



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
BEZMİALEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**VERTUCCİ TİP 2 KONFİGURASYONA SAHİP MANDİBULAR
MOLARLARIN MEZİAL KÖK KANALLARINDA ROTARY VE RESİPROK
EĞE SİSTEMLERİNİN OLUŞTURDUĞU APİKAL TRANSPORTASYONUN
MİKRO-BT İLE İNCELENMESİ**

UZMANLIK TEZİ

Fuad SADIGLI

TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi Gamze NALCI

MAYIS 2023

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca benden bilgi, deneyim ve ilgisini eksik etmeyen, bu çalışmanın yapılması sürecinde sabırla bana yol gösteren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Gamze Nalcı'ya,

Eğitimim süresince klinik ve akademik bilgilerini benimle paylaşan, değerli fikirleri ve desteklerinden dolayı sevgili hocalarım Doç. Dr. Mehmet Burak Güneşer'e, Doç. Dr. Asiye Nur Dinçer'e, Doç. Dr. Betül Aycan Uysal'a ve Uzm. Dt. Fatma Begüm Peker'e

Eğitim sürem boyunca tecrübelerini benimle paylaşan arkadaşlarım Uzm. Dt. Melike Özbek'e, Uzm. Dt. Abdülkadir Tiftik'e

Zor günlerimde destek ve sevgilerini her zaman hissettiğim, hep yanımda olan Dr. Fatma Kaplan'a, Uzm. Dt. Gözde Kotan'a, Uzm. Dt. Çağrı Ceyli'ye ve Dt. Fatma Nurefşan Gürsoy'a

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum Dt. Hümeysra Furuncu'ya, Dt. Özlem Karagöz'e, Dt. Meryem Çoban ve Dt. Meryem Çakır'a

Çalışmamda ve asistanlık eğitimim boyunca beraber çalıştığım tüm Endodonti Bölümü AD asistan arkadaşlarıma

Ayrıca tüm yaşamım boyunca sevgileri ile yanımda olan ve her konuda olduğu gibi tezim süresince de maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili ailem'e

İçtenlikle teşekkür ederim.

Mayıs 2022

Dt. Fuad Sadıglı

Bu tez, Bezmialem Vakıf Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından 20220608 numaralı proje ile desteklenmiştir.

BEYAN

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

Dt. Fuad Sadıglı



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iv
BEYAN.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	ix
SUMMARY	X
1.GİRİŞ VE AMAÇ	3
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Endodontik Tedavinin Amaç Ve İlkeleri.....	5
2.2. Kök Kanallarının Şekillendirilmesinde Kullanılan Aletler	7
2.2.1. Paslanmaz Çelik Endodontik Aletler.....	7
2.2.2. Ni-Ti Kanal Aletleri.....	8
2.2.2.1. Ni-Ti Alaşımının Genel Özellikleri	8
2.2.2.2. Ni-Ti Alaşıma Uygulanan Yüzey İşlemleri.....	10
2.2.2.3. Ni-Ti Aletlerine Uygulanan Isıl İşlemler.....	12
2.3. Ni-Ti Döner Eğelerin Sınıflandırılması.....	14
2.3.1. Resiprokasyon Yapan Tek Eğe Sistemleri.....	16
2.3.2. Devamlı Rotasyon Yapan Tek Eğe Sistemleri	17
2.3.3. Isıl İşlem Görmüş Kontrollü Bellek Özelliğine Sahip Endodontik Tek Eğe Sistemleri	17
2.4. Kök Kanal Şekillendirilmesi Sırasında Yapılan İşlemsel Hatalar	20
2.4.3. Dirsek.....	21
2.4.4. Kanalın Tıkanması.....	22
2.4.5. Basamak Oluşumu (Ledge)	22
2.4.6. Kök Kırıkları Ve Çatlaklar	23

2.4.7. Transportasyon.....	23
2.4.7.1. Transportasyon Oluşumunu Etkileyen Faktörler:.....	25
2.5. Kök Kanal Eğimini Belirlemek İçin Kullanılan Yöntemler	25
2.6. Kök Kanal Sistemini İnceleme Teknikleri.....	26
2.6.1. Seri Kesit Tekniği	27
2.6.2. Radyografik Yöntem.....	27
2.6.3. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT)	27
2.6.4. Mikro Bilgisayarlı Tomografi.....	28
2.7. Apikal Transportasyon Miktarının Mikro-BT İle Değerlendirilmesi	29
3. GEREÇ VE YÖNTEM	31
3.1. Örneklerin Seçimi	31
3.2. Örneklerin Hazırlanması.....	31
3.3. Çalışma Boyu Tespiti.....	33
3.4. Kök Kanal Preparasyonu	33
3.5. Şekillendirmeden Sonra Mikro-BT Görüntüleme	36
3.6. Mikro-BT Görüntülemeden Sonra 2. Şekillendirme	38
3.7. Apikal Transportasyon Miktarının Değerlendirilmesi.....	38
3.8. İstatistiksel Yöntem	41
4. BULGULAR.....	42
5.TARTIŞMA	44
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
7. KAYNAKÇA	51
8.ÖZGEÇMİŞ:	66

KISALTMALAR

°C	: Santigrat derece
EDTA	: Etilendiamin tetraasetik asit
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
n	: Numune sayısı
NaOCl	: Sodyum hipoklorit
Ni-Ti	: Nikel titanyum
SS	: Standart sapma
μ-BT	: Mikro bilgisayarlı tomografi
μm	: Mikrometre
BT	: Bilgisayarlı tomografi
3D	: üç boyutlu
KIBT	: Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
μA	: Mikro Amper
Ncm	: Tork birimi (Newton santimetre)
rpm	: 1 dakikadaki tur sayısı (revolution per minutes)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Vertucci sınıflaması	6
Şekil 2. Martensitik transformasyon histerezisi [46]	9
Şekil 3. Ni-Ti Alaşımın şekil hafıza etkisi ve martensit faz transformasyon diyagramı [46]	9
Şekil 4. Ni-Ti alaşımın süperelastisite özelliği diyagramı [46].....	10
Şekil 5. Resiprokal harekette saat yönündeki rotasyon, saatin tersi yönündeki rotasyondan daha azdır [81].	16
Şekil 6. Modifiye triangular konveks, triangular konveks ve s şekli [81]	17
Şekil 7. Devamlı rotasyon yapan eğelerin enkesitleri [81]	17
Şekil 8. Zipping diyagramı [103].	21
Şekil 9. Basamak oluşumu sonucu kanalın tıkanmasını gösteren diyagram [104]. ...	22
Şekil 10. Paslanmaz K-tipi eğe ile şekillendirilmiş kanal simülasyonunda oluşan transportasyon (kırmızı renk) [127]	24
Şekil 11. Plastik bloklarda kanal simülasyonlarında preparasyondan önce (a) ve preparasyondan sonraki (b) görseller; zip ve dirsek oluşumu [33]	24
Şekil 12. Kök kanal eğimini belirlemek için kullanılan en yaygın yöntemler [129].	25
Şekil 13. Mikro-BT'nin temel bileşenleri [149]	28
Şekil 14. Gambill tarafından geliştirilmiş teknik	30

RESİM LİSTESİ

Resim 2. Dekorone edilen mezial köklerin kanalların birleşip birleşmediğinin kanal aletleri ile tespiti.....	32
Resim 3. Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip mezial köklerin radyografi ile tespiti.....	32
Resim 4. Örnekler apeksi açıkta kalacak şekilde akrile gömülüdür.....	35
Resim 5. Oneshape.....	35
Resim 6. Waveone gold	36
Resim 7. Skyscan 1172 model mikro-bt cihazı.....	38
Resim 8. Waveone gold grubunda ölçümlerin yapıldığı enkesit	40
Resim 9. Oneshape grubunda ölçümlerin yapıldığı enkesit.....	41

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Transportasyon miktarının yönler ve gruplar arasında karşılaştırılması	42
Tablo 2. WaveOne Gold grubu, kaldırılan dentin miktarının karşılaştırılması.....	43
Tablo 3. OneShape grubu, kaldırılan dentin miktarının karşılaştırılması	43



ÖZET

Vertucci Tip 2 Konfigurasyona Sahip Mandibular Molarların Mezial Kök Kanallarında Rotary ve Resiprok EĒe Sistemlerinin Oluşturduğu Apikal Transportasyonun Mikro-BT ile İncelenmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı; tek foramenle sonlanan Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip mandibular 1. molarların mezial köklerinde devamlı rotasyon yapan eĒe sistemleri ve resiprokasyon hareketle çalışan eĒe sistemlerinin her iki kanalda çalışma boyunda kullanılması sonucu apikal foramende oluşabilecek transportasyonun değerlendirilmesidir.

Gereç ve Yöntem: Bu çalışmada Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip 20 adet çekilmiş mandibular 1. molar dişin mezial kökleri kullanılmıştır. Daha sonra örnekler devamlı rotasyon yapan eĒe sistemi ve resiprokasyon hareketle çalışan eĒe sistemiyle şekillendirilmek üzere iki gruba ayrılmıştır. Köklerin daha düz olan lingual kanalları şekillendirildikten sonra Mikro-BT ile görüntüleri alınmıştır. Daha sonra köklerin bukkal kanalları şekillendirilmiştir ve tekrardan Mikro-BT ile görüntüler alınmış ve apikal foramende dört yönde ölçümler birinci ve ikinci şekillendirmeden sonra kıyaslanmıştır. İBS SPSS V23 (Chicago, ABD) ile verilerin analizi yapılmıştır. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilk testi ile incelenmiştir. Varyansların homojenliği Levene Testi ile incelenmiştir.

Bulgular: WaveOne Gold ve OneShape grupları arasında Bukkolingual yöndeki transportasyon miktarı açısından fark bulunmuştur ($p=0.043$). WaveOne Gold grubunda bukkolingual yöndeki transportasyon miktarının ortanca değeri 31.3 mikrometre iken OneShape grubunda 47.2 olarak elde edilmiştir. Meziodistal yöndeki transportasyon miktarı açısından gruplar arasında anlamlı fark bulunamamıştır ($p=0.641$). Lingual yönden kaldırılan dentin miktarı ortalama değerleri WaveOne Gold ve OneShape grupları arasında farklılık göstermemiştir ($p= 0,181$). Bukkal yönden kaldırılan dentin miktarı ortanca değerleri WaveOne Gold ve OneShape arasında farklılık göstermemiştir ($p= 1,000$). Mezial yönden yapılan ölçümlerin ortalama değeri WaveOne Gold ve OneShape grupları arasında farklılık göstermemiştir ($p= 0,599$). Distal yönden yapılan ölçümlerin ortalama değerleri WaveOne Gold ve OneShape grupları arasında farklılık göstermemiştir ($p= 0,948$). WaveOne Gold grubunda dört yönde yapılan ölçümlere baktığımızda kaldırılan dentin miktarı ortanca değerleri arasında farklılık görülmüştür ($p= 0,024$). Lingual yöndeki ortanca değer diğer yönlerden daha fazla bulunmuştur. OneShape grubunda dört yönde yapılan ölçümlere baktığımızda kaldırılan dentin miktarı ortalama değerleri arasında da farklılık görülmüştür ($p<0,001$). WaveOne Gold grubunda olduğu gibi OneShape grubunda da lingual yöndeki ortanca değer diğerlerinden daha fazla bulunmuştur.

Sonuç. Bukkolingual yönde transportasyon değerleri WaveOne Gold grubunda OneShape grubuna göre daha az bulundu. Meziodistal yönde transportasyon değerlerinde gruplar arasında fark bulunamadı. Her iki yönde apikal tranportasyon miktarları 0,3 mm'yi geçmemiştir. Her iki grupta da lingual yönde kaldırılan dentin miktarı diğer yönlere göre daha fazla bulundu.

Anahtar Kelimeler: Vertucci tip 2, Apikal transportasyon, Mikro-BT, Ni-Ti tek eĒe sistemleri

SUMMARY

Micro-CT evaluation of the apical transportation in mesial root canals of mandibular first molars with Vertucci type 2 using rotary and reciprocating instruments

Aim: The aim of the study was to evaluate apical transportation after root canal preparation to working length in both canals with reciprocating and rotary instruments in mandibular first molars which have Vertucci type 2 canals merging at single foramen.

Material and Method: In this study 20 mandibular first molars' mesial roots having Vertucci type 2 canal configuration were used. Teeth were divided into two groups. In the first group reciprocating file system was used, in the second group rotary file system was used. After preparation of lingual canals in both group specimens were scanned with Micro-CT. Then buccal canals in both groups were prepared. Specimens were scanned again and apical foramens were measured at four different direction and results were compared. Statistical analysis was performed with the IBS SPSS V23 (Chicago, USA). Shapiro Wilk test was used for normal distribution in groups. Homogeneity of variance was assessed with Levene test.

Result: In bukkolingual direction transportation values were statistically different between WaveOne Gold and OneShape groups ($p=0.043$). In meziodistal direction transportation values were not statistically different between groups (0.641). Removed dentin thickness values in lingual directions between groups were not statistically different ($p= 0,181$). Removed dentin thickness values in buccal direction between groups were not significant ($p= 1,000$). Dentin thickness values in mesial direction between groups were not different ($p= 0,599$). Dentin thickness values in distal direction between groups were not statistically different ($p= 0,948$). In the WaveOne Gold group removed dentin thickness mean values were statistically different between lingual direction and other three directions ($p= 0,024$). In the OneShape group transportation mean values were statistically different between lingual direction and other three directions ($p<0,001$). In the both group removed dentin thickness in lingual directions were bigger than in other directions.

Conclusion: There were statistical difference between reciprocating and rotary instruments groups in bukkolingual transportation values. All values were smaller than 0,3 mm. In the both groups removed dentin thickness values in lingual directions were bigger than other directions.

Keywords: Vertucci type 2, apical transportation, Micro-CT, Ni-Ti single file systems

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kök kanal tedavisinin aşamalarından biri olan kök kanal preparasyonunun amacı canlı ve nekrotik dokuları uzaklaştırmak, kök kanal sisteminden bakterilerin eliminasyonunu sağlamak, debrisini uzaklaştırmak, etkili irrigasyon için gereken boşluğu oluşturmak ve kök kanallarının 3B ve sızdırmaz bir şekilde doldurulmasına olanak sağlamaktır [1].

Endodontik tedavinin başarısız olma nedenlerini inceleyen bir çalışmada başarısızlıkların %58'den fazlasının kök kanal sisteminin şekillendirme yetersizliğinden kaynaklı olduğu bildirilmiştir [2]. Şekillendirme işlemi sırasında meydana gelebilecek komplikasyonlar; apikal transportasyon, zip oluşumu (kum saati görüntüsü), dirsek oluşumu, basamak oluşumu, kanal aletlerinin kırılması, çalışma uzunluğundaki kayıp şeklinde sıralanabilir [3]. Şekillendirme sırasında kullanılan eğenin kanal duvarlarının sadece belli kısımlarından madde kaldırması da transportasyon oluşumuna neden olur. Apikal bölgede kökün dış yüzeyine doğru gerçekleşen transportasyon koronalde iç yüzeye doğru meydana gelir [4]. Transportasyon, apikalde zip, koronalde ise strip perforasyona neden olabilir [5]. Kullanılan eğelerin bütün kanal duvarlarından aynı oranda madde kaldırmaması kökün yapısını zayıflatarak, çatlak oluşumuna hassas hale gelmesine de yol açabilir. Bu açıdan bakıldığında transportasyon dışın prognozunu olumsuz biçimde etkileyen komplikasyonların ilk basamağı olarak düşünülebilir [6].

Yeterli genişlik ve istenilen formu verip, kanalın orjinal formunu bozmadan ideal kanal şeklini elde edebilmek için çok sayıda endodontik alet ve preparasyon teknikleri geliştirilmiştir [7]. Schäfer, kanal aletlerini alaşımları açısından paslanmaz çelik ve titanyum alaşımları olarak ikiye ayırmıştır. Paslanmaz çelikten üretilen eğeleri ise konvansiyonel ve esnek paslanmaz çelik eğeler olarak iki alt başlıkta değerlendirmiştir. Konvansiyonel paslanmaz çelik eğelerin yapısında Fe, Cr, Mn, Ni, Si, C ve Mo bulunduğunu ve oranlarının üretici firmalara göre değişim gösterdiğini bildirmiştir [8]. Titanyum içeren ege grupları da nikel-titanyum ve titanyum alüminyum alaşımlı eğeler olarak iki grupta incelenebilir. Ni-Ti alaşımından oluşan kanal eğeleri %55 oranında nikel ve %45 oranında titanyum içerir [9]. Ni-Ti alaşımlarının diğer alaşımlara göre en önemli farklılığı, yüksek korozyon direncine sahip olmaları ve süperelastisite gösterebilmeleridir [10]. Kök kanallarını

şekillendirmek için kullanılan aletlerin kanalda çalışırken kök anatomisine uygun şekilde, üç boyutlu olarak bütün duvarlardan eşit miktarda madde kaldırması beklenmektedir. Bu sayede kanalda transportasyon oluşturulmamış, alet kanal merkezindeki konumunu korumuş olur. Kanal aletlerinin şekillendirme etkinlikleri değerlendirilirken şu parametreler incelenir:

1. Kök kanal eğimini koruyarak şekillendirmesi
2. Kök kanal duvarlarından eşit oranda ve yeterince madde kaldırması [11].

Preparasyon esnasında NiTi enstrümanların merkezde kalma konusundaki etkilerini değerlendirmek için birçok yöntem kullanılmıştır. Radyografik karşılaştırmalar, Bramante ve arkadaşları tarafından kullanılan çapraz kesitler tekniği, dişlerin uzunlamasına ikiye ayrılması, bilgisayarlı tomografi (BT) ve mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) bu yöntemler arasındadır [12-17]. Hem BT hem de mikro-BT, objelerin detaylı 3 boyutlu (3B) görüntülerini elde etmeye izin vermektedir ve endodontik değerlendirmelerde kullanılmaya elverişlidir. Çünkü kök kanal duvarlarından kaldırılan dentin miktarını non-invaziv bir şekilde ölçebilmektedir [15].

Bu çalışmanın amacı; tek foramenle sonlanan Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonunun sahip mandibular 1. molarların mezial köklerinde devamlı rotasyon yapan eğe sistemleri ve resiprokasyon hareketle çalışan eğe sistemleri ile, her iki kanalın çalışma boyunda şekillendirilmesinin apikal foramende oluşturabileceği transportasyonun değerlendirilmesidir. Çalışmadan önceki hipotez her iki kanalda çalışma boyunda şekillendirmenin bukkolingual yönde apikal kanal transportasyonuna ve lingual yönde fazla dentin duvarı kaldırılmasına neden olacağı [18] ve devamlı rotasyon yapan eğelerin resiprokasyon yapan eğelere göre daha az transportasyona neden olacağı yönündeydi [19, 20].

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Endodontik Tedavinin Amaç ve İlkeleri

Bakteriler ve yan ürünlerinin pulpal enflamasyonda ve apikal periodontitiste önemli rol oynadığı iyi bilinmektedir [21]. Bu nedenle kök kanal tedavisinin en önemli hedefi kanalların bakterilerden ve yan ürünlerinden temizlenmesidir. Kanal tedavisinde mekanik preparasyon kök kanal dolumu için kanalların şekillendirilmesinin yanı sıra, kanalda bakterisiz ortam oluşturmak için irrigasyon solüsyonları ve medikamentlerin kullanımını da içerir. Mekanik preparasyon kanal tedavisinin en zor ve zaman gerektiren aşamasıdır [22]. Mekanik preparasyon kök kanal tedavisinin bir sonraki fazının etkinliğini belirlediği için kök kanal tedavi prosedürünün önemli aşaması olarak görülmektedir [23]. İdeal kök kanal enstrümantasyonunun amacı; kök kanallarına orijinal kanal anatomisi korunarak, kanal sistemine iatrojenik hasar oluşturmadan iyi şekillendirilmiş devamlı konik şeklin verilmesini içerir [24]. Peters'e göre kök kanal preparasyonunun üç zor ve tartışmalı aşaması vardır:

1. Giriş kavitesinin açılması, kanal ağzılarının bulunması ve kanalların iatrojenik hata yapılmadan genişletilmesi,
2. Çalışma boyunun belirlenmesi,
3. Kanalların yeterli dezenfeksiyonu ve sonrasında dolumu için doğru enstrüman boyunun ve geometrisinin belirlenebilmesi [25].

Kök kanal preparasyonu geleneksel mekanik (manuel preparasyon, endomotorla preparasyon, sonik ve ultrasonik aletlerle preparasyon) yöntemlerle, lazerle ve enstrümansız geleneksel olmayan deneysel yöntemlerle yapılabilmektedir [26, 27].

Ingle, tek kon tekniği için dizayn edilmiş kök kanal preparasyonu için "standardize teknik"i ortaya sürmüştür. Bu teknikte her alet çalışma boyuna ilerletilip, kanal final eğe boyutunda ve konikliğinde şekillendirilmektedir [28]. Daha sonra güta-perkaların artan popüleritesi ile Schilder, kanalların orijinal kanal şeklini takip ederek devamlı konik formda şekillendirilmesini önermiştir [29].

Schilder güta-perka ile doldurulacak kanalların şekillendirilmesinde beş kriter tanımlamıştır:

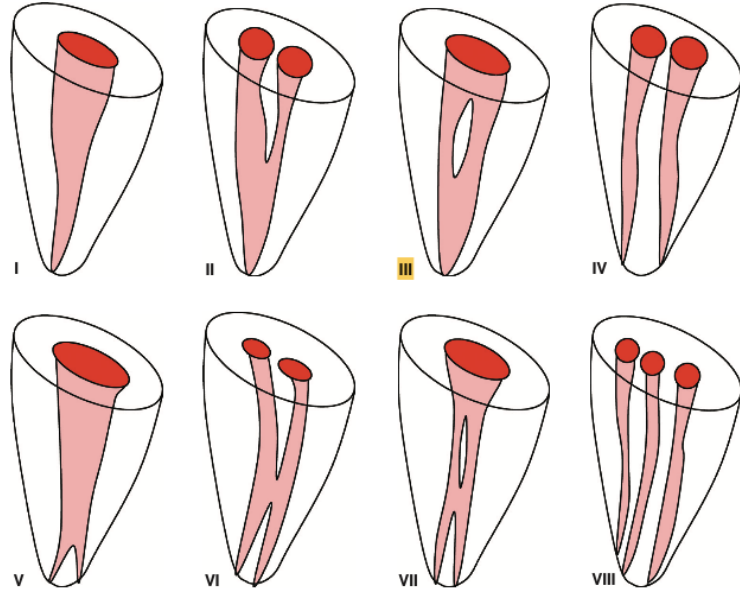
1. Kanal şekli apeksten giriş kavitesine doğru devamlı konik olmalı,

2. Apikale doğru ilerledikçe kanalın enkesiti daha dar olmalı,
3. Orijinal kanal şekli korunmalı,
4. Apikal foramenin orijinal pozisyonu korunmalı,
5. Apikal çap mümkün olan en küçük çapta olmalıdır [29].

Schilder ayrıca kanal preparasyonunda biyolojik açıdan önemli olan dört kriter daha tanımlamıştır:

1. Preparasyon kök sınırları içinde yapılmalı,
2. Periradiküler dokulara irritasyon ve debris taşırılmasından kaçınılmalı,
3. Tüm vital ve nekrotik dokular kanaldan temizlenmeli,
4. Kanal içi medikamanlar ve irrigasyon için yeterli şekillendirme yapılmalıdır [29].

1925 senesinde Hess ve Zurcher dişlerin kanal anatomisinin çok komplike olduğunu gösteren bir çalışma yayınladılar [30]. Daha sonra dişlerde görülebilecek farklı anatomik varyasyonları daha iyi kavramak için farklı sınıflandırma sistemleri geliştirildi. Literatürde sık kullanılan Weine sınıflaması dişteki kanal girişi, kanal ve foramen sayısına dayanarak yapılmaktadır [31]. Vertucci sınıflaması da literatürde sık kullanılan ve diğer sınıflandırmalara göre daha kapsamlı bir yöntemdir ve 8 anatomik varyasyonu tanımlar [32].



Şekil 1. Vertucci sınıflaması

Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonunun sık görüldüğü dişler dişler:

1. Maksiller 1. ve 2. Premolarlar,
2. Maksiller 1. ve 2. Molarların meziobukkal kökleri,
3. Mandibular santral ve lateral keserler,
4. Mandibular kanin,
5. Mandibular 1. Ve 2. Molarların mezial kökleri [32].

2.2. Kök Kanallarının Şekillendirilmesinde Kullanılan Aletler

Başarılı bir kök kanal tedavisi için kanalların şekillendirilmesi için kullanılan endodontik enstrümanlar temel gereksinimleri karşılamalıdır [23, 33, 34]. Günümüzde kök kanal eğelerinin üretiminde kullanılan başlıca iki farklı alaşım türü vardır. Bunlar paslanmaz çelik ve nikel-titanyum (Ni-Ti) alaşımlarıdır. Manuel olarak çalıştırılan endodontik aletlerin çoğu paslanmaz çelikten üretilir ve kırılmaya karşı oldukça dirençlidir. Bununla birlikte, kök kanal enstrümantasyonu için tasarlanmış döner aletler tipik olarak Ni-Ti alaşımdan yapılırlar [35].

2.2.1. Paslanmaz Çelik Endodontik Aletler

K-Reamerler

K-Reamerlar ISO standartlarına ve üreticiye bağlı kalınarak kare ya da üçgen tellerden üretilir. Eğenin çalışma ucuna spiral bir şekil vermek için bükülme işlemi yapılır ve bu da torsiyonel kırılmaya karşı yüksek dirençle sonuçlanır. Reamerlerde çalışma uçlarının her bir mm'inde 1/2 ila 1 kesme bıçağı vardır ve bu nedenle K-tipi el eğesinden daha az kesme bıçağına sahiptirler [36]. Endodontik reamerlar kesme işlemini kanala yerleştirilirken yapar. Bıçakların dentinde çalışabilmesi için saat yönünde çeyrek ila yarım tur döndürülmesi ve ardından penetrasyon, rotasyon ve retraksiyon ile geri çekilmesi gerekir. İşlem tekrarlanır ve böylece eğenin kanal içinde daha derine ilerlemesi sağlanır [37].

K-tipi Eğeler

K-tipi eğeler kanalda ilerlemek ve kanalları genişletmek için kullanılan en eski aletlerdendir. Kare şekilli paslanmaz çelik telin burulmasıyla üretilir. Eğedeki yiv sayısı K-tipi reamerlardan daha fazladır. Paslanmaz çelik K-tipi el eğesine, kanala

yerleştirmeyi kolaylaştırmak ve transportasyonu en aza indirmek için ön eğim verilebilir. Eğer yivlerin arası açılmışsa kalıcı deformasyon meydana gelmiştir ve eğer artık kullanılmamalıdır [38].

H-tipi Eğerler

H-tipi bir alet, çekme hareketi sırasında kesmeye izin verecek şekilde düzenlenmiş spiral kenarlara sahiptir. Kesme kabiliyeti K-tipi bir eğerden daha fazladır. Bunun sebebi H-tipi eğerin pozitif kesme açısına sahip olmasıdır. H-tipi eğerler, yuvarlak, konik, paslanmaz çelik bir tel parçasının spiral oluklar şeklinde frezlenmesiyle üretilir [38, 39].

2.2.2. Ni-Ti Kanal Aletleri

2.2.2.1. Ni-Ti Alaşımının Genel Özellikleri

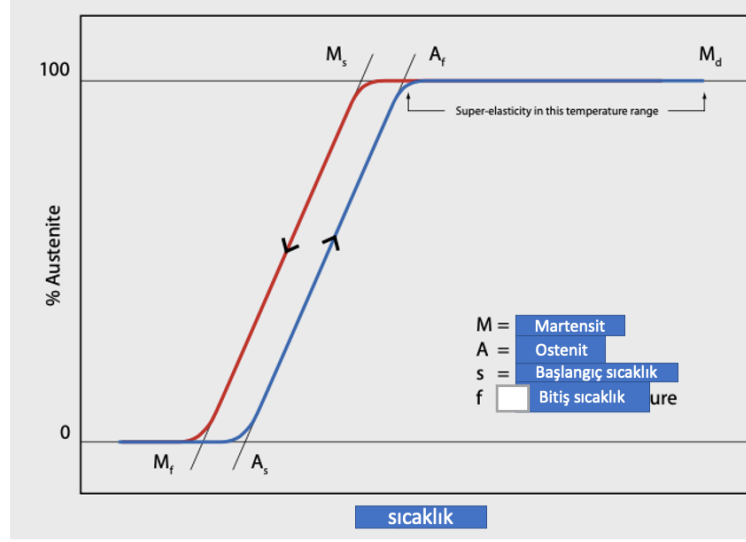
Diş hekimliğinde Ni-Ti alaşımları düşük elastikiyet modülü, şekil hafızası etkisi ve esnek olması nedeniyle 1971 yılında Andreasen ve Hilleman tarafından ortodontik tel üretiminde kullanılmıştır [40]. 1975 yılında ilk kez endodontide üretimi Civjan ve ark. tarafından kavramsallaştırılmıştır [41]. 1988 yılında ortodontik tel işlenerek ilk manuel eğer tanıtılmıştır [42].

Endodontik eğerlerin üretiminde kullanılan Ni-Ti alaşımları, ağırlık olarak yaklaşık %56 nikel ve %44 oranında titanyum içermektedirler. Bu oranda, Ni-Ti alaşımları süperelastik ve şekil hafıza özelliği sergiler. Şekil hafıza özelliği, alaşımın martensit-östenit dönüşüm sıcaklığının üstünde ısıtılmasıyla orijinal şekline dönebilmesidir [43]. Süperelastik özelliği eğer, kanal eğimlerinin üstesinden gelmek için esneklik kazandırmaktadır [43]. Süperelastisite ya da psödoelastisite, materyallerin elastik limit ötesinde deformasyona uğradıktan sonra orijinal şekline dönmesi olarak tanımlanabilmektedir [44].

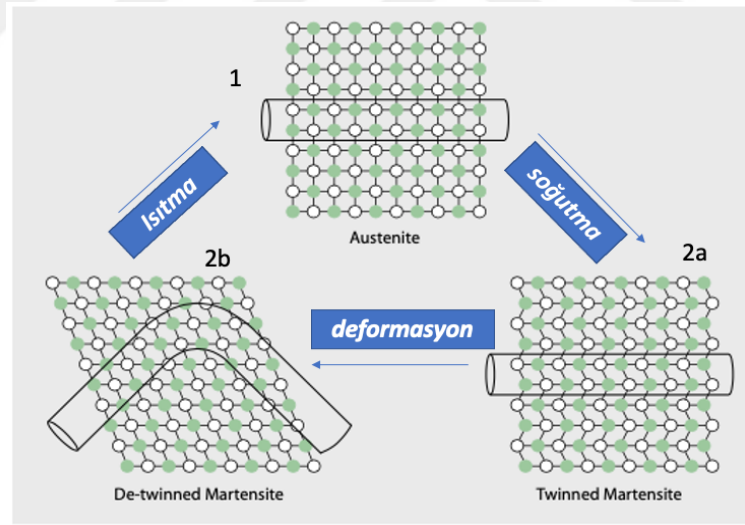
Ni-Ti alaşımlar 3 fazda bulunur:

1. Östenit: Yüksek sıcaklık fazıdır, kübik kafes yapısına sahiptir ve alaşımın en dayanıklı olduğu fazdır.
2. Martensit: Düşük sıcaklık fazıdır, monoklonal denen karmaşık bir yapıya sahiptir ve alaşımın stabil olmadığı fazdır.

3. R-fazı (geçit fazı): Romboidal bir yapıya sahiptir. Östenit ve martensit fazından daha düşük elastikiyet modülüne sahiptir. Alaşım bu fazda daha yumuşaktır ve kolayca deforme olabilir [45].



Şekil 2. Martensitik transformasyon histerezi [46]

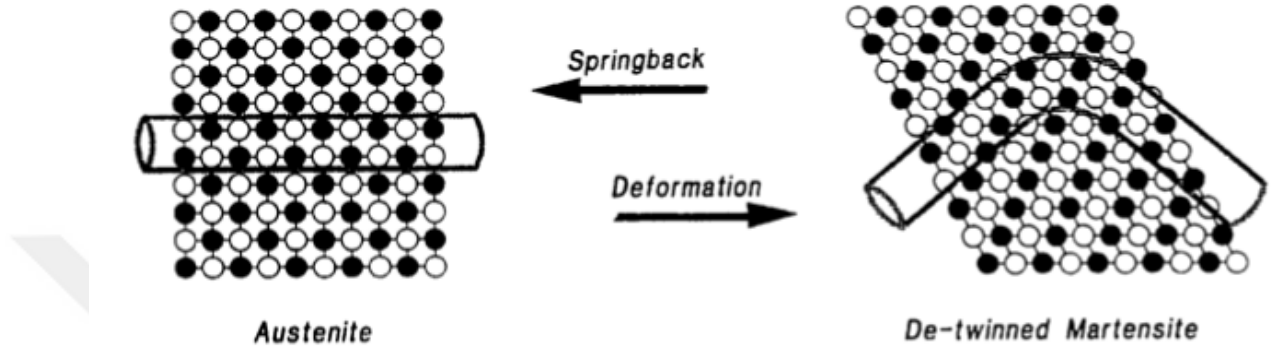


Şekil 3. Ni-Ti Alaşımın şekil hafıza etkisi ve martensit faz transformasyon diyagramı [46]

1. Af (Östenit-Bitiş) sıcaklık sınırının üzerinde alaşım östenit fazda bulunur. Alaşım M_s (Martensit-Başlangıç) sıcaklık sınırına kadar soğutulursa twinned martensit faza dönüşmeye başlar. M_f (Martensit- Bitiş) sıcaklık sınırının altında alaşım tamamen martensit faza dönüşmüş olur. Twinned martensit fazdaki alaşıma gerilim uygulanırsa alaşım de-twinned martensit faza dönüşür.

Alaşım tekrardan Af sıcaklık sınırına kadar ısıtılırsa östenit faza dönüşerek şekil hafıza özelliğini sergilemiş olur (Şekil 2 ve 3) [47].

2. Östenit fazdaki alaşıma ısıtılmadan eksternal kuvvet uygulanırsa de-twinning martensit faza dönüşür. Kuvvet kaldırıldıktan sonra alaşım tekrardan östenit faza dönüşerek süperelastisite özelliğini sergiler (Şekil 4) [46].



Şekil 4. Ni-Ti alaşımanın süperelastisite özelliği diyagramı [46]

2.2.2.2. Ni-Ti Alaşıma Uygulanan Yüze İşlemleri

Son yıllarda, metalin işlenmesi ve eğe üretimi sırasındaki yüze kusurlarını veya varyasyonları düzeltmek için alaşım değiştirilerek yeni Ni-Ti varyasyonları geliştirilmiştir. Ni-Ti aletlerinin yüzeyine uygulanan işlemlerle aletin döngüsel yorgunluğa karşı direncini ve kesme verimliliğini artırmak amaçlanmıştır [48].

Plazma Daldırma İyon İmplantasyonu

Plazma daldırma iyon implantasyonu yönteminde numune plazma içine daldırılır. Daha sonra numune negatif yüklü yüksek gerilim darbelerine maruz bırakılır. Elektrik alanı boyunca iyonlar (çoğunlukla azot iyonları), ivmelendirilerek numune yüzeyine yüklenir. İşlem sonrası eğin kesme verimliliğinin, aşınma direncinin ve döngüsel yorulma direncinin arttığı gözlemlenmiştir [48, 49].

Ni-Ti Oksit Formasyonu/Titanyum Oksit Kaplama

Titanyumun oksijene afinitesinin nikel göre daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, orta sıcaklıklarda artan süreyle oluşan oksit, esas olarak

titanyum oksitten (TiO₂) oluşur. Aun ve arkadaşları, TiO₂ tabakasının endodontik aletlerin mekanik davranışı üzerindeki etkisini ve ayrıca NaOCl çözeltisi içindeki korozyon direncini incelemiştir; kesme verimliliğinde ve NaOCl çözeltisinde korozyona karşı dirençte artış gözlemlemiştir [48, 50].

Termal Nitrürleme

Nitrürleme yönteminde, Ni-Ti alaşımı üzerinde titanyum nitür (TiN) oluşturulur. Modifiye edilmiş yüzey, ince bir dış TiN tabakası ve altında daha kalın bir Ti₂Ni tabakasından oluşur [50]. Ni-Ti ege yüzeyinde TiN tabakasının bulunması eğenin %5,25 NaOCl ile teması sırasında korozyon direncini önemli ölçüde artırır [48].

Kriyojenik Yöntem

Derin kuru kriyojenik yöntemler metallerin aşınma direncini, korozyon direncini, mikrosertliğini ve dayanıklılığını arttırmak için kullanılmıştır. İşlem sonrası alaşımın elementel kristal bileşiminde herhangi bir değişiklik olmaksızın aletin tüm kesitinin etkilendiği görülmüştür [51]. Bu yöntem sıvı azot içeren aşırı soğutulmuş bir banyo üzerinde süspanse edilmesini ve ardından metalin yavaşça oda sıcaklığına çıkarılmasını içerir [52, 53]. Kriyojenik yöntemin alaşımın mikro sertliği, döngüsel yorgunluğu ve kesme etkinliği üzerinde etkisi olduğu gösterilmiştir [51, 54, 55].

Elektro-Parlatma İşlemi

Elektro-parlatma, Ni-Ti aletlerinin imalatı sırasında son cila olarak kullanılan standart bir yüzey işleme yöntemidir. Bu işlemde yüzey kimyası ve morfolojisi değiştirilirken, yüzeydeki defektler çözülmüş metal iyonları ile kaplanır. Alaşımın yüzeyinden akım geçtikçe metalin yüzeyi oksitlenir ve elektrolit içinde çözünür. Bu süreçte, iyileştirilmiş yüzey özellikleri ile birlikte metalin korozyon direnci artırılır [56]. Anderson ve arkadaşları, elektro-parlatma yapılmış aletlerin döngüsel yorulma testinde daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır. Ayrıca elektro-parlatma işleminin yüzey düzensizliklerinin sebep olduğu stres noktalarında azalma sağladığını göstermişlerdir [57].

2.2.2.3. Ni-Ti Aletlerine Uygulanan Isıl İşlemler

Ni-Ti alaşımının mekanik davranışı, mikroyapısal fazların oranları ve özellikleri ile belirlenir. Isıl işlem Ni-Ti endodontik eğelerin yorulma direncini etkilemeye yönelik en temel yaklaşımlardan biridir [48].

M-Wire

Klinik koşullar altında büyük ölçüde kararlı martensit fazı içeren Ni-Ti alaşımı üretmek amacıyla bir dizi tescilli termomekanik işleme prosedürü geliştirilmiştir. Ni-Ti alaşımının martensitik formu mükemmel bir yorulma direncine sahiptir [58-61]. 2007 yılında M-Wire (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, ABD) olarak bilinen martensitik, premartensitik R-fazında olan ve psödoelastik yapıyı korurken östenit kısımlar da içeren bir tel üretilmiştir [62, 63]. M-Wire alaşımından üretilen eğelerin geleneksel Ni-Ti alaşımlarına kıyasla daha esnek ve döngüsel yorgunluğa karşı artmış bir dirence sahip olduğu iddia edilmektedir. Bu alaşımlar üretilmiş eğeler arasında; Dentsply Sirona firmasının ProFile GT-X, ProFile Vortex, ProTaper Next, Pathfiles, WaveOne ve Reciproc (VDW, Münih, Almanya) bulunur [64].

Kontrollü Bellek Özelliği (CM Wire)

CM Wire (DS Dental, Johnson City, Tennessee, ABD), 2010 yılında piyasaya sürülen esnek özelliklere sahip yeni bir Ni-Ti alaşımıdır. Esnekliği arttırmayı, şekil hafıza özelliğini azaltmayı ve vücut sıcaklığında kararlı martensit faz elde etmeyi amaçlayan tescilli bir termo-mekanik işlem ile üretilmiştir. Böylelikle eğeye kanala yerleştirmeden önce ön eğim verilebilmektedir. Mevcut CM Wire Ni-Ti ege sistemleri arasında Hyflex CM (Coltene Whaledent, ABD), Typhoon CM (Clinician's Choice Dental Products, ABD) ve ProFile Vortex Blue (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, ABD) bulunur. Çoğu geleneksel Ni-Ti eğeler için Af sıcaklığı oda sıcaklığında veya daha altındadır. Fakat CM eğelerinin Af sıcaklığı vücut sıcaklığının üzerindedir. Sonuç olarak, geleneksel Ni-Ti eğeleri klinik kullanım sırasında östenit fazındayken, CM eğeleri östenite ek olarak martensit ve R fazı da içerir [65, 66]. CM eğelerinin, geleneksel Ni-Ti telden yapılmış aletlere göre yorulma direncinin yaklaşık %300 ila %800 daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca CM-Wire alaşımından yapılan Ni-Ti aletlerinin kare konfigürasyonu, üçgen konfigürasyondan önemli ölçüde daha

uzun bir yorulma ömrü göstermiştir. Bu nedenle, yorulma ömrünün önemli bir belirleyicisi olduğu için aletin tasarımı da dikkate alınmalıdır [59].

R Faz Alaşım lar

Östenit fazında bulunan geleneksel Ni-Ti tellerin ısı l işlemi, onları östenit ve martensit arasında bir geçiş fazı olan ve R-fazı olarak adlandırılan eşkenar dörtgen bir kristal yapıya dönüştürür [67]. Bu dönüşüm sıcaklık ve stres kaynaklı olabilir. R fazı iyi bir esneklik ve şekil hafızası özelliği gösterir. Young modülü tipik olarak östenit fazdaki alaşımdan daha düşüktür. Böylece, R fazlı telden yapılmış bir alet daha esnek olacaktır [68].

Gold ve Blue Isıl İşlemler

2011 yılında mavi renge sahip ilk eğe olan ProFile Vortex Blue (Dentsply Tulsa Dental) piyasaya sunulmuştur [69]. Bu eğelerin yüzeyindeki belirgin mavi renkten titanyum oksit tabakasının sorumlu olduğu bilinmektedir [70]. Vortex Blue için Af sıcaklığının derecesi 38.5 °C civarında olduğu, Ms sıcaklığının ise yaklaşık 31 °C olduğu bulunmuştur [71]. Blue ısıl işlem görmüş eğelerin kontrollü bellek davranışı göz önüne alındığında, daha düşük dönüşüm sıcaklıklarına rağmen bu aletlerin M-Wire alaşımdan üretilenlere göre daha kararlı martensit formda olduğu ve bunun da daha yumuşak ve daha esnek bir Ni-Ti alaşımıyla sonuçlandığı söylenebilir [72].

Gold ısıl işlem görmüş eğelerden olan ProTaper Gold'un (Dentsply Sirona, İsviçre) Af sıcaklığı yaklaşık 50 °C'dir. Bu da bu aletlerin klinik koşullar altında esas olarak martensit veya R fazında olduğunu göstermektedir [73]. Tüm Gold ve Blue ısıl işlem görmüş eğeler, geleneksel Ni-Ti ve M-Wire aletlerine kıyasla gelişmiş esneklik ve yorulma direnci göstermiş aynı zamanda da merkezde kalan bir kök kanal genişletmesine olanak tanımıştır [72].

Max-Wire Alaşım lar

FKG Dentaire (La Chaux-de-Fonds, İsviçre) firması tarafından piyasaya sürülmüş olan Max Wire Ni-Ti alaşımı klinik uygulamada hem şekil hafızası hem de süper elastisite özelliği gösterir [72]. Şuanda, Max-Wire alaşımdan yapılmış iki döner eğe sistemi mevcuttur. Bunlar; XP-endo Shaper ve XP-endo Finisher'dır (FKG

Dentaire La Chaux-de-Fonds, İsviçre). Bu eğeler oda sıcaklığında martensitik fazda ve nispeten düz iken, kanal içinde (37 °C) östenit faza dönüşür [74]. Bu nedenle, bu aletler kanal içinde kullanıldığında şekil hafıza özelliği gösterir ve kök kanal preparasyonu sırasında süper elastikiyete sahiptir. Ayrıca bu eğelerin eğimli ve karmaşık kök kanal morfolojisine sahip kanallarda düzensizliklere uyum sağlama potansiyeline sahip olduğu da iddia edilmektedir [72].

T-Wire/C-Wire Ni-Ti Alaşımlar

T-Wire ısıtılma işlemle üretilen eğelerin esnekliğinin ve kırılma direncinin %40 oranında arttığı ve eğelerin kullanımdan sonra orijinal şekline dönebildiği iddia edilmektedir. 2Shape (Micro-Mega, Besancon, Fransa) eğeleri bu alaşımdan yapılmıştır [75].

C-Wire alaşım OneCurve (Micro-Mega, Besancon, Fransa) eğeleri için üretilmiş olan bir ısıtılma işlemidir. Eğeye ısıtılma işlemi öncesinde elektro-parlatma yüzey işlemi uygulanır. Uygulanan ısıtılma işlem sonrasında eğeler kontrollü bellek özelliği kazanmaktadır [76].

2.3. Nİ-Tİ DÖNER EĞELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kök kanal preparasyonunda kullanılan döner eğeler 3 gruba ayrılır:

1. Radyal alanı olan ve pasif preparasyon yapan aletler:

1. Lightspeed
2. Profile
3. GT (Greater Taper) GTX eğeler
4. K3

2. Radyal alanı olmayan, üçgen yatay kesitli, aktif preparasyon yapan aletler:

1. Protaper Universal
2. Hero 642, Hero Shaper
3. FlexMaster
4. Race, BioRace, BT Race
5. Twisted File

6. EndoSequence
7. ProFile Vortex
8. Mtwo [77]

3. Özel aletler:

1. WaveOne, Reciproc
2. Self-Adjusting files

2008 yılında Yared, kurvatürlü kanallarda tek Protaper F2 (Dentsply, Tulsa) eğesinin kullanımını önererek tek eğe sistemi kavramını ortaya atmıştır [78]. Tek eğe sistemleriyle kanal preparasyonu daha kısa sürmektedir [79]. Bu teknikte tek eğe kullanımı hem tedavi maliyeti açısından hem de çapraz enfeksiyon riski açısından avantaj sağlamaktadır [80].

2007 yılında eğenin döngüsel yorgunluğunu azaltmak amacıyla saat yönünde ve saatin tersi yönde gerçekleşen resiprokal hareket kavramı sunulmuştur. Geliştirilen resiprokal hareketle çalışan eğelerin devamlı rotasyon yapan eğelere göre döngüsel yorgunluğa daha dayanıklı olduğu gösterilmiştir [78].

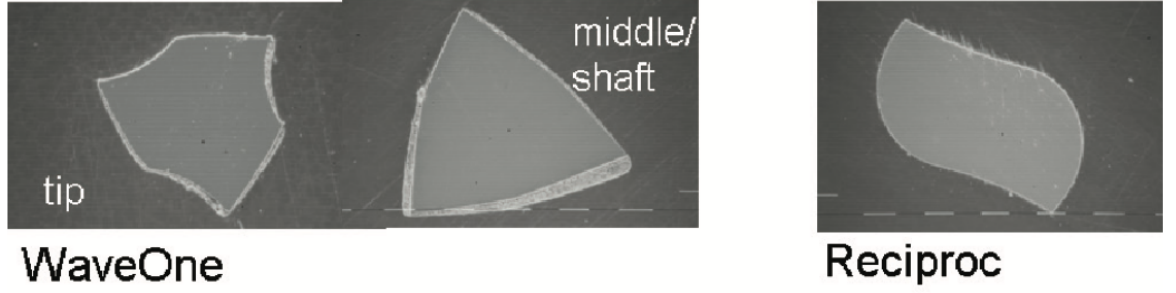


Şekil 5. Resiprokal harekette saat yönündeki rotasyon, saatin tersi yönündeki rotasyondan daha azdır [81].

2.3.1. Resiprokasyon Yapan Tek Eĝe Sistemleri

Resiprokal hareketle çalışan 2 eĝe sistemi olan Reciproc (VDW, Almanya) ve WaveOne (Dentsply Maillefer, İsviçre) M-Wire alaşımından yapılmıştır. Reciproc (VDW, Almanya) piyasada 25.08 (R25), 40.06 (R40) ve 50.05 (R50) bulunmaktadır. WaveOne eĝe sisteminin 21.06 (small), 25.08 (primary) ve 40.08 (large) numaraları piyasaya sunulmuştur [81].

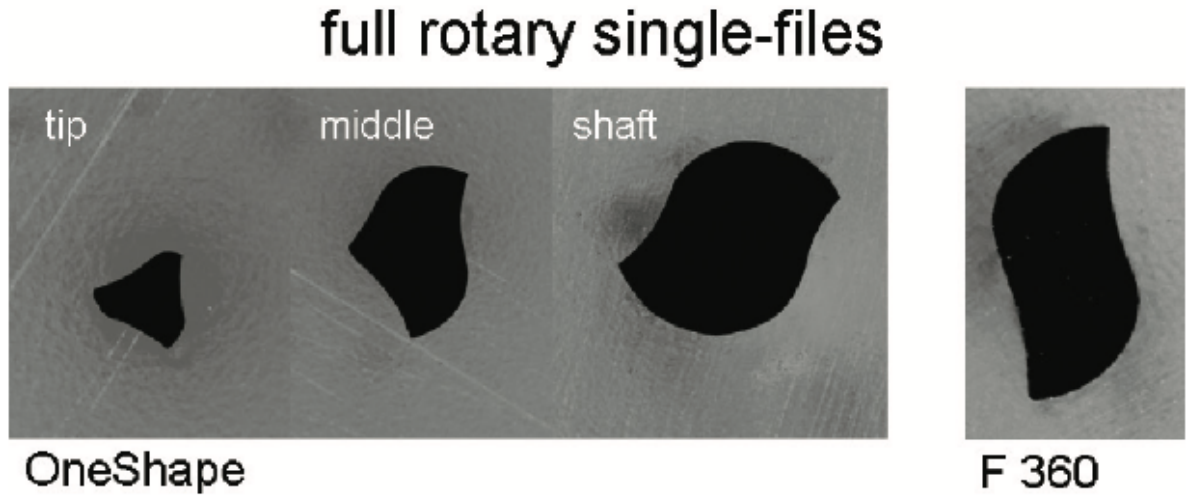
Reciproc eĝe sisteminde eĝenin aktif kısmı boyunca cross-section kesiti S şeklindedir. Bunun tersine WaveOne eĝe sisteminde eĝenin aktif kısmı boyunca uç ve orta kısmında enkesinin şekli farklıdır (Şekil 6) [79].



Şekil 6. Modifiye triangular konveks, triangular konveks ve s şekli [81]

2.3.2. Devamlı Rotasyon Yapan Tek Eğe Sistemleri

F360, F6 Sky Taper (Brassler, Lemgo, Almanya) ve OneShape (Micro-Mega, Besançon, Fransa) piyasada bulunan tek eğe sistemleridir [81]. F360 eğe sistemleri sabit konik açısına sahip olup 25, 35, 45 ve 55 numaraları bulunmaktadır. Eğenin çalışan kısmı boyunca enkesiti modifiye S-şeklinde dizayn edilmiş ve eğe geleneksel östenit Ni-Ti alaşımından üretilmiştir (Şekil 7) [82].



Şekil 7. Devamlı rotasyon yapan eğelerin enkesitleri [81]

2.3.3. Isıl İşlem Görmüş Kontrollü Bellek Özelliğine Sahip Endodontik Tek Eğe Sistemleri

Reciproc Blue

Reciproc Blue (VDW, Munich, Almanya) resiprokasyonel hareket kinematığı ile (saat yönünün tersi yönde 150° ve saat yönünde 30°) çalışan kanal eğesi S şeklinde çapraz kesite, 2 kesme bıçağına ve kesici olmayan bir uç tasarımına sahiptir. Eğenin

döngüsel yorulma direncinin artırılması amacıyla tescilli ısıtma işlemi uygulanmıştır. Bu ısıtma işlemi eğeye mavi rengini verirken Reciproc eğesine göre 2 kat fazla döngüsel yorulma direnci sağlar [83].

Reciproc Blue eğelerinin R25 (25/08), R40 (40/06) ve R50 (50/05) olmak üzere üç farklı uç boyutu bulunmaktadır [84].

TruNatomy

TruNatomy; üretim sonrası ısıtma işlemi uygulanan, Dentsply Sirona firması tarafından piyasaya sunulan, tam tur rotasyon hareketiyle çalışan Ni-Ti kanal eğesidir. TruNatomy eğelerinin şekil hafıza özelliği M-Wire ve geleneksel Ni-Ti eğelerden daha azdır. Eğelere ön eğim verilebilmektedir. Bu eğe sisteminin TruNatomy Prime file (26/04), TruNatomy Medium file (36/03) ve TruNatomy Small file (20/04) olmak üzere 3 farklı boyutu mevcuttur. [85]

HyFlex EDM

Yakın zamanda piyasaya sürülmüş olan HyFlex EDM (HEDM) (Coltene/Whaledent Altstätten, İsviçre) eğelerine, yüksek frekanslı elektrik deşarjları ile teli kısmen eriten ve buharlaştıran temassız termal erozyon işlemi uygulanır [86, 87]. EDM teknolojisi ile üretilen bu eğe, taramalı elektron mikroskopunda yüzeyinde 'krater benzeri' bir görünüm sergiler [88].

HEDM eğeleri 25/0.08, 40/0.04, 50/0.03 ve 60/0.02 boyutlarında üretilmiştir. HEDM (25/0.08) eğesi apikal 4 mm'lik kısımda sabit %8 koniklik gösterirken, koronal kısma doğru konikliğin %4 e kadar düştüğü belirtilmektedir [89]. Apikal kısımda kare, orta kısımda trapezoidal ve koronal kısımda ise neredeyse üçgene yakın bir yatay kesit olmak üzere 3 farklı yatay kesite sahiptir [90, 91].

OneCurve

OneCurve (Micro-Mega, Besancon, Fransa) eğe sistemi C-Wire teknolojisi ile ısıtma işlemi yaparak üretilmiş ve devamlı rotasyonel hareketle çalışan bir tek eğe sistemidir. Yüksek esneklik ve kırılma direncine sahiptir. C-Wire teknolojisi ile

üretileen eğeye ön eğim verilebilir [92]. Eğenin uç çapı 0,25 mm'dir. Eğe kesici kenar boyunca %6 koniklik derecesine sahiptir. Eğenin karakteristik bir özelliği ise asimetrik yatay kesite sahip olmasıdır. Eğe uç kısmında 3 adet kesici kenara ve üçgen kesite sahipken, sap kısmına doğru kesici kenar sayısı 2'ye düşer ve sap kısmında da modifiye S kesitli iki kesici kenara sahiptir [83].

2Shape

2Shape (Micro-Mega, Besancon, Fransa) eğe sistemi TS1 (25/.04) ve TS2 (25/.06) olmak üzere iki eğeden oluşmaktadır. Eğe üretiminde kullanılan T-Wire teknolojisinin, döngüsel yorulma direncini artırdığı iddia edilmektedir. 2Shape eğelerinde 2 ana kesme kenarı ve debrisin daha iyi çıkarılması için bir ikincil kenara sahip üçlü helikal yapıda enine kesit bulunmaktadır. Eğeler 300 rpm hız ve 2.5 Ncm tork değerlerinde rotasyonel hareket ile kullanılır [93].

Çalışmamızda kullandığımız eğe sistemleri

1. WaveOne Gold
2. OneShape

WaveOne Gold

WaveOne Gold (WOG) eğe sistemi (Dentsply Sirona, Ballaigues, İsviçre), WaveOne eğesi ile aynı hareket kinematığını (resiprokasyonel) kullanır (350 rpm, 170° saat yönünün tersine ve 50° saat yönünde). Eğeye uygulanan 'gold' ısıtılma işleminin eğenin esnekliğini, döngüsel yorgunluk direncini ve kesme verimliliğini artırdığı ileri sürülmüştür [94, 95]. Isıtılma işlemi ağırlıklı olarak martensitik fazda uygulanır ve eğelere kontrollü bir hafıza etkisi kazandırır [96, 97]. Piyasada WOG eğeleri 20/.07 (small), 25/.07 (primary), 35/.06 (medium) ve 45/.05 (large) boyutlarında bulunur [97]. Eğeler paralelkenar çapraz kesite ve yuvarlak bir uca sahiptir. Bu yeni tasarımın vidalama etkisini en aza indirdiği ve torku azalttığı düşünölmektedir [98].

OneShape

OneShape (Mikro-Mega, Fransa) eğe sistemleri sabit 0.6 koniklik açısına sahip olup 25, 30 ve 37 numaraları bulunmaktadır. Eğe geleneksel östenit Ni-Ti alaşımından

üretmiş olup mikroçatlakların giderilmesi için elektrokimyasal parlatma işlemine tabi tutulmaktadır. Eğinin uzunluğu boyunca farklı en kesitlere sahiptir. Uç kısmı 3 kesici kenarlı orta kısmı 2 kesici kenarlı şafta yaklaştıkça S-şeklinde dizayn edilmiştir (Şekil 6) [82]. Eğinin çalışan kısmındaki burgu aralıklarının değişken olması aletin kanal içinde sıkışmasını engellemek için tasarlanmıştır [99].

OneShape devamlı rotasyon hareketi ile kullanıldığından bütün endodontik motorlarda rahatça çalışılabilecek bir sistemdir. Üretici firmanın tavsiye ettiği hız değeri 400 rpm olup tork değeri 4 Ncm'dir [100]. Dagna ve arkadaşları, OneShape'in döngüsel yorgunluk değerlerinin M-Wire içeren sistemlere göre daha düşük ancak geleneksel Ni-Ti sistemlerinkinden daha fazla olduğunu belirtmiştir [101].

2.4. Kök Kanal Şekillendirilmesi Sırasında Yapılan İşlemsel Hatalar

Kök kanal preparasyonunda alet kırılması, basamak oluşumu, kanal transportasyonu, kanal tıkanması ve zipping gibi işlemsel hatalar oluşabilmektedir [102-104].

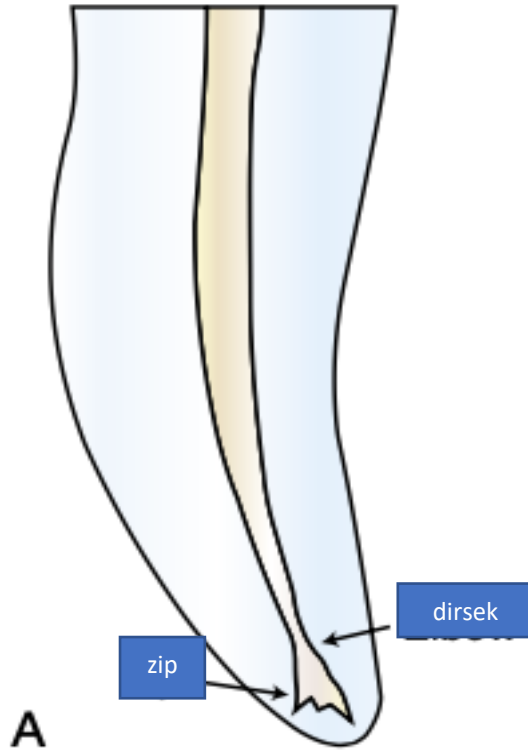
2.4.1. Perforasyon

Kanal içerisinde yapılan preparasyonlar esnasında pulpa boşluğu ve periodontal ligament arasında bir açıklık oluşturulması iyatrojenik perforasyon olarak adlandırılır. Genellikle bir transportasyon ya da "basamak" oluştuktan sonra görülür [105]. İyatrojenik perforasyonlar buldukları yere göre sınıflandırılabilir (furkasyon perforasyonları, lateral perforasyonlar ve apikal perforasyonlar). Lateral kanal perforasyonları genellikle ciddi boyutta basamak oluşumları ve eğri köklerin "Stripping"i ile ilişkilidir ve koronal ve orta üçlüdeki perforasyonları içerir. "Stripping", kök içinde, özellikle ince duvara gelen taraf boyunca, gerekenden fazla eğeleme yapılması nedeniyle oluşan lateral perforasyon şekli "Strip perforasyon" olarak adlandırılmaktadır. Genellikle alt ve üst birinci molar dişlerin mezial köklerinin iç duvarlarında meydana gelir [106].

2.4.2. Zipping veya Eliptikasyon

Apikal zip terimi ilk kez 1975 yılında Weine ve Kelly tarafından kullanılmıştır. Kurvaturollü bir kanalın apikal üçlüde düzleştirilmesiyle oluşan göz yaşı damlası (tear-

drop) şekline bir alandır (Şekil 8) [107]. Zipping ‘kum saati’, ‘gözyaşı damlası’ ve ‘foraminal rip’ olarak da isimlendirilmiştir [33, 34, 108]. Kurvatürlü kanalın büyük çaplı ve sert aletlerle genişletilmesi, eğerlere mümkün olduğunca kanalın orijinal şekline göre ön eğim verilmemesi ve kurvatürlü kanalda ön eğim verilmiş aletin rotasyon hareketi ile kullanılması zip oluşumunun nedenleri arasında yer alır [103]. Eğer kanalda zip oluşursa standart güta-perkalar ile ya da ısıtılmış güta-perka yöntemleriyle tam olarak doldurulması zor hale gelir [109]. Özellikle lateral kompaksiyon ile doldurulacak kanallarda apikal tıkaç için istenmeyen etkiler oluşturur [110].



Şekil 8. Zipping diyagramı [103].

2.4.3. Dirsek

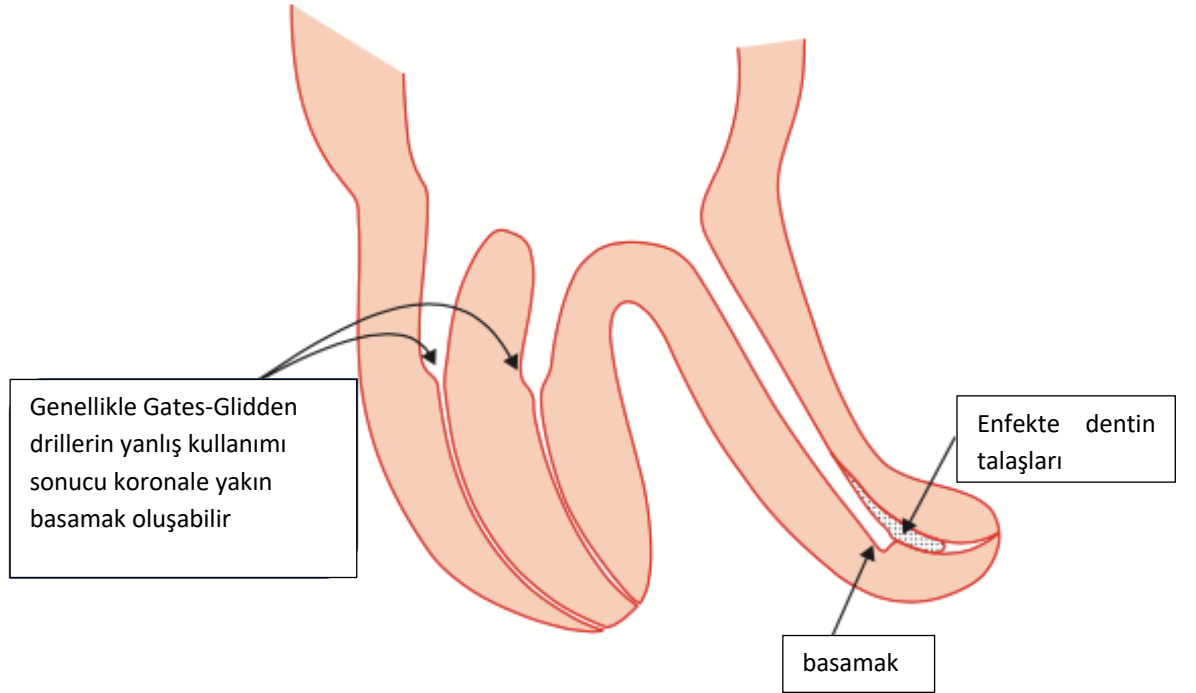
Zipping'in hemen koronalinde ortaya çıkan iyatrojenik defekti tanımlar (Şekil 7). Zipping görülen vakalarda kanal güta-perka ile doldurulursa ancak dirsekte sonlandırılabilir [103, 111].

2.4.4. Kanalin Tıkanması

Dentin ve doku artıklarının apikal bölgeye doğru itilerek kütleli olarak kanalı tıkanması veya şekillendirme sırasında kırılan alet nedeniyle apikal bitim noktasına ulaşmanın engellenmesidir [106, 112].

2.4.5. Basamak (Ledge) Oluşumu

Özellikle kurvatürlü kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında dikkatsiz manipülasyondan veya aşırı dentin kaldırılmasından kaynaklanan bir hatadır. Genellikle eğimin dış kısmında oluşur. Perforasyon olmaksızın orijinal kanal eğiminden sapma meydana gelir. Bu düzensiz platform, çalışma boyu kaybına neden olarak eğenin ve irrigasyon ajanlarının apikale ulaşmasına engel olmaktadır (Şekil 9) [113, 114]. Basamak oluştuğundan sonra eğelerle aşırı kuvvet uygulanmaya devam edilirse perforasyon oluşturulabilir [114].



Şekil 9. Basamak oluşumu sonucu kanalın tıkanmasını gösteren diyagram [104].

2.4.6. Kök Kırıkları ve Çatlaklar

Kök kırıkları ve çatlaklar, kanal şekillendirme işlemi sırasında ortaya çıkabilecek ve dişin çekimiyle sonuçlanabilen ciddi komplikasyonlardır. Endodontik tedavi işlemleri direkt vertikal kök kırıklarına neden olabileceği gibi, tedavi sonrası vertikal kök kırığı oluşumuna yol açacak çatlaklara da sebep olabilir [115, 116]. Bu komplikasyonlardan; kök kanallarının aşırı genişletilmesinin ve doldurulması sırasında uygulanan aşırı kompaksiyon basıncı, yüksek konsantrasyonda NaOCl kullanımı, diş anatomisi ve post yerleştirme işlemleri sorumlu tutulmuştur [117-120].

2.4.7. Transportasyon

Kök kanal transportasyonu Amerikan Endodontistler Birliği'nin Endodontik Terimler Sözlüğü'ne göre; 'kanal preparasyonu esnasında eğelerin orijinal linear formunu düzeltme eğiliminden dolayı kanalın apikal yarısında dış kurvatürde kanal duvarının kaldırılması' olarak tarif edilir [121]. Dişlerin kanal anatomisi şekil, dentin kalınlığı, yatay kesiti ve foramen ölçüleri açısından farklılık göstermektedir. Bu anatomik varyasyonlar özellikle kurvatürlü kanallarda transportasyon gibi hatalara neden olabilmektedir [122].

Transportasyonu değerlendirmede 2 bileşen vardır:

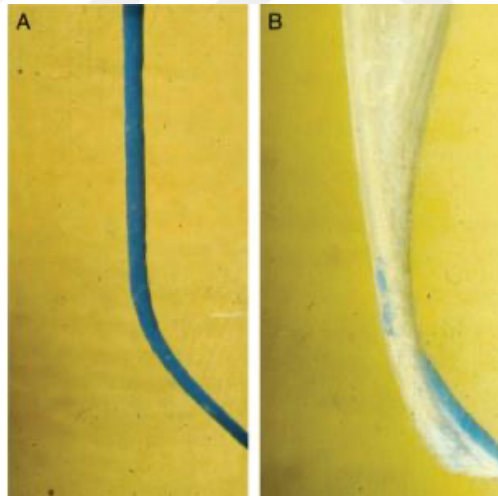
1. Yön; tek yönde kanalın uzun aksından saparak fazla dentin kaldırılmasıdır.
2. Sapma; orijinal kanal yolunun eğeleme sonucu yer değiştirmesidir [123, 124].

Hangi alışımdan yapıldığı fark etmeksizin tüm endodontik eğeler kanal içine orijinal şekline dönme eğilimindedir [23, 33, 108, 125, 126]. Kurvatürlü kanalda eğenin kesici kenarları apikal üçlüde dış duvar yönünde, orta üçlü ve koronal üçlüde iç duvar yönünde daha fazla dentin kaldırarak asimetrik kanal şekline neden olur (Şekil 10) [23, 108].



Şekil 10. Paslanmaz K-tipi eğe ile şekillendirilmiş kanal simülasyonunda oluşan transportasyon (kırmızı renk) [127]

Orijinal kanalın deviasyonu apikal foramenin hasar görmesine ve apikal stopun kaybına neden olur [33]. Sonuç olarak irrigasyon solüsyonları, debris ve dolun materyelleri apikalden taşarak periapikal doku irritasyonuna yol açar [127]. Transportasyona uğramış kanalın dış duvarında fazla preparasyon sonucu apikalde oluşan eliptik forma **zipping** denir (Şekil 11) [127].



Şekil 11. Plastik bloklarda kanal simülasyonlarında preparasyondan önce (a) ve preparasyondan sonraki (b) görseller; zip ve dirsek oluşumu [33]

Dış duvardan fazla materyal kaldırılan apikal kısım ile iç duvardan fazla materyal kaldırılan koronal kısım arasındaki dar bölgeye **dirsek** denir. Genelde maksimum kurvaturün olduğu bölgede oluşur. Bu durum kanalın konikliğinin daha az olmasına, apikalde yetersiz şekillendirmeye ve yetersiz doluma neden olur [33, 34].

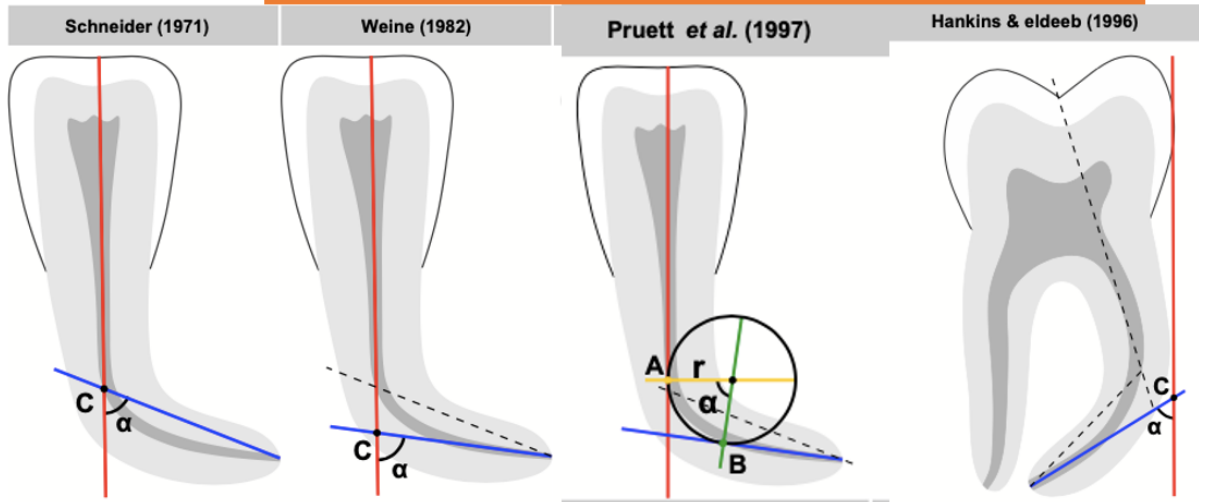
2.4.7.1. Transportasyon oluşumunu etkileyen faktörler:

1. Yetersiz giriş kavitesi açılması,
2. Radyografilerle kanal eğriliğinin yanlış yorumlanması
3. Kanal eğriliğinin derecesi ve yarıçapı,
4. Yetersiz ve yanlış irrigasyon
5. Esnek olmayan eğelerin kullanılması,
6. Çeşitli biyomekanik şekillendirme teknikleri,
7. Eğe üretiminde kullanılan alaşımlar,
8. Eğelerin çapraz kesit tasarımları,
9. Kesme ucu aktif eğelerin kullanılması,
10. Diş hekimine bağlı faktörlerdir [128].

2.5. Kök Kanal Eğimini Belirlemek İçin Kullanılan Yöntemler

Araştırmacıların geliştirdiği başlıca yöntemler şu şekilde sıralanabilir:

1. Schneider Yöntemi,
2. Hankins ve El Deeb Yöntemi - Long Axis Tekniği (LAT),
3. Weine Yöntemi,
4. Pruett ve arkadaşlarının yöntemi.



Şekil 12. Kök kanal eğimini belirlemek için kullanılan en yaygın yöntemler [129]

Literatürde en sık Schneider tarafından geliştirilen yöntem kullanılmaktadır (Şekil 12). Bu yöntemde, ilk olarak radyografik görüntü üzerinde, kök kanalının koronal üçlüsünün uzun aksına paralel olarak bir doğru çizilir. Hemen ardından, apikal foramenden ilk doğrunun, kanalın uzun aksını terk ettiği noktaya ikinci bir doğru çizilir ve bu iki doğru arasında oluşan iç açı eğim açısı olarak tanımlanır. Schneider eğrilik kriterlerine göre kök kanallarını, kolay, orta ve zor kanallar olmak üzere üç ayrı sınıfa ayırmıştır:

- 1) Kolay kanallar: Düz ya da 5° 'den az açığa sahip olan kanallar
- 2) Orta zorluktaki kanallar: $10 - 25^{\circ}$ arası açığa sahip olan kanallar
- 3) Zor kanallar: 25° 'den daha büyük açığa sahip olan kanallardır [130].

Pruett ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada eğrilik derecesini belirlerken tek parametre kullanmanın uygun olmadığını, kök eğiminin belirlenmesinde eğrilik yarıçapının da önemli bir etken olduğu belirtilmiştir. Bu yöntemde kanalın koronal bölümüne ve apikal üçlüye paralel birer çizgi çizilir. Koronal bölümden çizilen çizgi üzerinde kanalın eğim göstermeye başladığı nokta, apikalden çizilen çizgi üzerinde ise kanal eğriliğinin bittiği nokta bulunur. Kanalın eğri kısmı, bu noktalardan çıkılan dikmelerin kesiştiği noktayı merkez alan daire ile gösterilir. Eğrilik açısı, dairenin bu noktaları arasında kalan yayı gören merkez açıdır. Dairenin yarıçapı ise eğrilik yarıçapıdır. Eğrilik yarıçapı eğriliğin şiddetini ifade eder. Yarıçap küçüldükçe kanal eğriliğinin şiddeti artmaktadır [131].

Burklein ve Schäfer'a göre hem Schneider yöntemi hem de Pruet ve arkadaşlarının yöntemi sadece 2 boyutlu (2B) ölçümler sunmaktadır. Son yıllarda 3B görüntüleme elemanlarından Mikro-BT'nin endodontide kullanılmaya başlamasıyla birlikte, kök kanal sisteminin anatomisinin tüm detaylarına neredeyse ulaşılabilmiştir [132].

2.6. Kök Kanal Sistemini İnceleme Teknikleri

Çekilmiş dişlerle Ni-Ti eğelerinin şekillendirme yeteneklerini değerlendirmek için seri kesit tekniği, radyografik teknik, Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT)

ve Mikro-BT gibi çeşitli teknikler kullanılabilir. Bu yöntemlerin her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır [133, 134].

2.6.1. Seri Kesit Tekniği

Seri kesit (Bramante tekniği) tekniği kök kanal şekillendirme yeteneğinin değerlendirilmesinde kullanılan geleneksel yöntemlerden biridir [13]. Değerlendirilmesi önceden belirlenmiş üç veya dört seviyede yapılır. Belirlenen seviyelerden kesit alınıp fotoğraflanır ve şekillendirme işlemi sonrası tekrar bu seviyelerden alınan fotoğraflar bilgisayar yazılımları kullanılarak karşılaştırılır. Basit ve düşük maliyetli olması tekniğin avantajıdır [135]. İnvaziv olması, değerlendirmenin önceden belirlenmiş seviyelerle sınırlı olması, bilinmeyen doku değişiklikleri ve malzeme kaybı ise tekniğin dezavantajlarıdır [134].

2.6.2. Radyografik Yöntem

Apikal transportasyon değerlendirmesinde kullanılan (A double- digital standardized radiographic technique) çift dijital standardize edilmiş radyografi tekniğinde şekillendirme öncesi ve sonrası alınan radyografi görüntüleri bilgisayar programlarıyla üst üste getirilerek karşılaştırılır. Bunun için AutoCAD ve Adobe Photoshop (Adobe Systems, San Jose, CA, ABD) programları kullanılabilir [134, 136]. Radyografik teknik invaziv değildir. Bu teknik yalnızca 2B değişikliklerin incelenmesine olanak tanır [137].

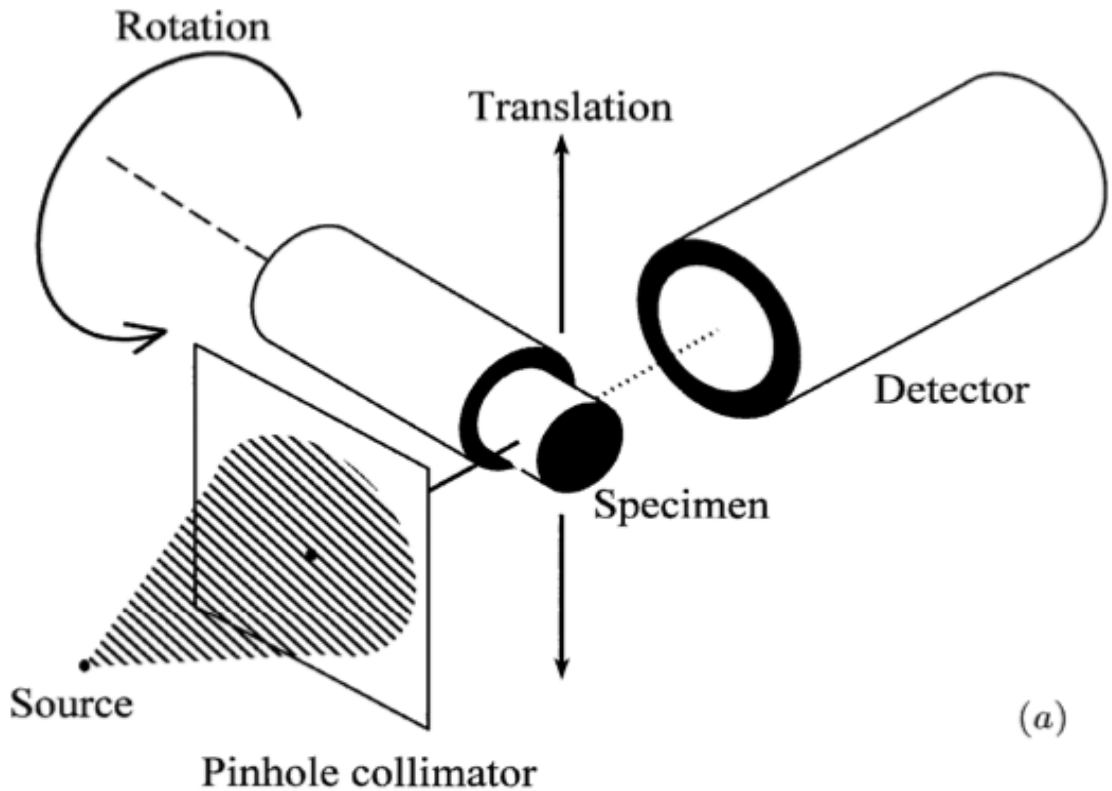
2.6.3. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT)

X ışınlarının penetrasyon özelliği sayesinde, X-ışını incelenen nesnenin içinden geçer ve iki boyutlu bir görüntü olarak kaydedilir. Eğer, örnek farklı yönlerden defalarca görüntülenirse, bilgisayar algoritmaları kullanarak üç boyutlu yapı bilgisi elde edilebilir. Bu, tomografik rekonstrüksiyon olarak adlandırılır [138]. Düşük dozda yeterli çözünürlük sağlanması sebebiyle endodontik tanı ve tedavide kullanılması önerilmiştir [139, 140]. Bu yöntemle kök kanal anatomisi, kök kırıkları, perforasyonlar şekillendirme öncesi ve sonrasında alınan görüntüler ile şekillendirme yeteneği de değerlendirilebilmektedir [16, 141, 142].

KIBT’de görüntü kalitesi, voksel boyutu ve ışınlama dozuna bağlıdır. Düşük voksel boyutunun anatomik yapılarıdaki detayı göstermede daha hassas olduğu belirtilmiştir [143, 144].

2.6.4. Mikro-BT

Mikro-BT, bilgisayarlı tomografiye benzer şekilde X ışınlarını kullanarak üçboyutlu bir objenin enine kesitlerinin röntgen görüntülerini alır ve aldığı görüntülerle objenin orijinal şeklini bozmadan üçboyutlu görsel modelini oluşturur. Enine kesitlerin piksel boyutları mikrometrelerle ölçüldüğü için Mikro-BT ve yüksek rezolüsyonlu x-ray tomografisi gibi terimlerle isimlendirilmiştir. Önceki çalışmalarda geleneksel BT düşük rezolüsyon kapasitesinden dolayı diş ve kök kanalı gibi küçük objelerin sanal modelinin oluşturulmasında yetersiz kalmıştır [145]. 1980’lerde Mikro-BT sistemlerinin geliştirilmesi vertikal rezolüsyon kapasitesini 100-200 μm kadar artırmıştır [145-147]. Medikal tomografiden farklı olarak Mikro-BT’de ışın kaynağı sabit olup görüntülenecek obje rotasyon aksı boyunca döner [148].



Şekil 13. Mikro-BT’nin temel bileşenleri [149]

Mikro-BT günümüzde farklı çalışmalarda araştırma aleti olarak kullanılmıştır. Kemiğin yapısının, mine kalınlığının ve White spot lezyonların dansitesinin değerlendirilmesi gibi farklı çalışmalarda kullanılmıştır [150-152]. Nielsen ve arkadaşları, bu tekniğin endodonti çalışmalarındaki etkinliğini araştırmış; dişin internal ve eksternal anatomisinin net değerlendirilmesi yeteneğini, yüzey alanlarında ve doku hacimlerindeki zamanla oluşan değişimleri gösterebilme, enstrümantasyon ve obtürasyondan sonra kanallardaki alan ve volüm değişimlerini değerlendirme ve kanal transportasyonunun değerlendirilmesindeki etkinliğini göstermişlerdir [145]. Dowker ve arkadaşları, Mikro-BT çözünürlüğüne eş değer bilgisayarlı tomografinin yüksek radyasyondan dolayı hasta üzerinde herhangi bir ölçüm yapılabilirliğinin mümkün olmadığını göstermişlerdir [153]. Rhode ve arkadaşları, Mikro-BT görüntülemenin eksperimental endodontide kesin bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır [154]. Peter ve arkadaşları Mikro-BT'nin detaylı kök kanal geometrisinin incelenmesindeki kesinliğini onaylamış ve kök kanal sisteminin 3B rekonstrüksiyonu yöntemini geliştirmişlerdir [155].

Mikro-BT maksiller ikinci süt molarların pulpa odasının, kompleks kök kanalları bulunan molarların morfolojisinin değerlendirilmesi, uzun oval kanallara sahip premolarların değerlendirilmesi, C şekilli kanalların ve istmusların değerlendirilmesi ve maksiller birinci molarların kurvatürlerinin değerlendirilmesi gibi çalışmalarda kullanılmıştır [156-163]. Mikro-BT ayrıca kök kanallarına dolum yapıldıktan sonra kanal dolgu malzemesinin kanala adaptasyonunu ölçmek için de kullanılmıştır [164, 165]. Ni-Ti döner eğelerin kesme etkinliğinin değerlendirilmesi, intraorifis bariyerlerin sızdırmazlığının değerlendirilmesi, kanaldan kırık eğe çıkarılma işleminden sonra kanal boşluğunun değerlendirilmesi gibi çalışmalarda kullanılmıştır [166-168]. Bunların yanı sıra Mikro-BT enstrümantasyondan sonra, C şekilli kanalların enstrümantasyonundan sonra, farklı enstrümantasyon tekniklerinin kanalları şekillendirmesinin karşılaştırılması ve döner ve manuel eğelerin retreatment tedavilerinde etkinliğinin karşılaştırılması gibi çalışmalarda da kullanılmıştır [169-178].

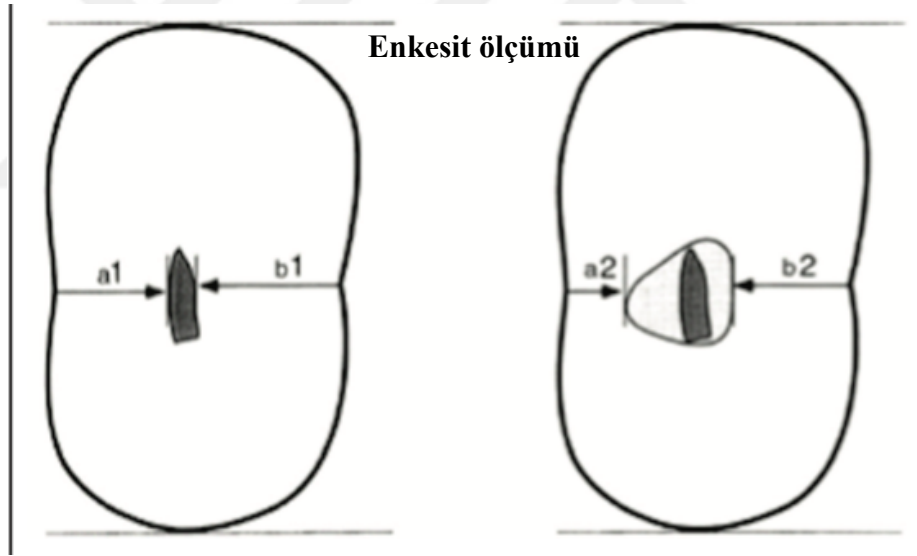
2.7. Apikal Transportasyon Miktarının Mikro-BT ile Değerlendirilmesi

Kanal transportasyonunun derecesini karşılaştırmak için Gambill ve arkadaşları tarafından geliştirilen teknik kullanılmaktadır [179]. Kanal transportasyon

miktarı, ilk şekillendirmeden sonra kanalın kenarından kökün çevresine (mezial ve distal) en kısa mesafe ölçülerek ve daha sonra ikinci şekillendirmeden sonraki görüntülerden elde edilen aynı ölçümlerle karşılaştırılarak belirlenmektedir. Transportasyonun hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$(a1-a2)-(b1-b2) \text{ (Şekil 14)}$$

Formülde yer alan ‘‘a1’’ kökün mezial kenarından şekillendirilmemiş kanalın mezial kenarına kadar olan en kısa mesafedir, ‘‘b1’’ kökün distal (furkasyon) kenarından şekillendirilmemiş kanalın distal kenarına kadar olan en kısa mesafedir, ‘‘a2’’ kökün mezial kenarından şekillendirilmiş kanalın mezial kenarına kadar olan en kısa mesafe ve ‘‘b2’’ kökün distal (furkasyon) kenarından şekillendirilmiş kanalın distal kenarına kadar olan en kısa mesafedir. Bu formüle göre 0 sonucu kanal transportasyonunun olmadığını gösterir. 0'dan farklı bir sonuç, kanalda transportasyon gerçekleştiği anlamına gelir.



Şekil 14. Gambill tarafından geliştirilmiş ölçüm

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasının deneyleri Bezmialem Vakıf Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiş olup örneklerin Mikro-BT ile görüntülenmesi Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde yapılmıştır.

Çalışmanın etik kurul onayı Bezmialem Vakıf Üniversitesi Etik Kurulu'ndan alınmıştır (E-54022451-050.05.04-50112). Veri toplama sürecinin sonunda sağlıklı tahminler üretilmesine imkan sağlayacak yeterli sayıda örnek hacminin belirlenmesi gerekmektedir. Hesaplamalar neticesinde grup başına 10 örnek olmak üzere toplamda 20 diş kullanılmasına karar verilmiştir (güç=0.95, alfa tipi hatası=0.05, etki boyutu=1).

3.1. Örneklerin Seçimi

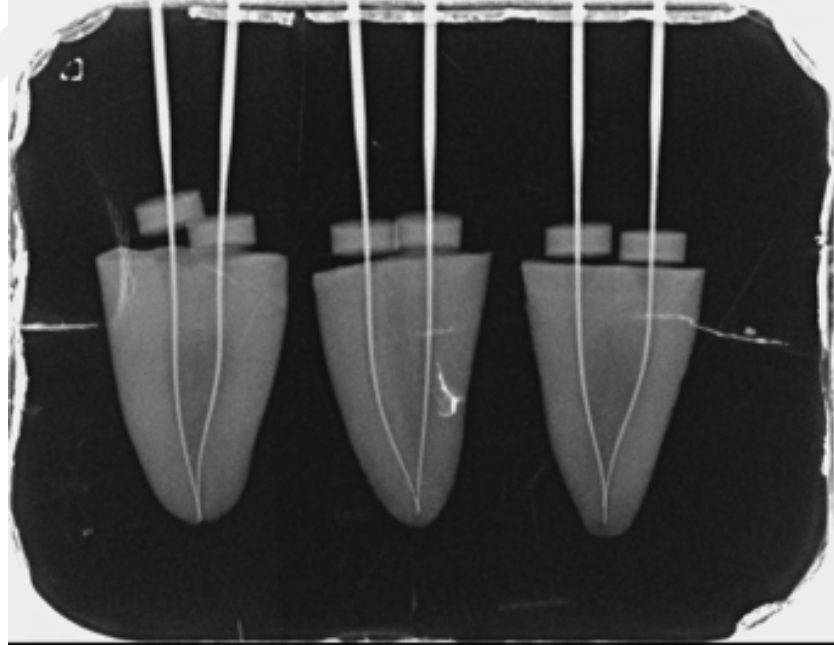
Periodontal kayıp veya çürük nedeniyle çekilmiş aşırı kurlatürü olmayan, köklerinde kırık, çatlak veya apikal rezorpsiyon bulunmayan, Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip mandibular birinci molar dişler seçildi. Eğriliği Schneider yöntemine göre 10 dereceden büyük olan dişler, apeksi açık dişler, kökte çatlak kırık gözlenen dişler ve rezorpsiyon mevcut olan dişler ise dışlandı. Toplamda 85 diş arasından elenerek 20 diş belirlendi.

3.2. Örneklerin Hazırlanması

Seçilen dişler debris ve yumuşak doku artıklarından mekanik ve ultrasonik olarak temizlendikten sonra %0.1 timol içeren solüsyonda dezenfekte edildi. Daha sonra fizyolojik solüsyon içerisinde bekletildi. Seçilen dişler disk şeklinde elmas frezle su soğutmasında dekorene edildi daha sonra mezial kökü distal kökünden disk şeklinde elmas frezle su soğutmasında ikiye ayrıldı (Meisinger, Almanya). Mezial kökün lingual tarafı kurşun kalemle işaretlendi. Mezial kökteki kanalların birleştiğini belirlemek için kanallara 8 ve 10 numaralı K tipi eğeler (Mani, Japonya) yerleştirildikten sonra periapikal radyografiler alındı (Resim 2, 3).



Resim 1. Dekorone edilen mezial köklerin kanalların birleşip birleşmediğinin kanal aletleri ile tespiti



Resim 2. Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip mezial köklerin radyografi ile tespiti

Bu radyografiler ile Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip dişler seçilerek çalışmaya dahil edildi.

3.3. Çalışma Boyu Tespiti

Her iki gruptaki dişler için kanallardan birine apikal foramende görünür hale gelene kadar 10 numaralı K tipi eğe (Mani, Japonya) yerleştirildi. Daha sonra çalışma uzunluğu apikal foramenden 1 mm daha kısa olacak şekilde belirlendi.

3.4. Kök Kanal Şekillendirilmesi

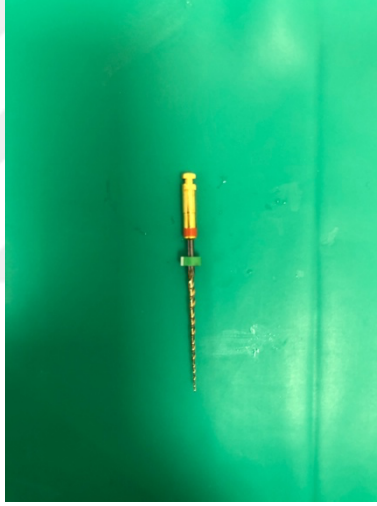
Örnekler akrilik rezin bloklara gömüldü (Resim 4). Daha sonra örnekler kuşun kalemle numaralandırıldı Kök kanallarını şekillendirmek için birinci grupta (n=10) WaveOne Gold Primary (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) (Resim 5), ikinci grupta (n=10) OneShape (25.06 Mikro- Mega, Fransa) (Resim 6) döner eğe sistemleri kullanıldı. Tüm enstrüman prosedürleri için X-Smart Plus endodontik motor (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanıldı. İrrigasyon solüsyonu olarak %2.5'lik NaOCl çözeltisi (Cerkamed, Stalowa Wola, Polonya) ve %17'lik EDTA (Imicryl Dental, Konya, Türkiye) kullanıldı. Preparasyon sırasında kök kanalları 30G uç çapına sahip yandan delikli iğne (Cerkamed, Stalowa Wola, Polonya) kullanılarak, %2.5'lik 6 ml NaOCl ile yıkandı ve eğeler kanaldan her çıkartıldığında nemli gazlı bez ile temizlendi. Kök kanallarının şekillendirilmesine eğeler örneklerin herbirinde çalışma boyuna ulaşana kadar devam edildi. Şekillendirme işlemleri sırasında hiçbir eğe kırığı olmadı. Tüm endodontik prosedürler tek operatör tarafından yapıldı.

Gruplarda ilk olarak lingual kanalların şekillendirilmesine başlandı.	Çalışma boyu tespiti	Glide Path
WaveOne Gold grubu	10 K tipi eğe ile belirlendi.	15 K tipi eğeye kadar genişletildi.
OneShape grubu	10 K tipi eğe ile belirlendi.	15 K tipi eğeye kadar genişletildi.

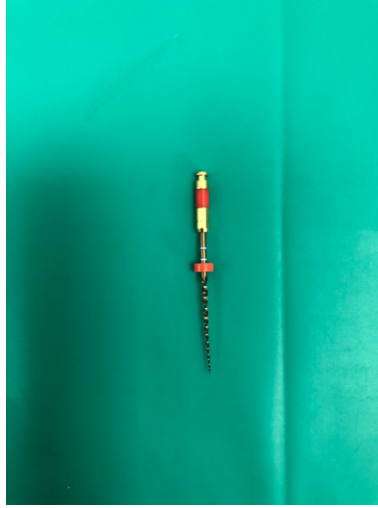
Her iki grupta eğeler üretici firmanın talimatlarına uygun olarak kullanıldı.	
WaveOne Gold eğesi	OneShape eğesi
<ul style="list-style-type: none"> • NaOCl irrigasyonu ile WaveOne Gold primary (kırmızı) eğesi ile kanal şekillendirilmesine başlandı. • Eğe 170 derece saatin tersi 50 derece saat yönünde resiprokal hareket ile pasif olarak ilerletildi. • İrrigasyon iğnesi çalışma boyundan 2 mm kısa olacak şekilde ayarlandı. • Her 3-4 mm ilerletildikten sonra eğe kanaldan çıkarıldı, temizlendi ve kanal 6ml %2.5'lik NaOCl ile irrig edildi. • Daha sonra 10 K tipi eğe ile rekapitulasyon yapıldı ve tekrardan irrigasyon yapılarak çalışma boyuna ulaşana kadar şekillendirmeye devam edildi. • Final irrigasyon solüsyonu olarak %17'lik EDTA solüsyonu 3 dakika boyunca uygulandı ve son olarak 5ml serum fizyolojik ile irrigasyon tamamlandı kanallar kağıt konilerle kurutuldu. • Her eğe iki kanalda kullanıldı. 	<ul style="list-style-type: none"> • NaOCl irrigasyonu ile OneShape (kırmızı) eğesiyle kanal şekillendirilmesine başlandı. • Eğe 2.5 Ncm tork ve 400 rpm hız ayarında gagalama hareketiyle kullanıldı (pecking motion). • İrrigasyon iğnesi çalışma boyundan 2 mm kısa olacak şekilde ayarlandı. • 2-3 mm ilerledikten sonra eğe kanaldan çıkarıldı, temizlendi ve 6 ml %2.5'lik NaOCl ile irrigasyon yapıldı. • 10 K eğe ile rekapitulasyon yapıldı ve çalışma boyuna ulaşana kadar şekillendirmeye devam edildi. • Final irrigasyon solüsyonu olarak %17'lik EDTA solüsyonu 3 dakika boyunca uygulandı ve son olarak 5ml serum fizyolojik ile irrigasyon tamamlandı kanallar kağıt konilerle kurutuldu. • Her eğe iki kanalda kullanıldı.



Resim 3. Örnekler apeksi açıkta kalacak şekilde akrile gömülmüştür.



Resim 4. OneShape



Resim 5. WaveOne Gold

3.5. Şekillendirmeden Sonra Mikro-BT Görüntüleme

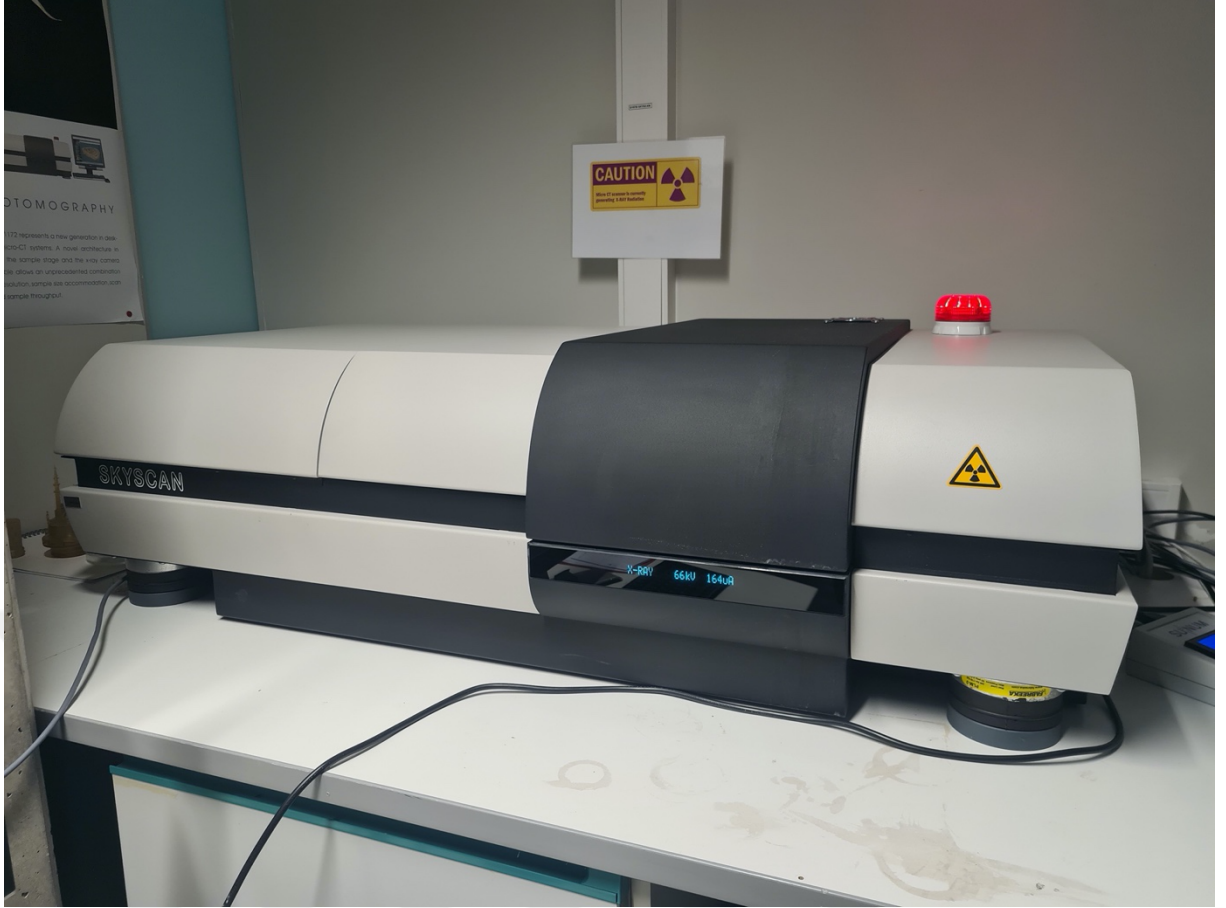
Örnekler şekillendirmeden sonra görüntülerin elde edilmesi için Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde Mikro-BT cihazıyla (SkyScan 1172 Aartselaar, Belçika) taranmıştır. Teknik olarak taramalar SkyScan 1172 mikro-BT cihazı ile 8.75 μm izotropik çözünürlük 112 μA anot akımı ve 85 kV'da yapıldı. Taramalar 0,7 derece dönme açısı ve toplam 360 dikey dönme açısı ile gerçekleştirildi. Örnekler ortalama 50 dakika süreyle tarandı. Taramalar sonunda her örnek için 480 tane ham görüntü elde edilerek TIFF formatında kaydedildi.

Çekim parametreleri	
Kamera	Hammatsu C9300 11Mp
Kamera piksel boyutu (μm)	8.75
Kamera-ışın kaynağı mesafesi (mm)	215.956
Derinlik (bits)	16
Ekspoz (ms)	225
Filtre	Au+Cu
Görüntü formatı	TIFF
Görüntü piksel boyutu (μm)	19.95
Örnek-ışın kaynağı mesafesi (mm)	123.070

Rotasyon adımı	0.7
Görüntüleme süresi (ortalama)	50 dakika
Software	SkyScan 1172 versiyon 1.5
Anot akımı (μA)	112
Voltaj (kV)	85

Rekonstrüksiyon için NRecon 1.7.5.4 (Bruker Mikro-BT) yazılımı kullanılmıştır. 7 halka artefakt düzeltmesi ve %48 ışın sertleşme (beam hardening) düzeltmesi yapılmıştır. Her bir örnek için ortalama 1550 kesit elde edilmiştir.

Rekonstrüksiyon parametreleri	
Dosya türü	TIFF
Görüntü yüksekliği (Piksel)	1000
Görüntü genişliği (Piksel)	1000
Ortalama piksel boyutu	19.95291
Halka artefakt düzeltmesi	7
Işın sertleşme düzeltmesi	48



Resim 6. Skyscan 1172 model Mikro-BT cihazı

3.6. Mikro-BT Görüntülemeyen Sonra Bukkal Kanalların Şekillendirilmesi

Şekillendirilmemiş bukkal kanallarda lingual kanalların şekillendirilmesinde olduğu gibi kanal boyu tekrardan tespit edildi ve aynı protokol kullanılarak kanallar şekillendirildi. Daha sonra örnekler tekrardan aynı parametreler kullanılarak Mikro-BT ile görüntülendi.

3.7. Apikal Transportasyon Miktarının Ve Kaldırılan Dentin Kalınlığının Değerlendirilmesi

Apikal transportasyon miktarı Gambill ve arkadaşları tarafından geliştirilen teknik kullanılarak hesaplandı [179]. Ölçümün yapılacağı seviye apikal üçlüde alet şekillendirmesinin başladığı 0,5-1 mm'lik alanda belirlendi. Apikal transportasyon değerlendirilirken kullanılan formül;

$$AT=(M1-M2)-(D1-D2)$$

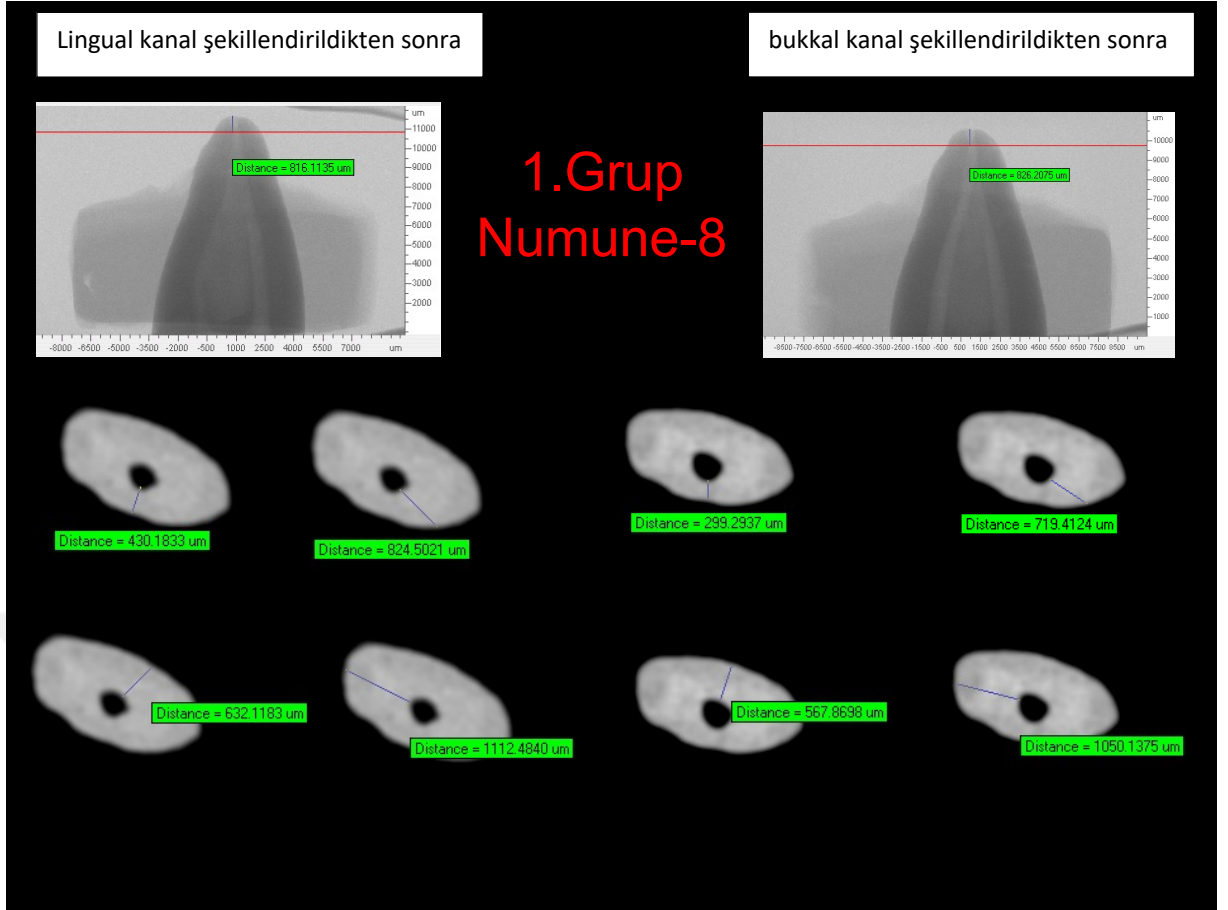
ve

$$(B1-B2)-(L1-L2)$$

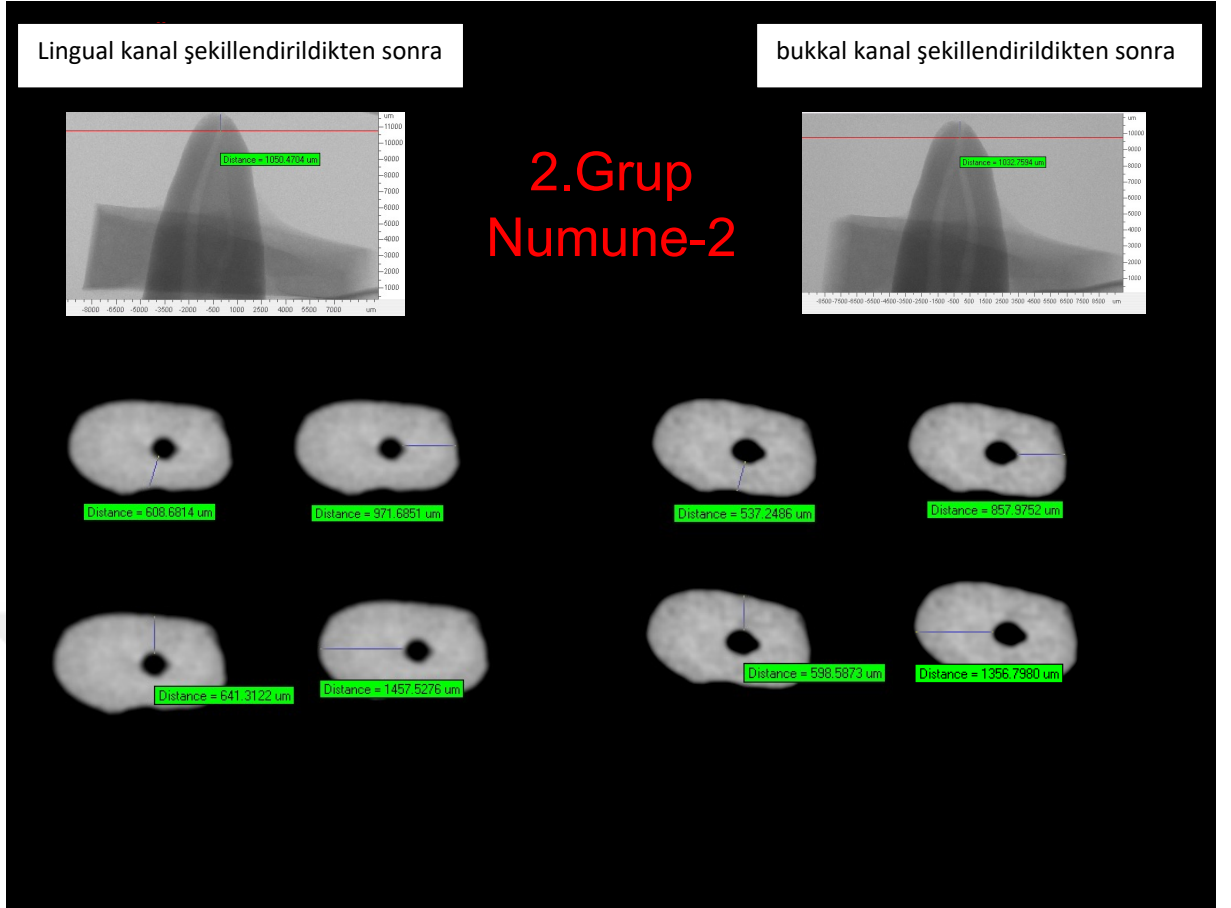
Bu formüldeki M1 lingual kanal şekillendirildikten sonra mezial yönde kanal ile kökün dış yüzeyi arasındaki en yakın mesafeyi, M2 bukkal kanal şekillendirildikten sonra mezial yönde kök kanalı ile kökün dış yüzeyi arasındaki en yakın mesafeyi temsil eder. Aynı şekilde D1 lingual kanal şekillendirildikten sonra distal yönde kök kanalıyla kök dış yüzeyi arasındaki en yakın mesafeyi ve D2 de bukkal kanal şekillendirildikten sonra kanal ile kök dış yüzeyi arasındaki en yakın mesafeyi gösterir. AT değerinin pozitif çıkması mezial ve bukkal yönlerde transportasyon varlığını, negatif çıkması distal ve lingual yönde transportasyon varlığını ifade etmektedir. AT değerinin sıfır olması kanalın eşit şekilde genişlediğini ifade etmektedir.

Bukkal kanallar şekillendirildikten sonra kaldırılan dentin kalınlığını değerlendirmek için lingual kanallarının preparasyonu sonrası dört yöndeki aksiyal kalınlık değerleri bukkal kanalların preparasyonu sonrası aynı aksiyal kesitte dört yöndeki değerler karşılaştırıldı.

$$DK=M1-M2; D1-D2; B1-B2;L1-L2$$



Resim 7. WaveOne Gold grubunda ölçümlerin yapıldığı enkesit



Resim 8. OneShape grubunda ölçümlerin yapıldığı enkesit

3.8. İstatistiksel Yöntem

Veriler IBM SPSS V23 (Chicago, ABD) ile analiz edildi. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilk testi ile incelendi. Varyansların homojenliği Levene Testi ile incelendi. Normal dağılım gösteren değerlerin ikili gruplara göre karşılaştırılmasında Bağımsız İki Örnek T Testi kullanıldı. Normal dağılım göstermeyen değerlerin ikili gruplara göre karşılaştırılmasında Mann Whitney U Testi kullanıldı. Gruplar içi dört yönden yapılan ölçümlerin karşılaştırılmasında normal dağılım göstermeyenler için Friedman Testi kullanılarak karşılaştırıldı ve çoklu karşılaştırmalar Dunn testi ile incelendi. Normal dağılım gösteren dört yönden yapılan ölçümlerin karşılaştırılması Tekrarlı Ölçüm Analizi ile yapıldı ve çoklu karşılaştırmalar Bonferroni düzeltmesi ile incelendi. Analiz sonuçları nicel veriler için ortalama \pm standart sapma ve ortanca (minimum – maksimum) şeklinde sunuldu. Önem düzeyi $p < 0,05$ olarak alındı.

4. BULGULAR

Bukkolingual yönde transportasyon değerleri WaveOne Gold grubu ve OneShape grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p=0.041$). WaveOne Gold grubunda ortalama değer $31.3 \mu\text{m}$ iken OneShape grubunda $47.2 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. Meziodistal yön değerleri gruplara göre farklılık göstermemektedir ($p=0.641$) (Tablo 1).

Tablo 1. Transportasyon miktarının yönler ve gruplar arasında karşılaştırılması

Yön/Grup	WaveOne Gold		OneShape		P
	Ortalama \pm SS	Ortanca (min-mak)	Ortalama \pm SS	Ortanca (min-mak)	
Bukkolingual	$33,7 \pm 22,8$	31,3 (6,5 - 73,2)	$54,2 \pm 23,8$	47,2 (29,8 - 98,1)	0,043¹
Meziodistal	$10,1 \pm 39,6$	22,3 (-70,7 - 65,2)	$3,3 \pm 21,9$	6,8 (-36,6 - 31,6)	0,641 ²

¹Mann Whitney U, ²Bağımsız İki Örnek t Testi

İstatistiksel olarak lingual yönden kaldırılan dentin miktarı ortalama değerleri WaveOne Gold ve OneShape grupları arasında farklılık göstermemektedir ($p= 0,181$). Bukkal yönden yapılan ölçümlerin ortanca değerleri WaveOne Gold ve OneShape arasında farklılık göstermemektedir ($p= 1,000$). Mezial yönden yapılan ölçümlerin ortalama değeri WaveOne Gold ve OneShape grupları arasında farklılık göstermemektedir ($p= 0,599$). Distal yönden yapılan ölçümlerin ortalama değerleri WaveOne Gold ve OneShape grupları arasında farklılık göstermemektedir ($p= 0,948$).

WaveOne Gold grubunda dört yönde yapılan ölçümlere baktığımızda yapılan ölçümlerin ortalama değerleri arasında farklılık görülmektedir ($p= 0,024$). Lingual yönden yapılan ölçümlerde ortalama değer $99,13 \mu\text{m}$ iken, bukkal yönden yapılan ölçümlerde $65,42 \mu\text{m}$, mezial yönden $65,75 \mu\text{m}$ ve distal yönden $55,64 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. Mezial yönden yapılan ölçümlerde ortalama değer; bukkal yönden ve distal yönden yapılan ölçümlerden farklı değildir ($p>0,05$). Bukkal yönden yapılan ölçümlerde ortalama değer distal yönden yapılan ölçümlerden istatistiksel olarak farklı değildir ($p>0,05$). Lingual yönden yapılan ölçümlerdeki ortalama değer ile bukkal yönden ve distal yönden yapılan ölçümlerdeki ortalama değer arasında fark vardır ($p<0,05$) (Tablo 2).

Tablo 2. WaveOne Gold grubunda kaldırılan dentin miktarının karşılaştırılması

Yön	Ortalama ± SS	Ortanca (min-mak)	P
Lingual yön	99,13 ± 30,32 ^b	107,81 (45,33 - 135,22)	0.181 ¹
Bukkal yön	65,42 ± 31,98 ^a	58,69 (30,35 - 128,73)	1.000 ²
Mezial yön	65,75 ± 30,13 ^{ab}	51,62 (31,03 - 111,63)	0.599 ¹
Distal yön	55,64 ± 26,04 ^a	56,01 (21,86 - 109,29)	0.948 ¹

¹Bağımsız İki Örnek T Testi, ²Mann Whitney U Testi, a-b Aynı harfe sahip ölçümler arasında fark yoktur.

OneShape grubunda dört yönde yapılan ölçümlere bakıldığında yapılan ölçümlerin ortanca değerleri arasında farklılık görülmektedir ($p < 0,001$). Lingual yönden yapılan ölçümlerde ortanca değer 111,68 μm iken, bukkal yönden yapılan ölçümlerde 58,94 μm , mezial yönden 54,42 μm ve distal yönden 51,89 μm olarak elde edilmiştir. Lingual yönden yapılan ölçümlerde ortanca değer diğer tüm yönlerden istatistiksel olarak daha yüksek elde edilmiştir ($p < 0,05$). Bukkal yönden, mezial yönden ve distal yönden yapılan ölçümlerin ortanca değerleri birbirlerinden farklı değildir ($p > 0,05$) (Tablo 3).

Tablo 3. OneShape grubunda kaldırılan dentin miktarının karşılaştırılması

	Ortalama ± SS	Ortanca (min-mak)	P
Lingual yön	116,82 ± 26,39	111,68 (78,29 - 167,36) ^a	0.181 ¹
Bukkal yön	62,65 ± 28,08	58,94 (39,49 - 137,51) ^b	1.000 ²
Mezial yön	58,14 ± 33,34	54,42 (9,77 - 118,77) ^b	0.599 ¹
Distal yön	54,83 ± 28,93	51,89 (15,61 - 100,89) ^b	0.948 ¹

¹Bağımsız İki Örnek T Testi, ²Mann Whitney U Testi, a-b Aynı harfe sahip ölçümler arasında fark yoktur.

Elde edilen sonuçlara göre bukkolingual yöndeki apikal transportasyon miktarı hem WaveOne Gold hem de OneShape grubunda meziodistal yöndeki apikal transportasyon miktarına kıyasla anlamlı düzeyde daha fazla bulundu ($p < 0,05$). Lingual yönde kaldırılan dentin miktarı hem WaveOne Gold grubunda hem de OneShape grubunda diğer yönlerle kıyasla anlamlı düzeyde daha fazla bulundu.

Bukkolingial yöndeki transportasyon miktarı WaveOne Gold grubunda OneShape grubuna göre daha az bulundu. Meziodistal yönde gruplar arasında istatistiksel olarak fark bulunamadı ($p > 0,05$).

5.TARTIŞMA

Kök kanal preparasyonunun temel amaçlarından biri, orijinal kanal formunu koruyarak koronalden apikale doğru konik formda şekillendirme yapabilmektir [180]. Kök kanal preparasyonu sırasında apikal zip, kanal transportasyonu, ege kırığı, basamak oluşumu, perforasyon ve kanal tıkanması gibi iatrojenik hatalar oluşabilmektedir. Bu çalışma ile Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip mandibular molar dişlerin mezial köklerinde, kanalların her ikisinde çalışma boyunca çalışıldığında oluşabilecek olası bir apikal transportasyonun varlığını tespit etmeyi hedeflemektedir.

Farklı preparasyon yöntemlerinin ve kanal aletletlerinin şekillendirme sırasındaki etkinliği ve kök kanal formu üzerine etkileri genellikle doğal dişlerde ve şeffaf akrilik bloklar üzerinde incelenmektedir [181-185]. Bazı araştırmacılar çalışmaların çekilmiş insan dişlerinde yapılması gerektiğini savunurken bazıları yüksek standardizasyondan dolayı simüle edilmiş yapay kök kanallarının kullanılması gerektiğini savunur [25, 186]. Yapay kök kanallarının üretimi, kanal çapı, uzunluğu ve C, J veya S şekilli kanallar gibi çeşitli zorlu kök kanal konfigürasyonlarına sahip dişlerin standardizasyonuna olanak sağlar [187]. Fakat klinik durumu net yansıtmadığı için ayrıca rezinin ve dentinin sertliğinin farklı olması enstrümanların kesme karakteristiğini etkileyebileceğinden bu çalışmada doğal dişler kullanıldı.

Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip dişler mandibuler 1. molarlar dışında diğer diş gruplarında da karşımıza çıkmaktadır [81]. Fakat mandibular molarların mezial köklerinde daha sık görüldüğü için bu çalışmada çekilmiş mandibular molar dişler kullanıldı [32]. Kanal kurvatürünün yarı çapı ve derecesi ege üzerinde strese neden olur. Kök kurvatürü ne kadar fazla ve kurvatür yarı çapı ne kadar kısa olursa kanallarda transportasyon gelişme olasılığı o kadar fazladır [188]. Kanal transportasyonu şekillendirme işlemi sırasında eğenin orijinal şekline dönme eğiliminden dolayı kanal duvarının, eğimin dış yüzeyine doğru taşınması olarak tanımlanır ve eğri kök kanallarının preparasyonu sırasında karşılaşılan yaygın komplikasyonlardan biridir [188]. Transportasyon kökü zayıflatır ve kök kanal dolgusunda mikrosızıntıya neden olarak başarılı bir endodontik tedavi yapılabilmesinin önüne geçer [188, 189]. Kanal transportasyon riski kanal

preperasyonunda kullanılan eğenin tasarımına, koniklik derecesine, yapıldığı materyale bağlı olduğu gibi kökün eğrilik derecesine bağlı olarak da değişir [190]. Çalışmanın amacı kök kurvatürü sonucu oluşan transportasyonun değil aynı foramende bukko-lingual ve meziodistal olarak 2 farklı yönden preparasyon sonucu oluşabilecek transportasyonun değerlendirilmesi olduğu için kurvatürsüz kökler kullanıldı (Schneider'e göre 0-10⁰) [130].

Farklı kök kanal eğelerinin apikal transportasyon üzerine etkisi karşılaştırılırken benzer apikal çaplara sahip eğelerin kullanılması önemlidir [189]. Morfis ve arkadaşları, SEM ile yaptıkları bir çalışmada mandibular molar dişlerin mezial kanallarının genişliğini ortalama 257,5 µm bulmuşlardır [190]. Bu nedenle bu çalışmada apikal preperasyonun standart olması için ve önceki çalışmalarda tercih edildiği üzere bütün eğelerin uç ebatları #25 boyutunda seçildi.

Şekillendirme sonrası kök kanallarında meydana gelen değişikliklerin değerlendirilmesi için SEM, ışık mikroskobu, histolojik çalışmalar, stereomikroskopi çalışmaları, şeffaflaştırma, radyografik çalışmalar ve BT gibi birçok yöntem kullanılmaktadır [13, 105, 191-194]. Radyografi sadece 2B değerlendirmeye olanak tanır ve kanalların enkesitte değerlendirmesi mümkün değildir. Calhoun ve Montgomery [195] ve Backman ve arkadaşları [196] yaptıkları çalışmalarda standart radyografileri kullanmışlardır. Bu çalışmalarda şekillendirme öncesinin ve sonrasında radyografilerle değerlendirilebileceği belirtilmiştir. Radyografilerin çekiminin ve banyonun standart şekilde yapılmasının sağlanamaması, ölçümlerde oluşabilecek hatalara sebep olabilmektedir. Dijital radyografiler geleneksel radyografilerle kıyaslandığı zaman, şekillendirme öncesi ve sonrası görüntülerin direkt olarak elde edilip bilgisayar ortamında saklanabilmesi gibi avantajlar sağlamıştır. Dijital radyografilerde ölçümler bilgisayar ortamında yapılabilmektedir ve banyodan kaynaklanan standardizasyon problemi ortadan kalkmıştır. Ancak standart ve dijital radyografilerin iki boyutlu olup ve röntgen tüpünün açılmasında meydana gelen değişikliklerden kaynaklanan hataların ölçümleri olumsuz etkilemesi de meydana gelebilecek dezavantajlardandır [12]. Ayrıca radyografik yöntemlerde örneklere zarar vermeden kesit görüntüleri elde etmek mümkün değildir. Coleman ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada seri kesit tekniğindeki kesme işleminden sonra separenin bıraktığı boşlukları klinik uygulama sırasında oluşan basamaklara benzetmişlerdir.

Çalışmalarında kullandıkları teknikte en fazla üç ya da dört bölgeden enine kesit alınabilmekte, daha sık aralıklar ile enine kesitler alınması ise diş dokusundan fazla madde kaybına neden olabilmektedir. Kesit olarak örneklerin incelenmesinin dezavantajlarından biri de kesit alma aşamasında örneğin bir kısmının kaybedilmesi verinin kaybedilmesidir [197]. Tüm bu veriler ışığında 3B ve kapsamlı analize imkan verdiği için bu çalışmada Mikro-BT tercih edilmiştir.

3B incelemelere ait ilk örnekler Berutti, Blaskovic-Subat ve arkadaşları, Hirano ve Aoba tarafından, seri kesitler üzerinden bilgisayar kullanılarak yapılmıştır. Ancak, bu çalışmalarda kesit kalınlığı 0,5-0,7 mm arasında olduğundan ayrıntıları incelemede yetersiz kalındığı bildirilmiştir [198-200]. Endodontide BT görüntüleme yöntemi ile değerlendirme yapılabileceği ilk kez Tachibana ve Matsumoto tarafından ileri sürülmüştür. Bununla birlikte o dönemlerde görüntüleme programlarının yetersiz oluşu ve yöntemin oldukça pahalı olması BT'nin endodontide klinik kullanımının sınırlı kalmasına neden olmuştur [201]. Son yıllarda geliştirilen Mikro-BT çözünürlüğü 81µm'den başlayıp, 10µm'den daha ince kesitler elde edebilecek hale gelmiştir [15, 171, 202]. Mikro-BT örneklerin artmış netlikte ve destrüksiyona neden olmadan 3 incelenmesine izin verir. Bu teknikle kanalların anatomisinin şekillendirilmeden önce ve sonra kıyaslanması mümkündür. Fakat uzaysal çözünürlüğün 127 µm değerlerden 11 µm değerlere kadar iyileştirilmesi daha uzun tarama süresine ve sonuç olarak daha uzun rekonstrüksiyon süresi gerektirmiştir [203, 204]. Bu kısıtlamadan dolayı da bu çalışmada örnek sayısı güç analizine göre minimum 20 olarak belirlenmiştir.

Vertucci tip 2 konfigürasyona sahip kanalların şekillendirilmesine yönelik literatürdeki bir çalışmada Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip rezin dişler kullanılmıştır [205]. Birinci grupta her iki kanalda çalışma boyunca, ikinci grupta ise bir kanal çalışma boyunca diğer kanal kanalların birleştiği yere kadar şekillendirilmiştir. Bu çalışmanın sonucuna göre iki grup arasında apikalde bukkolingual ve meziodistal yönde transportasyon miktarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu sonuçlar bizim çalışmanın sonuçları ile örtüşmemektedir. Bu çelişkinin nedeni çalışmanın rezin dişlerde yapılması, kanalların her ikisinin kurvatürsüz üretilmesi ve kanalların birleştiği yerin apikalden 5 mm

mesafede belirlenmesi klinik durumun net yansıtılmaması gibi nedenlerle ilişkilendirilebilir.

Yapılan çalışmalarda transportasyonun yönünün daha çok kanal kurvatürünün dış duvarında olduğu belirtilmiştir [206-208]. Bu tez çalışmasında her iki eğe sisteminde de şekillendirme sonrası lingual yönde transportasyon miktarı diğer yönlere göre daha fazlaydı. Tek foramanle sonlanan Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip mandibular alt molarların kök kanal sisteminde bukkal kanal lingual kanala göre daha kurvatürlü olduğundan bizim çalışmamızın sonuçları tek köklü kurvatürlü kanallarda yapılan çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir [81]. Bu tez çalışmasında resiprokal hareket ile çalışılan WaveOne Gold grubunda ve devamlı rotasyonla çalışılan OneShape grubunda eğelerin hem lingual hem bukkal kanallar şekillendirilirken aynı foramende kullanılması sonucu foramen duvarlarından dört yönde fazla dentin duvarı kaldırıldığı görüldü. Sonuçlar Castelluci'nin Vertucci tip 2 kanalların preparasyonu ile ilgili konseptini desteklemektedir [18]. Bukkolingual yöndeki transportasyon miktarı ortalama değerleri her iki grupta da 0,3 mm'nin altında bulundu. Wu ve arkadaşları, 0,3 mm'den daha fazla olan apikal transportasyonun kök kanal dolgusunda sızıntıya neden olabileceğini bildirmişlerdir [209]. Benzer şekilde diğer çalışmalarda da apikal transportasyon miktarının 0,3 mm'den az olmasının klinik olarak önemli olmadığı belirtilmiştir [206, 210-213]. Bu çalışmanın sonuçları; apikal transportasyon miktarının her iki grupta da 0.3 mm'den az olması Vertucci tip 2 kanallarda, her iki kanalda da çalışma boyunca çalışılrsa dahi oluşacak transportasyon miktarının klinik önemi olmadığını göstermiştir.

Çalışmanın standartizasyonu için düşük apikal çaplı foramenlere sahip dişlerin kullanılması oluşacak transportasyon miktarının da minimum düzeylerde gerçekleşmesine neden olmuştur. Daha büyük apikal çaplı foramenlere sahip dişlerde daha büyük boylarda eğe kullanılmasının oluşturacağı transportasyon miktarı daha fazla olacaktır [127]. Bizim çalışmamızın sonuçlarına göre klinik uygulama önerilerinde bulunabilmemiz için Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip geniş apeksli köklerde ve Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip olan kurvatürlü köklerde de benzer çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.

Bu tez çalışmasında kullanılan WaveOne Gold ve OneShape eğe sistemlerinin şekillendirme yeteneği ve neden olduğu transportasyon miktarı ile ilgili literatürde daha önce yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Devamlı rotasyonla çalışan eğelerin şekillendirme yeteneğinin resiprokasyon hareketle çalışan eğelere göre daha iyi olduğu bilinmektedir [133, 212, 214-216]. Fakat resiprokasyonla çalışan eğelerin orijinal kanal anatomisini daha iyi koruduğunu gösteren çalışmalar da vardır [100, 185, 217-220]. Bunların yanı sıra her iki yöntemin kanal şekillendirme yeteneği üzerine etkisi olmadığını gösteren çalışmalar da vardır [183, 207, 208, 213, 221-228]. S şekilli kanallarda yapılan bir çalışmada F360, OneShape, WaveOne ve Reciproc eğelerinin şekillendirme yeteneği karşılaştırılmıştır [229]. Bu çalışmanın sonuçlarına göre F360 ve OneShape döner eğe sistemleri WaveOne ve Reciproc eğe sistemlerinden istatistiksel olarak daha az kanal transportasyonuna neden olmuştur. Bu fark hareket kinematığından ziyade eğelerin apikal 3mm'deki taper açıları farkı ile ilişkilendirilmiştir. Bizim çalışmada ısıl işlem görmüş WaveOne Gold eğesinin geleneksel östenit alaşımdan üretilen OneShape eğesi ile apikal transportasyon açısından fark bulunmasının fakat kaldırdığı dentin miktarı açısından fark bulunmamasını WaveOne Gold eğesinin apikal kısmının taper farkı ile ilişkilendirebiliriz.

Yapılan bir çalışmada WaveOne ve Reciproc eğe sistemleriyle Mtwo ve ProTaper eğe sistemlerinin kurvatürlü kanallarda şekillendirme yeteneği değerlendirilmiştir [221]. Çalışmanın amacı en yaygın tek eğe sistemleri kullanılarak iki hareket kinematığını karşılaştırmaktır. Bu çalışmanın sonucuna göre transportasyon açısından iki hareket kinematığı arasında herhangi bir fark yoktur. Fakat bizim çalışmada resiprokal hareketi temsil eden WaveOne Gold eğesi devamlı rotasyonla çalışan OneShape eğesine göre daha az transportasyona neden olmuştur. Bunun nedeni hareket kinematığından ziyade WaveOne Gold eğesinin üretildiği alaşımın ısıl işlem görmesiyle ilişkilendirebilir.

Çapar ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada geleneksel östenit Ni-Ti alaşımdan üretilen OneShape, ProTaper Universal, ProTaper Next, Reciproc, Twisted File Adaptive ve WaveOne eğe sistemleri karşılaştırılmıştır [230]. Eğeler arasında transportasyon açısından fark bulunamamıştır. Eğelerin kaldırdığı dentin miktarı açısından Reciproc eğe grubu diğer sistemlerden daha fazladır. WaveOne eğe grubu

kaldırdığı dentin miktarı açısından diğer eğelerle benzer sonuçlar göstermiştir. Bu çalışmanın sonucuna göre hareket kinematiğinden ziyade eğelerin en kesiti ve koniklik açıları transportasyon miktarı ve eğenin kaldırdığı dentin miktarı açısından daha etkilidir. Bu çalışmanın sonuçları eğelerin kaldırdığı dentin miktarı açısından bizim çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir. Fakat bizim çalışmada WaveOne Gold eğesi OneShape eğesine göre daha az transportasyona neden olmuştur. Bu sonuç WaveOne Gold eğesinin ısıtılmış işlem görmüş olmasıyla ve Çapar ve arkadaşlarının çalışmasında kurvatürlü köklerin kullanılması ile ilişkilendirilebilir.

WaveOne Gold eğesinin farklı glide path eğelerinden sonra kullanılması sonucu oluşan transportasyon miktarı değerlendirilmiştir [231]. Bu çalışmanın sonucuna göre WaveOne Gold eğesi K-tipi eğeyle oluşturulan glide path sonrası daha fazla transportasyona neden olmuştur. K-tipi eğe grubunda glide path 20 K-tipi eğeye kadar şekillendirilerek oluşturulmuştur. Çalışmanın kontrol grubunda glide path oluşturulmamış ve kontrol grubundaki transportasyon miktarı diğer gruplara göre daha fazla bulunmuştur. Bizim çalışmada glide path, 15 K-tipi eğeye kadar şekillendirme yapılarak oluşturulmuştur. Bu tez çalışmasında ısıtılmış işlem görmüş WaveOne Gold eğesinin geleneksel östenit Ni-Ti alaşımdan üretilen OneShape eğesi meziodistal yöndeki transportasyon miktarı ve kaldırdığı dentin miktarı açısından benzer sonuçlar göstermesini bu çalışmanın sonuçları desteklemektedir.

M-Wire alaşımdan üretilen WaveOne ve Reciproc ile ısıtılmış işlem görmüş WaveOne Gold ve Reciproc Blue eğelerinin şekillendirme yeteneğinin karşılaştırıldığı bir çalışmada eğeler arasında transportasyon açısından fark bulunamamıştır [232]. Bu çalışmanın sonuçlarına göre ısıtılmış işlem görmüş eğeler geleneksel tek eğe sistemlerine göre daha üstün şekillendirme yeteneği göstermemiştir. Bu çalışmanın sonuçları bizim çalışmanın meziodistal yöndeki transportasyon ve tüm yönlerdeki kaldırılan dentin miktarı açısından elde ettiğimiz sonuçlarımızı desteklemektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip mandibular 1. molar dişlerin mezial köklerinin her iki kanalının çalışma boyunda şekillendirilmesinin apikal foramende oluşturacağı transportasyonun miktarı incelendi.

Bu çalışmanın sınırlılıkları dahilinde:

1. Hem devamlı rotasyon yapan eğe grubunda hem de resiprokasyon hareketle çalışan eğe grubunda bir miktar transportasyon oluştuğu görüldü.
2. Her iki grupta bukkolingual yönde transportasyon miktarı meziodistal yöne göre daha fazla bulundu.
3. Gruplar arasında herhangi bir yönde transportasyon miktarı ve kaldırılan dentin miktarı açısından fark bulunmadı.
4. Bukkolingual yöndeki transportasyon miktarı fazla olsa da ortalama değeri 0,3 mm'den daha az olduğu için klinik açıdan önemsiz olarak değerlendirildi.

ÇALIŞMANIN LİMİTASYONLARI

1. Çalışmanın dekorone köklerde yapılması oluşan transportasyon miktarını etkileyebileceği için klinik öneri öncesinde çalışmanın dekorone edilmemiş dişlerde de yapılmasına ihtiyaç vardır.
2. Çalışmanın Vertucci tip 2 kanal konfigürasyonuna sahip tüm grup dişlerde yapılmasına ihtiyaç vardır.
3. Kanalların birleştiği yerin apeksten mesafesine göre apikal transportasyon da değişeceği için apeksten birleşim noktasına kadar olan mesafenin doğal dişlerde standardizasyonu sağlanarak benzer çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır.

7. KAYNAKÇA

1. Schilder, H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America*, 18(2), 269-296.
2. Mayo, C. V., Montgomery, S. ve del Rio, C. (1986). A computerized method for evaluating root canal morphology. *Journal Of Endodontics*, 12(1), 2-7.
3. A, A. a. B. S. Farklı alaşım içeren kök kanal aletlerinin eğri kök kanallarının preparasyonun etkisinin in vitro olarak incelenmesi. *European Annals of Dental Sciences*, 44(2), 79-92.
4. Goldberg, F. ve Massone, E. J. (2002). Patency file and apical transportation: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 28(7), 510-511.
5. Hülsmann, M. ve Schäfer, E. (2009). Problems in endodontics. 253.
6. Yoldas, O., Yilmaz, S., Atakan, G., Kuden, C. ve Kasan, Z. (2012). Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *Journal Of Endodontics*, 38(2), 232-235.
7. Hülsmann, M., Schade, M. ve Schäfers, F. (2001). A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *International Endodontic Journal*, 34(7), 538-546.
8. Schäfer, E. ve Tepel, J. (2001). Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 3. Resistance to bending and fracture. *Journal Of Endodontics*, 27(4), 299-303.
9. Lautenschlager, E. P. ve Monaghan, P. (1993). Titanium and titanium alloys as dental materials. *International Dental Journal*, 43(3), 245-253.
10. Stoeckel, D. ve Yu, W. (1991). Superelastic Ni-Ti Wire. *Wire Journal International*, 24(3), 45-50.
11. Versümer, J., Hülsmann, M. ve Schäfers, F. (2002). A comparative study of root canal preparation using ProFile. 04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments. *International Endodontic Journal*, 35(1), 37-46.
12. Sydney, G. B., Batista, A. ve de Melo, L. L. (1991). The radiographic platform: a new method to evaluate root canal preparation in vitro. *Journal of Endodontics*, 17(11), 570-572.
13. Bramante, C. M., Berbert, A. ve Borges, R. P. (1987). A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *Journal Of Endodontics*, 243-245.
14. Barthel, C. R., Gruber, S. ve Roulet, J.-F. (1999). A new method to assess the results of instrumentation techniques in the root canal. *Journal Of Endodontics*, 25(8), 535-538.
15. Hartmann, M. S. M., Barletta, F. B., Fontanella, V. R. C. ve Vanni, J. R. (2007). Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography. *Journal of endodontics*, 33(8), 962-965.
16. Bernardes, R. A., Rocha, E. A., Duarte, M. A. H., Vivan, R. R., de Moraes, I. G., Bramante, A. S., ve ark. (2010). Root canal area increase promoted by the EndoSequence and ProTaper systems: comparison by computed tomography. *Journal of Endodontics*, 36(7), 1179-1182.
17. Gao, Y., Peters, O. A., Wu, H. ve Zhou, X. (2009). An application framework of three-dimensional reconstruction and measurement for endodontic research. *Journal of Endodontics*, 35(2), 269-274.
18. **Castellucci, A.** (2005). *Endodontics*. Il Tridente.

19. Saleh, A. M., Vakili Gilani, P., Tavanafar, S. ve Schafer, E. (2015). Shaping ability of 4 different single-file systems in simulated S-shaped canals. *Journal Of Endodontics*, 41(4), 548-552.
20. Burklein, S., Poschmann, T. ve Schafer, E. (2014). Shaping ability of different nickel-titanium systems in simulated S-shaped canals with and without glide path. *Journal Of Endodontics*, 40(8), 1231-1234.
21. Kakehashi, S., Stanley, H. R. ve Fitzgerald, R. J. (1965). The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 20(3), 340-349.
22. Loizides, A., Eliopoulos, D. ve Kontakiotis, E. (2006). Root canal transportation with a Ni-Ti rotary file system and stainless steel hand files in simulated root canals. *Quintessence International*, 37(5), 369-374.
23. Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*, 30(8), 559-567.
24. Schilder, H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America*, 18(2), 269-296.
25. Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal Of Endodontics*, 30(8), 559-567.
26. Weichman, J. A. ve Johnson, F. M. (1971). Laser use in endodontics: a preliminary investigation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 31(3), 416-420.
27. Lussi, A., Nussbächer, U. ve Grosrey, J. (1993). A novel noninstrumented technique for cleansing the root canal system. *Journal of Endodontics*, 19(11), 549-553.
28. Ingle, J. I. (1961). A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 14(1), 83-91.
29. Schilder, H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America*, 18(2), 269-296.
30. **Hess, W. ve Zürcher, E.** (1925). *The anatomy of the root-canals of the teeth of the permanent dentition*. J. Bale, sons & Danielsson, Limited.
31. Weine, F. (1982). Endodontic therapy, 2-nd ed. *Journal of Endodontics*.
32. Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 58(5), 589-599.
33. Hülsmann, M., Peters, O. A. ve Dummer, P. M. H. (2005). Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics*, 10(1), 30-76.
34. Weine, F. S., Kelly, R. F. ve Lio, P. J. (1975). The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *Journal of Endodontics*, 1(8), 255-262.
35. Vertucci, F. ve Haddix, J. (2011). Chapter 7. Tooth morphology and access cavity preparation. *Hargreaves KM, Cohen S Cohen's pathways of the pulp 10th ed St Louis: Mosby*, 136-222.
36. Schäfer, E. (1997). Root canal instruments for manual use: a review. *Dental Traumatology*, 13(2), 51-64.
37. Svec, T. A. (2008). Instruments for cleaning and shaping. *Ingle's Endodontics 6th Ed BC Decker Inc Hamilton*, 813-876.

38. **Metzger, Z. a. H. E.** (2011). Instruments, materials, and devices. *Cohen's Pathways of the Pulp* ss. 223-282): Elsevier.
39. Peters, O. A. ve Koka, R. S. (2008). Preparation of coronal and radicular spaces. *editor Ingle JI BL, Baumgartner JC* 877-881.
40. Andreasen, G. F. ve Hilleman, T. B. (1971). An evaluation of 55 cobalt substituted Nitinol wire for use in orthodontics. *The Journal Of The American Dental Association*, 82(6), 1373-1375.
41. Civjan, S., Huget, E. F. ve DeSimon, L. B. (1975). Potential applications of certain nickel-titanium (nitinol) alloys. *Journal Of Dental Research*, 54(1), 89-96.
42. Walia, H., Brantley, W. A. ve Gerstein, H. (1988). An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *Journal Of Endodontics*, 14(7), 346-351.
43. Mohammadi, Z., Soltani, M. K., Shalavi, S. ve Asgary, S. (2014). A review of the various surface treatments of NiTi instruments. *Iranian Endodontic Journal*, 9(4), 235.
44. Nemat-Nasser, S. ve Guo, W.-G. (2006). Superelastic and cyclic response of NiTi SMA at various strain rates and temperatures. *Mechanics of Materials*, 38(5-6), 463-474.
45. Shen, Y., Zhou, H.-m., Zheng, Y.-f., Peng, B. ve Haapasalo, M. (2013). Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *Journal of Endodontics*, 39(2), 163-172.
46. Thompson, S. (2000). An overview of nickel–titanium alloys used in dentistry. *International Endodontic Journal*, 33(4), 297-310.
47. Kapoor, D. (2017). Nitinol for medical applications: a brief introduction to the properties and processing of nickel titanium shape memory alloys and their use in stents. *Johnson Matthey Technology Review*, 61(1), 66-76.
48. Srivastava, S., Alghadouni, M. ve Alotheem, H. (2018). Current strategies in metallurgical advances of rotary NiTi instruments: A review. 9(1), 00333.
49. **G.M.** (2010) *Plazma daldırma iyon implantasyonu (PIII) yöntemi ile demir dışı metallerin nitrülenmesi*: DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
50. Aun, D. P., Houmard, M., Mermoux, M., Latu-Romain, L., Joud, J.-C., Berthomé, G., ve ark. (2016). Development of a flexible nanocomposite TiO2 film as a protective coating for bioapplications of superelastic NiTi alloys. *Applied Surface Science*, 375, 42-49.
51. Vinothkumar, T. S., Miglani, R. ve Lakshminarayanan, L. (2007). Influence of deep dry cryogenic treatment on cutting efficiency and wear resistance of nickel–titanium rotary endodontic instruments. *Journal Of Endodontics*, 33(11), 1355-1358.
52. Huang, J., Zhu, Y., Liao, X., Beyerlein, I., Bourke, M. ve Mitchell, T. (2003). Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel. *Materials Science and Engineering: A*, 339(1-2), 241-244.
53. Barron, R. (1982). Cryogenic treatment of metals to improve wear resistance. *Cryogenics*, 22(8), 409-413.
54. George, G. K., Sanjeev, K. ve Sekar, M. (2011). An in vitro evaluation of the effect of deep dry cryotreatment on the cutting efficiency of three rotary nickel titanium instruments. *Journal Of Conservative Dentistry*, 14(2), 169.

55. Kim, J., Griggs, J., Regan, J., Ellis, R. ve Cai, Z. (2005). Effect of cryogenic treatment on nickel-titanium endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 38(6), 364-371.
56. Cheung, G. S., Shen, Y. ve Darvell, B. W. (2007). Does electropolishing improve the low-cycle fatigue behavior of a nickel–titanium rotary instrument in hypochlorite? *Journal Of Endodontics*, 33(10), 1217-1221.
57. Anderson, M. E., Price, J. W. ve Parashos, P. (2007). Fracture resistance of electropolished rotary nickel–titanium endodontic instruments. *Journal Of Endodontics*, 33(10), 1212-1216.
58. Shen, Y., Qian, W., Abtin, H., Gao, Y. ve Haapasalo, M. (2012). Effect of environment on fatigue failure of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 38(3), 376-380.
59. Shen, Y., Qian, W., Abtin, H., Gao, Y. ve Haapasalo, M. (2011). Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 37(7), 997-1001.
60. Gao, Y., Gutmann, J. L., Wilkinson, K., Maxwell, R. ve Ammon, D. (2012). Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. *Journal of endodontics*, 38(3), 398-401.
61. Peters, O. A., Gluskin, A., Weiss, R. ve Han, J. (2012). An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel–titanium rotary instruments. *International endodontic journal*, 45(11), 1027-1034.
62. Johnson, E., Lloyd, A., Kuttler, S. ve Namerow, K. (2008). Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/. 04 rotary instruments. *Journal of endodontics*, 34(11), 1406-1409.
63. Alapati, S. B., Brantley, W. A., Iijima, M., Clark, W. A., Kovarik, L., Buie, C., ve ark. (2009). Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. *Journal Of Endodontics*, 35(11), 1589-1593.
64. Al-Hadlaq, S. M., AlJarbou, F. A. ve AlThumairy, R. I. (2010). Evaluation of cyclic flexural fatigue of M-wire nickel-titanium rotary instruments. *Journal Of Endodontics*, 36(2), 305-307.
65. De Vasconcelos, R. A., Murphy, S., Carvalho, C. A. T., Govindjee, R. G., Govindjee, S. ve Peters, O. A. (2016). Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature. *Journal of endodontics*, 42(5), 782-787.
66. Shen, Y., Coil, J., Zhou, H., Zheng, Y. ve Haapasalo, M. (2013). H y F lex nickel–titanium rotary instruments after clinical use: metallurgical properties. *International endodontic journal*, 46(8), 720-729.
67. Otsuka, K. ve Ren, X. (2005). Physical metallurgy of Ti–Ni-based shape memory alloys. *Progress in materials science*, 50(5), 511-678.
68. Hou, X., Yahata, Y., Hayashi, Y., Ebihara, A., Hanawa, T. ve Suda, H. (2011). Phase transformation behaviour and bending property of twisted nickel–titanium endodontic instruments. *International endodontic journal*, 44(3), 253-258.
69. Plotino, G., Grande, N. M., Cotti, E., Testarelli, L. ve Gambarini, G. (2014). Blue treatment enhances cyclic fatigue resistance of vortex nickel-titanium rotary files. *Journal of endodontics*, 40(9), 1451-1453.

70. Hu, W., Whitten, B., Sedgley, C. ve Svec, T. (2014). Effect of three NiTi files on transportation of the apical foramen. *International Endodontic Journal*, 47(11), 1064-1071.
71. Shen, Y., Zhou, H., Coil, J. M., Aljazaeri, B., Buttar, R., Wang, Z., ve ark. (2015). ProFile Vortex and Vortex Blue nickel-titanium rotary instruments after clinical use. *Journal of endodontics*, 41(6), 937-942.
72. Zupanc, J., Vahdat-Pajouh, N. ve Schäfer, E. (2018). New thermomechanically treated NiTi alloys—a review. *International endodontic journal*, 51(10), 1088-1103.
73. Hieawy, A., Haapasalo, M., Zhou, H., Wang, Z.-j. ve Shen, Y. (2015). Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. *Journal of endodontics*, 41(7), 1134-1138.
74. Vaz-Garcia, E. S., Vieira, V. T. L., Petitet, N. P. d. S. F., Moreira, E. J. L., Lopes, H. P., Elias, C. N., ve ark. (2018). Mechanical properties of anatomic finishing files: XP-Endo Finisher and XP-Clean. *Brazilian Dental Journal*, 29, 208-213.
75. Faisal, I., Saif, R., Alsulaiman, M. ve Natto, Z. S. (2021). Shaping ability of 2Shape and NeoNiTi rotary instruments in preparation of curved canals using micro-computed tomography. *BMC Oral Health*, 21(1), 1-11.
76. Staffoli, S., Grande, N. M., Plotino, G., Özyürek, T., Gündoğar, M., Fortunato, L., ve ark. (2019). Influence of environmental temperature, heat-treatment and design on the cyclic fatigue resistance of three generations of a single-file nickel–titanium rotary instrument. *Odontology*, 107, 301-307.
77. Holliday, R. 2011. Cohen's pathways of the pulp. Nature Publishing Group UK London; s.
78. Yared, G. (2008). Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J*, 41(4), 339-344.
79. Bürklein, S., Hinschitzka, K., Dammaschke, T. ve Schäfer, E. (2012). Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *International Endodontic Journal*, 45(5), 449-461.
80. Letters, S., Smith, A. J., McHugh, S. ve Bagg, J. (2005). A study of visual and blood contamination on reprocessed endodontic files from general dental practice. *British Dental Journal*, 199(8), 522-525.
81. **Rotstein, I. ve Ingle, J. I.** (2019). *Ingle's endodontics 7*. Raleigh, North Carolina: PMPH USA. p. s.
82. Bürklein, S., Benten, S. ve Schäfer, E. (2014). Quantitative evaluation of apically extruded debris with different single-file systems: Reciproc, F360 and OneShape versus Mtwo. *International Endodontic Journal*, 47(5), 405-409.
83. Gündoğar, M. ve Özyürek, T. (2017). Cyclic fatigue resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue nickel-titanium instruments. *Journal of endodontics*, 43(7), 1192-1196.
84. Yared, G. (2017). Reciproc blue: the new generation of reciprocation. *Giornale italiano di endodonzia*, 31(2), 96-101.
85. Van der Vyver, P. J., Vorster, M. ve Peters, O. A. (2019). Minimally invasive endodontics using a new single-file rotary system. *Int Dent–African ed*, 9(4), 6-20.

86. Liu, C.-C. (2003). Microstructure and tool electrode erosion in EDMed of TiN/Si₃N₄ composites. *Materials Science and Engineering: A*, 363(1-2), 221-227.
87. Jameson, E. C. (2001). *Electrical discharge machining*. Society of Manufacturing Engineers.
88. Pirani, C., Iacono, F., Generali, L., Sassatelli, P., Nucci, C., Lusvarghi, L., ve ark. (2016). HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *International endodontic journal*, 49(5), 483-493.
89. Venino, P. M., Citterio, C. L., Pellegatta, A., Ciccarelli, M. ve Maddalone, M. (2017). A micro-computed tomography evaluation of the shaping ability of two nickel-titanium instruments, HyFlex EDM and ProTaper next. *Journal of endodontics*, 43(4), 628-632.
90. Gavini, G., Santos, M. d., Caldeira, C. L., Machado, M. E. d. L., Freire, L. G., Iglecias, E. F., ve ark. (2018). Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Brazilian oral research*, 32.
91. Pedullà, E., Savio, F. L., Boninelli, S., Plotino, G., Grande, N. M., La Rosa, G., ve ark. (2016). Torsional and cyclic fatigue resistance of a new nickel-titanium instrument manufactured by electrical discharge machining. *Journal of endodontics*, 42(1), 156-159.
92. Topçuoğlu, H. S., Topçuoğlu, G., Kafdağ, Ö. ve Balkaya, H. (2020). Effect of two different temperatures on resistance to cyclic fatigue of one Curve, EdgeFile, HyFlex CM and ProTaper next files. *Australian Endodontic Journal*, 46(1), 68-72.
93. (2022). <https://micro-mega.com/shaping/2shape/?lang=en>
94. Prados-Privado, M., Rojo, R., Ivorra, C. ve Prados-Frutos, J. C. (2019). Finite element analysis comparing WaveOne, WaveOne Gold, Reciproc and Reciproc Blue responses with bending and torsion tests. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 90, 165-172.
95. Adıgüzel, M. ve Capar, I. D. (2017). Comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne and WaveOne Gold small, primary, and large instruments. *Journal Of Endodontics*, 43(4), 623-627.
96. Gagliardi, J., Versiani, M. A., de Sousa-Neto, M. D., Plazas-Garzon, A. ve Basrani, B. (2015). Evaluation of the shaping characteristics of ProTaper Gold, ProTaper NEXT, and ProTaper Universal in curved canals. *Journal of endodontics*, 41(10), 1718-1724.
97. Elsaka, S., Elnaghy, A. ve Badr, A. (2017). Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and twisted file adaptive instruments. *International endodontic journal*, 50(11), 1077-1083.
98. Silva, E., Tinoco, J. M., Tinoco, E., Vieira, V., Sassone, L. M. ve Lopes, H. P. (2016). Bending resistance and cyclic fatigue life of a new single-file reciprocating instrument WaveOne Gold. *Eur Endod J*, 1(1), 4-4.
99. Bürklein, S., Hiller, C., Huda, M. ve Schäfer, E. (2011). Shaping ability and cleaning effectiveness of Mtwo versus coated and uncoated EasyShape instruments in severely curved root canals of extracted teeth. *International Endodontic Journal*, 44(5), 447-457.

100. Saber, S., Nagy, M. ve Schäfer, E. (2015). Comparative evaluation of the shaping ability of Wave One, Reciproc and OneShape single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. *International Endodontic Journal*, 48(1), 109-114.
101. Dagna, A., Poggio, C., Beltrami, R., Colombo, M., Chiesa, M. ve Bianchi, S. (2014). Cyclic fatigue resistance of OneShape, Reciproc, and WaveOne: An in vitro comparative study. *Journal Of Conservative Dentistry: Jcd*, 17(3), 250.
102. Jain, P. (2017). *Common complications in endodontics: prevention and management*. Springer.
103. Gutmann, J. L. ve Lovdahl, P. E. (2010). *Problem solving in endodontics: prevention, identification and management*. Elsevier Health Sciences.
104. Rhodes, J. S. (2005). *Advanced endodontics: clinical retreatment and surgery*. CRC Press.
105. West, J. D. (1994). Cleaning and shaping the root canal system. *Pathways of the pulp*, 179-218.
106. Gluskin, A. H., Peters, C. I., Wong, R. ve Ruddle, C. J. (2008). Retreatment of non-healing endodontic therapy and management of mishaps. *Text book of Endodontics 6th ed Hamilton, Ontario, USA: BC Decker*, 1088-1061.
107. Weine, F. S., Kelly, R. F. ve Lio, P. J. (1975). The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *Journal of endodontics*, 1(8), 255-262.
108. Young, G. R., Parashos, P. ve Messer, H. H. (2007). The principles of techniques for cleaning root canals. *Aust Dent J*, 52(1 Suppl), S52-63.
109. Royal, J. R. ve Donnelly, J. C. (1995). A comparison of maintenance of canal curvature using balanced-force instrumentation with three different file types. *Journal of Endodontics*, 21(6), 300-304.
110. Wu, M. K., Fan, B. ve Wesselink, P. R. (2000). Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: effects of apical transportation on seal of root fillings. *J Endod*, 26(4), 210-216.
111. Bishop, K. ve Dummer, P. (1997). A comparison of stainless steel Flexofiles and nickel-titanium NiTiFlex files during the shaping of simulated canals. *International Endodontic Journal*, 30(1), 25-34.
112. Buchanan, L. (1987). Working length and apical patency: the control factors. *The Endodontic report*, 16-20.
113. Jafarzadeh, H. ve Abbott, P. V. (2007). Ledge formation: review of a great challenge in endodontics. *Journal of endodontics*, 33(10), 1155-1162.
114. Lambrianidis, T. (2006). Ledging and blockage of root canals during canal preparation: causes, recognition, prevention, management, and outcomes. *Endodontic Topics*, 15(1), 56-74.
115. Shemesh, H., van Soest, G., Wu, M.-K. ve Wesselink, P. R. (2008). Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *Journal of endodontics*, 34(6), 739-742.
116. Wilcox, L. R., Roskelley, C. ve Sutton, T. (1997). The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *Journal of Endodontics*, 23(8), 533-534.
117. Kishen, A. (2006). Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. *Endodontic topics*, 13(1), 57-83.

118. Onnink, P. A., Davis, R. D. ve Wayman, B. E. (1994). An in vitro comparison of incomplete root fractures associated with three obturation techniques. *Journal of Endodontics*, 20(1), 32-37.
119. Sim, T., Knowles, J., Ng, Y. L., Shelton, J. ve Gulabivala, K. (2001). Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *International endodontic journal*, 34(2), 120-132.
120. Wu, M.-K., Van Der Sluis, L. ve Wesselink, P. (2004). Comparison of mandibular premolars and canines with respect to their resistance to vertical root fracture. *Journal of dentistry*, 32(4), 265-268.
121. **Endodontists, A. A. o.** (2003). *Glossary of endodontic terms*. American Association of Endodontists.
122. Craig, R. G., McIlwain, E. D. ve Peyton, F. A. (1968). Bending and torsion properties of endodontic instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 25(2), 239-254.
123. Burroughs, J. R., Bergeron, B. E., Roberts, M. D., Hagan, J. L. ve Himel, V. T. (2012). Shaping ability of three nickel-titanium endodontic file systems in simulated S-shaped root canals. *Journal Of Endodontics*, 38(12), 1618-1621.
124. Hartmann, M. S., Barletta, F. B., Camargo Fontanella, V. R. ve Vanni, J. R. (2007). Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography. *Journal of Endodontics*, 33(8), 962-965.
125. Bergmans, L., Van Cleynenbreugel, J., Wevers, M. ve Lambrechts, P. (2001). Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *American Journal of Dentistry*, 14(5), 324-333.
126. Elizabeth M., S. (2005). Hand instrumentation in root canal preparation. *Endodontic Topics*, 10(1), 163-167.
127. SCHÄFER, E. ve DAMMASCHKE, T. (2006). Development and sequelae of canal transportation. *Endodontic Topics*, 15(1), 75-90.
128. Chole, D., Burad, P. A., Kundoor, S., Bakle, S., Devagirkar, A. ve Deshpande, R. (2016). Canal transportation-a threat in endodontics: a review. *IOSR-JDMS*, 15(7), 64-72.
129. Hartmann, R. C., Fensterseifer, M., Peters, O. A., De Figueiredo, J., Gomes, M. S. ve Rossi-Fedele, G. (2019). Methods for measurement of root canal curvature: a systematic and critical review. *International Endodontic Journal*, 52(2), 169-180.
130. Schneider, S. W. (1971). A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral surgery, Oral medicine, Oral pathology*, 32(2), 271-275.
131. Pruett, J. P., Clement, D. J. ve Carnes Jr, D. L. (1997). Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of endodontics*, 23(2), 77-85.
132. Bürklein, S. ve Schäfer, E. (2013). Critical evaluation of root canal transportation by instrumentation. *Endodontic Topics*, 29(1), 110-124.
133. Marceliano-Alves, M., Sousa-Neto, M., Fidel, S., Steier, L., Robinson, J., Pécora, J., ve ark. (2015). Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multife rotary systems: a micro-CT study. *International Endodontic Journal*, 48(12), 1129-1136.

134. Talati, A., Moradi, S., Forghani, M. ve Monajemzadeh, A. (2013). Shaping ability of nickel-titanium rotary instruments in curved root canals. *Iranian endodontic journal*, 8(2), 55.
135. Al-Manei, K. ve Al-Hadlaq, S. (2014). Evaluation of the root canal shaping ability of two rotary nickel–titanium systems. *International Endodontic Journal*, 47(10), 974-979.
136. Bürklein, S., Mathey, D. ve Schäfer, E. (2015). Shaping ability of Pro Taper NEXT and BT-Race nickel–titanium instruments in severely curved root canals. *International Endodontic Journal*, 48(8), 774-781.
137. Bramante, C. M. ve Betti, L. V. (2000). Efficacy of Quantec rotary instruments for gutta-percha removal. *International Endodontic Journal*, 33(5), 463-467.
138. Swain, M. V. ve Xue, J. (2009). State of the art of micro-CT applications in dental research. *International journal of oral science*, 1(4), 177-188.
139. Kiarudi, A. H., Eghbal, M. J., Safi, Y., Aghdasi, M. M. ve Fazlyab, M. (2015). The applications of cone-beam computed tomography in endodontics: a review of literature. *Iranian endodontic journal*, 10(1), 16.
140. Durack, C. ve Patel, S. (2012). Cone beam computed tomography in endodontics. *Brazilian dental journal*, 23, 179-191.
141. Venskutonis, T., Plotino, G., Juodzbaly, G. ve Mickevičienė, L. (2014). The importance of cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: a review of the literature. *Journal of endodontics*, 40(12), 1895-1901.
142. Patel, S. ve Horner, K. (2009). The use of cone beam computed tomography in endodontics. *International endodontic journal*, 42(9), 755-756.
143. Liedke, G. S., da Silveira, H. E. D., da Silveira, H. L. D., Dutra, V. ve de Figueiredo, J. A. P. (2009). Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *Journal of endodontics*, 35(2), 233-235.
144. Kamburoğlu, K. ve Kursun, S. (2010). A comparison of the diagnostic accuracy of CBCT images of different voxel resolutions used to detect simulated small internal resorption cavities. *International endodontic journal*, 43(9), 798-807.
145. Nielsen, R. B., Alyassin, A. M., Peters, D. D., Carnes, D. L. ve Lancaster, J. (1995). Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J Endod*, 21(11), 561-568.
146. Elliott, J. C. ve Dover, S. D. (1982). X-ray microtomography. *J Microsc*, 126(Pt 2), 211-213.
147. Bjørndal, L., Carlsen, O., Thuesen, G., Darvann, T. ve Kreiborg, S. (1999). External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *International Endodontic Journal*, 32(1), 3-9.
148. Davis, G. R. ve Wong, F. S. (1996). X-ray microtomography of bones and teeth. *Physiol Meas*, 17(3), 121-146.
149. Davis, G. R. ve Wong, F. S. (1996). X-ray microtomography of bones and teeth. *Physiological measurement*, 17(3), 121.
150. Müller, R., Van Campenhout, H., Van Damme, B., Van der Perre, G., Dequeker, J., Hildebrand, T., ve ark. (1998). Morphometric Analysis of Human Bone

- Biopsies: A Quantitative Structural Comparison of Histological Sections and Micro-Computed Tomography. *Bone*, 23(1), 59-66.
151. Spoor, C. F., Zonneveld, F. W. ve Macho, G. A. (1993). Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: applications and problems. *Am J Phys Anthropol*, 91(4), 469-484.
 152. Huang, T. T., Jones, A. S., He, L. H., Darendeliler, M. A. ve Swain, M. V. (2007). Characterisation of enamel white spot lesions using X-ray micro-tomography. *J Dent*, 35(9), 737-743.
 153. Dowker, S. E., Davis, G. R. ve Elliott, J. C. (1997). X-ray microtomography: nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 83(4), 510-516.
 154. Rhodes, J., Ford, T. P., Lynch, J., Liepins, P. ve Curtis, R. (1999). Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *International endodontic journal*, 32(3), 165-170.
 155. Peters, O. A., Laib, A., Rügsegger, P. ve Barbakow, F. (2000). Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *Journal of dental research*, 79(6), 1405-1409.
 156. Amano, M., Agematsu, H., Abe, S., Usami, A., Matsunaga, S., Suto, K., ve ark. (2006). Three-dimensional analysis of pulp chambers in maxillary second deciduous molars. *Journal Of Dentistry*, 34(7), 503-508.
 157. Guillaume, B., Lacoste, J., Gaborit, N., Brossard, G., Cruard, A., Baslé, M., ve ark. (2006). Microcomputed tomography used in the analysis of the morphology of root canals in extracted wisdom teeth. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 44(3), 240-244.
 158. Plotino, G., Grande, N. M., Pecci, R., Bedini, R., Pameijer, C. H. ve Somma, F. (2006). Three-dimensional imaging using microcomputed tomography for studying tooth macromorphology. *The Journal of the American Dental Association*, 137(11), 1555-1561.
 159. Grande, N. M., Plotino, G., Pecci, R., Bedini, R., Pameijer, C. H. ve Somma, F. (2008). Micro-computerized tomographic analysis of radicular and canal morphology of premolars with long oval canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 106(3), e70-e76.
 160. Fan, B., Cheung, G. S., Fan, M., Gutmann, J. L. ve Bian, Z. (2004). C-shaped canal system in mandibular second molars: Part I--Anatomical features. *J Endod*, 30(12), 899-903.
 161. Mannocci, F., Peru, M., Sherriff, M., Cook, R. ve Pitt Ford, T. (2005). The isthmuses of the mesial root of mandibular molars: a micro-computed tomographic study. *International Endodontic Journal*, 38(8), 558-563.
 162. Gu, L., Wei, X., Ling, J. ve Huang, X. (2009). A microcomputed tomographic study of canal isthmuses in the mesial root of mandibular first molars in a Chinese population. *Journal of Endodontics*, 35(3), 353-356.
 163. Lee, J.-K., Ha, B.-H., Choi, J.-H., Heo, S.-M. ve Perinpanayagam, H. (2006). Quantitative three-dimensional analysis of root canal curvature in maxillary first molars using micro-computed tomography. *Journal of endodontics*, 32(10), 941-945.

164. Jung, M., Lommel, D. ve Klimek, J. (2005). The imaging of root canal obturation using micro-CT. *International endodontic journal*, 38(9), 617-626.
165. Hammad, M., Qualtrough, A. ve Silikas, N. (2009). Evaluation of root canal obturation: a three-dimensional in vitro study. *Journal of endodontics*, 35(4), 541-544.
166. Shen, Y. ve Haapasalo, M. (2008). Three-dimensional analysis of cutting behavior of nickel-titanium rotary instruments by microcomputed tomography. *Journal of endodontics*, 34(5), 606-610.
167. Zakizadeh, P., Marshall, S. J., Hoover, C. I., Peters, O. A., Noblett, W. C., Gansky, S. A., ve ark. (2008). A novel approach in assessment of coronal leakage of intraorifice barriers: a saliva leakage and micro-computed tomographic evaluation. *Journal Of Endodontics*, 34(7), 871-875.
168. Madarati, A. A., Qualtrough, A. J. ve Watts, D. C. (2009). A microcomputed tomography scanning study of root canal space: changes after the ultrasonic removal of fractured files. *Journal of Endodontics*, 35(1), 125-128.
169. Hübscher, W., Barbakow, F. ve Peters, O. A. (2003). Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography. *International Endodontic Journal*, 36(11), 740-747.
170. Peters, O. A., Peters, C. I., Schonenberger, K. ve Barbakow, F. (2003). ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *International endodontic journal*, 36(2), 86-92.
171. Paqué, F., Barbakow, F. ve Peters, O. A. (2005). Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. *International endodontic journal*, 38(7), 456-464.
172. Cheung, L. H. ve Cheung, G. S. (2008). Evaluation of a rotary instrumentation method for C-shaped canals with micro-computed tomography. *Journal Of Endodontics*, 34(10), 1233-1238.
173. Gluskin, A., Brown, D. ve Buchanan, L. (2001). A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT™ files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators. *International endodontic journal*, 34(6), 476-484.
174. Peru, M., Peru, C., Mannocci, F., Sherriff, M., Buchanan, L. ve Pitt Ford, T. (2006). Hand and nickel-titanium root canal instrumentation performed by dental students: a micro-computed tomographic study. *European Journal of Dental Education*, 10(1), 52-59.
175. Gekelman, D., Ramamurthy, R., Mirfarsi, S., Paqué, F. ve Peters, O. A. (2009). Rotary nickel-titanium GT and ProTaper files for root canal shaping by novice operators: A Radiographic and Micro-Computed Tomography Evaluation. *Journal of endodontics*, 35(11), 1584-1588.
176. Peters, O. A., Schönenberger, K. ve Laib, A. (2001). Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *International endodontic journal*, 34(3), 221-230.
177. Rhodes, J., Ford, T. P., Lynch, J., Liepins, P. ve Curtis, R. (2000). A comparison of two nickel-titanium instrumentation techniques in teeth using microcomputed tomography. *International Endodontic Journal*, 33(3), 279-285.

178. Hammad, M., Qualtrough, A. ve Silikas, N. (2008). Three-dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *Journal Of Endodontics*, 34(11), 1370-1373.
179. Gambill, J. M., Alder, M. ve Carlos, E. (1996). Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *Journal of endodontics*, 22(7), 369-375.
180. Thomson, S. ve Dummer, P. (2000). Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: part 2. *Int Endod J*, 33(3), 248-254.
181. Berutti, E., Chiandussi, G., Paolino, D. S., Scotti, N., Cantatore, G., Castellucci, A., ve ark. (2011). Effect of canal length and curvature on working length alteration with WaveOne reciprocating files. *Journal Of Endodontics*, 37(12), 1687-1690.
182. Dietrich, M. A., Kirkpatrick, T. C. ve Yaccino, J. M. (2012). In vitro canal and isthmus debris removal of the self-adjusting file, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars. *Journal of endodontics*, 38(8), 1140-1144.
183. Stern, S., Patel, S., Foschi, F., Sherriff, M. ve Mannocci, F. (2012). Changes in centring and shaping ability using three nickel-titanium instrumentation techniques analysed by micro-computed tomography (μ CT). *International endodontic journal*, 45(6), 514-523.
184. Eid, G. E. H. ve Amin, S. A. W. (2011). Changes in diameter, cross-sectional area, and extent of canal-wall touching on using 3 instrumentation techniques in long-oval canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112(5), 688-695.
185. Franco, V., Fabiani, C., Taschieri, S., Malentacca, A., Bortolin, M. ve Del Fabbro, M. (2011). Investigation on the shaping ability of nickel-titanium files when used with a reciprocating motion. *Journal of endodontics*, 37(10), 1398-1401.
186. Schäfer, E., Eler, M. ve Dammaschke, T. (2006). Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *International Endodontic Journal*, 39(3), 196-202.
187. Christofzik, D., Bartols, A., Faheem, M. K., Schroeter, D., Groessner-Schreiber, B. ve Doerfer, C. E. (2018). Shaping ability of four root canal instrumentation systems in simulated 3D-printed root canal models. *PLoS One*, 13(8), e0201129.
188. Ruddle, C., Cohen, S. ve Burns, R. (2002). Pathways of the pulp. *St Louis, USA: Mosby*, 231-291.
189. Huang, Z., Quan, J., Liu, J., Zhang, W., Zhang, X. ve Hu, X. (2019). A microcomputed tomography evaluation of the shaping ability of three thermally-treated nickel-titanium rotary file systems in curved canals. *Journal of International Medical Research*, 47(1), 325-334.
190. Morfis, A., Sylaras, S., Georgopoulou, M., Kernani, M. ve Prountzos, F. (1994). Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 77(2), 172-176.

191. Jung, I.-Y., Seo, M.-A., Fouad, A. F., Spångberg, L. S., Lee, S.-J., Kim, H.-J., ve ark. (2005). Apical anatomy in mesial and mesiobuccal roots of permanent first molars. *Journal of endodontics*, 31(5), 364-368.
192. Roane, J. B. ve Sabala, C. (1984). Clockwise or counterclockwise. *Journal of Endodontics*, 10(8), 349-353.
193. Isom, T. L., Marshall, J. G. ve Baumgartner, J. C. (1995). Evaluation of root thickness in curved canals after flaring. *Journal of endodontics*, 21(7), 368-371.
194. Abou-Rass, M. ve Jastrab, R. J. (1982). The use of rotary instruments as auxiliary aids to root canal preparation of molars. *Journal of Endodontics*, 8(2), 78-82.
195. Calhoun, G. ve Montgomery, S. (1988). The effects of four instrumentation techniques on root canal shape. *Journal of Endodontics*, 14(6), 273-277.
196. Backman, C. A., Oswald, R. J. ve Pitts, D. L. (1992). A radiographic comparison of two root canal instrumentation techniques. *Journal of Endodontics*, 18(1), 19-24.
197. Coleman, C. L., Svec, T. A., Rieger, M. R., Suchina, J. A., Wang, M. M. ve Glickman, G. N. (1996). Analysis of nickel-titanium versus stainless steel instrumentation by means of direct digital imaging. *Journal Of Endodontics*, 22(11), 603-607.
198. Berutti, E. (1993). Computerized analysis of the instrumentation of the root canal system. *Journal of Endodontics*, 19(5), 236-238.
199. Blašković-Šubat, V., Smojver, I., Maričić, B. ve Šutalo, J. (1995). A computerized method for the evaluation of root canal morphology. *International Endodontic Journal*, 28(6), 290-296.
200. Hirano, Y. ve Aoba, T. (1995). Computer-assisted reconstruction of enamel fissures and carious lesions of human premolars. *Journal of Dental Research*, 74(5), 1200-1205.
201. Tachibana, H. ve Matsumoto, K. (1990). Applicability of x-ray computerized tomography in endodontics. *Dental Traumatology*, 6(1), 16-20.
202. Paqué, F. ve Peters, O. A. (2011). Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *Journal of endodontics*, 37(4), 517-521.
203. Nielsen, R. B., Alyassin, A. M., Peters, D. D., Carnes, D. L. ve Lancaster, J. (1995). Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *Journal of endodontics*, 21(11), 561-568.
204. Verma, P. ve Love, R. (2011). A Micro CT study of the mesiobuccal root canal morphology of the maxillary first molar tooth. *International endodontic journal*, 44(3), 210-217.
205. Moradi, S., Gharechahi, M. ve Bonyadimanesh, F. (2018). Influence of two preparation techniques on transportation of simulated type ii root canals. *Iranian Endodontic Journal*, 13(3), 385.
206. De Carvalho, G. M., Junior, E. C. S., Garrido, A. D. B., Lia, R. C. C., Garcia, L. d. F. R. ve Marques, A. A. F. (2015). Apical transportation, centering ability, and cleaning effectiveness of reciprocating single-file system associated with different glide path techniques. *Journal of endodontics*, 41(12), 2045-2049.
207. Mesgarani, A., Hamidi, M. R., Haghanifar, S., Naiemi, S. ve Bijani, A. (2018). Comparison of apical transportation and centering ability of Mtwo and

- Reciproc R25 in severely curved canals using cone-beam computed tomography. *Dental research journal*, 15(1), 57.
208. Junaid, A., Freire, L. G., da Silveira Bueno, C. E., Mello, I. ve Cunha, R. S. (2014). Influence of single-file endodontics on apical transportation in curved root canals: an ex vivo micro-computed tomographic study. *Journal of Endodontics*, 40(5), 717-720.
209. Wu, M.-K., Fan, B. ve Wesselink, P. R. (2000). Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: effects of apical transportation on seal of root fillings. *Journal of endodontics*, 26(4), 210-216.
210. Poly, A., AlMalki, F., Marques, F. ve Karabucak, B. (2019). Canal transportation and centering ratio after preparation in severely curved canals: analysis by micro-computed tomography and double-digital radiography. *Clinical oral investigations*, 23, 4255-4262.
211. Ahn, S.-Y., Kim, H.-C. ve Kim, E. (2016). Kinematic effects of nickel-titanium instruments with reciprocating or continuous rotation motion: a systematic review of in vitro studies. *Journal Of Endodontics*, 42(7), 1009-1017.
212. Marzouk, A. M. ve Ghoneim, A. G. (2013). Computed tomographic evaluation of canal shape instrumented by different kinematics rotary nickel-titanium systems. *Journal of endodontics*, 39(7), 906-909.
213. da Silva Arruda, E., Sponchiado-Júnior, E. C., Pandolfo, M. T., de Carvalho Fredson, M. A., Garcia, L. d. F. R. ve Marques, A. A. F. (2019). Apical transportation and centering ability after root canal filling removal using reciprocating and continuous rotary systems: a CBCT study. *European Journal of Dentistry*, 13(04), 613-618.
214. Hasheminia, S. M., Farhad, A., Sheikhi, M., Soltani, P., Hendi, S. S. ve Ahmadi, M. (2018). Cone-beam computed tomographic analysis of canal transportation and centering ability of single-file systems. *Journal of endodontics*, 44(12), 1788-1791.
215. Simpsy, G. S., Sajjan, G. S., Mudunuri, P., Chittem, J., Prasanthi, N. N. ve Balaga, P. (2016). Shaping ability of reciprocating motion of WaveOne and HyFlex in moderate to severe curved canals: A comparative study with cone beam computed tomography. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 19(6), 578.
216. Saleh, A. M., Gilani, P. V., Tavanafar, S. ve Schäfer, E. (2015). Shaping ability of 4 different single-file systems in simulated S-shaped canals. *Journal of endodontics*, 41(4), 548-552.
217. Dhingra, A., Kochar, R., Banerjee, S. ve Srivastava, P. (2014). Comparative evaluation of the canal curvature modifications after instrumentation with One Shape rotary and Wave One reciprocating files. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 17(2), 138.
218. Jain, A., Gupta, A. S. ve Agrawal, R. (2018). Comparative analysis of canal-centering ratio, apical transportation, and remaining dentin thickness between single-file systems, ie, OneShape and WaveOne reciprocation: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 21(6), 637.
219. Arslan, H., Kirici, D. O., Uygun, A. D., Khalilov, R., Güven, Y., Karataş, E., ve ark. (2016). Apical transportation of ProGlider and ProTaper Next activated with different motions. *The International Journal of Artificial Organs*, 39(12), 625-628.

220. Tambe, V. H., Nagmode, P. S., Abraham, S., Patait, M., Lahoti, P. V. ve Jaju, N. (2014). Comparison of canal transportation and centering ability of rotary protaper, one shape system and wave one system using cone beam computed tomography: an in vitro study. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 17(6), 561.
221. Bürklein, S., Hinschitza, K., Dammaschke, T. ve Schäfer, E. (2012). Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *International Endodontic Journal*, 45(5), 449-461.
222. Zanesco, C., Só, M. V. R., Schmidt, S., Fontanella, V. R. C., Graziotin-Soares, R. ve Barletta, F. B. (2017). Apical transportation, centering ratio, and volume increase after manual, rotary, and reciprocating instrumentation in curved root canals: analysis by micro-computed tomographic and digital subtraction radiography. *Journal of endodontics*, 43(3), 486-490.
223. Singh, S., Mirdha, N., Shilpa, P., Tiwari, R. V., Abdul, M. S. M. ve Sainudeen, S. (2019). Shaping ability of 2Shape and WaveOne Gold files using cone-beam computed tomography. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 9(3), 245.
224. Singh, S., Abdul, M. S. M., Sharma, U., Sainudeen, S., Jain, C. ve Kalliath, J. T. (2019). An in vitro comparative evaluation of volume of removed dentin, canal transportation, and centering ratio of 2Shape, WaveOne Gold, and ProTaper Gold files using cone-beam computed tomography. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 9(5), 481.
225. D'Amario, M., De Angelis, F., Mancino, M., Frascaria, M., Capogreco, M. ve D'Arcangelo, C. (2017). Canal shaping of different single-file systems in curved root canals. *Journal Of Dental Sciences*, 12(4), 328-332.
226. Naseri, M., Paymanpour, P., Kangarloo, A., Haddadpur, S., Dianat, O. ve Ketabi, M. A. (2016). Influence of motion pattern on apical transportation and centering ability of WaveOne single-file technique in curved root canals. *Dental Research Journal*, 13(1), 13.
227. You, S.-Y., Kim, H.-C., Bae, K.-S., Baek, S.-H., Kum, K.-Y. ve Lee, W. (2011). Shaping ability of reciprocating motion in curved root canals: a comparative study with micro-computed tomography. *Journal Of Endodontics*, 37(9), 1296-1300.
228. Paqué, F., Zehnder, M. ve De-Deus, G. (2011). Microtomography-based comparison of reciprocating single-file F2 ProTaper technique versus rotary full sequence. *Journal of endodontics*, 37(10), 1394-1397.
229. Bürklein, S., Poschmann, T. ve Schäfer, E. (2014). Shaping ability of different nickel-titanium systems in simulated S-shaped canals with and without glide path. *Journal Of Endodontics*, 40(8), 1231-1234.
230. Capar, I. D., Ertas, H., Ok, E., Arslan, H. ve Ertas, E. T. (2014). Comparative study of different novel nickel-titanium rotary systems for root canal preparation in severely curved root canals. *Journal of Endodontics*, 40(6), 852-856.
231. Vorster, M., van der Vyver, P. J. ve Paleker, F. (2018). Canal Transportation and Centering Ability of WaveOne Gold in Combination with and without Different Glide Path Techniques. *Journal of Endodontics*, 44(9), 1430-1435.