

**DENEYSSEL ENDODONTİDE ÜÇ BOYUTLU REKONSTRÜKSİYON  
ÇALIŞMALARI****THREE DIMENSIONAL (3D) RECONSTRUCTION STUDIES IN EXPERIMENTAL  
ENDODONTICS**

*Özgür UZUN\**

**ÖZET**

Deneyisel endodontik çalışmalarda, kullanılan örneklerin kök kanal morfolojisinin ayrıntılı olarak bilinebilmesi önem taşımaktadır. Günümüze kadar araştırmacılar bir çok farklı teknikle kök kanal morfolojisini incelemiş ve modelleme çalışmaları yapmışlardır. Son yıllarda bilgisayar teknolojisi ve programlarının gelişmesi ile modelleme işlemleri dijital ortamda üç boyutlu rekonstrüksiyon çalışmalarına dönüşmüştür. Bilgisayar ortamında oluşturulan 3 boyutlu modellerde kullanılan programların özelliklerine göre farklı ölçümler ve incelemeler yapılabilmektedir.

Bu makalede bilgisayarda 3 boyutlu model oluşturma aşamaları ve kullanılan cihazlar, oluşturulan 3 boyutlu modellerin kullanım alanları, örnek olarak yaptığımız model üzerinde ve endodonti literatüründe konuyla ilgili yapılmış çalışmalardan örnekler verilerek anlatılmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Üç boyutlu rekonstrüksiyon, dijital ortam

**SUMMARY**

The researchers ideally should have to know the morphology of the specimen's root canal system in experimental endodontics. Researchers have been used different methods to evaluate the root canal system morphology and to form the models in their studies. In recent years computerized three dimensional reconstruction studies gained a significant importance with the developments in digital technologies. Researchers can make different analyse and measurements on three dimensional models, reconstructed with proper computer programs.

In this article, the steps for forming 3D reconstruction models and the devices necessary for this were reviewed and also the usage of 3D reconstructed models were presented with a sample model.

**Keywords :** 3D Reconstruction, Digital technologies

**Makale Gönderiliş Tarihi : 03.07.2006**

**Yayına Kabul Tarihi: 02.10.2006**

\* *GÜ Diş Hekimliği Fakültesi Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Yrd. Doç. Dr.*

Deneysel endodontik çalışmalar bilimin, klinik uygulamaların ve eğitiminin gelişiminde çok önemli yer tutmaktadır. Laboratuvar ortamında ağıza benzer koşulların oluşturulması ile gerçekleştirilen kontrollu deneylerde endodontik tedavinin bir çok aşaması taklit edilebilmekte, kullanılan enstrüman sistemlerinin ve kök kanal dolgu tekniklerinin mekanik etkileri, karşılaşılabilecek komplikasyonlar gibi bir çok olasılık incelenebilmektedir.

İn vitro çalışmalarda kullanılan örnekler, yapılan çalışmanın özelliğine göre çoğunlukla çekilmiş dişler ya da yapısal özellikleri birbirlerinin benzeri olan yapay bloklar olmaktadır. Çekilmiş dişlerin kullanıldığı çalışmalarda örnek dişlerin yapısal ve anatomik özellikleri birbirleri ile benzer olarak seçilse de tam olarak standardizasyon sağlanabilmesi olanaksızdır.

Çekilmiş dişlerin kullanıldığı, kök kanal sistemlerinin anatomik özelliklerinin incelenmesine yönelik ya da deney sonrası kök kanal morfolojisinde oluşan değişikliklerin incelendiği çalışmalarda her örneğin kök kanal morfolojisinin ayrı ayrı belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Modelleme amacıyla araştırmacılar günümüze kadar bir çok farklı teknik geliştirmişlerdir. Plastik modeller<sup>24</sup>, histolojik kesitler<sup>23</sup>, Tarama Elektron Mikroskopisi (SEM) çalışmaları<sup>14</sup>, kök kanallarının silikon ölçü maddeleri ile modelinin çıkartılması<sup>1</sup>, muflalama sistemleri ile dişlerden seri kesit alınması<sup>19</sup>, radyografik karşılaştırmalar<sup>20</sup> bunlar arasında sayılabilir.

Ölçü maddesi kullanılan tekniklerdeki materyalin yapısal olarak dar olan kök kanallarında kontrolünün zorluğu, dişlerden seri kesit alınımında oluşan maddesel kayıplar ve buna bağlı olarak muflaların bütünlüğünün tekrar oluşturulmasındaki güçlükler, radyografik tekniklerde ışın yönüne bağlı görüntü değişimleri ve elde edilen görüntülerin 2 boyutlu olmasının yetersizliği gibi sorunlar teknik araştırmaları sürekli güncel tutmuştur.

Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisi paralelinde deneysel çalışmaların birçok aşamasında dijital teknikler ağırlıklarını artırmışlardır. Üç boyutlu (3D) rekonstrüksiyon sistemleri kullanılarak bu konudaki birçok soruna çözüm bulunabilmiştir.

3D rekonstrüksiyon, görüntülenmesi istenilen örnekten alınan kesitlerin bilgisayar ortamında çeşitli programlar kullanılarak birleştirilmesi ile örneğin dijital ortamda yeniden oluşturulması işlemidir. Tıbbın ve endüstrinin bir çok alanında farklı amaçlarla 3D rekonstrüksiyon sistemlerinden yararlanılmaktadır. Endodontik çalışmalarda ise bilgisayarlı 3D rekonstrüksiyon işlemleri 1990'lı yıllarda

kullanılmaya başlanmıştır<sup>22</sup>.

## ÜÇ BOYUTLU REKONSTRÜKSİYON

### AŞAMALARI

Endodonti literatüründe 3D rekonstrüksiyon sistemlerinin kullanıldığı çalışmalar incelediğinde temelde birkaç ortak aşamadan geçilerek hazırlandıkları görülmüştür. Bu aşamalardan ilki '**Veri Toplama Aşaması**'dır. Bu evrede rekonstrüksiyonu istenilen örnekten farklı seviyelerde kesitler elde edilir. Veri edinme aşamasında uygulanan yöntemlerden biri örneklerden farklı seviyelerden kesitler alınarak bu kesitlerin büyütme altında fotoğraflanması ve elde edilen kesit fotoğraflarının dijital tarayıcılarla bilgisayar ortamına taşınmasıdır.

Bu yöntemde örneklerden kesitlerin alınmasında mikrotom cihazları kullanılmaktadır ve elde edilen kesit kalınlıkları 0.75 mm seviyesine kadar inmektedir. Rekonstrüksiyon sistemlerinde örnekten alınan kesit sayısının çokluğu; yani elde edilen kesitlerin kalınlıklarının olabildiğince az olması sonuçta elde edilen modelin asıl örneğe benzerliğinde oldukça etkilidir.

Bu yöntem ile veri toplanmasının dezavantajı, ince kesitlere ayırmadan sonra örneği tekrar bütünleştirmenin olanaksız olması ve dolayısı ile operasyon öncesi kök kanal morfolojisi ile operasyon sonrası kök kanal morfolojisini karşılaştırmaya yönelik çalışmaların mümkün olmasıdır. Bu yöntem daha çok dişlerin normal anatomik yapılarının ve kök kanal morfolojilerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemle çeşitli anomaliler ya da farklılıklar gösteren dişlerin rekonstrüksiyonlarının yapıldığı çalışmalar da mevcuttur<sup>10,11,13</sup>.

Veri elde edilmesi aşamasında en çok yararlanan teknik örneklerden bilgisayarlı tomografi (BT) kullanılarak kesitler elde edilmesidir (Resim 1). BT teknolojisi ile röntgen ışınları kullanarak istenilen örnekten cihazların limitleri dahilinde belirli kalınlıklarda kesit görüntüleri elde edilebilmektedir. Tıpta ve endüstride birçok alanda kullanılan BT teknolojisi 1990'lı yılların başında *invitro* deneysel çalışmalarda dişlerden kesit görüntüleri elde edilmesinde kullanılmıştır. Tachibana ve Matsumoto<sup>22</sup> 1990 yılında tomografinin endodontik çalışmalarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Berutti<sup>2</sup> 1993 yılında BT kullanarak dişlerden 1 mm kalınlığında kesit görüntüleri elde etmiş-



Resim 1: BT ile elde edilen 1mm lik diş kesit örnekleri (Somatom Plus X tomografi cihazı)

tır. Ardından gelen çalışmalarda ise dişlerde mine kalınlıkları, yüzey alan ve hacimleri BT kullanılarak başarıyla ölçülebilmiş<sup>21,15</sup>, elde edilen kesitlerde farklı formüllerle kök kanallarında enstrumantasyon sonrası değişimler ve transportasyon incelenmiştir<sup>6,7</sup>.

Dişlerden BT ile kesit görüntülerinin elde edilmesi tekniği, kök kanal morfolojisi hakkında ayrıntılı bilgi vermesi ve bu işlem esnasında örneklerin fiziksel bir hasara uğramaması ile 3D rekonstruksiyon çalışmalarında teknik olarak ön plana çıkmıştır.

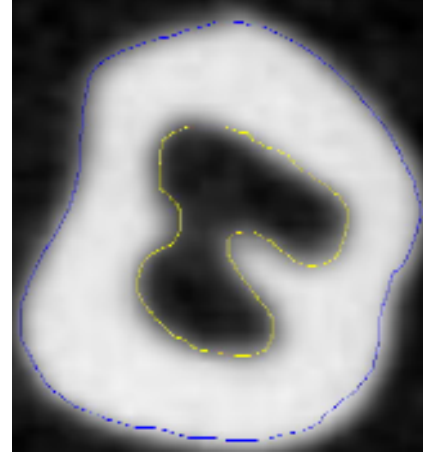
BT yi endodontik çalışmalarda kullanan ilk araştırmacılarından günümüze değin teknik ile ilgili en ciddi sorunlardan biri konvansiyonel BT nin rezolusyonunun ve odaklanmasının diş gibi küçük cisimler için yetersiz kalmasıdır. Bu yetersizlik sonucunda dişten elde edilen kesitler 1mm yada en düşük 0.6 mm kalınlığa kadar netliğini koruyarak alınabilmektedir. Bu kesit kalınlığı 2 boyutlu çalışmalar için yeterli gibi görünse de üç boyutlu rekonstruksiyon için yetersiz kalmaktadır<sup>22</sup>.

İlk kez 1999 yılında Rhodes<sup>18</sup> deneysel endodonti çalışmaları için heyecan verici bir alet' olarak tanımladığı mikrotomografi ( $\mu$ BT) cihazının prototipini örnek dişlerden kesit almada kullanmıştır. Kullanılan mikrotomografi cihazı ana parçalar olarak mikrofokal bir X ışını kaynağı, üzerine sabitlenen örneği belli açı aralıkları ile 360° lik ekseninde çeviren bilgisayar kontrollü bir motor, bir görüntü alıcısı, oluşan görüntüleri kaydeden bir CCD video kamera ve tüm bunları kontrol eden bir bilgisayardan oluşmaktadır. Oluşturulan prototip düzenekte dişlerden 81 $\mu$ m lik kesitler alınabilmektedir. Dowker<sup>6</sup> 1997 yılında yayınlanan makalesinde 5 $\mu$ m lik kesit kalınlığının ulaşılabilir bir hedef olarak gösterirken, Peters ve arkadaşları<sup>17</sup> 2000 yılında yapılan çalışmalarında 34  $\mu$ m lik kesit kalınlığını kök kanal morfolojisindeki değişikliklerin tespitinde yeterli bulmuşlardır. Günümüzde ise geliştirilen  $\mu$ BT cihazları artık bir masa üzerine rahatlıkla sığabilen, Dowker<sup>6</sup> in 1997 yılında öngördüğü gibi, 5 $\mu$ m inceliğinde kesitler alabilen ve taşınabilen portatif cihazlar haline gelmiştir.

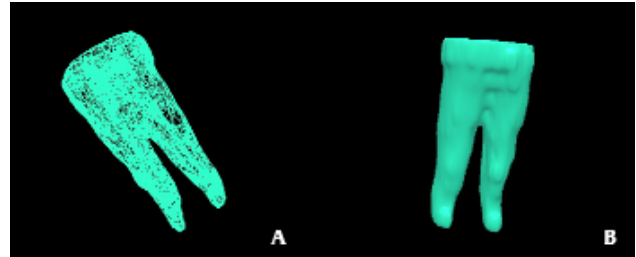
Toplanan veriler çeşitli bilgisayar programları aracılığı ile bilgisayar ortamında 3 boyutlu hale getirilmektedir bu aşama '**Rekonstruksiyon aşaması**' olarak adlandırılabilir.

Rekonstruksiyon aşamasında temelde iki yol izlenmektedir. Yüzey modellemesi (Surface Modelling) ve Katı Modelleme (Solid Modelling). Yüzey modellemesinde kesitleri oluşturan dış kenarlar her kesit için ayrı ayrı tespit edilip kesit kalınlıkları ve eksen değerleri verildikten sonra bu kenarların bilgisayar ortamında tamamlanması

ile cisim tekrar oluşturulur. Oluşturulan model Tel kafes (Wire-Mesh) modeli olarak adlandırılır. Kullanılan programın özelliğine göre farklı açılardan tel kafes modeli izlenebilir ve modelde yüzey kaplaması işlemleri yapılabilmektedir Katı modellemede ise cisim farklı hacim değerlerinden oluşmuş olarak kabul edilir ve kesitlerdeki yoğunluk farklarına göre modelleme yapılır. Günümüze kadar gelişen bir çok farklı modelleme tekniği ve bu teknik-

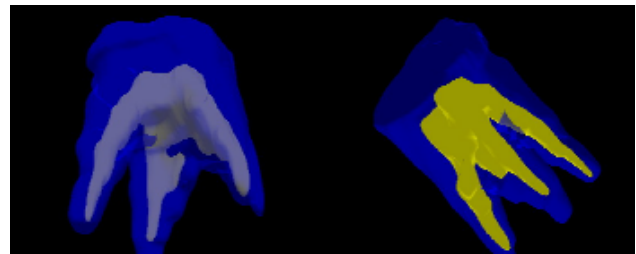


**Resim 2:** 3D rekonstruksiyon amaçlı elde edilen molar diş kesitinde dış sınırlar ve pulpa odası sınırlarının belirlenmesi (Somatom Plus X tomografi cihazı ve 3D Doctor Programı)



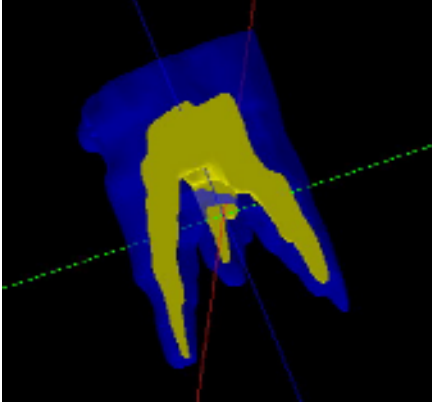
**Resim 3:** Bilgisayar programı yardımı ile rekonstruksiyonu yapılmış molar dişte A; Telkafes Wire-Frame modeli, B: aynı örnekte yüzey kaplama modellemesi. (3D Doctor Programı)

leri kullanan çok farklı bilgisayar programları araştırmacıların kullanımına sunulmuştur (Resim 2, 3).



**Resim 4:** 3D boyutlu modellemesi yapılan örnek dişte sert dokuların transparan hale getirilmesi ile kök kanal sisteminin değişik açılardan görüntülenmesi (3D Doctor Programı)

Bilgisayar ortamında uygun programlar kullanılarak modelleme işlemi bitirildikten sonra kullanılan programın özelliğine ve kullanıcının yetisine göre 3 boyutlu hale gelmiş örnekte çok farklı işlemler ve ölçümler yapılabilir (Resim 4).



Resim 5: X, Y, Z eksenleri belirlenmiş model (3D Doctor Programı)

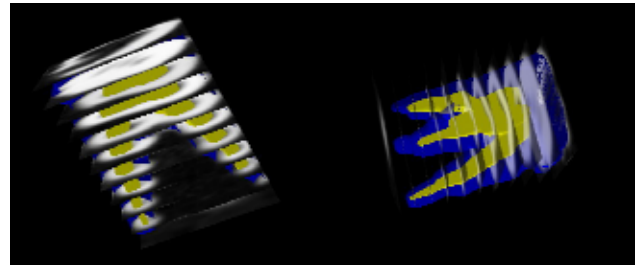
3D rekonstrüksiyon programları ile oluşturulan görüntüler bu aşamadan itibaren her 3 ekseninde de (X,Y, Z) değerlendirilebilir hale gelir (Resim 5).

Üç boyutlu modelleme yapılan örneklerde çalışmanın kurulumuna göre bir sonraki aşama **Kalitatif veya Kantitatif değerlendirme aşamasıdır. Kalitatif değerlendirme** de kök kanal sistemi morfolojisi ve dişi oluşturan yapıların makromorfolojik ve mikromorfolojik değerlendirmeleri bazı temel tanımlamalar kullanılarak yapılabilmektedir. Örnekleme gerekirse Bjorndal<sup>3</sup> mikrotomografi kullanılarak 3D rekonstrükte edilmiş maksiller molar dişleri incelediği 1999 yılında yayımlanan çalışmasında, kalitatif değerlendirme aşamasında Carlsen<sup>5</sup> in 1987 yılında yayımlanan makalesinde ortaya koyduğu tanımlamaları araştırmış; kök konikliğini, kök içeriğini, ayırma yapılarını, ana kanalı, primer ana kanalı, sekonder ana kanalı, iki sekonder kanalı birleştiren intraradiküler kanalın varlığını incelemiştir. Kalitatif değerlendirmeler dişlerin ve kök kanal sisteminin normal morfolojisini dijital ortama aktarabilmek amaçlı yapılırken, farklı morfolojik özelliklere sahip dişlerin 3 boyutlu incelenmesinde de kullanılabilir<sup>16,13,11</sup>. Elde edilen 3 boyutlu modellerin Endodonti eğitiminin her aşamasında akademisyenlere ve hekimlere fayda sağlayacağı açıktır.

**Kantitatif değerlendirme** aşamasında ise rekonstrüksiyon programlarından faydalanılarak yine programın özelliğine ve araştırmacının yetisine göre kök kanal sisteminin boyutları, kök kanal sisteminin ya da sistem içerisinde herhangi bir bölgenin hacmi, yüzey alanı, kök kanal-

larında ağırlık merkezi, transportasyonun oranı ve yönü gibi, başka metodlarla hesaplamının çok zor olduğu önemli sayısal değerlere ulaşılabilir. Kantitatif değerlendirmelerde kullanılacak bilgisayar programları günümüzde Fractal Boyut Analizleri<sup>12</sup>, SMI (Structure Model Index)<sup>8</sup>, Marching Cubes Algoritması<sup>9</sup> ve benzeri analiz sistemleri ve indeksleri kullanılmaktadır.

Rekonstrüksiyon ve sonrasındaki değerlendirmelerde kullanılan bilgisayar programları kullanıcıya modelleri her açıdan inceleyebilme, modellerde farklı yoğunluktaki bölgeleri seçip kaldırabilme, hacim verme (volume rendering), yüzey oluşturma (surface rendering), modelde ölçüm işlemleri, birden fazla modelin istenilen özellikleri-



Resim 6: Farklı görüş açılarından modeli oluşturan kesitlerin görünür hali (3D Doctor Programı)



Resim 7: Modellenen dişte program yardımı ile dişin pulpa harici bölümlerinin çıkartılması ile elde edilen pulpa modeli. (3D Doctor Programı)

nin karşılaştırılması, istenilen bölgelerin transparan yada opak hale getirilebilmesi, modellemenin yüzey modellemesi yada katı modelleme olarak yapılabilmesi imkanını vermektedir (Resim 6, 7).

DeneySEL endodontik çalışmalarda üç boyutlu rekonstrüksiyon çalışmalarının dezavantajları değerlendirildiğinde veri toplamada kullanılan cihazların ve bilgisayar programlarının maliyetlerinin yüksek olması, veri toplama-

ma aşamalarında çok dikkatli ve özenli davranılması gerekliliği (yapılacak hataların mikrodüzeyle olsa da sonuç değerlerini çok etkilemesi), araştırmacının veri toplanacak cihaza ve rekonstruksiyonun yapılacağı bilgisayar programına yüksek hakimiyetinin ve konuyla ilgili tecrübesinin gerekliliği, MicroCT kullanıldığında kesit alma süresi ve 3D rekonstruksiyonu oluşturma süresinin uzunluğu sayılabilir.

3D rekonstruksiyon çalışmalarının dezavantajları olsa da avantajlarının fazlalığı ile hem endodonti eğitim programlarına hem de yapılan deneysel çalışmalara çok büyük oranlarda katkı yapabileceği görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

1. Abou-Rass M, Jastrab RJ. The use of rotary instruments as auxiliary aids to root canal preparation of molars. *J Endodon* 8: 78-82, 1982.
2. Berutti E. Computerized analysis of the instrumentation of the root canal system. *J Endodon* 19: 237-8, 1993.
3. Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, & Kreiborg S. External and internal Macromorphology in 3D reconstructed maxillary molars using computerized X-ray Microtomography. *Int Endod J* 32: 3-9, 1999.
4. Bramante CM, Berbert A, Borges RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endodon* 13: 243-5, 1987.
5. Carlsen O. *Dental Morphology*. Copenhagen, Denmark Munksgaard 35-46, 1987.
6. Dowker SE, Davis GR, Elliott JC. X-ray microtomography : nondestructive three dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Rad Endod* 83: 510-516, 1997.
7. Gambill J, Alder M, del Rio C. Comparison of nickel titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endodon* 22: 369-375, 1996.
8. Hildebrand T, Rüegsegger P. Quantification of bone micro architecture with the structure model index. *Computer Meth Biomech Biomed Eng* 1:15-23, 1997.
9. Lorenson WE, Cline H. Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm. *Computer Graph* 21:163-169, 1987.
10. Lyroudia K, Pantelidou O, Mikrogeorgis G, Chatzikallinikidis C, Nikopoulos N. The use of 3D computerized reconstruction for the study of coronal microleakage. *Int Endod J* 33: 243-247, 2000.
11. Lyroudia K, Samakovitis G, Pitas I, Lambrianidis T, Molyvdas I, Mikrogeorgis G, 3D Reconstruction of two C-Shape Mandibular Molars. *J Endodon* 23: 101-104, 1997.
12. Mandelbrot BB. *The fractal geometry of nature*. New York, Freeman 1983.
13. Mikrogeorgis G, Lyroudia K, Nikopoulos N, Pitas I, Molyvdas I, & Lambrianidis T. 3D computer aided reconstruction of six teeth with morphological abnormalities. *Int Endod J* 32: 88-93, 1999.
14. Mizrahi SJ, Tucker JW, Seltzer S. A scanning electron microscopic study of the efficiency of various endodontic instruments. *J Endodon* 21: 561-8, 1975.
15. Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J. Microcomputed Tomography An advanced system for detailed Endodontic Research. *J Endodon* 21: 561-8, 1995.
16. Oi T, Saka H, Ide Y. Three dimensional observations of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. *Int Endod J* 37: 46-41, 2004.
17. Peters OA, Laib A, Rüegsegger P, Barbakow F. Three dimensional analysis of root canal geometry by high resolution computed tomography. *J Dent Rad* 79: 1405-1409, 2000.
18. Rhodes JS, Pitt Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Microcomputed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J* 32: 165-170, 1999.
19. Schneider SW. A comparison of the canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Rad Endod* 32: 271-5, 1971.
20. Southard DW, Oswald RJ, Natkin E. Instrumentation of curved molar root canals with the Roane technique. *J Endodon* 13: 479-89, 1987.
21. Spoor CF, Zonneveld FW, Macho GA. Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: applications and problems. *Am J Phys Antropol* 1993.
22. Tachibana H, Matsumoto K. Applicability of X-ray computerized Tomography in endodontics. *Endodon Dent Traumotol* 6: 16-20, 1990.

23. Walton RE. Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space. J Endodon 2: 304-11, 1976.
24. Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. J Endodon 1: 255-62, 1975.

**Yazışma adresi**

Yrd. Doç. Dr. Özgür UZUN  
Gazi Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi  
Diş Hastalıkları ve Tedavisi AD. Emek / ANKARA  
Tel: 0312 2126220 - 05325875319  
e-posta : drdtozguruzun@yahoo.com