasyon solüsyonları ve aktivasyon aletleri kullanıldı.

Çalışmada üç adet irrigasyon ajanı kullanıldı: %5'lik NaOCl (Microvem, İstanbul, Türkiye, Resim 3.1), %17'lik EDTA (Saver, Prime Dental Products PVT Ltd., Maharashtra, Hindistan, Resim 3.2) ve distile su (Botafarma, Üçel Medikal, Ankara, Türkiye).

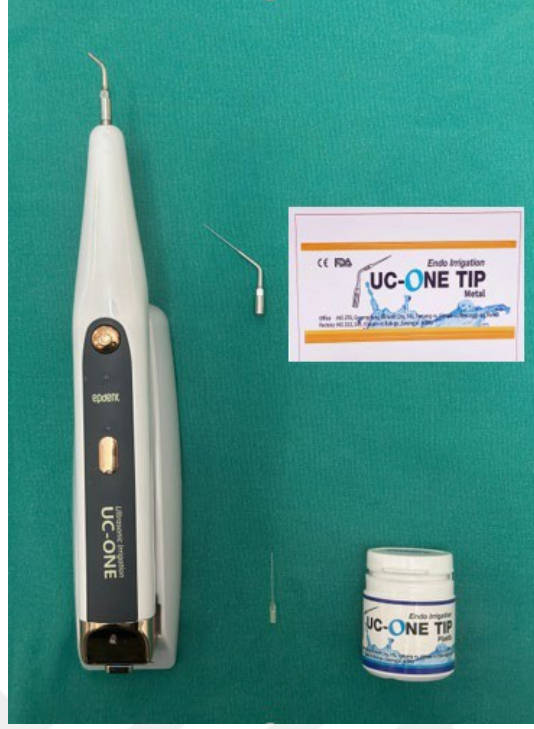


Resim 3.1. Çalışmada kullanılan %5 derişimli NaOCl çözeltisinin görüntüsü.



Resim 3.2. Çalışmada kullanılan %17 derişime sahip EDTA çözeltisinin görüntüsü.

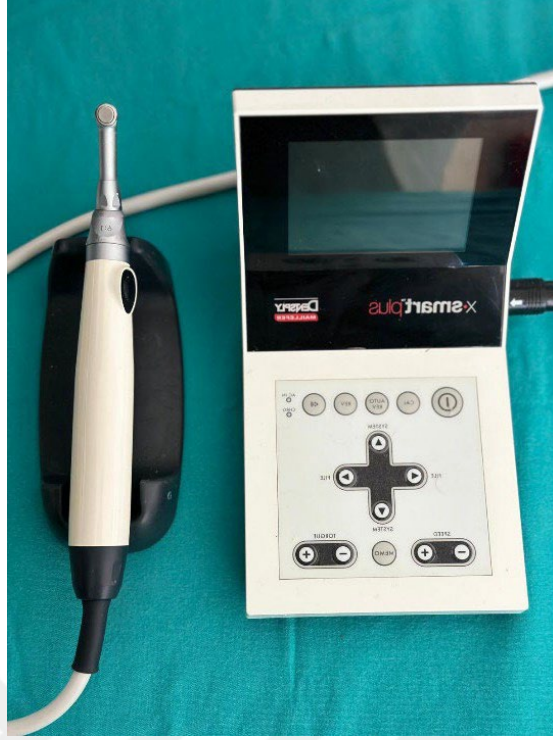
Çalışmadaki plastik uç ile yapılan aktivasyon işlemi kablosuz PUİ cihazı (Uc-One®, Epdent, Gwangju, Korea) ve Epdent, Uc-One plastik uç (uzunluğu-21 mm, Çap-0,22 mm), Metal uç ile yapılan aktivasyon işlemi ise yine aynı PUİ cihazı ve Epdent, Uc-One metal uç (uzunluğu-20 mm, Çap 0.3 mm) kullanılarak uygulanmıştır (Resim 3.3).



Resim 3.3. Çalışmada plastik uç ve metal uç ile kullanılan pasif ultrasonik aktivasyon cihazı.

3.4 Kök Kanallarının Preparasyonu

Endodontik tedavi sırasında, ilk giriş yolu #15 K-eğ (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanılarak oluşturuldu. Resim 3.4'te görülen X-Smart Plus (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) endodontik motoru reciproc modunda kullanılarak şekillendirildi. Kanallar, apikal çapı #40 olacak şekilde M40 (40/0.04) (Must, İstanbul, Türkiye) NiTi eğeleri ile hazırlandı (Resim 3.5). Her alet yalnızca dört kanalı hazırlamak için kullanıldı. 3 mm genliğe sahip bir gagalama hareketiyle tam çalışma uzunluğuna ulaşılan kadar şekillendirildi. 3 gagalama hareketinden sonra eğ, üzerindeki dentin artıklarını uzaklaştırmak amacıyla ıslatılmış steril gazlı bezle temizlendi. Apikal açıklık #10 K-eğ ile doğrulandı.



Resim 3.4. Çalışmada kullanılan endodontik motor.



Resim 3.5. Çalışmada kullanılan T-Endo Must M40 (40/0.04) döner ege sistemi.

İlk olarak #10 K-eğesi kök kanalına yerleştirilmeden 2 mL %5'lik NaOCl ile kök kanalları yıkandı. #10 K-eğesi ile çalışma uzunluğunu belirlendikten sonra tekrar 2 mL %5'lik NaOCl ile kanallar yıkandı. #15 K-eğesi ile giriş yolu oluşturulduktan sonra 2 mL NaOCl ile kanallar yıkandı. İrrigasyon 30-G iğne ucu (Appli-Vac, Vista Dental, ABD) ile gerçekleştirildi. Her bir dişte enstrümantasyon öncesi ve sırasında toplam 15 mL %5'lik NaOCl irrigasyon solüsyonu kullanıldı. İrrigasyon sırasında iğne ucu, çalışma uzunluğunun 2 mm gerisinde kalacak şekilde ileri-geri yönlü hareket ettirilerek kök kanalına yerleştirildi. Uygulama süresince enjektör, apikalden koronal yöne doğru kontrollü bir şekilde ilerletilirken, NaOCl solüsyonu pasif bir şekilde ve basınç uygulanmaksızın kanallara uygulandı.

Enstrümantasyon sonrasında, 1 dakika süreyle 3 mL distile su ile irrigasyon yapılmıştır.

3.5 Smear Uzaklaştırma ve SEM Analizi

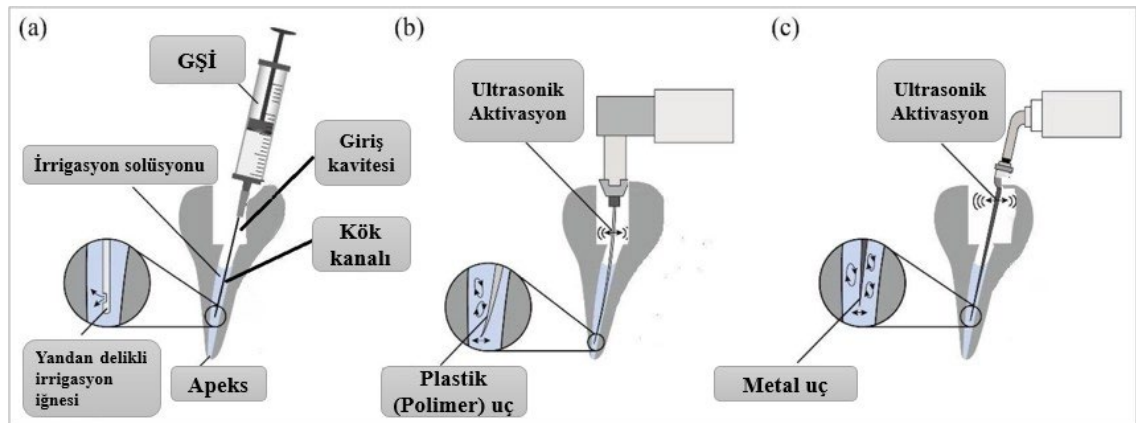
3.5.1 Final İrrigasyon İşlemi

Kök kanalları prepare edildikten sonra final irrigasyon için dişler rasgele 3 gruba ayrıldı. Her bir grupta 20 adet diş üzerinde final irrigasyon yapıldı.

Grup 1: Kontrol Grubu, GŞİ (n: 20)

Grup 2: PUİ, Plastik Uç ile Aktivasyon (n: 20)

Grup 3: PUİ, Metal Uç ile Aktivasyon (n: 20)



Şekil 3. 1 (a) grup 1: GŞİ (b) grup 2: PUİ plastik (polimer uç) (c) grup 3: PUİ metal uç şeması. Şekil revize edilmiştir (140).

Grup 1: Kontrol Grubu: GŞİ: Grup 1, 5 mL %5'lik NaOCl solüsyonu 1 dk boyunca ve 2 mL %17'lik EDTA solüsyonu 1 dk boyunca 27-G enjektör iğnesi kanal boyundan 1 mm kısa olacak şekilde ileri-geri hareketlerle irrigasyon yapıldı. Ardından 3 mL distile su ile kanallar yıkandı. Kanallar #40 paper pointler (Pearl Dent, Bucheon, Korea) ile kurutuldu. Herhangi bir aktivasyon işlemi uygulanmadı.

Grup 2 ve 3: Pasif Ultrasonik Aktivasyon: Grup 2'de Epdent Uc-One PUI cihazının plastik ucuyla aktivasyon yapılırken Grup 3'te aynı PUI cihazının metal ucuyla aktivasyon yapıldı.

Ultrasonik uçlar çalışma uzunluğundan 1 mm kısa olacak şekilde kanala yerleştirildi 2-3 mm ileri geri hareketlerle aktivasyon yapıldı.

İrrigasyonda 5 mL %5'lik NaOCl ve 2 mL %17'lik EDTA kullanıldı. Her bir örnek sırasıyla; 2 mL %5'lik NaOCl ile yıkanıp 20 sn aktivasyon yapıp sonra tekrar 2 mL %5'lik NaOCl ile yıkanıp tekrar 20 sn aktivasyon yapıp en son 1 mL %5'lik NaOCl ile yıkanıp 20 sn aralıklı aktivasyon yapıldı. Tüm örnekler, toplamda 5 mL %5'lik NaOCl solüsyonu 60 sn aktive edildi. Her aktivasyon periyodunda 10 sn dinlendirildi. Bu prosedürün ardından, NaOCl solüsyonunun etkisini sonlandırmak için 3 mL distile su ile kanallar yıkandı.

Daha sonra 2 mL %17'lik EDTA 30 sn boyunca 27-G enjektör iğnesi ile kanallar yıkandı. Her bir örnek %17'lik EDTA ile yıkandıktan sonra 20 sn PUI cihazı ile aktive edildi. İrrigasyon solüsyonlarının etkisini sonlandırmak için her örnek tekrardan 3 mL distile su ile yıkandı ve #40 paper pointler kullanılarak kanallar kurutuldu.

Tüm gruplarda toplam 20 mL %5'lik NaOCl solüsyonu kullanıldı; bunun 15 mL'si enstrümantasyon sırasında, 5 mL'si ise final irrigasyon aşamasında uygulandı. %17'lik EDTA solüsyonu sadece final irrigasyon sırasında 2 mL kullanıldı.

3.5.2 Örnek Kesitlerin Hazırlanması

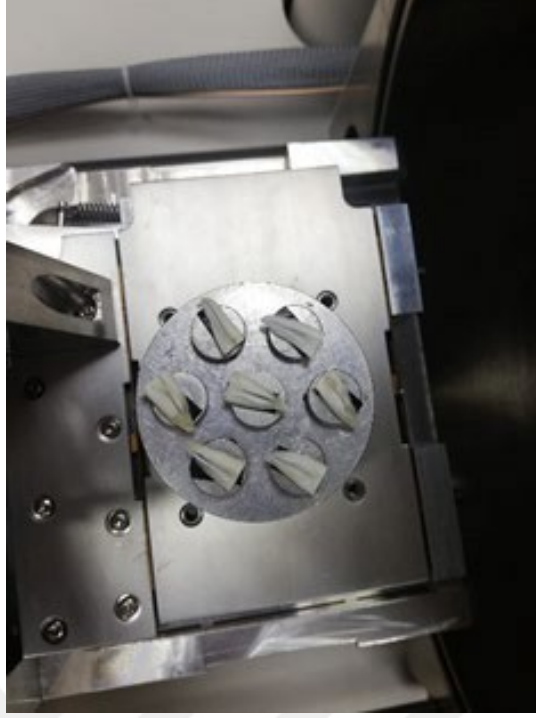
Preparasyon ve irrigasyon işlemleri tamamlanan dişlerde, bukkal ve lingual yüzeyler boyunca, su soğutması eşliğinde çalışan yüksek devirli bir Aeratör'e takılmış ince alev uçlu frez (Diatech Dental AG, Swiss Dental Instruments, CH-9450 Altstatten, Switzerland) kullanılarak, iç yüzeylere zarar vermeden paralel oluklar oluşturulmuştur. Daha sonra, kökler longitudinal eksen doğrultusunda siman spatülü ile uygulanan kontrollü kuvvet aracılığıyla iki parçaya ayrılmıştır. Bölme işlemi öncesinde, dentin parçacıklarıyla olası kontaminasyonu önlemek amacıyla kök kanallarına 40/.04 boyutunda gutta-percha konisi (FKG Dentine, Le Crêt-du-Loche Switzerland) yerleştirildi.

Görüntüleme için her kökün yalnızca bir yarısı değerlendirildi.

Örnekler, Dicle Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan etüv cihazı (FN 500, Nüve, Ankara, Türkiye) kullanılarak 37 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek kurutuldu.

3.5.3 SEM Cihazı ile Örneklerin Analizi

Quanta FEG 250 (FEI Ltd., Oregon, ABD) model SEM cihazı kullanılarak örneklerin 2000× büyütmede görüntülemeleri alındı (Resim 3.6 ve Resim 3.7). Bu işlemler Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (DÜBTAM) SEM görüntüleme Laboratuvarı'nda hizmet alımı olarak yapıldı.



Resim 3.6. SEM görüntülemesi için hazırlanan kök yarımları.



Resim 3.7. Örneklerin incelenmesi için kullanılan SEM görüntüleme cihazı.

Bu çalışmada, 60 dişin kök kanallarının koronal, orta ve apikal bölgelerinden 2000× büyütmede 10,00 ve 20,00 kV potansiyelde SEM görüntüleri elde edildi.

Elde edilen görüntüler, smear tabakası varlığı ve açık dentin tübüllerinin sayısına göre Adobe Photoshop CS6 (Adobe Systems, San Jose, CA, USA) yazılımı kullanılarak analiz edildi ve puanlandı. Skorlama işlemi, Hülsmann'ın sınıflandırmasına uygun olarak bağımsız iki klinisyen tarafından gerçekleştirildi (141). İki klinisyenin verdiği puanlar arasındaki uyum ve kalibrasyon, Cronbach α analizi ile değerlendirildi ve istatistiksel veriler oluşturuldu.

Değerlendirme kriterleri (Hülsmann'ın 5'li skor sınıflandırmasına göre):

- **Skor 1:** Dentin tübüllerinin tamamen açık olduğu ve smear tabakasının gözlenmediği durum.
- **Skor 2:** Çoğu dentin tübülünün açık olduğu, az miktarda smear tabakası bulunduğu durum.
- **Skor 3:** Az sayıda dentin tübülünün açık olduğu ve kök kanal duvarının neredeyse tamamını kaplayan düzenli bir smear tabakasının varlığı.
- **Skor 4:** Açık dentin tübülü gözlenmeyen ve kök kanal duvarının tamamen düzenli bir smear tabakasıyla kaplandığı durum.
- **Skor 5:** Kök kanal duvarının tamamını kaplayan kalın ve homojen bir smear tabakası varlığı.

3.5.4 İstatistiksel Analiz

Smear tabakası uzaklaştırma etkinliği için 3 grup (2 deney ve 1 kontrol grubu olmak üzere) ile %5 hata payı, %95 güven düzeyinde, orta düzey etki büyüklüğünde, teorik power değeri %81 alınarak; her bir grupta 20 gözlem olmak üzere 3 grupta toplamda en az 60 gözlem ile çalışma hedeflendi.

Power değeri hesaplamasında GPower 3.1 (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007) paket programı kullanıldı.

Verilerin istatistiksel analizi için SPSS V25 (IBM Inc., Armonk, NY, ABD) yazılımı kullanıldı. Tanımlayıcı istatistiklerde, nicel değişkenler için ortalama $\pm$ standart sapma ile birlikte ortanca (minimum–maksimum) değerler raporlandı. İki'den fazla kategori içeren nitel bir değişkenin, nicel bir değişken üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, normal dağılım varsayımı karşılanmadığından Kruskal-Wallis H testi uygulandı. Üç grup arasında anlamlı fark saptanan durumlarda, bu farkın hangi ikili gruplardan kaynaklandığını belirlemek için Bonferroni düzeltmeli Mann-Whitney U testi kullanıldı. Ayrıca, iki nicel değişken arasındaki tutarlılık Cronbach alfa katsayısı ile değerlendirildi. Tüm istatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

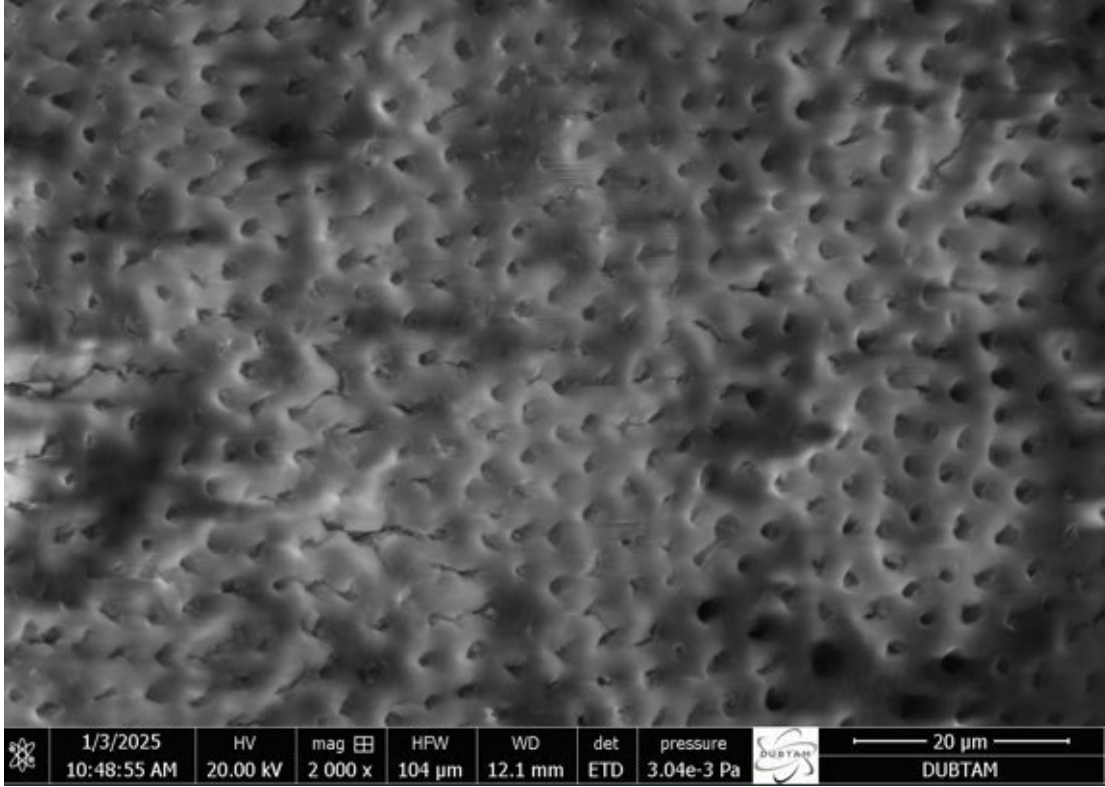


4. BULGULAR

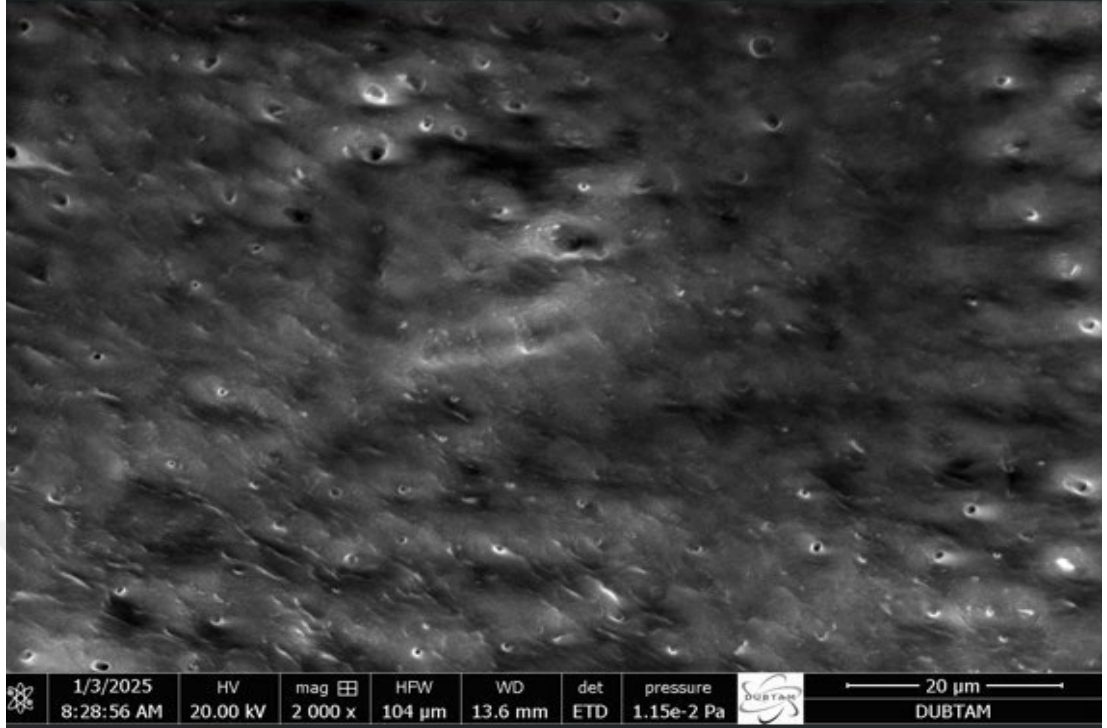
Bu çalışmada, PUI cihazına ait plastik-metal uç ile gerçekleştirilen irrigasyonun ve GŞİ'nin, kök kanalının koronal, orta ve apikal bölgelerinde smear tabakasını uzaklaştırmadaki etkinliği, SEM kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

4.1 SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi

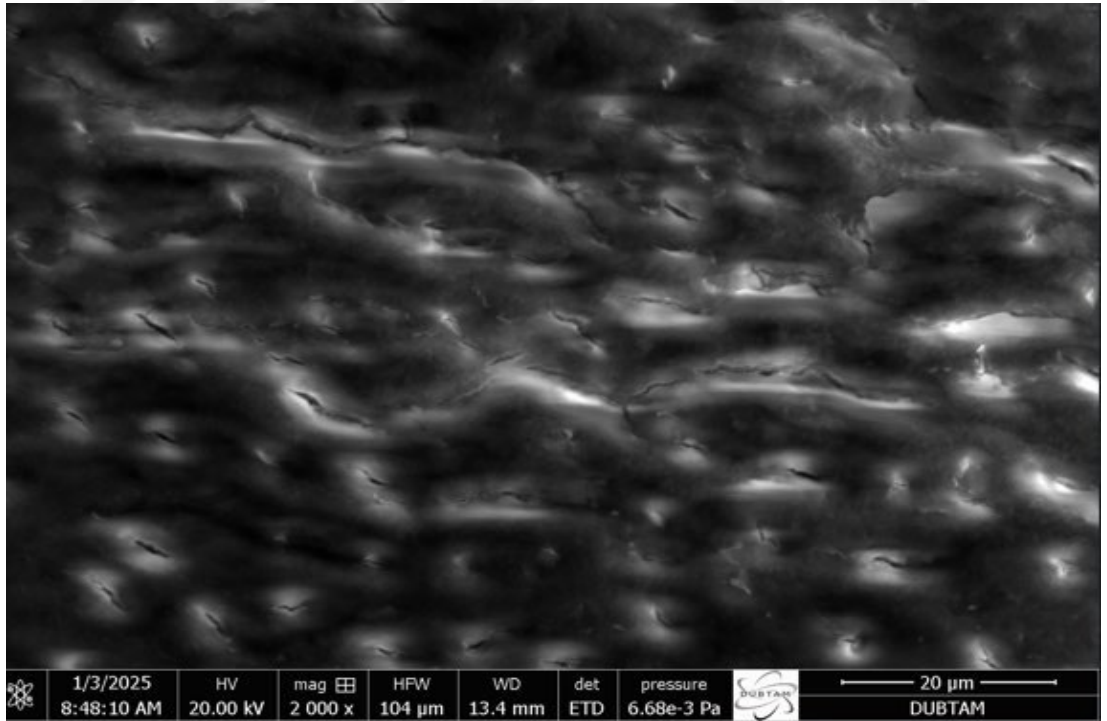
Grup 1: Aktivasyon yöntemi olarak GŞİ 1 dk süresince 5 ml %5' lik NaOCl solüsyonu ve 1 dk süresince 3 ml %17' lik EDTA solüsyonu uygulandı. Örneklerin SEM görüntüsü incelendiğinde koronal bölgede çoğu dentin tübülünün açık olduğu, az miktarda smear tabakası bulunduğu durum (skor 2), (Resim 4.1), orta bölgede az sayıda dentin tübülünün açık olduğu ve kök kanal duvarının neredeyse tamamını kaplayan düzenli bir smear tabakasının varlığı (skor 3), (Resim 4.2), apikal bölgede açık dentin tübülü gözlenmeyen ve kök kanal duvarının tamamen düzenli bir smear tabakasıyla kaplandığı durum (skor 4), (Resim 4.3).



Resim 4.1. Grup 1 koronal bölge SEM görüntüsü

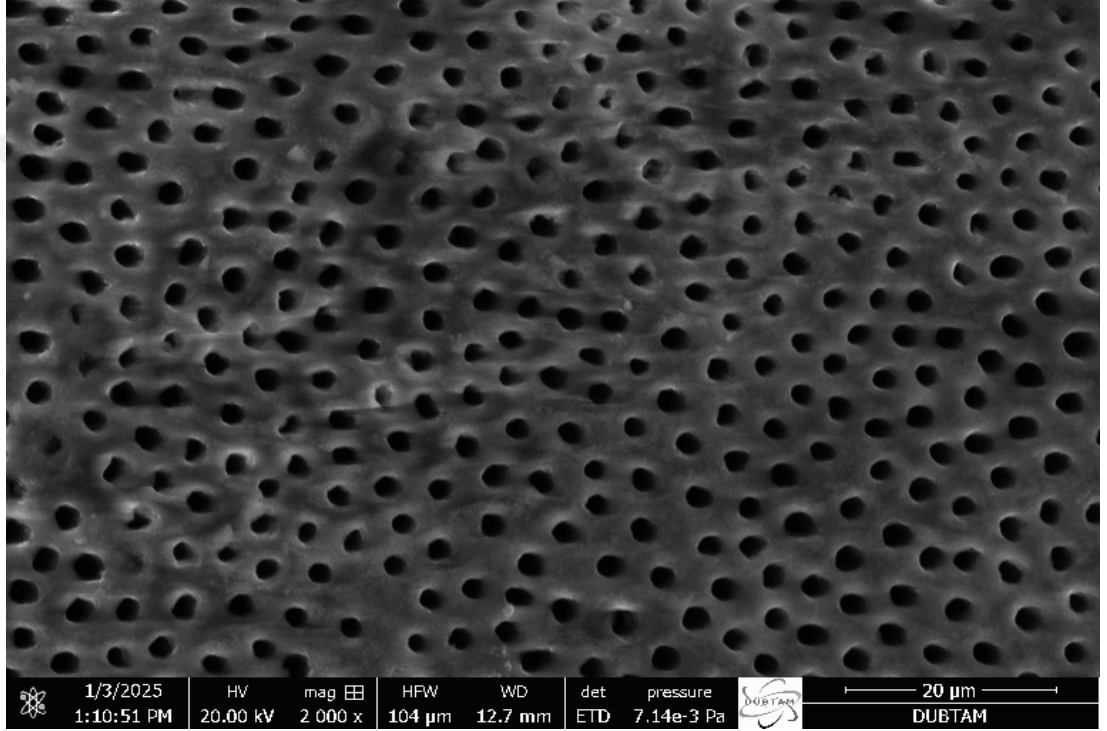


Resim 4.2. Grup 1 için orta bölge SEM görüntüsü.

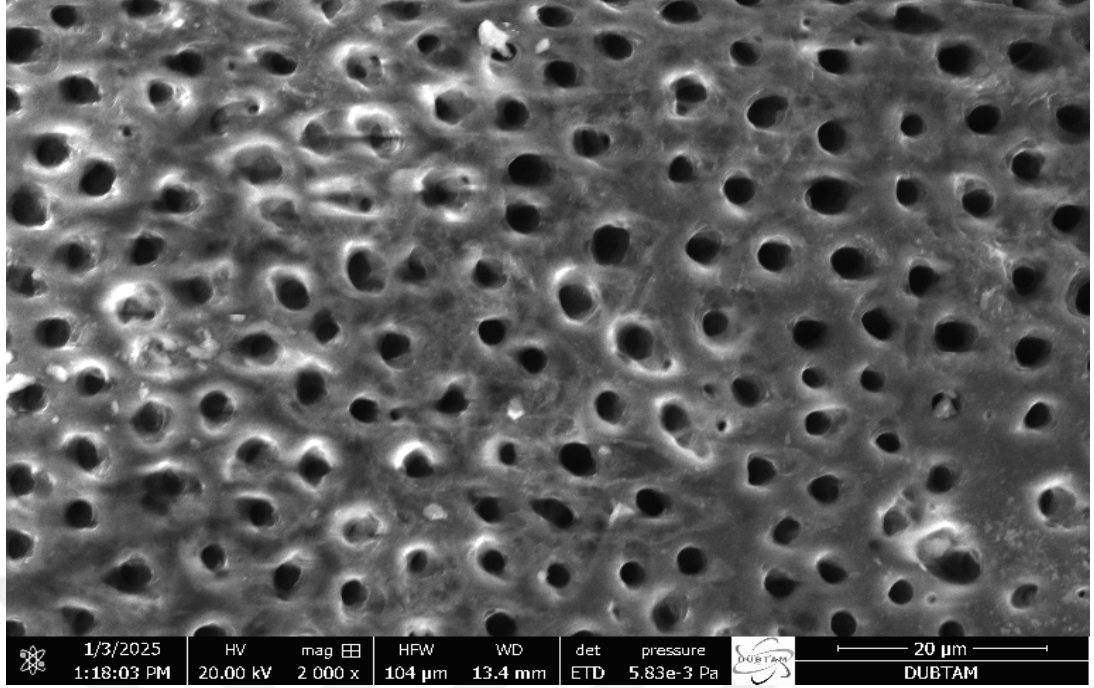


Resim 4.3. Grup 1 için apikal bölge SEM görüntüsü.

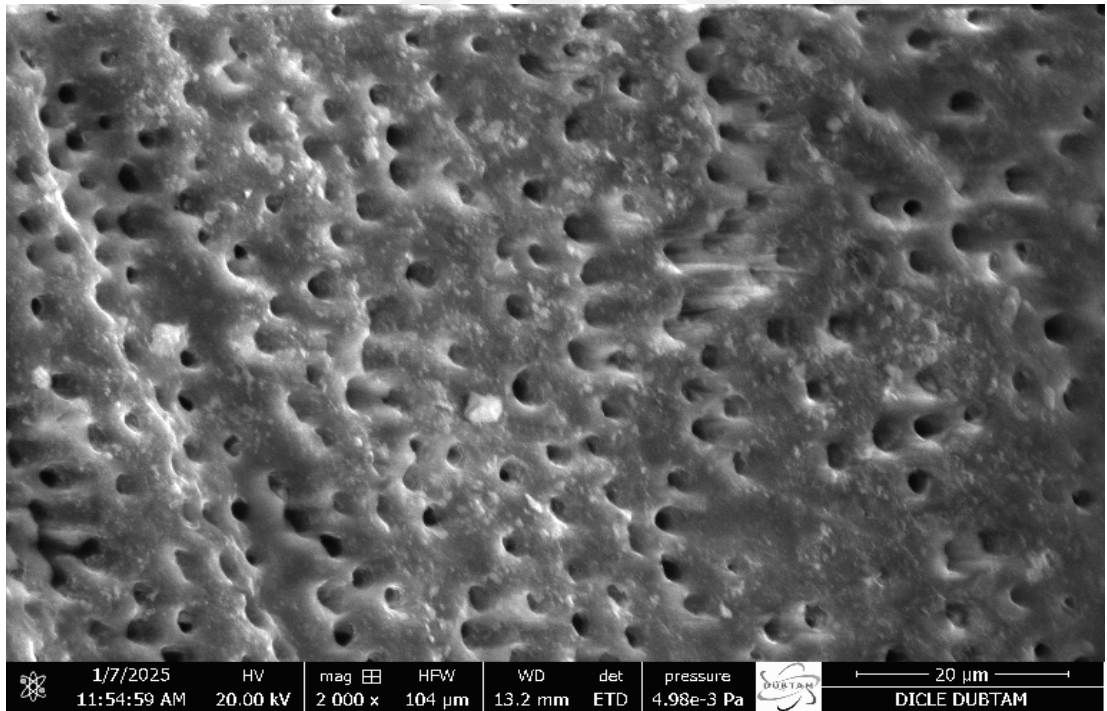
Grup 2: Aktivasyon yöntemi olarak PUI'nin plastik ucu kullanılarak 60 sn 5 ml %5'lik NaOCl ve 30 sn 3 ml %17' lik EDTA solüsyonu uygulandı. Örneklerin SEM görüntüsü incelendiğinde koronal bölgede dentin tübüllerinin tamamen açık olduğu ve smear tabakasının gözlenmediği durum (skor 1), (Resim 4.4), orta bölgede dentin tübüllerinin tamamen açık olduğu ve smear tabakasının gözlenmediği durum (skor 1), (Resim 4.5), apikal bölgede çoğu dentin tübülünün açık olduğu, az miktarda smear tabakası bulunduğu durum (skor 2), (Resim 4.6).



Resim 4.4. Grup 2 koronal bölge SEM görüntüsü.



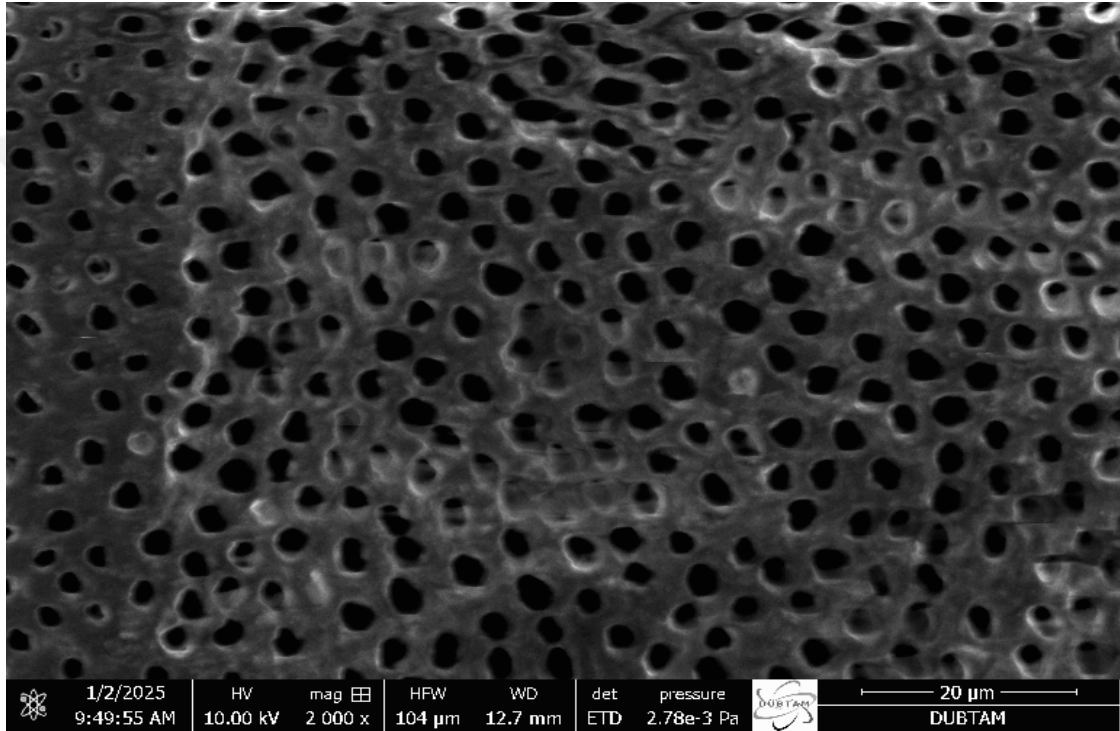
Resim 4.5. Grup 2 orta bölge SEM görüntüsü.



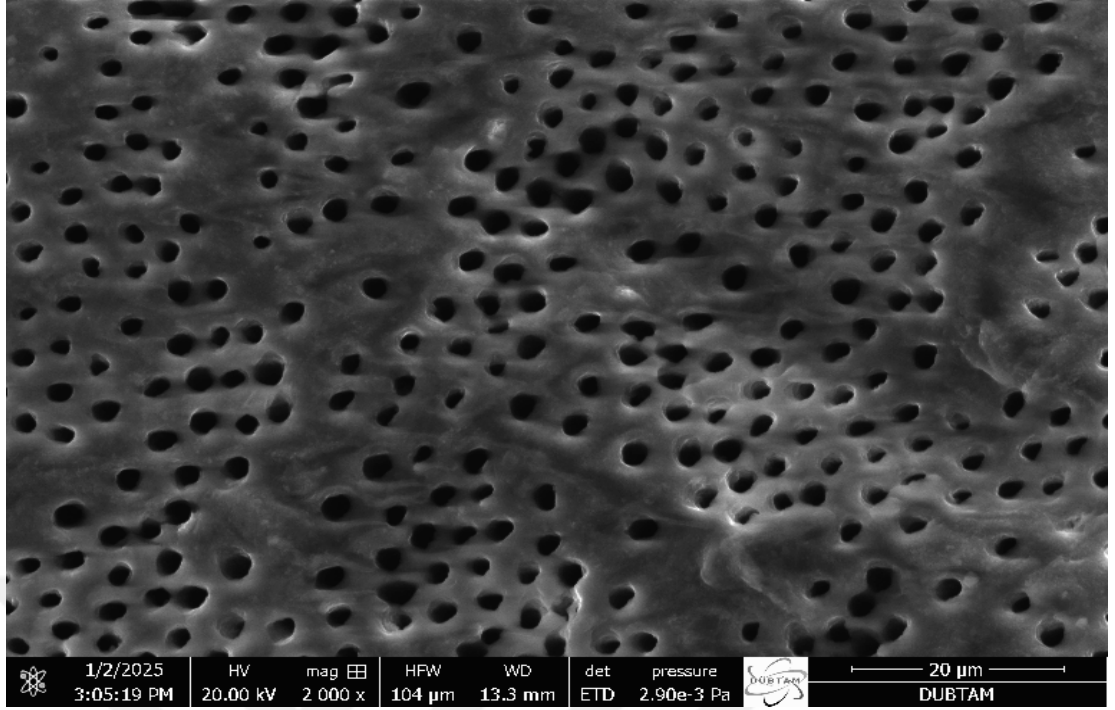
Resim 4.6. Grup 2 apikal bölge SEM görüntüsü.

Grup 3: Aktivasyon yöntemi olarak PUI'nin metal ucu kullanılarak 60 sn 5 ml %5'lik NaOCl ve 30 sn 3 ml %17' lik EDTA solüsyonu uygulandı. Örneklerin SEM görüntüsü

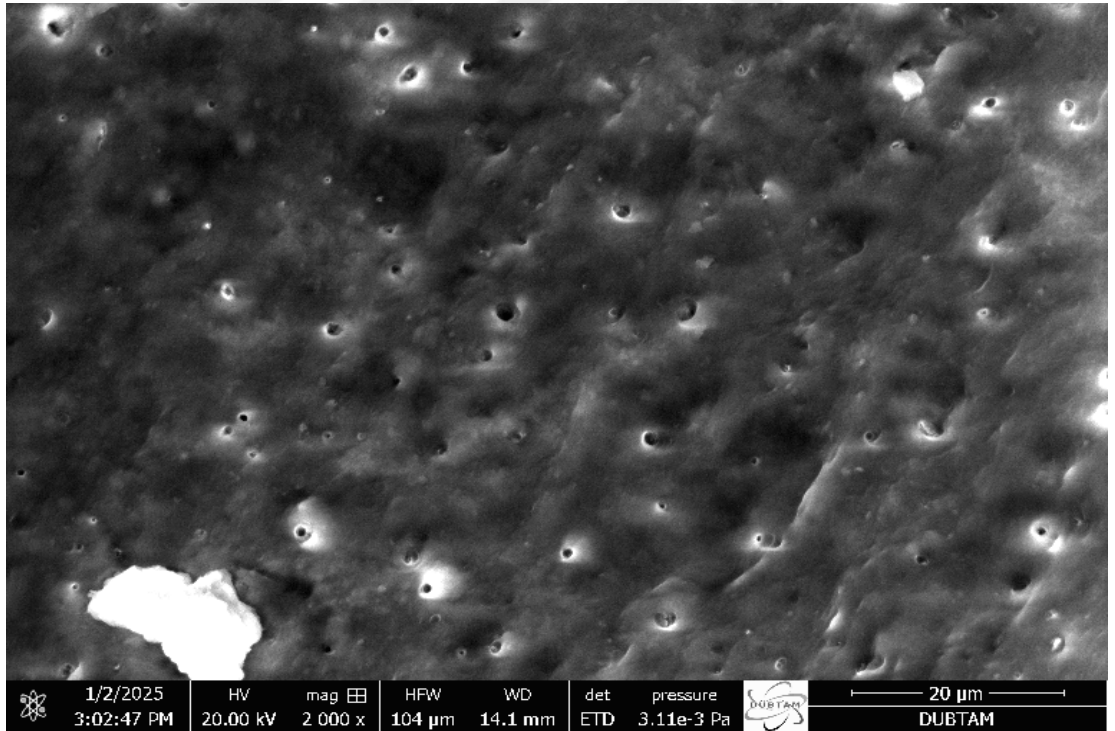
incelendiğinde koronal bölgede dentin tübüllerinin tamamen açık olduğu ve smear tabakasının gözlenmediği durum (skor 1), (Resim 4.7), orta bölgede dentin tübüllerinin tamamen açık olduğu ve smear tabakasının gözlenmediği durum (skor 1), (Resim 4.8), apikal bölgede az sayıda dentin tübülünün açık olduğu ve kök kanal duvarının neredeyse tamamını kaplayan düzenli bir smear tabakasının varlığı (skor 3), (Resim 4.9).



Resim 4.7. Grup 3 koronal bölge SEM görüntüsü.



Resim 4.8. Grup 3 orta bölge SEM görüntüsü.



Resim 4.9. Grup 3 apikal bölge SEM görüntüsü.

4.2 İstatistiksel Değerlendirme

Klinisyen 1'in apikal, orta ve koronal bölgelerde yaptığı smear ölçüm ortalamaları sırasıyla $3,07 \pm 1,31$, $1,72 \pm 1,01$ ve $1,70 \pm 1,03$ olarak bulundu. Klinisyen 2'nin apikal, orta ve koronal bölgelerde yaptığı smear ölçüm ortalamaları ise sırasıyla $3,05 \pm 1,40$, $2,00 \pm 0,88$ ve $1,85 \pm 0,86$ olarak bulundu (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Klinisyenlerin yaptığı smear skorlamalarına ait genel tanımlayıcılar.

	Değişkenler	Klinisyen 1	Klinisyen 2
Apikal	Ort.±SS	$3,07 \pm 1,31$	$3,05 \pm 1,40$
	Ortanca (Min-Maks)	3,00 (1,00-5,00)	3,50 (1,00-5,00)
Orta	Ort.±SS	$1,72 \pm 1,01$	$2,00 \pm 0,88$
	Ortanca (Min-Maks)	1,00 (1,00-5,00)	2,00 (1,00-4,00)
Koronal	Ort.±SS	$1,70 \pm 1,03$	$1,85 \pm 0,86$
	Ortanca (Min-Maks)	1,00 (1,00-5,00)	2,00 (1,00-4,00)

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum

Geleneksel şırınga irrigasyonu, plastik uç ve metal uç ile aktivasyon yapılan dişlerde apikal, orta ve koronal bölgede klinisyen 1 ve klinisyen 2 arasındaki uyuma ait Cronbach α katsayıları Tablo 4.2'de sunulmuştur. Tüm dişlerde klinisyen 1 ve klinisyen 2 arasındaki uyuma ait skorlar Tablo 4.3' de sunulmuştur.

Tablo 4.2. GŞİ, plastik uç ve metal uç ile aktivasyon yapılan dişlerde klinisyen 1 ve klinisyen 2 arasındaki uyuma ait skorlar.

GŞİ	Cronbach α Katsayısı	Sınıflama
Apikal	0,421	Düşük Uyum
Orta	0,817	Yüksek Uyum
Koronal	0,799	Oldukça Yüksek Uyum
Plastik Uç	Cronbach α Katsayısı	Sınıflama
Apikal	0,749	Oldukça Yüksek Uyum
Orta	0,379	Düşük Uyum
Koronal	0,637	Oldukça Yüksek Uyum
Metal Uç	Cronbach α Katsayısı	Sınıflama
Apikal	0,861	Yüksek Uyum
Orta	0,216	Düşük Uyum
Koronal	0,385	Düşük Uyum

GŞİ: Geleneksel şırınga irrigasyonu

Tablo 4.3. Tüm dişlerde klinisyen 1 ve klinisyen 2 arasındaki uyuma ait skorlar.

Tüm Dişler	Cronbach α Katsayısı	Sınıflama
Apikal	0,934	Yüksek Uyum
Orta	0,808	Yüksek Uyum
Koronal	0,838	Yüksek Uyum

Tablo 4.4'te klinisyen 2'nin apikal, orta ve koronal bölgelerde yaptığı smear ölçümleri için irrigasyon yöntemleri arasındaki farklara bakıldı ve üç bölge için de irrigasyon yöntemleri bakımından anlamlı fark bulundu ($p<0,05$).

Apikal bölgede GŞİ'e ait smear ölçüm ortalaması $4,15\pm0,59$ iken bu ortalama plastik uçta $1,35\pm0,49$ ve metal uçta $3,65\pm0,88$ olarak bulundu (şekil 4.1). Üç yöntem arasındaki farkın hangi ikili karşılaştırmalardan kaynaklandığına bakıldığında ise

plastik uç-GŞİ ve plastik uç-metal uç arasındaki farklar anlamlı bulundu (sırasıyla $p<0,001$ ve $p<0,001$). Metal uç-GŞİ arasında anlamlı fark bulunmadı ($p>0,001$). Plastik uç, apikal bölgede smear tabakasının uzaklaştırılmasında hem metal uçtan hem de GŞİ'den daha üstün performans sergiledi.

Orta bölgede smear ölçümüne ait en yüksek ortalama GŞİ' de bulunurken en düşük ortalama ise metal uçta bulundu (şekil 4.2). Üç yöntem arasındaki farkın hangi ikili karşılaştırmalardan kaynaklandığına bakıldığında ise plastik uç-GŞİ ve metal uç-GŞİ yöntemleri arasındaki farklar anlamlı bulundu (sırasıyla $p<0,001$ ve $p<0,001$). Plastik uç-metal uç arasında fark bulunmadı ($p>0,001$). Orta bölgede, hem plastik hem de metal uçlar, smear tabakasının uzaklaştırılmasında GŞİ'ye kıyasla daha yüksek temizlik etkinliği gösterdi.

Koronal bölgede GŞİ'ye ait smear ölçüm ortalaması $2,70\pm0,80$ iken bu ortalama plastik uçta $1,40\pm0,50$ ve metal uçta $1,45\pm0,51$ olarak bulundu (şekil 4.3). Üç yöntem arasındaki farkın hangi ikili karşılaştırmalardan kaynaklandığına bakıldığında ise plastik uç-GŞİ ve metal uç-GŞİ yöntemleri arasındaki farklar anlamlı bulundu (sırasıyla $p<0,001$ ve $p<0,001$). Plastik uç-metal uç arasında anlamlı fark bulunmadı ($p>0,001$). Koronal bölgede, gerek plastik gerekse metal uçlar, smear tabakasının eliminasyonunda GŞİ'ye göre daha etkili bir temizleme kapasitesi ortaya koydu.

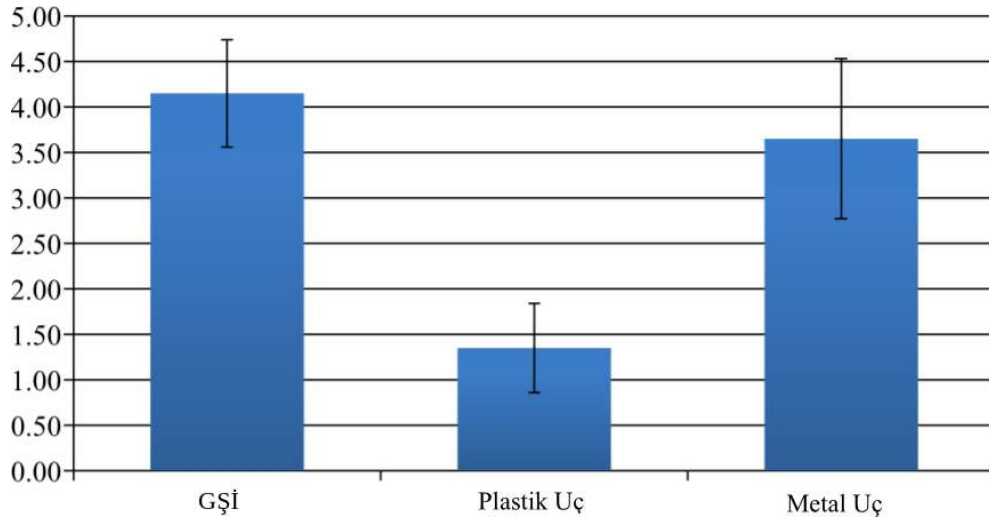
Tablo 4.4. Gruplar arasında değişkenlere ait karşılaştırmalar.

Değişkenler		GŞİ	Plastik Uç	Metal Uç	p
Apikal	Ort.±SS	4,15±0,59 ^x	1,35±0,49 ^y	3,65±0,88 ^x	<0,001 ^a
	Ortanca	4	1	4	
	(Min-Maks)	(3,00-5,00)	(1,00-2,00)	(2,00-5,00)	
Orta	Ort.±SS	2,90±0,79 ^y	1,75±0,44 ^x	1,35±0,49 ^x	<0,001 ^a
	Ortanca	3	2	1	
	(Min-Maks)	(2,00-4,00)	(1,00-2,00)	(1,00-2,00)	
Koronal	Ort.±SS	2,70±0,80 ^y	1,40±0,50 ^x	1,45±0,51 ^x	<0,001 ^a
	Ortanca	3	1	1	
	(Min-Maks)	(1,00-4,00)	(1,00-2,00)	(1,00-2,00)	

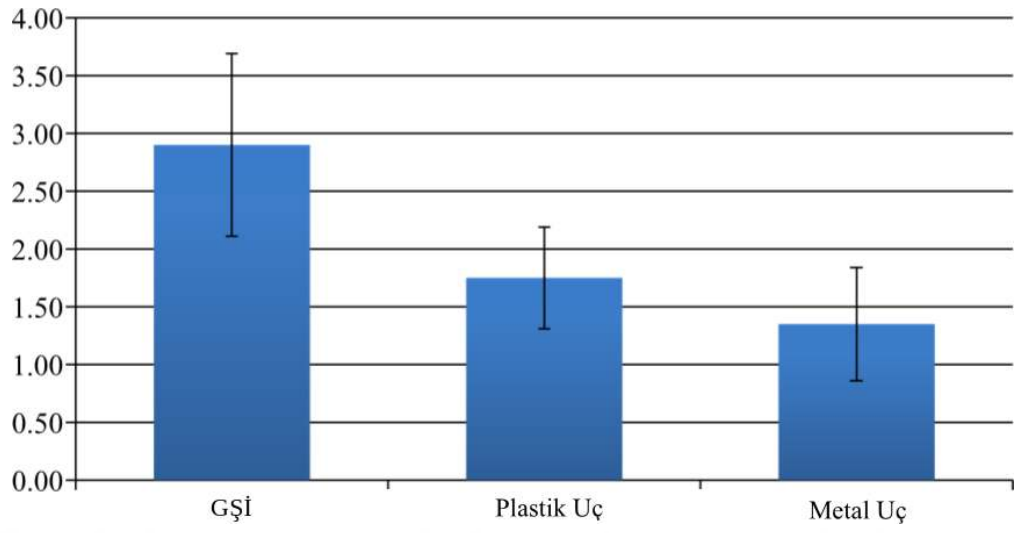
Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum, a: Kruskal Wallis H testi

GŞİ: Geleneksel şırınga irrigasyon

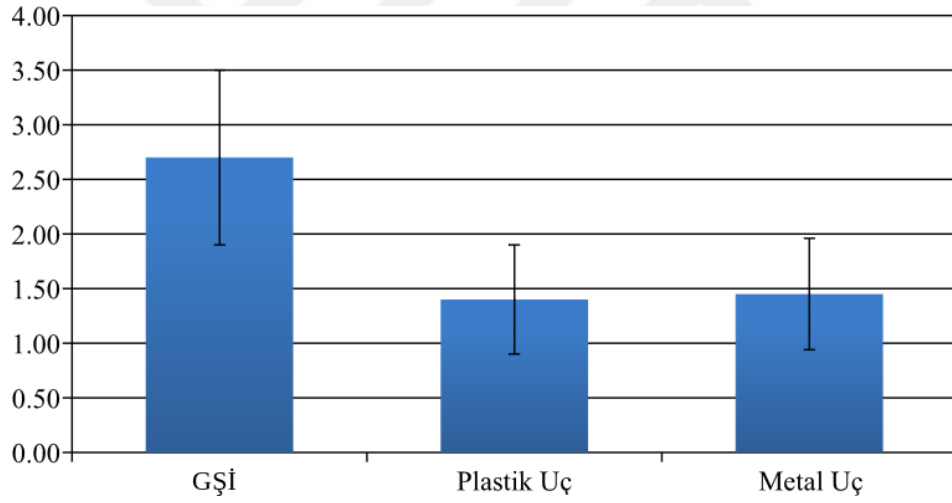
x-y: Aynı üst simge harfleri anlamlı fark olduğunu yoktur. (p>0,001).



Şekil 4.1. Apikal için irrigasyon yöntemlerine ait karşılaştırmalar.



Şekil 4.2. Orta üçlü için irrigasyon yöntemlerine ait karşılaştırmalar.



Şekil 4.3. Koronal üçlü için irrigasyon yöntemlerine ait karşılaştırmalar

5. TARTIŞMA

Endodontik tedavinin amacı öncelikle kök kanal boşluğunun kemo-mekanik olarak hazırlanıp, kanal boyunca biyouyumlu bir materyalin yerleştirilmesini sağlamaktır. Bunu yaparken, mikro organizmalar ve organik maddeler ve bakteriyel büyümeyi devam ettiren maddeler uzaklaştırılır. Böylece periradiküler dokuların sağlığı korunur veya geri kazanılır (1).

Türk popülasyonunda insan daimi dişlerinin kök kanal morfolojisini araştıran Çalışkan ve ark., (142) maksiller ikinci premolar diş ile birinci ve ikinci molar dişlerin meziobukkal köklerinde en fazla varyasyon olduğunu ve mandibular premolar diş hariç mandibular dişlerin tümünde kök kanalı anatomilerinde varyasyon olduğunu bildirdiler. Kök eğimi bulunmayan tek kanala sahip mandibular premolar dişlerin çalışmamızda tercih edilmesinin sebebi hem çalışmayı standardize etmek hem de SEM görüntülenmesinde daha düzgün görüntüler elde etmek içindir.

Sterilizasyon, çekilmiş dişlerde çapraz enfeksiyonun önlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Genel olarak sterilizasyon yöntemleri fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır (143). Kimyasal sterilizasyon, düşük maliyet ve kolay erişim nedeniyle sıkça tercih edilir. Formalin, etilen oksit, sodyum hipoklorit, timol ve alkol gibi ajanlar yaygın olarak kullanılır (144).

Sterilizasyonun yanı sıra, çekilmiş dişlerin biyolojik bütünlüğünü korumak için uygun saklama koşulları sağlanmalıdır (145). Genellikle en yaygın olarak bildirilen saklama solüsyonları arasında normal salin, distile su ve timol solüsyonu yer almaktadır (146). Çalışmamızda dişler sterilizasyon amacıyla önce %5'lik NaOCl içerisinde daha sonra oda sıcaklığında distile su içinde bekletildi.

Andreani ve ark., farklı aktivasyon yöntemlerini kıyasladıkları çalışmada, dişlerin dekoronale edilip yalnızca köklerin enstrümente edilmesinin irrigasyon sıvısı rezervuarını ortadan kaldıracabileceğini belirtmiş, ancak bunu destekleyen bir referansa rastlamadıklarını ifade etmişlerdir. Yine de bu tekniğin, prosedürün daha iyi

standartlaştırılmasına katkı sağladığını vurgulamışlardır. (147). Çalışmamızda tüm deney gruplarındaki dişlerin kuron ve kök uzunlukları, 15 mm'lik bir ölçüye ulaşacak şekilde dijital kumpasla ölçülüp, dişlerin kuron kısımları elmas frezler kullanılarak su soğutması altında düzgün bir şekilde çıkarıldı. Çalışmanın sonucunu etkileyebilecek boyutsal farklılıkların ortadan kaldırılmasını amaçladı.

El ve döner aletlerle enstrümantasyon sırasında mineralize dokular parçalanmaz; bunun yerine koagüle proteinler, pulpa dokusu, odontoblastik uzantılar, tükürük, kan hücreleri ve mikroorganizmalardan oluşan smear tabakası oluşur (148). Eick ve ark. (12) SEM ile smear tabakasını tanımlayarak 0,5–15 µm boyutlarında parçacıklardan oluştuğunu gösterdi. Brännström ve Johnson ise smear tabakasının 2–5 µm kalınlığında ince bir tabaka olduğunu keşfetti (149). Smear tabakası, kanal duvarlarını kaplayarak ilaç penetrasyonunu engelleyebilir ve dolgu materyalleriyle duvarlar arasındaki uyumu azaltarak sızıntıya yol açabilir. Bu nedenle smear tabakasının uzaklaştırılması, daha etkili dezenfeksiyon ve daha iyi dolgu uyumu sağlar (150). Smear tabakasının uzaklaştırılmasında kimyasal ajanlar, mekanik teknikler ve lazer tabanlı sistemler gibi çeşitli yöntemler etkili bir şekilde kullanılabilir (22).

Kök kanalını dezenfekte etmek için kullanılan sıvılara irrigant denir. İdeal bir irrigant; antibakteriyel, doku çözücü, smear uzaklaştırıcı, düşük yüzey gerilimi ve viskoziteye sahip, biyouyumlu, lubrikan etkili ve toksik olmayan özellikler taşımalıdır. Ancak hiçbir irrigant tüm bu özellikleri tek başına karşılayamaz (26).

NaOCl, %0,5 ile %8,25 arasında değişen konsantrasyonlarda, hem antimikrobiyal aktivite hem de pulpa dokusu çözünme kapasitesine sahip olması nedeniyle ideale en yakın endodontik irrigasyon maddesidir (151).

NaOCl' nin optimum konsantrasyonu konusunda fikir birliği yoktur (152). Yamada ve ark., %1–5,25 NaOCl'nin bakterisidal etkisi ve organik doku ile smear tabakasını çözme yeteneği nedeniyle yaygın kullanıldığını belirtti (153). Grossman ve Meiman, %5 NaOCl'nin organik dokuyu 20 dakika–2 saat içinde çözdüğünü bildirdi (154).

Mountouris ve ark. ise %5 NaOCl'nin, asitle aşındırılmış ve smear kaplı dentin yüzeylerinde organik matriksi azalttığını göstermiştir (155).

Roças ve ark., bakterilerin sayısının yeteri kadar azalması için kanal başına 15 mL NaOCl'nin kullanılmasını önerdi (156). Çalışmamızda enstrümantasyon sırasında toplamda 15 mL %5'lik NaOCl solüsyon hacmi ile irrigasyon yapıldı.

NaOCl yalnızca organik dokuyu çözdüğü için, smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla EDTA, CA ve HEDP gibi inorganik bileşenlere etkili şelasyon ajanlarıyla birlikte kullanılması gerekir. Bu şelatörler kalsiyum şelasyonu yoluyla yüzey dekalsifikasyonu sağlar ve kök kanal tedavisinde yardımcı solüsyon olarak önerilir. (157). Önerilen ilk EDTA solüsyonunun konsantrasyonu %15 ve pH'ı 7,3 idi (158).

Calt ve Serper'in yaptığı çalışmada, %17 konsantrasyonundaki EDTA solüsyonu ile 1 dakikalık 10 mL irrigasyon uygulamasının, smear tabakasının kanal duvarlarından etkin biçimde uzaklaştırılabildiği ortaya konmuştur. Ayrıca araştırmacılar, EDTA'nın %17'ye çıkarılan konsantrasyonu ve pH değerinin 9'a ayarlanması durumunda, dentin yüzeyindeki demineralizasyon süresinin belirgin şekilde arttığını gözlemlemişlerdir. (159). Saito ve ark., yaptıkları çalışmada 1 dakikalık EDTA irrigasyonu yapılan grubun, 30 veya 15 saniye EDTA irrigasyonu yapılan gruplara göre smear tabakasını önemli ölçüde daha fazla uzaklaştırdığını rapor ettiler (160). Çalışmamızda %17'lik EDTA tercih edildi.

Final irrigasyon, kanal preparasyonu ve irrigasyon sonrası yapılan son temizlik aşamasıdır (161). Bu adım, kalan smear tabakası, bakteriler ve atıkları daha etkili şekilde uzaklaştırır. NaOCl ile irrigasyonun ardından EDTA kullanımı, smear tabakasını temizlemede "altın standart" olarak kabul edilir (162).

Zehnde ve ark., NaOCl ve EDTA ile dönüşümlü irrigasyonda; çözeltinin reaksiyona girip, serbest halde bulunan kloru hızlı bir şekilde yok ettiğini, dönüşümlü irrigasyonun kontraendike olduğunu söylediler (163). Bu sebepten ötürü çalışmamızda

kullandığımız %5'lik NaOCl ve %17'lik EDTA solüsyonlarıyla irrigasyonda ara solüsyon olarak distile su kullanılmıştır.

Kanal şekillendirme ve dolumda çalışma boyu belirlenmesi uzun süredir tartışmalıdır. Wu ve ark., (164) vital dişlerde 2–3 mm, enfekte dişlerde 0–2 mm geride şekillendirme önermiştir. Souza (165) ise periapikal lezyonlu dişlerde apeksin 1–2 mm gerisinde sonlandırılmasını savunur. Ayrıca, irritasyonu önlemek için dolumun apeksin 1 mm gerisinde bitirilmesini öneren çalışmalar da vardır (166). Bu doğrultuda, çalışmamızda şekillendirme apeksin 1 mm gerisinde tamamlanmıştır.

Salzgeber ve Brilliant (167), apikal bölgeye irrigasyon solüsyonlarının etkili bir şekilde ulaşabilmesi için gerekli olan minimum preparasyon boyutunun en az #40 olduğunu belirttiler. Júnior ve ark. (168)'nin mikrobilgisayarlı tomografi çalışmasında, kök kanallarının Reciproc R40 eğiyle genişletilmesinin apikal bölgede yeterli şekillendirme sağladığı, ancak dentin kalınlığını riske atacak ölçüde azaltmadığını göstermiştir. Çalışmamızda apikal bölgede daha etkili bir irrigasyon sağlamak ve irrigantların etkinliğini artırmak için dişler R40 boyutuna kadar genişletilmiştir.

Tay ve ark. (169), dişlerin apikal bölgesini mum, silikon ölçü maddesi, sıcak silikon, yapıştırıcı gibi materyallerle kapatarak ve açık olarak iki farklı gruba ayırıp çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda açık ve kapalı yöntemde smear tabakası uzaklaştırması üzerine bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaştılar. Çalışmamızda smear tabakasının uzaklaştırılmasını karşılaştırdığımız için kök ucunu herhangi bir maddeyle kapatmadan açık yöntemle çalışmamızı yaptık.

İngiliz Endodonti Derneği'nin 2022 rehberine göre, endodontik tedavinin amacı, kök kanal sistemindeki mikroorganizmaları yok etmek ve yeniden enfeksiyonu önlemektir. Irrigasyon; antibakteriyel etki, doku çözünmesi, enstrümantasyon sırasında dentin ile alet arasındaki sürtünmeyi azaltma, eğe verimliliğini artırma, ısı regülasyonu ve debris uzaklaştırmada önemli rol oynar. Mekanik enstrümantasyonun ulaşamadığı alanlara irrigasyonla erişilir ve irrigantların aktivasyonu önerilen bir uygulamadır (170). Kanalların temizlenmesi için hangi aktivasyon tekniğinin daha etkili olduğu

konusunda bir tartışma vardır, ancak tüm aktivasyon tekniklerinin tek başına GŞİ' ye kıyasla daha etkili olduğu konusunda yaygın bir fikir birliği vardır (171).

Jiang ve ark. (172), gerçekleştirdikleri araştırmalarında irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu ile akış dinamiğinin iyileştirildiğini ve bunun sonucunda kök kanal sistemindeki mekanik temizleme etkinliğinin belirgin şekilde arttığını bildirdi.

İki tip ultrasonik irrigasyon sistemi vardır. İlk tipi, ultrasonik irrigasyon ile enstrümantasyonun aynı anda yapılması ile gerçekleştirilir. İkinci tip ise PUI olarak adlandırılır ve bu sistem, enstrümantasyon olmadan, yalnızca irrigasyon işlemi yapar (118). Retsas ve Boutsoukis (173), PUI' nin 30 kHz'deki salınımlı hareketleri, akustik akış oluşturduğunu bu sayede ana kanaldaki irrigantın hareketlendiğini, bu hareketin irrigantı kök kanal sisteminin daha uzak ve erişilmesi güç bölgelerine taşıdığını, ayrıca duvar kayma gerilimini (Wall shear) artırarak mekanik temizlik etkinliğini olumlu yönde etkilediğini rapor etmişlerdir.

PUI ile smear tabakasının çıkarılmasına ilişkin çalışmalarda Cameron (174), %3 NaOCl kullanıldığında 3 ve 5 dakikalık PUI ile smear tabakasının tamamen çıkarıldığını rapor etmiştir. Alaçam (175), %5 NaOCl ile 3 dakikalık PUI' den sonra smear tabakasını tamamen çıkarıldığını belirtmiştir. Huque ve ark. (176), %12 NaOCl ile 20 saniye PUI'den sonra smear tabakasını tamamen kaldırmıştır. Türkün ve Cengiz (177), 3 dakikalık PUI sırasında %5 NaOCl solüsyonu, kök kanalının apikal ve orta kısmından %0,5 NaOCl'den daha fazla smear tabakasını kaldıracabileceğini bulmuşlardır. Van der Sluis ve ark. (83), PUI sırasında NaOCl ile aktivasyon yapıldığında kök kanalından smear tabakasının, pulpa dokusunun ve bakterilerin daha iyi uzaklaştırıldığını raporladı. Gerisoli ve ark. (178), PUI altında kullanılan EDTAC ile birlikte NaOCl, smear tabakasını kök kanal duvarlarından etkili bir şekilde uzaklaştırırken, yalnızca distile su veya tek başına NaOCl ile yapılan irrigasyonun smear tabakasını çıkarmada etkili olmadığı göstermiştir. Castro ve ark. (179), %2.5 NaOCl ve %17 EDTA kombinasyonu ile PUI uygulanan gruplarda, yalnızca %2.5 NaOCl ile PUI uygulanan gruba kıyasla smear tabakasının uzaklaştırılmasında daha

yüksek etkinlik gözlemlenmiştir. Çalışmamızda hem NaOCl' ye hem de EDTA' ya PUI uygulanmıştır.

Malki ve ark. (180), ultrasonik uçların kanala yerleştirilme derinliğinin etkinliğini incelemiş ve apekten 1–2 mm geride konumlandırmanın, 3–5 mm'ye kıyasla daha etkili olduğunu göstermiştir. Retsas ve Boutsoukis (173), aktivasyonun kimyasal-mekanik hazırlık sonrası yapılması gerektiğini ve PUI' de uçların 1–2 mm geride konumlandırılabilmesi için minimum apikal genişliğin 30–35 olması gerektiğini belirtmiştir. Çalışmamızda kanal preparasyonunu döner eğelerle reciproc R40'a kadar tamamlanmış olup, sadece final irrigasyon aşamasında hem plastik uça hem de metal uça apikalden 1-2 mm kısa olacak şekilde aktivasyon işlemi uygulanmıştır.

Căpută ve ark. (181), kısa süreler için aralıklı aktivasyon ve arada bir şırınga ile taze irrigasyon verilmesi, sürekli aktivasyondan daha yaygın olarak kullanılıyor gibi görüldüğünü belirtti. Aralıklı aktivasyon için popüler bir protokol 20 saniyelik 3 periyottur, ancak daha kısa protokoller de kullanıldığı bildirildi (3×10 saniye). Salınımın tekrar tekrar başlatılması, aynı zaman dilimi için kesintisiz aktivasyona kıyasla temizleme etkinliğini ve muhtemelen biyofilm giderimini artırır (182). Çalışmamızda, her dişe eşit irrigasyon sağlamak için sürekli yerine aralıklı irrigasyon tekniği kullanılmış ve tüm gruplarda irrigasyon hacmi sabit tutulmuştur. Solüsyonlar oda sıcaklığında ve eşit miktarda uygulanmıştır. %17'lik EDTA, 3 mL toplamda 3 periyotta (her biri 1 mL, 10 saniye uygulama + 10 saniye dinlenme); %5,25'lik NaOCl ise 5 mL toplamda 3 periyotta (2-2-1 mL, 20 saniye uygulama + 10 saniye dinlenme) ile aktive edilerek uygulama süresi ve hacmi standartlaştırılmıştır.

Smear tabakasını incelemede SEM, güvenilir ve yaygın kullanılan bir yöntemdir (183). Dentin tübüllerinin açıklığı ve smear kalıntıları detaylı analiz edilebilir. Değerlendirmede 3'lü, 4'lü ve 5'li skorlama sistemleri kullanılır (184). Ancak SEM'in dezavantajı, kanalın yalnızca küçük ve genellikle standartlaştırılmamış bir bölümünü değerlendirmesidir (122). Çalışmamızda kök kanal duvarlarının koronal, orta ve apikal bölgeleri, 2000× büyütme oranında detaylı bir şekilde incelenmiş ve Hülsman ve arkadaşlarının geliştirdiği 5'li skorlama sistemi temel alınarak değerlendirilmiştir

(141). Bu sistem, smear tabakasının uzaklaştırılma düzeyini ve dentin yüzeylerinin temizliğini yüksek bir hassasiyetle ölçme imkânı sağlamaktadır.

Çalışmamızın birinci sıfır hipotezi “Kanalın apikal, orta ve koronal bölgesinden bağımsız olarak ultrasonik aktivasyonun metal ve plastik uçlarının smear tabakası uzaklaştırma etkinliği arasında fark yoktur” şeklinde belirlenmişti. Ancak elde edilen bulgular doğrultusunda, gruplar kendi içinde değerlendirildiğinde apikal bölgede plastik ucun smear tabakasının uzaklaştırılma etkinliğinin metal uca kıyasla daha yüksek olduğu tespit edildi. Bu sonuç, ultrasonik aktivasyon uçlarının smear tabakası temizleme etkinliğinin kanal bölgesine bağlı olarak değiştiğini göstermekte ve çalışmamızın birinci sıfır hipotezinin reddedilmesini gerektirmektedir. Çalışmamızın ikinci sıfır hipotezi “Ultrasonik aktivasyonun metal ve plastik uçlarından bağımsız olarak kök kanalının apikal, orta ve koronal bölgesinde smear tabakası uzaklaştırma etkinliği bakımından fark yoktur.” şeklinde belirlenmişti. Çalışmamızın bulguları doğrultusunda, gruplar kendi içerisinde değerlendirildiğinde apikal bölgede smear tabakasının uzaklaştırılma etkinliğinin daha düşük olduğu belirlendi. Bu durum, ikinci sıfır hipotezimizin geçersiz olduğunu göstermekte ve hipotezin reddedilmesini gerektirmektedir.

Andreani ve ark. (147) tarafından özetlendiği gibi, koronal ve orta bölgeler gibi kanalların daha geniş, daha erişilebilir bölgelerinde smear çıkarmanın daha fazla etkisini görmeyi bekleyebiliriz; kanalların en dar, apikal bölgelerinde ise daha az etki görülür. Kanal çaplarının orta ve koronal bölgelerde daha geniş olması, irrigasyon solüsyonlarının bu bölgelere daha kolay temas etmesi ve irrigasyon sırasında yeterli hacimde solüsyonun apikal bölgeye ulaşamaması gibi faktörlerin, farklı bölgelerdeki smear tabakası uzaklaştırma etkinliğine etki eder. Çalışmamızda elde edilen bulgular, bu araştırmaların sonuçlarıyla uyumlu bir paralellik sergilemektedir. Her grupta koronal ve orta üçlü bölgesi, kendi apikal bölgesinden ve diğer grupların apikal bölgelerinden daha temizdi. Özellikle apikal bölgedeki sınırlı irrigasyon etkinliği, bu bölgedeki smear tabakasının uzaklaştırılmasında gözlemlenen zorlukların temel nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

GŞİ, kök kanal düzensizliklerinden smear tabakasını yetersiz şekilde uzaklaştırabilir (82). Kök kanal temizliğinin PUI ile yapılan aktivasyonu genellikle GŞİ' den daha etkili smear uzaklaştırma sağlar (122). Sung ve ark. (185), yaptıkları bir çalışmada PUI' nin polimer ucu GŞİ' ye göre daha yüksek kök kanalı temizleme etkinliği göstermiştir. Çalışmamızda, plastik uç tüm bölgelerde smear tabakasının uzaklaştırılmasında GŞİ' ye kıyasla daha etkili olduğu görüldü.

Howard, Klyn ve Schmidt'in çalışmaları (186-188), GŞİ ile PUI' nin smear tabakası uzaklaştırmada benzer etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Gonçalves ve ark. (189), tarafından yakın zamanda gerçekleştirilen bir çalışmada, çalışma uzunluğundan farklı mesafelerde smear tabakasının uzaklaştırılması açısından çeşitli aktivasyon teknikleri ile GŞİ' yi karşılaştırdılar. Çalışmanın bulgularına göre, çalışma uzunluğunun 1, 5 ve 8 mm ötesinde, PUI ile GŞİ arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı. Çalışmamızda bu çalışmalara benzer olarak ikili karşılaştırmada; apikalde GŞİ ile metal uç arasında anlamlı fark bulunmadı. Metal ucun kanal duvarlarına teması, uç hareketini kısıtlayarak ultrasonik enerjinin etkisini azaltmakta ve irrigant aktivasyonunun etkinliğini düşürmektedir. Ayrıca, bu temas sırasında küçük miktarlarda dentin kontrolsüz bir şekilde uzaklaştırılabilir, bu da istenmeyen yeni bir smear tabakası oluşumuna neden olabilir. Dolayısıyla, irrigasyon süreci sırasında kanal duvarlarıyla temas eden ultrasonik uçlar, smear tabakasının yeniden oluşumuna ve debris birikimine katkıda bulunabilir (190).

Wigler ve ark. (191), farklı irrigant aktivasyon sistemlerinin debris ve smear tabakasının giderilmesindeki etkinliğini değerlendirdiler. Aktivasyon sistemi olarak, EDDY Sİ (polimer uç (#0.25, taper 0.06)), endosonic PS PSİ (polimer uç (#0.25, taper 0.03)), Irrisafe PSİ (paslanmaz çelik uç #0.25, taper 0.00)) kullanıldı. Koronal ve orta üçlü segmentlerinde gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmazken kanalların apikal üçte birlik kısmındaki smear tabakasının uzaklaştırılmasında, Irrisafe (paslanmaz çelik uç) aktivasyonunun, GŞİ' den daha etkili olduğu sonucuna varıldı. Endosonik (polimer uç) aktivasyon ile GŞİ arasında apikal bölgede anlamlı fark bulunmadı. Bizim çalışmamızda smear tabakasının uzaklaştırılmasında koronal ve orta bölgede plastik ve metal uç, GŞİ' den daha etkili bulundu. Apikal bölgede ise plastik uç hem metal uç

hem de GŞİ'den daha etkin bir temizlik sağladı. Muhtemeldir ki final irrigasyonda NaOCl ile beraber şelatlayıcı ajan (%17' lik EDTA) kullanıp 30 saniye aktive edilmiş olması, önceki çalışmada kullanılan metal ve polimer ucun farklı PUİ cihazına ait olması, bizim çalışmamızda ise hem metal hem de plastik ucun aynı ultrasonik cihazla kullanılmasına bağlı minimum frekans farklılıklarından oluşabilecek titreşimler sonuçları etkilemiş olabilir. Ayrıca kullanılan uçların taper açılarına bakıldığında çalışmadaki polimer ucun çapı paslanmaz çelik uçtan daha fazlaydı. Çalışmamızda ise polimer ucun çapı paslanmaz çelik uçtan daha düşüktü. Apikal gibi ulaşımı zor ve dar bölgelerde küçük çaplı uçların daha rahat hareket alanı bularak titreşim ve salınımı daha etkili yaptığı kanaatindeyiz.

Polimer bazlı uçların kullanımı, invaziv ve kesici olmayan daha kontrollü bir temizleme sağlar. Bununla beraber yüksek polimer uç esnekliği ve şekil adaptasyonu, irrigasyon sürecinde kök kanal eğriliğine uyum sağlayarak, daha etkili ve güvenli bir temizlik imkânı sunar (192). Mathew ve ark., apikal bölgede metal uçlarla (XPF, PUİ) yapılan irrigasyon sonrası smear tabakası oluştuğunu, metal olmayan uçlarla (MDA, EA) ise oluşmadığını bildirmiştir. Tüm protokollerde dentin erozyonu gözlenmiş, polimer veya gutta-perka uçlarla aktivasyonun smear oluşumunu önleyebileceği belirtilmiştir (193).

Ultrasonik aktivasyonda metal uçlar dentin hasarına ve mikro çatlaklara neden olabilirken, polimer uçlar bu riski azaltır (192). Bu nedenle, yeni irrigasyon uçlarının üretimi için iki polimer, polieter eter ketonlar (PEEK) ve poliamid (PA6) tanımlanmıştır. PA6, aside ve bazlara karşı düşük direnç gösterirken, PEEK tıpta daha dayanıklı bir biyopolimer olarak öne çıkar. PEEK; kaplamalar, implantlar, osteosentez plakaları ve spinal cihazlar gibi birçok medikal uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. EDDY (EDDY; VDW GbmH, Münih, Almanya) ve diğer Sİ uçları, biyoyumlu, yüksek esnekliğe sahip bir termoplastik polimer olan poliamid (PA6) materyalinden üretilmektedir (194-197). Çalışmamızda kullanılan PUİ cihazına ait plastik uç ise polieter eter keton (PEEK) materyalinden oluşmaktadır.

Kucher ve ark. (190), endodontik irrigantların biyouyumlu termoplastik malzemelerin yüzey özellikleri üzerine etkilerini inceledikleri bir çalışmada, PEEK polimerinin, NaOCl, CHX ve EDTA ajanlarına karşı dirençli olup yüzey ve mekanik özelliklerinde önemli bir değişiklik olmadığını; PA6' nın ise sertliğini, elastik modülünü ve yüzey pürüzlülüğünü bu ajanların arttırdığını bulmuşlardır. Ayrıca PA6, PEEK'e kıyasla irrigant solüsyonlarını daha yüksek oranda emdiğini ve bu emilim sonucunda şişme eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir.

Literatürde, ultrasonik irrigasyon cihazlarının plastik ve metal uçlarıyla smear tabakasının uzaklaştırılmasına yönelik yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu sınırlı veri nedeniyle doğrudan karşılaştırma yapmak güçtür. Ancak EDDY, PUI ile elde edilen fiziksel etkiler olan "kavitasyon" ve "akustik akım"ı oluşturan üç boyutlu bir hareket sağlamaktadır (194). Bu benzer fiziksel özellikler nedeniyle, çalışmamızda kullanılan plastik uç, EDDY ucu ile karşılaştırılabilir niteliktedir.

Wang ve ark. (198), PUI metal ucu ve EDDY kullanarak yaptığı çalışmada kök kanalının tüm kesitlerde smear tabakası çıkarılmasında herhangi bir fark bulmadı. Etkili endodontik irrigasyon için, irrigasyon uçlarının salınımlarıyla ortaya çıkan yüksek akış hızı ve frekansı gereklidir (122). Çalışmamızda ultrasonik titreşimle kullanılan plastik uçlar metal uçlara göre apikal bölgede daha etkili bulunmuştur. Çalışmada EDDY ve metal uç aynı sonuç vermesi kullandığımız plastik ucun EDDY uçtan daha yüksek frekansta çalışıp ve plastik içeriğinin daha dayanıklı olan PEEK polimerinden oluşması metal uca göre daha etkili olmasına sebep olmuş olabilir. Öte yandan çalışmamızda plastik uçların metal uçlara göre daha kırılkan olması, röntgende radyolusent görünmesi kök kanallarından uzaklaştırılması güçlüğü bir dezavantaj olarak gösterilebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pasif ultrasonik aktivasyonun plastik ve metal uçlarının smear tabakası uzaklaştırma etkinliğini incelediğimiz mevcut çalışmanın koşulları ve sınırlamaları dahilinde:

1. Metal uç ve plastik uç arasında smear tabakası uzaklaştırma etkinliği bakımından sadece apikal bölgede fark vardır. Plastik uç apikal bölgeden daha fazla smear tabakası uzaklaştırmıştır.
2. Yalnızca kesitler göz önünde bulundurulduğunda en az smear tabakası apikal bölgeden uzaklaştırılmıştır.
3. Plastik uç daha az dentin hasarı oluşturması ve daha iyi smear uzaklaştırması sebebiyle tercih edilebilir.
4. Aktivasyon işlemi sırasında plastik uç metal uca göre daha fazla kırılma insidansı göstermiştir. Bu durum plastik uç için bir dezavantaj olarak görülebilir. Bu nedenle vakaya uygun uç seçilebilir.
5. Aynı cihazda kullanılan plastik ucun çapının metal uca göre daha az olması apikal bölge için hareket alanı açısından avantaj sağlamış olabilir.
6. Plastik uçlar, metal uçlara kıyasla kök kanal morfolojisine daha iyi uyum sağlayabildikleri ve apikal bölgeye daha kolay erişim sağladıkları için, bu bölgede daha etkin bir temizlik elde edilmesine katkıda bulunmuş olabilir.

Plastik uçların kök kanalında kullanım sırasında daha kolay kırılma eğilimi göstermesi nedeniyle, uygun frekans aralığı, materyal bileşimi, güvenli kullanım süresi ve maksimum kullanım sayısına ilişkin standartların belirlenebilmesi için ileri düzey araştırmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca farklı özellikli uçlar kullanılarak yapılan kısa süreli ve aralıklı aktivasyon işlemiyle ilgili daha fazla çalışma yapılması kanaatindeyiz.

7. KAYNAKÇA

1. Chandra A. Discuss the factors that affect the outcome of endodontic treatment. *Aust Endod J.* 2009;35(2):98-107.
2. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod.* 1984;10(10):477-483.
3. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng YL. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endod Topics.* 2005;10(1):103-122.
4. Freire LG, Iglecias EF, Cunha RS, Dos Santos M, Gavini G. Micro-computed tomographic evaluation of hard tissue debris removal after different irrigation methods and its influence on the filling of curved canals. *J Endod.* 2015;41(10):1660-1666.
5. Leoni GB, Versiani MA, Silva-Sousa Y, Bruniera JFB, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *Int Endod J.* 2017;50(4):398-406.
1. Plotino G, Cortese T, Grande NM, Leonardi DP, Di Giorgio G, Testarelli L, et al. New technologies to improve root canal disinfection. *Braz Dent J.* 2016;27(1):3-8.
6. Koçak S, Bağcı N, Çiçek E, Türker SA, Can Sağlam B, Koçak MM. Influence of passive ultrasonic irrigation on the efficiency of various irrigation solutions in removing smear layer: a scanning electron microscope study. *Microsc Res Tech.* 2017;80(5):537-542.
7. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod.* 2010;36(7):1216-1221.
8. Silva EJNL, Carvalho CR, Belladonna FG, Prado MC, Lopes RT, De-Deus G, et al. Micro-CT evaluation of different final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from isthmus-containing mesial root of mandibular molars. *Clin Oral Investig.* 2019;23(2):681-687.
9. Race J, Zilm P, Ratnayake J, Fitzsimmons T, Marchant C, Cathro P. Efficacy of laser and ultrasonic-activated irrigation on eradicating a mixed-species biofilm in human mesial roots. *Aust Endod J.* 2019;45(3):317-324.
10. Nagendrababu V, Jayaraman J, Suresh A, Kalyanasundaram S, Neelakantan P. Effectiveness of ultrasonically activated irrigation on root canal disinfection: a systematic review of in vitro studies. *Clin Oral Investig.* 2018;22(2):655-670.
11. Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res.* 1970;49(6):1359-1368.
12. McComb D, Smith DC. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod.* 1975;1(7):238-242.
13. Çalışkan MK. Endodontide tanı ve tedaviler. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri; 2006.
14. Gezgin O. Karışık dişlenme dönemindeki tek taraflı dudak damak yarıklı hastaların diş gelişimlerinin medikal görüntü kontrol sistemleri ile incelenmesi. [dissertation]. Turkey; 2015.
15. Lester K, Boyde A. Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root canals. *Br Dent J.* 1977;143(11):359-367.

16. Berman LH, Hargreaves KM. Cohen's Pathways of the Pulp Expert Consult. St. Louis, MO: Elsevier Health Sciences; 2015.
17. Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM, Walton RE. Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer. *J Endod.* 1994;20(2):78-82.
18. Yamada RS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: part 3. *J Endod.* 1983;9(4):137-142.
19. George S, Kishen A, Song P. The role of environmental changes on monospecies biofilm formation on root canal wall by *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2005;31(12):867-872.
20. Gençoğlu N, Samani S, Günday M. Evaluation of sealing properties of Thermafil and Ultrafil techniques in the absence or presence of smear layer. *J Endod.* 1993;19(12):599-603.
21. Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS. The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1981;52(2):197-204.
22. Spratt D, Pratten J, Wilson M, Gulabivala K. An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates. *Int Endod J.* 2001;34(4):300-307.
23. Borzini L, Condò R, De Dominicis P, Casaglia A, Cerroni L. Root canal irrigation: chemical agents and plant extracts against *Enterococcus faecalis*. *Open Dent J.* 2016;10:692-703.
24. Tomson PL, Simon SR. Contemporary cleaning and shaping of the root canal system. *Prim Dent J.* 2016;5(2):46-53.
25. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389-398.
26. Spanó J, Barbin EL, Santos TC, Guimarães LF, Pécora JD. Solvent action of sodium hypochlorite on bovine pulp and physico-chemical properties of resulting liquid. *Braz Dent J.* 2001;12(3):154-157.
27. Martinho FC, Gomes BP. Quantification of endotoxins and cultivable bacteria in root canal infection before and after chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite. *J Endod.* 2008;34(3):268-272.
28. Spangberg L, Engström B, Langeland K. Biologic effects of dental materials: 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1973;36(6):856-871.
29. Grossman LI, Meiman BW. Solution of pulp tissue by chemical agents. *J Am Dent Assoc.* 1941;28(2):223-225.
30. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod.* 2004;30(11):785-787.
31. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod.* 2005;31(9):669-671.
32. Moorer W, Wesselink P. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1982;15(4):187-196.
33. Paragliola R, Franco V, Fabiani C, Mazzoni A, Nato F, Tay FR, et al. Final rinse optimization: influence of different agitation protocols. *J Endod.* 2010;36(2):282-285.
34. Bui TB, Baumgartner JC, Mitchell JC. Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. *J Endod.* 2008;34(2):181-185.

35. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Dent J*. 2008;58(6):329-341.
36. Loel DA. Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc*. 1975;90(1):148-151.
37. Violich D, Chandler N. The smear layer in endodontics—a review. *Int Endod J*. 2010;43(1):2-15.
38. Ciucchi B, Khettabi M, Holz J. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*. 1989;22(1):21-28.
39. Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *Int Endod J*. 2002;35(11):934-939.
40. Biesterfeld RC, Taintor JF. A comparison of periapical seals of root canals with RC-Prep or Salvizol. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1980;49(6):532-537.
41. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*. 2003;36(12):810-830.
42. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J*. 2014;216(6):299-303.
43. Goldberg F, Spielberg C. The effect of EDTAC and the variation of its working time analyzed with scanning electron microscopy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1982;53(1):74-77.
44. Smith JJ, Wayman BE. An evaluation of the antimicrobial effectiveness of citric acid as a root canal irrigant. *J Endod*. 1986;12(2):54-58.
45. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Walimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod*. 2005;31(11):817-820.
46. Scelza MFZ, Daniel RLP, Santos EM, Jaeger MMM. Cytotoxic effects of 10% citric acid and EDTA-T used as root canal irrigants: an in vitro analysis. *J Endod*. 2001;27(12):741-743.
47. Rg R. Bisphosphonates: from the laboratory to the clinic and back again. *Bone*. 1999;25(1):97-106.
48. De-Deus G, Zehnder M, Reis C, Fidel S, Fidel RAS, Galan Jr J, et al. Longitudinal co-site optical microscopy study on the chelating ability of etidronate and EDTA using a comparative single-tooth model. *J Endod*. 2008;34(1):71-75.
49. Arias-Moliz MT, Ordinola-Zapata R, Baca P, Ruiz-Linares M, Ferrer-Luque CM. Antimicrobial activity of a sodium hypochlorite/etidronic acid irrigant solution. *J Endod*. 2014;40(12):1999-2002.
50. De-Deus G, Namen F, Galan Jr J, Zehnder M. Soft chelating irrigation protocol optimizes bonding quality of Resilon/Epiphany root fillings. *J Endod*. 2008;34(6):703-705.
51. Kuruvilla JR, Kamath MP. Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *J Endod*. 1998;24(7):472-476.
52. Lima RKdP. Avaliação da difusão de íons hidroxila e da atividade antibacteriana de medicação intracanal á base de hidróxido de cálcio. [dissertation]. Brazil; 2010.
53. Okino L, Siqueira E, Santos M, Bombana A, Figueiredo J. Dissolution of pulp tissue by aqueous solution of chlorhexidine digluconate and chlorhexidine digluconate gel. *Int Endod J*. 2004;37(1):38-41.

54. Ferraz CCR, de Almeida Gomes BPF, Zaia AA, Teixeira FB, de Souza-Filho FJ. In vitro assessment of the antimicrobial action and the mechanical ability of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant. *J Endod.* 2001;27(7):452-455.
55. Bechgaard E, Ploug E, Hjorth N. Contact sensitivity to chlorhexidine? *Contact Dermatitis.* 1985;13(2):53-55.
56. Perrenoud D, Bircher A, Hunziker T, Sutter H, Bruckner-Tuderman L, Stäger J, et al. Frequency of sensitization to 13 common preservatives in Switzerland. *Contact Dermatitis.* 1994;30(5):276-279.
57. Osmundsen PE. Contact dermatitis to chlorhexidine. *Contact Dermatitis.* 1982;8(2):81-83.
58. AlKahtani A, Alkahtany SM, Mahmood A, Elsafadi MA, Aldahmash AM, Anil S. Cytotoxicity of QMix™ endodontic irrigating solution on human bone marrow mesenchymal stem cells. *BMC Oral Health.* 2014;14:1-9.
59. Stojicic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *Int Endod J.* 2012;45(4):363-371.
60. Gründling GL, Melo TAFd, Montagner F, Scarparo RK, Vier-Pelisser FV. QMix® irrigant reduces lipopolysaccharide (LPS) levels in an in vitro model. *J Appl Oral Sci.* 2015;23(4):431-435.
61. Lim BSH, Parolia A, Chia MSY, Jayaraman J, Nagendrababu V. Antimicrobial efficacy of QMix on *Enterococcus faecalis* infected root canals: a systematic review of in vitro studies. *Restor Dent Endod.* 2020;45(2):e14.
62. Rasimick BJ, Nekich M, Hladek MM, Musikant BL, Deutsch AS. Interaction between chlorhexidine digluconate and EDTA. *J Endod.* 2008;34(12):1521-1523.
63. Tuncer AK. Effect of QMix 2in1 on sealer penetration into the dentinal tubules. *J Endod.* 2015;41(2):257-260.
64. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, et al. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod.* 2003;29(3):170-175.
65. Shabahang S, Torabinejad M. Effect of MTAD on *Enterococcus faecalis*-contaminated root canals of extracted human teeth. *J Endod.* 2003;29(9):576-579.
66. Baker P, Evans R, Coburn R, Genco R. Tetracycline and its derivatives strongly bind to and are released from the tooth surface in active form. *J Periodontol.* 1983;54(10):580-585.
67. Torabinejad M, Cho Y, Khademi AA, Bakland LK, Shabahang S. The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer. *J Endod.* 2003;29(4):233-239.
68. Alaçam T. Kök kanallarının irrigasyonu, endodonti. Ankara: Fakülteler Kitabevi; 2000:289-312.
69. Tay FR, Mazzoni A, Pashley DH, Day TE, Ngoh EC, Breschi L. Potential iatrogenic tetracycline staining of endodontically treated teeth via NaOCl/MTAD irrigation: a preliminary report. *J Endod.* 2006;32(4):354-358.
70. Giardino L, Ambu E, Becce C, Rimondini L, Morra M. Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic. *J Endod.* 2006;32(11):1091-1093.
71. Pappen F, Shen Y, Qian W, Leonardo M, Giardino L, Haapasalo M. In vitro antibacterial action of Tetraclean, MTAD and five experimental irrigation solutions. *Int Endod J.* 2010;43(6):528-535.

72. Krishnan U, Saji S, Clarkson R, Lalloo R, Moule AJ. Free active chlorine in sodium hypochlorite solutions admixed with octenidine, smearoff, chlorhexidine, and EDTA. *J Endod.* 2017;43(8):1354-1359.
73. Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod.* 2007;33(8):966-969.
74. Khudhur HA, Bakr DK, Hamasaeed NH, Saleem SS, Mahdi SF, Tawfiq HF. Unveiling SmearOFF efficacy in smear layer removal through ultrasonic activation examined by scanning electron microscopy. *Int J Biomater.* 2024;2024:8188413.
75. Chow T. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod.* 1983;9(11):475-479.
76. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Eur J Oral Sci.* 1981;89(4):321-328.
77. Boch T, Tennert C, Vach K, Al-Ahmad A, Hellwig E, Polydorou O. Effect of gaseous ozone on *Enterococcus faecalis* biofilm—an in vitro study. *Clin Oral Investig.* 2016;20(7):1733-1739.
78. Case PD, Bird PS, Kahler WA, George R, Walsh LJ. Treatment of root canal biofilms of *Enterococcus faecalis* with ozone gas and passive ultrasound activation. *J Endod.* 2012;38(4):523-526.
79. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Efficacy of Er:YAG laser irradiation in removing debris and smear layer on root canal walls. *J Endod.* 1998;24(8):548-551.
80. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2006;32(12):1181-1184.
81. Gu L-s, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35(6):791-804.
82. Van der Sluis L, Gambarini G, Wu M, Wesselink P. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J.* 2006;39(6):472-476.
83. Fleming CH, Litaker MS, Alley LW, Eleazer PD. Comparison of classic endodontic techniques versus contemporary techniques on endodontic treatment success. *J Endod.* 2010;36(3):414-418.
84. Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod.* 1995;21(5):277-280.
85. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo®). *Int Endod J.* 2007;40(8):644-652.
86. Wu MK, Dummer P, Wesselink P. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int Endod J.* 2006;39(5):343-356.
87. Grossman LI. Irrigation of root canals. *J Am Dent Assoc.* 1943;30(23):1915-1917.
88. Wu M-K, Wesselink PR. Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995;79(4):492-496.
89. Keir DM, Senia ES, Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *J Endod.* 1990;16(7):323-327.
90. Caron G. Cleaning efficiency of the apical millimeters of curved canals using three different modalities of irrigant activation: an SEM study. [dissertation]. Paris: Paris VII University; 2007.

91. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *Int Endod J*. 2008;41(7):602-608.
92. Huang TY, Gulabivala K, Ng YL. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J*. 2008;41(1):60-71.
93. Ruddle CJ, inventor. Microbrush for endodontic use. US patent 6,309,219. October 30, 2001.
94. Weise M, Roggendorf M, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Four methods for cleaning simulated lateral extensions of curved root canals: a SEM evaluation. *Int Endod J*. 2007;40(12):979-1007.
95. Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *J Endod*. 2002;28(12):837-839.
96. Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M. Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;96(5):614-617.
97. De-Deus G, Belladonna FG, de Siqueira Zuolo A, Perez R, Carvalho MS, Souza EM, et al. Micro-CT comparison of XP-endo Finisher and passive ultrasonic irrigation as final irrigation protocols on the removal of accumulated hard-tissue debris from oval shaped-canals. *Clin Oral Investig*. 2019;23(7):3087-3093.
98. Vaz-Garcia ES, Vieira VTL, Petitet NPdSF, Moreira EJJ, Lopes HP, Elias CN, et al. Mechanical properties of anatomic finishing files: XP-Endo Finisher and XP-Clean. *Braz Dent J*. 2018;29(2):208-213.
99. Silva E, Belladonna F, Zuolo A, Rodrigues E, Ehrhardt I, Souza E, et al. Effectiveness of XP-endo Finisher and XP-endo Finisher R in removing root filling remnants: a micro-CT study. *Int Endod J*. 2018;51(1):86-91.
100. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy—a new concept of endodontic files and its implementation. *J Endod*. 2010;36(4):679-690.
101. Kaya E, Elbay M, Yiğit D. A micro-computed tomographic study. *Eur J Paediatr Dent*. 2017;18(2):105-110.
102. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Dent Traumatol*. 1985;1(2):69-76.
103. Waplington M, Lumley P, Walmsley A. Sonic instruments in root canal therapy. *Dent Update*. 1995;22(8):339-342.
104. Nusstein JM. Endodontic sonic and ultrasonic irrigant activation. *Clin Dent Rev*. 2018;2:1-7.
105. Ricardo S, Nursasongko B. Comparison of apical third cleanliness of smear layer using Endoactivator® and Vibrate®. *J Int Dent Med Res*. 2016;9(3):174-178.
106. Rödiger T, Döllmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hülsmann M. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod*. 2010;36(12):1983-1987.
107. Rödiger T, Bozkurt M, Konietschke F, Hülsmann M. Comparison of the Vibrate system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *J Endod*. 2010;36(8):1410-1413.

108. Conde A, Estevez R, Loroño G, Valencia de Pablo Ó, Rossi-Fedele G, Cisneros R. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J*. 2017;50(10):976-982.
109. Catuna MC. Sonic energy; a possible dental application. *Ann Dent*. 1953;12:100-101.
110. Zinner DD. Recent ultrasonic dental studies, including periodontia, without the use of an abrasive. *J Dent Res*. 1955;34(5):748-749.
111. Johnson WN, Wilson JR. The application of the ultrasonic dental unit to scaling procedures. *J Periodontol*. 1957;28(4):264-271.
112. MJ R. The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *J Dent Med*. 1957;12:12-18.
113. Martin H. Ultrasonic disinfection of the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1976;42(1):92-99.
114. Martin H, Cunningham W. Endosonic endodontics: the ultrasonic synergistic system. *Int Dent J*. 1984;34(3):198-203.
115. Laurichesse J. La technique de l'appui parietal (TAP). *Rev Fr Endod*. 1985;4:19-37.
116. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod*. 2007;33(2):81-95.
117. Mozo S, Llena C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;17(3):e512-e516.
118. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*. 1980;6(9):740-743.
119. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod*. 1999;25(11):735-738.
120. Ahmad M, Ford TRP, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *J Endod*. 1987;13(3):93-101.
121. Van der Sluis L, Versluis M, Wu M, Wesselink P. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*. 2007;40(6):415-426.
122. Schoeffel GJ. The EndoVac method of endodontic irrigation: safety first. *Dent Today*. 2007;26(10):92-94, 96-97.
123. Sarno MU, Sidow SJ, Looney SW, Lindsey KW, Niu L-n, Tay FR. Canal and isthmus debridement efficacy of the VPro EndoSafe negative-pressure irrigation technique. *J Endod*. 2012;38(12):1631-1634.
124. Nielsen BA, Baumgartner JC. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*. 2007;33(5):611-615.
125. Schoeffel GJ. The EndoVac method of endodontic irrigation, part 2—efficacy. *Dent Today*. 2008;27(1):82, 84, 86-87.
126. Shin S-J, Kim H-K, Jung I-Y, Lee C-Y, Lee S-J, Kim E. Comparison of the cleaning efficacy of a new apical negative pressure irrigating system with conventional irrigation needles in the root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010;109(3):479-484.
127. Haapasalo M, Wang Z, Shen Y, Curtis A, Patel P, Khakpour M. Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *J Endod*. 2014;40(8):1178-1181.

128. Molina B, Glickman G, Vandrangi P, Khakpour M. Evaluation of root canal debridement of human molars using the GentleWave system. *J Endod.* 2015;41(10):1701-1705.
129. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT, Woo SM. 12-month healing rates after endodontic therapy using the novel GentleWave system: a prospective multicenter clinical study. *J Endod.* 2016;42(7):1040-1048.
130. Goldman L, Hornby P, Meyer R, Goldman B. Impact of the laser on dental caries. *Nature.* 1964;203(4943):417.
131. Sulewski JG. Historical survey of laser dentistry. *Dent Clin North Am.* 2000;44(4):717-752.
132. Blanken J, De Moor RJG, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers Surg Med.* 2009;41(7):514-519.
133. Olivi G, DiVito E, Peters O, Kaitsas V, Angiero F, Signore A, et al. Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: an ex vivo study. *J Am Dent Assoc.* 2014;145(8):843-848.
134. Nagayoshi M, Fukuizumi T, Kitamura C, Yano J, Terashita M, Nishihara T. Efficacy of ozone on survival and permeability of oral microorganisms. *Oral Microbiol Immunol.* 2004;19(4):240-246.
135. Cireli E. Electron microscopic analysis of the pre-and postnatal differentiation of the epithelium of the upper respiratory tract of the rat. *Z Mikrosk Anat Forsch.* 1966;74(2):132-178.
136. Von Ardenne M, Hawkes P, Mulvey T. On the history of scanning electron microscopy, of the electron microprobe, and of early contributions to transmission electron microscopy. *Adv Imaging Electron Phys.* 2021;220:25-50.
137. Bogner A, Jouneau P-H, Thollet G, Basset D, Gauthier C. A history of scanning electron microscopy developments: towards “wet-STEM” imaging. *Micron.* 2007;38(4):390-401.
138. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32(2):271-275.
139. Park R, Choi M, Seo J, Park EH, Jang SW, Shon W-J, et al. Root canal irrigation system using remotely generated high-power ultrasound. *Ultrason Sonochem.* 2022;90:106168.
140. Hülsmann M, Rummelin C, Schäfers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod.* 1997;23(5):301-306.
141. Çalışkan MK, Pehlivan Y, Sepetçioğlu F, Türkün M, Tuncer SŞ. Root canal morphology of human permanent teeth in a Turkish population. *J Endod.* 1995;21(4):200-204.
142. Rodrigues LKA, Cury JA, dos Santos MN. The effect of gamma radiation on enamel hardness and its resistance to demineralization in vitro. *J Oral Sci.* 2004;46(4):215-220.
143. Michaud P-L, Maleki M, Mello I. Effect of different disinfection/sterilization methods on risk of fracture of teeth used in preclinical dental education. *J Dent Educ.* 2018;82(1):84-87.
144. Nasri S, Afkhami F. Efficacy of MTA modified by nanosilver for the prevention of coronal leakage. *Open Dent J.* 2021;15(1):520-527.

145. Shah NNM, Zenn YH, Baharin SA, Meei TI, Nasruddin NS, Zaman JQ. Exploring the uses, sterilization and storage protocols of extracted human teeth for research advancements: a scoping review. *J Health Transl Med.* 2024;215-245.
146. Andreani Y, Gad BT, Cocks TC, Harrison J, Keresztes ME, Pomfret JK, et al. Comparison of irrigant activation devices and conventional needle irrigation on smear layer and debris removal in curved canals (Smear layer removal from irrigant activation using SEM). *Aust Endod J.* 2021;47(2):143-149.
147. Takeda F, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J.* 1999;32(1):32-39.
148. Brannström M, Nordenvall K, Glantz P-O. The effect of EDTA-containing surface-active solutions on the morphology of prepared dentin: an in vivo study. *J Dent Res.* 1980;59(7):1127-1131.
149. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002;94(6):658-666.
150. Rhodes SC. Ultrasonic device complications in endodontics: an analysis of adverse events from the Food and Drug Administration manufacturer and user facility device experience. *J Patient Saf.* 2022;18(4):269-275.
151. Sabino-Silva R, Cardoso IV, Vitali FC, Alves AMH, Souza BDM, Bortoluzzi EA, et al. Prevalence of postoperative pain after endodontic treatment using low and high concentrations of sodium hypochlorite: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2023;27(8):4157-4171.
152. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: part 3. *J Endod.* 1983;9(4):137-142.
153. Grossman LI, Meiman BW. Solution of pulp tissue by chemical agents. *J Endod.* 1982;8:S10-S12.
154. Mountouris G, Silikas N, Eliades G. Effect of sodium hypochlorite treatment on the molecular composition and morphology of human coronal dentin. *J Adhes Dent.* 2004;6(3):175-182.
155. Rôças IN, Provenzano JC, Neves MA, Siqueira Jr JF. Disinfecting effects of rotary instrumentation with either 2.5% sodium hypochlorite or 2% chlorhexidine as the main irrigant: a randomized clinical study. *J Endod.* 2016;42(6):943-947.
156. Rath PP, Yiu CK, Matinlinna JP, Kishen A, Neelakantan P. The effects of sequential and continuous chelation on dentin. *Dent Mater.* 2020;36(12):1655-1665.
157. Nygaard-Ostby B. Chelation in root canal therapy. Ethylendiamine tetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odontol Tidskr.* 1957;65:3-11.
158. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod.* 2002;28(1):17-19.
159. Saito K, Webb TD, Imamura GM, Goodell GG. Effect of shortened irrigation times with 17% ethylene diamine tetra-acetic acid on smear layer removal after rotary canal instrumentation. *J Endod.* 2008;34(8):1011-1014.
160. Susin L, Liu Y, Yoon J, Parente J, Loushine R, Ricucci D, et al. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *Int Endod J.* 2010;43(12):1077-1085.

161. Saghiri MA, García-Godoy F, Asgar K, Lotfi M. The effect of Morinda Citrifolia juice as an endodontic irrigant on smear layer and microhardness of root canal dentin. *Oral Sci Int.* 2013;10(2):53-57.
162. Zehnder M, Schicht O, Sener B, Schmidlin P. Reducing surface tension in endodontic chelator solutions has no effect on their ability to remove calcium from instrumented root canals. *J Endod.* 2005;31(8):590-592.
163. Wu M-K, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000;89(1):99-103.
164. Souza RA. The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation. *Braz Dent J.* 2006;17:6-9.
165. Bier CAS, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu M-K. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod.* 2009;35(2):236-238.
166. Salzgeber RM, Brilliant JD. An in vivo evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals. *J Endod.* 1977;3(10):394-398.
167. Júnior ASA, Cavenago BC, Ordinola-Zapata R, De-Deus G, Bramante CM, Duarte MAH. The effect of larger apical preparations in the danger zone of lower molars prepared using the Mtwo and Reciproc systems. *J Endod.* 2014;40(11):1855-1859.
168. Tay FR, Gu L-s, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, et al. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *J Endod.* 2010;36(4):745-750.
169. Tomson P. A guide to good endodontic practice. British Endodontic Society; 2022:47-56.
170. Virdee S, Seymour D, Farnell D, Bhamra G, Bhakta S. Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* 2018;51(6):605-621.
171. Jiang L-M, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis LW. Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. *J Endod.* 2010;36(1):143-146.
172. Retsas A, Boutsoukis C. An update on ultrasonic irrigant activation. *Endod Pract Today.* 2019;13(2):103-111.
173. Cameron J. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod.* 1983;9(7):289-292.
174. Alaçam T. Scanning electron microscope study comparing the efficacy of endodontic irrigating systems. *Int Endod J.* 1987;20(6):287-294.
175. Huque J, Kota K, Yamaga A, Iwaku M, Hoshino E. Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1998;31(4):242-250.
176. Türkün M, Cengiz T. The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. *Int Endod J.* 1997;30(5):335-342.
177. Guerisoli D, Marchesan M, Walmsley A, Lumley P, Pecora J. Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation. *Int Endod J.* 2002;35(5):418-421.

178. de Castro FPL, Pinheiro SL, Duarte MAH, Duque JA, Fernandes SL, Anchieta RB, et al. Effect of time and ultrasonic activation on ethylenediaminetetraacetic acid on smear layer removal of the root canal. *Microsc Res Tech*. 2016;79(11):1062-1068.
179. Malki M, Verhaagen B, Jiang L-M, Nehme W, Naaman A, Versluis M, et al. Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: visualization and cleaning efficacy. *J Endod*. 2012;38(5):657-661.
180. Căpută PE, Retsas A, Kuijk L, de Paz LEC, Boutsoukis C. Ultrasonic irrigant activation during root canal treatment: a systematic review. *J Endod*. 2019;45(1):31-44.
181. Retsas A, Dijkstra RJ, van der Sluis L, Boutsoukis C. The effect of the ultrasonic irrigant activation protocol on the removal of a dual-species biofilm from artificial lateral canals. *J Endod*. 2022;48(6):775-780.
182. Baumgartner JC, Cuenin PR. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod*. 1992;18(12):605-612.
183. Torabinejad M, Johnson WB, inventors. Irrigation solution and methods for use. US patent 7,232,529. June 19, 2007.
184. Yang G, Wu H, Zheng Y, Zhang H, Li H, Zhou X. Scanning electron microscopic evaluation of debris and smear layer remaining following use of ProTaper and Hero Shaper instruments in combination with NaOCl and EDTA irrigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008;106(4):e63-e71.
185. Sung K-H, Park T-Y, Hwang H-K, Jo H-H. Comparison of various activation methods of root canal irrigants for soft-tissue removal. *Oral Biol Res*. 2021;45(1):16-21.
186. Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator™ system, the F File™, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod*. 2010;36(8):1367-1371.
187. Howard RK, Kirkpatrick TC, Rutledge RE, Yaccino JM. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *J Endod*. 2011;37(9):1301-1305.
188. Schmidt TF, Teixeira CS, Felipe MC, Felipe WT, Pashley DH, Bortoluzzi EA. Effect of ultrasonic activation of irrigants on smear layer removal. *J Endod*. 2015;41(8):1359-1363.
189. Gonçalves BFA, Reddy D, Machado R, Soares Júnior PC, Ignácio SA, Fernandes Couto DA, et al. Smear layer removal comparing conventional irrigation, passive ultrasonic irrigation, EndoActivator system, and a new sonic device (Perfect Clean System) by scanning electron microscopy: an ex vivo study. *PLoS One*. 2024;19(12):e0314940.
190. Kucher M, Dannemann M, Modler N, Hannig C, Weber M-T. Effects of endodontic irrigants on material and surface properties of biocompatible thermoplastics. *Dent J*. 2019;7(1):26.
191. Wigler R, Herteanu M, Wilchfort Y, Kfir A. Efficacy of different irrigant activation systems on debris and smear layer removal: a scanning electron microscopy evaluation. *Int J Dent*. 2023;2023:9933524.
192. Neuhaus KW, Liebi M, Stauffacher S, Eick S, Lussi A. Antibacterial efficacy of a new sonic irrigation device for root canal disinfection. *J Endod*. 2016;42(12):1799-1803.

193. Mathew DM, Durvasulu A, Shanmugam S, Pradeepkumar AR. Evaluation of different agitation techniques on smear layer formation and dentine erosions—an in vitro study. *Eur Endod J*. 2023;8(1):72-78.
194. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig*. 2017;21(8):2681-2687.
195. Mano JF, Sousa RA, Boesel LF, Neves NM, Reis RL. Bioinert, biodegradable and injectable polymeric matrix composites for hard tissue replacement: state of the art and recent developments. *Compos Sci Technol*. 2004;64(6):789-817.
196. Corvelli A, Roberts J, Biermann P, Cranmer J. Characterization of a PEEK composite segmental bone replacement implant. *J Mater Sci*. 1999;34(10):2421-2431.
197. Girard J, Joset N, Crochet A, Tan M, Holzheu A, Brunetto PS, et al. Synthesis of new polyether ether ketone derivatives with silver binding site and coordination compounds of their monomers with different silver salts. *Polymers*. 2016;8(6):208.
198. Wang L, Feng B, Shi S, Sun D, Wu D. The effect of different activation irrigations on intracanal smear layer removal: a vitro study. *Front Bioeng Biotechnol*. 2024;12:1507525.

8. EKLER

EK-1: Etik Kurul Belgesi



9. ORJİNALLİK RAPORU

ULTRASONİK İRRİGASYON CİHAZININ PLASTİK VE METAL UÇLARIYLA SMEAR TABAKASININ UZAKLAŞTIRILMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ORIGINALITY REPORT

11%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	acikbilim.yok.gov.tr internet	792 words — 5%
2	acikerisim.dicle.edu.tr:8080 internet	271 words — 2%
3	docplayer.biz.tr internet	49 words — < 1%
4	www.science.gov internet	43 words — < 1%
5	Demiriz, Levent. "Simüle Edilmiş İmmatür Dişlerde Güta-perka/ah Plus ve Resilon/epiphany se Kök Kanal Dolgu Sistemlerinin Koronal Sızıntı, Apikal Sızıntı, Kırılma Direnci ve Kök Kanal Dentinine Adaptasyon Yeteneği Yönünden Karşılaştırılması", Ankara Üniversitesi (Turkey), 2024 ProQuest	32 words — < 1%
6	ankaratipfakultesimecmuasi.net internet	22 words — < 1%
7	dergipark.org.tr internet	22 words — < 1%

10. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad-Soyad	Makbule TAŞYÜREK
Uyruğu	Türkiye

Eğitim

Derece	Üniversite	Yıl
Lise	Bolu Atatürk Anadolu Lisesi	2010-2014
Lisans	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2015-2020
Uzmanlık	Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı	2022-2025

