



T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANA BİLİM DALI

STERİLİZASYON PROSEDÜRLERİNİN VE FARKLI
İRRİGASYON SOLÜSYONLARININ NİKEL TİTANYUM
EĞELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ:
BİR ATOMİK KUVVET MİKROSKOBU ÇALIŞMASI

UZMANLIK TEZİ

Dt. Enes ELMALI

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Faruk ÖZTEKİN

ELAZIĞ 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANA BİLİM DALI

STERİLİZASYON PROSEDÜRLERİNİN VE FARKLI
İRRİGASYON SOLÜSYONLARININ NİKEL TİTANYUM
EĞELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ:
BİR ATOMİK KUVVET MİKROSKOBU ÇALIŞMASI

UZMANLIK TEZİ

Dt. Enes ELMALI

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Faruk ÖZTEKİN

ELAZIĞ 2021

ONAY SAYFASI

.....

DEKANLIK

Bu tez Uzmanlık Tezi standartlarına uygun bulunmuştur.

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt Sinan OCAK

Endodonti Ana bilim Dalı Başkanı

Tez tarafımızdan okunmuş, kapsam ve kalite yönünden Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Faruk ÖZTEKİN

(Danışman)

Uzmanlık Tezi Değerlendirme Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Elçin Tekin BULUT

Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt Sinan OCAK

Dr. Öğr. Üyesi Faruk ÖZTEKİN



ETİK BEYAN

Kendime ait çalışmalar ile bu tez çalışmasını gerçekleştirdiğimi, çalışmaların planlanmasından, bulgularının elde edilmesine ve yazım aşamasına kadar tüm aşamalarında etiğe aykırı davranışım olmadığını, bu tezdeki tüm bilgileri ve verileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışması içinde yer alan ancak bu tez çalışmasının bulguları arasında yer almayan verilere, bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Dt. Enes Elmalı

Tarih:

İmza:

Dr. Öğr. Üyesi Faruk Öztekin

Endodonti ANABİLİM DALI ELAZIĞ

2021

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve uzmanlık eğitimim boyunca bana yol gösteren, değerli bilgi birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan, kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve anlayışla bana faydalı olan, değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Faruk ÖZTEKİN'e

Uzmanlık eğitimim boyunca mesleki bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, desteklerini her konuda ve her zaman üzerimde hissettiğim saygıdeğer hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt Sinan OCAK ve Dr. Öğr. Üyesi Tuba GÖK'e

Uzmanlık eğitimim boyunca birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Ana bilim Dalı ailesinin tüm üyelerine, kıymetli asistan arkadaşlarıma ve bölüm personellerimize

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi en büyük emeğe sahip, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim ve sonsuz desteklerini hep hissettiğim babam Ömer Elmalı ile annem Döndü Elmalı'ya, her zaman yanımda olan kardeşlerim Sümeyye, Merve ve Amine Elmalı'ya

Varlığıyla bana daima güç veren ve bu süreçte desteğini, anlayışını ve sabrını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Cemile Nur Elmalı'ya ve mutluluğumuza mutluluk katan canım kızım Betül Erva Elmalı'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ENES ELMALI

Elazığ-2021

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	i
ETİK BEYAN	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
1. ÖZET	1
2. ABSTRACT	3
3. GİRİŞ	5
3.1. Giriş ve Amaç	5
3.2. Nikel-Titanyum Alaşımları	7
3.3. Diş Hekimliğinde Kullanılan Nikel-Titanyum Alaşımları	9
3.4. Nikel-Titanyum Kök Kanal Eğelerinin Üretimi	11
3.5. Nikel-Titanyum Eğelerin Metalürjik ve Mekanik Özellikler	12
3.5.1. Nikel-Titanyum Döner Eğelerin Dizayn Özelliklerindeki Gelişmeler	12
3.5.2. Nikel-Titanyum Alaşım İşlemleri	14
3.5.3. Geleneksel (İşlenmemiş) Nikel-Titanyum Eğeler	14
3.5.4. Elektropolisaj Uygulanmış Nikel-Titanyum Eğeler	16
3.5.5. M-Wire Isıl İşlem Uygulanmış Nikel-Titanyum Eğeler	17
3.5.6. R Faz Teknoloji ile Üretilen Nikel-Titanyum Eğeler	18
3.5.7. Control Memory – CM (2010) Nikel-Titanyum Eğeler	19
3.5.8. CM-Blue Nikel-Titanyum Eğeler	20
3.5.9. CM-Gold Nikel-Titanyum Eğeler	21
3.5.10. Max-Wire Nikel-Titanyum Eğeler	21
3.5.11. CM-EDM Nikel-Titanyum Eğeler	22
3.6. Eğeler Üzerindeki Kimyasal, Biyolojik ve Fiziksel Etkiler	23
3.6.1. Korozyon	23
3.6.2. Sterilizasyon	23
3.7. Nikel-Titanyum Eğelerin Kırılma Nedenleri	23

3.8. Çalışmada Kullanılan Nikel-Titanyum Eğeler	24
3.8.1. ProTaper NEXT	24
3.8.2. Reciproc Blue	25
3.9. Kök Kanallarının İrrigasyonu	27
3.9.1. İrrigasyon Solüsyonları	29
3.10. Çalışmada Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları	33
3.10.1. Sodyum Hipoklorit	33
3.10.2 Etidronik Asit	37
3.10.3. BioAkt	38
3.11. Çalışmada Kullanılan Görüntüleme Teknikleri	40
3.11.1. Stereomikroskop	40
3.11.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu	41
4. GEREÇ VE YÖNTEM	43
4.1. Gruplara Seçilen Eğelerin Kontrol Amaçlı Değerlendirilmesi	43
4.2. Eğelerin İrrigasyon Solüsyonlarında Bekletilmesi	46
4.3. Eğelere Sterilizasyon İşleminin Uygulanması	46
4.4. Atomik Kuvvet Mikroskobu ile Yüzey Değerlendirmesi	47
4.5. İstatistiksel Analiz	47
5. BULGULAR	49
6.TARTIŞMA	56
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
8. KAYNAKÇA	69
9. ÖZGEÇMİŞ	Error! Bookmark not defined.

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Eğeler ve Özellikleri	43
Tablo 2. Çalışmada Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları ve Özellikleri	46
Tablo 3. Grup İçi Uygulamalara Göre RMS Ortalama ve Standart Sapma Değerleri	49
Tablo 4. Grup İçi Uygulamalara Göre Depth Ortalama ve Standart Sapma Değerleri	50



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Ni-Ti Alaşımının Martensitik Dönüşüm ve Şekil Hafızası Etkisinin Şematik Gösterimi	9
Şekil 2.	Ni-Ti Alaşım İşlemlerinin Gelişimi	14
Şekil 3.	ProTaper Next Eğe Sistemi	25
Şekil 4.	Reciproc Blue Eğe Sistemi ve Eşleşen Paper Pointler, Güta-Perka Konileri ve Güta Fusion Obturatörleri	26
Şekil 5.	Reciproc Blue Eğelerinin S Şekli Kesiti	27
Şekil 6.	NaOCI'nin Göstermiş Olduğu Sabunlaşma Reaksiyonu	34
Şekil 7.	Amino Asit Nötralizasyon Reaksiyonu	34
Şekil 8.	Kloraminasyon Reaksiyonu	35
Şekil 9.	Çalışmada Kullanılan Sodyum Hipoklorit Solüsyonu	37
Şekil 10.	Çalışmada Kullanılan Etidronik Asit Solüsyonu	38
Şekil 11.	Çalışmada Kullanılan BioAkt Solüsyonu	40
Şekil 12.	Çalışmada Kullanılan AFM Cihazı	42
Şekil 13.	Çalışmada Kullanılan Reciproc Blue Eğeleri	44
Şekil 14.	Çalışmada Kullanılan Protaper Next Eğeleri	44
Şekil 15.	Çalışmada Kullanılan Protaper Next Eğesine Ait Stereomikroskop Görüntüsü	45
Şekil 16.	Çalışmada Kullanılan Reciproc Blue Eğesine Ait Stereomikroskop Görüntüsü	45
Şekil 17.	ProTaper Next Eğesi Kontrol Grubu AFM Görüntüsü	51
Şekil 18.	ProTaper Next Eğesi NaOCI Grubu AFM Görüntüsü	51
Şekil 19.	ProTaper Next Eğesi Etidronik Asit Grubu AFM Görüntüsü	52
Şekil 20.	ProTaper Next Eğesi BioAkt Grubu AFM Görüntüsü	52
Şekil 21.	ProTaper Next Eğesi Sterilizasyon Grubu AFM Görüntüsü	53
Şekil 22.	Reciproc Blue Eğesi Kontrol Grubu AFM Görüntüsü	53
Şekil 23.	Reciproc Blue Eğesi NaOCI Grubu AFM Görüntüsü	54
Şekil 24.	Reciproc Blue Eğesi Etidronik Asit Grubu AFM Görüntüsü	54
Şekil 25.	Reciproc Blue Eğesi BioAkt Grubu AFM Görüntüsü	55
Şekil 26.	Reciproc Blue Eğesi Sterilizasyon Grubu AFM Görüntüsü	55

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

%	: Yüzde
<	: Küçüktür
°C	: Santigrat Derece
®	: Tescilli marka
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
cm	: Santimetre
g	: Gram
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
°	: Derece
Dk	: Dakika
µm	: Mikrometre
hZ	: Hertz
±	: Tolerans

Kısaltmalar

AFM	: Atomic Force Microscopy
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
CA	: Sitrik Asit
CHX	: Klorheksidin
CM-wire	: Control Memory
Dr	: Doktor
EDM	: Elektro Deşarj İşleme
EDTA	: Etilen Diamin Tetraasetik Asit
HEBP	: Etidronik Asit
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
MTAD	: Mixture Tetracycline Citric Acid and Detergent
NaOCl	: Sodyum Hipoklorit

Ni-Ti	: Nikel-Titanyum
PCA	: Parakloroanilin
pH	: Asidite Katsayısı (Power Of Hydrogen)
PTX	: ProTaper Next
R	: Reciproc
RMS	: Root Means Square
Rpm	: Revolutions per minute
RTTR	: Reverse Transformation
SE	: Süper Elastik
SPSS	: Statistical Package for Social Sciences
TTR	: Transformation
XP-F	: XP-Endo Finisher
XP-R	: XP-Endo Finisher Retreatment
XP-S	: XP-Endo Shaper

1. ÖZET

Bu çalışmanın amacı farklı irrigasyon solüsyonlarının ve otoklav sterilizasyonun ProTaper Next (PTX) ve Reciproc Blue eğelerinin yüzey özelliklerine olan etkisinin incelenmesidir.

Çalışmamızda PTX ve Reciproc Blue eğelerinden 30'ar adet olmak üzere toplam 60 adet eğe kullanılmıştır. PTX ve Reciproc Blue eğeleri beş alt gruba ayrılmıştır ve her grupta 6'şar adet eğe kullanılmıştır (n=6). Kontrol grubundaki eğelere hiçbir işlem uygulanmamıştır. Diğer gruplardaki eğeler sırasıyla 5 dakika boyunca %5,25'lik sodyum hipoklorit, %18'lik Etidronik asit ve BioAkt irrigasyon solüsyonları içerisinde bekletilmiştir. Son grup olarak eğeler paketlenildikten sonra otoklavda 134° C'de 20 dakika süren sterilizasyon işlemi 5 kez uygulanmıştır. Her gruptaki eğelerin apikal 5 mm'lik kısımları karbon separe ile kesilerek incelenmek için hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin yüzey özelliklerinin incelenmesi için atomik kuvvet mikroskopunda (AFM) 5µmX5µm alanda her bir örnekte 5 farklı noktada tapping (non-kontakt) mod için uygun olan silikon nitrit uçlar kullanılarak tarama yapılmıştır. Üç boyutlu görüntü analizleri ile tarama alanındaki en derin ve en yüksek bölgenin farkını ortaya koyan Depth analizi ve sayısal karşılaştırma için yüzey pürüzlülüğünü ifade eden RMS verileri elde edilmiştir.

Tüm verilerin istatistiksel analizi IBM SPSS Ver. 22.0 istatistik programı ile gerçekleştirildi. Nicel değişkenlerin normal dağılıma uygunluk varsayımı Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler ortalama $\pm$ standart sapma ile sunulmuştur. İki'den fazla bağımsız grup arasında nicel ölçümlerin karşılaştırılması için tek yönlü ANOVA ve sonrasında ikili

karşılaştırmalar için Post-hoc LSD testi kullanılmıştır. Anlamlılık seviyesi $p<0,05$ olarak belirlendi.

Kontrol grubundaki PTX ve Reciproc Blue eğelerinin ikisinde de üretim aşamasında yüzey pürüzlülüğü gözlemlenmiştir. Hem PTX hem de Reciproc Blue eğelerinin kontrol grubu ile karşılaştırıldığında NaOCl içerisinde bekletilmiş olan hem PTX hem de Reciproc Blue eğelerinin RMS ve DEPTH değerleri istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır ($P<0,005$). BioAkt içerisinde bekletilen Ni-Ti eğelerinin ikisinde de RMS ve DEPTH değerleri artmıştır ($P<0,005$). Etidronik asit PTX ve Reciproc Blue eğelerinin ikisinde de RMS ve DEPTH değerlerini kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır ($P<0,005$). PTX ve Reciproc Blue eğelerine uygulanan sterilizasyon işlemi kontrol grubuna göre RMS ve DEPTH değerlerini arttırmıştır ($P<0,005$). PTX ve Reciproc Blue eğelerinin yüzey pürüzlülüğünü en çok artıran grup Etidronik asit ve sterilizasyon grubudur. RMS ve DEPTH değerleri en düşük olan grup Reciproc Blue eğesinin kontrol grubuna aitti. RMS ve DEPTH değerleri en yüksek olan grup PTX eğesinin sterilizasyon grubuna aitti.

Sonuç olarak irrigasyon işlemleri ve tekrarlanan sterilizasyon işlemleri eğe yüzeylerinde pürüzlülüğü artırmaktadır. Klinisyenler Ni-Ti eğelerde beklenmedik kırıklarla karşılaşmamak için eğelerde deforme edici etkileri göz önünde bulundurmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Reciproc Blue, ProTaper Next, Yüzey Analizi, Atomik kuvvet Mikroskobu, RMS, DEPTH

2. ABSTRACT

THE EFFECT OF STERILIZATION PROCEDURES AND DIFFERENT IRRIGATION SOLUTIONS ON THE SURFACE ROUGHNESS OF NICKEL TITANIUM FILES: AN ATOMIC FORCE MICROSCOPE STUDY

This study aims to examine the effects of different irrigation solutions and sterilization procedures on the surface properties of ProTaper Next (PTX) and Reciproc blue files.

The research sample comprises a total of 60 files as 30 of each PTX and Reciproc Blue. PTX and Reciproc Blue files were divided into five sub-groups and 6 files tested in each group (n=6). No treatment was applied to the files in the control group. The other groups were continuously applied to the irrigation solutions of 5.25% sodium hypochlorite, 18% Etidronic acid and BioAkt for 5 minutes, respectively. The files of the last group were packaged, and the sterilization process was applied for 5 times with an autoclave at 134 °C for 20 minutes. The files in each group were prepared for examination after cutting the apical 5mm sections with a carbon separator. Scanning was performed with silicon nitride tips suitable for tapping (non-contact) mode at 5 different points in each sample atomic force microscope (AFM) in a 5µmX5µm area to examine the surface properties of the prepared samples. Three-dimensional analysis images, Depth analysis, visualizing the difference of the deepest and highest region in the scan area, and the RMS data indicating surface roughness for numerical comparison were obtained.

Statistical analysis of the data was performed through IBM SPSS V. 22.0 statistics program. The compliance with a normal distribution regarding quantitative variables was assessed using the Kolmogorov-Smirnov test. Descriptive statistics are presented with mean $\pm$ standard deviation. One-way

ANOVA was applied to compare quantitative measurements among several independent groups, and then a post-hoc LSD test was used for paired comparisons. The significance level was chosen as $p < 0.05$.

Surface roughness was measured at the production phase of both PTX and Reciproc Blue files in the control group. After the Ni-Ti files were treated in NaOCl, the RMS value, the numerical data of the surface roughness, and the DEPTH value, the maximum depth, increased in comparison to the control group ($P < 0.05$). RMS and DEPTH values increased in both Ni-Ti files treated in BioAkt solution ($P < 0.005$). Etidronic acid significantly increased RMS and DEPTH values in PTX and Reciproc Blue files in the experimental group ($P < 0.005$). The sterilization procedure applied to PTX and Reciproc Blue files increased RMS and DEPTH values for the experimental group ($P < 0.005$). The groups with the highest increases in the surface roughness of PTX and Reciproc Blue files are the Etidronic acid and sterilization group. While the group with the lowest RMS and DEPTH values belongs to the control group with Reciproc Blue files. The group with the highest RMS and DEPTH values is the sterilization group with PTX files.

The irrigation processes and repeated sterilization processes increased the file surface roughness. Clinicians should consider the deforming effects to avoid unexpected fractures on Ni-Ti files.

Keywords: Reciproc Blue, ProTaper Next, Surface Analysis, Atomic Force Microscope, RMS, DEPTH

3. GİRİŞ

3.1. Giriş ve Amaç

Endodonti bilimi herhangi bir sebeple devital olmuş dişlerin ağızda kalmasını ve işlev görmesini sağlayan bilim dalıdır (1). Endodontik tedavinin başarılı olması için kök kanal tedavisinin prensiplerinin eksiksiz bir şekilde tamamlanması gereklidir. Bu prensipler; kök kanal sistemi içerisinde bulunan pulpa dokusunu temizledikten sonra kök kanallarının mekanik olarak genişletilmesi, irrigasyon solüsyonları kullanılarak dezenfeksiyonu ve koronalden apikale kadar üç boyutlu bir şekilde doldurulmasıdır (2). Mekanik preparasyon ve irrigasyon uygulaması kök kanalında bulunan mikroorganizmaların ve nekrotik dokuların uzaklaştırılabilmesine olanak sağlar (3). Bu şekilde yapılan biyomekanik preparasyon endodontik tedavinin en önemli aşamalarından biridir (4).

Kök kanallarının şekillendirilmesi geleneksel olarak paslanmaz çelik el eğeleri kullanılmaktadır. Walia ve arkadaşları ilk olarak 1988'de Nikel-titanyum eğelerin benzer boyuttaki paslanmaz çelik eğelere kıyasla bükülme ve burulmada iki veya üç kat daha fazla elastik esnekliğe ve burulma kırılmasına karşı üstün dirence sahip olduğunu bulmuştur (5). Nikel-Titanyum (Ni-Ti) eğelerin, geleneksel eğelere göre birçok avantajı vardır (6). Bu avantajları sıralamak gerekirse; Ni-Ti eğeler daha esnektir, apikal transportasyonu engeller ve kanal preparasyonu sırasında kanalın orijinal formunu korur (7).

Nikel titanyum eğelerinin birçok üstünlüklerine rağmen pahalı olmaları ve beklenmedik şekilde kırılmaları gibi dezavantajları da bulunmaktadır (8). Ni-Ti eğeler gözle görünür deformasyon olmadan da kırılabilmektedir. Ni-Ti eğelerin

beklenmedik şekilde kırılması kanal tedavi sırasında en sık karşılaşılan problemlerden birisidir (9). Klinik uygulamalarda kırık alet parçaları diş kaybına neden olabilecek kadar kanal tedavisinin başarısını riske atabilen bir komplikasyondur (10).

Günümüzde klinisyenler Ni-Ti döner alet eğelerinin kaç kez kullanılması gerektiğine dair kesin bir cevap bulamamıştır (11). Bazı üreticilerin eğelerin bir kez kullanılmasını tavsiye etmelerine rağmen yüksek maliyet bunu engellemekte ve eğelerin otoklav da sterilizasyon sonrası tekrar tekrar kullanılmasına sebep olmaktadır (12). Enstrümantasyon öncesinde veya sırasında eğelerin dezenfeksiyonu, sterilizasyonu ve kullanılan irrigasyon solüsyonlarının etkileşimi gibi ortaya çıkan kimyasal mekanizmalar eğelerin aşınmasına ve/veya bozulmasına neden olarak erken kırılmaya sebep olabilir (13). Kırılmalara döngüsel yorgunluk stresi veya burulma yorgunluğu stresi sebep olabilir (14). Burulmaya bağlı kırılma, aletin ucu kanala sıkıştığında ve kesme kapasitesini kaybettiğinde meydana gelir. Alaşım önce elastik sonra plastik deformasyona uğrar ve yorulmadan dolayı kırılır (15). Döngüsel yorgunluk stresi ile olan kırılma türü ise stres ve metalin kendisinin yorgunluğundan kaynaklanır (16). Döngüsel yorgunluk direncini döner alet eğesinin dizaynı, operasyon hızı, irrigasyon solüsyonlarının etkileri ve otoklav sterilizasyonunun etkisi gibi birçok faktör etkilemektedir (5).

Literatür taramalarında Ni-Ti eğelerinde çeşitli sebeplerle oluşan deformasyonların farklı çalışmalarda araştırıldığı görülmüştür. Ancak farklı markalara ait, farklı metalürjik özellikleri bulunan Ni-Ti döner eğelerin, sterilizasyon ve irrigasyon solüsyonları ile temasları sonrası oluşan yüzey değişiklikleri hakkında sınırlı bilgi vardır (17).

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) yüksek atomik çözünürlüğe sahip olan ve numunelerin yüzeylerinin mikroskobik görüntülenmesini sağlayan görüntüleme tekniklerindendir (18). AFM'nin polimerler, biyomalzemeler, metaller ve biyolojik numuneler gibi geniş bir uygulama alanı vardır. Ni-Ti eğelerin yüzey özelliklerinin değerlendirilmesinde atomik kuvvet mikroskobu (AFM) sıkça kullanılır (19).

Güncel olan ve kliniklerde sıklıkla kullanılan Reciproc Blue (VDW GmbH, Munich, Germany) (Boyut 25; 0.08 taper) ve ProTaper Next (PTX: Dentsply Maillefer, Ballaigus, İsviçre) (boyut 25;0.06 taper) eğeleri bu çalışmada preparasyon yapılmaksızın kullanıldı. Bu eğelerin yüzeylerinde, Etidronik asit (HEBP) sodyum hipoklorit (NaOCl), ve BioAKT (gümüş-sitrat çözeltisi) solüsyonlarının ve tekrarlanan sterilizasyon işlemlerinin etkileri atomik kuvvet mikroskobu ile incelendi. Bu tez çalışmasının hipotezi bu işlemlerin eğelerin yüzey özelliklerini etkilememesi yönündedir.

3.2. Nikel-Titanyum Alaşımları

W.F. Buehler tarafından 1960'ların başlarında bir nikel-titanyum alaşımı geliştirildi. Bu malzeme nikel (Ni), titanyum(Ti) ve araştırma yapılan laboratuvarın baş harflerinde oluşan (ABD Donanma Silah Laboratuvarlarında Naval Ordnance Laboratory-(nol)) Nitinol adıyla patentlenmiştir (20). Nitinol, benzersiz şekil hafızası ve süper esneklik özelliklerine sahip olduğu bulunan nikel ve titanyum alaşımları grubuna verilen isimdir (21).

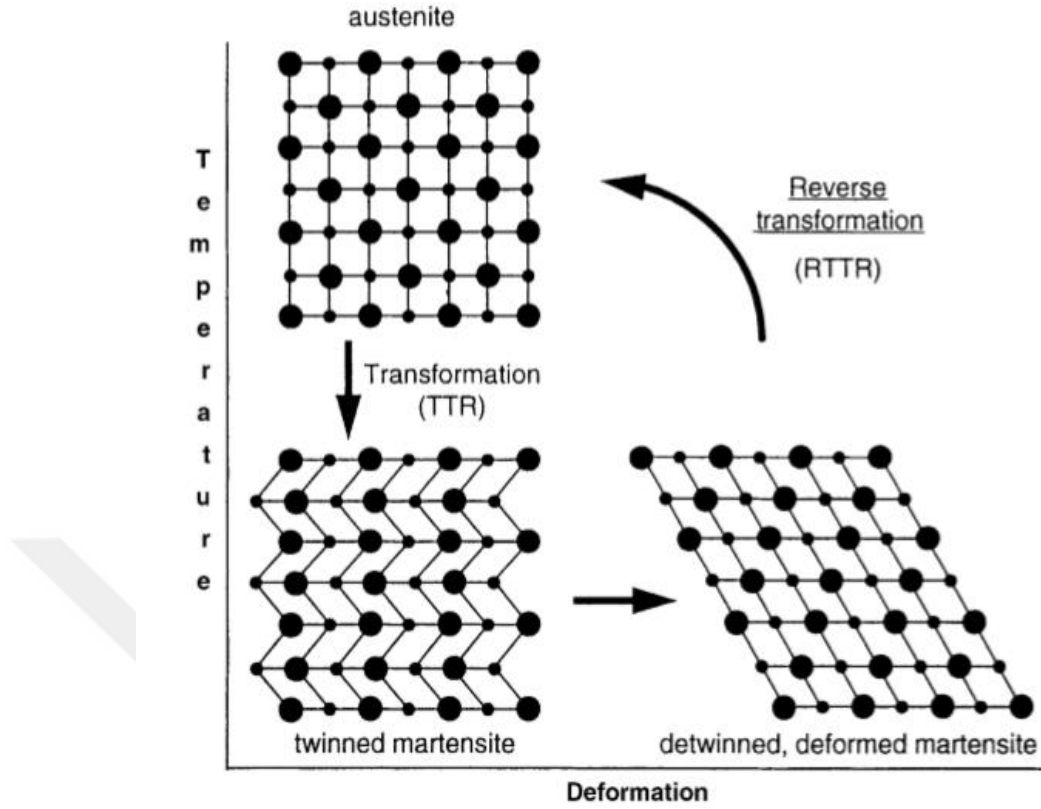
Kanal tedavisinde kullanılan nikel-titanyum alaşımları yaklaşık olarak ağırlıkça % 56 nikel ve % 44 titanyum içerir. Bazı Ni-Ti alaşımlarında, küçük bir oranda (ağırlıkça <% 2) kobalt içerebilir. Ortaya çıkan birleşim, ana bileşenlerin

bire bir atomik orandır (eş atomlu) ve diğer metalik sistemlerde olduğu gibi, alaşım çeşitli kristalografik formlarda bulunabilir (21).

Yüksek sıcaklık aralıklarında Ni-Ti alaşımının kristal yapısı stabildir. Hacim merkezli kübik kafes yapısı ostenit faz olarak adlandırılır. Malzemelerin iç ve dış stresler altında kalmasıyla atom yapısında değişimler ortaya çıkar. Bu değişim özellikle bir sıra atomun Şekil 1’de görüldüğü gibi diğer sıraya göre bir miktar ilerlemesi şeklindedir. Buna genel olarak ikizlenme adı verilir.

Bu malzeme yapısı içerisinde ostenit faz ile martensit faz arasında ki geçiş esnasında yönlendirmeli ikizlenmiş martensite (detwinning martensite) görülmektedir.

Bu yönlendirmeli ikizlenmiş martensite, süperelastik deformasyonun temel deformasyon mekanizması olarak kabul edilmektedir (22). Ostenit fazın deformasyonu ile martensit faza dönüşümü ve stres kaldırıldıktan sonra deformasyon öncesi ostenit yapıya geri dönme eğilimi şekil hafızası ve süper elastikiyet olarak açıklanabilir (21). Stres kaynaklı martensit faz (süper elastik), lastik bant gibi oldukça elastiktir. Ostenitik faz oldukça sert ve güçlüdür. Martenistik faz yumuşak ve biçimlendirilebilir, kolayca deforme olabilir ve yorulma direnci yüksektir (23).



Şekil 1. Ni-Ti Alaşımının Martensitik Dönüşüm ve Şekil Hafızası Etkisinin Şematik Gösterimi (21).

3.3. Diş Hekimliğinde Kullanılan Nikel-Titanyum Alaşımları

Şekil hafızalı alaşımlar, tıbbi alanda uygulanması düşünüldüğünde, yalnızca mekanik güvenilirlikler ile ilgili değil, aynı zamanda kimyasal (in vivo bozunma, ayrışma korozyon ve çözülme, vb.) ve biyolojik güvenilirlikler (biyouyumluluk, sitotoksiste, kanserojenik, anti-trombojenite, antijenite, vb.) ile ilgili de işlevsel gereksinimleri karşılayabilmelidir. Ni-Ti alaşımı, canlı dokularla temas eden ve bu dokular tarafından tolere edilen, fiziksel özelliklerinde ve implantasyon sonrası özel fonksiyonunda herhangi bir bozulma olmayan en önemli şekil hafızalı alaşımdır (24).

Ni-Ti teller ortodontik tedavilerde de kullanılmaktadır. Ortodontik tedavide diş hareketi, kemiğin yeniden şekillenmesiyle sonuçlanır ve bu dişlere kuvvet uygulanarak sağlanır. Bir ortodontik telin elastik deformasyonu ve ardından elastik enerjisinin belirli bir süre boyunca serbest kalması, düzeltme kuvvetlerine yol açar. Genelde en uygun diş hareketinin, düşük büyüklükte ve sürekli olan kuvvetler uygulanarak elde edildiği kabul edilir. Ni-Ti ark telleri esnekliği sayesinde neredeyse sürekli bir hafif kuvvet uygulamasına izin verir, bu da doku travmasının ve hasta rahatsızlığının azalmasını sağlar. Ni-Ti ark telleri, diğer ortodontik alaşımlarla karşılaştırıldığında daha verimli ve daha kısa sürede diş hareketi sağlar (24).

Endodontide enstrümantasyonun esas amacı; orijinal kanal formunu koruyarak kanalın genişletilmesidir. Kök kanal aletleri 1960'lara kadar karbon çeliğinden üretilirdi ancak korozyona meyilli olması ve sterilizasyon sonrası fiziksel değişimler göstermesi gibi dezavantajları vardı. Bu dezavantajlardan kurtulmak için daha sonraları paslanmaz çelik alaşımlar üretilmeye başlandı (25). Paslanmaz çelik eğeler, alet boyutu arttıkça sertliği de artan doğal bir yapıya sahiptir. Bu da eğimli bir kök kanalı hazırlarken eğenin çalışma sırasında orijinal şekline dönmeye çalışmasına sebep olur ve kanalın orijinal formunu bozabilir. Bu nedenle, eğimli kanallarda, paslanmaz çelik eğelerin kullanımı için ön büküm verilmesi gerekir. Bu durum paslanmaz çelik eğelerin rotasyon hareketinde kullanılmasını önemli ölçüde önler (26). Bu dezavantajlardan kurtulmak için yeni materyaller araştırılmıştır ve Ni-Ti alaşımlar bu alanda çok olumlu sonuçlar ortaya koymuştur (25). Ni-Ti eğelerin esneklikleri sayesinde eğri kanallarda basamak, dirsek, zipping, transportasyon ve perforasyon oluşturma riskleri azdır (27).

Ni-Ti eğeler süper elastik özelliği sayesinde eğri kanallar da kullanıldığında kanalın orijinal şeklini korurlar. Bu avantajlara rağmen dentini kesme kabiliyeti az oluşu uzun olan çalışma süresini kısaltamamıştır. Bu sorunu çözmek için motorla kullanılabilecek Ni-Ti eğe fikri ortaya çıkmıştır (25). Motorla kullanılan Ni-Ti eğelerin kanal preparasyonunda elle kullanılan eğelere kıyasla daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir (28).

3.4. Nikel-Titanyum Kök Kanal Eğelerinin Üretimi

Nikel-titanyum alaşımının üretimi çok karmaşık bir süreçtir ve aşağıdaki aşamaları içerir (21):

- vakumlu eritme / döküm
- baskı oluşturmak
- döner tokaçlama
- çubuk / tel yuvarlama

Ni-Ti alaşımlarının üretiminde toz metalürjisi yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır (29). Toz metalürji ürünlerinin difüzyon bağlama işlemi ile birleştirilmesi, hem birleştirme materyallerinin bağlanma davranışını korumak hem de ana materyallerin mikro yapısal özelliklerini korumak için önemlidir (30). Difüzyon bağlama, katı hallerde bulunan benzer veya farklı iki malzemenin birleştirilebildiği gelişmiş bir bağlama işlemidir (31).

3.5. Nikel-Titanyum Eğelerin Metalürjik ve Mekanik Özellikler

3.5.1. Ni-Ti Döner Eğelerin Dizayn Özelliklerindeki Gelişmeler

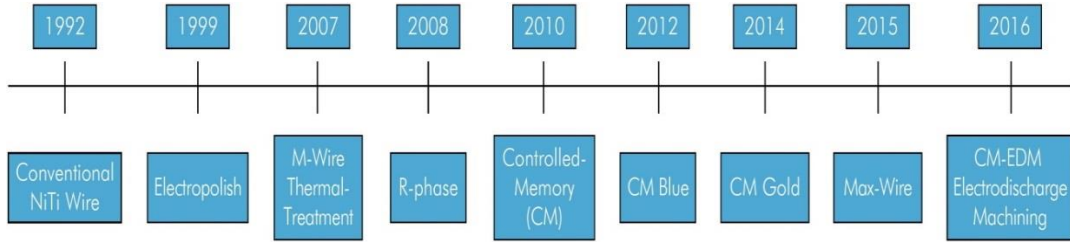
1. Jenerasyon Ni-Ti Döner Eğe Sistemleri: Dr. John McSpadden tarafından 1992 yılında tasarlanan Ni-Ti eğeleri ilk olarak 0.02 koniklik açısına sahiptir. Birinci nesil Ni-Ti eğelerin en önemli özelliği, pasif kesme radyal alanlarının olması ve tüm çalışma uzunlukları boyunca sabit 0.04-0.06 koniklik açısına sahip olmasıdır. Bu kategorideki başlıca önemli Ni-Ti eğeler LightSpeed Endodontics (1992), Profile-Dentsply (1993) ve GT system-Dentsply (1998) 'dir (26, 32).
2. Jenerasyon Ni-Ti Döner Eğe Sistemleri: 2001 yılında piyasaya sürülen ikinci jenerasyon Ni-Ti döner eğeler daha yüksek kesme verimliliğine ve aktif kesme kenarlarına sahipti. Bu nedenle kök kanal şekillendirmesi için gereken alet sayısı önceki nesle kıyasla neredeyse daha azdı. Bu jenerasyondaki dikkate değer sistemler ProTaper Dentsply, I Race ve I Race Plus-FKG Dentaire'dir (33). Bazı araştırmacılar aksini söylese de çalışmalar bu sistemlerin hızlı preparasyon etkinliği ve aynı zamanda kıvrımlı ve kalsifiye olmuş zorlu vakalarda bile orijinal kanal şeklini koruduğunu onaylamıştır (34, 35).
3. Jenerasyon Ni-Ti Döner Eğe Sistemleri: 2007 yılının sonlarında Ni-Ti döner eğelerin eğimli kök kanallarında güvenilirliğini artırmak için üreticiler; Ni-Ti alaşımlarına ısıtma ve soğutma teknolojilerini uygulamaya başladılar (33). Bu işlemle eğelerin döngüsel yorgunluğunun ve ayrılma riskinin azalması sağlanmıştır. M-wire ve R-fazı teknolojileri ve elektrik deşarj

yöntemlerinin uygulanması ile yüksek şekil hafızası ve düşük ayrılma riski olan aletler üretilmiştir (36, 37, 38). K3 XF Files-SybronEndo, Profile GTX Series-Dentsply, HyFlex CM Coltene bu jenerasyonda üretilen eğelerdendir (33).

4. Jenerasyon Ni-Ti Döner Ege Sistemleri: Tam tur dönüş yerine, saat yönünde ve saat yönünün tersine dönme derecelerinin oldukça eşit olduğu hareketlere yani resiprokasyon hareketine sahiptir. Kanal preparasyonunda kapsamlı bir temizleme ve şekillendirme hedeflerine ulaşmak için tek bir ege tekniğinin kullanılması, kök kanal sistemlerinin temizlenmesi ve şekillendirilmesindeki resiprokasyon hareketinin bir başka başarısıdır (33). Tek eğeli resiprok hareketi yapan Wave One ve rotasyon hareketi yapan One Shape sistemleri kök kanalındaki bakteri sayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu sistemler arasında bakteri sayısını azaltma yetenekleri bakımından önemli bir fark bulunamamıştır. Wave One-Dentsply, (SAF) ReDent Nova ve Reciproc-VDW, dördüncü jenerasyon öne çıkan eğeleridir (26, 39, 40).
5. Jenerasyon Ni-Ti Döner Ege Sistemleri: Bu nesil de, dönme merkezi veya kütle merkezi dengelenecek şekilde tasarlanarak kanal şekillendirmenin etkinliği artırılmıştır. Ofset tasarımı eğeler, Ni-Ti eğesinin tüm uzunluğu boyunca dağılan mekanik bir hareket dalgası oluşturur. Bu da merkezlenmiş bir kütle döner alete kıyasla debrisin kaldırılmasını ve kesme işlevini iyileştirir. Ayrıca, bu ofset tasarımı, aletin ayrılmasına neden olan konik kilidi veya vidalama etkisini azaltır.

Revo-S-Micro-Mega, ProTaper Next-Dentsply ve One Shape Micro-Mega beşinci jenerasyonun önemli eğelerindendir (41).

3.5.2. Nikel-Titanyum Alaşım İşlemleri



Şekil 2. Ni-Ti Alaşım İşlemlerinin Gelişimi (42)

3.5.3. Geleneksel (İşlenmemiş) Nikel-Titanyum Eğeler

- **McSpadden (1992):** Halen ISO standardı 0.02 konikliğe sahip olan ilk Ni-Ti döner aletler, Dr. John McSpadden tarafından tasarlanıp 1992 yılında piyasaya sürüldü (42).
- **ProFile (1994):** 0,04 ve 0,06 konikliğe sahip eğeler Dr. Johnson tarafından tanıtılmıştır. Paslanmaz çelikten yapılan Canal Master U Sistemine benzer bir radyal alan ile U şeklinde bir enine kesite sahiptir (42).
- **Lightspeed:** Dr Steve Senia ve Dr. William Wildey tarafından tasarlanan LightSpeed Ni-Ti döner ege sistemi kesmeyen bir kılavuz uca, kısa kesme uzunluğuna ve uzun, esnek bir şafta sahiptir. Bu da apikal bölgesinde fazla preparasyon yapmadan tek başına kanalın koronal ve orta üçlüsünde şekillendirilmesine olanak tanır (42).
- **Quantec Ni-Ti:** Dr. John McSpadden tarafından farklı boyutlarda, çaplarda ve taperda 10 egeden oluşan Quantec Ni-Ti döner ege sistemi 1990'ların sonlarında tanıtılmıştır (42).

- **K3 (2011):** Quantec Ni-Ti döner sisteminin geliştirilmiş halidir. Bu sistem üç kesici yive, pozitif rake açısına, asimetrik radyal alana ve mükemmel kesme kapasitesine sahiptir (43).
- **ProTaper (2001):** Aynı eğenin kesme yivleri boyunca değişen ve aşamalı taper içeren yeni bir eğe tasarımı olan bu sistem 2001 yılında tanıtıldı. ProTaper sistemi dışbükey üçgen bir enine kesite sahiptir. Kök kanal preparasyonu sırasında eğenin kanalın belirli bir alanında çalışmasını ve dentin duvarlarıyla eğe temasını azaltarak eğe üzerindeki baskının azalmasını sağlamaktadır (44).
- **ProTaper Universal (2006):** ProTaper Universal 2006 yılında, ProTaper sisteminin özelliklerini iyileştirmek amacıyla, yeni hazırlık eğeleri eklenerek ve bazı aletlerin enine kesitini değiştirerek geliştirildi ve yeni bir sistem olarak ortaya çıktı. Bu değişiklikler, esnekliği artırmayı ve sonuç olarak alet kırıklarını azaltmayı amaçlamıştır (45, 46).
- **Mtwo:** Mtwo sistemi (VDW, Münih, Almanya), en başından itibaren krondan apekse kadar tüm çalışma uzunluğunun hazırlanmasına izin verir. Bu özelliğiyle çoğu sistemden farklıdır. Her eğe bir sonrakine gereksiz dış maddesi kaybı olmadan bir kayma yolu oluşturur. S şeklinde bir enine kesit tasarımına sahiptir (47). Keskin kenarlar, eğenin uç kısmında birbirine daha yakın olarak tasarlanmıştır. Böylece apikal bölgede daha hassas bir preparasyon sağlar. Servikal üçte birlik kısımda daha verimli bir kesim sağlanır ve debris birikimi azalır (48, 49).

- **Hero 642:** HERO 642® döner sistem, kesmeyen bir uca ve üç kesici kenara sahiptir. Alet setinde 0.02, 0.04 ve 0.06 taperları içerir ve aletlerin boyutları # 20 ile # 45 arasındadır (50).
- **Hero Shaper:** HERO Shaper® üçlü sarmal kesitine, pozitif bir kesme açısına ve eğenin kanal anatomisini takip etmesi için kesmeyen bir uca sahiptir. Eğenin kesici kısmının değişen uzunluğu ve sarmal aralığı vardır. 300 ila 600 rpm arasında bir dönüş hızında kullanılır (48).

3.5.4. Elektropolisaj Uygulanmış Nikel-Titanyum Eğeler

Elektropolisaj (elektrokimyasal yüzey işleme) yüzey işlemi Ni-Ti aletlerin kesme verimliliğini artırmayı, üretim sürecinde kusurları azaltmayı ve böylece döngüsel yorgunluk direncini artırmayı sağlar (51).

- **BioRace (2012):** Race eğeleri, kesici kenarlara ve üçgen bir enine kesite sahiptir. Üreticiye göre, bu eğeler ilerleme hızını ve kök kanalı içindeki vidalama etkisini azaltacak şekilde tasarlanmıştır (34). Bu sistemin temel amacı, daha büyük apikal çaplara sahip bir kanal hazırlığı elde etmektir. Bu da kimyasal irrigantın daha fazla nüfuz etmesini ve daha fazla mikrobiyal azalmayı sağlar (52-54).
- **BT-Race (2014):** Bu eğeler, 0.17 mm uzunluğa kadar azaltılmış bir çapa ve kesmeyen özel bir uca sahiptir. Üreticiye göre bu uç, aletin kök kanalının orijinal eğimini korumasını ve apikale ilerlemesini kolaylaştırmayı sağlar (42).
- **EndoSequence (2009):** Bu eğeler üçgen kesite sahiptir ve tasarımı farklı olarak ‘alternatif temas noktası’ geometrisi içerir. Alternatif temas noktası

tasarımının cihazın kanalda ortalanmasını sağladığı ve böylece apikal transportasyonu önlediği belirtilmektedir (55).

- **OneShape (2011):** OneShape sistemi, 2011'de piyasaya sürüldü. Merkezi dönme hareketine ve yenilikçi bir tek eğe ile kanal hazırlama sistemine sahiptir. Kırılmalara karşı daha dirençli hale getirmek için asimetrik kenar tasarımı ve elektrolitik yüzey işlemi uygulanmıştır. Şaftın tepesine yakın daha dikdörtgen veya “S” şeklini alan ve ucunda daha üçgen hale gelen temelde değişken bir kesite sahiptir. Taper ilk 5 mm'de 0.06'dır, kalan kısımda ise neredeyse hiç taper yoktur (42).

3.5.5. M-Wire Isıl İşlem Uygulanmış Nikel-Titanyum Eğeler

M-Wire alaşımı 2007 yılında tanıtılmıştır. Ni-Ti alaşımına bir dizi ısıl iyileştirme işlemi uygulanarak üretilmiştir. Hem martensit hem R faz içerir (42). Geleneksel Ni-Ti alaşımlarından üretilen aletlerle karşılaştırıldığında, M-Wire alaşımından yapılan aletlerin döngüsel yorulma direnci daha yüksektir ve geliştirilmiş mekanik özelliklere sahiptir (45, 56-58).

- **ProTaper Next (PTX) (2013):** M-Wire alaşımından üretilen bu eğe, kendine özgü asimetrik dikdörtgen şeklinde kesite sahiptir. Bu tasarım, aletin apikal ilerlemesi sırasında kanal duvarına yalnızca iki kesici kenarın temas ederek yılan benzeri ‘kıvrılma’ şeklinde bir dönme hareketiyle ilerlemesini sağlamaktadır (42). Ek olarak eğeler üstün esnekliğe ve yorulma direncine sahiptir (59). ProTaper Universal sistemi ile karşılaştırıldığında kesme etkinliği daha fazladır ve preparasyon süresi daha kısadır (59).

- **ProFile Vortex (2009):** Pofile Vortex geleneksel ProFile serisinin bir önceki modelden daha yüksek yorulma direncine sahip bir modifikasyonudur (60, 61). Profile Vortex sistemi 500 rpm'ye kadar çalıştırılabilir ve bu artan çalışma hızı eğenin geometrisi ile birlikte aletlerin kesme verimliliğini artırmaktadır (62, 63).
- **WaveOne (2011):** WaveOne Ni-Ti eğesi, kök kanalı preparasyonu için tek kullanımlık, tek eğeli bir sistemdir (64). Bu eğe sistemi, kök kanalını şekillendirmek için başlangıçta saat yönünün tersine (170°) ve vidalanmayı önlemek için saat yönünde (50°) dönerek resiprokasyon hareketiyle çalışır (42). Döngüsel yorgunluğa karşı mukavemeti ve direnci fazla olması için M-Wire teknolojisi ile üretilmiştir (57).
- **Reciproc (2011):** M-Wire alaşımından üretilen bu eğe sistemi, kök kanalını şekillendirmek için başlangıçta saat yönünün tersine (150°) ve vidalanmayı önlemek için saat yönünde (30°) dönerek resiprokasyon hareketiyle çalışır (42). Reciproc, tüm uzunluğu boyunca iki kesme bıçağına ve S şeklinde bir kesite sahiptir (65).
- **ProGlider (2014):** Esnekliği ve döngüsel yorgunluk direncini artırmak için M-Wire NiTi alaşımı kullanılarak üretilmiştir. ProGlider Ni-Ti döner aletler, değişken kademeli tapera sahip tek bir eğeden oluşur (66).

3.5.6. R Faz Teknoloji İle Üretilen Nikel-Titanyum Eğeler

R fazı ısıtma ile martensitten ostenite, soğutma ile ostenitten martensite dönüşebilen ara geçiş fazıdır (67). Dayanıklılığı ve esnekliği artırmak için alaşımın kristal yapısında ek bir faz değişikliği oluşturulur (68).

- **Twisted File (2008):** Sybron Endo tarafından üretilen Twisted File sistemi, R-fazı işleminin yanı sıra, plastik deformasyonla üretilen ilk Ni-Ti eğedir (69).
- **Twisted File Adaptive:** Twisted File Adaptive rotasyon ve resiprokasyon hareketinin birleşimini kullanan yeni bir eğe sistemidir. Bu eğe sistemi, minimum strese maruz kaldığında sürekli rotasyon hareketi yapar. Dentin ile teması arttığında veya fazla strese maruz kaldığında resiprokasyon hareketi yapar (70).
- **K3XF (2011):** K3XF, geleneksel işlemle üretilen K3 eğelerine kıyasla daha iyi mekanik özellikler göstermiştir (71, 72).

3.5.7. Control Memory – Cm (2010) Nikel-Titanyum Eğeler

Nitinol SE508'in işlenmesinden sonra, bir ısıtma ve soğutma işlemi, alaşıma şekil-hafıza etkisi üzerinde kontrol özelliği sağlamıştır. Bu özellik de eğelere ön büküm verilmesine izin vermiştir (42). Geleneksel süper elastik (SE) alaşımlar %54 ile %57 arasında nikel içerirken bu eğeler daha az nikel (%52) içerir ve bu da alaşımanın mekanik özelliklerini geliştirir (42).

- **HyFlex CM (2011):** Hyflex CM eğeleri, termomekanik işleme tabi tutulmuş olan yeni bir Ni-Ti tel türünden yapılmıştır (73). Şekil hafızası özelliği yoktur. Döngüsel yorgunluğu azaltmak için ısıtma ve soğutma işlemleri uygulanır (74). Bu eğelerin tasarımında 3 kesici kenarlı simetrik bir kesiti vardır (75).
- **Typhoon (2011):** Typhoon eğeleri neredeyse hiç şekil hafızası olmayan, üçgen kesit tasarımı ve değişken sarmal açığına sahip eğelerdir (76).

- **ProDesign Logic (2014):** Şekillendirme eğelerini ve kayma yolu eğelerini birlikte kullanmayı amaçlayan tek eğe sistemidir. Rotasyon hareketi yapar. S şeklinde bir enine kesite, kesmeyen bir uca ve iki kesme kenarlı değişken sarmal açılara sahiptir (42).
- **ProDesign Logic R (2014):** ProDesign R, resiprokasyon hareketi yapar. S şeklinde bir enine kesite, kesmeyen bir uca ve iki kesme kenarı olan değişken sarmal açılara sahiptir (42).

3.5.8. Cm-Blue Nikel-Titanyum Eğeler

Bu eğelerin üretimi metalin direncini artırmak için tekrar tekrar ısıtılıp soğutulularak 60-80 nm kalınlığında titanyum oksit tabakası ile kaplanmasıyla elde edilir ve kendine özgü mavi renktedirler (42).

- **Vortex Blue (2012):** Vortex Blue eğelerinin ProFile Vortex M-Wire'a kıyasla yorulma direncini ve esnekliği artıran gelişmiş malzeme özelliklerine sahip olduğu bildirilmiştir (77).
- **Reciproc Blue (2016):** Reciproc Blue S şeklinde bir kesite, 2 kesme kenarına ve bir kesmeyen uca sahip yeni nesil tek eğeli bir sistemdir. Resiprokasyon hareketi yapar (78).
- **R-Pilot (2017):** R-Pilot eğe M-Wire alaşımından ve termomekanik işleme sürecinden geçerek yapılmıştır. Kök kanal sisteminde bir kayma yolu hazırlar. S şeklinde bir kesite, 0,125 mm uç çapına ve sabit %4 tapera sahiptir. Resiprokasyon hareketi yapan ilk Ni-Ti kayma yolu eğesidir (79).
- **Sequence:** Tüm eğelerin kesmeyen bir ucu ve üçgen kesiti vardır. 0.4 ve 0.6 mm taperlı ve #15, #20, #25 ve #35 çaplarına sahip dört eğeden oluşur (42).

3.5.9. Cm-Gold Nikel-Titanyum Eğeler

- **Protaper Gold (2013):** Protaper Gold eğeleri dışbükey üçgen bir enine kesite ve aşamalı tapera sahiptir. Bu tasarım kanalın apikal bölgesindeki zorlu eğimlerde ilerlemesini sağlar. Ayrıca eğe, dişlere daha kolay ulaşabilmek için daha kısa shaft özelliğine sahiptir (80).
- **WaveOne Gold (2015):** WaveOne Gold altın renginde resiprokasyon hareketiyle kullanılan tek eğeli bir sistemdir. Ege boyunca, konuma bağlı olarak bir veya iki kesme kenarlı benzersiz bir paralelkenar şeklinde kesit tasarımı vardır. Bu tasarım torku önemli ölçüde azaltır, kesme verimliliği üzerindeki vidalama etkisini en aza düşürür ve debrislerin daha iyi uzaklaştırılmasına izin verir (80).

3.5.10. Max-Wire Nikel-Titanyum Eğeler

MaxWire (Martensit-Östenit Elektropolisaj-Flex, FKG olarak bilinen) XP-endo ailesindeki eğelerin üretimi için kullanılan özel bir Ni-Ti alaşımıdır. XP-endo eğeleri, çalışma uzunluğu boyunca ilerlerken daralarak veya genişleyerek kök kanal sisteminin morfolojisine uyum sağlar (42).

XP-Endo ailesi

- **XP-Endo Shaper (XP-S):** Kök kanallarını şekillendirmek için tasarlanan bu eğe 35 °C'de veya daha yüksek sıcaklıklarda genişlediğinden yarım daire şeklini alarak eksantrik bir dönme hareketi yapar. Bu eğe oda sıcaklığında, martensitik fazdadır; kanala yerleştirildiğinde, ostenitik fazın moleküler hafızasına bağlı olarak şekil değiştirir.

Uç kısmında 6 keskin kenar ve başlangıç çapı ISO 15 olan, kademeli olarak apikal çapı ISO 30 boyutuna yükselen, 0.01 tapera sahip bir eğedir (42).

- **XP-Endo Finisher (XP-F):** Bu eğe ISO 25 çapına ve sıfır tapera sahiptir. Kimyasal ve mekanik hazırlık bitiminde kök kanal duvarlarının ulaşılması zor bölgelerine dokunarak, dentini ve kanalın iç anatomisini koruyarak kanalın tamamlayıcı temizliğini sağlamak amacıyla kullanılır (42).
- **XP-Endo Finisher Retreatment (XP-R):** Kök kanal tedavisi yenilenmesinde kullanılan bu eğe sıfır tapera sahiptir. Vücut sıcaklığında morfolojik değişikliklere uğrar, erişimini artırmak için eğenin aktif ucunda kaşık benzeri bir şekil oluşur (81).

3.5.11. Cm-Edm Nikel-Titanyum Eğeler

Elektro-deşarj işleme (EDM) sürecinde metal yüzeyi eritilir ve kısmi olarak buharlaştırılır (82). Daha sonra 300-600 °C de 10 dk-5 saat arası ısıtılma işlemi uygulanır. Daha sonra asit banyosunda ultrasonik temizleme yapılır (83). Bu şekilde döngüsel yorgunluk ve kırılma direnci % 700 artırılmış olur (84, 85).

- **HyFlex EDM (2016):** Hyflex EDM sistemi kesme yüzeyi boyunca farklı kesitlere sahiptir. Şaftın yakınında, enine kesit üçgen şeklindedir ve daha iyi kesme verimliliği sağlar. Orta kısımda yamuk şeklindedir, daha fazla direnç ve daha fazla debris uzaklaştırmayı sağlar. Uç kısmı dörtgendir. Aletin penetrasyonunu kolaylaştırır ve kırılma riskini azaltır (42).

3.6. Eğeler Üzerindeki Kimyasal, Biyolojik ve Fiziksel Etkiler

3.6.1. Korozyon

Endodontik eğelerde kemomekanik hazırlık, temizlik prosedürleri, kimyasal dezenfeksiyon veya sterilizasyon sırasında korozyon oluşabilir (86, 87). Malzeme yüzeyinde çatlakların başlamasıyla eğelerin yorulma süreci başlar. Çevre koşulları hem çatlak başlatma hem de yayılma süreçlerini değiştirebilir. Kök kanal aletlerinin korozyona karşı direnci klinik davranışlarını etkileyebilir. Çukurlaşma veya çatlak korozyonu eğenin yorgunluk sebebiyle kırılmasına neden olabilir (88).

3.6.2. Sterilizasyon

Üretiminde termal işlemler uygulanan Ni-Ti eğelerin, sterilizasyon prosedürleri sırasında kullanılan ısı, eğelerin mekanik özelliklerini etkileyebilir (89). Yapılan bazı araştırmalarda, otoklav sterilizasyonunun Ni-Ti döner eğelerinin yüzey pürüzlülüğünü artırdığını ve bu artışın Ni-Ti döner eğelerinin mekanik özelliklerini etkilediği sonucuna varılmıştır (90, 91).

3.7. Nikel-Titanyum Eğelerin Kırılma Nedenleri

Ni - Ti eğelerinin beklenmedik şekilde daha önce herhangi bir kalıcı kusur veya deformasyon gibi görünür bir uyarı olmaksızın kırılabilecekleri hekimler tarafından yaşanan yaygın bir deneyimdir (92, 93).

Ni-Ti döner alet kırıklarının etkileyen unsurlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (94, 95):

- Hekimin beceri ve deneyimi
- Kök kanal anatomisi ve şekillendirme tekniği
- Kanal aletinin metalürjik veya mekanik özellikleri

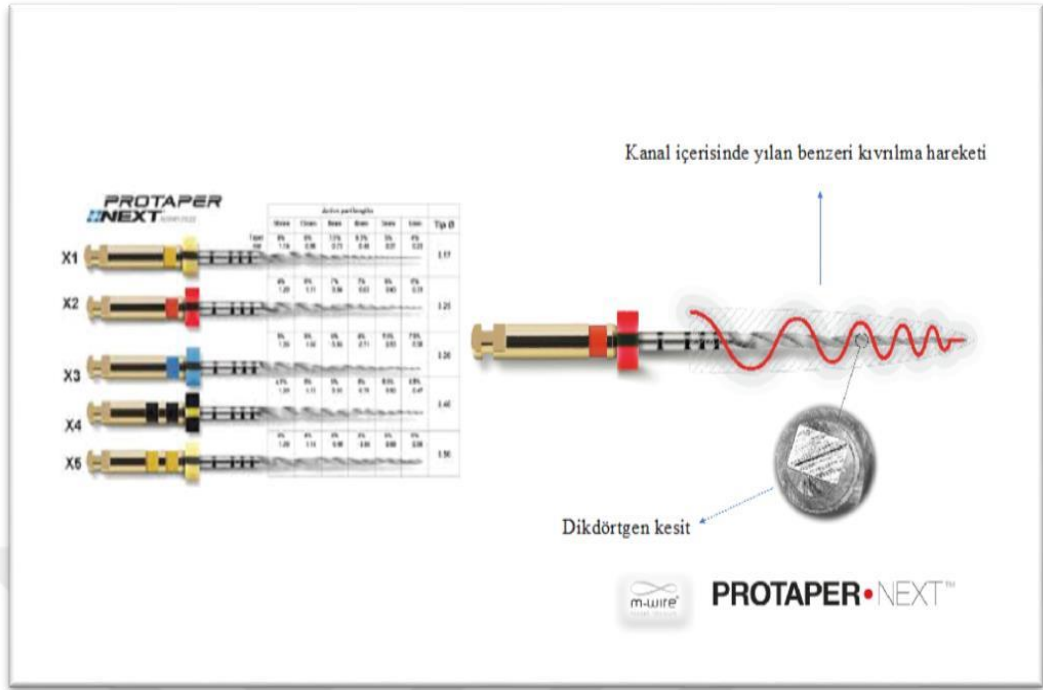
- Kanal aletinin şekil dizaynı ve kullanım sayısı
- Alaşımın üretim süreci
- Sterilizasyon döngülerinin sayısı

3.8. Çalışmada Kullanılan Nikel-Titanyum Eğeler

3.8.1. Protaper NEXT

M-Wire Ni-Ti alaşımdan üretilen PTX (Dentsply Maillefer, Ballaigus, İsviçre) eğeleri değişken taperlı ve merkezden uzak dikdörtgen bir kesit ile tasarlanmıştır. Bu M-Wire alaşım eğelerin esnekliğinin artmasını ve aletlerin döngüsel yorgunluğuna karşı daha fazla direnç göstermesini sağlar. PTX sistemi ProTaper Universal'a kıyasla kök kanallarının tamamen hazırlanmasını daha az sayıda eğe kullanarak tamamlar (96).

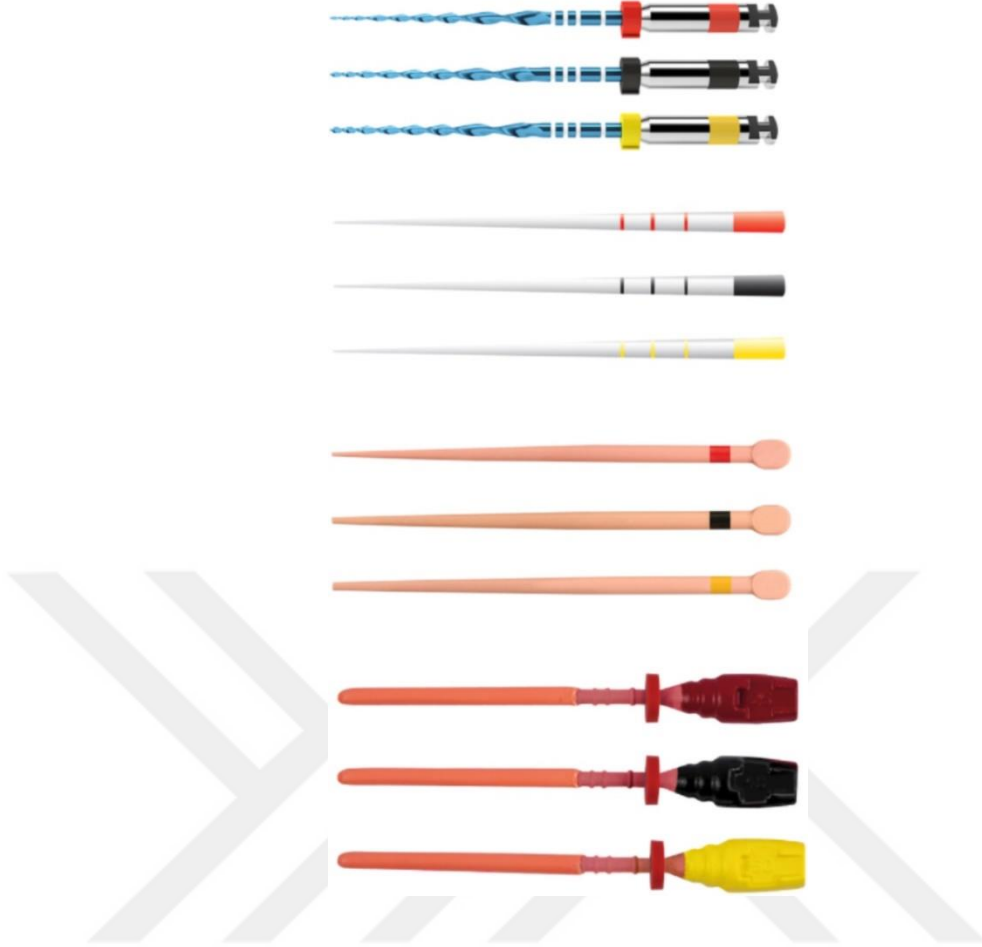
PTX'in merkez dışı dikdörtgen bir tasarıma sahip olması, dentin ile eğe arasındaki teması en aza indirir. Bu da herhangi bir eğe üzerindeki vida etkisini ve tehlikeli konik kilit etkisini azaltır (97). PTX'in X1- 17/.04, X2- 25/.06, X3- 30/.07, X4- 40/.06 ve X5- 50/.06 olmak üzere farklı taperlarda ve apikal genişlikte beş farklı boyuta sahiptir. 21 mm, 25 mm ve 31 mm olmak üzere üç farklı uzunluğa sahiptir. Üretici firmanın da önerisine göre kök kanal preparasyonu yapılırken 300 rpm hızla ve 200 g/cm torkla rotasyon hareketiyle kullanılır (98).



Şekil 3. ProTaper Next Eğe Sistemi (17)

3.8.2. Reciproc Blue (VDW GmbH, Munich, Germany)

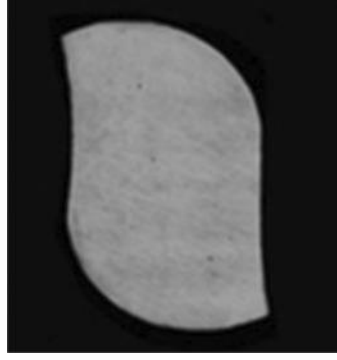
Reciproc® sisteminin geliştirilmiş hali olan Reciproc® Blue (VDW GmbH, Münih, Almanya) ısıtılmış işlem görmüş bir nikel-titanyum alaşımdır (99). Reciproc® Blue sistemi, orijinal Reciproc® serisinde olduğu gibi 3 boyuta sahiptir: Reciproc® Blue 25, Reciproc® Blue 40 ve Reciproc® Blue 50, eşleşen paper pointler, eşleşen gutaperka konileri ve eşleşen gutta-perka obturatörleridir. (GuttaFusion®) (99).



Şekil 4. Reciproc Blue Eğe Sistemi ve Eşleşen Paper Pointler, Güta-Perka Konileri ve Güta Fusion Obturatörleri (yukarıdan aşağıya) (99).

Reciproc Blue 25 uç kısmında 0,25 mm çapa ve uçtan itibaren ilk 3 mm üzerinde % 8 konikliğe sahiptir. Reciproc Blue 40, uç kısmında 0.40 mm çapa ve uçtan ilk 3 mm üzerinde % 6 konikliğe sahiptir. Reciproc Blue 50, uç kısmında 0,50 mm'lik bir çapa ve uçtan itibaren ilk 3 mm'de % 5'lik bir konikliğe sahiptir (100).

Reciproc Blue enstrümanları iki kesme kenarına, S şeklinde bir kesite ve bir kesmeyen uca sahiptir (78).



Şekil 5. Reciproc Blue Eğelerinin S Şekilli Kesiti (99)

Reciproc Blue, özel bir ısıtıl işleminden geçirilir ve yüzeyinde ince mavi bir titanyum oksit tabakası oluşur. Bu ısıtıl işlem Reciproc Blue eğe sisteminin orijinal Reciproc eğe sistemine göre döngüsel yorgunluğa karşı daha fazla direnç ve esnekliğe sahip olmasını sağlar (100, 101).

Reciproc Blue eğe sistemi, Reciproc eğelerine kıyasla metal yorgunluğunun birikmesine daha fazla direnç göstermiştir (100). Reciproc Blue eğeleri gelişmiş fiziksel özellikleri sayesinde kanal tedavisi sırasında kırılmalara karşı daha güvenlidir ve kanalın orijinal şeklinin korunmasını sağlar (100).

Reciproc Blue eğeleri, R fazı ve östenit faz karışımından oluşur. Karşılaştırmalı bir çalışmada Reciproc Blue eğe sistemi, burulma kırılmasından önce daha yüksek açısal sapmayı destekleyebildiğinden, geleneksel Reciproc sistemine göre daha güvenli, tek eğeli bir kanal hazırlama sistemidir (102).

3.9. Kök Kanallarının İrrigasyonu

Endodontik tedavinin amacı, kök kanal sisteminin mekanik ve kimyasal temizliği ile kök kanal sistemini tüm canlı ve nekrotik dokulardan, mikroorganizmalardan ve yan ürünlerinden temizlemektir (105). Başarılı kök kanal tedavisinin önemli bir parçası olan irrigasyon, birçok önemli mekanik, kimyasal ve

biyolojik işlevi yerine getirdiğinden vazgeçilmezdir. Ayrıca kök kanal sisteminde mekanik aletlerin ulaşamadığı alanlara ulaşmanın tek yolu da irrigasyondur (103).

Kök kanal sisteminin son derece karmaşık ve değişken olan anatomisi nedeniyle etkili bir temizlik ve dezenfeksiyon her zaman sağlanamaz. Kök kanal preparasyonu genellikle sürekli irrigasyon altında, el aletleri ve döner sistemlerle yapılır (104). Mikro bilgisayarlı tomografi görüntüleri üzerinde yapılan bir çalışmada kök kanal yüzeyinin (istmus dahil) %35 veya daha fazlasına dokunulmadığı tespit edilmiştir. Peters ve ark. yaptığı çalışmada da kök kanallarının tam dezenfeksiyonu için irrigasyonun önemi vurgulanmıştır (105). Tek bir irrigasyon çözeltisi istenen etkilere sahip olmadığından, güvenli ve etkili irrigasyon için iki veya daha fazla çözelti birlikte kullanılmalıdır (106).

İdeal irrigasyon solüsyonlarının özellikleri (106):

- Bakterisidal, fungisidal ve antiseptik etkilerle birlikte eğerlerin kanalda kolay ilerlemesi için lubrikasyon özellikleri olmalı.
- Organik ve inorganik dış dokularını çözebilmeli ve smear tabakasını tamamen çıkarabilmeli.
- Periapikal dokuları tahriş etmemeli. Ayrıca dış dokularını zayıflatmamalı ve lekelenme yapmamalı.
- Antibakteriyel aktivitesi uzun süreli ve sürdürülebilir olmalı. Ayrıca hücre aracılı bir bağışıklık yanıtı oluşturmamalı.
- Kan, serum ve doku protein ürünlerinin bulunduğu bir ortamda etkinlik gösterebilmeli ve periapikal doku iyileşmesini engellememeli.
- Düşük yüzey gerilimine sahip olmalı, dentin ve dentin tübüllerinin dezenfeksiyonunu sağlamalı.

- Dişin periferik doku hücreleri üzerinde toksik, antijenik veya kanserojen etkisi olmamalı.
- Dolgu maddelerinin sızdırmazlık özellikleri üzerinde olumsuz etkisi olmamalı.
- Kolay uygulanmalı, maliyeti düşük ve kullanım süresi uzun olmalı.

3.9.1. İrrigasyon Solüsyonları

Sodyum Hipoklorit

Tıp ve diş hekimliğinde Sodyum Hipoklorit (NaOCl) geçmişte olduğu gibi günümüzde de popülerliğini sürdürmektedir (107).

NaOCl, diğer irrigasyon solüsyonları ile kıyaslandığında en gerekli özelliklere sahip olduğundan en yaygın kullanılan irrigasyon solüsyonudur (106). Sodyum hipoklorit organik dokuları çözücü özelliği yanında geniş spektrumlu ve nonspesifik olarak bütün mikroorganizmaları yok edebilir. Kök kanal preparasyonunda NaOCl tamponsuz olarak pH:11'de %0.5 ile %5.25 konsantrasyon aralığında ve bikarbonatla tamponlu olanlar ise pH:9'da %0.5 veya %1'lik konsantrasyonlarda kullanılmaktadır (108).

Klorheksidin (CHX)

CHX, pozitif yüklü bakterilerin hücre içine girebilen hidrofobik ve lipofilik bir moleküldür (108). CHX, güçlü bir antiseptik olarak ağız içindeki plağın kimyasal kontrolü için yaygın olarak kullanılır. Ağız içi gargara olarak % 0,1-0,2'lik konsantrasyon kullanılır. Kök kanal tedavisinde irrigasyon solüsyonu olarak % 2'lik konsantrasyon kullanılır (109). CHX, C.albicans a karşı etkilidir ve düşük

konsantrasyonlarda bakteriyostatik ve yüksek konsantrasyonlarda bakterisidal etkisi olan geniş spektrumlu bir antibakteriyeldir (110, 111).

Klorheksidin biyouyumludur. Kök kanal tedavilerinde kullanıldığında meydana gelen herhangi bir yan etkisi yayınlanmamıştır (112).

Tetrasiklin Sitrik Asit ve Deterjan Karışımı (MTAD)

Torabinejad kök kanal tedavisinde smear tabakasının kaldırılmasında EDTA'ya alternatif olarak %4.25 sitrik asit, %3 doksisisiklin ve deterjan (Tween-80) karışımını tanıtmıştır. Bu karışım PH'ı 7, biyouyumlu, antimikrobiyal ve şelatör özellikler gösteren bir solüsyondur (108). MTAD organik doku çözücü özelliği olmadığından NaOCl ile birlikte kullanılmalıdır (113).

MTAD solüsyonunun Enterococcus faecalis biyofilmine gösterdiği bakterisidal etki NaOCl'ye göre daha azdır. MTAD çözeltisindeki sitrik asit, smear tabakasının çıkarılmasını sağlarken doksisisiklinin dentin tübüllerine girmesini ve antibakteriyel etki göstermesini sağlar (114).

MTAD solüsyonunun AH Plus ve güta perka ile doldurulacak bir kanalda, son irrigsyon solüsyonu olarak kullanılması EDTA kullanımına göre bağlanma kuvvetini önemli derecede azaltır (115).

Etilen Diamin Tetraasetik Asit (EDTA)

Kök kanal sisteminin tamamen temizlenmesi amacıyla organik çözücü olan NaOCl ile birlikte smear tabakasını ve birikintileri uzaklaştırmak için EDTA ve sitrik asit gibi demineralize edici ajanların kullanılması önerilir (106). 1957'de Nygaard-Ostby, kalsifiye ve dar kök kanallarının şekillendirilmesini kolaylaştırmak için şelatlama ajanlarının kullanılmasını önermiştir. İlk önerilen EDTA çözeltisinin pH değeri 7,3 ve konsantrasyonu %15 idi (116, 117).

Yaygın olarak %17 nötrleştirilmiş bir çözelti olarak kullanılan EDTA, dentindeki kalsiyum iyonlarıyla reaksiyona girerek çözünür. Kalsiyum şelatları oluşturur. Ancak dekalsifikasyona yeterince hızlı tepki veremediği için kendi kendini sınırlar (118).

Kök kanal tedavisinde %17'lik EDTA'nın 1 dk. süreyle ultrasonik ile aktive edilerek uygulanması özellikle kökün apikal üçte birlik kısmında ki smear tabakasının uzaklaştırılmasında oldukça etkilidir (119).

Sitrik Asit (CA)

Kök kanal tedavisinde %10'luk CA irrigasyon çözeltisinin smear tabakasının kaldırılmasında çok iyi sonuçlar verdiği ve %17'lik EDTA ile %10'luk sitrik asitin dekalsifiye edici aktivitesi konusunda çok fazla bir fark bulunmadığı gösterilmiştir (120, 121).

In vitro çalışmalar %10'luk CA çözeltisinin, %17'lik EDTA çözeltisine kıyasla daha biyouyumlu olduğunu bildirmiştir (122). Bir çalışmada %25'lik CA çözeltisinin Enterococcus faecalis biofilmleri üzerine 1, 5 ve 10 dakikalık uygulama sonucu biofilmleri yok edemediği gösterilmiştir (123).

Maleik Asit

Maleik asit adeziv diş hekimliğinde kullanılan organik bir asittir. Smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırmak için %5 ve %7'lik konsantrasyonlarda kullanılır (108). Maleik asit ve EDTA kanalın orta ve koronal üçlüsünde aynı etkiyi gösterirken, apikal üçlüde maleik asit smear tabakasını daha etkili bir şekilde uzaklaştırmıştır ve maleik asitin daha az sitotoksik olduğu bulunmuştur (124, 125).

Q-Mix 2in1

QMIX 2011 yılında EDTA, CHX ve deterjandan oluşan, berrak ve kullanıma hazır bir solüsyon olarak ortaya çıkmıştır. QMix irrigasyon solüsyonunun amacı hem smear tabakasını uzaklaştırmak hem de antimikrobiyal etki göstermektir. Kök kanal tedavisinde son yıkama solüsyonu olarak kullanılır (108, 111, 126).

Tetraclean

Tetraclean antibiyotik (Doksisiklin 50 mg/ml), sitrik asit ve deterjan (polypropyleneglycol) karışımı bir irrigasyon solüsyonudur. Tetraclean MTAD'den farkı antibiyotiğin konsantrasyonu ve deterjanın tipidir (127).

Hidrojen Peroksit

Hidrojen Peroksitin uzun süredir irrigasyon solüsyonu olarak kullanılması tavsiye edilmemektedir. Ancak %3 ve %5'lik konsantrasyonları irrigasyon solüsyonu olarak uzun süre kullanılmıştır ve hala bazı ülkelerde yaygın olmasa da kullanılmaktadır. Serbest hidroksi radikalleri sayesinde DNA'ları ve proteinleri parçalayarak bakteri, virüs ve mantarlara karşı etkilidir. Doku çözme kapasitesi ve antibakteriyel etkisi zayıftır (111).

Yeşil Çay

Yeşil çay bitki özlerinden elde edilen doğal, sentetik kimyasallara alternatif olarak kullanılmaktadır. Yeşil çay Streptococcus Mutans'a karşı etkilidir ve geniş spektrumlu bir antibakteriyel ajandır. Ayrıca dental plak bakterilerinin ürettiği asitin inhibisyonunu sağlar (111).

Etidronik Asit

Etidronik asit (HEBP), 1-hidroksietiliden-1 veya 1 bifosfonat olarak da bilinen biyoyumlu bir şelatördür. Etidronik asit ve sodyum hipoklorit birlikte kullanıldığında her iki bileşiğin de özelliklerin de bozulma olmadığı için preparasyon sırasında kombine şeklinde kullanılabilir ve böylece oluşan smear tabakası preparasyon boyunca temizlenir (128).

BioAKT

Sitrik asit (%4,846) içinde elektrolitik olarak üretilen gümüş iyonlarının (%0,003) tescilli bir karışımıyla elde edilmiştir. Kök kanal temizliği ve dezenfeksiyonu için yenilikçi bir biyomateryal olarak tanıtılmıştır (129).

3.10. Çalışmada Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları

3.10.1. Sodyum Hipoklorit

Potasyum hipoklorit kimyasal olarak üretilen ilk sıvı klor solüsyonu, Berthollet tarafından ortaya çıkarılmıştır. İlk olarak kimyager Labarraque Sodyum Hipokloritin bulaşıcı hastalıkları engellemek için kullanılması gerektiğini söylemiştir (130).

Sodyum hipokloritin 19. yüzyılın sonlarında dezenfektan olarak kullanımı oldukça yaygınlaştı. Ayrıca enfekte yaraları dezenfekte etmek ve yıkamak için tamponlu % 0,5 NaOCl kullanılmıştır (130, 131).

NaOCl sporlara virüslere karşı etkili olduğu gibi geniş bir antibakteriyel spektruma da sahiptir. Organik çözücü özelliği de olan NaOCl'nin, nekrotik dokuları çözme kabiliyeti canlı dokuya göre daha fazladır. Bu önemli özellikler,

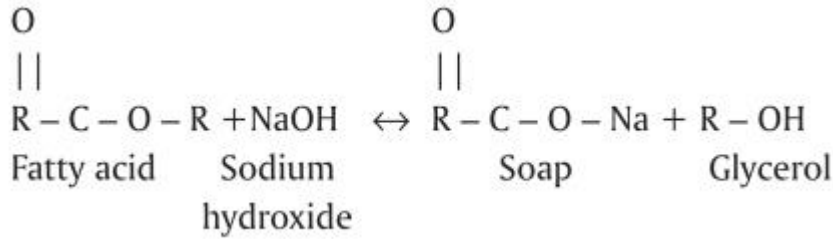
1920'lerden beri sıvı NaOCl'nin, kök kanal tedavisinde vazgeçilmez irrigasyon solüsyonu olarak kullanılmasını sağlamıştır (130).

Pécora ve diğerleri, NaOCl'nin su ile reaksiyona girdiğinde dinamik bir dengeye ulaştığını aşağıda ki gibi göstermiştir (132).



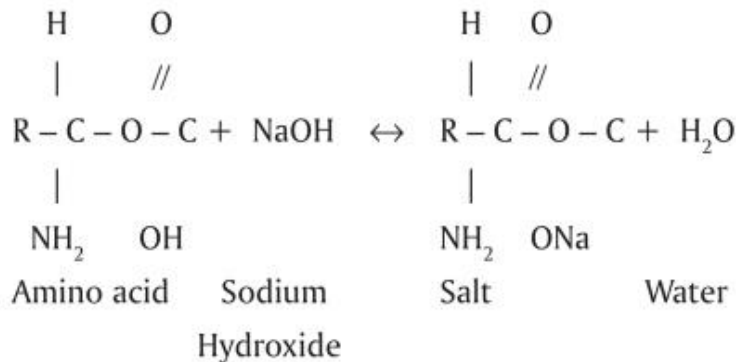
Mikroorganizma ve organik doku varlığında meydana gelen NaOCl'nin antimikrobiyal etkisi ve doku çözücü özelliğini sağlayan reaksiyonlar sabunlaşma, aminoasit nötralizasyonu ve kloraminasyon reaksiyonlarıdır (133).

NaOCl yağ çözücü özelliği ile yağ asitlerini bozar yağ asidi tuzları (sabun) ve gliserole (alkol) dönüştürür. Böylece çözeltinin yüzey gerilimini azaltır (133).



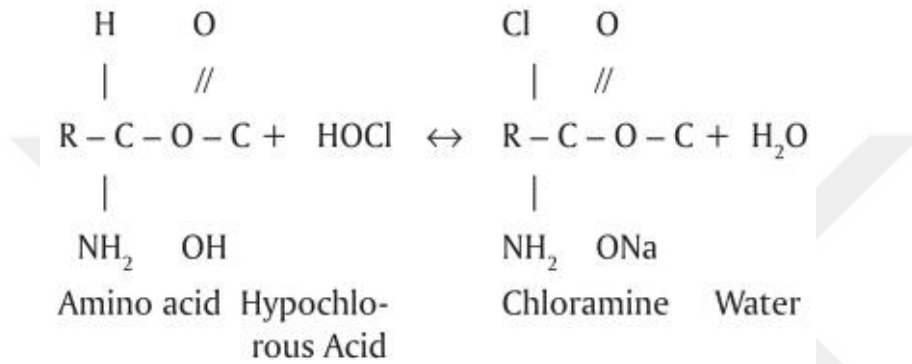
Şekil 6. NaOCl'nin Göstermiş Olduğu Sabunlaşma Reaksiyonu (134)

Amino asitler NaOCl ile tepkimeye girer su ve tuz oluşturarak nötralize eder ve ortaya çıkan Hidroksil iyonları ile pH'ta bir azalma olur (107).



Şekil 7. Amino Asit Nötralizasyon Reaksiyonu (134)

NaOCl çözeltisinin içerisinde ki hipokloröz asit, organik doku ile temas ettiğinde, kloru serbest bırakarak protein amino grubu ile birleşir ve kloraminleri oluşturur. Hipokloröz asit ve hipoklorit iyonları amino asit yıkımına ve hidrolize neden olur. Klor güçlü bir oksidandır ve antimikrobiyal etkiye sahiptir. Klor temel bakteri enzimlerini inhibe etmek için sülfidril gruplarının geri döndürülemez oksidasyonuna sebep olur (133).



Şekil 8. Kloraminasyon Reaksiyonu (134)

Kök kanallarındaki iltihaplı eksüda, doku kalıntısı ve mikrobiyal yük gibi organik maddeler NaOCl'nin etkisini azaltır. Yüksek NaOCl konsantrasyonları daha iyi doku çözer. Ancak düşük konsantrasyonlardan daha toksiktir. NaOCl'nin düşük konsantrasyonlarının yüksek hacimlerde kullanılması, yüksek konsantrasyonlara benzer etkiye sahip olmasını sağlar (106, 135, 136).

NaOCl'nin kök kanal tedavisinde uygulanması sırasında periapikal dokulara taşmadığı sürece kök kanal içinde yüksek konsantrasyonlarda güvenilir bir şekilde kullanılabilir (106). NaOCl'nin etkisinde konsantrasyonundan daha önemli olan optimum süredir (137).

NaOCl'nin kök kanal tedavisinde vazgeçilmez irrigasyon solüsyonu olmasının en önemi sebebi nekrotik doku çözme özelliğinin benzersiz olmasıdır (137). NaOCl'nin kök kanal tedavisinde uygulama süresi, konsantrasyonu ve

sıcaklığı artırarak etkinliğini arttırılabilir (138). Kanal irrigasyonu olarak NaOCl'nin ilk ve tek irrigant olarak kullanılması, doku çözücü etkisini azaltır. Çünkü smear tabakasındaki hidroksiapatit kollajen yüzeyini örter. Bu sorunu gidermek için NaOCl'den önce inorganik çözücü bir ajan kullanılması hidroksiapatitin kolayca çözülmesini ve alttaki kollajen fibrillerin açığa çıkmasını sağlamaktadır. NaOCl bu aşamada kullanıldığında doğrudan kollajene etki eder ve yüzeyel dentinde hızlı kollajen yıkımına yol açar (139). Kemomekanik preparasyondan sonra, NaOCl ile birlikte irrigant olarak EDTA veya CA gibi inorganik doku çözücü özelliği olan ajanların kullanımıyla dentin erozyonu gösterilmiştir (140).

NaOCl çözeltilerinin doku çözme etkinliği; çalışma süresinin artırılması, düşük konsantrasyonlu bir NaOCl çözeltisinin sıcaklığının artırılması ve ultrasonik aktivasyon ile artırılabilir (106, 130). Isıtılmış düşük konsantrasyonlu (45 ° C'de % 1) NaOCl çözeltisinin doku çözme kapasitesinin daha yüksek konsantrasyonlu (20 ° C'de % 5,25) çözeltiyle aynı etkinlikte olduğu bulunmuştur. Ayrıca, ısıtılmış düşük konsantrasyonlu NaOCl çözeltilerinin sistemik toksisitesi ısıtılmamış yüksek konsantrasyonlu olanlara kıyasla daha azdır (141).

NaOCl'nin dentindeki kollajeni uzaklaştırdığı ve adeziv sistemler ile elde edilen hibrid tabakanın oluşumunu önlediği için, irrigasyon için kullanımının adeziv sistem ile dentin duvarı arasındaki bağı zayıflattığı bulunmuştur (142).

NaOCl etkileşimleri:

NaOCl ve klorheksidin (CHX) arasındaki etkileşim sonucu kanserojen olan parakloroanilin (PCA) oluşur. Parakloroanilin kök kanallarının yüzeylerini kaplayarak dentin tübüllerini kapatır ve kök kanal sızdırmazlığını olumsuz etkiler

(143). Mortenson ve arkadaşları CA'nın, steril salin veya EDTA'dan daha az PCA oluşturduğunu bulmuşlardır (144).

Grawehr ve arkadaşları NaOCl ile karıştırılmış bir EDTA çözeltisinde EDTA'nın etkinliğini yani kalsiyum bağlama kapasitesini koruduğunu, ancak NaOCl'deki klor miktarında ani ve hızlı bir düşüş göstererek NaOCl'nin organik dokuyu çözme yeteneğini önemli ölçüde azalttığını bulmuştur (145).



Şekil 9. Çalışmada Kullanılan Sodyum Hipoklorit Solüsyonu

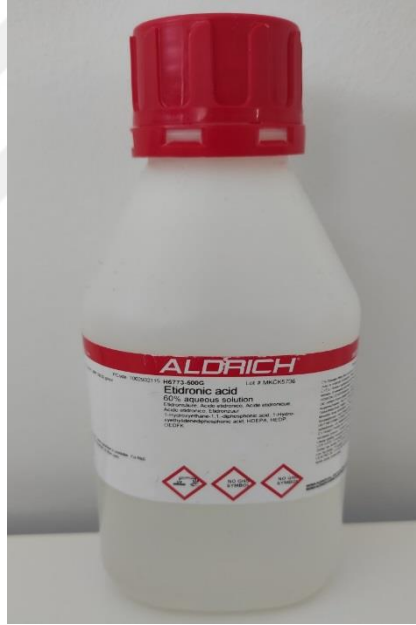
3.10.2. Etidronik Asit (Hydroxyethylidene Bisphosphonate)

Etidronik asit veya etidronat olarak da bilinen HEBP, inorganik çözücüdür ve EDTA veya CA'ya alternatif olarak önerilmiştir (146).

HEBP'in (1-hidroksietiliden-1,1-bifosfonat) proteolitik ve antimikrobiyal özellikleri vardır. Ayrıca NaOCl'nin antimikrobiyal etkilerini ve doku çözücü etkinliğini kısıtlamadan birlikte kullanılabilen tek şelatör olduğu düşünülmektedir (130, 147). Zayıf bir şelatör olan etidronik asit (%9) ve NaOCl (%2,5)

kombinasyonu kök kanal sisteminde anatomik düzensizliklerdeki debrisleri uzaklaştırmak için önerilmiştir. HEBP'in smear tabakası uzaklaştırma etkinliği EDTA ve sitrik aside benzer (148).

HEBP EDTA'nın aksine, zayıf bir şelatör olduğu için son irrigasyon solüsyonu olarak tek başına kullanılamaz. Bu nedenle, HEBP'nin daha etkili bir kök kanal irrigantı olarak kullanılması için NaOCl ile kombine kullanılması önerilir. Bu kombinasyon, hipoklorit-hipokloröz asit dengesini hipoklorit asit tarafında tutar. Hipoklorit asit daha iyi doku çözme kapasitesine ve daha az sitotoksiteye sahiptir (149, 150).



Şekil 10. Çalışmada Kullanılan Etidronik Asit Solüsyonu

3.10.3. Bioakt

BioAkt kök kanal preparasyonunda irrigant olarak kullanılan yenilikçi bir biyomateriyaldir. Gümüş ve bileşenleri antibakteriyel özelliklerinden dolayı son zamanlarda yüzeyler, tıbbi aletler ve cihazlar için de dezenfektan olarak

kullanılmıştır (151). Gümüş iyonik bir formda mikroorganizmaları etkin bir şekilde öldürür (151).

BioAkt, sitrik asit ve gümüş iyonları kullanılarak benzersiz bir elektrokimyasal işlemle üretilen stabilize gümüş iyon kompleksine dayalı bir antimikrobiyal irrigasyon solüsyonudur. Burada bir gümüş iyonu sitrat iyonuna zayıf bir şekilde bağlanır ve $\text{AgC}_6\text{H}_7\text{O}_7$ moleküler kompleksini oluşturur (152). Bu şekilde oluşturulan irrigasyon solüsyonu, sitrik asit içinde stabilize edilmiş bir gümüş iyonu formu sağlar. İyonların biyoyararlanımı, gümüş sitrat kompleksinin geniş bir mantar, bakteri ve virüs spektrumuna karşı hızla etkili olmasını sağlar (153, 154).

Tiyol grupları bakteriyel membran yüzeyine bağlı yapısal ve metabolik proteinlerde bulunur ve kükürt içerir. Gümüş iyonlarının tiyol gruplarına afinitesi yüksektir. Gümüş sitrat, tiyol içeren yapısal proteinlere bağlanır ve yapılarını parçalayarak membran bütünlüğünü bozar. Böylece mikrobiyal hücreleri parçalar (155).

BioAkt'ın *Enterococcus faecalis* biyofilmine karşı % 5,25 NaOCl ile karşılaştırılabilir bir antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. BioAKT solüsyonu kök kanalının koronal ve orta kısımlarındaki smear tabakasının çıkarılmasında EDTA ile kıyaslandığında anlamlı bir fark bulunamamıştır. BioAKT ile yapılan irrigasyon sonrası kalsiyum, fosfor, gümüş ve magnezyumdan oluşan nanometrik çökeltiler oluşmuştur (129).



Şekil 11. Çalışmada Kullanılan BioAkt Solüsyonu

3.11. Çalışmada Kullanılan Görüntüleme Teknikleri

3.11.1. Stereomikroskop

Tıp, bilim ve endüstride stereomikroskop görsel inceleme de yaygın olarak kullanılır (156).

Stereomikroskopta bir yakınlaştırma sistemi, bir objektif sistemi ve bir göz merceği sistemi bulunur. Yakınlaştırma sistemi, aynı seviyede yan yana duran iki sistemden oluşur. Bu düzenleme, stereomikroskopun bir gövdesinin dikey boyutunu azaltarak bir gözlemcinin stereomikroskopun altındaki bir hedefi çıplak gözle görmesini sağlar. Stereomikroskoba bir yardımcı mikroskop takıldığında çalışabilirliği artar (157). Stereomikroskopların doğasında bulunan stereoskopik açı, kullanımdaki amaca bağlı olarak aydınlatma ve algılama optik yolu arasında tipik olarak 10 ila 20 derece arasındadır (156).

3.11.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy; Afm)

AFM'nin kullanım alanları genel olarak iki temel kategoriye ayrılır: Moleküler Metroloji ve Biyolojik Bilimler. Moleküler Metroloji, temel olarak minyatür mekanik parçaların üretimi ve elektronik bileşenlerin testi gibi çeşitli üretim alanlarına yayılan mühendislik uygulamalarında kullanılır. Biyolojik Bilimlerde hücre / hücre etkileşimi veya hücre / protein etkileşimlerini belirlemek ve canlı türlerdeki hücre hareketlerini gözlemlemek için önemli biyolojik uygulamalarda AFM kullanılmaktadır (19).

AFM' de iğne-yay sistemi, numune yüzeyinde piezoelektrik malzeme sayesinde tarama yapar. Tarama piezoelektrik malzemeye verilen voltaj sayesinde olur. Numune ve keskin bir prob ucu arasında yer alan atomlar arası etkileşme kuvveti sayesinde iğne-yay sisteminde değişiklikler olur. Bu değişimler optik ya da elektriksel yöntemlerle belirlenir ve daha sonra geri besleme mekanizmasına gönderilir. Daha sonra görüntü elde edilirken referans olarak kullanılır (158).

AFM'nin en karakteristik özelliği görüntülerin numune yüzeyinin hissedilmesiyle ve ışık kullanılmadan elde edilmesidir. AFM ile elde edilen çözünürlük, klasik ışık mikroskopunda olduğu gibi numuneyi araştıran radyasyonun dalga boyu ile sınırlı değildir (159).

AFM, fizyolojik koşullar altında hücrelerin yüksek çözünürlüğünde mekanik, yapısal ve işlevsel bilgileri doğrudan elde eden tek tekniktir. AFM elektron mikroskobu ile karşılaştırıldığında hücre fiksasyonu ve kurutması gerektirmez ve canlı örneklerde yüksek çözünürlüklü verileri gerçek zamanlı olarak elde eder (159). AFM ile incelenecek numunenin iletken olması veya olmamasının önemi yoktur ve bu da büyük bir avantaj sağlar (160).

AFM sayesinde yüksek çözünürlüklü topografik görüntüler elde edildiği gibi yüzey kuvveti ve esneklik hakkında da nicel bilgiler elde edilir (161).

AFM malzemenin sertlik gibi özelliklerini yalnızca test etmez, aynı zamanda görselleştirilebilir. AFM çatlak ve gözenekler gibi kusurların görüntülenmesini sağlar. AFM'nin yüksek çözünürlük kapasitesi, gizli çatlak büyümesi süreçlerinin ayrıntılı olarak incelenmesini sağlar (19).

Temas modunda, uç-örnek mesafesini kontrol eden bir geri besleme döngüsü vardır ve etkileşim sırasında etkileşim kuvvetinin sabit tutulmasını sağlar. Temas modu nanopartikülleri görüntülemek için çok tercih edilmez, çünkü nanopartiküller numune üzerinde yer değiştirebilir. Bu etkiyi önlemek için temassız mod daha yaygın olarak tercih edilir (162).

AFM de taranacak olan numuneler neredeyse hiç ön hazırlık gerektirmez (163). Atomik kuvvet mikroskobu yüzeyi X Y ve Z eksenleri boyunca tespit edebilir (164).



Şekil 12. Çalışmada Kullanılan AFM Cihazı

4. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışması Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda planlanmış ve gerçekleştirildi. Numunelerin AFM ile değerlendirilmesi ve stereomikroskop ile görüntülenmesi Fırat Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Çalışmamızın AFM analizleri Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda yapıldı. Yüzey hazırlıkları tamamlanmış olan örnekler AFM cihazına (XE-100, PSIA Corp. Kore) yerleştirildi. 5x5 µm'lik alandan tarama hızı 1.0 Hz olacak şekilde ve 256 piksel çözünürlükle görüntüler elde edildi. AFM ile yapılacak olan incelemelerde pürüzlülük ortalaması XEI (XEI Data Analysis Program, 1.6 Version, PSIA Inc., USA) analiz programıyla hesaplandı.

4.1. Gruplara Seçilen Eğelerin Kontrol Amaçlı Değerlendirilmesi

Gruplara seçilen eğeler paketinden yeni çıkarılan PTX (X2 #25/0.06) ve Reciproc Blue (25/0.08) döner alet eğeleridir. Çalışmada yeni eğeler kullanılacak olmasına rağmen, üretim aşamasında oluşabilecek deformasyonu belirlemek için eğeler stereomikroskop altında incelendi. Üretim aşamasında deformasyona uğradığı düşünülen eğeler çalışmaya dahil edilmedi.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Eğeler ve Özellikleri

Çalışmada Kullanılan Eğeler	Üretici Firma	Alaşım	Boyut ve Taper
Protaper Next (PTX)	Dentsply Maillefer, Ballaigus, İsviçre	M-Wire	#25/0.06
Reciproc Blue	VDW GmbH, Munich, Germany	CM-Blue	#25/0.08



Şekil 13. Çalışmada Kullanılan Reciproc Blue Eğeleri



Şekil 14. Çalışmada Kullanılan Protaper Next Eğeleri



Şekil 15. Çalışmada Kullanılan Protaper Next Eğesine Ait Stereomikroskop Görüntüsü



Şekil 16. Çalışmada Kullanılan Reciproc Blue Eğesine Ait Stereomikroskop Görüntüsü

Çalışmada her grup için kontrol grubu olarak altışar adet PTX ve Reciproc Blue döner alet eğeleri kullanıldı. Eğeler uç kısımlarından 5 mm olacak şekilde karbon separe ile kesildi. AFM analizi için $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ alanda her bir numunenin uç 3 mm'lik kısımlarında 5 farklı noktadan olmak üzere tapping (non-kontakt) mod

için uygun olan silikon nitrit uçlar kullanılarak taratıldı. Üç boyutlu analiz görüntüleri, sayısal karşılaştırma için root mean square (RMS) verileri ve tarama alanındaki en derin ve en yüksek bölgenin farkını ortaya koyan Depth analizi elde edildi.

4.2. Eğelerin İrrigasyon Solüsyonlarında Bekletilmesi

Çalışmada üretici firma paketinden yeni çıkarılmış her grup için altı adet Reciproc Blue ve altı adet PTX eğeler kullanıldı. Eğeler, üretici firma tavsiyesine uygun olarak döner vaziyette dinamik olarak BioAkt, etidronik asit (%18) ve sodyum hipoklorit (%5.25) solüsyonlarında 5 dakika süre ile bekletildi. İrrigasyon solüsyonlarında bekletilen eğeler daha sonra distile su ile yıkanıp kurutularak uç kısımlarından beş mm olacak şekilde karbon separe ile kesilerek AFM de incelendi.

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları ve Özellikleri

Çalışmada Kullanılan Solüsyonları	İrrigasyon	Üretici Firma	İçerik
NaOCl		Promida Ltd. Eskişehir	%5.25 Sodyum Hipoklorit
BioAkt		New Tech Solutions Brescia	Sitrik asit ve gümüş iyonları
Etidronik Asit		Sigma Aldrich USA	%18 1-hidroksietiliden-1, 1 bifosfonat

4.3. Eğelere Sterilizasyon İşleminin Uygulanması

Çalışmada paketinden yeni çıkarılmış 6 adet Reciproc Blue ve 6 adet PTX eğelerinden kullanıldı. Eğeler paketlenip otoklavda 134 °C’de 20 dakika süreyle sterilizasyon işlemi beş kez uygulandı. Eğelerin apikal 5 mm’lik kısımları karbon separe ile kesilerek AFM’de incelenmek için hazırlandı.

4.4. Atomik Kuvvet Mikroskobu ile Yüzey Değerlendirmesi

Çalışmada AFM analizleri için Fırat Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'ndaki AFM cihazı (XE-100, PSIA Corp., Kore) kullanıldı. AFM analizi için AFM cihazına yerleştirilen bütün eğerlere ait örnekler tapping (non-kontakt) mod için uygun olan silikon nitrit uçlar kullanılarak 5µmX5µm alandan tarama yapıldı. Tarama hızı 1.0 Hz olacak şekilde 256 piksel çözünürlükle görüntüler elde edildi. AFM ile yapılacak olan incelemelerde pürüzlülük ortalaması XEI (XEI Data Analysis Program, 1.6 Version, PSIA Inc., USA) analiz programıyla hesaplandı. Üç boyutlu analiz görüntüleri, Depth analizi ve sayısal karşılaştırma için RMS verileri elde edildi. Tüm AFM verilerinin kendi grupları içinde standart sapması hesaplandı ve kontrol örneklerinden alınan ve standart sapması hesaplanan verilerle karşılaştırıldı.

4.5. İstatistiksel Analiz

Çalışmada elde edilen yüzey pürüzlülüğü ile ilgili RMS ham verileri ve maksimum derinlik ile ilgili DEPTH ham verileri istatistiksel veri analiz programına aktarıldı. Tüm verilerin istatistiksel analizi IBM SPSS Ver. 22.0 (Statistical Package for Social Sciences yazılımı; IBM SPSS Statistics, Chicago, IL, ABD) istatistik programı ile gerçekleştirildi. Nicel değişkenlerin normal dağılıma uygunluk varsayımı Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler ortalama $\pm$ standart sapma ile sunulmuştur. İki'den fazla bağımsız grup arasında nicel ölçümlerin karşılaştırılması için tek yönlü ANOVA ve sonrasında ikili karşılaştırmalar için post-hoc LSD testi kullanılmıştır. Anlamlılık seviyesi

$p<0,05$ olarak seçilmiştir. Tüm istatistiksel analizler Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı'nda yapılmıştır.



5. BULGULAR

Yaptığımız çalışmada PTX eğesine ait gruplar içerisinde RMS ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0.05$). Tüm gruplarda kontrol grubuna kıyasla yüzey pürüzlülüğü artmıştır. RMS ortalama değerleri kontrol grubu için 32,74 nm, NAOCI grubu için 38,78 nm, Etidronik asit grubu için 44,12 nm, BioAkt grubu için 39,22 nm ve sterilizasyon grubu için 46,27 nm olarak bulunmuştur. PTX eğesinin yüzey pürüzlülüğünü en çok sterilizasyon grubu ve Etidronik asit grubu artırmıştır.

Yaptığımız çalışmada Reciproc Blue eğesine ait gruplar içerisinde RMS ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0.05$). Tüm gruplarda kontrol grubuna kıyasla yüzey pürüzlülüğü artmıştır. RMS ortalama değerleri kontrol grubu için 28,54 nm, NAOCI grubu için 39,75 nm, Etidronik asit grubu için 43,53 nm, BioAKT grubu için 37,98 nm ve sterilizasyon grubu için 45,7 nm olarak bulunmuştur. Reciproc Blue eğesinin yüzey pürüzlülüğünü en çok sterilizasyon grubu ve Etidronik asit grubu artırmıştır.

Tablo 3. Gruplar İçi Uygulamalara Göre RMS Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

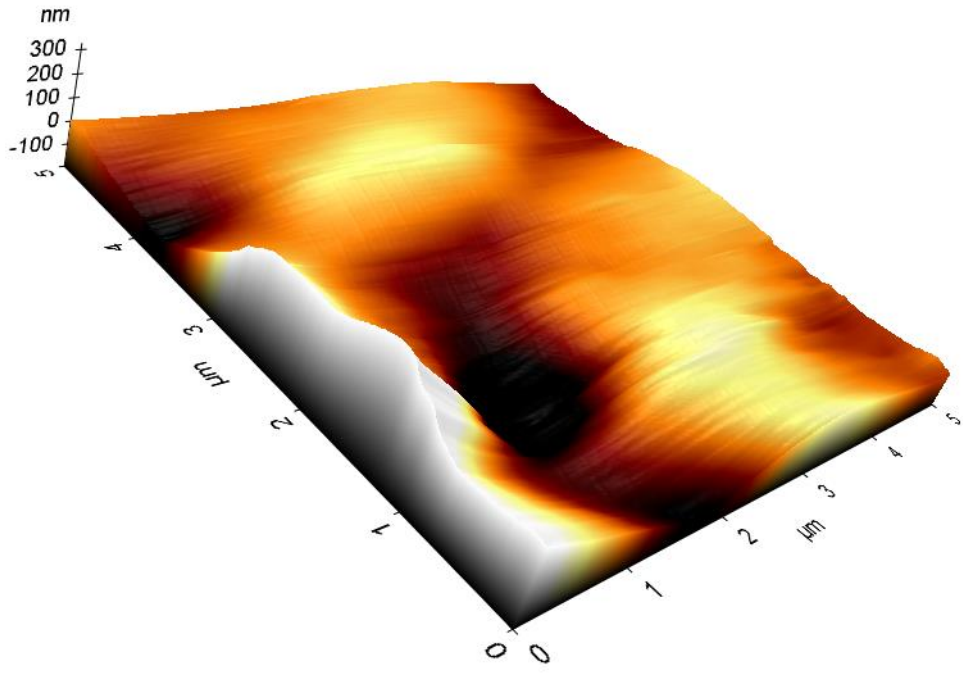
	PROTAPER NEXT	RECİPROC BLUE
KONTROL	32.74 ± 6,76 (nm)	28.54 ± 9.23 (nm)
%5.25 NAOCI	38.78 ± 4,69 (nm)	39,75 ± 6,07 (nm)
%18 ETİDRONİK ASİT	44.12 ± 5,43 (nm)	43,53 ± 8,02 (nm)
BioAKT	39.22 ± 5.91 (nm)	37,98 ± 7,3 (nm)
STERİLİZASYON	46.27 ± 6,95 (nm)	45,7 ± 9,67 (nm)

Yaptığımız çalışmada PTX eğesine ait gruplar içerisinde Depth ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0.05$). Tüm gruplarda kontrol grubuna kıyasla Depth değerleri artmıştır. Depth ortalama değerleri kontrol grubu için 303,15 nm, NAOCl grubu için 361,87 nm, Etidronik asit grubu için 430,14 nm, BioAkt grubu için 363,84 nm ve sterilizasyon grubu için 465,16 nm olarak bulunmuştur. PTX eğesinin Depth değerini en çok sterilizasyon grubu ve Etidronik asit grubu artırmıştır.

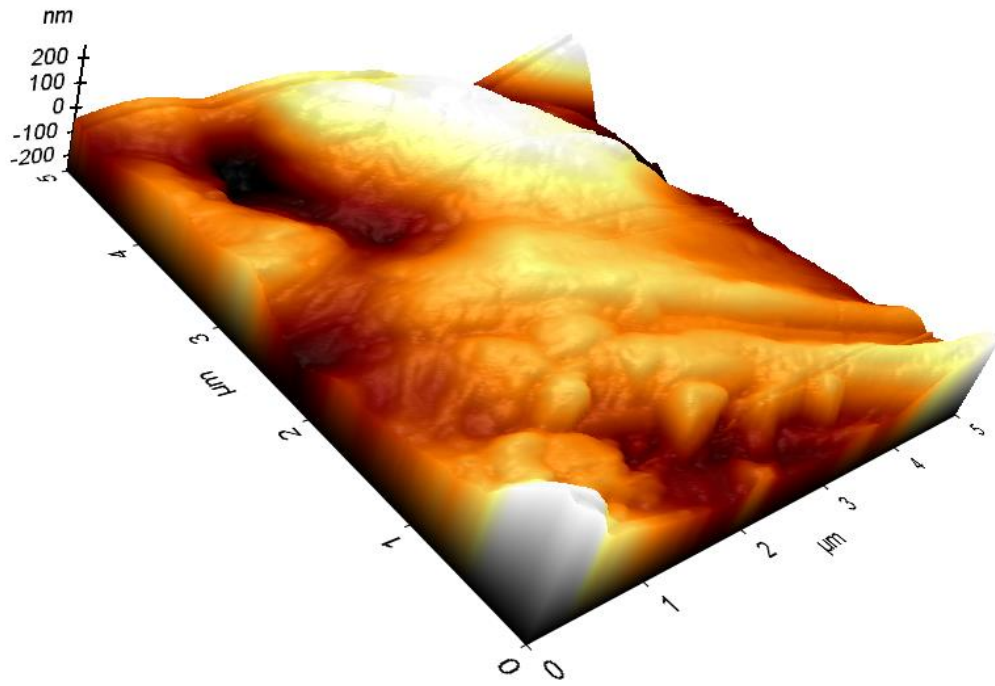
Yaptığımız çalışmada Reciproc Blue eğesine ait gruplar içerisinde Depth ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0.05$). Tüm gruplarda kontrol grubuna kıyasla Depth değeri artmıştır. Depth ortalama değerleri kontrol grubu için 284,7 nm, NAOCl grubu için 325,03 nm, Etidronik asit grubu için 381,99 nm, BioAkt grubu için 328,36 nm ve sterilizasyon grubu için 396,08 nm olarak bulunmuştur. Reciproc Blue eğesinin Depth değerini en çok sterilizasyon grubu ve Etidronik asit grubu arttırmıştır

Tablo 4. Gruplar İçi Uygulamalara Göre Depth Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

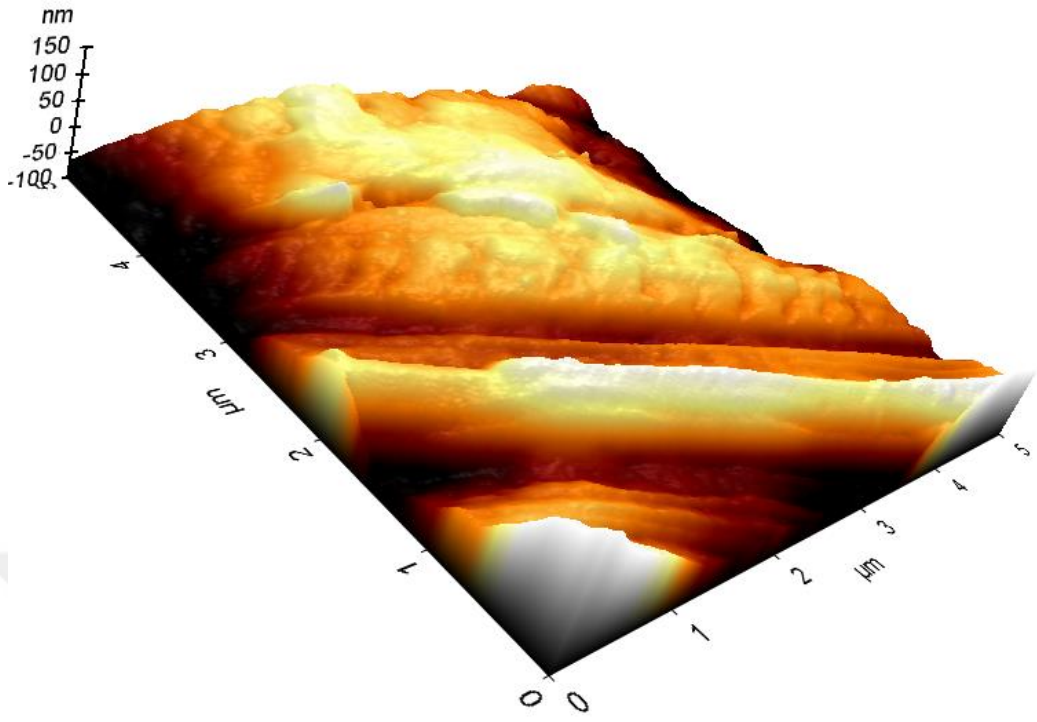
	PROTAPER NEXT	RECİPROC BLUE
KONTROL	303.15 $\pm$ 48,73 (nm)	284.7 $\pm$ 75,65 (nm)
%5.25 NAOCl	361.87 $\pm$ 71,12 (nm)	325,03 $\pm$ 81,9 (nm)
%18 ETİDRONİK ASİT	430.14 $\pm$ 65,82 (nm)	381,99 $\pm$ 87,19 (nm)
BioAkt	363.84 $\pm$ 47,88 (nm)	328,36 $\pm$ 54,76 (nm)
STERİLİZASYON	465.16 $\pm$ 74,01 (nm)	396,08 $\pm$ 69,25 (nm)



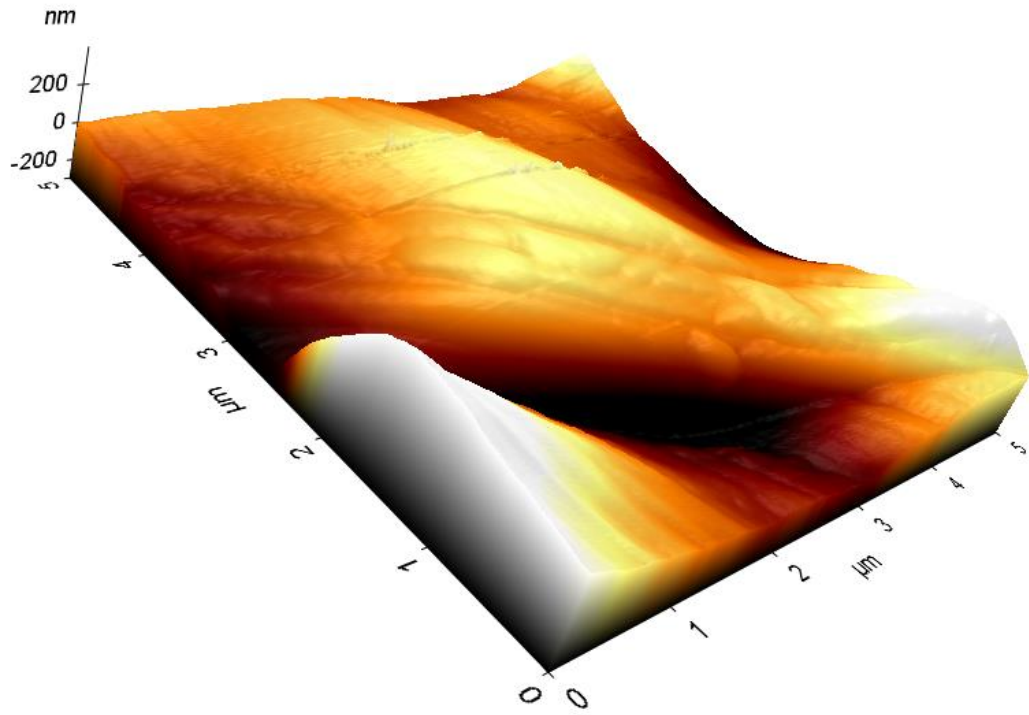
Şekil 17. ProTaper Next Eğesi Kontrol Grubu AFM Görüntüsü



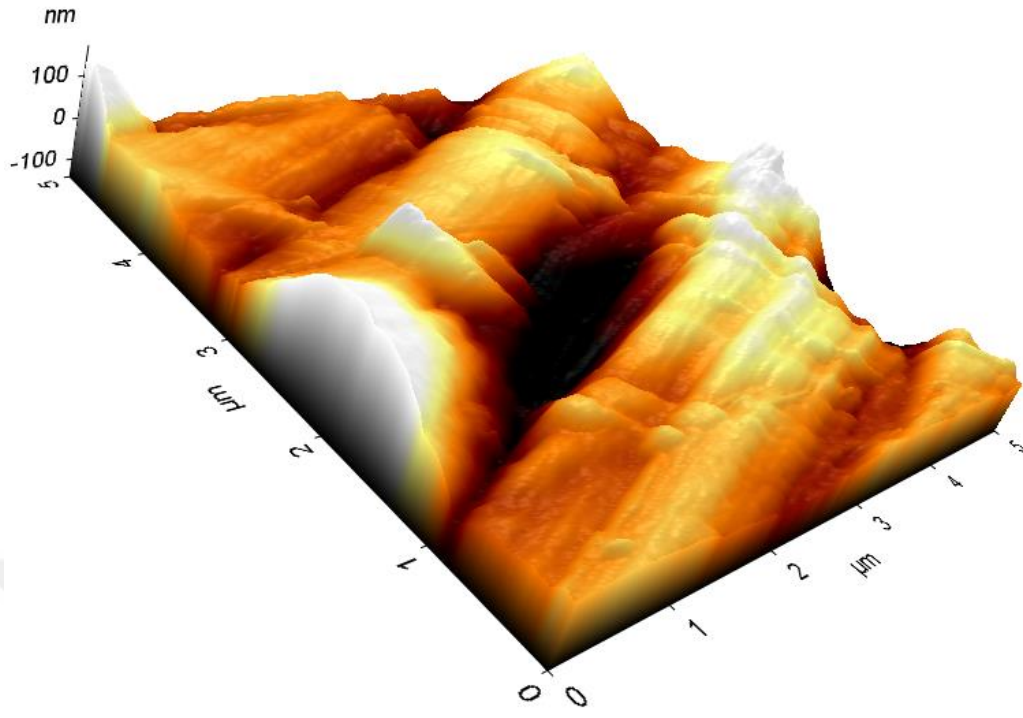
Şekil 18. ProTaper Next Eğesi NaOCI Grubu AFM Görüntüsü



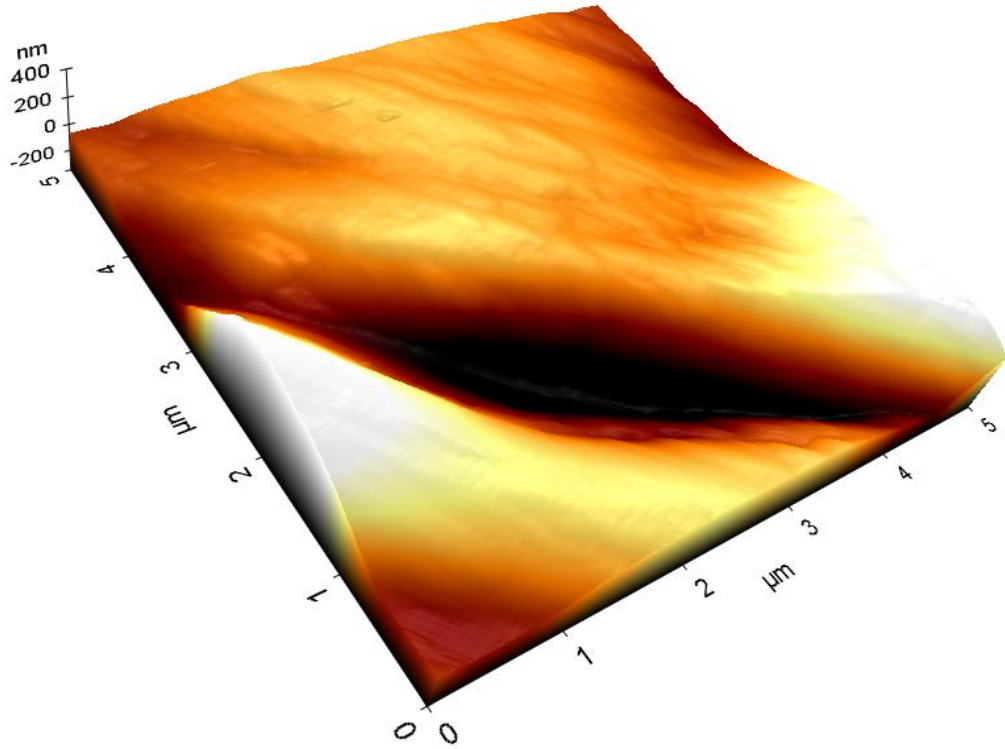
Şekil 19. ProTaper Next Egesi Etidronik Asit Grubu AFM Görüntüsü



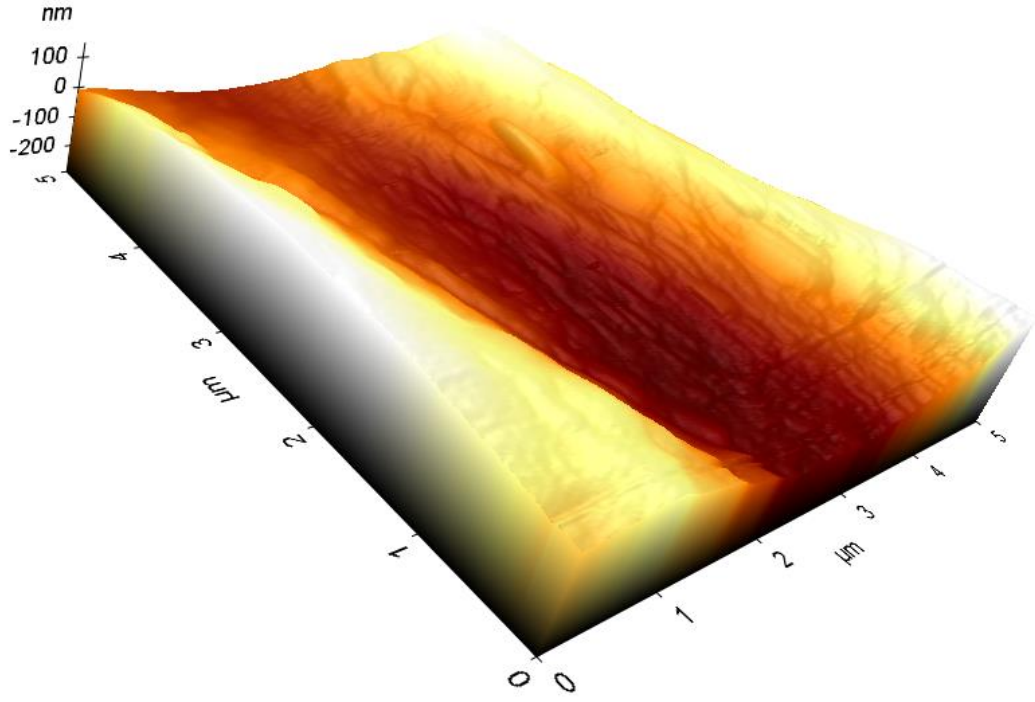
Şekil 20. ProTaper Next Egesi BioAkt Grubu AFM Görüntüsü



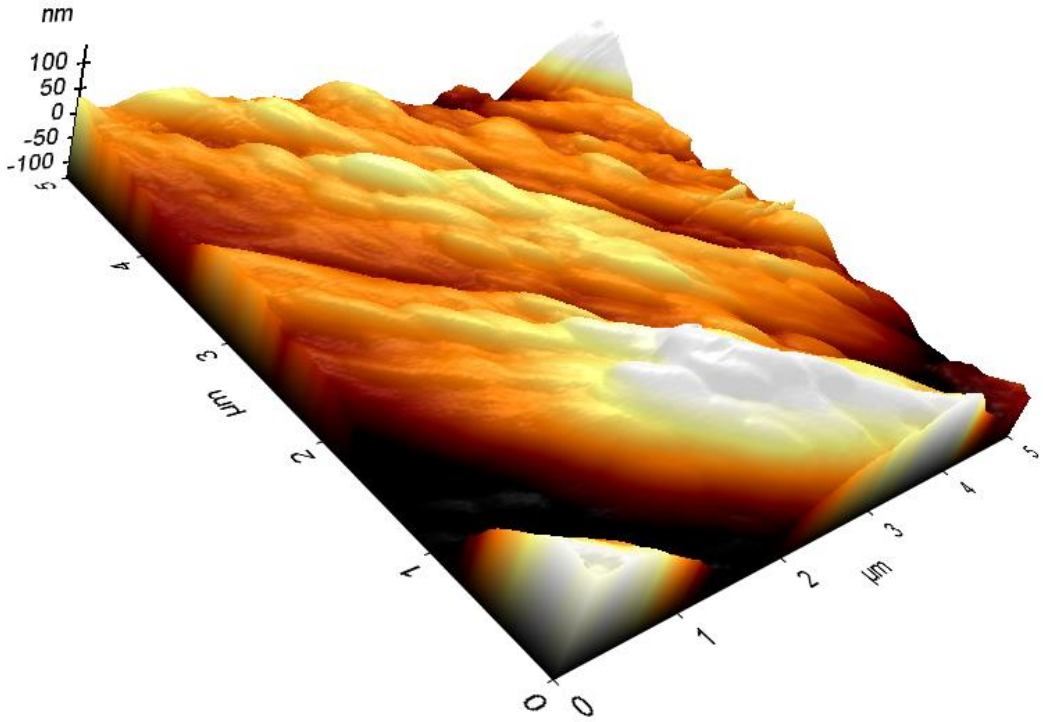
Şekil 21. ProTaper Next Egesi Sterilizasyon Grubu AFM Görüntüsü



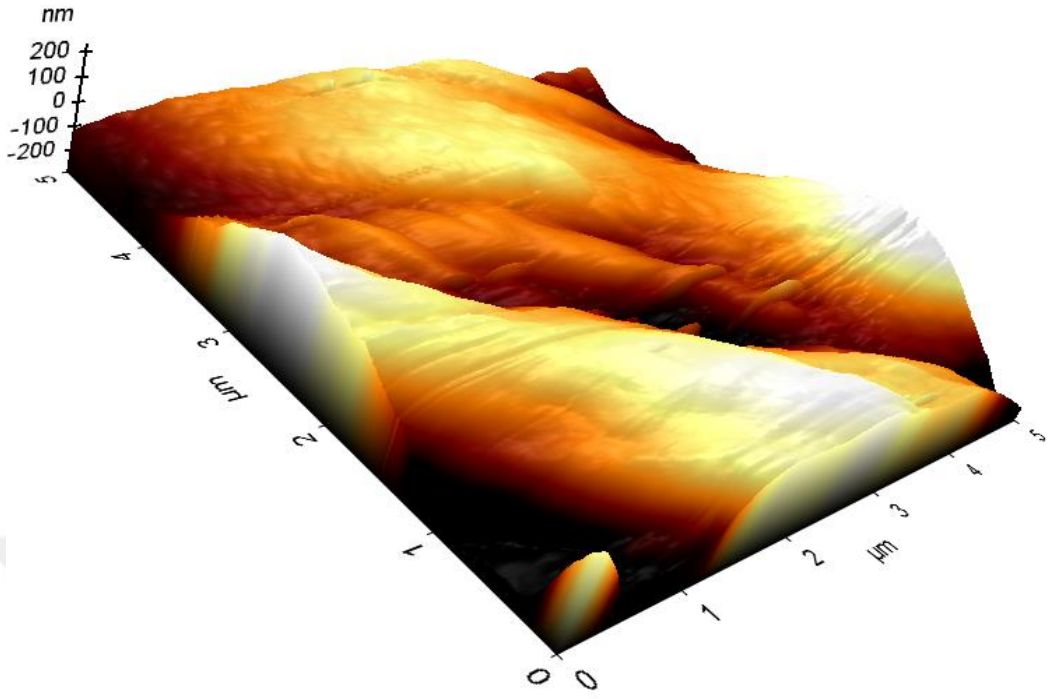
Şekil 22. Reciproc Blue Egesi Kontrol Grubu AFM Görüntüsü



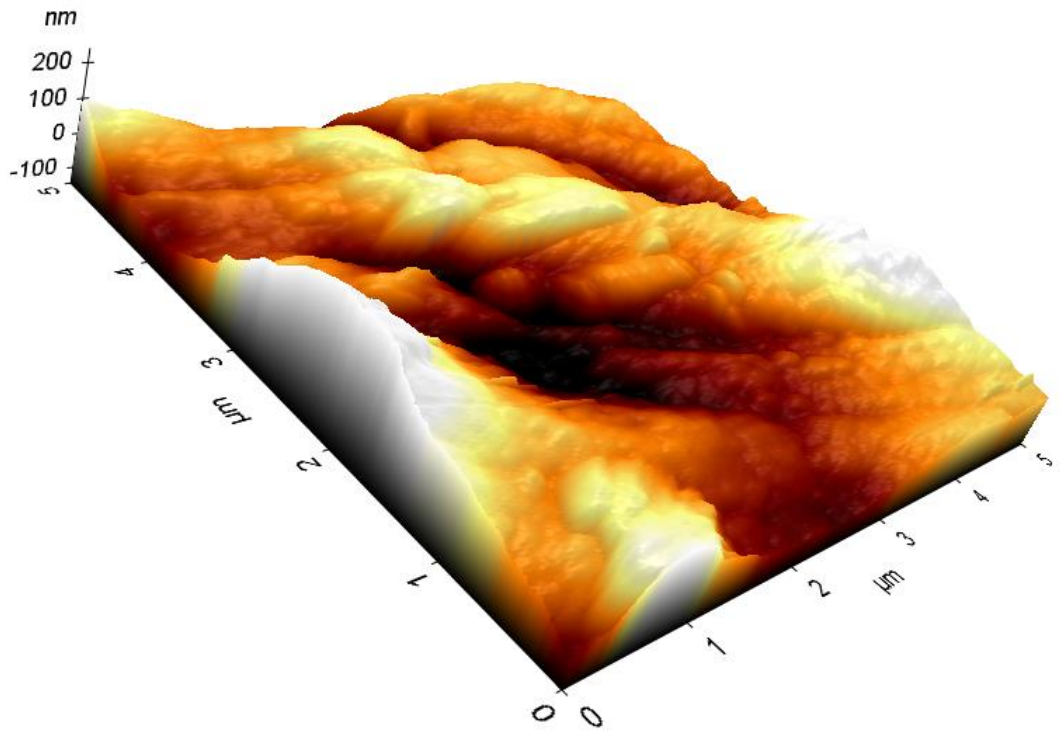
Şekil 23. Reciproc Blue Egesi NaOCI Grubu AFM Görüntüsü



Şekil 24. Reciproc Blue Egesi Etidronik Asit Grubu AFM Görüntüsü



Şekil 25. Reciprocal Blue Egesi BioAkt Grubu AFM Görüntüsü



Şekil 26. Reciprocal Blue Egesi Sterilizasyon Grubu AFM Görüntüsü

6.TARTIŞMA

Kök kanal sisteminden iritanları uzaklaştırarak, temizlenmiş ve konik formda şekillendirilmiş kök kanalının tekrar enfekte olmasını engellemek amacıyla hermetik bir şekilde doldurulması ve tıkanması kök kanal tedavisinin asıl amacıdır (165). Endodontik tedavinin en önemli aşamalarından olan biyomekanik preparasyon pulpa odasındaki ve kök kanalındaki doku artıklarının, bakteri ve bakteri ürünlerinin kanal içerisinden uzaklaştırılarak temizlenmesi, şekillendirilmesi ve apikal bölgenin preparasyonunu içeren işlemler olarak tanımlanır (4, 166). İrrigasyon solüsyonu olarak hekimlerin vazgeçilmezi haline gelen sodyum hipoklorit bakterilere, virüslere, sporlara ve mayalara karşı etkinliği olan geniş spektrumlu antimikrobiyal bir ajandır (167). Nekrotik dokuları çözme kabiliyeti canlı dokuları çözme kabiliyetinden daha iyidir (130). %5.25'lik NaOCI'nin biyofilmdeki *E.faecalis*'e karşı biyofilm bütünlüğünü bozan ve kaldıran tek solüsyon olduğu bildirilmiştir. Ayrıca etkili bir antiseptik olması ve yüzey geriliminin düşük olması ile dentin duvarlarına hızlıca nüfuz edebilmesi kök kanal tedavilerinde kullanılma nedenlerindendir (168-170). NaOCI solüsyonunun smear tabakasının uzaklaştırılmasında yetersiz kalması nedeniyle genellikle birden fazla solüsyon ile birlikte kullanılması önerilmektedir (171). Etidronik asit'in NaOCI'nin özelliklerini kısıtlamadan birlikte kullanılabilen tek inorganik çözücü olduğu düşünülmektedir (147, 172). BioAkt, içerisinde bulunan gümüş iyonlarıyla mikrobiyal hücrelerin membran bütünlüğünü bozarak etkin bir şekilde mikroorganizmaları öldürür.

Aynı zamanda gümüş sitrat kompleksindeki sitrik asit ile smear tabakayı uzaklaştırmayı amaçlayan yenilikçi bir kök kanal irrigasyon solüsyonudur (129, 152, 155).

Biyomekanik preparasyonda irrigantların yanında kullanılan eğeler de kanal tedavisinin başarısını etkilemektedir. Bugüne kadar farklı metalürjik özelliklerde ve farklı çalışma prensibinde pek çok ege sistemi üretilmiştir. Ni-Ti alaşımla üretilen eğelerin birçok avantajı olmasına rağmen, klinik kullanımda beklenmedik şekilde kırılabilir ve bu kırık parça kanal tedavisinin başarısını riske atabilecek hatta dış kaybına neden olabilecek bir durumdur (9, 10, 91).

Ni-Ti döner eğeler kök kanal preparasyonunda kullanılmalarının getirdiği fiziksel etkilerin yanı sıra, farklı irrigasyon solüsyonlarıyla temas ederler ve tekrar kullanılmaları için otoklavda steril edilirler. Sterilizasyon sürecinde maruz kalman yüksek ısı ve farklı irrigasyon solüsyonlarının etkileşimi gibi ortaya çıkan kimyasal mekanizmalar eğelerin deformasyonuna, aşınmasına veya bozulmasına neden olabilir (86, 87). Bununla ilgili daha önce farklı görüntüleme yöntemleriyle yapılmış çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmada kök kanal tedavilerinde güncel olarak kullanılan M-Wire alaşımından üretilmiş PTX ve CM-Blue alaşımından üretilen Reciproc Blue döner ege sistemleri kullanılmıştır. Bu eğelerin kök kanal tedavisinde kullanılan veya kullanılması önerilen farklı ve yenilikçi irrigasyon solüsyonlarından NaOCl, Etidronik asit, BioAkt ve tekrarlayan sterilizasyon döngülerinden etkilenip etkilenmediği AFM kullanılarak araştırılmıştır.

Eğeler kök kanal preparasyonunda kullanılmadan dış etkilerden bağımsız olarak irrigasyon solüsyonlarında dinamik olarak bekletilmiş ve sterilizasyon

işlemleri uygulanmıştır. Bu çalışmanın amacı eğelerin yüzey özelliklerinin solüsyonlardan ve sterilizasyon prosedürlerinden ne kadar etkilendiğini dış etkilere bağımsız olarak sayısal verilerle sunabilmektir.

Farklı irrigasyon solüsyonlarında dinamik olarak 5 dakika süre ile bekletilen eğelerin yüzey pürüzlülüğü AFM ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmaya benzer farklı çalışmalarda eğeler farklı bekletme süreleri açısından işleme tabi tutulup incelenmiş olsa da araştırmalar çoğunlukla 5 dakika süre ile yapılmıştır ve yeterli sonuçlara ulaşılmıştır (173-176). Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda eğeler irrigasyon solüsyonlarında pasif bir şekilde bekletilmiştir (173, 176). Ancak klinik şartlara daha uyumlu olması amacıyla dinamik olarak, eğelerin üretici firma önerilerine uyularak döner vaziyette irrigasyon solüsyonlarında temas etmesi tercih edilmeye başlanmıştır (17, 177). Bu tez araştırmasında da eğeler dinamik olarak üretici firma talimatlarına uygun bir şekilde uygun endomotor ile irrigasyon solüsyonları içinde bekletilerek deney yapılmıştır.

Materyallerin yüzey özelliklerini incelemek için AFM oldukça popüler hale gelmiştir. Çünkü AFM’de hem yüzey özellikleri için nitel ve nicel bilgi elde edilir hem de üç boyutlu görüntü elde edilir. AFM'nin kullanımı basittir ve moleküler düzeyde bile ayrıntılı yüzey bilgisi verebilir (90). Literatür taramasında, eğelerin yüzey topografyasını AFM ile inceleyen birçok araştırmaya ulaşılabilmektedir (17, 90, 173, 174, 178, 179). AFM’nin yüzey analizi farklı çalışma modlarında yapılabilir. Eğelerin yüzey özelliklerini incelemek için kontak modla yani AFM cihazına ait uç devamlı olarak materyale temas ederek tarama yaptığı çalışmalar mevcuttur (174, 180). Kontak mod da analiz yapan ucun eğe yüzeyine devamlı temas etmesi analizin kalitesi açısından dezavantaj oluşturabilir.

Literatürde numune yüzeylerini taramak için AFM'nin tapping modu kullanılan çalışmalar mevcuttur (17, 177, 181, 182). Bu çalışmada numune yüzeylerini taramak için tapping (nonkontakt) mod kullanılmıştır. Tapping modda tarama işlemi belirli aralıklarla salınan uç ile materyale belirli sıklıkta temas ederek gerçekleştirilir. AFM'nin tapping modu, tarama ucuna ve yüzeye zarar vermeyi önler. Tapping mod, temas eden yüzeylerin yanal kuvvetlerden korunmasını ve numunelerin yapışma ve sürtünme gibi temas yan etkilerinden etkilenmeyen yükseklik ölçümleri elde etmeyi mümkün kılar (181).

Literatürde AFM çalışmalarının çoğunda yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için RMS değerleri ve DEPTH değerleri kullanılmıştır. DEPTH yüzeyde maksimum derinliği belirtir. Ortalama karekök pürüzlülüğü (RMS), pürüzlülük profil yüksekliklerinin karelerinin toplamının karekök ortalamasıdır. Ra yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalamasıdır. Bu çalışmada AFM taraması $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ alanda yapılmış ve yüzey pürüzlülüğünün karşılaştırılması açısından RMS ve DEPTH değerleri kullanılmıştır. Özdemir, Sağlam ve Fatma yaptıkları çalışmada eğelerin yüzeylerini $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ alanda tarama yapmıştır. Fatma yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmede RMS değerleri ve Ra değerlerinin istatistiksel analizlerini kullanmıştır. Sağlam yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmede RMS değerlerini kullanmıştır. Özdemir, Valois ve ark. ve Nair ve ark. ise eğelerin yüzey pürüzlülüğünün karşılaştırılmasında RMS ve Depth değerlerini kullanmışlardır ve yeterli sonuca ulaşmışlardır (17, 90, 181, 183, 184).

Spagnuolo ve ark. Ni-Ti eğelerinde üretim sürecinde oluşan yüzey düzensizliklerinin olduğunu bildirmiştir (178). Pirani ve ark. yaptığı çalışmada yeni Ni-Ti eğelerin yüzey kusurları olduğunu bildirmiştir (185).

Ametrano ve ark. hiçbir işlem uygulanmamış yeni ProTaper eğesininde AFM ile incelediklerinde yüzey düzensizlikleri olduğunu bildirmiştir (174).

Martins ve ark. yeni eğelerde üretim aşamasında oluşan debris, metal parlaması ve derin kazıma izlerinin varlığını tespit etmişlerdir (186).

Bu tez çalışmasında hiçbir işlem uygulanmayan PTX ve Reciproc Blue eğelerinin kontrol gruplarında da AFM incelemesinde yüzey pürüzlülüğü olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç Ni-Ti eğelerin üretim aşamasında oluşan yüzey düzensizliklerinin olduğunu bildiren çalışmalarla uyumludur.

Martins ve ark. ProFile Ni-Ti eğelerini 24 saat boyunca % 5,25 NaOCl çözeltisine daldırdıktan sonra test edilen eğelerin SEM ile inceledikleri yüzey özelliklerinde hiçbir değişiklik oluşmadığını bildirmiştir (187). Martins ve ark. yaptıkları çalışmayla Peters ve ark'nın yaptığı çalışma arasında çıkan farklılığın sebebinin irrigasyon solüsyonlarına daldırma farklılığından, çalışma standartlarının farklılığından kaynaklanabileceğini açıklamışlardır (188).

Berutti ve ark. NaOCl solüsyonu temasında Ni-Ti eğelerde galvanik korozyon oluştuğunu, bu durumun da alet yüzeyinin bütünlüğünü değiştiren oyuklara ve çatlaklara neden olduğunu ve bunun da döngüsel yorgunluk nedeniyle kırılmaya karşı direncin azalmasıyla sonuçlandığını bildirmişlerdir (189).

Peters ve ark. yaptığı çalışmada %5.25 NaOCl'nin Profile ve RaCe NiTi eğelerinin döngüsel yorgunluğuna karşı direnci azalttığını göstermiştir (188). Sonntag ve Peters % 3'lük NaOCl çözeltisine daldırıldıktan sonra Ni-Ti eğelerinde korozyon gözlemlendi (190).

Topuz ve ark. RaCe döner sistem Ni-Ti eğesinin %5.25 NaOCl'de 5 dakika süre ile etkileşimini AFM ile analiz etmişler ve kontrol grubu ile aradaki farkı istatistiksel olarak anlamlı bulduklarını bildirmişlerdir (180).

Ametrano ve ark. ProTaper Universal (Dentsply, Maillefer) Ni-Ti eğelerini 5 ve 10 dakika boyunca EDTA ve NaOCl irrigasyon solüsyonlarına daldırdıktan sonra yüzey özelliklerine etkilerini AFM ile incelemişler ve kontrollere kıyasla yüzeylerindeki artan düzensizliği istatistiksel olarak anlamlı bulmuşlardır (191).

TF eğesine 5 dakika boyunca %5,25 konsantrasyonundaki NaOCl uygulamasının eğenin yüzey pürüzlülüğünü artırdığını Fayyad ve Mahran yaptığı çalışmada göstermiştir (176).

Özdemir'in PTX eğelerini %2,5 NaOCl içinde 5 dk. dinamik şekilde beklettiği çalışmada AFM ile yapılan inceleme sonucu eğenin yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde arttığı bildirilmiştir (17).

Bu çalışmada M-wire alaşımından yapılmış PTX eğelerinin RMS değerleri açısından %5,25'lik NAOCl uygulaması sonrasında yüzey pürüzlülüğü istatistiksel olarak anlamlı şekilde artmıştır. Bu çalışmada Özdemir'in PTX eğesinin %2,5'lik NAOCl uygulaması sonrası AFM ile yüzey pürüzlülüğünü değerlendirdikleri çalışma sonuçları açısından birbirleriyle uyumludur. Literatürde Reciproc Blue eğelerinin NAOCl uygulaması sonrasında yüzey pürüzlülüğünün değerlendirildiği çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak literatürde genel olarak NAOCl'nin uygulama sonrası Ni-Ti eğelerin yüzey pürüzlülüğünü artırdığı bulgularla uyumludur.

Berutti ve ark. yüzey pürüzlülüğünün döngüsel yorgunluk direncini azalttığını bildirmiştir (189). Erik ve Özyürek yaptığı çalışmada vücut sıcaklığında HEBP ile birlikte kullanıldığında NaOCl çözeltisinin HyFlex EDM, Reciproc Blue ve WaveOne Gold eğelerinin döngüsel yorgunluk dirençlerini önemli ölçüde

azalttığını ancak HEBP ve NaOCI'nin tek başına döngüsel yorgunluk direncini etkilemediğini bildirmişlerdir (192). Bu çalışmada Reciproc Blue ve PTX eğelerinin Etidronik asitle dinamik olarak bekletilmesi sonucu yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Bu çalışmanın bulguları Erik ve Özyürek'in yaptığı çalışmayı destekler niteliktedir. Çünkü Erik ve Özyürek bu çalışmada korozyonun eğelerin döngüsel yorulma direncinde azalmaya neden olabileceğini varsaymışlardır. Ancak literatürde Etidronik asitin Ni-Ti eğelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelendiği herhangi bir çalışma bulunamamıştır. Bu çalışmanın bulgularını karşılaştırmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Literatür tarandığında BioAkt irrigantının eğelerin yüzey özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir çalışma bulunamamıştır. Ancak içeriğindeki sitrik asit bulunan MTAD irrigasyon solüsyonunun eğelerin yüzey özelliklerine etkisinin değerlendirildiği bir çalışmaya ulaşılmıştır. Sağlam ve arkadaşları yaptığı bu çalışmada ProTaper Ni-Ti eğelerinin sitrik asit içeren MTAD irrigasyon solüsyonunda 10 dk bekletildiğinde yüzey değişikliklerine neden olduğunu bildirmiştir (183). Ancak Özdemir yaptığı çalışmada eğelerin MTAD irrigasyon solüsyonunda 5 dk bekletildiğinde yüzeyleri üzerinde herhangi bir etki olmadığını bildirmiştir. Bu farklılığın kullanılan eğelerin alaşım farklılığı ve bekletilme süresinin farklılığından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir (17).

Bu çalışmada da kullanılan BioAkt, hem PTX egesinde hem de Reciproc blue egesinde yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. BioAkt ve MTAD irrigasyon solüsyonlarının içeriğindeki farklılıktan dolayı kıyaslama yapılamamaktadır. BioAkt'ın Ni-Ti eğeler üzerindeki yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Enfeksiyon kontrolü, klinik uygulamalarda büyük önem taşımaktadır. Diş hekimliği hastaları, bulaşıcı bir hastalığa yakalanma ve bulaşma potansiyellerine göre yüksek riskli hastalardır. Diş hekimliği uygulamalarında hastalar, diş hekimleri ve yardımcı personel arasında sürekli çapraz kontaminasyon tehlikesi vardır (193). Kök kanal aletlerinin kullanımından sonra kontaminasyon beklenmesine rağmen, bazı kök kanal aletlerinin yüzeylerinde kullanım öncesinde de organik kalıntılara rastlanmıştır (190). Normal mekanik ve kimyasal temizleme prosedürlerinin enfeksiyon kontrolünü sağlamada başarısız olduğu yapılan çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Bu nedenle çapraz kontaminasyonu önlemek ve enfeksiyon kontrolünü sağlamak için en iyi savunma sıkı bir temizlik protokolünden sonra, kimyasalların kullanımıyla buhar sterilizasyonudur (194).

Ni-Ti kök kanal aletleri üstün klinik performans ve mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen, pahalı olarak kabul edilirler ve yüksek maliyetleri, özellikle gelişmekte olan ülkelerde klinisyenleri bu eğeleri tavsiye edilenden fazla kullanmayı düşünmeye sevk etmiştir. Ancak enfeksiyon kontrolü için uygulanan sterilizasyon prosedürlerinin Ni-Ti eğelerinin yüzeyindeki etkisi hakkında fikir birliği yoktur (90).

Valois ve ark. Greater Taper ve ProFile Ni-Ti eğeleri kullandığı çalışmada birden fazla otoklav döngüsünün, döner Ni-Ti eğelerinde bulunan yüzey düzensizliklerini artırdığını bildirmişlerdir (90).

Nair ve ark. ProTaper ve Mtwo eğeler üzerinde yaptığı çoklu otoklav döngüler sonrası eğelerin yüzey pürüzlülüğünü önemli derece de artırdığını bildirmişlerdir (184).

Razavian ve ark. yaptığı çoklu otoklav sterilizasyonunun eğelerin yüzey pürüzlülüğünü artırdığını ve bu pürüzlülüğün otoklav döngü sayısı ile ilişkili olduğunu bildirmiştir (195).

Spagnuolo ve ark. ProTaper ve AlphaKite eğelerinin çoklu otoklav döngülerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığını bildirmişlerdir (178).

Özdemir yaptığı çalışmada ProTaper Next eğesinin otoklavda 121 °C’de 20 dakika süreyle sterilizasyon işleminin 5 kez uygulanması sonucu yüzey pürüzlülüğünün arttığını bildirmiştir (17).

Bu çalışmada PTX eğesine 134° C’de 20 dakika süreyle sterilizasyon işleminin 5 kez uygulanması sonucu yüzey pürüzlülüğünün arttığı bulunmuştur. Bu çalışma Özdemir’in PTX eğesine 5 kez otoklav sterilizasyonu uygulaması sonrası AFM ile yüzey pürüzlülüğünü değerlendirdikleri çalışma sonuçları açısından birbirleriyle uyumludur. Literatürde Reciproc Blue çoklu otoklav döngüsü sonrası yüzey pürüzlülüğünü inceleyen çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak literatürde genel olarak çoklu otoklav döngülerinin uygulanması sonrası Ni-Ti eğelerin yüzey pürüzlülüğünü artırdığı bulgularla uyumludur.

Farklı irrigasyon solüsyonlarının ve çoklu otoklav döngülerinin PTX ve Reciproc Blue Ni-Ti eğelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştıran bu tez çalışmasının sınırlamaları içerisinde; özellikle Etidronik asitin ve otoklav döngüsü sonrası yüzey pürüzlülüğünün önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte kullanılan eğeler ve irrigasyon solüsyonlarıyla alakalı kısıtlı sayıda çalışma bulunması, in vitro ortamın ağız içerisindeki uygulamaları birebir

yansıtamamasından dolayı daha detaylı in vivo çalışmalara ve değerlendirmelere ihtiyaç vardır.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

PTX ve Reciproc Blue Ni-Ti eğelerinin farklı irrigasyon solüsyonlarında dinamik olarak bekletildikten sonra ve 5 kez otoklav döngüsünden sonra yüzey pürüzlülüğünün araştırıldığı bu tez çalışmasında:

1. İn-vitro ortamda yapılan çalışmalar klinik ortamı birebir yansıtmasa da çalışmanın standardizasyonunu sağlayarak karşılaştırılabilir önemli veriler elde edilebilir.
2. PTX ve Reciproc Blue eğeleri kontrol gruplarında üretim aşamasında oluşan yüzey pürüzlülüğüne sahipti. Kontrol gruplarında PTX eğesinin RMS değeri ve DEPTH değeri Reciproc Blue eğesinden daha yüksek çıkmıştır.
3. NaOCI PTX eğesinin yüzey pürüzlülüğünü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. $P<0,001$
4. NaOCI Reciproc Blue eğesinin yüzey pürüzlülüğünü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. $P=0,02$
5. Etidronik asit PTX eğesinin yüzey pürüzlülüğünü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. $P<0,001$
6. Etidronik asit Reciproc Blue eğesinin yüzey pürüzlülüğünü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. $P<0,001$
7. BioAkt PTX eğesinin yüzey pürüzlülüğünü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. $P<0,001$
8. BioAkt Reciproc Blue eğesinin yüzey pürüzlülüğünü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. $P=0,035$
9. Sterilizasyonun PTX eğesinin yüzey pürüzlülüğünü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. $P<0,001$

10. Sterilizasyonun Reciproc Blue eğesinin yüzey pürüzlülüğünü kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. $P<0,001$
11. PTX eğesinde Etidronik asit ve sterilizasyon grubu BioAkt ve NaOCI grubuna göre yüzey pürüzlülüğünü istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha fazla artırmıştır.
12. Reciproc Blue eğesinde Etidronik asit ve sterilizasyon grubu BioAkt ve NaOCI grubuna göre yüzey pürüzlülüğünü istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha fazla artırmıştır.
13. RMS ve Depth değerleri incelendiğinde; tüm gruplar arasında en düşük değer Reciproc Blue eğesinin kontrol grubunda, en yüksek değer ise PTX eğesinin sterilizasyon grubunda gözlenmiştir.
14. AFM ile eğelerin yüzey özelliklerini değerlendirmek için istatistiksel analizi mümkün kılan sayısal veriler elde edilebilmektedir.
15. Gruplar arasında RMS değerleri ve DEPTH değerleri birbirleriyle uyumludur.
16. Genel olarak irrigasyon solüsyonları ve sterilizasyon döngüleri her iki Ni-Ti eğenin de DEPTH değerlerini istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır.
17. İrrigasyon solüsyonları genel olarak eğeler üzerinde yüzey pürüzlülüğünü artırarak yüzey bütünlüğünü değiştirebilmektedir. Klinik kullanımlarda eğelerin kullanım sayısı belirlenirken yüzeyde meydana gelebilecek bozulmalar göz önünde bulundurulmalıdır ve dikkatli olunmalıdır.
18. Eğe yüzeylerinin pürüzlülüğü, tekrarlayan sterilizasyon işlemlerinden sonra etkilenmektedir. Eğelere kaç defa sterilizasyon işlemi uygulandığı not edilmeli ve tekrarlayan kullanım durumunda dikkat edilmelidir.

19. Eğeleri kök kanal tedavisi sırasında daha güvenli kullanabilmek için yüzey özellikleri konusunda daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Bunun için daha fazla araştırmaya gerek duyulmaktadır.



8. KAYNAKÇA

1. Dow PR, Ingle JJ. Isotope determination of root canal failure. Oral Surgery, Oral Medicine, And Oral Pathology. 1955;8(10):1100-4.
2. Seltzer S, Bender IB. Cognitive dissonance in endodontics. Oral Pathology. 1965; 20(4):505-16.
3. 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 Dental Res. 1970;49(6):1359-68.
4. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. J Endodont. 2004;30(8):559-67.
5. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. J Endodontics 1988;14(7):346-51.
6. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. Int Endodon J. 2008;41(4):339-44.
7. Kuhn WG, Carnes DL, Clement DJ, Walker WA, 3rd. Effect of tip design of nickel-titanium and stainless steel files on root canal preparation. J Endodontics. 1997; 23(12): 735-8.
8. Alapati SB, Brantley WA, Svec TA, Powers JM, Nusstein JM, Daehn GS. Proposed role of embedded dentin chips for the clinical failure of nickel-titanium rotary instruments. J Endodontics. 2004;30(5):339-41.
9. Chakka NV, Ratnakar P, Das S, Bagchi A, Sudhir S, Anumula L. Do NiTi instruments show defects before separation? Defects caused by torsional fatigue in hand and rotary nickel-titanium (NiTi) instruments which lead to failure during clinical use. J Contem Dental Pract 2012;13(6):867-72.
10. Elamam RF CJ, Vieira MF Effect of Repated use on Topographical Features of ProTaper Next Endodontic Rotary File. Int Oral Healt 2016;8(4):445-50.
11. Spagnuolo G, Ametrano G, D'Antò V, Rengo C, Simeone M, Riccitiello F, et al. Effect of autoclaving on the surfaces of TiN -coated and conventional nickel-titanium rotary instruments. Int Endodon J. 2012;45(12):1148-55.
12. Valois CR, Silva LP, Azevedo RB. Multiple autoclave cycles affect the surface of rotary nickel-titanium files: an atomic force microscopy study. J Endodontics. 2008;34(7):859-62.
13. Nóvoa XR, Martín-Biedma B, Varela-Patiño P, Collazo A, Macías-Luaces A, Cantatore G, et al. The corrosion of nickel-titanium rotary endodontic instruments in sodium hypochlorite. Int Endodont J. 2007;40(1):36-44.

14. Dioguardi M, Sovereto D, Aiuto R, Laino L, Illuzzi G, Laneve E, et al. Effects of hot sterilization on torsional properties of endodontic instruments: systematic review with meta-analysis. *J Endodontics*. 2019;12(13):2190.
15. Abu-Tahun IH, Ha JH, Kwak SW, Kim HC. Evaluation of dynamic and static torsional resistances of nickel-titanium rotary instruments. *J Dental Sci* 2018;13(3):207-12.
16. Luebke NH, Brantley WA, Alapati SB, Mitchell JC, Lausten LL, Daehn GS. Bending fatigue study of nickel-titanium Gates Glidden drills. *J Endodont*. 2005; 31(7):523-5.
17. Özdemir O. Irrigasyon Solüsyonlarının Ve Sterilizasyon Prosedürlerinin Nikel Titanyum Eğelerin Yüzey Değişikliklerine Etkisinin Mikroskopik Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Endodonti Anabilimdalı, 2019:27-28
18. Allison DP, Mortensen NP, Sullivan CJ, Doktycz MJ. Atomic force microscopy of biological samples. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Nanomed Nanobiotechnol*. 2010; 2(6):618-34.
19. Jalili N, Laxminarayana KJM. A review of atomic force microscopy imaging systems: application to molecular metrology and biological sciences. *J Endodontics*. 2004; 14(8):907-45.
20. Buehler WJ, Gilfrich J, Wiley RJ. Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *J Appl Physics*. 1963;34(5):1475-7.
21. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J*. 2000; 33(4):297-310
22. Callister WD. *Materials science and engineering an introduction*: John Wiley, 2007:162-166
23. Hashem AA, Ghoneim AG, Lutfy RA, Foda MY, Omar GA. Geometric analysis of root canals prepared by four rotary NiTi shaping systems. *J Endodont*. 2012; 38(7): 996-1000.
24. Gil FJ, Planell JA. Shape memory alloys for medical applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H. J Engineering Med*. 1998; 212(6):473-88.
25. Yaman S Endodontide kullanılan kök kanal aletleri. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2002;19(3):51-57.
26. Haapasalo M, Shen Y. Evolution of nickel–titanium instruments: from past to future. *Endodontic Topics* 2013;29(1):3-17.
27. Coleman CL, Svec TA. Analysis of Ni-Ti versus stainless steel instrumentation in resin simulated canals. *J Endodon*. 1997;23(4):232-5.
28. Glossen CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endodon*. 1995;21(3):146-51.

29. Tajdari M, Mehraban AG, Khoogar AR, Design. Shear strength prediction of Ni–Ti alloys manufactured by powder metallurgy using fuzzy rule-based model. *J Endodon*. 2010; 31(3):1180-5.
30. Altinkok N, Koker R. Design. Modelling of the prediction of tensile and density properties in particle reinforced metal matrix composites by using neural networks. *J Endodon*. 2006; 27(8):625-31.
31. Taskin M. Diffusion bonding of fine grained high carbon steels in the superplasticity temperature range, Firat University Graduate School of Naturel and Applied Sciences Department of Metallurgy Education: PhD Thesis, Elazig, 2000.
32. Deepak J, Ashish M, Patil N, Kadam N, Yadav V, Jagdale H. Shaping Ability of 5 (th) Generation Ni-Ti Rotary Systems for Root Canal Preparation in Curved Root Canals using CBCT: An In Vitro Study. *J Endodon*. 2015;7:57-61.
33. Kuzekanani M, Dentistry C. Nickel–Titanium rotary instruments: Development of the single-file systems. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2018; 8(5): 386–390.
34. Schäfer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J*. 2004;37(4):229-38.
35. Kuzekanani M, Walsh LJ, Yousefi MA. Cleaning and shaping curved root canals: Mtwo vs ProTaper instruments, a lab comparison. *Indian J Dent Res*. 2009; 20(3):268-70.
36. Shen Y, Coil JM, Zhou H, Zheng Y, Haapasalo M. HyFlex nickel-titanium rotary instruments after clinical use: metallurgical properties. *Int Endod J* 2013 ;46(8): 720-9.
37. Ha JH, Kim SK, Cohenca N, Kim HC. Effect of R-phase heat treatment on torsional resistance and cyclic fatigue fracture. *J Endod*. 2013;39(3):389-93.
38. Shen Y, Zhou HM, Wang Z, Campbell L, Zheng YF, Haapasalo M. Phase transformation behavior and mechanical properties of thermomechanically treated K3XF nickel-titanium instruments. *J Endod*. 2013;39(7):919-23.
39. You SY, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Shon WJ, Lee W. Lifespan of one nickel-titanium rotary file with reciprocating motion in curved root canals. *J Endod*. 2010;36(12):1991-4
40. Nabeshima CK, Caballero-Flores H, Cai S, Aranguren J, Borges Britto ML, Machado ME. Bacterial removal promoted by 2 single-file systems: Wave One and One Shape. *J Endod*. 2014; 40(12):1995-8.
41. Küçükilhan AGA, Bayram E. Endodontide Kullanilan Nikel Titanyum Aletlerin Anatomisi:1-36.
<https://academicworks.livredelyon.com › viewcontent PDF>
42. Gavini G, Santos Md, Caldeira CL, Machado MEL, Freire LG, Iglecias EF, et al. Nickel–titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Braz Oral Res*. 2018; 32.

43. Shen Y, Haapasalo M. Three-dimensional analysis of cutting behavior of nickel-titanium rotary instruments by microcomputed tomography. *J Endodontics*. 2008; 34(5):606-10.
44. Ruddle C. The ProTaper technique: Shaping the future of endodontics. *Endodontic Topics* 2005;10:213-6.
45. Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, Testarelli L. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod* 2008;34(8):1003-5.
46. Kim HC, Cheung GS-P, Lee CJ, Kim BM, Park JK, Kang SI Comparison of forces generated during root canal shaping and residual stresses of three nickel–titanium rotary files by using a three-dimensional finite-element analysis. *J Endod* 2008;34(6):743-7.
47. Plotino G, Grande N, Falanga A, Di Giuseppe I, Lamorgese V, Somma F. Dentine removal in the coronal portion of root canals following two preparation techniques. *Int Endod J*. 2007;40(11):852-8.
48. Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini SJ . A comparative study of Endoflare–Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J*. 2005;38(9):610-6.
49. Bürklein S, Schäfer E. Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. *J Endod*. 2012;38(6):850-2.
50. Vulcain JM, Calas P. The three wave concept of Hero 642. *Endod Prac*. 1999;2(2):20-4, 26, 28-31
51. Anderson ME, Price JW, Parashos P. Fracture resistance of electropolished rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod*. 2007;33(10):1212-6.
52. García M, Duran-Sindreu F, Mercadé M, Bueno R, Roig M. A comparison of apical transportation between ProFile and RaCe rotary instruments. *J Endod*. 2012;38(7):990-2.
53. Nabavizadeh M, Abbaszadegan A, Khojastepour L, Amirhosseini M, Kiani E. A Comparison of Apical Transportation in Severely Curved Canals Induced by Reciproc and BioRaCe Systems. *Iran Endod J*. 2014;9(2):117-22.
54. Pasternak B Jr, Sousa Neto MD, Dionísio VC, Pécora JD, Silva RG. Analysis of kinematic, kinetic and electromyographic patterns during root canal preparation with rotary and manual instruments. *J Appl Oral Sci*. 2012;20(1):57-63.
55. Karabucak B, Gatan AJ, Hsiao C, Iqbal MK. A comparison of apical transportation and length control between EndoSequence and Guidance rotary instruments. *J Endod*. 2010;36(1):123-5.
56. Gambarini G, Plotino G, Grande N, Al-Sudani D, De Luca M, Testarelli L. Mechanical properties of nickel–titanium rotary instruments produced with a new manufacturing technique. *Int Endod J*. 2011;44(4):337-41.

57. Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *J Endod.* 2008;34(11):1406-1409.
58. Gambarini G, Gerosa R, De Luca M, Garala M, Testarelli L. Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of file flexibility. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105(6):798-80
59. Elnaghy AM, Elsaka SE. Assessment of the mechanical properties of ProTaper Next Nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2014;40(11):1830-4.
60. Uygun AD, Kol E, Topcu MK, Seckin F, Ersoy I, Tanriver M. Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *Int Endod J.* 2016;49(5):494-9.
61. Gao Y, Shotton V, Wilkinson K, Phillips G, Johnson WB. Effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod.* 2010;36(7):1205-9.
62. Bouska J, Justman B, Williamson A, DeLong C, Qian F. Resistance to cyclic fatigue failure of a new endodontic rotary file. *J Endod.* 2012;38(5):667-9.
63. Bardsley S, Peters CI, Peters OA. The effect of three rotational speed settings on torque and apical force with vortex rotary instruments in vitro. *J Endod.* 2011;37(6):860-4.
64. Webber J, Machtou P, Pertot W, Kuttler S, Ruddle C, West J. The WaveOne single-file reciprocating system. *J Endod.* 2011;1(1):28-33.
65. Prichard J. Rotation or reciprocation: a contemporary look at NiTi instruments? : Nature Publishing Group, 2012.
66. Elnaghy AM, Elsaka SE. Evaluation of the mechanical behaviour of PathFile and ProGlider pathfinding nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J.* 2015;48(9):894-901.
67. Otsuka K, Wayman CM. Shape memory materials: Cambridge University Press; 1999.
68. Gambarini G, Testarelli L, Galli M, Tucci E, De Luca M. The effect of a new finishing process on the torsional resistance of twisted nickel-titanium rotary instruments. *Minerva Stomatol.* 2010;59(7-8):401-6.
69. Mounce RE. A new method of canal enlargement. *Dent Today.* 2008;27(5):94, 96, 98-9.
70. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Ertas H. An in vitro comparison of apically extruded debris and instrumentation times with ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File Adaptive, and HyFlex instruments. *J Endod.* 2014;40(10):1638-41.
71. Shen Y, Zhou H, Campbell L, Wang Z, Wang R, Du T, Haapasalo M. Fatigue and nanomechanical properties of K3XF nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2014; 47(12):1160-7
72. Huang X, Shen Y, Wei X, Haapasalo M. Fatigue Resistance of Nickel-titanium Instruments Exposed to High-concentration Hypochlorite. *J Endod.* 2017;43(11):1847-1851.

73. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Akti A, Düzgün S. In Vitro Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of ProTaper Next, HyFlex CM, OneShape, and ProTaper Universal Instruments in a Canal with a Double Curvature. *J Endod.* 2016;42(6):969-71.
74. Ashraf F, Shankarappa P, Misra A, Sawhney A, Sridevi N, Singh A. A Stereomicroscopic Evaluation of Dentinal Cracks at Different Instrumentation Lengths by Using Different Rotary Files (ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex CM): An Ex Vivo Study. *Scientifica (Cairo).* 2016;2016:8379865.
75. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod.* 1997;23(8):533-4.
76. Burroughs JR, Bergeron BE, Roberts MD, Hagan JL, Himel VT. Shaping ability of three nickel-titanium endodontic file systems in simulated S-shaped root canals. *J Endod.* 2012;38(12):1618-21.
77. Gao Y, Gutmann JL, Wilkinson K, Maxwell R, Ammon D. Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod.* 2012;38(3):398-401.
78. Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. *J Endod.* 2017;43(7):1192-1196.
79. Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. Glide path and root canal preparation in reciprocating motion: root canal treatment of a mandibular premolar with complex root canal morphology using R-Pilot and Reciproc Blue. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift.* 2019;1:60-6.
80. Al-Dhbaan AA, Al-Omari MA, Mathew ST, Baseer MA. Shaping ability of ProTaper gold and WaveOne gold nickel-titanium rotary file in different canal configurations. *Saudi Endodontic J* 2018; 8(3):202.
81. Machado AG, Guilherme BPS, Provenzano JC, Marceliano-Alves MF, Gonçalves LS, Siqueira JF, Neves MAS. Effects of preparation with the Self-Adjusting File, TRUShape and XP-endo Shaper systems, and a supplementary step with XP-endo Finisher R on filling material removal during retreatment of mandibular molar canals. *Int Endod J.* 2019;52(5):709-715.
82. Theisen W, Schuermann A. Electro discharge machining of nickel–titanium shape memory alloys. *Materials Science and Engineering A.* *Int Endod J.* 2004; 378(1-2): 200-4.
83. Pernot J, Rolland X, Euvard H. Endodontic instrument with rough surfaces and method for producing such an instrument. Google Patents, 2016.
84. Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, Rapisarda E. Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. *J Endod.* 2016;42(1):156-9.
85. Iacono F, Pirani C, Generali L, Bolelli G, Sassatelli P, Lusvarghi L, Gandolfi MG, Giorgini L, Prati C. Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *Int Endod J.* 2017; 50(3):303-313.

86. O'Hoy PY, Messer HH, Palamara JE. The effect of cleaning procedures on fracture properties and corrosion of NiTi files. *Int Endod J*. 2003;36(11):724-32.
87. Praisarnti C, Chang JW, Cheung GS. Electropolishing enhances the resistance of nickel-titanium rotary files to corrosion-fatigue failure in hypochlorite. *J Endod*. 2010;36(8):1354-7.
87. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Effect of environment on fatigue failure of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2012;38(3):376-80.
88. Casper RB, Roberts HW, Roberts MD, Himel VT, Bergeron BE. Comparison of autoclaving effects on torsional deformation and fracture resistance of three innovative endodontic file systems. *J Endod*. 2011;37(11):1572-5.
89. Valois CR, Silva LP, Azevedo RB. Multiple autoclave cycles affect the surface of rotary nickel-titanium files: an atomic force microscopy study. *J Endod*. 2008;34(7):859-62.
90. Alapati SB, Brantley WA, Svec TA, Powers JM, Nusstein JM, Daehn GSJJoE. SEM observations of nickel-titanium rotary endodontic instruments that fractured during clinical use. *J Endod* 2005;31(1):40-3.
91. Martín B, Zelada G, Varela P, Bahillo JG, Magán F, Ahn S, Rodríguez C. Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J*. 2003;36(4):262-6.
92. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod*. 2000;26(3):161-5.
93. Cheung GS. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. *J Endod*. 2007;16(1):1-26.
94. Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod*. 2006; 32(11):1031-43.
95. Ozsu D, Karatas E, Arslan H, Topcu MC. Quantitative evaluation of apically extruded debris during root canal instrumentation with ProTaper Universal, ProTaper Next, WaveOne, and self-adjusting file systems. *Eur J Dent*. 2014;8(4):504-508.
96. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Uysal B. Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. *J Endod*. 2014;40(9):1482-4.
97. Bürklein S, Mathey D, Schäfer E. Shaping ability of ProTaper NEXT and BT-RaCe nickel-titanium instruments in severely curved root canals. *Int Endodont J*. 2015;48(8):774-81.
98. Özdemir O. İrrigasyon solüsyonlarının ve sterilizasyon prosedürlerinin nikel titanyum eğelerin yüzey değişikliklerine etkisinin mikroskopik olarak değerlendirilmesi. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Endodonti Ana Bilim Dalı, 2019
99. Yared GJ. Reciproc blue: the new generation of reciprocation. *Gide*. 2017; 31(2):96-101.

100. De-Deus G, Silva EJ, Vieira VT, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G, Grande NM. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. *J Endod.* 2017; 43(3):462-466.
101. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G, Castagnola R, Rossetti A, et al. Cyclic Fatigue of Reciproc and Reciproc Blue Nickel-titanium Reciprocating Files at Different Environmental Temperatures. *J Endod.* 2018;44(10):1549-1552.
102. Almeida GC, Guimarães LC, Resende PD, Buono VTL, Peixoto IFC, Viana ACD. Torsional behaviour of Reciproc and Reciproc blue instruments associated with their martensitic transformation temperatures. *Int Endod J.* 2019;52(12):1768-1772.
103. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* 2014; 216(6):299-303.
104. Paqué F, Ganahl D, Peters OA. Effects of root canal preparation on apical geometry assessed by micro-computed tomography. *J Endod.* 2009; 35(7):1056-9.
105. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J.* 2001;34(3):221-30.
106. Topbas C, Adiguzel O. Endodontic irrigation solutions: A Review. *Int Dent Res* 2017; 7(3):54-61.
107. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. *J Conserv Dent.* 2010;13(4):256-64.
108. Küçük M, Kermeoğlu F, Kalender A. Endodontide kullanılan güncel irrigasyon solüsyonları, sistem ve cihazları. *İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2016; 5(1): 29-37.
109. Siqueira JF, Paiva SS, Rôças IN. Reduction in the cultivable bacterial populations in infected root canals by a chlorhexidine-based antimicrobial protocol. *J Endod.* 2007; 33(5): 541-7.
110. Jones CG. Chlorhexidine: is it still the gold standard? *Periodontol* 2000. 1997; 15:55-62.
111. Erik C , Maden M , Çelik G . Endodontide Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi.* 2018; 9(3): 31-38.
112. Mohammadi Z, Abbott PV. The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *Int Endod J.* 2009;42(4):288-302.
113. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod.* 2003;29(3):170-5.
114. 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): 233-9.

115. Hashem AA, Ghoneim AG, Lutfy RA, Fouda MY. The effect of different irrigating solutions on bond strength of two root canal-filling systems. *J Endod.* 2009;35(4):537-40.
116. Ostby N. Chelating in root canal therapy. Ethylene-diamine tetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Eur J Dent* 2013; 7: 135–142.
117. Loel DA. Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc.* 1975; 90(1):148-51.
118. Von der Fehr FR, Nygaard-Ostby B. Effect of EDTAC and sulfuric acid on root canal dentine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1963;16:199–205
119. Kuah HG, Lui JN, Tseng PS, Chen NN. The effect of EDTA with and without ultrasonics on removal of the smear layer. *J Endod.* 2009;35(3):393-6.
120. Smith JJ, Wayman BE. An evaluation of the antimicrobial effectiveness of citric acid as a root canal irrigant. *J Endod.* 1986;12(2):54-8.
121. Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95(2): 234-6.
122. Sceiza MF, Daniel RL, Santos EM, Jaeger MM. Cytotoxic effects of 10% citric acid and EDTA-T used as root canal irrigants: an in vitro analysis. *J Endod.* 2001;27(12):741-3.
123. Arias-Moliz MT, Ferrer-Luque CM, Espigares-García M, Baca P. *Enterococcus faecalis* biofilms eradication by root canal irrigants. *J Endod.* 2009;35(5):711-4.
124. Ballal NV, Kundabala M, Bhat S, Rao N, Rao BS. A comparative in vitro evaluation of cytotoxic effects of EDTA and maleic acid: root canal irrigants. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(4):633-8.
125. Ballal NV, Kandian S, Mala K, Bhat KS, Acharya S. Comparison of the efficacy of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid in smear layer removal from instrumented human root canal: a scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2009;35(11):1573-6.
126. 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):363-71.
127. Basrani B, Haapasalo MJ. Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic Topics,* 2012; 27(1):74-102.
128. Girard S, Paqué F, Badertscher M, Sener B, Zehnder M. Assessment of a gel-type chelating preparation containing 1-hydroxyethylidene-1, 1-bisphosphonate. *Int Endod J.* 2005; 38(11): 810-6.
129. Tonini R, Giovarruscio M, Gorni F, Ionescu A, Brambilla E, Mikhailovna IM, et al, In Vitro Evaluation of Antibacterial Properties and Smear Layer Removal/Sealer Penetration of a Novel Silver-Citrate Root Canal Irrigant. *Materials (Basel).* 2020;13(1):194.
130. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006; 32(5):389-98.

131. Dakin HD. On The Use Of Certain Antiseptic Substances In The Treatment Of Infected Wounds. *Br Med J*. 1915;2(2852):318-20.
132. Spanó JC, 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):154-7.
133. Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spanó JC, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J*. 2002;13(2):113-7.
134. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. *J Conservative Dentistry: J Conserv Dent*. 2010;13(4):256-64.
135. Moorer WR, Wesselink PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J*. 1982;15(4):187-96.
136. 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):856-71.
137. Grossman LI, Meiman BW. Solution of pulp tissue by chemical agents. *Journal of the American Dental Association* 1941; 28(2): 223-5.
138. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod* 2004; 30(11): 785-787.
139. Grigoratos D, Knowles J, Ng YL, Gulabivala K. Effect of exposing dentine to sodium hypochlorite and calcium hydroxide on its flexural strength and elastic modulus. *Int Endod J* 2001; 34(2): 113-119.
140. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*. 2010;54(2):291-312.
141. 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):669-71.
142. Nikaido T, Takano Y, Sasafuchi Y, Burrow MF, Tagami J. Bond strengths to endodontically- treated teeth. *Am J Dent*. 1999;12(4):177-80.
143. 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):181-5.
144. Mortenson D, Sadilek M, Flake NM, Paranjpe A, Heling I, Johnson JD, Cohenca N. The effect of using an alternative irrigant between sodium hypochlorite and chlorhexidine to prevent the formation of para-chloroaniline within the root canal system. *Int Endod J*. 2012; 45(9):878-82.
145. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J*. 2003;36(6):411-7.

146. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod*. 2005;31(11):817-20.
147. Tartari T, Guimarães BM, Amoras LS, Duarte MA, Silva e Souza PA, Bramante CM. Etidronate causes minimal changes in the ability of sodium hypochlorite to dissolve organic matter. *Int Endod J*. 2015;48(4):399-404.4.
148. Erik CE, Maden M, Çelik G. Endodontide Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları. Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi 2018;9(3):31-8.
149. Christensen CE, McNeal SF, Eleazer P. Effect of lowering the pH of sodium hypochlorite on dissolving tissue in vitro. *J Endod* 2008; 34(4): 449-52.
150. Aubut V, Pommel L, Verhille B, Orsière T, Garcia S, About I, et al. Biological properties of a neutralized 2.5% sodium hypochlorite solution. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010;109(2): 120-125.
151. Djokic SJ. Treatment of various surfaces with silver and its compounds for topical wound dressings, catheter and other biomedical applications. *Nanoscale* 2008;11(21):1.
152. Generali L, Bertoldi C, Bidossi A, Cassinelli C, Morra M, Del Fabbro M, Savadori P, Ballal NV, Giardino L. Evaluation of Cytotoxicity and Antibacterial Activity of a New Class of Silver Citrate-Based Compounds as Endodontic Irrigants. *Materials (Basel)*. 2020 Nov 6;13(21):5019.
153. Palza H. Antimicrobial polymers with metal nanoparticles. *Int J Mol Sci*. 2015 19;16(1):2099-116.
154. Manuel CS, Moore MD, Jaykus LA. Efficacy of a disinfectant containing silver dihydrogen citrate against GI.6 and GII.4 human norovirus. *J Appl Microbiol*. 2017;122(1):78-86.
155. Liao SY, Read DC, Pugh WJ, Furr JR, Russell AD. Interaction of silver nitrate with readily identifiable groups: relationship to the antibacterial action of silver ions. *Lett Appl Microbiol*. 1997;25(4):279-83.
156. Windecker R, Fleischer M, Tiziani H. Three-dimensional topometry with stereo microscopes. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1997;36(12):3372-7.
157. Nakamura K. Stereomicroscope. Google Patents, 2002.
158. Şahin R. Çoklu Frekanslı Atomik Kuvvet Mikroskobu Ve Uygulamaları: Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
159. Trache A, Meininger GA. Atomic force microscopy (AFM). *Curr Protoc Microbiol*. 2008; 2: 2.2.
160. Binnig G, Quate C, Gerber C. Atomic force microscope. *Physical Review Letters*. 1986.
161. Fang HH, Chan KY, Xu LC. Quantification of bacterial adhesion forces using atomic force microscopy (AFM). *J Microbiol Methods*. 2000;40(1):89-97.

162. Crouzier L, Delvallee A, Ducourtieux S, Devoille L, Noircler G, Ulysse C, et al. Development of a new hybrid approach combining AFM and SEM for the nanoparticle dimensional metrology. *Beilstein J Nanotechnol.* 2019;10(1):1523-36.
163. Verran J, Rowe DL, Cole D, Boyd RD, Biodegradation. The use of the atomic force microscope to visualise and measure wear of food contact surfaces. *Microbiol Methods.* 2000; 46(2): 99-105.
164. Gadegaard N. Atomic force microscopy in biology: technology and techniques. *Biotech Histochem.* 2006;81(2-3):87-97.
165. Dow PR, Ingle J, Isotope determination of root canal failure. *Oral Medicine, Oral Pathology.* 1955;8(10):1100-4.
166. S. C. Ultrasonik ve Sonik Sistemlerin Kök Kanalımda Biyomekanik Preparasyon Amaçlı Kullanımı. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics* 2017;3:112-116.
167. Byström A, Sundqvist G, Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Medicine, Oral Pathology.* 1983;55(3):307-12.
168. Abuhaimed TS, Abou Neel EA. Sodium Hypochlorite Irrigation and Its Effect on Bond Strength to Dentin. *BioMed Res Int* 2017;2017:1930360.
169. Giardino L, Ambu E, Savoldi E, Rimondini R, Cassanelli C, Debbia EAJJoe. Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite, MTAD, and Tetraclean against *Enterococcus faecalis* biofilm. 2007;33(7):852-5.
170. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33(3):186-93.
171. Berman LH, Hargreaves KM. Cohen's pathways of the pulp expert consult: Elsevier Health Sciences; 2015.
172. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. 2005; 31(11):817-20.
173. Topuz O, Aydın C, Uzun O, Inan U, Alacam T, Tunca YM. Structural effects of sodium hypochlorite solution on RaCe rotary nickel-titanium instruments: an atomic force microscopy study. *Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008 ;105(5):661-5.
174. Ametrano G, D'Antò V, Di Caprio MP, Simeone M, Rengo S, Spagnuolo G. Effects of sodium hypochlorite and ethylenediaminetetraacetic acid on rotary nickel-titanium instruments evaluated using atomic force microscopy. *Int Endod J.* 2011;44(3):203-9.
175. Can Sağlam B, Görgül G. Evaluation of surface alterations in different retreatment nickel-titanium files: AFM and SEM study. *Microsc Res Tech* 2015;78(5):356-62.
176. Fayyad DM, Mahran AH. Atomic force microscopic evaluation of nanostructure alterations of rotary NiTi instruments after immersion in irrigating solutions. *Int Endod J.* 2014; 47(6):567-73.
177. Cai JJ, Tang XN, Ge JY. Effect of irrigation on surface roughness and fatigue resistance of controlled memory wire nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2017; 50(7):718-724.

178. Spagnuolo G, Ametrano G, D'Antò V, Rengo C, Simeone M, Riccitiello F, Amato M. Effect of autoclaving on the surfaces of TiN -coated and conventional nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2012;45(12):1148-55.
179. Inan U, Aydin C, Uzun O, Topuz O, Alacam T. Evaluation of the surface characteristics of used and new ProTaper Instruments: an atomic force microscopy study. *J Endod.* 2007; 33(11):1334-7.
180. Topuz O, Aydin C, Uzun O, Inan U, Alacam T, Tunca YM. Structural effects of sodium hypochlorite solution on RaCe rotary nickel-titanium instruments: an atomic force microscopy study. *Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105(5):661-5.
181. Fatma Y, Ozgur U. Evaluation of surface topography changes in three NiTi file systems using rotary and reciprocal motion: An atomic force microscopy study. *Microsc Res Tech.* 2014;77(3):177-82.
182. Yılmaz K, Uslu G, Özyürek T. Effect of multiple autoclave cycles on the surface roughness of HyFlex CM and HyFlex EDM files: an atomic force microscopy study. *Clin Oral Investig.* 2018;22(9):2975-2980.
183. Sağlam BC, Koçak S, Koçak MM, Topuz O. Effects of irrigation solutions on the surface of ProTaper instruments: a microscopy study. *Microsc Res Tech.* 2012;75(11):1534-8.
184. Nair AS, Tilakchand M, Naik BD. The effect of multiple autoclave cycles on the surface of rotary nickel-titanium endodontic files: An in vitro atomic force microscopy investigation. *J Conserv Dent.* 2015;18(3):218-22.
185. Pirani C, Cirulli PP, Chersoni S, Micele L, Ruggeri O, Prati C. Cyclic fatigue testing and metallographic analysis of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2011;37(7):1013-6.
186. Martins RC, Bahia MG, Buono VT. Surface analysis of ProFile instruments by scanning electron microscopy and X-ray energy-dispersive spectroscopy: a preliminary study. *Int Endod J.* 2002;35(10):848-53.
187. de Castro Martins R, Bahia MG, Buono VT, Horizonte B. The effect of sodium hypochlorite on the surface characteristics and fatigue resistance of ProFile nickel-titanium instruments. *Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;102(4):99-105.
188. Peters OA, Roehlike JO, Baumann MA. Effect of immersion in sodium hypochlorite on torque and fatigue resistance of nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2007;33(5):589-93.
189. Berutti E, Angelini E, Rigolone M, Migliaretti G, Pasqualini D. Influence of sodium hypochlorite on fracture properties and corrosion of ProTaper Rotary instruments. *Int Endod J.* 2006;39(9):693-9.
190. Sonntag D, Peters OA. Effect of prion decontamination protocols on nickel-titanium rotary surfaces. *J Endod.* 2007;33(4):442-6.
191. Ametrano G, D'Antò V, Di Caprio M, Simeone M, Rengo S, Spagnuolo GJ. Effects of sodium hypochlorite and ethylenediaminetetraacetic acid on rotary nickel-titanium instruments evaluated using atomic force microscopy. *Int Endodon J* 2011;44(3):203-209.

192. Erik CE, Özyürek T. Effects of etidronate, NaOCl, EDTA irrigation solutions and their combinations on cyclic fatigue resistance of nickel-titanium single-file rotary and reciprocating instruments at body temperature. *Odontology*. 2019; 107(2):190-195.
193. Upendran A, Gupta R, Geiger ZJS. Dental infection control. 2020:2.
194. Sonntag D, Peters OA. Effect of prion decontamination protocols on nickel-titanium rotary surfaces. *J Endod* 2007;33(4):442-6.
195. Razavian H, Iranmanesh P, Mojtahedi H, Nazeri R. Effect of autoclave cycles on surface characteristics of S-file evaluated by scanning electron microscopy. *Iran Endod J*. 2016;11(1):29.



