

## SONLU ELEMANLAR ANALİZİ: DERLEME — BÖLÜM II: ENDODONTİDE KULLANIM ALANLARI

### FINITE ELEMENT ANALYSIS: REVIEW — PART II: THE USES IN ENDODONTICS

<sup>1\*</sup>Özkan ADIGÜZEL

<sup>1</sup>Doç. Dr. Dicle Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, DİYARBAKIR.

#### Özet

Sonlu elemanlar metodu, katı ve sıvıların mekanik problemlerinin çözümü ve yapıların fiziksel analizi için yaygın bir metod olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sonlu elemanlar analizi çeşitli dental materyal dizaynlarının biyomekanik özellikleri ile tedavinin başarısı üzerine klinik faktörlerin etkisi için kullanılmıştır. Bu metod kök kanal sisteminin karmaşık sayısal analizlerinin gerçeğe en yakın koşullarda yapılmasına ve doğru parametrelerin belirlenmesine olanak sağlar.

Sonlu elemanlar metodu, diğer metodlardan farklı olarak, çalışmanın aşamalarını izlemek için çok yararlı araçlar içerir. Restoratif materyallerin ve dental yapıların biyomekanik analizi için, fraktür rezistans testi gibi, gerçek modelleri yıkıma uğratan mekanik testler önemli bir yere sahiptir. Ancak sonlu elemanlar analizi gibi, gerçek bir modele ihtiyaç duymayan yöntemler, bu sonuçları almak için uygun bir metod olarak görünmektedir.

Kök kanal tedavisinin başarısı, kök kanal sisteminin doğru bir şekilde irrigasyon ve biyomekanik preparasyonunun içeren kemomekanik prosedürlerin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bu derlemenin amacı, oldukça esnek ve uygulanabilir yapıya sahip sonlu elemanlar analizinin endodonti alanında kullanımı ile ilgili bir bakış sunmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu elemanlar analizi, kök kanalı morfolojisi, kanal eğeleri, dental biyomekanik.

#### Abstract

The finite element method (FEM) has become widely used technique used for analyzing physical phenomena in the field of structural, solid and fluid mechanics as well as for the solution of field problems. Finite element analysis has been used to analyze the biomechanical performance of various dental material designs as well as the effect of clinical factors on treatment success. This method enables a complex numeric analysis of root canal system allowing the simulation of real physical conditions, and the determination of associated complex parameters.

The finite element method is a useful tool to figure out facts or study the process in a way that no other tool can achieve. For biomechanical analysis of dental structure and restorative materials, real destructive mechanical tests such as fracture resistance rehearsals are important methods for analyzing tooth behavior. However, the use of non-destructive methodologies without any real materials, such as finite element analysis, seem to be an appropriate method for obtaining answers.

The success of root canal treatment depends on thorough chemo-mechanical procedures which are mainly accomplished by irrigation and biomechanical preparation of the root canal system

The purpose of this review is to give an insight about the current status of the finite element method which is immensely flexible and of adaptable nature in endodontics

**Key words:** Finite Element Analysis, root canal morphology, canal files, dental biomechanical.

#### Giriş

Dişhekimliği alanındaki teknolojik gelişmeler modern endodontik tedaviyi daha kolay ve anlaşılır hale getirmiştir. Son yıllarda endodontik olarak tedavi edilmiş dişler, kullanılan enstrümanlar ve tekniklerin stres analiz çalışmaları ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi, mühendislik ve

uygulamalı bilimlerde kullanılan ve pek çok problemi yüksek doğrulukta çözebilen sayısal bir çözümleme ve simülasyon yöntemidir. Dental yapıların stres analizi günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak karmaşık bir yapının iki veya üç boyutlu analizi yapılabilir.<sup>1</sup>

Sonlu elemanlar analizi için modeller bilgisayarlar kullanılarak oluşturulmakta ve sonlu sayıda elemanlara bölünmektedir. Materyal özellikleri, sınır koşulları, elastiklik modülüsü değeri ve poisson oranı incelenecek materyal için tanımlanmaktadır. Stres oluşturacak kuvvetler bilgisayar yazılımı aracılığıyla uygulanarak analiz yapılmaktadır.<sup>2</sup>

Bu yöntem ilk olarak 1956 yılında keşfedilmiş ve uçak yapılarının incelenmesi için

#### \*İletişim Adresi

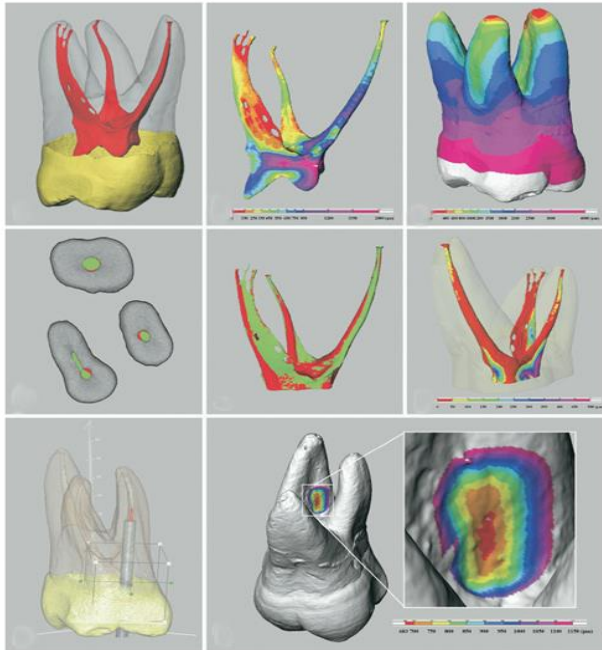
Dr. Özkan ADIGÜZEL  
Dicle Üniversitesi  
Diş hekimliği Fakültesi Endodonti A.D.  
21280 Diyarbakır

e-mail: [ozkanadiqzel@dicle.edu.tr](mailto:ozkanadiqzel@dicle.edu.tr)

kullanılmıştır. Diş hekimliğinde sonlu elemanlar analizi ile yapılan ilk çalışma Noonan'ın gümüş amalgamla yaptığı dolguların merkezine kuvvet uygulayarak stres dağılımını incelemesi olmuştur. Post kor restorasyonların bu yöntemle incelenmesi ise ilk olarak 1981 yılında Davy ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir.<sup>3, 4</sup> Endodontide kullanım alanlarını şöyle sırayabiliriz.

### Endodontik araştırmalar için üç boyutlu modelleme

Dental ve kök kanal morfolojisi çalışmaları endodontik eğitimde ve tedavide önemli bir konudur.<sup>5, 6, 7, 8</sup> Yüksek çözünürlüklü verilerden üç boyutlu modelleme artan bir şekilde popüler ve değerli bir metoddur. Kök kanal preparasyonu, doldurulması ve kanalda oluşabilecek apikal mikrosızıntıların değerlendirilmesi için sonlu elemanlar analizinin yapılmasına olanak sağlar.<sup>9, 10, 11, 12</sup> Bu verilerin elde edilmesi için modeller üzerinde herhangi bir yıkım gerektirmeyen detaylı, doğru ve hızlı bir işlem sağlayan micro-computed tomografi (micro-CT) kullanılmaktadır. Alınan çok sayıda Micro-CT görüntüleri bir modelleme yazılımı ile işlenir ve bilgisayar ortamında üç boyutlu model oluşturulur (Resim 1).<sup>13, 14, 15</sup>



**Resim 1.** Kök kanalının morfolojik olarak modellenmesi ve ölçümleri.<sup>15</sup>

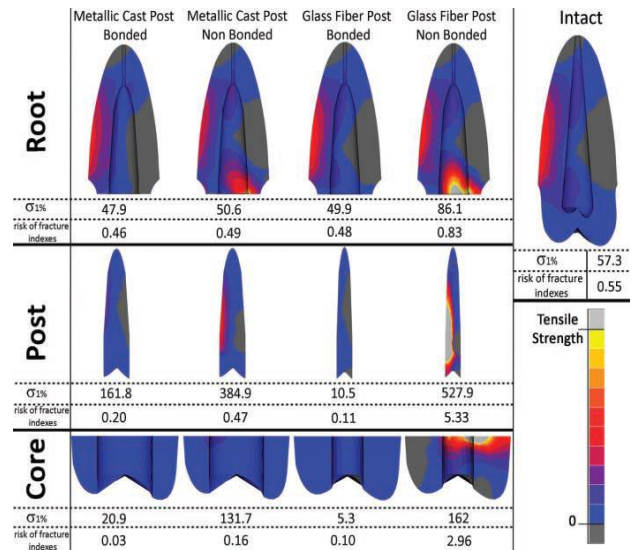
### Post Kor Sistemler

Post-kor aşırı koronal madde kaybına uğramış dişlerin restorasyonunda kullanılan bir yöntemdir. Bu uygulama, kök kanal boyunun en az 2/3üne uzanan bir çivi (post) ile bu yapıdan destek alarak dişe yapılacak restorasyona desteklik ve tutuculuk sağlayacak bir çekirdek (kor) altyapıdan oluşmaktadır.<sup>16, 17, 18, 19</sup> Günümüzde en çok kullanılan post sistemleri döküm ve prefabrike metal postlar, cam fiber ve karbon fiber postlar olarak sınıflandırılmaktadır.<sup>20, 21</sup>

Post kor restorasyonlarındaki klinik başarı, metalik postlar ile karşılaştırıldığında dentinin elastiklik modülüsüne daha yakın cam fiber postların kullanımına dayandırılmıştır.<sup>22</sup>

Post destekli restorasyonların kanal içi streslerinin belirlenmesinde sonlu elemanlar analizi kullanılmaktadır.<sup>23</sup>

Santos ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında iyi yapıştırılmış cam fiber postlarda stresin daha az görüldüğünü bildirmişlerdir (Resim 2).<sup>24</sup>



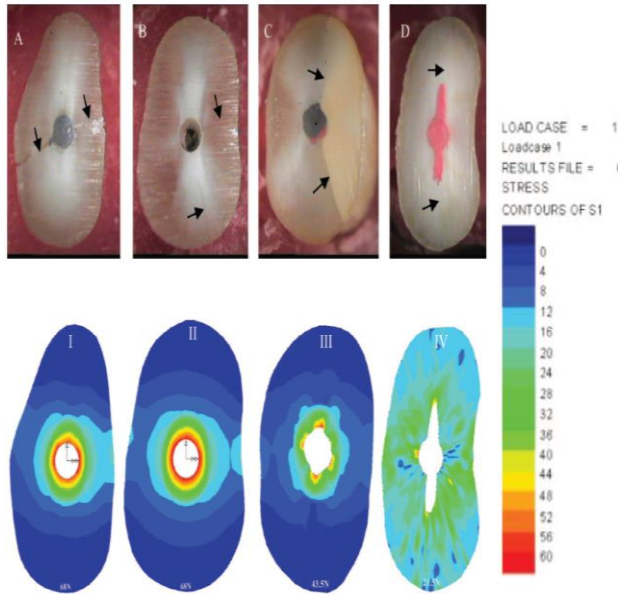
**Resim 2.** Diş kökü, post, kor ve dentinde stresin dağılımı.<sup>24</sup>

### Kök fraktürü hassasiyeti

Endodontik olarak tedavi edilen dişlerde yaygın bir şekilde görülen vertikal kök fraktürü çekim ile sonuçlanabilen önemli bir klinik problemdir.<sup>25, 26, 27</sup> Vertikal kök fraktürünün sebebi olarak ise endodontik prosedürler gösterilmiştir. Aşırı dentin kaldıran hatalı kanal genişletmeleri, lateral kondensasyon esnasında

uygulanan aşırı kuvvetler, eksik ve hatalı doldurulan kök kanallarında vertikal kök fraktürü oluşabilir.<sup>28</sup>

Satborn ve ark. kök fraktürü duyarlılığı ve fraktür şekilleri üzerine döner aletler ve manuel eğelemeyi kullanarak iki farklı kanal preperasyonunu karşılaştırdıkları çalışmalarında iki yöntem arasında anlamlı bir farklılık bulmamışlardır (Resim 3).<sup>28</sup>



**Resim 3.** Dişlerin orta kök bölgesinden alınan enine kesitleri ve sonlu elemanlar analizi görüntüleri.<sup>28</sup>

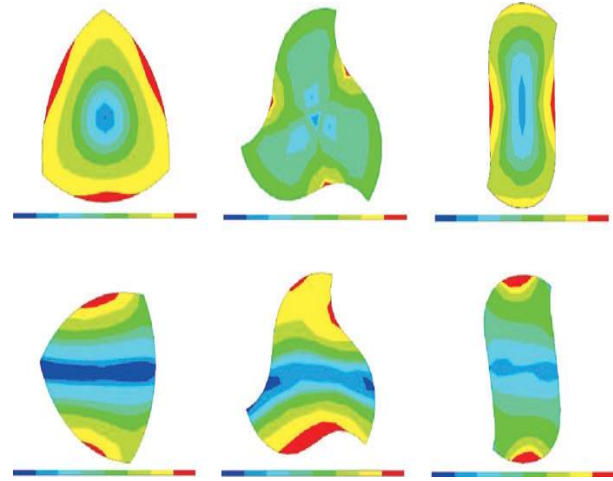
### Kök kanal preperasyonunda kullanılan eğelerin mekanik hareketleri

Birçok pratisyen hekim ve endodontist kök kanalını şekillendirmek için nikel titanyum döner eğeleri kullanır. Endodontik tedavideki zorluklardan biri de kök kanal sisteminin karmaşık yapısıdır. Nikel titanyum döner eğeler geleneksel el eğelerine göre daha esnek oldukları için yapılan birçok çalışmaya göre kanalın orijinal şeklini korurlar.<sup>29</sup>

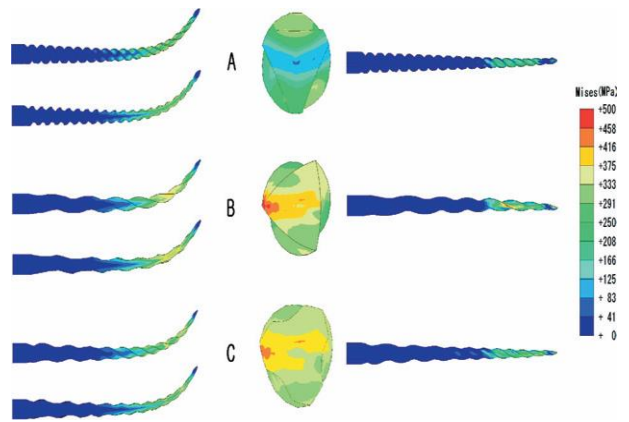
Zhang ve arkadaşları sonlu elemanlar analizi kullanarak yaptıkları çalışmalarında kanal eğesi dizaynının eğenin davranışlarını etkilediğini göstermişlerdir.<sup>30</sup>

Kim ve arkadaşları Profile, Protaper ve Protaper Universal kanal eğelerinin mekanik özelliklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, Profile eğenin en az stres gösterdiğini, Protaper'in kesici yüzeylerinde stres birikiminin daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Rezidüel

(artık) stresin en fazla Protaper eğe grubunda, onu sırasıyla Protaper Universal ve Profile eğe grubunun izlediğini göstermişlerdir (Resim 5).<sup>31</sup>



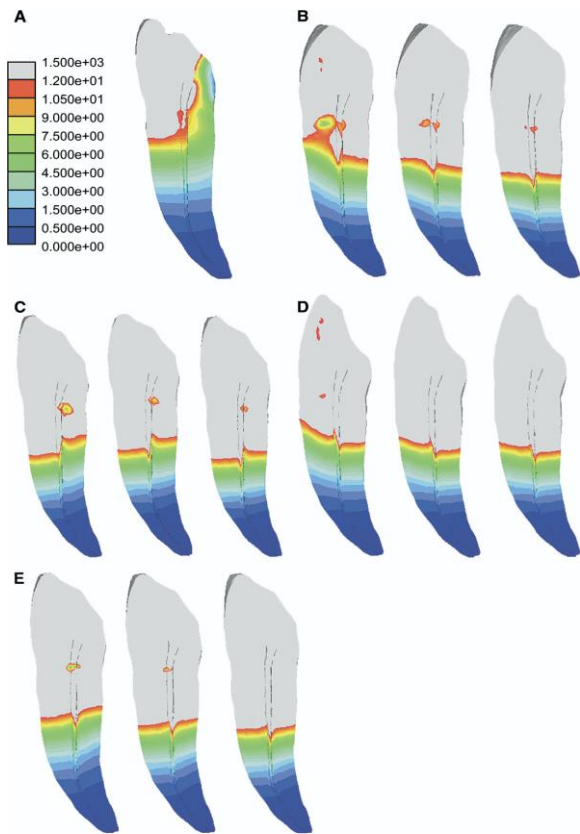
**Resim 4.** Eğelerin dönme hareketi esnasında bükülme kuvvetlerinin oluşturdukları stres dağılımı.<sup>30</sup>



**Resim 5.** (A) ProFile, maksimum residual stres 271 MPa; (B) ProTaper, 483 MPa maksimum (plastik deformasyon varlığı); and (C) ProTaper Universal, 387 MPa maksimum.<sup>31</sup>

### Eğimli kanallarda kuvvet dağılımlarının incelenmesi

Cheng ve arkadaşları farklı eğimlerde oluşturulmuş kök kanal modellerini inceledikleri çalışmalarında, dişlere farklı açılarda kuvvet uygulamışlar ve distal, mezial doğrultularda kuvvet uygulandığında en çok stresin oluştuğunu göstermişlerdir (Resim 6).<sup>32</sup>



**Resim 6.** Stres renk grafiği: (A) vertikal yükleme; (B) bukkal yükleme 30°, 45° ve 60°'lik açılarda (C) lingual yükleme 30°, 45° ve 60°'lik açılarda; (D) mesial yükleme 30°, 45° ve 60°'lik açılarda; (E) distal yükleme 30°, 45° ve 60°'lik açılarda. Renk skalası kullanılarak megapaskal (MPa) değeri bulunabilir.<sup>32</sup>

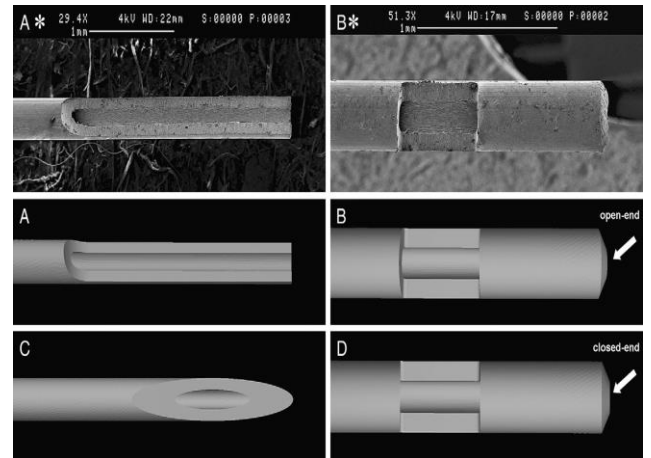
### İrigasyon iğnesi ve sıvısının kanal içindeki davranışsal özelliklerinin tespiti ve sayısal analizi

Kök kanal tedavisinde başarıyı etkileyen en önemli etkenlerden biri mikroorganizma ve toksinlerinin kök kanalından uzaklaştırılması işlemidir. Bu amaçla; kök kanal tedavisinde mekanik şekillendirme, irigasyon ve kanal içi ilaçların kullanılması ile vital ve nekrotik artıkların uzaklaştırılmasına, kök kanallarının uygun anatomik yapıda şekillendirilmesine ve mikroorganizmaların elimine edilmesine çalışılmaktadır. Mekanik preparasyonun tamamlayıcısı olarak irigasyon işleminin de uygun bir şekilde yapılması gerekir. İrigasyon sıvısının etkinliği diş kök kanalının anatomisine bağlı olmakla birlikte sıvının kanala gönderilme şekli, iğne ucunun kanal içindeki derinliği ve sıvı miktarına da bağlıdır.<sup>17, 33, 34, 35</sup>

Son yıllarda tanıtılan bilgisayarlı akışkanlar dinamiği modeli (Computational Fluid Dynamics Model) akışkan davranışlarını simüle eden güçlü bir tekniktir.<sup>36, 37, 38</sup> İrigasyon sıvısının karmaşık ve gerçeğe yakın davranışlarını matematiksel olarak modelleyen bir yöntemdir.<sup>39</sup>

Boutsoukis ve arkadaşları yeni çekilmiş bir diş üzerinde laboratuvar ortamında farklı dişhekimlerinin uygulamaları esnasında makroskopik ölçümler yaparak akış ve basınçta farklılıklar gösterdiğini ve bunun irigasyon işleminin verimliliğini etkileyebileceğini tespit ederek hesaplamalı akışkanlar dinamiği tekniklerini kanal irigasyon işlemine uygulamıştır.<sup>39, 40</sup>

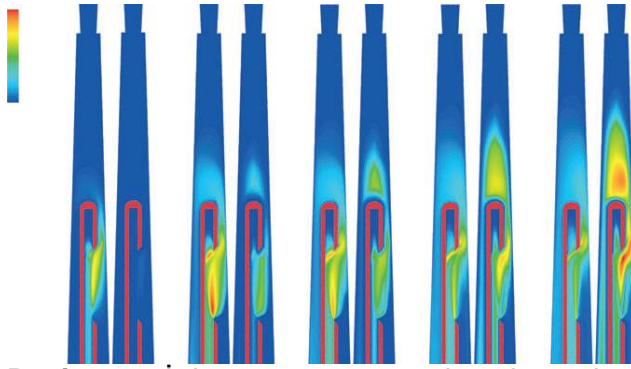
Modellenmiş kesik koni şeklindeki üç boyutlu modeller üzerindeki çalışmalarda irigasyon işleminin verimliliğine farklı iğne tasarımlarının etkisi araştırılmıştır.<sup>5, 6</sup> Bununla birlikte iğnelerin kanal içindeki konumlarının etkisi ve kanal geometrisindeki değişikliklerin etkisi de incelenmiştir (Resim 7).<sup>41, 42, 43</sup>



**Resim 7.** Modellenmiş iğneler, SEM resimleri of (A\*) çentikli iğne (Appli-Vac) and (B\*) bir yandan delikli ve ucu kapalı iğne (Vista-Probe); CAD model of (A) Çentikli iğne, (B) bir yandan delikli ve ucu açık iğne, (C) açılı iğne, and (D) bir yandan delikli ve ucu kapalı iğne.<sup>41</sup>

Shen ve arkadaşlar çalışmalarında en yüksek basıncı açılı iğnede, en düşük basıncı ise bir yandan delikli ucu kapalı iğnede tespit etmişlerdir.<sup>41</sup>

Boutsoukis ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada irigasyon sıvısının iğneyi terk ettiği alanlarda stresin daha fazla olduğunu göstermişlerdir (Resim 8).<sup>3</sup>



**Resim 8.** Irrigasyon sıvısının iğneden çıkış alanlarında yüksek stres alanları izlenmektedir.<sup>39</sup>

Karmaşık geometrilere analitik çözüm bulmak oldukça zordur. Sonlu elemanlar analizi gibi yöntemlerle karmaşık ve zor geometriler küçük elemanlara bölünerek daha basite indirgenebilir. Her geometrik alt eleman için yükleme ve yer değiştirme arasında ilişkiyi tanımlayan bir matematiksel denklem oluşturulur. Denklemlerin çözülmesi ve birleştirilmesi gelişmiş bilgisayarlar aracılığıyla yapılır.<sup>44</sup> Sonlu elemanlar analiz yönteminde, kullanılan analizin hassasiyeti eleman sayısı ile doğru orantılıdır.

Bilgisayar yardımıyla özel programlar kullanılarak gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi uygulamaları laboratuvar ortamında yapılması zor deneyleri gerçeğe yakın şekilde yapmaya olanak verir. Sonlu elemanlar analizi çalışmalarının gerçek deneylerle desteklenmesi gerekmektedir. Gerçek sonuçlarla uyumlu olması ancak deneysel çalışmalarla değerlendirilebilir. Bu alanda daha farklı çalışmaların yapılması endodontik tedavilerin başarısı üzerine olumlu katkı sağlayacaktır.

### Kaynaklar

1. Çifter, M. Üst çene posterior dişlerinin mikro-implant destekli intrüzyonunda meydana gelen değişikliklerin sonlu elemanlar analiziyle incelenmesi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. İstanbul 2007.
2. Al-Omiri MK, Mahmoud AA, Rayyan MR, et al. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. *J Endod.* 2010;36:1439-1449.
3. Craig R. Restorative Dental Materials, 10th Ed, The C.V. Mosby Co., St. Louis, 1997.
4. Geng JP, Keson BCT, Liv GR. Application of Finite Element Analysis in Implant Dentistry: A Review of the Literature, *J Prosthet Dent*, 2001;8:585-598.
5. Lyroutdia K, Mikrogeorgis G, Bakaloudi P, Kechagias E, Nikolaidis N, Pitas I. Virtual endodontics: three-dimensional tooth volume representations and their pulp cavity access. *J Endod* 2002;28:599-602.
6. Reuben J, Velmurugan N, Kandaswamy D. The evaluation of root canal morphology of the mandibular first molar in an Indian population using spiral computed tomography scan: an in vitro study. *J Endod* 2008;34:212-5.
7. Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, Tira D. Use of cone-beam computed tomography to identify root canal systems in vitro. *J Endod* 2008;34:87-9.
8. Tzanetakis GN, Lagoudakos TA, Kontakiotis EG. Endodontic treatment of a mandibular second premolar with four canals using operating microscope. *J Endod* 2007;33:318-21.
9. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod* 2001;27:1-6.
10. Paqué F, Barbakow F, Peters OA. Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 2005;38:456-64.
11. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J* 2005;38:617-26.
12. Shen Y, Haapasalo M. Three-dimensional analysis of cutting behavior of nickel-titanium rotary instruments by microcomputed tomography. *J Endod* 2008;34:606-10.
13. 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.
14. Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J* 1999;32:165-70.
15. Gao Y, Peters OA, Wu H, Zhou X. An application framework of three-dimensional reconstruction and measurement for endodontic research. *J Endod* 2009;35:269-274.
16. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett, SE. Preparations for extensively damaged teeth. Quintessence, Chicago, 1997.
17. Çalışkan MK. Endodontide tanı ve tedaviler. Nobel tıp kitapçevleri, İstanbul, 2006.
18. Heydecke G, Butz F, Strub JR. Fracture strength and survival rate of endo-dontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: An in-vitro study. *J Dent* 2001;29:427-433.
19. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed Prosthodontics, 2nd. Ed, The C.V. Mosby, St. Louis, 1995.
20. Koutayas SO, Kern M. All-Ceramic Post and Cores; The State of The Art, Quintessence Int, 1999;30:383-392.
21. Robbins JW. Restoration of the Endodontically Treated Tooth, *Dent Clin North Am*, 2002;46, 367-384.
22. Li LL, Wang ZY, Bai ZC, Mao Y, Gao B, Xin HT, et al. Threedimensional finite element analysis of weakened roots restored with different cements in combination with titanium alloy posts. *Chin Med J (Engl)* 2006;119:305-311.
23. Cailloteau JG, Rieger MR, Akin JE. A comparison of intracanal stresses in a post restored tooth utilizing the Finite element Method. *J Endod.* 1992;18:540-4.
24. Santos AF, Meira JB, Tanaka CB, et al: Can fiber posts increase root stresses and reduce fracture? *J Dent Res* 2010;89:587-591.
25. Testori T, Badino M, Castagnola M. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: a clinical survey of 36 cases. *J Endod* 1993;19:87-91.
26. Fuss Z, Lustig J, Tamse A. Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Intl Endod J* 1999;32:283-6.
27. Bender IB, Freedland JB. Adult root fracture. *J Am Dental Assoc* 1983;107:413-9.
28. Sathorn C, Palamara JE, Messer HH. A comparison of the effects of two canal preparation techniques on root fracture susceptibility and fracture pattern. *Journal of Endodontics* 2005;31:283-7.
29. Chevalier V, Arbab-Chirani R, Arbab-Chirani S, Calloch S. An improved model of 3-dimensional finite element analysis of mechanical behavior of endodontic instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;109:111-121.

30. Zhang EW, Cheung GSP, Zheng YF. A mathematical model for describing the mechanical behaviour of root canal instruments. *Int Endod* 2011;44:72-6.
31. Kim HC, Cheung GSP, Lee CJ, Kim BM, Park JK, Kang SI. Comparison of forces generated during root canal shaping and residual stresses of three nickel-titanium rotary files by using a three-dimensional finite-element analysis. *J Endod*. 2008;34:743-7.
32. Cheng R, Zhou XD, Liu Z, Hu T. Development of a Finite Element Analysis Model with Curved Canal and Stress Analysis. *Journal of Endodontics* 2007;33:727-731.
33. Glickman GN, Dumsha TC. Problems in canal cleaning and shaping. In Gutmann JL, Dumsha TC, Lovdahl PE, Hovland EJ (eds). *Problem solving in endodontics: prevention, identification, and management*. 3th ed. St. Louis; Mosby Inc:1997.p.91-121.
34. Al-Omari MA, Bryant S, Dummer PM. Comparison of two stainless steel files to shape of simulated root canals. *Int Endod J* 1997; 30: 35-45.
35. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG. The balanced force concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 1985; 11: 203-211.
36. Tilton JN. Fluid and particle dynamics. In: Perry RH, Green DW, Maloney JO, eds. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 7th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 1999:1-50.
37. Arvand A, Hormes M, Reul H. A validated computational fluid dynamics model to estimate hemolysis in a rotary blood pump. *Artif Org* 2005;29:531-40.
38. Lecrivain G, Slaouti A, Payton C, et al. Using reverse engineering and computational fluid dynamics to investigate a lower arm amputee swimmer's performance. *J Biomech* 2008;41:2855-9.
39. Boutsoukis C, Lambrianis T, Kastrinakis E. Irrigant Flow within a Prepared Root Canal using Various Flow Rates: A Computational Fluid Dynamics Study", *International Endodontic Journal*, 2009;42:144-155.
40. Boutsoukis C, Lambrianis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P. Measurement of Pressure and Flow Rates During Irrigation of a Root Canal Ex Vivo with three Endodontic Needles. *Int End J* 2007;40:504-513.
41. 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.
42. 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.
43. 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.
44. Geramy, A. ve Morgano, S.M. Finite element analysis of three designs of an implant-supported molar crown. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2004;92(5):434-40.