



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

**FARKLI ÇAPTAKİ İRRİGASYON İĞNELERİNİN KÖK
KANALI İÇERİSİNDEKİ İRRİGAN AKIŞI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ
KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**UZMANLIK BİTİRME TEZİ
DT. ERCAN KAVAS**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ÖZKAN ADIGÜZEL**

**DİYARBAKIR
2016**



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

**FARKLI ÇAPTAKİ İRRİGASYON İĞNELERİNİN KÖK
KANALI İÇERİSİNDEKİ İRRİGAN AKIŞI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ
KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**UZMANLIK BİTİRME TEZİ
DT. ERCAN KAVAS**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ÖZKAN ADIGÜZEL**

**DİYARBAKIR
2016**

Bu tez Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünce desteklenmiştir.
Proje No: DİŞ.15.001

ONAY SAYFASI



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince desteğini eksik etmeyen, bilgisiyle, tecrübesiyle bana yol gösteren saygıdeğer tez danışmanım **Doç. Dr. Özkan ADIGÜZEL**'e,

Eğitim süresince klinik deneyimleriyle ve hoşgörüsüyle destek olan saygıdeğer hocam **Doç. Dr. Sadullah KAYA**'ya,

Analiz sürecinde bilgi ve tecrübesiyle yardımını esirgemeyen **Öğr. Gör. Dr. Mehmet Gökhan GÖKÇEN**'e

Çalışmamıza destek olan saygıdeğer hocam **Doç. Dr. Ali KELEŞ**'e

Bu süreçte sürekli yanımda olan ve desteğini hep arkamda hissettiğim biricik eşim **Dt. Anıl AÇIKLAR KAVAS**'a

Bu dönemde bana maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Dt. Ercan KAVAS

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİLLER VE RESİMLER DİZİNİ	IV
TABLolar VE GRAFİKLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
ÖZET	X
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Endodontide Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları.....	5
2.1.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl).....	5
2.1.2. Etilendiamintetraasetik Asit (EDTA).....	6
2.1.3. Klorheksidin Glukonat.....	7
2.2. Endodontide İrrigasyon Aktivasyonu	7
2.2.1. El ile Yapılan Aktivasyon Yöntemleri.....	8
2.2.2. Makineler ile Yapılan Aktivasyon Teknikleri.....	11
2.3. İrrigasyon Uygulama Yöntemleri	14
2.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	17
2.4.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Tıp ve Diş Hekimliği Alanında Kullanımı	21
2.5. Mikro Bilgisayarlı Tomografi.....	26
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER	28
3.1. Örneklerin Hazırlanması	28
3.2. Mikro BT Değerlendirmesi.....	30

3.3.	İğne Örneklerinin İncelenmesi.....	31
3.3.1.	Taramalı Elektron Mikroskopu Cihazı ile İncelenmesi	31
3.3.2.	Optik Mikroskop ile İncelenmesi.....	32
3.4.	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi	36
3.4.1.	Geometri Analizi.....	36
3.4.2.	Ağ (Mesh) yapısının Oluşturulması	37
3.4.3.	Sınır ve Operasyon Şartları	39
4.	BULGULAR	41
5.	TARTIŞMA	52
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
7.	KAYNAKLAR	61

ŞEKİLLER VE RESİMLER DİZİNİ

ŞEKİLLER

- Şekil 1. Deneysel sonuçlara göre geometrinin şematik diyagramı ve işaretlerle gösterilmesi: (a) bir iğne ile kanal içerisine yapılan enjeksiyon, (b) ajitasyon (i) bir eğe veya güta-perkanın vertikal hareketi ile veya (ii) ultrasonik hareket ile eğenin düzlemdeki yer değiştirmesi. b (ii) $\leftrightarrow$ = salınımın yönü 10
- Şekil 2. Üç boyutlu HAD elemanları (kırmızı) ve düğüm noktaları (yeşil) 20
- Şekil 3. Simüle edilen kök kanal yapısı ve modellenmiş irrigasyon iğnesi 24
- Şekil 4. Görsel amaçlı olarak kök kanalının apikal kısmındaki ağ yapısının yarısının görüntüsü 24
- Şekil 5. Kanal içerisindeki iğnenin çıkış kısmındaki hız vektörleri büyüklüklerine göre renklendirilmiştir (iğne kırmızı renkle gösterilmiştir). 25
- Şekil 6. İğnenin boyutlarının şematik gösterimi; d_E = iğnenin dış çapı, d_I = iğnenin iç çapı, l = iğnenin açılı kısmının uzunluğu, m = iğne açıklığının uzunluğu 35

RESİMLER

- Resim 1. (A-C) Ucu açık iğneler: (A) Düz (NaviTip; Ultradent, South Jordan, UT), (B) Açılı (PrecisionGlide Needle; Becton Dickinson & Co, Franklin Lakes, NJ), ve (C) Ucu kesik (Appli-Vac Irrigating Needle Tip; Vista Dental, Racine, WI). (D-F) Ucu kapalı iğneler: (D) Yandan açık (KerrHawe Irrigation Probe; KerrHawe SA, Bioggio, Switzerland), (E) Çift yandan açık (Endo-Irrigation Needle; Transcodent, Neumu"nster, Germany) ve (F) Birden çok yandan açıklık olan (EndoVac Microcannula; Discus Dental, Culver City, CA). 16
- Resim 2. HAD analizi için yapılmış aort duvarlarının ağ yapısı. 21
- Resim 3. Kardiyopulmoner by-pass esnasında aort duvarındaki basınç dağılımı 22
- Resim 4. Kardiyopulmoner by-pass esnasında aort duvarındaki kayma gerilmesi 22
- Resim 5. 30G yandan açıklığı olan iğnenin uç kısmının a) dijital görüntüsü, b) katı model görüntüsü 23
- Resim 6. Alt birinci azı dişinin köklerinin mikro-BT kesitleri ile elde edilen üç-boyutlu rekonstrükte edilmiş görüntüleri. 26
- Resim 7. Çalışmada kullanılan üst birinci kesici dişin görüntüsü. 29
- Resim 8. Çalışmada kullanılan üst birinci kesici dişin radyografik görüntüsü. 29
- Resim 9. Pulpa boşluğunun STL formatındaki görüntüsü. 30
- Resim 10. 27G açılı iğnenin SEM görüntüsü. 31

Resim 11. 30G açılı iğnenin SEM görüntüsü.	32
Resim 12. 27G iğnenin uç kısmının üstten optik mikroskop görüntüsü.	33
Resim 13. 27G iğnenin uç kısmının yandan optik mikroskop görüntüsü.	33
Resim 14. 30G iğnenin uç kısmının üstten optik mikroskop görüntüsü.	33
Resim 15. 30G iğnenin uç kısmının yandan optik mikroskop görüntüsü.	34
Resim 16. 27G iğnenin katı model görüntüsü.....	34
Resim 17. 30G iğnenin katı model görüntüsü.....	34
Resim 18. Pulpa boşluğunun STL formatındaki iyileştirilmiş görüntüsü.	36
Resim 19. Pulpa boşluğunun ve iğnenin katı modeli.	36
Resim 20. Pulpa boşluğunun ağ yapısının koronal kısmı.	37
Resim 21. Pulpa boşluğunun ağ yapısı.	38
Resim 22. Pulpa boşluğunun ve iğnenin ağ yapısının bir kısmı.	38
Resim 23. 27G iğnenin apeksten 1 mm uzaklıktaki akış hızının analiz ve vektör görüntüleri. Hız değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (İğne gri renk ile gösterilmiştir.) (1.00e+00 = 1 m/sn, 1.00e+01 = 10 m/sn, 1.00e-01 = 0.1 m/sn).	43
Resim 24. 27G iğnenin apeksten 3 mm uzaklıktaki akış hızının analiz ve vektör görüntüleri. Hız değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (İğne gri renk ile gösterilmiştir.) (1.00e+00 = 1 m/sn, 1.00e+01 = 10 m/sn, 1.00e-01 = 0.1 m/sn).	43
Resim 25. 30G iğnenin apeksten 1 mm uzaklıktaki akış hızının analiz ve vektör görüntüleri. Hız değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (İğne gri renk ile gösterilmiştir.) (1.00e+00 = 1 m/sn, 1.00e+01 = 10 m/sn, 1.00e-01 = 0.1 m/sn).	44
Resim 26. 30G iğnenin apeksten 3 mm uzaklıktaki akış hızının analiz ve vektör görüntüleri. Hız değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (İğne gri renk ile gösterilmiştir.) (1.00e+00 = 1 m/sn, 1.00e+01 = 10 m/sn, 1.00e-01 = 0.1 m/sn).	44
Resim 27. 27G iğnenin apeksten 1 mm uzaklıktaki duvar kayma gerilmesi görüntüleri. Kuvvet değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (1.00e+00 = 1 N/m ² , 1.00e+01 = 10 N/m ² , 1.00e-01 = 0.1 N/m ²).	46
Resim 28. 27G iğnenin apeksten 3 mm uzaklıktaki duvar kayma gerilmesi görüntüleri. Kuvvet değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (1.00e+00 = 1 N/m ² , 1.00e+01 = 10 N/m ² , 1.00e-01 = 0.1 N/m ²).	46
Resim 29. 30G iğnenin apeksten 1 mm uzaklıktaki duvar kayma gerilmesi görüntüleri. Kuvvet değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (1.00e+00 = 1 N/m ² , 1.00e+01 = 10 N/m ² , 1.00e-01 = 0.1 N/m ²).	47

Resim 30. 30G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki duvar kayma gerilmesi görüntüleri. Kuvvet değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir ($1.00e+00 = 1 \text{ N/m}^2$, $1.00e+01 = 10 \text{ N/m}^2$, $1.00e-01 = 0.1 \text{ N/m}^2$). 47

Resim 31. 27G iğnenin apekten 1 mm uzaklıktaki konumunda meydana gelen akış çizgileri. 48

Resim 32. 27G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki konumunda meydana gelen akış çizgileri. 49

Resim 33. 30G iğnenin apekten 1 mm uzaklıktaki konumunda meydana gelen akış çizgileri. 50

Resim 34. 30G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki konumunda meydana gelen akış çizgileri. 51



TABLOLAR VE GRAFİKLER DİZİNİ

TABLÖLAR

Tablo 1. Medikal paslanmaz çelik iğnelerin boyutları (ISO 9626:1991/Amd.1:2001 (ISO 9626 2001) beyannamesine göre)	15
Tablo 2. Apekten farklı mesafelere yerleştirilmiş farklı boyuttaki geleneksel şırınga iğnelerinin farklı kanal boyutlarındaki irrigan akışı. NA, apikal kanal boyutu iğne girişi için çok dar; P, pozitif sonuç; irrigan kök apeksine ulaşabilmiş; N, negatif sonuç; irrigan kök apeksine ulaşamamış	17
Tablo 3. 27G ve 30G iğnelerin boyutları	35
Tablo 4. İğne lümenindeki ve iğne çıkışıındaki hız değerleri.	42
Tablo 5. İğne boyutuna ve yerleştirme derinliğine göre apikalde meydana gelen basınç değerleri.	45

GRAFİKLER

Grafik 1. İğne çıkışıındaki hız değerleri.	42
Grafik 2. İğne boyutuna ve yerleştirme derinliğine göre apikalde meydana gelen basınç değerleri.	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
°	: Derece
μA	: Mikroamper
μm	: Mikrometre
bit	: Binary digit
CAD	: Computer Aided Design
CFD	: Computational Fluid Dynamics
CHX	: Klorheksidin
d_E	: Dış çap
d_I	: İç çap
DICOM	: Digital Imaging and Commumation in Medicine
EDTA	: Etilen Diamin Tetra Asetikasit
G	: Gauge
GB	: GigaByte
GHz	: GigaHertz
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
Hz	: Hertz
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
kHz	: KiloHertz
kV	: KiloVolt
m	: Metre
Mikro-BT	: Mikro Bilgisayarlı Tomografi
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre

NaOCl	: Sodyum Hipoklorit
NIT	: Non-instrumentation technique
pH	: Power of Hydrogen (Hidrojenin gücü)
RAM	: Random Access Memory (Hafıza)
Re	: Reynold Sayısı
rpm	: Revolutions per minute (dakikadaki devir sayısı)(dakika/devir)
SAF	: Self Adjusting File
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
SMZ	: Stereo Mikroskopik Zoom
sn	: Saniye
STL	: STereoLithography
TIFF	: Tagged Image File Format

ÖZET

Farklı Çaptaki İrrigasyon İğnelerinin Kök Kanalı İçerisindeki İrrigan Akışı Üzerindeki Etkilerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Kullanılarak Değerlendirilmesi.

Kök kanal tedavisinin amacı, kök kanalı içerisindeki iltihaplı pulpa dokusunun, iltihap ürünlerinin ve mikroorganizmaların elimine edilmesi ve sonrasında kök kanal boşluğunun biyouyumlu bir materyal ile doldurulmasıdır. Tedavinin başarısını etkileyen en önemli faktörlerden biri, kök kanal temizliğinin etkinliğidir. Kök kanalının temizlenmesi mekanik ve kimyasal olarak gerçekleştirilmektedir.

Kök kanalının kompleks yapısı nedeniyle mekanik temizlik tek başına yeterli değildir. İrrigasyon, kök kanalının çeşitli kimyasal solüsyonlarla fiziko kimyasal olarak temizlenmesi işlemidir. İrrigasyonun etkinliği kullanılan solüsyonun kök kanalı içerisindeki her noktaya temas etmesine bağlıdır.

Araştırmamızda farklı sebeplerden dolayı çekilmiş, çürüğü ve restorasyonu olmayan, insan daimi üst birinci kesici dişi kullanılmıştır. Giriş kavitesi açıldıktan sonra Resiprok (Reciproc) ege sistemi kullanılarak kök kanalının şekillendirilmesi yapılmıştır. Dişin kök kanal boşluğunun mikro bilgisayarlı tomografi görüntüsü (Mikro-BT) elde edilmiştir. Mikro-BT görüntüsünün bilgisayar ortamında üç boyutlu modellenmesi yapılmıştır. İğne tipi olarak ucu açık açılı iğne kullanılmıştır. Kullanılacak olan irrigasyon iğnelerinin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskop görüntüsü (Scanning Electron Microscope, SEM) alınmıştır. İğnelerin dış ve iç çap boyutları belirlenmiştir. Bu ölçümler kullanılarak iğnelerin bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır.

Sanal ortamda iğneler kökün apeks noktasından 1 mm ve 3 mm uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilmiştir. İrrigan olarak distile su kullanılmıştır. İrrigan sıvısının kök kanalı içerisindeki akış paternini incelemek için ANSYS Fluent v.14 ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı kullanılmıştır. İğne boyutuna

ve yerleştirme derinliğine bağlı olarak kanal içerisindeki irriganın akış paterni değerlendirilmiştir.

Sonuçlar: Her iki iğne boyutu içinde ulaşılan en yüksek hız, iğne lümeninin orta kısmında meydana geldi. İki iğne boyutu arasında apekte oluşan basınç yönünden önemli farklılıklar gözlemlendi. Her iki iğne boyutu için, iğne apekten uzağa konumlandırıldıkça apikal basınç değerlerinde azalma meydana geldi. İğnelerin açıklığının baktığı duvarda meydana gelen kayma gerilmesi zıt taraftaki duvarda meydana gelen kayma gerilmesinden daha düşük olarak belirlendi. İğne apekten daha uzağa konumlandırılınca oluşan maksimum kayma gerilmesi değeri azaldı.

Sonuç: Kök kanal irrigasyonunda, iğne yerleştirme derinliğinin irrigan dinamikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Kullanılan iğne boyutu kanal içerisinde meydana gelen irrigan akışını önemli derecede etkilemektedir. HAD kök kanal irrigasyon davranışlarını incelemek için önemli bir araçtır.

Anahtar Kelimeler: Akış paterni, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, iğne, irrigasyon.

ABSTRACT

The Evaluation of The Effects of Irrigation Needle with Different Diameter on Irrigant Flow in the Root Canal by Using Computational Fluids Dynamics.

The purpose of the root canal treatment is to eliminate the inflamed pulp tissue in the root canal, inflammatory products and microorganisms and then filling the root canal with a bio-compatible material. One of the most important factors affecting the success of the root canal treatment is an effective cleaning of the root canal. Cleaning the root canal is performed mechanically and chemically.

Mechanical cleaning of the root canal is not enough alone because of the root canal complex configuration. Irrigation is the process of root canal physico-chemical cleaning with a variety of chemical solutions. Irrigation efficiency depends on the of the solution used contact ever in point of the root canal.

In this study, human upper permanent central incisor without decay and restoration was used which were extracted for different reasons. After access cavity preparation root canal preparation was performed with Reciprocal system. Micro-computed tomography (Micro-CT) of the tooth root canal was obtained. Three-dimensional modeling of the micro-CT image was made. Open ended beveled needle was used. Optical microscope and scanning electron microscope image (Scanning Electron Microscope SEM) of the needle which will be used in irrigation were taken. The outer and inner diameter sizes of needles were determined. Needles modeling were made by using these measurements on software.

Needles were located 1 mm and 3 mm away from the root apex in a virtual environment. Distilled water was used as an irrigating solution. Computational fluid Dynamics (CFD) commercial software ANSYS Fluent .v14 was used to analyze the flow pattern of the irrigating fluid in the root canal. Flow pattern of the irrigating fluid was evaluated depending on the size and insertion depth of the needle.

Results: For both needle sizes, the maximum speed in occurred in the central part of the needle lumen. The apical pressure at the apex was observed significant

differences between the two needle sizes. For both needle sizes, the needle move away from the apex apical pressure decrease occurred. The shear stress occurring on the wall of the opening of the needle lower than the shear stress occurring in the wall on the opposite side. The maximum shear stress decreased as needles moved away from the root apex.

Conclusions: Needle insertion depth has a significant impact on the irrigant dynamics in root canal irrigation. Needle size used significantly affect the irrigant flow in the root canal. Computational fluid dynamics is an important tool for studying the behavior of irrigation.

Keywords: Flow pattern, Computational fluid Dynamics, needle, irrigation.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Geleneksel kök kanal tedavisinin amacı, mikroorganizmaları kök kanal sisteminden uzaklaştırmak ve tekrar kontamine olmasını önlemek için sızdırmaz bir şekilde doldurmaktır. Ancak kök kanal sisteminin karmaşık anatomik yapısından dolayı, kök kanal sisteminin sadece enstrümantasyon yöntemleri ile tam olarak boşaltılması imkansızdır (1). İrrigasyon işlemi; smear tabakası, debris ve bakterileri uzaklaştırmak için enstrümantasyonu tamamlayıcı niteliktedir (2, 3).

İrrigasyon, endodontik tedavinin vazgeçilmez bir aşamasıdır. Antimikrobiyal ve doku çözücü etkisinin yanında, irriganın yıkama etkisi sayesinde mikroorganizmalar ve debris kanal dışına atılmaktadır. İrriganlar optimum etkinlik için tüm kanal yüzeyi ve özellikle dar kanalların apikal kısımları ile doğrudan temas etmelidir (4-7). İrriganın yıkama etkinliği ve penetrasyon derinliği; sadece kanalın anatomik yapısına bağlı değildir, aynı zamanda kullanılan sisteme, irriganın akıcı özelliklerine ve hacmine, irrigasyon iğnesinin tipine, boyutuna ve yerleştirme derinliğine de bağlıdır (2, 8-12). Sıvı akış dinamikleri, irriganın debrisini uzaklaştırma ve mikroorganizmalara olan temasını etkileyerek irrigasyon etkinliği konusunda önemli bir rol oynar (11, 13).

Kanal içindeki irriganın akışını değerlendirmek için makroskobik gözlemler esas alınmıştır. Bu yöntemler, irrigan içindeki boyanın yer değiştirmesi ya da radyopak maddenin radyografideki görüntüsüdür (14-17). İrrigan akışını değerlendirmek için yapılan önceki çalışmalar irrigasyon hakkında bilgi sağlamış olsa da bu çalışmalar sadece makroskobik olayları tanımlamıştır. Radyografik ve görsel değerlendirme sıvı akışı hareketini tespit etmek için kısmen yetersiz olduğundan bu çalışmalar sınırlı kalmıştır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) teknolojisindeki gelişmeler, kök kanal irrigasyonunun kompleks sayısal simülasyonuna imkan sağlamaktadır, gerçek fiziksel koşulların simülasyonuna ve ilişkili kompleks parametrelerin belirlenmesine olanak vermektedir. Son zamanlarda, HAD farklı enjeksiyon hızlarında uygulanan kanal irrigasyonu esnasında oluşan türbülansı göstermek için kullanılmıştır (18-21).

HAD ile yapılan çalışmalarda, iğne derinliğinin ve iğne ucu dizaynının, irrigan akış hızının, kök kanal yapısının şekillendirme boyutunun ve konikliğinin kök kanalı içerisinde irrigan akışı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir (18-24).

Günümüze kadar HAD ile yapılan çalışmalarda gerçek kök kanal yapısına benzer simülasyonlar veya sanal ortamda modellenen kök kanal yapıları kullanılmıştır, fakat gerçek diş üzerinde yapılmış bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmanın amacı, farklı nedenlerle çekilmiş gerçek insan dişinin model yapısı üzerinde HAD kullanılarak iğne ucu dizaynının, çapının ve iğne yerleştirilme derinliğinin irrigan akışı üzerindeki etkisini değerlendirmektir.



2. GENEL BİLGİLER

Endodontik tedavide kanalın doldurulmasından önce kök kanal boşluğunun mikroorganizmalardan ve debristen tamamen arındırılması, tedavinin başarısı açısından önem teşkil etmektedir (6, 25).

Kök kanallarının genişletilmesi ve temizlenmesi, mekanik aletler ve kimyasal solüsyonların birlikte kullanılması ile başarılabılır. Kök kanal sistemi; ana kök kanalının yanı sıra aksesuar kanallar, apikal deltalar ve istmuslar gibi mekanik aletler ile ulaşmanın çok zor olduğu bölgeleri de içermektedir. Mekanik preparasyon ile kök kanalının tamamen temizlenmesi mümkün değildir. El aletlerinin ulaşamadığı bölgelerin etkin bir şekilde temizlenebilmesi için irrigasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir (11, 26).

Kök kanal tedavisinde yapılan irrigasyon işleminin faydaları şu şekildedir (25, 27):

1. Enfekte materyalin, sert ve yumuşak doku artıklarının uzaklaştırılması
2. Kanal aletlerinin lubrikasyonunun sağlanması
3. Kanalların dentin talaşları ile tıkanmasının önlenmesi
4. Kanal içeriğinin uzaklaştırılmasının kolaylaştırılması
5. Organik dokuların uzaklaştırılması ve enstrümantasyon ile ulaşılamayan bölgelerin temizlenmesi
6. İnorganik doku çözebilen irriganlarla smearın uzaklaştırılması ve dezenfektanların dentin kanalcıklarına nüfuz etmesinin kolaylaştırılması
7. Irriganların ağartma özelliği sayesinde diş renginin doğal olana yakın kalmasının sağlanması
8. Kanal içeriğinin tam olarak boşaltılmasına yardımcı olup kanal dolgusunun kanal duvarına adaptasyonunun arttırılmasıdır.

Gulabivala ve ark. irrigasyonun üç aşamadaki baskın rollerini aşağıdaki gibi özetlemiştir (28) :

- a) Kayganlaştırıcı etkisiyle kök kanal aletlerinin kök kanalına girişini ve ilerlemesini kolaylaştırma,
- b) Kök kanal sistemini, genişletme veya şekillendirme sırasında oluşan gevşek debristen temizleme,
- c) Bakteriyel biyofilmi ve pulpa dokusunu çözme, bakterileri yok etme ve kök kanal sisteminin dışındaki toksinleri temizleme.

Kök kanal tedavisinde birden fazla irrigasyon solüsyonu kullanılmaktadır. Kullanılan solüsyonların kendine has özellikleri bulunmaktadır. İdeal bir irrigasyon solüsyonunun sahip olması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir (27, 29, 30).

1. Organik ve inorganik dokuları çözebilmeli ve kanaldan uzaklaştırılmasını sağlamalıdır.
2. Smear tabakasını uzaklaştırabilmelidir. Smear tabakası uzaklaştırılırken dentin yapısını olumsuz etkilememelidir.
3. Dentin tübüllerine penetre olabilmeli ve bu bölgeleri temizleyebilmek için düşük yüzey gerilimine sahip olmalıdır.
4. Kanal aletlerinin daha kolay çalışmalarını sağlamak için kayganlaştırıcı (lubrikant) özelliği olmalıdır.
5. Dezenfektan özellik taşımalıdır. Biyofilm içerisindeki anaerobik ve fakültatif mikroorganizmalara yüksek düzeyde etkili olmalı ve güçlü antimikrobik etkisi olmalıdır.
6. Mikroorganizmaların endotoksinlerini etkisizleştirebilmelidir.
7. Kanalda kolay nötralize olmamalı, rezidüel antibakteriyel etkiye sahip olmalıdır.

8. Periradiküler dokular için toksisitesi düşük olmalıdır.
9. Kanal dolgusunun ve daimi restorasyonun bağlanmasını olumsuz etkilememelidir.
10. Dişte renklenmeye neden olmamalıdır.
11. Uygulanması kolay olmalıdır.
12. Raf ömrü uzun olmalıdır.
13. Saklanması kolay olmalıdır.
14. Maliyeti düşük olmalıdır.

2.1. Endodontide Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları

2.1.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

İlk kez 1847 yılında Seemelweis tarafından dezenfektan olarak kullanılmıştır (31). Birinci dünya savaşında %0.5'lik çözeltisi yaraların dezenfeksiyonu amacıyla kullanılmıştır (32). NaOCl çok geniş bir antibakteriyel spektruma sahiptir. Bakterilerin yanı sıra mantarlara, sporlara ve virüslere karşıda etkinliği bulunmaktadır (25). NaOCl; geniş spektrumlu olması, mikroorganizmalar üzerindeki spesifik olmayan öldürücü etkisi ve yüksek nekrotik doku çözücü özelliği ile endodontide kullanılan başlıca irriganlardandır (6). Ayrıca nispeten kayganlaştırıcı özelliği de bulunmaktadır. Ölü dokuları çözme kabiliyeti canlı dokulara nazaran daha yüksektir (33). Dentin duvarlarına kolayca difüze olabilmesi, ucuz olması ve kolay bulunabilmesi gibi özellikleriyle de kullanımı yaygınlaşmıştır (34).

Hipoklorit solüsyonlarının konsantrasyonları artıkça doku çözme kapasiteleri, antibakteriyel özellikleri ve kostik potansiyeli artmaktadır. Daha düşük pH ve yüksek konsantrasyonlarda, NaOCl'nin etkinliği artmaktadır (35, 36). Düşük pH'da NaOCl'nin toksisitesinin artacağı bildirilmiş ve ideal pH'ın 11-12 olması gerektiği belirtilmiştir (37).

Kök kanallarının şekillendirmesi sırasında geleneksel mekanik preparasyonu takiben, %3'lük NaOCl solüsyonunun 5 dk boyunca ultrasonik ile aktive edilmesinin smear tabakasını uzaklaştırılmasının daha iyi olabileceği ileri sürülmüştür (38). NaOCl'nin ultrasoniklerle kullanıldığında etkinliğinin arttırılabileceği birçok çalışmada gösterilmiştir (3, 39, 40).

NaOCl'nin konsantrasyonunun artması, canlı dokular üzerindeki toksik etkisini de arttırmaktadır. Chang ve ark. NaOCl'nin % 0.01'lik konsantrasyonlarda bile toksik etkileri olduğunu bildirmişlerdir (41). Ayrıca, smear tabakasını tam olarak uzaklaştıramaması, elbiselerde renklenme yapması, toksik olması ve tadının kötü olması dezavantaj olarak sayılabilir (42).

2.1.2. Etilendiamintetraasetik Asit (EDTA)

Şelatörler, endodontide ilk kez Nygaard-Ostby tarafından 1957 yılında kullanılmıştır (30). EDTA ilk zamanlarda dar kanalları genişletmek amacı ile kullanılmıştır, smear tabakasının varlığının bilinmesi ile bu tabakanın uzaklaştırılması amacı ile kullanılmaya başlanmıştır (43). EDTA'nın, kalsiyum iyonları ile şelasyon oluşturması sayesinde dentinin inorganik yapısını uzaklaştıracağı ve bunun sonucunda kök kanallarının şekillendirilmesi esnasında kullanılan aletlerin daha az dirençle karşılaşılmasını sağlayıp, kök kanalının temizliğini kolaylaştıracağı düşünülmüştür (25).

EDTA dentindeki kalsiyum iyonlarıyla reaksiyona girerek kalsiyum şelatları oluşturur. EDTA'nın 5 dakika içinde dentini 20-30 µm derinliğe kadar dekalsifiye ettiği bildirilmiştir (44). Rödig ve ark. EDTA'nın smear tabakasını kaldırmadaki etkinliğini doğrulamıştır (45). Mello ve ark. 3 dakika boyunca 5 ml EDTA ile yıkama yapmanın kanal duvarlarındaki smear tabakasını yeterli biçimde kaldırabildiğini göstermiştir (46). Adıgüzel ve ark. EDTA kullanılarak self-adjusting file (SAF) ile yapılan devamlı irrigasyon sonucunda kanal duvarlarının servikal, orta ve apikal üçlüde sırasıyla %85, %60 ve %50 oranında smear tabakasının ve %95, %90 ve %85 oranında da debrisin uzaklaştırıldığını belirtmişlerdir (47).

Smear tabakasının ve debrisin kök kanalının apikal bölümünden etkili biçimde uzaklaştırılabilmesi için %17'lik EDTA'nın 1 dakika boyunca ultrasonik ile aktive edilmesi yeterli görülmüştür (48).

2.1.3. Klorheksidin Glukonat

Klorheksidin (CHX), 1959 yılında bakteriyel plağı kontrol etmek için kullanılmaya başlanmıştır (49). Loe ve Schiött tarafından çalışmaların yayınlanmasının ardından 1970'lerde diş hekimliğinde kullanımı yaygınlaşmıştır (50, 51).

CHX, katyonik bisguaniddir ve en çok antibakteriyel etkinliğini pH 5,5-7,0 aralığında göstermektedir. Mikroorganizmaların hücre duvarına absorbe olup, hücre içeriğinin sızıntısına neden olarak antimikrobiyal etkinlik gösterir (25). CHX, Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere, fakültatif ve zorunlu anaeroblara, maya ve mantarlara, özellikle de Candida albicans'a karşı bakterisidal etkilidir (52-54).

CHX'in uzun süren antimikrobiyal etkinliği dentine bağlanabilen moleküller ile ilgilidir (55). Endodontik irrigant olarak %2'lik klorheksidin kullanıldığında 72 saat boyunca antimikrobiyal etkinliğinin devam ettiği rapor edilmiştir (56). İrrigan olarak kullanıldığı zaman 48 saat, 7 gün, 21 gün, 4 hafta ve 12 haftaya kadar antimikrobiyal etkinliğini koruduğu bildirilmiştir (57).

CHX'in final irigasyon solüsyonu olarak kullanılması önerilmektedir, fakat nekrotik doku çözücü kapasitesinin olmaması nedeniyle tek başına ideal irigasyon solüsyonu olarak kullanımı önerilmemektedir (58).

2.2. Endodontide İrrigasyon Aktivasyonu

Endodontide ideal irigasyon için yapılan çalışmalar, genellikle irrigan solüsyonları ve bunların kimyasal özellikleri üzerinde yoğunlaşmıştır (59-63). Fakat irigasyonun etkinliği, irriganın bakterileri elimine edebilme ve doku çözebilme kapasitesi ile birlikte ve yıkamanın mekaniğine de bağlıdır (3, 11). Etkili debridman ve bakterilerin başarılı bir şekilde uzaklaştırılması, irriganın kanal boyunca penetre olmasına ve irriganın değişmesine bağlıdır (17, 64). Sonuç olarak, bir irriganın kök kanal içerisinde etkisini değerlendirirken irigasyon dinamikleri dikkate alınmalıdır

(11). İrrigasyonun oluşturduğu yıkama etkisi ve penetrasyon derinliği sadece kanalın anatomik yapısına bağlı değildir aynı zamanda kullanılan sisteme, yerleştirme derinliğine, irriganın akıcı özelliklerine ve kullanılan hacmine de bağlıdır (3, 11, 15, 16, 27, 65, 66).

İrrigasyon solüsyonlarının tüm kök kanal duvarlarına temas etmesi optimum etkinlik açısından önemlidir (6). Bundan dolayı irrigasyonun etkinliğinin artırılması gerektiği belirtilmiştir (67). Endodontide şırınga ve iğne ile yapılan geleneksel irrigasyon tekniği yaygın olarak kabul edilmiş bir yöntemdir (68). Geleneksel teknikle irrigasyon solüsyonunun iğne ucundan ancak 1 mm ileriye ulaşabildiği rapor edilmiştir (15). İrrigasyon solüsyonlarının etkinliklerini ve dentine penetrasyonlarını arttırmak için farklı teknikler geliştirilmiştir (7).

2.2.1. El ile Yapılan Aktivasyon Yöntemleri

2.2.1.1. Kanül ya da İğne ile Yapılan Şırınga Aktivasyon Tekniği

Şırınga ile yapılan geleneksel irrigasyon yöntemi diş hekimleri ve endodontistler tarafından en fazla kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde; çeşitli çaplardaki şırınga veya kanül yardımı ile kanal içerisine irrigasyon solüsyonları uygulanmaktadır. İğnenin ileri geri hareketi ile solüsyonun aktivasyonu yapılmaktadır (28).

Kanal içerisindeki iğnenin yerleştirme derinliğinin ve gönderilen solüsyonun hacminin kolaylıkla kontrol edilebilmesi şırınga ile yapılan irrigasyonun bir avantajıdır (13). Fakat geleneksel şırınga ile yapılan irrigasyonun etkinliği göreceli olarak zayıftır. Aletlerin ulaşamadığı kanal kısımlarında bakteriler ve debris bulunabilmektedir ve tam bir temizleme gerçekleştirilemeyebilir (7, 69-71). Şırınga ile yapılan irrigasyon işlemi esnasında irriganın iğne ucundan sadece 1 mm daha ileriye ulaşabildiği gösterilmiştir (15). Kanal genişliği ve kullanılan iğne kalınlığı irriganın nüfuz derinliğini etkilemektedir (10, 72). Dental enjektörlerle irrigasyon yapıldığında; etkin bir temizlemenin sağlanabilmesi için, kök kanalının apikal boyutunun 40 no'ya kadar genişletilmesi gerektiği bildirilmiştir (73).

2.2.1.2. Fırçalar ile Aktivasyon Tekniği

Fırça ile kaplı irrigasyon iğneleri, irriganın kanal içerisine aktarılmasından ziyade kök kanalında bulunan pulpal ve nekrotik artıkların uzaklaştırılmasında ve irrigasyon solüsyonunun aktivasyonunda kullanılmaktadır. Bu amaçla, Endobrush (C & S Microinstruments Limited, Markham, Ontario, Canada) ve 30 Gauge'luk (G) irrigasyon iğnesinin fırça ile kaplanması ile üretilen iğneler (NaviTip FX; Ultradent Products Inc, South Jordan, UT, USA) geliştirilmiştir (4).

Aktif fırçalama ve rotasyonel hareket sayesinde Endobrush fırçanın kök kanallarında etkili bir debridman sağladığı bildirilmiştir (74). Al-Hadlaq ve ark. 30G'lik NaviTip FX irrigasyon iğnesinin, aynı çaptaki normal irrigasyon iğnesine kıyasla kök kanalının koronal kısmında bulunan debrislerin uzaklaştırılmasında daha etkin olduğunu bildirmişlerdir (4). NaviTip FX irrigasyon iğnesinin eğri kanallarda, üreticinin tavsiye ettiği şekilde 45° açılarak sağa-sola ve yukarı-aşağı hareketler ile aktivasyonun yapıldığı bir çalışmada kökün bütün bölgelerinde daha temiz alanlar elde edilmiştir (75).

2.2.1.3. Manuel Dinamik Ajitasyon Tekniği

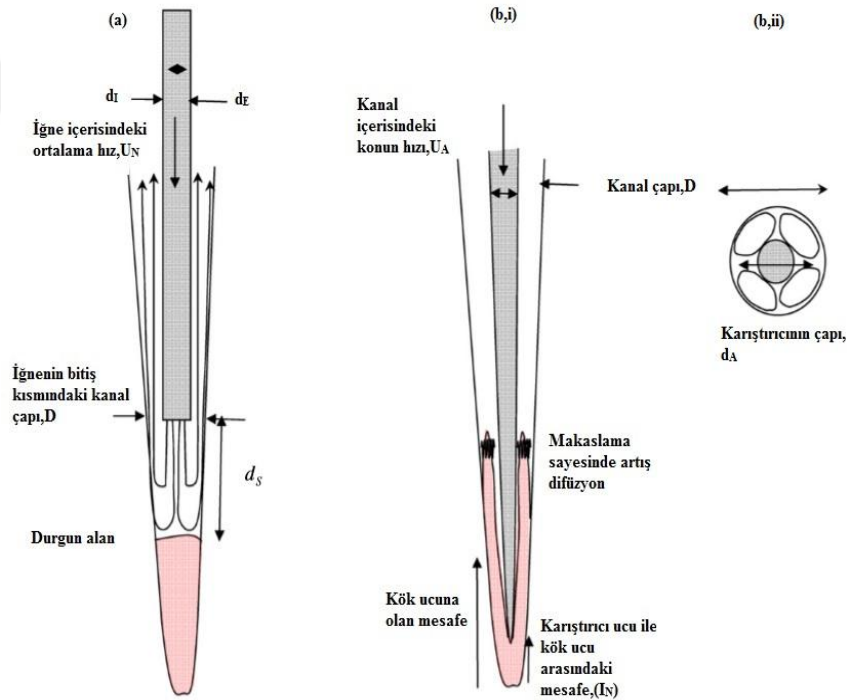
Kullanılan irrigasyon solüsyonunun etkinliği kanal duvarlarına olan doğrudan teması ile yakından ilişkilidir. Genişletilmiş kanalın çapına tam adapte olan güta-perkanın kök kanalında bulunan irrigasyon solüsyonu içinde ileri ve geri hareketleri ile kök kanalında oluşturduğu hidrodinamik aktiviteye bağlı olarak solüsyonun kanal duvarları ile daha iyi temas ettiği bildirilmiştir (76, 77).

Tam uyumlu bir güta-perkanın ileri-geri ajitasyonu dinamik şırınga irrigasyonu ile karşılaştırıldığında, apikal olarak irriganın nüfuz etmesini ve temas yüzeyini arttırabildiği desteklenmiştir (28). Bu sonuçlar, Huang ve ark. tarafından kanal bitiminden 1 mm kısa mesafeye yerleştirilmiş güta perka konların bulunduğu boyalı kolajen bir film modeli kullanarak ve 1 Hz frekansta geri çekilerek gösterilmiştir (76).

Güta-perkanın el ile dinamik aktivasyonunun olumlu sonuçlar vermesinin;

- İtme çekme hareketi ile kanal içinde oluşan basıncın kanal yüzeylerine irrigasyon solüsyonunun daha etkin bir şekilde dağılmasına neden olmasına,
- Oluşturulan türbülansın (3.3 Hz, 30 saniyede 100 vurum) pozitif negatif hidrodinamik sistemler ile oluşturulan türbülansın (1.6 Hz) daha fazla olmasına (77),
- İtme çekme hareketi ile viskoz kıvamdaki sıvının akıcılığının artırılması ile daha iyi dağılım göstermesine bağlı olduğu düşünülmüştür (78).

Pratikte bu işlemin uygulanması ne çok zaman ne de çok maliyet gerektirir. Ancak apikalden taşma riskinde hafif bir artış vardır (79). Şekil 1’de kanal içerisindeki iğne ve ajitasyon için kullanılan konun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel sonuçlara göre geometrinin şematik diyagramı ve işaretlerle gösterilmesi: (a) bir iğne ile kanal içerisine yapılan enjeksiyon, (b) ajitasyon (i) bir eğe veya güta perkanın vertikal hareketi ile veya (ii) ultrasonik hareket ile eğenin düzlemdeki yer değiştirmesi. b (ii) ↔ = salınımın yönü (28).

2.2.2. Makineler ile Yapılan Aktivasyon Teknikleri

2.2.2.1. Döner Fırçalar ile Yapılan Aktivasyon Tekniği

Ruddle dentin debrislerinin ve smear tabakasının uzaklaştırılması için mikro fırçaların kullanılabileceğini öne sürmüştür (80). CanalBrush (Coltene Whaledent, Langenau, Germany) 600 rpm turlu motorlara takılarak kullanılabilmektedir. Kök kanallarında rahat kullanımı için esnek olarak tasarlanmıştır. CanalBrush yöntemi ultrasonik yöntemler ile kıyaslandığında debris uzaklaştırma etkinliği açısından aralarında bir fark olmadığı, fakat her iki yöntemin manuel irrigasyon yönteminden daha etkili olduğu bildirilmiştir (81). Garip ve ark. CanalBrush'ın kanal duvarlarını daha temiz hale getirdiğini, fakat smear tabakasını uzaklaştırma etkinliği açısından klasik irrigasyon yöntemi ile karşılaştırıldığında, aralarında istatistiksel bir farkın olmadığını bildirmişlerdir (82).

2.2.2.2. Döner Aletler ile Yapılan İrrigasyon Aktivasyon Tekniği

Bu irrigasyon yönteminin amacı, kullanılan irrigasyon solüsyonunun hacminin ve uygulama zamanının artırılmasını sağlamaktır. Bu sayede, irrigasyon solüsyonunun kök kanalındaki etkinliği arttırılarak, daha iyi bir temizleme sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla, Quantec-E (SybronEndo, Orange, CA, USA) irrigasyon sistemi üretilmiştir. Ancak, bu tekniğin kanalın yalnızca koranal kısmında etkili olduğu, orta ve apikal üçlü bölgelerinde ise önemli bir fark olmadığı rapor edilmiştir (83).

SAF (Re-Dent-Nova, Ra'nana, Israel), kök kanallarına adapte olup kanallarda üç boyutlu şekilde eş zamanlı olarak temizleme ve genişletme yapabilen bir sistemdir. Bu sistem, irrigasyon işleminin etkinliğini arttırmaktadır. Egeleme esnasında sürekli irrigan değişimi olduğu için kanal içerisinde sürekli taze solüsyon bulunmasına imkan vermektedir (84). Smear tabakasının varlığı ve debris birikimi açısından SAF ile yapılan bir çalışmada; debris birikimi açısından numunelerin tamamının temiz olduğu, smear tabakasının ise kanalın koronal, orta ve apikal bölgelerinde sırasıyla %100, %80 ve %65 oranında uzaklaştırıldığı bildirilmiştir (85).

2.2.2.3. Sonik Sistemler

Kök kanalları içerisinde irriganın ajitasyonu için tasarlanmış otomatik sistemlere, sonik ve ultrasonik cihazlar da dahildir (7, 86-88). Sonik sistemler; hava basıncı ile 1-6 kHz'lik frekansta çalışan aygıtlardır. Sonik eğeler, yatay yönde titreşim ve ileri geri yönde salınım hareketleri yaparak temizleme işleminin etkinliğini artırmaktadır (13, 89-91).

EndoActivator (Dentsply, Tulsa, OK, USA), sonik irrigasyonda kullanılmak üzere üretilmiş portatif bir mikromotor ve farklı boyutlarda polimer uçlardan meydana gelen bir cihazdır. Bu alet, irrigan ajitasyonu için farklı boyutlarda (ISO size 15, 25, 35) ve konikliklerde (0.02, 0.04) polimer uçlara sahiptir, bu sayede metal aletlerde oluşan basamak oluşumu ve kanal transportasyonu riskini önlemektedir (28). EndoActivator'ün kök kanalındaki ileri ve geri hareketleriyle oluşan sinerjistik etkinin meydana getirdiği hidrodinamik aktivasyon sayesinde etkinlik oluşturduğu rapor edilmiştir (80). Sonik aletlerle birlikte EDTA ve NaOCl solüsyonunun kullanılmasının etkinlikleri değerlendirilmiş ve sonik aletlerle EDTA solüsyonu kullanımının, daha etkili olduğu belirtilmiştir (92). Kökün apikal 5 mm'sindeki dentin tübüllerine boya penetrasyonu ölçümü sonuçlarına göre ultrasonik aktivasyon en iyi, manuel aktivasyonda en kötü ve sonik aktivasyonda ise orta derecede değerlere sahip olduğu bulunmuştur (40).

2.2.2.4. Ultrasonik Sistemler

Ultrasonik aletlerin endodontide kullanımı, 1957'de Richman'ın ultrasonik periodontal skaleri apikal cerrahi ve kök kanal debrislerini uzaklaştırmak amacıyla kullanmasıyla başlamıştır (93). Sonik sistemlerden daha yüksek frekansa sahip olan ultrasonik titreşim (20-40 kHz) magnetostriktif veya piezoelektrik cihazlar ile elde edilmektedir. Magnetostriktif dönüştürücüler, çalışma ucunda eliptik hareket üretirken, piezoelektrik dönüştürücüler boyuna veya enine doğrusal hareket üretir (94).

İki çeşit ultrasonik irrigasyon bulunmaktadır (95);

a) Ultrasonik irrigasyon: Ultrasonik enstrümantasyon ile irrigasyon işleminin kombine kullanılması,

b) Pasif ultrasonik irrigasyon: Eęeleme tamamlandıktan sonra irrigasyon solüsyonunu aktive etmek için kullanılması.

Ultrasonik irrigasyonda aletlerin kanal duvarlarına temas etmesinden dolayı strip perforasyon riski yüksektir ve ayrıca kanal duvarlarında düzensizlikler meydana getirmektedir (13). Ultrasonik irrigasyonun kök kanallarından pulpayı ve kanal duvarlarından smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğinin pasif ultrasonik irrigasyona göre oldukça düşük olduğu (96) ve bu durumun akustik dalgalanma ve kavitasyondaki düşüştan kaynaklanabileceği bildirilmiştir (97).

Ultrasonikler hem kavitasyon hem de akustik akım oluşturmaktadır. Ahmad ve ark. tarafından tanımlanan akustik akımla preparasyon yapılan kanaldan çıkan debrisin yeterince uzaklaştırıldığı gösterilmiştir (97). Birçok çalışma, irriganların temizleme etkinliğinin ultrasonik kullanımıyla artırılabildeğini göstermektedir (89, 98-102).

Viskoz bir irrigan kullanıldığı zaman ultrasonik ajitasyon ile irriganın apikal olarak manuel şırınga irrigasyonundan daha iyi bir penetrasyon sağladığı ve irrigan viskozitesinin sodyum hipokloritinkine yakın olduğu zaman ultrasonik kullanımının yararının sadece dar kanallarda (ISO size 30'dan küçük) belirgin olduğu, ayrıca kanal kurvatürünün penetrasyon üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı bildirilmiştir (103).

2.2.2.5. Düzenli Basıncı Oluşturan Sistemler

Irrigasyon sırasında yıkamaya yardımcı olması amacı ile ardışık düzenli basınç oluşturarak çalışan, RinsEndo (Duerr Dental, BittigheimBissingen, Germany) ve EndoVac (Discus Dental, Culver City, CA, USA) olmak üzere iki sistem mevcuttur (104).

Hidrodinamik çalışma sistemi olan RinsEndo sistemi basınç emme teknolojisine dayanmaktadır. Bu sistemle 1.6 Hz frekansta salınım yapan irrigasyon solüsyonu, kanül aracılığıyla şırıngadan kök kanalına taşınır. Bu işlem sırasında kök kanalındaki hava ve kullanılmış solüsyon çekilerek kanal otomatik olarak taze solüsyonla doldurulur (25). Kök kanallarındaki debrisi uzaklaştırma etkinliği

bakımından, RinsEndo ve konvansiyonel irrigasyon sistemleri arasında fark olmadığı bildirilmiştir (105).

EndoVac sisteminde ana uç, kanala sürekli taze irrigan gönderirken kanal içerisine yerleştirilen makro ya da mikro kanül sayesinde kanal içeriği boşaltılmaktadır. Sürekli irrigan değişimi sayesinde, bol miktarda irrigasyon solüsyonu ile yıkama yapılmasına olanak sağlar. EndoVac sisteminin; kök kanalında irrigasyon solüsyonunun yüksek hızlı akışını sağladığı ve çalışma boyundan 1 mm kısa mesafede, geleneksel manuel irrigasyona göre debrisleri daha iyi uzaklaştırdığı rapor edilmiştir (106).

2.3. Irrigasyon Uygulama Yöntemleri

Irrigan genellikle iğne yoluyla bir şırıngadan devamlı olarak verilir. Temel değişkenler operatörler arasında oldukça değişim gösteren irrigan verilimi hızı (Q) ($Q = 0.01-1.25 \text{ ml/sn}$) (107) ve her tedavi için kullanılan irriganın hacmidir (V) ($V = 6-42 \text{ ml}$) (10, 106). Bu verilme yöntemi manuel (örneğin şırınga ile) veya otomatik (ticari olarak mevcut cihazlar kullanarak) olabilir. Manuel enjeksiyon için şırınganın hacmi 3 ile 5 ml arasında değişebilir. Kullanılan iğne ne olursa olsun, Q'nun erkeklerde klinik tecrübe ve verilen irriganın hacmi arasında negatif bir korelasyon bulunan kadınlardan daha yüksek olma eğilimi vardır (107). Otomatik uygulama sistemleri çeşitli gruplarda sınıflandırılabilir (28):

- irriganın bir iğne yoluyla sürekli verilmesi (Quantec-E),
- iki iğne yoluyla sürekli verilmesi ve tahliyesi (EndoVac),
- bir iğne ile pulsatif enjeksiyon (RinsEndo),
- iç ve dış boru donanımlarından alternatif şekilde verilmesi ve tahliyesi (non-instrumentation technique (NIT)).

Irriganın verilmesinde kullanılan iğnenin boyutu ve tasarımı önemlidir. İğnelerin iç (d_i) ve dış (d_e) çapları genellikle standart ölçü birimi olan Gauge (G) ile ifade edilir. Bu çap aralıkları birlikte Tablo 1'te sunulmuş olup, iç ve dış iğne çapları azaldıkça iğne incelmekte, ancak buna karşın numarası artmaktadır.

23G veya 25G iğneler yaygın olarak 20. yüzyıldan önce kullanılmış olup günümüzde 27G veya 30G iğneler kullanılmaktadır. İğne kalınlık numarasının arttırılmasının klinik tedavi üzerinde iki ana etkisi vardır. İlk olarak, daha küçük iğneler kök kanalının daha derinlerine nüfuz edebilir ve ikinci olarak, irriganın eşit hacimde verilmesi durumunda daha dar iğneler için viskoz etkisi daha zayıftır, çünkü akış daha hızlıdır (28). Her iki durumda da debris ve bakterilerin daha etkili uzaklaştırılmasına katkıda bulunur (65, 66, 108).

Tablo 1. Medikal paslanmaz çelik iğnelerin boyutları (ISO 9626:1991/Amd.1:2001 (ISO 9626 2001) beyannamesine göre) (109).

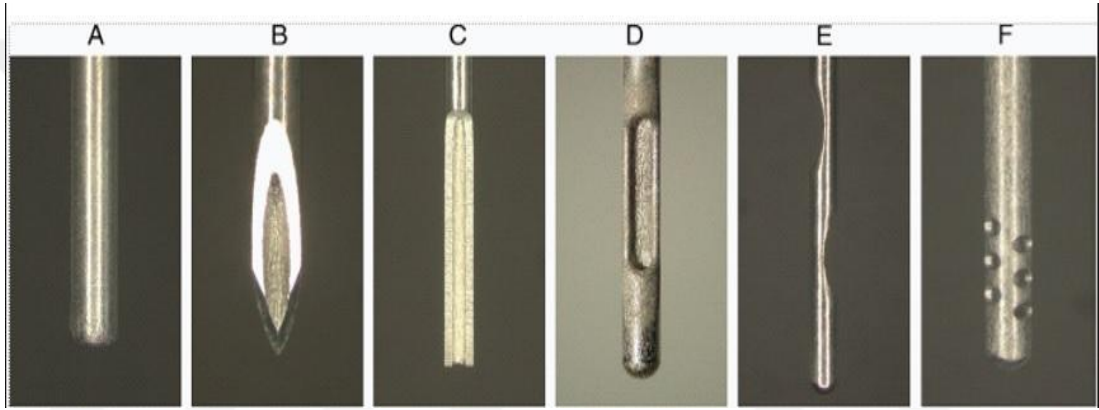
Gauge boyutu	Belirlenmiş ölçü boyutu (mm)	Dış Çap Aralığı Min	(mm) Max	İç Çap (mm) Min
21	0.8	0.800	0.830	0.490
23	0.6	0.600	0.673	0.317
25	0.5	0.500	0.530	0.232
27	0.4	0.400	0.420	0.184
30	0.3	0.298	0.320	0.133

Mevcut olan irrigasyon iğne uçları, modifiye edilip periradiküler dokulara irriganların taşma riskini azaltmak amacıyla kanal uzunluğu içinde yerleştirilir ve iğne çıkışının kanal bitimini görmesini engelleyecek şekilde bırakılır. Farklı mevcut iğne tasarım çeşitleri Resim 1'de gösterilmiştir (110) ;

- Düz açık uçlu,
- Açılı açık uçlu,
- Ucu yandan kesik açık uçlu,
- Kapalı uçlu tek yandan açıklıklı,
- Kapalı uçlu çift yandan açıklıklı,
- Kapalı uçlu birden çok yandan açıklıklı, şeklinde gruplara ayrılmıştır.

Önerilen türler; ucu yandan kesik açık uçlu ve kapalı uçlu yandan açıklığı bulunan iğnelerdir. (8). Kapalı uçlu ve birden fazla yandan açıklığı olan iğneler gibi diğer çeşitler de mevcuttur (14).

İki iğneli irrigasyon sistemlerinde daha ince tahliye iğnesi taşıma iğnesinden daha derine nüfuz eder; iğne ölçü birimleri sırasıyla 30 ve 27G'dir. Taşıma ve tahliye iğnelerinin uçları, kökün apikal ucundan sırasıyla 3 ve 12 mm uzaklığa yerleştirilir. İrrigan 0.05 ml tipik hızında verilir (111).



Resim 1. (A-C) Ucu açık iğneler: (A) Düz (NaviTip; Ultradent, South Jordan, UT), (B) Açılı (PrecisionGlide Needle; Becton Dickinson & Co, Franklin Lakes, NJ), ve (C) Ucu kesik (Appli-Vac Irrigating Needle Tip; Vista Dental, Racine, WI). (D-F) Ucu kapalı iğneler: (D) Yandan açık (KerrHawe Irrigation Probe; KerrHawe SA, Bioggio, Switzerland), (E) Çift yandan açık (Endo-Irrigation Needle; Transcodent, Neumu"nster, Germany) ve (F) Birden çok yandan açıklık olan (EndoVac Microcannula; Discus Dental, Culver City, CA) (110).

İğne yerleştirme derinliğinin ve kök şekillendirme boyutunun irrigan akışına etkisi Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Apekten farklı mesafelere yerleştirilmiş farklı boyuttaki geleneksel şırınga iğnelerinin farklı kanal boyutlarındaki irrigan akışı. NA, apikal kanal boyutu iğne girişi için çok dar; P, pozitif sonuç; irrigan kök apeksine ulaşabilmiş; N, negatif sonuç; irrigan kök apeksine ulaşamamış (112).

Kanalın apeks boyutu	23Gauge İğne			25Gauge İğne			27Gauge İğne		
	3 mm	6 mm	9 mm	3 mm	6 mm	9 mm	3 mm	6 mm	9 mm
25	NA	NA	N	NA	NA	N	NA	NA	N
30	NA	NA	N	NA	N	N	P	N	N
35	NA	N	N	NA	N	N	P	N	N
40	NA	N	N	N	N	N	P	N	N
45	NA	N	N	P	N	N	P	N	N
50	P	N	N	P	N	N	P	P	N
80	P	N	N	P	N	N	P	P	N

2.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) veya Computational Fluid Dynamics (CFD); akışkanlar mekaniği problemlerinin analizi ve çözümlenmesi için sayısal yöntem ve algoritmaların kullanıldığı bir akışkanlar mekaniği bilim dalıdır. Sıvı ve gazların katı yüzeyler ile etkileşimleri bilgisayar yardımı ile simüle edilir. Sonuçların gerçek etkileşime göre durumları, kullanılan bilgisayar sistemlerinin özelliklerine ve performansına bağlıdır.

HAD; çok fazlı akışlar, newton veya newton tipi olmayan akışlar, katı sıvı etkileşim analizleri, ileri türbülans modelleri, dönen parçaların analizleri gibi bir çok uygulamada doğru ve hızlı sonuç elde edilmesini sağlar (113).

HAD, günümüzde mühendisler ve bilim adamları için, akış çözümlemelerinde vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Bu popülerliğin altında HAD'ın sağladığı önemli avantajlar yatmaktadır. HAD'ın öne çıkan avantajlarından bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir (113, 114);

- HAD yazılımlarıyla yapılan sayısal simülasyon sayesinde sonuçlar ve sanal deney ortamı ve sonuçlar simülasyondan sonra bile elinizin altında olur. Örneğin; basınç verisi elde etmek istediğiniz klasik bir deneyi, hız ölçümü için tekrar kurgulamanız gerekir. Oysa HAD ile hız verisi dahil olmak üzere daha bir çok parametreye ait bilgiler de çözümün içindedir, yeni bir simülasyona, zahmetli kurulumlara gerek kalmaz.
- Klasik deneylerde kullanabileceğiniz ölçüm cihazları ve sensörler sınırlıdır. Oysa bir HAD analizinde, kullandığınız sayısal ağ elemanı kadar (çoğunlukla milyonlarca) ölçüm elemanınız vardır ve veri dağılımlarını, deneylerdeki gibi sadece ayırık veriler halinde değil, gradyenler olarak geniş bir alanda görebilirsiniz.
- HAD, akış özelliklerini, akışı bozmadan incelememize olanak tanır. Geleneksel ölçüm yöntemleriyle bu durum çoğunlukla mümkün değildir. Şöyle ki; akış içerisinde hız ölçümü yapmak istediğiniz bölgeye yerleştirilen pitot tüpü, aslında doğal akışı rahatsız ederek bozmaktadır.
- HAD ile gözlemlenmesi zor ve tehlikeli veya ulaşılabilir bölgelerdeki akışkan davranışlarını inceleyebilirsiniz. Örneğin; bir yanma odasının içi ya da pompa, türbin gibi turbo makinaların yüksek hızlı kanatlarının arasındaki akış gibi durumlar HAD ile rahatlıkla görselleştirilebilir.
- HAD, bir anlamda bilgisayar üzerindeki esnek deney laboratuvarıdır. Doğrudan bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design (CAD)) datası ile çalışabilir, tasarımcı ve analizcilere sanal prototipler üzerinde deney yapma olanağı tanır.

Hesaplama akışkanlar dinamiği bir takım seri işlemler içermektedir.

Hesaplama Akışkanlar Dinamiği'nin Adımları (114, 115)

➤ Birincil Adımlar (Pacing items):

- Çözüm ağı (Grids)
- Türbülans (Turbulence)
- Bilgisayar Donanımı (Computer Hardware)
- Çözüm yöntemleri (Solution Methodologies)

➤ İkincil Adımlar (Secondary items):

- Çözüm ağı (Complex Geometry Definitions)
- Önceki ve Sonraki İşleme (Pre- and Post-Processing):
- Algoritmalar (Algorithms)

HAD ile analiz süreci geometrik modelleme, sayısal ağ oluşturma, analiz ve sonuçların işlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Geometriyi çizmek ve ağ yapısını oluşturmak için Auto CAD (AutoDesk, San Rafael, CA, USA), Gambit (Fluent Inc., Lebanon, NH, USA) gibi bir çok yazılım programları kullanılmaktadır.

Geometrik Modelleme

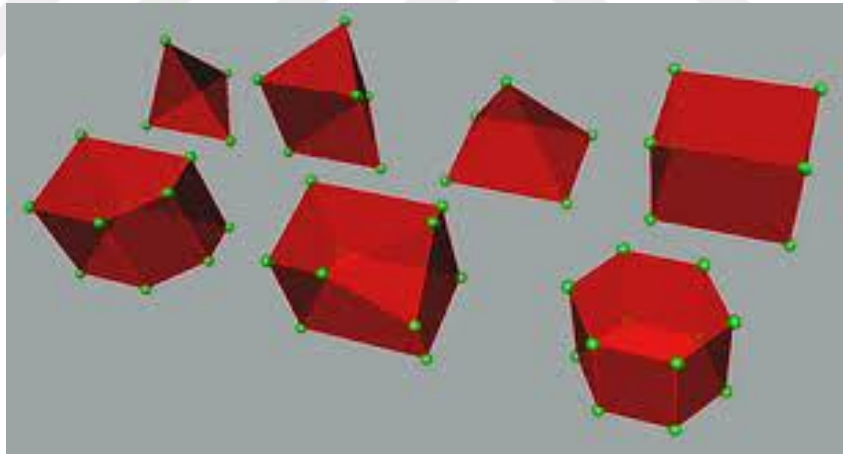
HAD analizinin yapılabilmesi için ilk aşama, kullanılacak tüm materyallerin bilgisayar ortamına aktararak modellenmesidir (116). İleri düzey modelleme tekniğidir. Cismin iç ve dış geometrisinin gerçeğe en yakın tasarımı yapılmış olur. Cisimlerin katı modellenmesi için CAD (Computer Aided Design-Bilgisayar Destekli Tasarım) programları kullanılır. CAD ortamında hızlı bir veri, iletişim ve işlem gücüne sahip süper bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır (117).

Katı modelleme ile bir ürünün üretilmeden önce istenen şekil ve işlevi sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilir. Dayanım ve malzeme özellikleri ve buna

ilişkin hesaplar da yüksek maliyetli testler yerine, yazılım destekli olarak yapılabileceğinden dolayı hızlı ve ucuz olur. Modelleme bir, iki ve üç boyutlu olarak yapılabilir. Üç boyutlu modelleme, gerçek dünyanın koordinat düzlemine göre oluşan kuvvetlerini temsil etmek için kullanılır. Her ekseninde olan kuvvetler hesaba katılacağından dolayı, hassas ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır (117).

Ağ Yapısı Oluşturulması

Geometrik modelin içerisinde akış olan bölgenin analizi amacıyla üç boyutlu sayısal ağla örülmesi işlemidir. Ağ yapısı, eleman ve düğüm noktalarından oluşur. Katı modeller, sonlu sayıda "eleman" olarak adlandırılan basit geometrik şekillere bölünür. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır ve bu noktalara "düğüm" (node) denir. Model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilir. Sonlu elemanlar yönteminde elemanlar, geometrilerine göre; üçgen, paralel kenar, dörtgen elemanlar olarak sınıflandırılır (Şekil 2) (118).

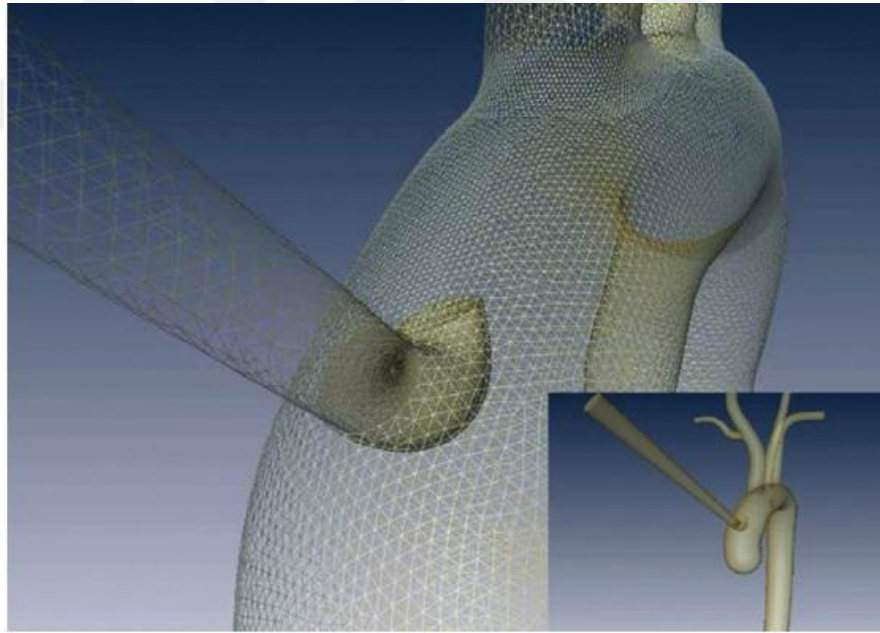


Şekil 2. Üç boyutlu HAD elemanları (kırmızı) ve düğüm noktaları (yeşil) (118)

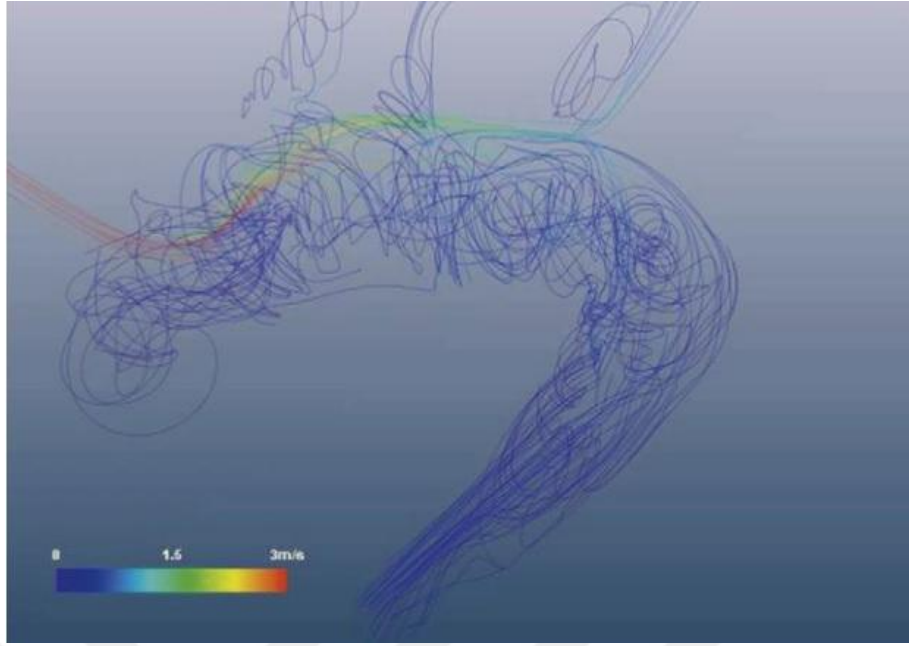
Yapılacak modellemede kritik noktalarda ağ yapısının yoğun olması, diğer noktalarda ise kaba ağ yapısı oluşturulması gerekmektedir. Önemli noktalardaki ölçümler daha hassas yapılabilir. Bu şekilde, geometri optimum hücre yapısına bölünüp optimum çözüm zamanı elde edilebilir (117).

2.4.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Tıp ve Diş Hekimliği Alanında Kullanımı

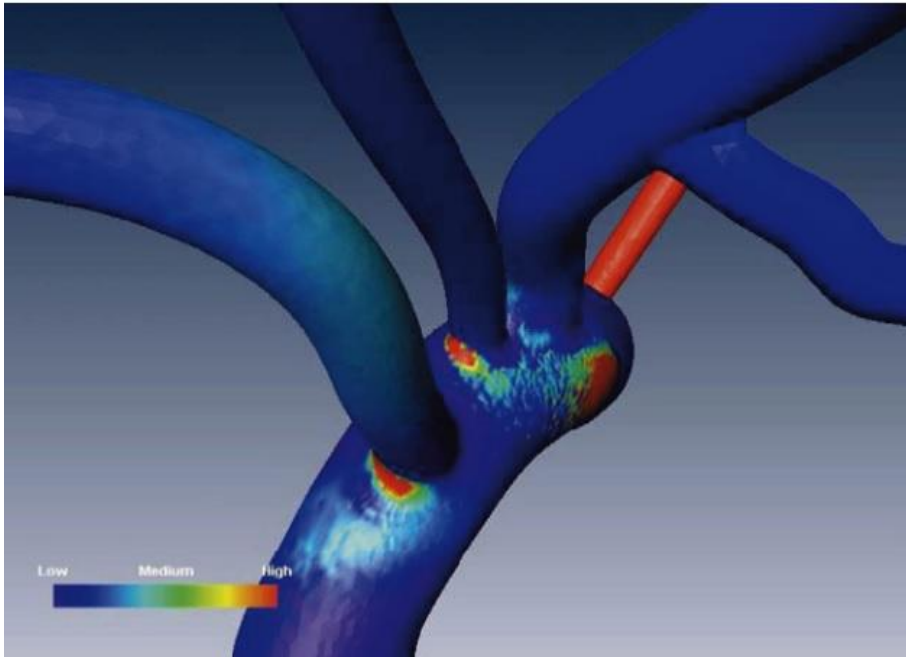
HAD, matematiksel modelleme ve bilgisayar simülasyonu sayesinde akış modellerini araştırmak için güçlü bir aracı temsil etmektedir (113, 116). HAD, medikal alanda özellikle kan akımının incelenmesinde önemli bir analiz yöntemi olarak kabul görmüştür. HAD, akış paternini, hidrolik karakteristiği ve kan akışına bağlı rahatsızlıkları araştırmak için güçlü bir araç oluşturmaktadır (119). Modern HAD teknolojisi, kompleks sayısal simülasyonlara izin vermektedir. Bu sayede, kardiyovasküler sistem çalışmalarında, aort kan akışı hızının dağılımı, duvar basıncı ve duvar kayma gerilmesi gibi in vivo olarak ölçmenin çok zor olduğu belirli parametrelerin değerlendirilmesine olanak sağlamıştır (Resim 2, Resim 3 ve Resim 4) (120).



Resim 2. HAD analizi için yapılmış aort duvarlarının ağ yapısı (120).



Resim 3. Kardiyopulmoner by-pass esnasında aort duvarındaki basınç dağılımı (120).

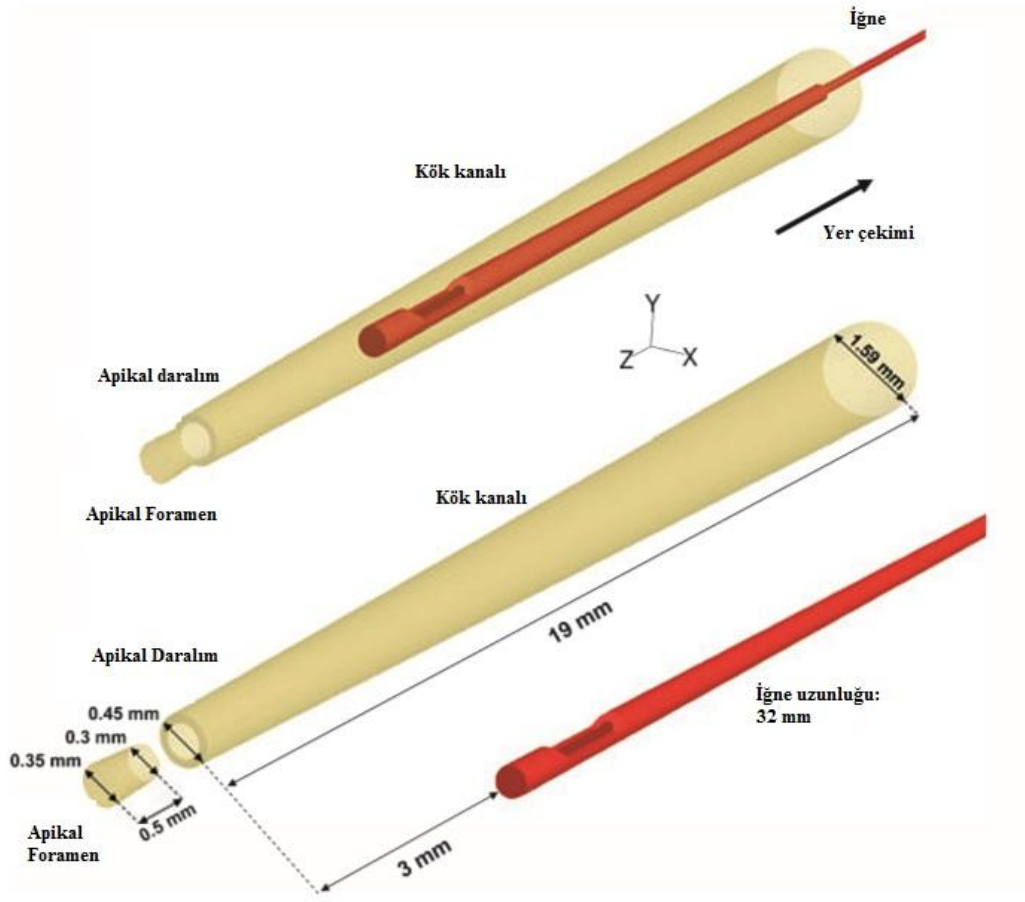


Resim 4. Kardiyopulmoner by-pass esnasında aort duvarındaki kayma gerilmesi (120).

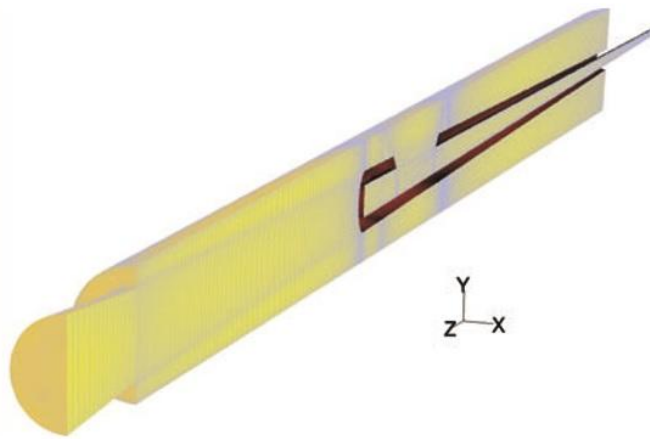
Son yıllarda yapılan çalışmalarda, HAD; farklı enjeksiyon hızlarında uygulanan kanal irrigasyonu esnasında oluşan türbülansı göstermek için kullanılmıştır. Bir çalışmada, yandan açıklığı olan iğnenin iç ve dış çaplarının ölçülmesi için dijital görüntüsü alınmış ve bu görüntü üzerinden CAD programı ile modellenmesi yapılmıştır (Resim 5) (18). Kök kanal yapısı bilgisayar ortamında simüle edilerek hazırlanmış (Şekil 3) ve HAD analizi için ağ yapısı oluşturulmuştur (Şekil 4) (18).



Resim 5. 30G yandan açıklığı olan iğnenin uç kısmının a) dijital görüntüsü, b) katı model görüntüsü (18).

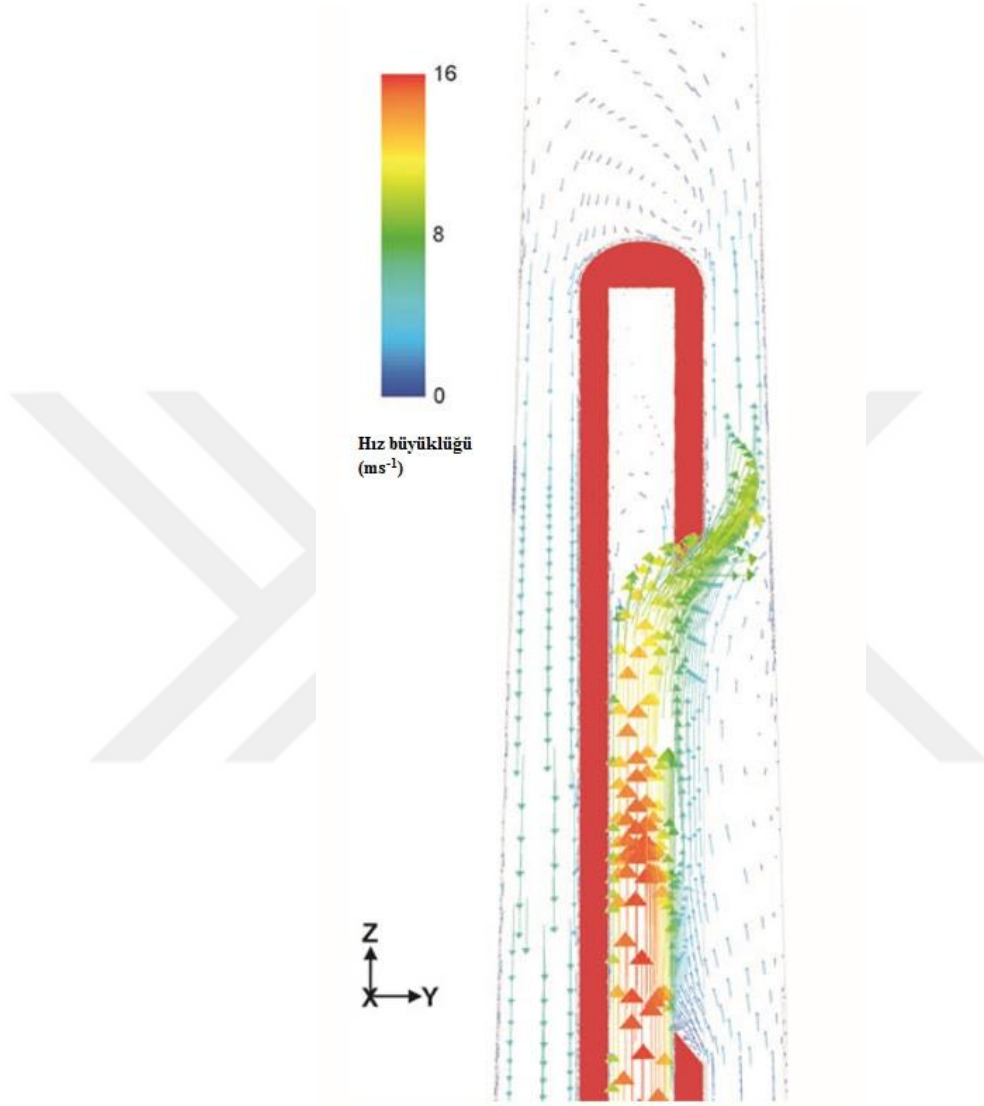


Şekil 3. Simüle edilen kök kanal yapısı ve modellenmiş irrigasyon iğnesi (18).



Şekil 4. Görsel amaçlı olarak kök kanalının apikal kısmındaki ağ yapısının yarısının görüntüsü (18).

HAD analizi sonucunda iğnenin çıkış kısmındaki hız vektörleri (Şekil 5) türbülans yoğunluğu, türbülans viskozite oranı ve akış çizgileri gösterilmiştir (18).



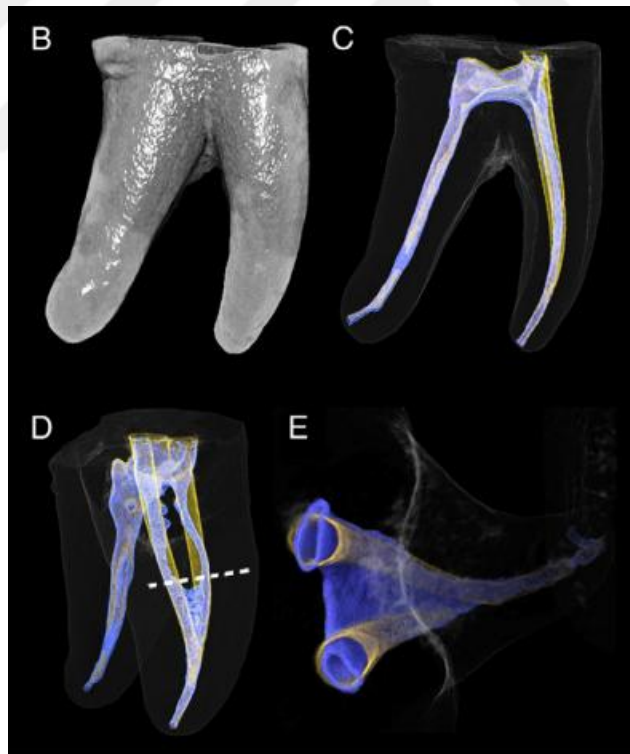
Şekil 5. Kanal içerisindeki iğnenin çıkış kısmındaki hız vektörleri büyüklüklerine göre renklendirilmiştir (iğne kırmızı renkle gösterilmiştir) (18).

HAD irrigasyon sıvısının karmaşık ve gerçeğe yakın davranışlarını matematiksel olarak modelleyen bir yöntem olarak kabul görmüştür. HAD ile yapılan çalışmalarda; iğne tipinin ve derinliğinin, kanal şekillendirme boyutunun ve konikliğinin irrigan akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir (19-22).

2.5. Mikro Bilgisayarlı Tomografi

Mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) sistemi ilk kez 1980'lerin başında Jim Elliot tarafından geliştirilmiş ve 50 μm çözünürlükle bir inceleme yapılabilmektedir (121). Rhodes, 1999 yılında mikro-BT'yi endodonti çalışmaları için önemli bir yöntem olarak tanımlamış ve örneklerden kesit almada kullanmıştır. Mikro-BT cihazları, 4 μm 'lik kesitler alabilen, yüksek çözünürlükte görüntülere olanak veren, portatif cihazlar haline gelmiştir (122).

Mikro-BT, diş hekimliğinde, kök kanal morfolojisinin analizi, kök kanal şekillendirilmesinin değerlendirilmesi, kök kanal dolgusunun değerlendirilmesi, kafa yüz iskeletinin gelişiminin incelenmesi, implant ve kök çevresindeki kemiğin değerlendirilmesi, mine ve dentin kalınlığının ölçülmesi, dişlerin mineral konsantrasyonunun belirlenmesi gibi birçok alanda yapılan in vitro çalışmalarda kullanılmaktadır (Resim 6) (123).



Resim 6. Alt birinci azı dişinin köklerinin mikro-BT kesitleri ile elde edilen üç-boyutlu rekonstrükte edilmiş görüntüleri (123).

Oi ve ark. pulpa boşluğunun ve kök kanallarının morfolojisini araştırmak için mikro-BT kullanmıştır. Dişlerin pulpa boşluğunun morfolojik özellikleri ve pulpa boynuzlarının hacim oranı değerlendirilmiştir (124).

Endodontide; üç boyutlu modellemenin önemli olduğu durumlarda non-invaziv, detaylı, doğru ve hızlı bir işlem olan mikro-BT kullanılmaktadır. Alınan çok sayıdaki mikro-BT görüntüleri, bir modelleme yazılımı ile işlenir ve bilgisayar ortamında üç boyutlu model oluşturulur (122, 125).

HAD ile yapılan irrigasyon çalışmalarında, kök kanalının sanal ortamda simüle edilmiş modelleri veya rezin bir bloğun mikro-BT görüntüsü kullanılmıştır (18, 19, 21).

Bu çalışmanın amacı, çekilmiş insan üst birinci kesici dişinin mikro-BT görüntüsü ile 3 boyutlu olarak modellenmesinin yapılması ve bu model üzerinde ucu açık açılı iğne tipinin farklı yerleştirme derinliklerinde irrigan akışı üzerindeki etkisinin HAD kullanılarak değerlendirilmesidir.

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu tez çalışması; Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalında planlandı. Çalışmada kullanılan iğnelerin SEM görüntüleri, İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi, SEM Laboratuvarında alındı. Kök kanalının mikro-BT taraması, İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi, Mikro-BT Laboratuvarında yapıldı. Kök kanalı içerisindeki akış paterninin HAD ile incelenmesi Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde yapıldı.

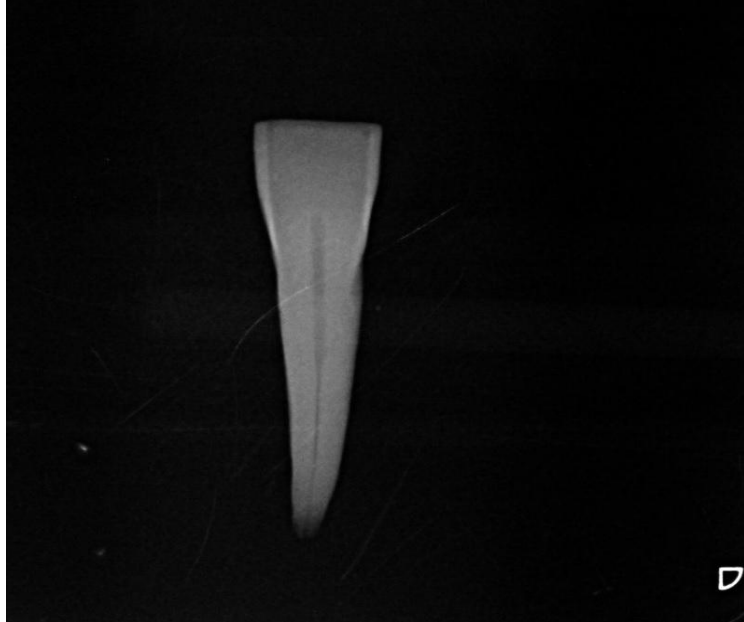
3.1. Örneklerin Hazırlanması

Bu çalışmada daha önceden farklı nedenlerle çekilmiş, çürüğü ve herhangi bir restorasyonu olmayan üst birinci kesici diş kullanıldı (Resim 7). Kök kanalında kalsifikasyon ve düzensiz alanların olup olmadığını tespit etmek için radyografi alındı (Resim 8). Kök yüzeyinde kalan doku artıkları periodontal bir kretuvar (#5-6 Gracey, Nordent, USA) kullanılarak uzaklaştırıldı ve fırça ile temizlendi. Diş çalışma için kullanılıncaya kadar oda sıcaklığında, distile su içerisinde bekletildi.

Elmas frez (NTI-Kahla GmbH Rotary Dental instruments, Diamond instruments, Germany) kullanılarak giriş kavitesi açıldı. #15 K tipi eğe ile (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kanal boyunca kanal aletinin ucu apikal açıklıkta görülünceye kadar ilerlenip kanal aletinin boyu ölçüldü ve bu boydan 1 mm kısa olacak şekilde çalışma boyu belirlendi. Endodontik motor (VDW Silver, Munich, Germany) ve Reciproc R50 (VDW, Munich, Germany) döner aletleri kullanılarak preparasyon işlemi tamamlandı. İşlem esnasında, doku artıklarını uzaklaştırmak ve preparasyon işlemini kolaylaştırmak için toplam 10 ml % 5'lik NaOCl (Wizart, Rehber Kimya San. Ve Tic. İstanbul, Türkiye) kullanıldı. NaOCl artıklarının kanaldan uzaklaştırılması için 2.5 ml distile su kullanıldı. Smear ve debris artıklarının tamamen uzaklaştırılması için 5 ml % 18'lik EDTA (Ultradent, South Jordan, USA) solüsyonu kullanıldı. Son olarak kanal, içindeki solüsyon artıklarını uzaklaştırmak için 5 ml distile su ile yıkandı.



Resim 7. Çalışmada kullanılan üst birinci kesici dişin görüntüsü.

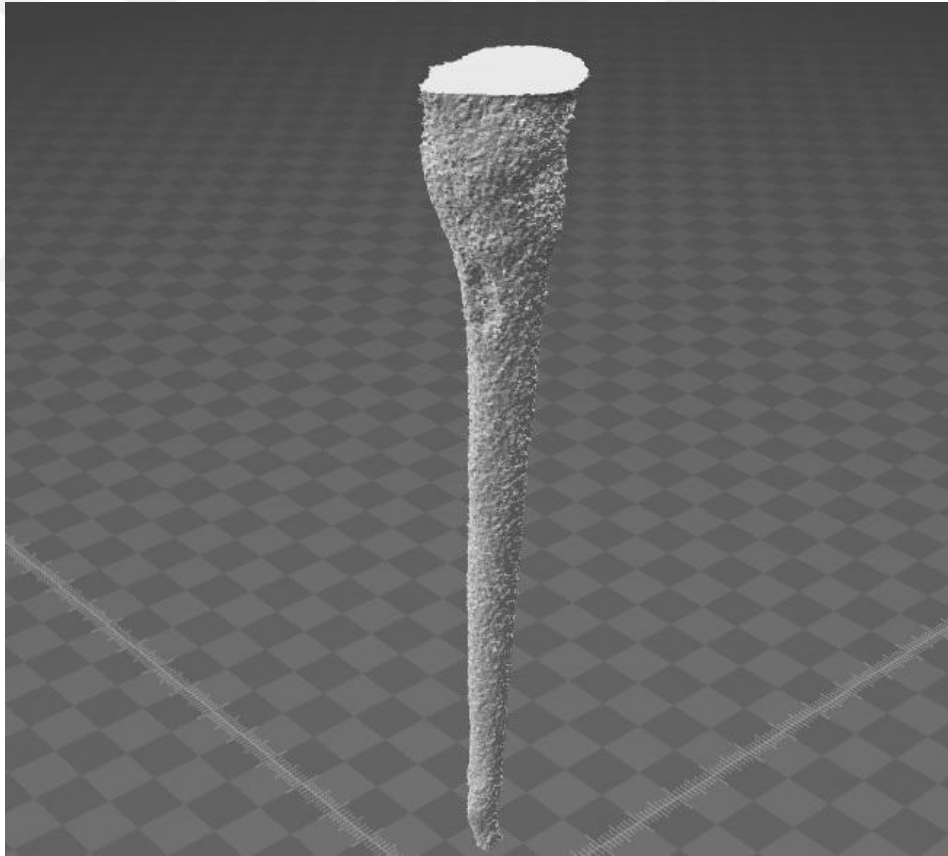


Resim 8. Çalışmada kullanılan üst birinci kesici dişin radyografik görüntüsü.

3.2. Mikro BT Değerlendirmesi

Diş kök apeksinden koronal kısma doğru taranacak şekilde (SkyScan 1172; Bruker-micro-CT, Kontich, Belgium) cihazı ile 100 (kV) güç, 100 (μ A) akım ile, 1.3 megapiksel kamera yardımıyla, 9 mikron piksel boyutuna sahip toplam 1262 kesit elde edildi. Elde edilen DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) uyumlu görüntüler TIFF (Tagged Image File Format) formatında kaydedildi.

Görüntüler NRecon v.1.6.3 (Bruker-micro-CT) yazılımı kullanılarak rekonstrükte edildi. Pulpa boşluğunun görüntüsü STL (STereoLithography) formatında kaydedildi (Resim 9)

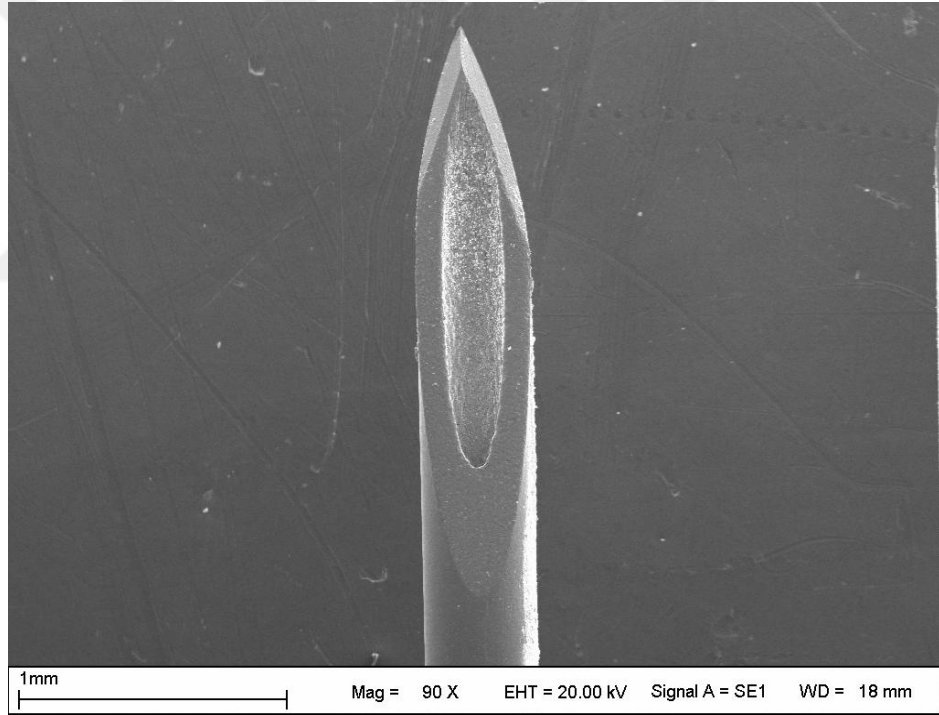


Resim 9. Pulpa boşluğunun STL formatındaki görüntüsü.

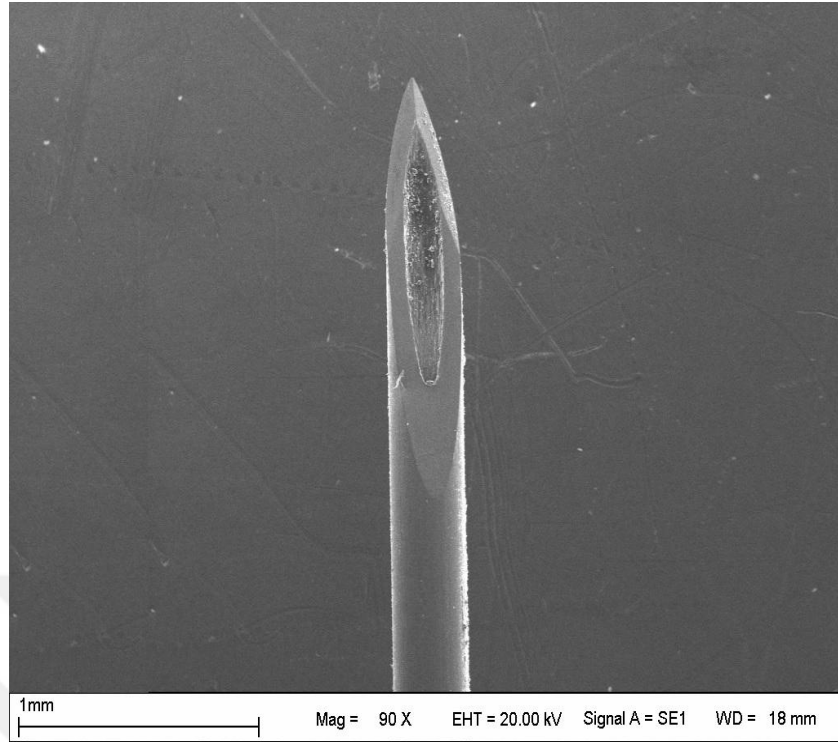
3.3. İğne Örneklerinin İncelenmesi

3.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu Cihazı ile İncelenmesi

İrrigasyon iğnesi olarak 27G ve 30G boyutlarında geleneksel ucu açık açılı iğneler (PrecisionGlide Needle; Becton Dickinson & Co, Franklin Lakes, NJ) kullanıldı. İğnelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile taraması yapıldı. İğnelerin sabit pozisyonda durması için kompozit materyali ile sabit bir pozisyonda konumlandırıldı. Tarama öncesine kompozit kısmı Altın-Paladyum ile kaplandı. SEM cihazı (20.00 kV) ile incelendi. 27G ve 30G boyutundaki iğnelerin uç kısımlarının $\times 90$ büyütme altında görüntüleri alındı (Resim 10 ve Resim 11).



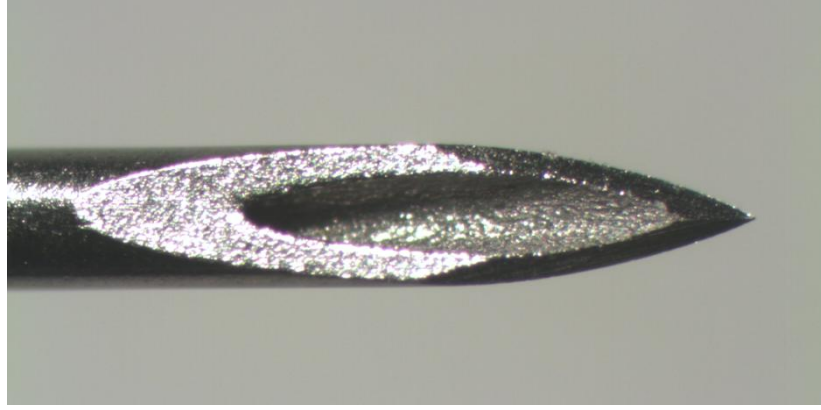
Resim 10. 27G açılı iğnenin SEM görüntüsü.



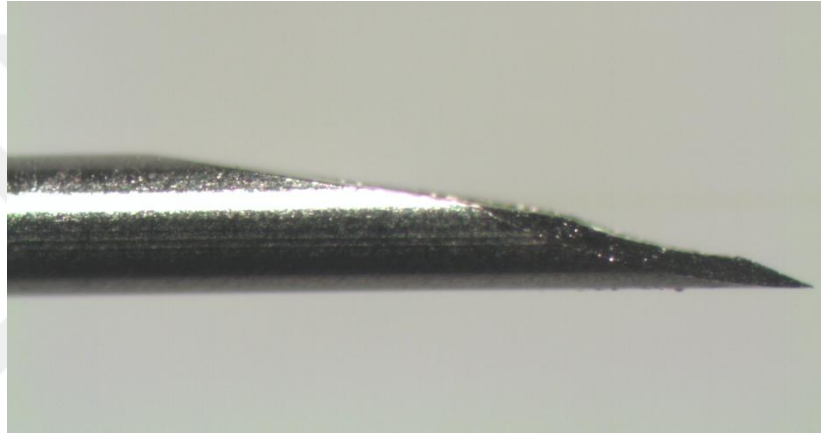
Resim 11. 30G açılı iğnenin SEM görüntüsü.

3.3.2. Optik Mikroskop ile İncelenmesi.

27G ve 30G açılı iğneler için geometri oluşturma çalışması yapıldı. Her bir iğneden 5'er adet Nikon Stereo Mikroskopik Zoom (SMZ) (Coolpix 990; Nikon Instruments Inc, Tokyo, Japan) optik mikroskobu altında görüntü alındı (Resim 12, Resim 13, Resim 14 ve Resim 15). Mikroskop görüntüleri ve SEM tarama görüntüleri Clemex (Clemex Vision, verison 3.5, Clemex Technologies Inc., Canada) yazılımı ile ölçüldü ve iğne boyutlarının ortalama değerleri elde edildi (Tablo 3). İğne boyutlarının şematik görüntüsü Şekil 6'da gösterilmiştir. Ortalama değerler kullanılarak Solidworks 2014 (SolidWorks 2014, Dassault Systemes SolidWorks Corp, Waltham, MA, USA) yazılımı ile iğnelerin katı modelleri oluşturuldu (Resim 16 ve Resim 17).



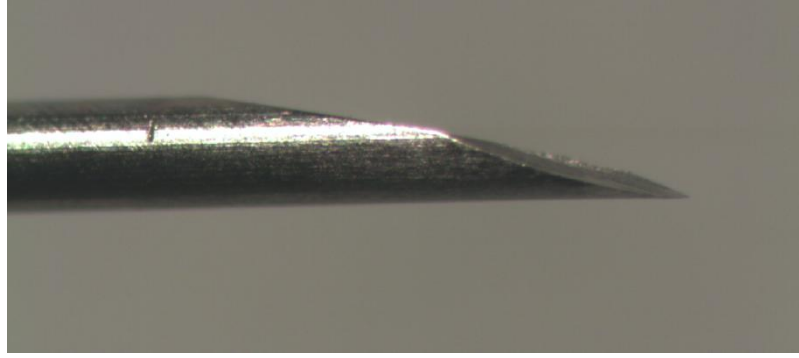
Resim 12. 27G iğnenin uç kısmının üstten optik mikroskop görüntüsü (x 50 büyütme).



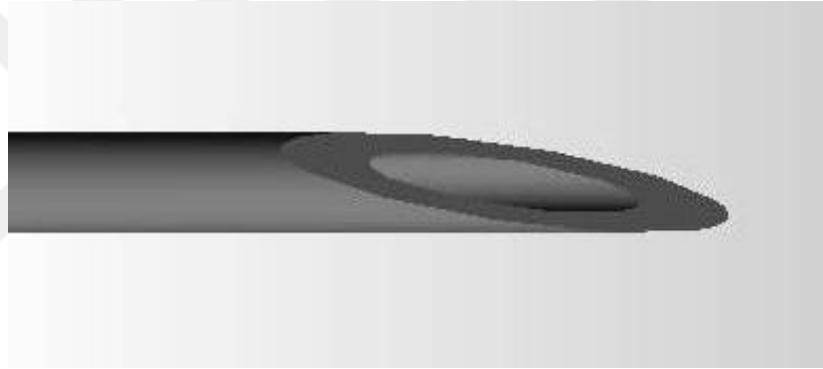
Resim 13. 27G iğnenin uç kısmının yandan optik mikroskop görüntüsü (x 50 büyütme).



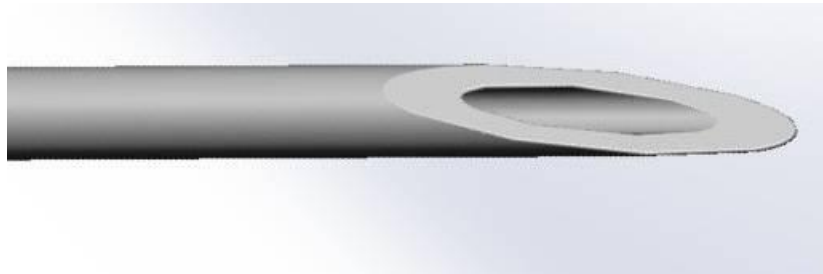
Resim 14. 30G iğnenin uç kısmının üstten optik mikroskop görüntüsü (x 50 büyütme).



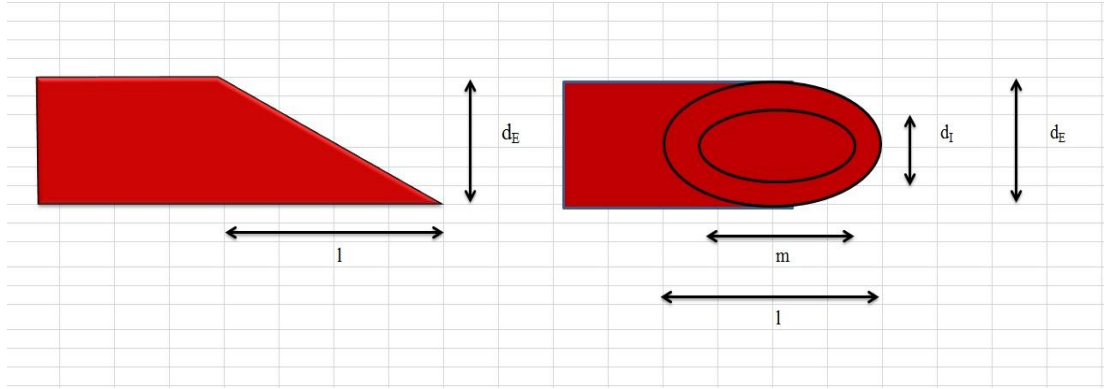
Resim 15. 30G iğnenin uç kısmının yandan optik mikroskop görüntüsü (x 50 büyütme).



Resim 16. 27G iğnenin katı model görüntüsü



Resim 17. 30G iğnenin katı model görüntüsü



Şekil 6. İğnenin boyutlarının şematik gösterimi; d_E = iğnenin dış çapı, d_I = iğnenin iç çapı, l = iğnenin açılı kısmının uzunluğu, m = iğne açıklığının uzunluğu

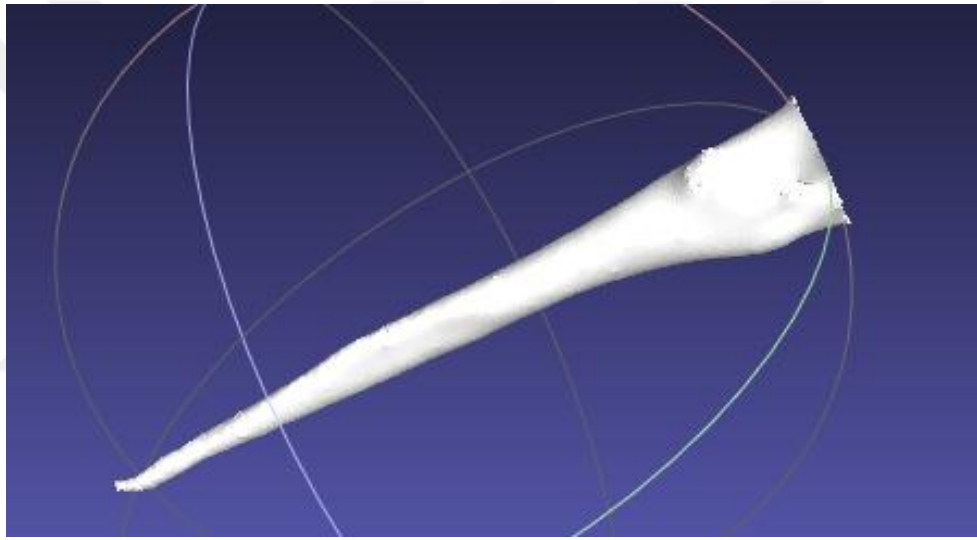
Tablo 3. 27G ve 30G iğnelerin boyutları

	27G	30G
İğnenin eğimli kısmının uzunluğu (l)	$2049,9 \pm 102,29 \mu\text{m}$	$1402,4 \pm 113,23 \mu\text{m}$
İğnenin dış çapı (d_E)	$412,71 \pm 1,49 \mu\text{m}$	$303,81 \pm 20,46 \mu\text{m}$
İğnenin iç kısmının çapı (d_I)	$248,44 \pm 1,87 \mu\text{m}$	$158,28 \pm 12,90 \mu\text{m}$
İğnenin açıklığının uzunluğu (m)	$1384,2 \pm 66,55 \mu\text{m}$	$864,68 \pm 111,00 \mu\text{m}$

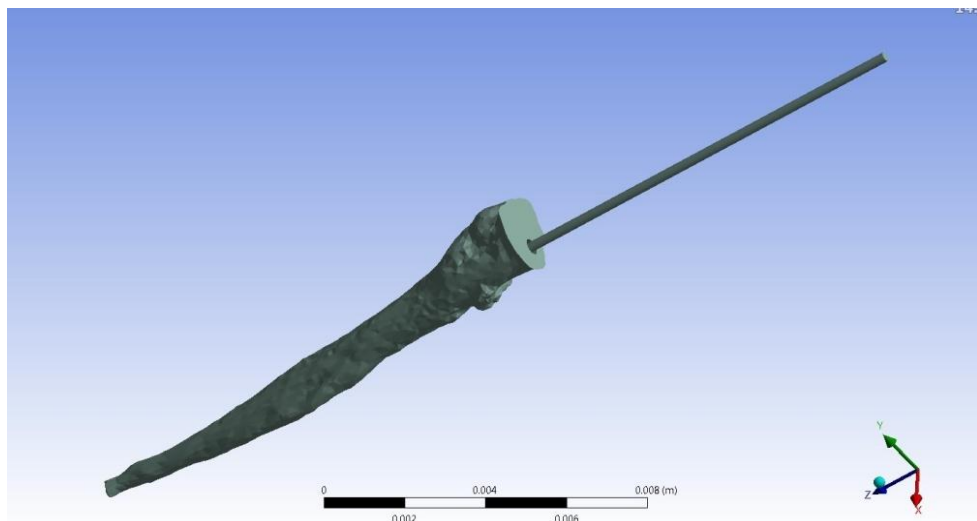
3.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi

3.4.1. Geometri Analizi

Kanal boşluğu izole edilerek farklı katmanlardaki sınır değerlerinin interpolasyon ile birleştirilmesi sonucu üç boyutlu geometri elde edildi. STL formatındaki yüzey modeli üzerinde küçük deliklerin kapatılması, yumuşak yüzeyin sağlanması amacıyla açık kaynak Micro View (v2.1.2 GE Healthcare) yazılımı kullanılarak iyileştirme yapıldı (Resim 18). Bir sonraki aşamda ANSYS Workbench (v14 Ansys Inc.) sonlu elemanlar analiz yazılım paketine katı model olarak aktarılarak iğne ve kök kanalının modeli oluşturuldu (Resim 19).



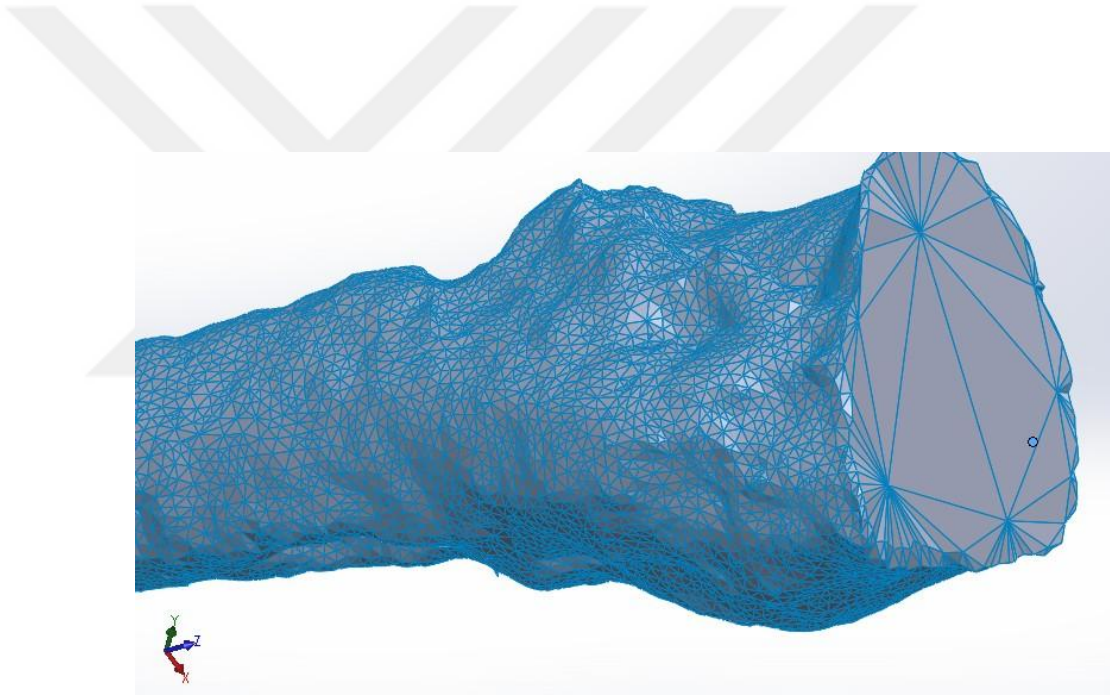
Resim 18. Pulpa boşluğunun STL formatındaki iyileştirilmiş görüntüsü.



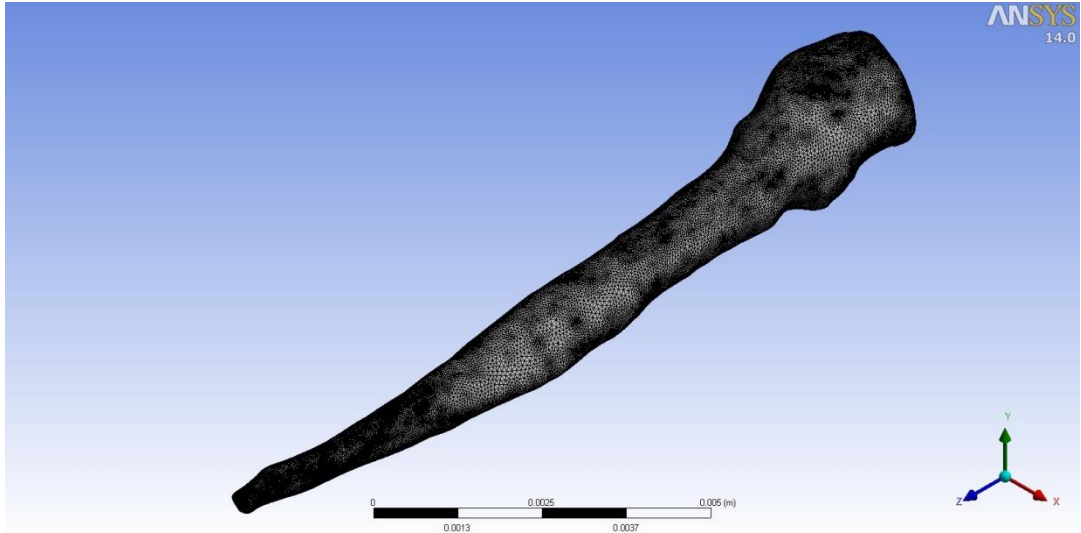
Resim 19. Pulpa boşluğunun ve iğnenin katı modeli.

3.4.2. Ağ (Mesh) yapısının Oluşturulması

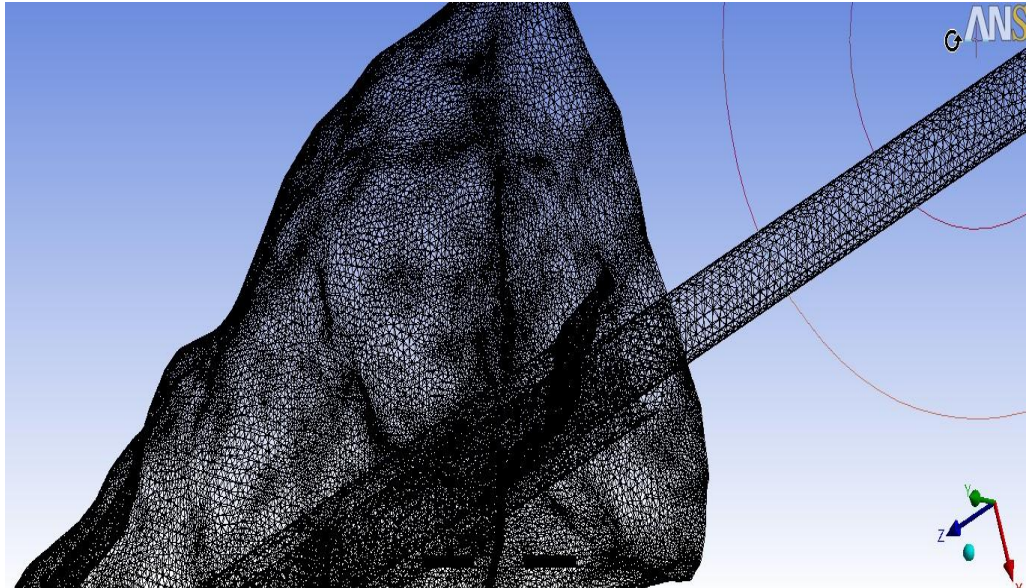
Sayısal benzetimler, ANSYS Fluent v.14 (Fluent Inc., Lebanon, NH, USA) ticari yazılım paketi kullanılarak analiz için ayrılmış çalışma alanında yapıldı. Yüksek hız gradyanlarının beklendiği duvar kenarlarına ve sıvının içinden çıktığı bölgelere daha fazla eleman yerleştirildi. Tüm model, 1 175 000 prizmatik ve tetrahedral elemandan oluşmaktadır (Resim 20, Resim 21 ve Resim 22). Eleman kalitesi sonucu etkileyeceği için eleman kalitesi ANSYS Tgrid (ANSYS, Inc., Lebanon, NH, USA) yazılımı ile denetlendi ve gerektiği durumlarda iyileştirilme yapılarak azami çarpılma oranının 0.8 olması sağlandı.



Resim 20. Pulpa boşluğunun ağ yapısının koronal kısmı.



Resim 21. Pulpa boşluğunun ağ yapısı.



Resim 22. Pulpa boşluğunun ve iğnenin ağ yapısının bir kısmı.

3.4.3. Sınır ve Operasyon Şartları

Çalışmada kullanılan irigasyon sıvısı için saf su özellikleri kullanıldı. Yoğunluk 998.2 kg/m^3 , dinamik viskozite 0.001003 kg/m-s olarak alındı. Kanal duvarları ve apikal foramenin rijit ve su geçirmez olarak kabul edildi. Kanalın ve iğnenin irigasyonla tamamen dolu olduğu kabul edildi. İğne lümeninden kanalın distaline doğru iğne girişi için bir hız sınır limiti belirlendi. Bir boru içindeki (iğne lümen gibi) akışkanın ortalama akış oranı (Q) şu şekilde tanımlanır (28):

$$Q = U \cdot S$$

U ortalama akışkan hızı ve S boru kesitinin alanıdır. Çalışmamızda her iki iğne içinde standardize olması yönünden akış debisi (oranı) 0.26 m/sn olarak sabit tutuldu. Sıvının iğne giriş hızları 27G iğne için 5.37 m/sn ve 30G iğne için ise 13.2 m/sn olarak ayarlandı. Böylece, her iki iğne için de tipik bir şırınga enjeksiyonundaki akışın simülasyonunu modelleyebilmek için, 2 ml hacmindeki akışkan, klinik uygulamalarda kullanılan debiler arasından seçilen 0.26 ml/s hacimsel debi ile gönderildi. Her iki iğne, kök ucundan 1 ve 3 mm uzaklıkta olacak şekilde konumlandırıldı.

Düşük Reynolds sayısı laminer akışlara tekabül ederken yüksek Reynolds (Re) sayısı türbülanslı akışları karakterize eder (28). Bu çalışmada ise iğne Re sayısı,

$$Re = (\rho V D) / (\mu)$$

olarak tanımlanmış olup ρ akışkanın yoğunluğunu, μ akışkanın dinamik viskozitesini, V akışkanın iğne içindeki ortalama hızını, D ise iğnenin çapını göstermektedir.

Viskozitenin etkisinin görülebilmesi için kanal duvarlarında kaymaya izin verilmedi. Üç boyutlu, zamana bağlı ve sıkıştırılmaz akış, Navier-Stokes denklemleri ile modellendi. İkinci derece hassaslıktaki denklemler, sonlu hacim yaklaşımı ve sabit zaman aralığı ile çözümlendi. Basınç-hız denklemleri için SIMPLE algoritması kullanıldı. Akış analizleri $k-\epsilon$ modeli kullanılarak yapıldı.

Ticari HAD kodu ANSYS Fluent v.14 (Fluent Inc., Lebanon, NH, USA), problemleri ayarlamak ve çözmek için kullanıldı. Bilgisayardaki akış alanları; akış paterni, hız büyüklüğü, kayma gerilmesi ve apikal basınç açısından ayrı ayrı karşılaştırıldı. Hesaplamalar, 3.6 GHz 8 çekirdekli 64 bit Intel i7 işlemcili, 8 GB RAM ve Windows 8 işletim sistemine sahip iş bilgisayarını üzerinde gerçekleştirildi.



4. BULGULAR

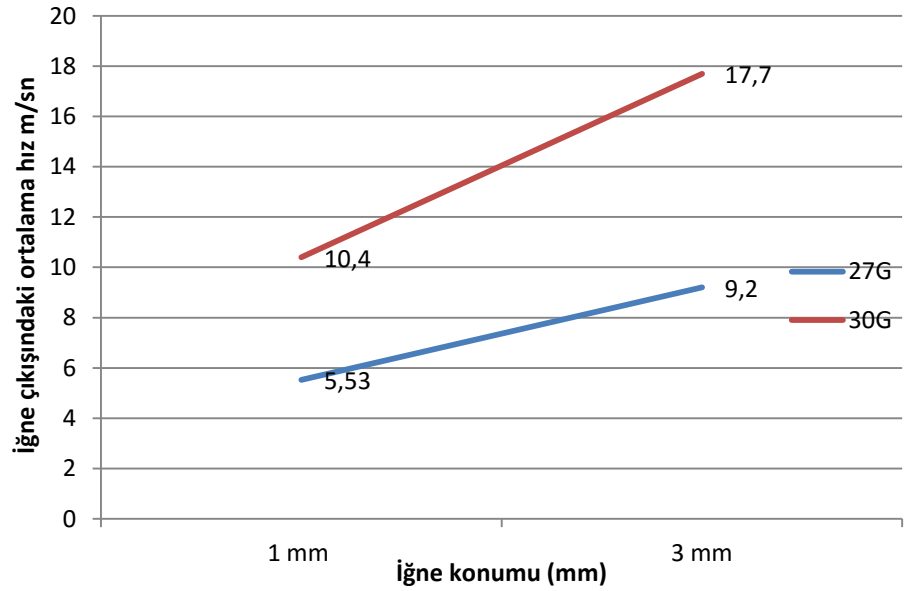
İğne boyutunun ve yerleştirme derinliğinin kanal akışı üzerinde önemli derecede etkisinin olduğu gözlemlendi. Apikal basıncın, kanal içerisindeki akış hızının ve duvarlarda oluşan kayma gerilmesinin her iki boyut ve derinlikte farklı sonuçları ortaya çıktı.

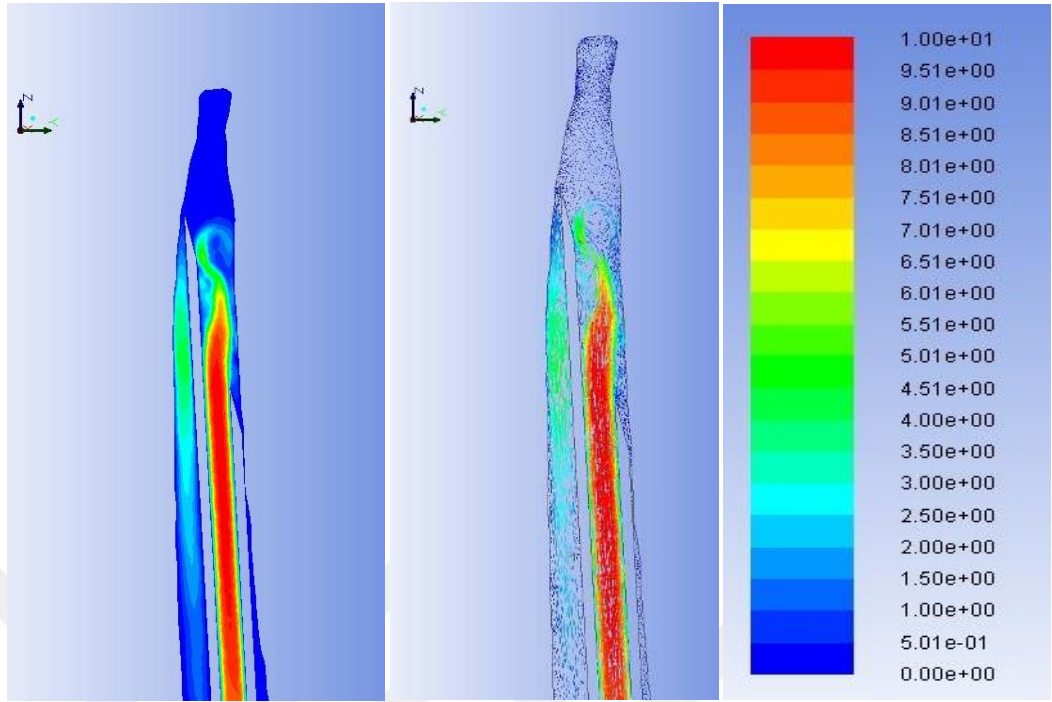
Her iki iğne boyutu içinde ulaşılan en yüksek hız, iğne lümeninin orta kısmında meydana geldi. İğne çıkış noktasında, akış yönündeki alanın nispeten ani genişlemesiyle, iğne boyutuyla orantılı olarak hızlarda düşüş meydana geldi. İğne lümeni içerisindeki en yüksek hız 23.1 m/sn olarak 30G iğnenin 1 mm mesafede konumlandırılması sonucunda meydana gelmiştir. Buna ilaveten iğne ucundaki en yüksek çıkış hızı, yine 30G iğnenin 1 mm mesafede konumlandırılmasıyla 10.4 m/sn olarak meydana gelmiştir. İğne lümenindeki akış bu şartlar altında beklendiği gibi laminar olarak gerçekleşti. İğne lümenlerindeki Re değeri 27G ve 30G iğneler için sırasıyla 1495 ve 2343 olarak hesaplandı. Kök kanalı içerisindeki maksimum akış hızları temel olarak iğne çıkışının çevresinde gözlemlendi. İğne açıklığının baktığı kanal duvarındaki hızın, zıt yönündeki duvarda meydana gelen hızdan daha düşük olduğu ortaya çıktı. 27G ve 30G'lik iğnenin 1 ve 3 mm'deki konumlarına göre meydana gelen iğne içerisindeki ve iğne çıkışındaki akış hızı değerleri Tablo 4'te verilmiştir. İğne çıkışındaki hız değerleri ayrıca Grafik 1'de gösterilmiştir. Hız değerlerinin analiz görüntüleri Resim 23, Resim 24, Resim 25 ve Resim 26'da gösterilmiştir.

Tablo 4. İğne lümenindeki ve iğne çıkışındaki hız değerleri.

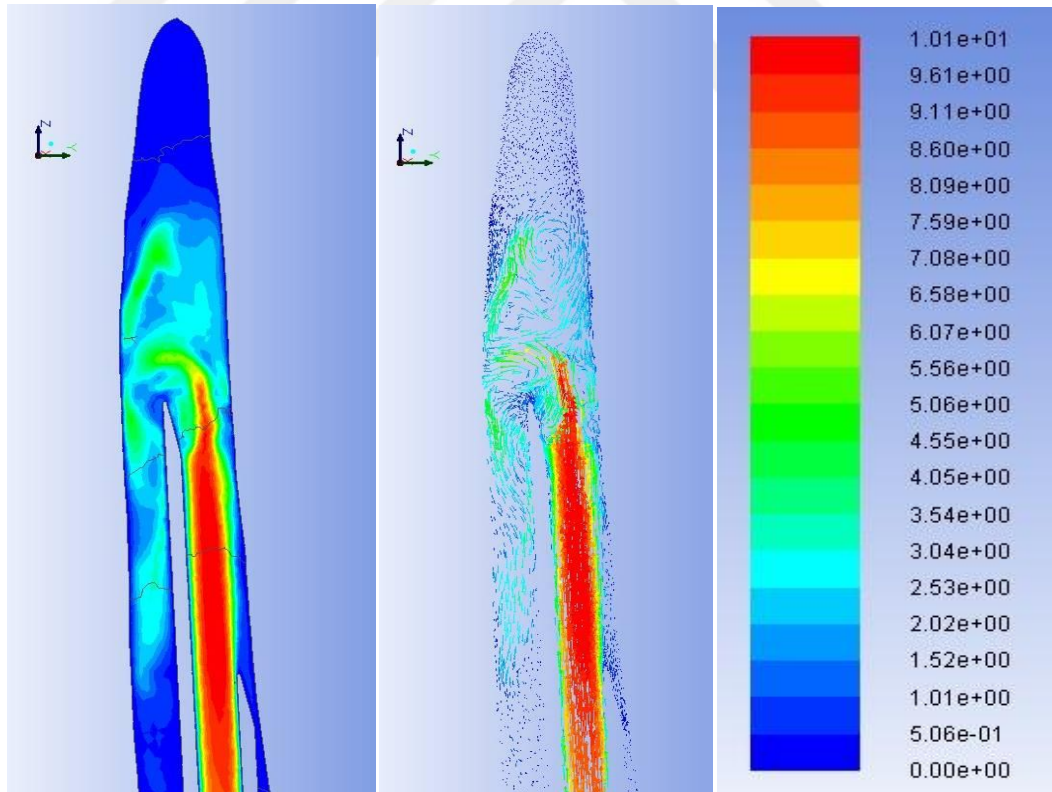
	27G		30G	
Apekte olan mesafe (mm)	İğne lümenindeki en yüksek hız (m/sn)	İğne çıkışındaki en yüksek hız (m/sn)	İğne lümenindeki en yüksek hız (m/sn)	İğne çıkışındaki en yüksek hız (m/sn)
1 mm	10.06	5.53	23.1	10.4
3 mm	10.3	9.2	23.6	17.7

Grafik 1. İğne çıkışındaki hız değerleri.

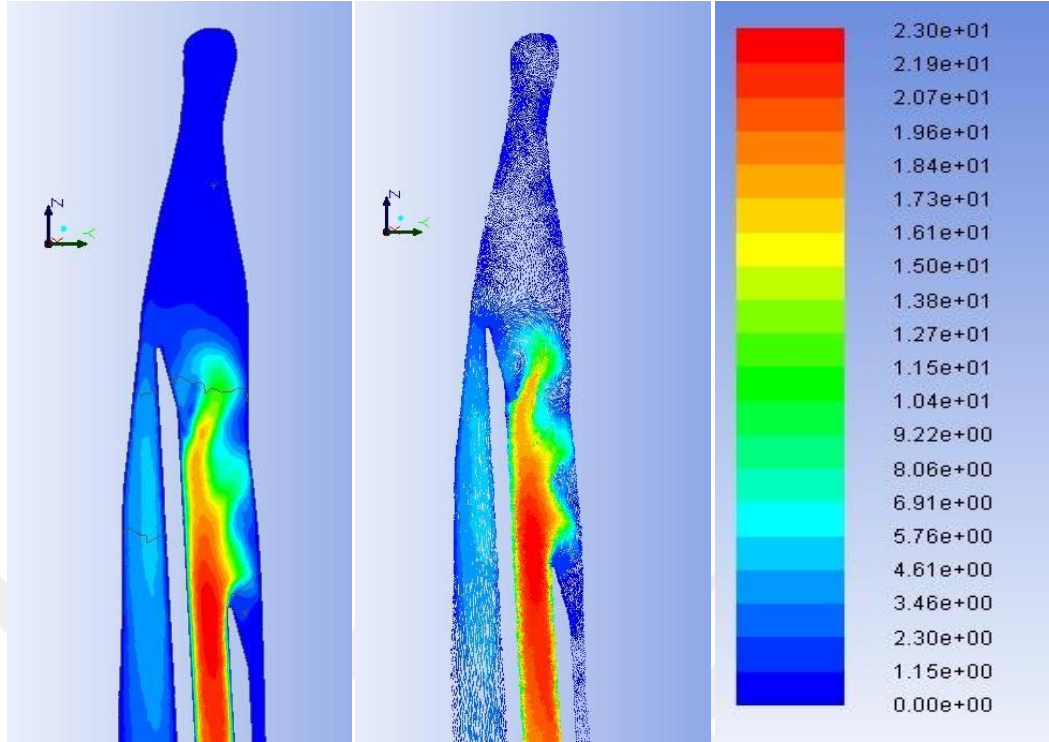




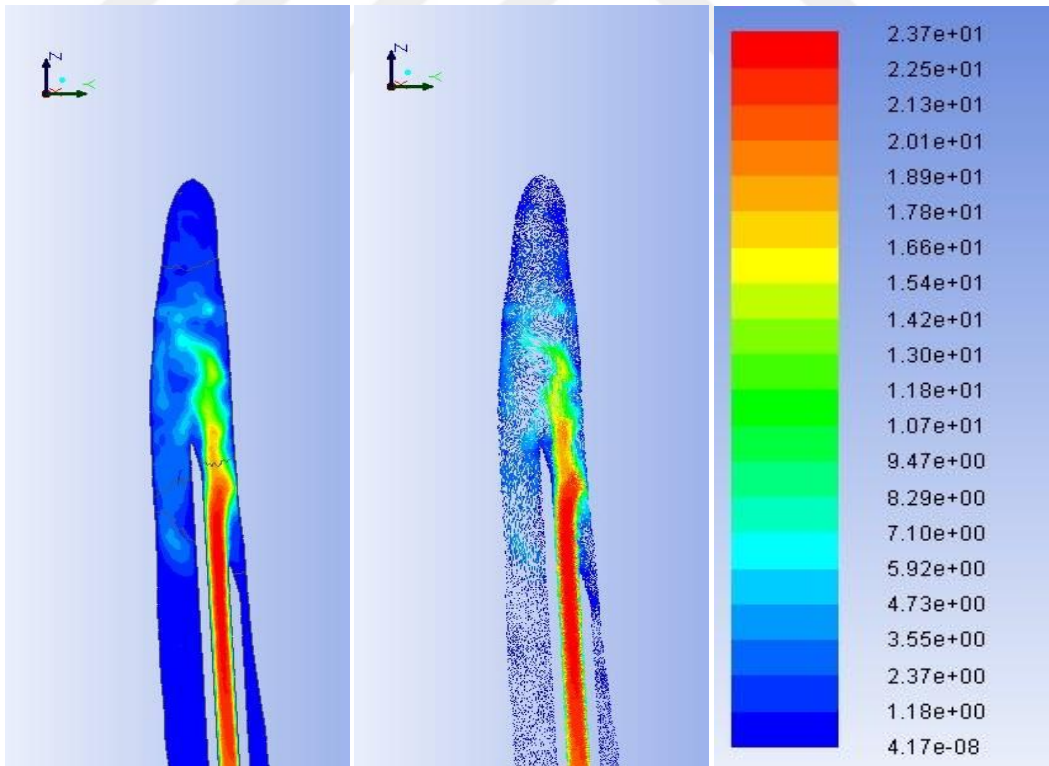
Resim 23. 27G iğnenin apekten 1 mm uzaklıktaki akış hızının analiz ve vektör görüntüleri. Hız değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (İğne gri renk ile gösterilmiştir.) ($1.00e+00 = 1 \text{ m/sn}$, $1.00e+01 = 10 \text{ m/sn}$, $1.00e-01 = 0.1 \text{ m/sn}$).



Resim 24. 27G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki akış hızının analiz ve vektör görüntüleri. Hız değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (İğne gri renk ile gösterilmiştir.) ($1.00e+00 = 1 \text{ m/sn}$, $1.00e+01 = 10 \text{ m/sn}$, $1.00e-01 = 0.1 \text{ m/sn}$).



Resim 25. 30G iğnenin apekten 1 mm uzaklıktaki akış hızının analiz ve vektör görüntüleri. Hız değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (İğne gri renk ile gösterilmiştir.) (1.00e+00 = 1 m/sn, 1.00e+01 = 10 m/sn, 1.00e-01 = 0.1 m/sn).



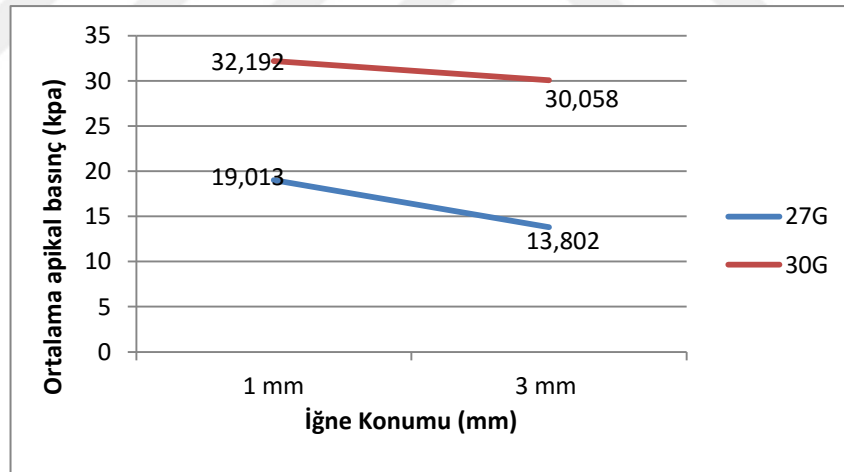
Resim 26. 30G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki akış hızının analiz ve vektör görüntüleri. Hız değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (İğne gri renk ile gösterilmiştir.) (1.00e+00 = 1 m/sn, 1.00e+01 = 10 m/sn, 1.00e-01 = 0.1 m/sn).

İki iğne boyutu arasında apekte oluşan basınç yönünden önemli farklılıklar gözlemlendi. Her iki iğne boyutu için, iğne apekten uzağa konumlandırıldıkça apikal basınç değerlerinde azalma meydana geldi. En yüksek basınç değeri 30G iğne apekten 1 mm uzaklıkta konumlandırıldığı zaman meydana geldi. Apekte oluşan basınç değerleri Tablo 5 ve Grafik 2’de gösterilmiştir.

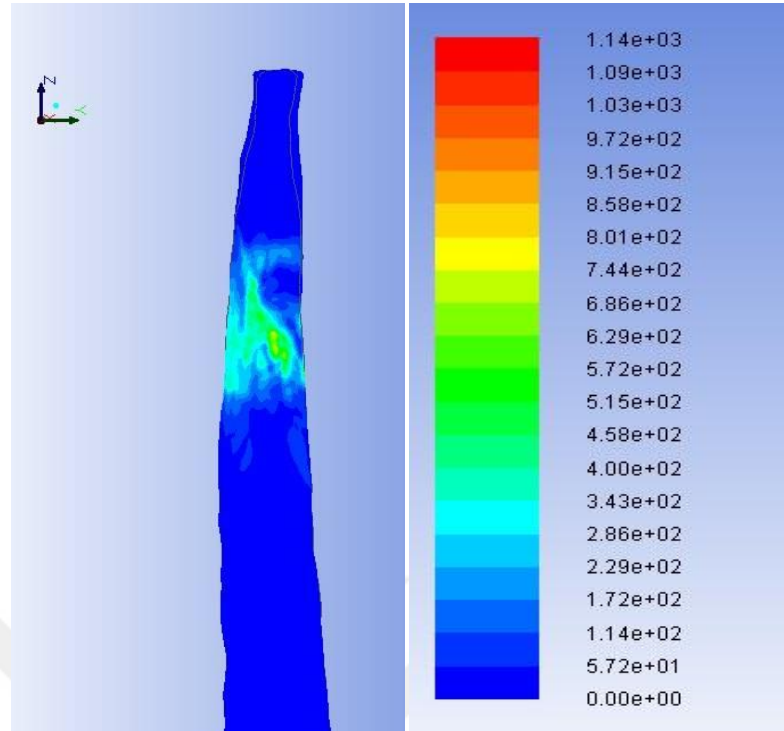
Tablo 5. İğne boyutuna ve yerleştirme derinliğine göre apikalde meydana gelen basınç değerleri.

Apekte olan mesafe (mm)	27G	30G
1 mm	19,013 kPa	32,192 kPa
3 mm	13,802 kPa	30,058 kPa

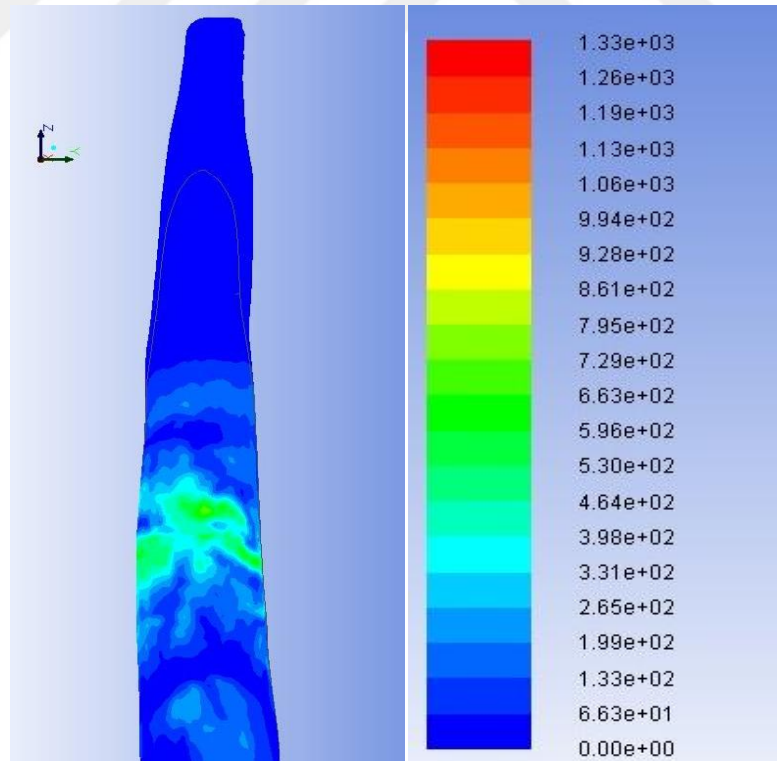
Grafik 2. İğne boyutuna ve yerleştirme derinliğine göre apikalde meydana gelen basınç değerleri.



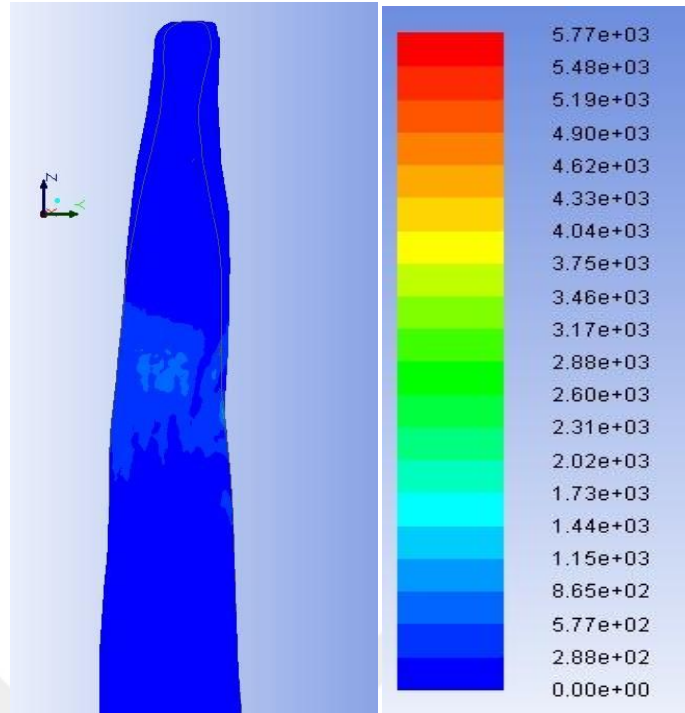
İğnelerin açıklığının baktığı duvarda meydana gelen kayma gerilmesi beklenildiği gibi hız büyüklüğüne paralel olarak zıt taraftaki duvarda meydana gelen kayma gerilmesinden daha düşüktür. İğne apekten daha uzağa konumlandırılınca oluşan maksimum kayma gerilmesi değeri azaldı, fakat kayma gerilmesinden etkilenen alanın büyüklüğü arttı. İğne boyutu azaldıkça kanal duvarında meydana gelen kayma gerilmesi azaldı. Meydana gelen kayma gerilmesi görüntüleri, Resim 27, Resim 28, Resim 29 ve Resim 30’ da gösterilmiştir.



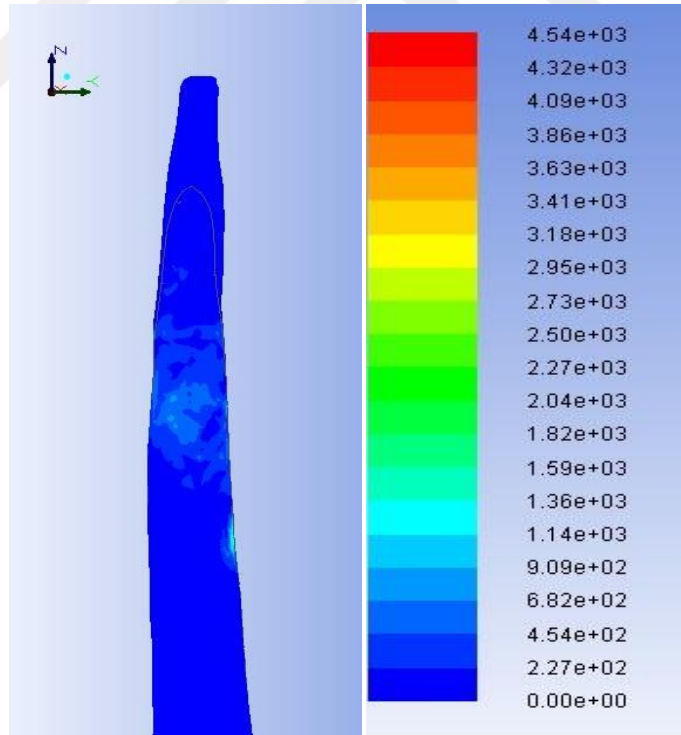
Resim 27. 27G iğnenin apekten 1 mm uzaklıktaki duvar kayma gerilmesi görüntüleri. Kuvvet değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (1.00e+00 = 1 N/m², 1.00e+01 = 10 N/m², 1.00e-01 = 0.1 N/m²).



Resim 28. 27G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki duvar kayma gerilmesi görüntüleri. Kuvvet değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (1.00e+00 = 1 N/m², 1.00e+01 = 10 N/m², 1.00e-01 = 0.1 N/m²).

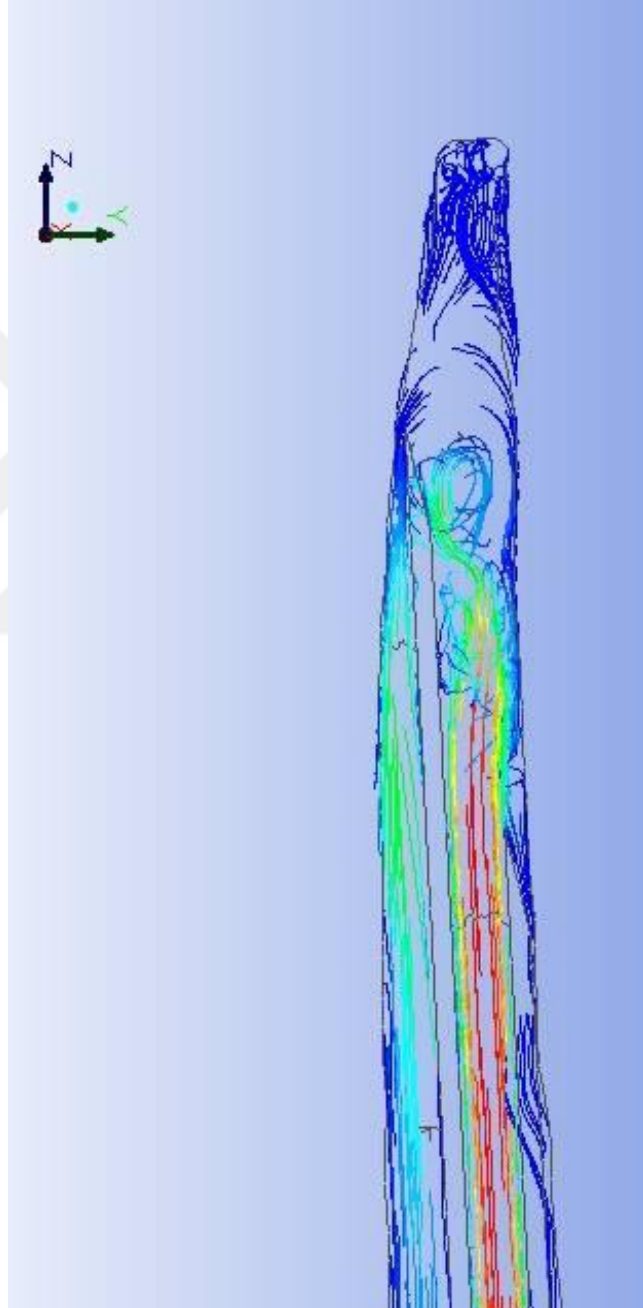


Resim 29. 30G iğnenin apekten 1 mm uzaklıktaki duvar kayma gerilmesi görüntüleri. Kuvvet değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (1.00e+00 = 1 N/m², 1.00e+01 = 10 N/m², 1.00e-01 = 0.1 N/m²).

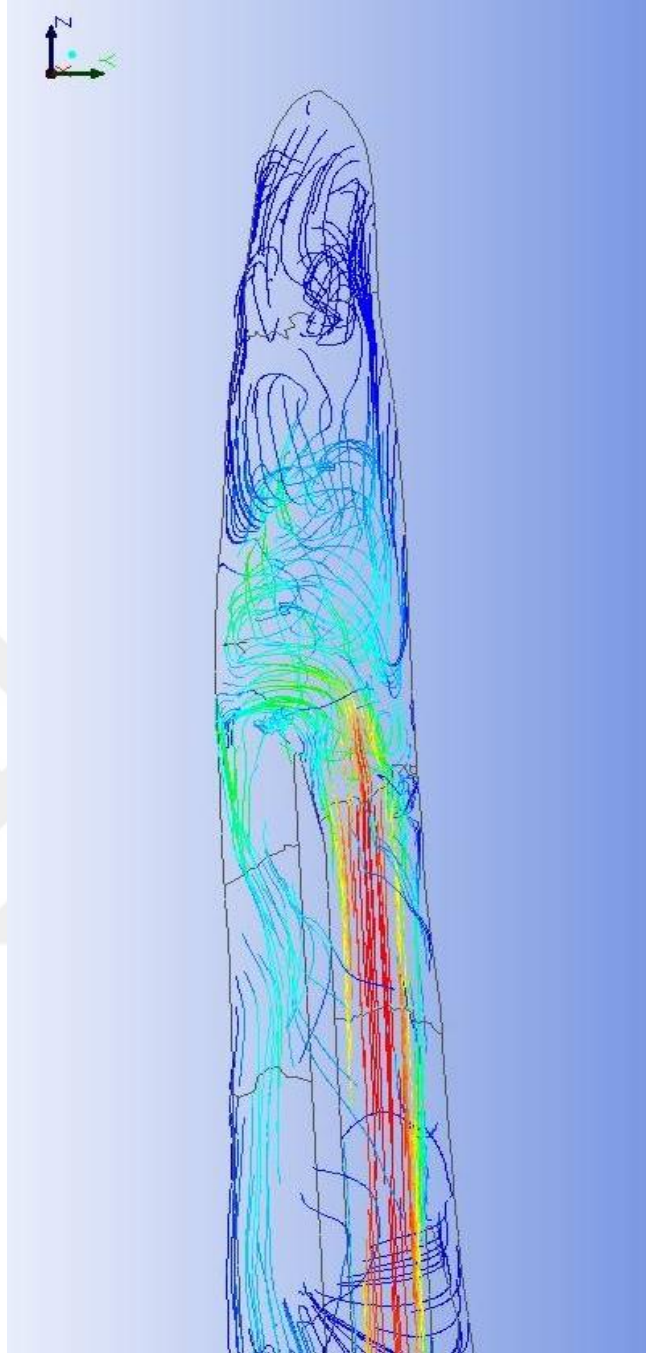


Resim 30. 30G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki duvar kayma gerilmesi görüntüleri. Kuvvet değerleri büyüklüğüne göre renklendirilmiştir (1.00e+00 = 1 N/m², 1.00e+01 = 10 N/m², 1.00e-01 = 0.1 N/m²).

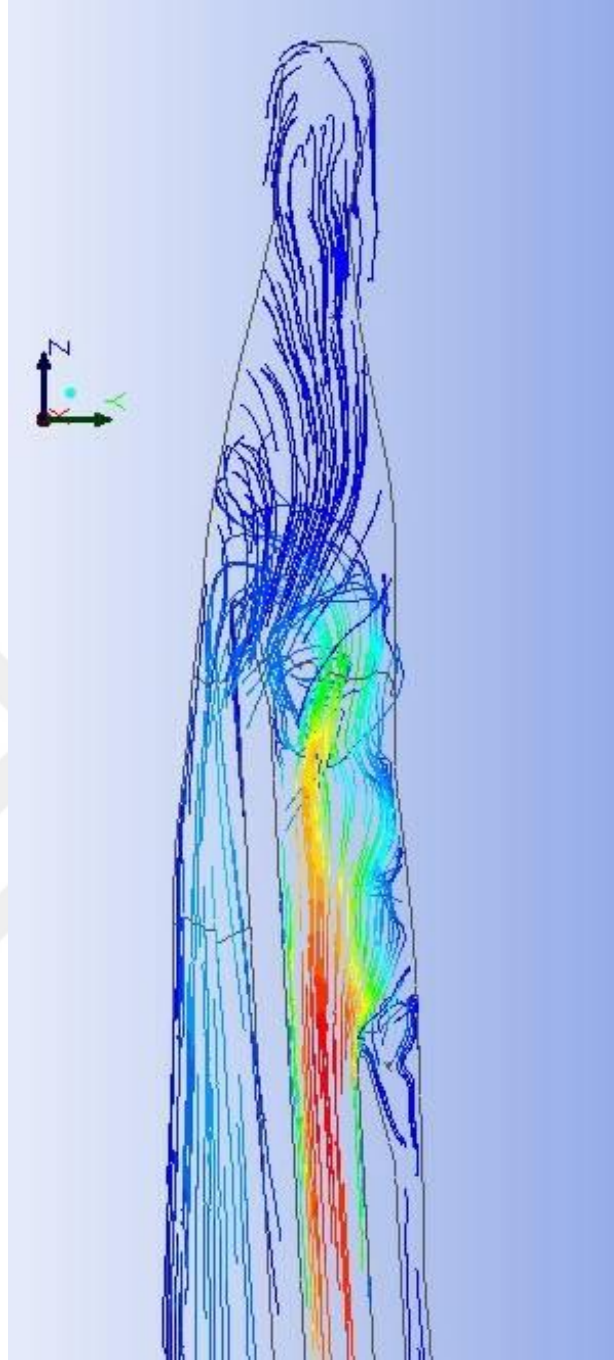
Kanal içerisindeki sıvı tüm modellerde, iğneden çıkarak kanal duvarına sonra da apeks bölgesine doğru ilerleyip bir kıvrım yaparak kanalın ağzına doğru yöneldi. İğneler apikalden daha uzağa yerleştirilince sıvı akışında gözlenen girdap sayısı arttı. Kanal içerisinde oluşan akış çizgileri Resim 31, Resim 32, Resim 33 ve Resim 34’de gösterilmiştir.



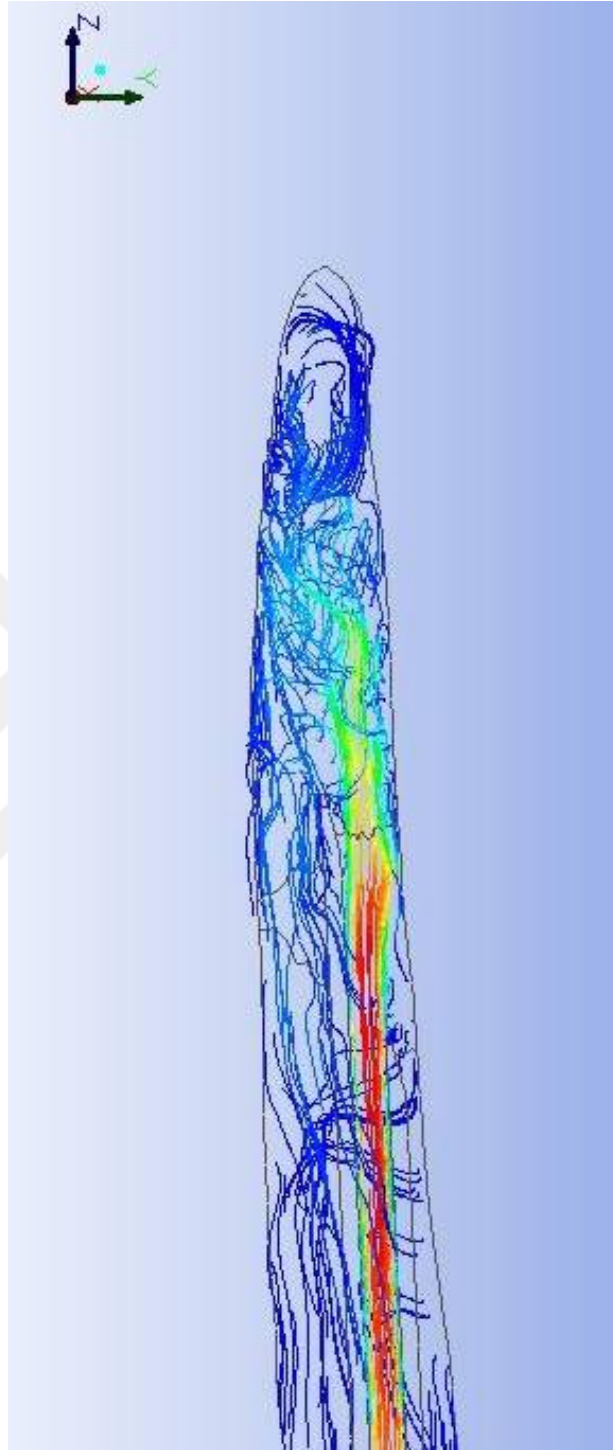
Resim 31. 27G iğnenin apeksten 1 mm uzaklıktaki konumunda meydana gelen akış çizgileri.



Resim 32. 27G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki konumunda meydana gelen akış çizgileri.



Resim 33. 30G iğnenin apekten 1 mm uzaklıktaki konumunda meydana gelen akış çizgileri.



Resim 34. 30G iğnenin apekten 3 mm uzaklıktaki konumunda meydana gelen akış çizgileri.

5. TARTIŞMA

Kök kanal tedavisinin amacı, kök kanalı içerisindeki iltihaplı pulpa dokusunun, iltihap ürünlerinin ve mikroorganizmaların elimine edilmesi ve sonrasında kök kanal boşluğunun biyouyumlu bir materyal ile doldurulmasıdır. Kök kanallarının antibakteriyel solüsyonlarla irrigasyonu fiziko-kimyasal temizlemenin esas kısmı olarak kabul edilmektedir (126).

İrrigasyon işlemi, özellikle mekanik enstrümantasyonla ulaşamayan kök yüzeyi alanlarında bakteri, debris ve nekrotik dokuyu kolayca uzaklaştırmak için enstrümantasyon işlemini tamamlayıcıdır. Ayrıca irrigasyonun etkinliği, irriganın bakteri elimine edebilme ve doku çözme özelliği ile birlikte mekaniksel yıkamaya bağlıdır (3, 11). Etkili debridman ve bakterilerin başarılı uzaklaştırılması irriganın kanal boyunca penetre olmasına ve irriganın değişmesine bağlıdır (17, 64). Sonuç olarak, bir irriganın kök kanal içerisinde etkisini değerlendirirken irrigasyon dinamikleri dikkate alınmalıdır (11). İrrigasyonun oluşturduğu yıkama etkisi ve penetrasyon derinliği sadece kanalın anatomik yapısına bağlı değildir; aynı zamanda kullanılan sisteme, yerleştirme derinliğine, irriganın akıcı özelliklerine ve hacmine de bağlıdır (3, 8, 11, 15, 16, 27, 65, 66).

Enjektör ile yapılan geleneksel irrigasyonun etkili bir metod olduğu savunulmuştur (100). İrrigasyon esnasında kullanılan iğne tipinin irrigan akışı üzerinde etkili olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir. Goldman ve ark. apekten 2 mm uzaklıkta yerleştirilmiş kapalı uçlu çok sayıda yandan açıklıkları olan bir iğne kullanımının, kapalı uçlu tek yandan açıklığı bulunan iğneye kıyasla; irriganın daha yaygın ve eşit dağılmasına katkı sağladığını bildirmiştir (14). Moser ve ark., 23G kapalı uçlu çok sayıda yandan açıklığı bulunan bir iğnenin yapay debris gidermede 23G ucu yandan kesikli bir iğneden daha az etkili olduğunu göstermiştir (8). İğne tasarımındaki ana hedef, etkinliği ve güvenliği en yükseğe çıkarmaktır. “En iyi iğne” tasarımı konusunda yeteri kadar araştırma olmadığı için piyasada farklı türde irrigasyon iğnesi tipleri bulunmaktadır. Klasik endodontik irrigasyon iğneleri açık bir uca ve çeşitli iğne ucu tiplerine sahiptir, örneğin; açılı ve ucu kesik iğneler gibi.

İrrigasyon işlemi için endodontistler ve diş hekimleri tarafından en fazla geleneksel sıringa iğnesi kullanıldığından biz de çalışmamızda bu iğne tipini kullandık.

Daha önceki çalışmalarda, kanal içerisindeki irriganın akışını değerlendirmek için makroskobik gözlemler esas alınmıştır (14, 127). Taramalı elektron mikroskobu, optik mikroskop, kök kanal kesit analizi ve mikrobiyolojik analiz yöntemleri, irrigasyon etkinliğini değerlendirmek için en yaygın kullanılan yöntemlerdir (106, 128). Ancak bu yöntemler, irrigasyon esnasında akış dinamikleri aşamalarından ziyade sabit final şartlarını incelemektedir (112). Ayrıca, kök kanallarını simüle eden rezin blokların kırmızı gıda boyası ile yıkanmasıyla irrigasyon etkinliği incelenmiştir (16). Bu yaklaşımın diğer yöntemlere göre en büyük avantajı; kök kanal irrigasyonunun gerçek zamanlı görsel değerlendirilmesini sağlamasıdır. Ancak irrigasyon esnasında farklı bölgelerdeki hız ve basıncın dağılımı ve büyüklüğü bilinmemektedir. Önceki çalışmalar mevcut irrigasyon sistemleri hakkındaki bilgilerimizi geliştirmesine rağmen bu çalışmalar sadece makroskobik olayları tanımlamıştır. Radyografik ve görsel değerlendirme sıvı akışı hareketini tespit etmek için kısmen yetersiz olduğundan bu çalışmalar sınırlı kalmıştır (18).

Biyolüminisans bakterilerin gerçek-zamanlı görüntülenmesi (10, 66) ve simüle edilen düzensizliklere yerleştirilmiş yapay debris üzerinde irrigasyonun mekanik etkisinin stereomikroskop ve dijital görüntüleme yardımı ile incelenmesi gibi metodlar (3, 129), sınırlamaların üstesinden gelmeyi ve irriganın mikroplar ve debris üzerindeki etkisi hakkında önemli bilgiler elde etmeyi sağlamıştır. Ancak bu metodlar, kanal ve iğne içerisinde meydana gelen akış paterni etkilerinin nedenleri hakkında kısıtlı bilgi vermiştir. Hsieh ve ark., termal görüntüleme analizi ile irrigasyon esnasındaki dinamik akış durumunu göstermiştir (112). Bu yöntem, in vitro bir kök kanalı içinde irrigan akışı verileri sağlamıştır. Ancak ılık taze irrigandan kanal duvarlarına ve kanal içerisindeki daha soğuk irrigana ısının geçişinin, eş zamanlı olarak gerçekleşen sıvı hareketinin gözlemlenmesini etkilediği düşünülebilir. Isı akışının irrigasyon akış hızına benzer bir oranda oluşabilme ihtimali göz ardı edilemez (18).

İn vitro modeller debris, smear tabakası veya bakterilerin uzaklaştırılmasının değerlendirilmesinde fiziksel bir fikir edinmek için kullanılmıştır (11). Bu gibi

ölçümler klinik olarak önemliyken, nihai sonuca yol açan geçici fiziksel veya kimyasal olaylara ışık tutmaz. Nihai klinik sonuçların ölçülmesi, klinik sonuçlara yol açan süreçleri ortaya çıkarmak için yetersizdir. Bu nedenle, klinik sonuçları etkileyecek ve geliştirecek alt fiziksel süreçlerin doğasını özellikle belirlemek ve ayırt etmek gereklidir. Bu amaca ulaşmak için fizik ve mühendislik bilimleri uzmanlığı ve bakış açısı, bu tür sistemlerin temel sıvı akış süreçlerinin doğasını aydınlatmaya katkı sağlayabilir (28).

İrrigasyon dinamiğinin daha iyi anlaşılması için, kök kanalı içerisindeki türbülans ve akış dağılımı hakkında detaylı bilgiler gereklidir. Kök kanal irrigasyonu esnasında duvardaki basınç ve akış hızı gibi temel parametrelerin de araştırılması gerekmektedir. Fakat bu parametrelerin direkt olarak belirlenmesi zordur. HAD teknolojisindeki gelişmeler; kök kanal irrigasyonunun kompleks sayısal simülasyonuna imkan sağlayarak, gerçek fiziksel koşulların simülasyonuna ve ilişkili kompleks parametrelerin belirlenmesine olanak vermektedir (18, 19). HAD analizi son yıllarda kanal irrigasyonunu incelemek için bir yöntem olarak tanıtılmıştır (18). Bu model, sonradan yüksek hızlı görüntüleme deney verileri ile karşılaştırılıp doğrulanmıştır (130) ve irrigan hızının, iğne yerleştirme derinliğinin, iğne tipinin ve kanal şekillendirme boyutunun irrigan akışı üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır (18, 19, 22-24). Ancak Boutsioukis ve ark., yaptıkları HAD analiz çalışmalarında gerçek bir diş modeli kullanmamış, kök kanal yapısını 19 mm uzunluğunda ters geometrik bir konik şeklinde simüle etmiştir ve kanalın apikal kısmının da simüle edilebilmesi için 0.5 mm uzunluğunda ters bir konik orjinal kesik koniğe bağlanmıştır. Kanalın apikal boyutunu çalışmak istenilen boyuta göre ISO boyutları referans alınarak belirlemişlerdir (18, 20, 22-24). Shen ve Gao ise çalışmalarında, şeffaf bir rezin bloğun şekillendirilme yapıldıktan sonraki mikro-BT görüntüsünü kullanarak kök kanalının modelini elde etmişlerdir (19, 21). Çalışmamızda iğne boyutu ve yerleştirme derinliğinin akışkan dinamikleri üzerindeki parametreleri, örneğin; akış hızı, apikalde meydana gelen basınç ve kanal duvarlarında oluşan kayma gerilmesini değerlendirmek için HAD analizi kullanılmıştır. Buna ilaveten çalışmamızda kök kanal modeli bir üst birinci kesici dişin mikro-BT görüntüsünden elde edilmiştir. Doğal diş yapısını kullanmanın gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini düşünmekteyiz.

İğne tipinin irrigan akışı üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmada, iğneler gösterdikleri akış karakteristiği yönünden kapalı uçlu grup ve açık uçlu grup şeklinde iki ana gruba ayrılmıştır (23). Goldman ve ark., taramalı elektron mikroskopunu, yeni çekilmiş dişlerde kanalların seri enstrümantasyonu sırasında in-situ rezidüel smear tabakası ve debrisin derecesini incelemek için kullanmışlardır. Ucu kapalı birden fazla yandan açıklığı bulunan iğne ile yapılan sodyum hipoklorit irrigasyonunun, geleneksel bir 23G ucu açık açılı iğne kullanmaktan daha etkili olduğunu bildirmişlerdir (131). Bunun aksine, Moser ve Heuer simüle kanallar kullanarak 23G kapalı uçlu birden fazla yandan açıklığa sahip iğnenin yapay debris gidermede 23G açık uçlu yandan kesik bir iğneden daha az etkili olduğunu göstermişlerdir (8). Vinothkumar ve ark. belli bir boyutta (apikal boyut 0.60 mm; 0.04 koniklik), 25G kapalı uçlu tek bir yandan açıklığa sahip iğnelerin bakterileri kök kanallarından temizleme açısından 25G kapalı uçlu birden fazla yandan açıklığı olan iğnelerden veya açık uçlu açılı iğnelerden daha etkili olduğunu göstererek Moser ve Heuer ile çelişmiştir (12). Çelişkinin nedeni; test model tasarımı, kanalın boyutu ve konikliği, iğnenin boyutu ve irrigan verilme hızı gibi birçok faktörün farklılığından dolayı olabilir. Bu örnekler, farklılıkları hesaba katmak için doğal değişkenlerin kapsamlı bir veri kaydının faydasını göstermektedir, her zaman etkileme olasılığı muhtemel olan faktörlerin hesaba katılması ve çalışma tasarımına dahil edilmesi düşünülmelidir (28).

Shen ve ark., HAD analizi kullanarak ve in vitro olarak farklı tip iğne dizaynlarının ve yerleştirme derinliğinin akış üzerindeki etkisini incelemişlerdir (21). Çalışmalarında, HAD modeli oluşturmak için bir in vitro irrigasyon modelinin mikro-BT görüntü parametrelerini kullanmışlar. Deneysel verileri, kanal preparasyonu yapılmış simüle bir plastik blok içerisindeki bir kanalın apeksinden 3 mm ve 5 mm uzaklıkta yerleştirilmiş 27G ucu yandan-kesik (Appli-Vac) ve yandan-delikli ucu açık (Vista-Probe) iğneler ile yapılan irrigasyon esnasındaki sıvı dağılım dinamiklerini kayıt ederek elde etmişler, sonuçları HAD analizi ile doğrulamışlardır. HAD analizine iki "sanal iğne"; bir açılı uçlu Appli-Vac ve bir tane yandan açıklığı olan fakat ucu kapalı Vista-probe iğne tasarımı esas alınarak iki iğne tipi daha dahil etmişlerdir. Apikal basıncı, duvardaki akış hızı ve kanal içerisindeki akış hızının dağılımını HAD analizi kullanarak ölçmüşler. İn vitro deneyin video

kayıtları göstermiştir ki, iğneler kanal içerisinde apeksten 3 mm uzaklıkta yerleştirildiği zaman iğne ucunun apikalindeki alanda boya hızlıca uzaklaşmıştır. Appli-Vac iğne apeksten 5 mm uzağa yerleştirildiğinde, irrigan hemen hemen apekse ulaşmıştır. Vista-Probe iğne apeksten 5 mm uzaklıkta yerleştirildiği zaman apeks kısmında boyanın kaldığı 1.5 mm'lik " ölü bir alan" belirlenmiştir. HAD irrigasyon akış hızı saptamaları ve ilişkili duvarların akış hızlarının sonuçlarına göre en yüksek hızlar iğne lümeninde gözlenmiştir. İğne çıkışında akış alanının aniden genişlemesi nedeniyle hızlarda düşüş meydana gelmiştir. Boutsoukis ve ark. benzer sonuçları bildirmiştir (18, 22-24). Bu sonuçlar, bizim çalışmamızdaki sonuçlarla da uyum içerisinde. 3 mm uzaklıktaki konumda ucu yandan kesik ve açılı iğnede iğne açıklığının baktığı kanal duvarındaki hız zıt taraftaki hızdan daha düşük olduğunu tespit etmişler, ancak 5 mm'lik mesafede iki duvarda hız farkı olmadığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda 1 ve 3 mm'lik konumlar için kanal duvarlarında hız farkının olduğunu ancak 3 mm'lik konumda oluşan hız farkının daha az olduğunu tespit ettik. Bu bulgu, Shen ve ark.'nın bildirdiği sonuç ile tutarlı görülmektedir.

İğne yerleştirme derinliğinin kök kanalı içerisindeki irrigan değişimine olan etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada, in vitro olarak yandan açıklığı olan bir iğnenin çalışma boyundan 1 mm kısa yerleştirildiği zaman 5 mm kısa yerleştirmeye nazaran kök kanallarındaki biyoluminesans bakterilerin daha etkin uzaklaştırıldığı bildirilmiştir (66). Termal görüntü analizi kullanılan başka bir çalışmada, açılı iğnenin çalışma uzunluğunda 3 mm kısa yerleştirildiğinde sıvının apekse ulaştığı, 6 mm kısa yerleştirildiğinde ise apekse ulaşamadığı gösterilmiştir (112). HAD analizinde, kök kanalının apikal kısmındaki 0.1 m/sn hızdan daha yüksek hızlar önemli görülerek bu değerlerde irrigan değişiminin gerçekleştiği bildirilmiştir (24). Boutsoukis ve ark. yandan açıklığı olan iğnenin pozisyonuna bakılmaksızın iğne ucundan itibaren 1-1.5 mm'lik bir mesafede, düz iğnenin ise apikale doğru daha uzun mesafede irrigan değişimine imkan verdiğini ve 1 ve 2 mm'lik iğne pozisyonlarında irriganın çalışma uzunluğuna ulaştığını bildirmişlerdir (23). Çalışmamızda her iki yerleştirme derinliğinde, irrigan apikale kadar ulaşmıştır. İğnenin apikale daha yakın konumlandırılması iğne tipine ve boyutuna bakılmaksızın, irrigan değişiminin artmasını sağlayabilir, fakat bu durum apikal basıncın artmasına neden olur ve irriganın apikalden taşma riskini yükseltebilir.

Klinik olarak biyofilm ve smear tabakasının, irrigasyon sırasında sıvı akışı tarafından oluşturulan hem kimyasal etki hem de kanal duvarındaki kayma gerilmesinin fiziksel etkisi ile kaldırılması olasıdır. Duvar kayma gerilmesi doğrudan ölçmek için zor bir parametre olup, duvardaki akış hızı büyüklüğüne bağlıdır (28). Boutsoukis ve ark. iğnelerin çalışma boyundan uzaklaştıkça oluşan maksimum kayma gerilmesinin azaldığını bildirmişleridir (23). Bu sonuçlar, çalışmamızdaki sonuçlar ile uyum içerisindedir. Boutsoukis ve ark. başka bir çalışmada açık uçlu iğnelerin (düz, ucu yandan kesikli ve açılı iğne) benzer kayma gerilmesi sonuçlarına neden olduğunu, açılı iğnede meydana gelen kayma gerilmesinden etkilenen alanın iğne ucundan apikale doğru olduğunu göstermiştir (24). Çalışmamızda kayma gerilmesinden etkilenen alanın iğnenin uç kısmında ve iğne açıklığına zıt olan duvarda meydana geldiğini tespit ettik. İğne açıklığının baktığı duvardaki kayma gerilmesinin daha düşük olduğunu tespit ettik. Bu durum, akış hızı değerleri ile tutarlı görünmektedir. Boutsoukis ve ark. iğne ile kanal duvarı arasındaki hız ile ilgili bir değerlendirmede bulunmamıştır, kayma gerilmesinden etkilenen alanlar arasındaki fark buna bağlanabilir.

Bu çalışmada, Re değeri iğne girişinde hesaplandı. Re değeri geri kalan kısımda, kütle korunmasına bağlı olarak akış alanının genişlemesi, hızın azalmasından dolayı muhtemelen daha düşüktür. Hesaplanan Re değerlerine göre her iki iğne içinde akış, laminar olarak gerçekleşti. Bu sonuçlar, Boutsoukis ve ark.'nın yaptıkları çalışmanın sonuçları ile tutarlıdır (18). Çevrinti (vorticity), akışkan taneciklerinin akış esnasındaki dönüşleri ile ilgilidir ve akışın karışımını gösteren bir parametredir. Çevrintinin yüksek olduğu bölgeler irrigasyon sıvısının iyi karışması ile birlikte verimli bir irrigasyona oluşmasını sağlayacaktır. Türbülanslı akışlarda çevrinti beklendiği gibi laminar akışlara göre daha fazladır. Türbülanslı akış, hız dalgalanması ile ilişkili karmaşık girdap hareketi sayesinde oluşur ve hızlı karıştırmaya neden olur, bundan dolayı karıştırma için tercih edilen akış rejimidir (113). Bu durum etkili debridman, maksimum irrigan değişimi ve antibakteriyel etkiyi sağlamak için taze irrigan ile kanal içerisinde var olan irriganın karışması için gereklidir (17). Akış hızının artırılması ile türbülanslı akış gerçekleşebilir, ancak bu akış hızı değerleri klinik şartlarında kabul edilemez (18).

Literatürde, aynı tip iğnenin aynı derinlikteki farklı boyutlarının etkisini inceleyen bir HAD çalışması bulunmamaktadır. İğnenin boyutunun değişmesinin apikal basınç ve kanal duvarında meydana gelen kayma gerilmesi üzerinde etkisinin olduğu gözlemlendi. İğne içindeki ve iğne çıkışındaki hızlarda da farklılıklar vardı. Fakat bu durum akış debisinin sabit tutulmasından kaynaklandı. Apikal basınç üzerinde iki parametre; akış hızı ve iğne ile kanal duvarı arasındaki alanın boyutu daha belirgindir. Eğer bu alan yeterli değilse irrigan apikal alanda sıkışır ve bunun sonucunda apikaldeki basınç artar. Kanalın boyutu sabit kaldığı için iğne boyutunun veya yerleştirme derinliğinin değişmesi sonucunda iğne ile kanal duvarı arasında oluşan alanın (iki daire arasındaki alan) (S) boyutu değişir. Bu alanın boyutu aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır (22);

$$S = \pi \frac{D_c^2}{4} - \pi \frac{D_e^2}{4}$$

$$D_c = A + L \cdot T$$

D_c çalışma uzunluğundan L miktarında kısa olan kanalın çapı, A kök kanalının apikal boyutu, T kanalın konikliği ve D_e iğnenin dış çapı.

Boutsoukis ve ark. kanal şekillendirme boyutunun ve kanal konikliğinin irrigan akışı üzerindeki etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, kanal şekillendirme boyutunun ve konikliğinin artmasının apikalde oluşan basıncın azalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir (20, 22). Daha önceki bir çalışmada, irriganın etkili olması için, apeksin 40 no boyutuna kadar genişletilmesi gerektiği bildirilmiştir (15). Bizim çalışmamızda, kanalın apikal boyutu 50 no olacak şekilde şekillendirme yapılmıştır. Bu sayede 27G iğnenin 1 mm'lik mesafede konumlandırılmasının kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmamızda, kanal boyutu sabit kalıp iğne boyutu değişken tutulmuştur. 30G iğnede oluşan apikal basınç daha yüksektir. Bunun nedeni, akış debisi sabit olduğu zaman çapı küçük iğnede daha yüksek akış hızının meydana gelmesidir. Her iki boyuttaki iğneler apeksten daha uzağa yerleştirildiği zaman apikal basınç değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Bu sonuç şu şekilde açıklanabilir, apekse olan mesafe arttıkça kanalın çapı artmıştır ve iğne çıkışındaki hız apekse olan mesafe arttıkça daha fazla azalmaya maruz kalmıştır. Apikal basınçtaki azalma 27G iğnede daha belirgindir. Bu muhtemelen,

iğne ile kanal duvarı arasındaki alanın farkından kaynaklanmaktadır. 30G iğnede 1 mm konumda bile iğne ile kanal duvarı arasındaki alan yeterli olabilir. Şimdiye kadar, apikal duvar basıncının ayarlanmasında güvenli bir sınır belirlenmemiştir. Ancak daha yüksek basınçların apikalden irrigan taşma riskini arttıracacağı aşıkardır. Çalışmamızda uygulanan modelin mevcut sınırlamalarından dolayı, apikal foramen su geçirmez ve rijid bir duvar olarak simüle edilmiştir.

Boutsioukis ve ark., kanal konikliğinin ve şekillendirme boyutunun artması sonucunda duvarlarda meydana gelen en yüksek kayma gerilmesinin azaldığını, fakat kayma gerilmesinden etkilenen alanın arttığını bildirmişlerdir (20, 22). Bizim çalışmamızda iğne boyutunun küçülmesi, benzer sonuçlara neden olmuştur. İğne ile kanal duvarı arasındaki alanın artması akışı hızının dolayısıyla duvarda oluşan kayma gerilmesinin azalmasına neden olmuştur. Boutsioukis ve ark., kayma gerilmesinde azalmaya neden olduğu için belirli bir boyuttan daha ileriye bir kanal genişletmesi yapmanın, irrigasyonun debridman etkinliğini azaltabileceğini öne sürmüşlerdir (22). İrrigasyon için kullanılacak olan iğnenin boyutu seçilirken şekillendirme boyutuna göre seçim yapılması daha etkili bir debridmanın yapılmasına olanak sağlayacaktır.

Yüksek kayma gerilmesi ve düşük apikal basınç şartları birbirine aykırı görünmektedir. Kök kanal irrigasyonunun genel performansı açısından bu parametrelerin her birinin nispeten daha önemli olduğu konusunda görüş birliği yoktur. Bu nedenle iyi bir dengenin sağlanması gereklidir. Apikal basınç üzerindeki akış hızı ve iğne duvarı ile kanal duvarı arasındaki boşluğun etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için bu parametrelerin daha iyi izole edildiği yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasından elde edilen bulgular ile aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. Kök kanal irrigasyonunda, iğne yerleştirme derinliğinin irrigan dinamikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır.
2. Kullanılan iğne boyutu, kanal içerisinde meydana gelen irrigan akışını önemli derecede etkilemektedir.
3. İrrigasyon esnasında en yüksek hız iğne lümeninde görülmektedir.
4. İğne ile kanal duvarı arasındaki boşluğun artması apikal basınç değerini azaltmaktadır, fakat duvarlarda meydana gelen kayma gerilmesi de aynı şekilde azaltmaktadır. Optimum bir denge için iğne boyutu şekillendirme boyutuna göre seçilmelidir.
5. Daha büyük boyutlu açılı iğne kullanımı, apikal basınçta fazla artış meydana getireceğinden apikalden 2 veya 3 mm uzaklıkta konumlandırılması gerekir.
6. İnce iğne kullanımında 1 mm ve 3 mm konumundaki apikal basınç farkı fazla değildir. Kayma gerilmesinden ödün vermemek için ince iğneler apikale daha yakın konumlandırılabilir.
7. HAD kök kanal irrigasyon davranışlarını incelemek için önemli bir araçtır.

7. KAYNAKLAR

1. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:589-99.
2. Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. *J Endod* 2006;32:417-20.
3. Lee SJ, Wu MK, Wesselink P. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J* 2004;37:672-8.
4. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 2006;32:1181-4.
5. Grande NM, Plotino G, Falanga A, Pomponi M, Somma F. Interaction between EDTA and sodium hypochlorite: a nuclear magnetic resonance analysis. *J Endod* 2006;32:460-4.
6. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32:389-98.
7. Gu L-s, Kim JR, Ling J, et al. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod* 2009;35:791-804.
8. Moser JB, Heuer MA. Forces and efficacy in endodontic irrigation systems. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982;53:425-8.
9. Usman N, Baumgartner JC, Marshall JG. Influence of instrument size on root canal debridement. *J Endod* 2004;30:110-2.
10. Falk KW, Sedgley CM. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. *J Endod* 2005;31:742-5.
11. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng YL. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics* 2005;10:103-22.
12. Vinothkumar TS, Kavitha S, Lakshminarayanan L, Gomathi NS, Kumar V. Influence of irrigating needle-tip designs in removing bacteria inoculated into instrumented root canals measured using single-tube luminometer. *J Endod* 2007;33:746-8.
13. Van der Sluis L, Versluis M, Wu M, Wesselink P. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J* 2007;40:415-26.

14. Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen H, Grady J. New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod* 1976;2:257-60.
15. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1977;44:306-12.
16. Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod* 1995;21:277-80.
17. Salzgeber RM, Brilliant JD. An in vivo evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals. *J Endod* 1977;3:394-8.
18. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a computational fluid dynamics study. *Int Endod J* 2009;42:144-55.
19. Gao Y, Haapasalo M, Shen Y, et al. Development and validation of a three-dimensional computational fluid dynamics model of root canal irrigation. *J Endod* 2009;35:1282-7.
20. Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, et al. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J* 2010;43:909-16.
21. Shen Y, Gao Y, Qian W, et al. Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *J Endod* 2010;36:884-9.
22. Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, et al. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J* 2010;43:874-81.
23. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, et al. The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod* 2010;36:1664-8.
24. Boutsoukis C, Verhaagen B, Versluis M, et al. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod* 2010;36:875-9.
25. Alacam T. *Endodonti*. Ankara: Özyurt Matbaacılık; 2012.s.529-86.

26. Svec TA, Harrison JW. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. *J Endod* 1977;3:49-53.
27. Chow T. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod* 1983;9:475-9.
28. Gulabivala K, Ng Y, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas* 2010;31:R49.
29. Sundqvist G, Figdor D. Endodontic treatment of apical periodontitis. *Essential endodontology Prevention and treatment of apical periodontitis* Oxford: Blackwell. 1998:242-77.
30. Çalışkan MK. Endodontide Tanı ve Tedaviler. İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri; 2006.s. 317
31. Solvay S. Available from: www.solvaychemicals.com. 10.01.2016
32. Dakin HD. On the use of certain antiseptic substances in the treatment of infected wounds. *Br Med J* 1915;2:318.
33. Austin JH, Taylor HD. Behavior of hypochlorite and of chloramine-T solutions in contact with necrotic and normal tissues in vivo. *J Exp Med* 1918;27:627.
34. Frai S, Ng YL, Gulabivala K. Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. *Int Endod J* 2001;34:206-15.
35. Camps J, Pommel L, Aubut V, et al. Shelf life, dissolving action, and antibacterial activity of a neutralized 2.5% sodium hypochlorite solution. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;108:66-73.
36. Rossi-Fedele G, Doğramacı EJ, Guastalli AR, Steier L, de Figueiredo JAP. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid. *J Endod* 2012;38:426-31.
37. Çalışkan MK. Nonsurgical retreatment of teeth with periapical lesions previously managed by either endodontic or surgical intervention. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;100:242-8.
38. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod* 2005;31:669-71.

39. Ahmad M, Ford TRP, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *J Endod* 1987;13:93-101.
40. Paragliola R, Franco V, Fabiani C, et al. Final rinse optimization: influence of different agitation protocols. *J Endod* 2010;36:282-5.
41. Chang Y-C, Huang F-M, Tai K-W, Chou M-Y. The effect of sodium hypochlorite and chlorhexidine on cultured human periodontal ligament cells. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;92:446-50.
42. Spangberg L, Engström B, Langeland K. Biologic effects of dental materials: 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973;36:856-71.
43. Weine FS. *Endodontic Therapy*. St. Louis: CV Mosby; 1982.
44. Frithjof R, Östby BN. Effect of EDTAC and sulfuric acid on root canal dentine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1963;16:199-205.
45. Rödiger T, Döllmann S, Konietzke F, Drebenstedt S, Hülsmann M. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod* 2010;36:1983-7.
46. Mello I, Kammerer BA, Yoshimoto D, Macedo MCS, Antoniazzi JH. Influence of final rinse technique on ability of ethylenediaminetetraacetic acid of removing smear layer. *J Endod* 2010;36:512-4.
47. Adigüzel Ö, Yiğit-Özer S, Kaya S, et al. Effectiveness of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and MTAD on debris and smear layer removal using a self-adjusting file. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;112:803-8.
48. Kuah H-G, Lui J-N, Tseng PS, Chen N-N. The effect of EDTA with and without ultrasonics on removal of the smear layer. *J Endod* 2009;35:393-6.
49. Tomás I, Rubido S, Donos N. In situ antimicrobial activity of chlorhexidine in the oral cavity. *Formatex*; 2011;530-41
50. Loe H, Schiött CR, Karring G, Karring T. Two years oral use of chlorhexidine in man. I. General design and clinical effects. *J Periodontal Res* 1976;11:135-44.
51. Loe H, Rindom Schiött C. The effect of mouthrinses and topical application of chlorhexidine on the development of dental plaque and gingivitis in man. *J Periodontal Res* 1970;5:79-83.

52. Vianna ME, Gomes BP, Berber VB, et al. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;97:79-84.
53. Sena N, Gomes B, Vianna M, et al. In vitro antimicrobial activity of sodium hypochlorite and chlorhexidine against selected single-species biofilms. *Int Endod J* 2006;39:878-85.
54. Ferraz CC, Gomes BP, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Comparative study of the antimicrobial efficacy of chlorhexidine gel, chlorhexidine solution and sodium hypochlorite as endodontic irrigants. *Braz Dent J* 2007;18:294-8.
55. Mohammadi Z, Abbott P. The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *Int Endod J* 2009;42:288-302.
56. White R, Hays G, Janer L. Residual antimicrobial activity after canal irrigation with chlorhexidine. *J Endod* 1997;23:229-31.
57. Gomes BP, Vianna ME, Zaia AA, et al. Chlorhexidine in endodontics. *Braz Dent J* 2013;24:89-102.
58. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod* 2004;30:785-7.
59. Berg MS, Jacobsen EL, BeGole EA, Remeikis NA. A comparison of five irrigating solutions: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 1986;12:192-7.
60. Bitter NC. A 25% tannic acid solution as a root canal irrigant cleanser: a scanning electron microscope study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989;67:333-7.
61. Grossman LI, Meiman BW. Solution of pulp tissue by chemical agents. *J Am Dent Assoc* 1941;28:223-5.
62. Morgan RW, Carnes DL, Montgomery S. The solvent effects of calcium hydroxide irrigating solution on bovine pulp tissue. *J Endod* 1991;17:165-8.
63. Zach A, Kaufman A. Quantitative evaluation of the influence of dequalinum acetate and sodium hypochlorite on human dentition. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983;55:524-6.
64. Druttman A, Stock C. An in vitro comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant replacement. *Int Endod J* 1989;22:174-8.

65. Abou-Rass M, Piccinino MV. The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982;54:323-8.
66. Sedgley C, Nagel A, Hall D, Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *Int Endod J* 2005;38:97-104.
67. Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod* 2005;31:166-70.
68. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
69. Wu MK, Wesselink P. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *Int Endod J* 2001;34:137-41.
70. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod* 2010;36:1361-6.
71. Nair P, Henry S, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;99:231-52.
72. Wu M-K, Wesselink PR. Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;79:492-6.
73. Grossman LI. Irrigation of root canals. *J Am Dent Assoc* 1943;30:1915-7.
74. Keir DM, Senia ES, Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *J Endod* 1990;16:323-7.
75. Zmener O, Pameijer CH, Serrano SA, Palo RM, Iglesias EF. Efficacy of the NaviTip FX irrigation needle in removing post instrumentation canal smear layer and debris in curved root canals. *J Endod* 2009;35:1270-3.
76. Huang TY, Gulabivala K, Ng YL. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J* 2008;41:60-71.

77. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *Int Endod J* 2008;41:602-8.
78. Wiggins S, Ottino JM. Foundations of chaotic mixing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2004;362:937-70.
79. Alexander I, Palmer G, Mordan N, Gulabivala K, Ng Y. Development of an in vitro model to evaluate the effect of mode of irrigation on apical extrusion. *Int Endod J* 2010;43:829.
80. Ruddle C. Cleaning and shaping the root canal system In: Cohen S BRC, editor. *Pathways of the pulp*. 8 ed. St Louis: Mosby; 2002. p. 231-91.
81. Al-Ali M, Sathorn C, Parashos P. Root canal debridement efficacy of different final irrigation protocols. *Int Endod J* 2012;45:898-906.
82. Garip Y, Sazak H, Gunday M, Hatipoglu S. Evaluation of smear layer removal after use of a canal brush: an SEM study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;110:62-6.
83. Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *J Endod* 2002;28:837-9.
84. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy—a new concept of endodontic files and its implementation. *J Endod* 2010;36:679-90.
85. Metzger Z, Teperovich E, Cohen R, et al. The self-adjusting file (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer—a scanning electron microscope study. *J Endod* 2010;36:697-702.
86. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod* 2003;29:674-8.
87. Ruddle CJ. Hydrodynamic disinfection. *Dent Today* 2007;26:110-7.
88. Cunningham WT, Martin H. A scanning electron microscope evaluation of root canal debridement with the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982;53:527-31.

89. Cameron J. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod* 1983;9:289-92.
90. Waplington M, Lumley P, Walmsley A. Sonic instruments in root canal therapy. *Dent Update* 1995;22:339-42.
91. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod* 2007;33:81-95.
92. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Dent Traumatol* 1985;1:69-76.
93. Richman MJ. The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *J Dent Med* 1957;12:12-8.
94. Cracknell A. *Ultrasonics*. New York: Crane, Russak and Co. 1980.
95. Çiçek E, Bodrumlu E. Endodontide ultrasonikler: derleme. *Atatürk Üniversitesi Diş Hek Fak Derg* 2012;2012:76-83.
96. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod* 1980;6:740-3.
97. Ahmad M. Effect of ultrasonic instrumentation on *Bacteroides intermedius*. *Dent Traumatol* 1989;5:83-6.
98. Stock C. Current status of the use of ultrasound in endodontics. *Int Dent J* 1991;41:175-82.
99. Garrido ÂDB, Fonseca TS, Alfredo E, Silva-Sousa YTC, Sousa-Neto MD. Influence of ultrasound, with and without water spray cooling, on removal of posts cemented with resin or zinc phosphate cements. *J Endod* 2004;30:173-6.
100. Van Der Sluis L, Gambarini G, Wu M, Wesselink P. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J* 2006;39:472-6.
101. Cheung G, Stock C. In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics. *Int Endod J* 1993;26:334-43.
102. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod* 1999;25:735-8.

103. Teplitsky P, Chenail B, Mack B, MACHNEE CH. Endodontic irrigation—a comparison of endosonic and syringe delivery systems. *Int Endod J* 1987;20:233-41.
104. Ekim Ş, Erdemir A. Endodontide İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hek Fak Derg* 2015;10:98-104.
105. Vivan RR, Bortolo MV, Duarte MAH, et al. Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Braz Dent J* 2010;21:305-9.
106. Nielsen BA, Baumgartner JC. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007;33:611-5.
107. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int Endod J* 2007;40:504-13.
108. Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S. Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. *J Endod* 1975;1:127-35.
109. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Vasiliadis L. Clinical relevance of standardization of endodontic irrigation needle dimensions according to the ISO 9626: 1991 and 9626: 1991/Amd 1: 2001 specification. *Int Endod J* 2007;40:700-6.
110. Pasricha SK, Makkar S, Gupta P. Pressure Alteration Techniques in Endodontics-A Review of Literature. *JCDR* 2015;9:1-6.
111. Fukumoto Y, Kikuchi I, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. An ex vivo evaluation of a new root canal irrigation technique with intracanal aspiration. *Int Endod J* 2006;39:93-9.
112. Hsieh Y, Gau C, Kung Wu S, et al. Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *Int Endod J* 2007;40:11-7.
113. Tilton JN. Fluid and particle dynamics. In: Perry RH, Green DW, editors. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 7 ed. New York: NY: McGraw-Hill; 1999. p.1-50.
114. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği. HSK ar-ge teknik bülten no:5. Mart 2011.
115. Inc F. *Fluent 6.3: User's Guide* Lebanon, USA 2006.
116. Lecrivain G, Slaouti A, Payton C, Kennedy I. Using reverse engineering and computational fluid dynamics to investigate a lower arm amputee swimmer's performance. *J Biomech* 2008;41:2855-9.

117. Geng J-P, Tan KB, Liu G-R. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2001;85:585-98.
118. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Deniz Mühendisliği - 1 <http://uskudar.biz/muhendishane/makaleler>. 14.02.2016
119. Arvand A, Hormes M, Reul H. A validated computational fluid dynamics model to estimate hemolysis in a rotary blood pump. *Artif Organs* 2005;29:531-40.
120. Tokuda Y, Song M-H, Ueda Y, et al. Three-dimensional numerical simulation of blood flow in the aortic arch during cardiopulmonary bypass. *Eur J Cardiothorac Surg* 2008;33:164-7.
121. Elliott J, Dover S. X-ray microtomography. *J Microsc* 1982;126:211-3.
122. Rhodes J, Ford T, Lynch J, Liepins P, Curtis R. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J* 1999;32:165-70.
123. Yamamura B, Cox TC, Heddaya B, et al. Comparing canal transportation and centering ability of EndoSequence and Vortex rotary files by using Micro-Computed Tomography. *J Endod* 2012;38:1121-5.
124. Oi T, Saka H, Ide Y. Three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. *Int Endod J* 2004;37:46-51.
125. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *Int Endod J* 2001;34:390-8.
126. Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM. Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic topics* 2005;10:77-102.
127. Krell KV, Johnson RJ, Madison S. Irrigation patterns during ultrasonic canal instrumentation. Part I. K-type files. *J Endod* 1988;14:65-8.
128. Scelza MFZ, Antoniazzi JH, Scelza P. Efficacy of final irrigation—a scanning electron microscopic evaluation. *J Endod* 2000;26:355-8.
129. Van Der Sluis L, Wu MK, Wesselink P. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. *Int Endod J* 2005;38:764-8.

130. Boutsoukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van Der Sluis L. Irrigant flow in the root canal: experimental validation of an unsteady Computational Fluid Dynamics model using high-speed imaging. *Int Endod J* 2010;43:393-403.
131. Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS. Scanning electron microscope study of a new irrigation method in endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1979;48:79-83.

