

## ARAŞTIRMA

# Kök ucu açık dişlerde sonlu elemanlar analizi kullanılarak farklı yönlerden gelen travmaların oluşturduğu streslerin değerlendirilmesi

Selin Bilgin Özdemir(0000-0001-9782-6463)<sup>α</sup>, Firdevs Kahvecioğlu(0000-0003-4216-0849)<sup>β</sup>

Selcuk Dent J, 2020; 7: 318-325 (Doi: 10.15311/selcukdentj. 685347)

Başvuru Tarihi: 07 Şubat 2020  
Yayına Kabul Tarihi: 22 Nisan 2020

### ÖZ

**Kök ucu açık dişlerde sonlu elemanlar analizi kullanılarak farklı yönlerden gelen travmaların oluşturduğu streslerin değerlendirilmesi**

**Amaç:** Açık apeksli bir dişin farklı materyallerle yapılan endodontik tedavisi sonrasında oluşabilecek ikincil bir travmanın dişin hangi bölgesinde ve ne kadar yoğunlukta stres oluşturacağını sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlemektir. Aynı zamanda meydana gelen stres yoğunluklarının kullanılan kök kanal dolum materyaline göre değişip değişmeyeceği ve hangi kök kanal dolum materyalinin dişi travmaya karşı daha dayanıklı hale getirebileceği konusunda fikir sahibi olmaktır.

**Gereç Ve Yöntemler:** Çalışmamızda kök ucu açık santral dişin 3 boyutlu doku modeli oluşturularak 4 farklı diş grubu oluşturuldu. Grup 1; Sağlıklı diş modeli, grup 2; MTA ile kanal dolumu yapılmış diş modeli, grup 3; Biodentin ile kanal dolumu yapılmış diş modeli, grup 4; Gütta-perka ile kanal dolumu yapılmış diş modeli olarak simüle edildi. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak, gruplara 100 N, 500 N ve 800 N'luk kuvvetler horizontal, oblik ve vertikal yönlerde uygulandı. Uygulanan kuvvetler sonucunda diş dokularında meydana gelen von Mises stres ve deformasyon miktarları değerlendirildi.

**Bulgular:** Vertikal kuvvetler karşısında en dayanıklı dişin, MTA uygulanmış diş olduğu bulundu. Dişte oluşan stres miktarları değerlendirildiğinde, MTA'nın kullanılan diğer materyallere göre dişi travmatik kuvvetlere karşı daha dayanıklı hale getirdiği görüldü. Horizontal ve oblik kuvvetlerde Biodentin'in dişi fraktür riskine karşı yeterince güçlendirmede olduğu görülürken, vertikal kuvvetlerde iyi sonuçlar göstermiştir.

**Sonuç:** Horizontal ve oblik kuvvetler uygulandığında ortaya çıkan sonuç, travmatik kuvvetler karşısında fraktüre en dayanıklı grubun sağlıklı diş grubu olduğudur.

### ANAHTAR KELİMELE

**Dental travma, immatür diş, sonlu elemanlar analizi, stres dağılımı**

### ABSTRACT

**Evaluation of stress caused by trauma from different directions by using finite element analysis in immature teeth**

**Background:** In which region of the tooth and how intense the stress will occur in a secondary trauma that can occur after an endodontic treatment with an open apex tooth with different materials is determined using the finite element method. At the same time, it is to have an idea about the intensity of the stresses occur, depending on the root canal filling material used, and which root canal filling material can make the tooth more resistant to trauma.

**Methods:** In our study, four different groups of teeth were formed by creating a three dimensional tissue model of the teeth with open apex. It was simulated as; group 1; Healthy tooth model, group 2; The canal-filled tooth model with MTA, group 3; The canal-filled tooth model with Biodentine, group 4; The canal-filled tooth model with Gutta-percha. Using finite element analysis, 100 N, 500 N and 800 N forces were applied to the groups in horizontal, oblique and vertical directions. As a result of the applied forces, von Mises stress and deformation amounts in the teeth tissues were evaluated.

**Results:** Horizontal and oblique forces against the most resistant teeth healthy teeth, vertical forces against the most resistant teeth, MTA applied tooth was found. When the amount of stress on the teeth was evaluated, it was seen that the MTA made it more resistant to teeth against traumatic forces than the other materials used. However, since there is not enough work in the literature in this regard, more work is needed.

**Conclusion:** The most resistant group against horizontal and oblique forces was found as the Group 1, healthy dental group.

### KEYWORDS

**Traumatic injury, immature apex, finite element analysis, stress distribution**

Diş hekimliğinde, diş çürüğünden sonra acil başvuru sebeplerinden birisi de dental travmalardır. Dentoalveolar yaralanmalar; diş hekiminin tedavi konusunda zorlandığı, hem aile hem de çocuk için ileri düzeyde stres oluşturan durumlardır.<sup>1</sup> Orofasiyal komplekste meydana gelen travmalar en çok dişleri ve çevresindeki dokuları etkilemektedir. Çocukların daha fazla maruz kaldığı bu tip yaralanmalar, genellikle

düşme, şiddet, trafik veya spor kazaları nedeniyle meydana gelmektedir.<sup>2</sup>

Travmatik diş yaralanmalarının görülme sıklığı çalışmaların yapılmış olduğu ülkeye, değerlendirilen yaş grubuna, cinsiyete ve etiyolojik faktörlere göre değişkenlik göstermekle beraber genel bir kanı olarak; travmaya bağlı yaralanmalar, sıklıkla 8-12

<sup>α</sup> Özel Sadem Diş Polikliniği, Denizli

<sup>β</sup> Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı, Konya

yaş gruplarındaki çocuklarda meydana gelmektedir. En sık etkilenen dişler ise maksiller santral dişlerdir.<sup>2-6</sup>

Çocuklarda meydana gelen dental travmalar, erişkinlerden çok daha fazla önem taşımaktadır. Bunun nedeni gelişmekte olan diş ve çenelerde, travmanın dişte kırık, çatlak, kanama, şişlik ve ağrı dışında çeşitli gelişimsel bozukluklara da sebep olmasıdır. Bu aşamada travmatik etki; dişin vitalitesini ve kök gelişimini etkileyebilir ve dişin kök gelişimini durdurabilir.<sup>7</sup>

Daimi dişlerde kök gelişiminin tamamlanması, dişler sürdükten sonra yaklaşık 3 yılı bulmaktadır.<sup>7-8</sup> Bu süre zarfında dişte meydana gelen irreversibl pulpitis ya da dişin nekroze olmasına sebep olabilecek bir travma kök gelişimini etkileyebilir. Gelişimi durmuş bir dişte apikale doğru açılan kök kanal duvarlarının inceliği ve apeksin çok geniş olması yapılacak olan endodontik tedavide güçlük yaratır.<sup>1</sup>

Canlılığını kaybetmiş, kök ucu açık ve ince dentin duvarlarına sahip olan immatür dişler yapılan endodontik tedaviler sonrasında daha zayıf ve kırılabilir hale gelmektedir.<sup>9</sup> Tedavi sonrasında dişe gelebilecek bir travmanın, dişi hasara uğratmaması için kök kanal dolusunda kullanılan materyallerin dayanıklılığı önem arz etmektedir. Kök kanal dolum materyallerinin diş yapılarıyla beraber, gelen kuvvetlere karşı davranışlarının ve dental yapılarda oluşan streslerin belirlenmesi amacıyla, bu yapıların stres analizlerinin yapılması son yıllarda oldukça popülerleşmiştir.<sup>10-13</sup>

Başarılı bir restorasyon yapılabilmesi için dental materyallerin mekanik özelliklerinin, çiğneme kuvvetleri ya da travma karşısındaki stres ve gerilmelerinin net bir şekilde anlaşılması gerekmektedir.<sup>14</sup>

Bu çalışma, günümüzde geliştirilen medikal görüntüleme sistemleri ve bilgisayar programları sayesinde dişe gelen travma oluşturabilecek kuvvetlerin dişin hangi bölgesinde ve ne kadar miktarda stres ve deformasyon oluşturabileceği, oluşan stres ve deformasyonların, kanal dolum materyalinin farkına göre değişip değişmeyeceği gibi problemlerin bir ya da birden fazlasının çözülebileceği düşünüldüğü planlandı ve sonlu elemanlar analiz yönteminden yararlanıldı. Bu çalışmanın sonuçlarına göre kök ucu açık dişlerde daha başarılı kök kanal tedavileri uygulanabileceği düşünüldü.

## GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamızda 9 yaşında karışık dişlenme döneminde olan erkek hastanın dental tomografi görüntüsünden yararlanıldı. CBCT incelemesi NewTom 5G CBCT Scanner (QR, Verona, Italy) kullanılarak yapıldı. Hastaya ait görüntü 12X8 cm FOV da alındı. Aksiyel dilim kalınlığı 0.25 mm idi. CBCT görüntülerini analiz etmek için, NNT programı (QR, Verona, Italy) kullanıldı.

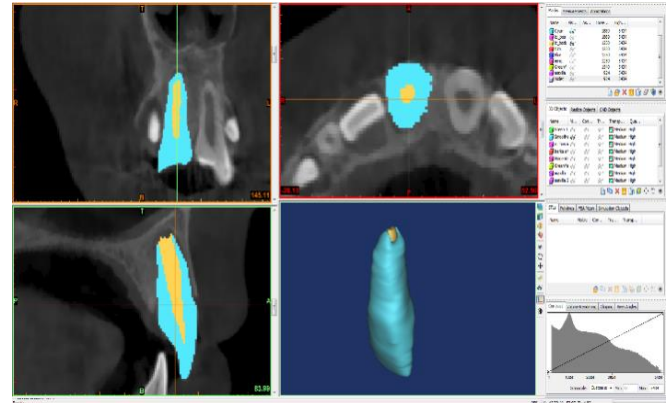
Bu çalışma için hastadan yeni bir tomografi çektirmesi istenmedi, hastanın cerrahi amaçla daha önceden çektirmiş olduğu tomografi görüntüsü incelendi (Resim 1). Elde edilen tomografi görüntüsü DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında yüksek ekran çözünürlüğüne sahip bilgisayarda medikal görüntü kontrol sistemine (Mimics 15.01, Materialise, Leuven, Belgium ve SolidWorks 2014 Premium, Concord, Massachusetts) aktararak üç boyutlu hacimsel görüntüsü elde edildi. Mimics yazılımı aracılığı ile bir dizi komut kullanılarak bilgisayarlı tomografiden elde edilen görüntünün biyomodeli elde edildi.



Resim 1.

Tomografik kesit görüntüsü

Bilgisayarlı tomografi cihazından alınan DICOM formatındaki diş ve kemik dokularının (sağ maksiller santral diş ve destek dokuları) 3 boyutlu modelinin elde edilebilmesi için Hounsfield (HU) değerlerinden faydalandı. HU değerleri program içerisinde tanımlı değerlerdir ve en küçük 226, en büyük ise 3072'dir. Bu aralıklar içerisinde elimizdeki bilgisayarlı tomografinin çözünürlüğüne göre HU değerleri belirlenerek işlem yapacağımız dişin sınır çizgileri belirlendi. HU değerleri belirlendikten sonra program otomatik olarak, belirlediğimiz bölgeye kendi maskını attı. Sonrasında sınır çizgi hataları düzenlenerek maskeleme işlemine son verildi ve 3 boyutlu görüntü oluşturuldu (Resim 2).



Resim 2.

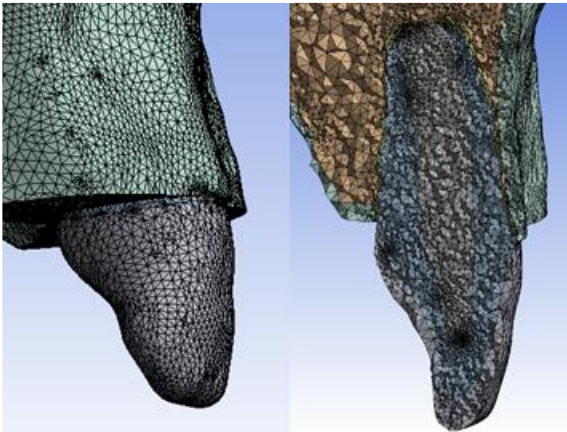
Santral dişin 3 boyutlu görüntüsü

Maksilla'nın ve dişin (mine-dentin, pulpa) nokta bulutları Mimics programından alınarak CAD programı olan SolidWorks 2014 Premium yazılımında tersine mühendislik yöntemi kullanılarak tek katı hale getirildi. Katı hale gelen parçaların yüzeylerinde geometrik hata kontrolü yapıldı ve parçalardaki hatalar nokta bulutuna uygun yeni yüzeyler atılarak düzeltildi. Mine, dentin ve maksilladaki kortikal ve trabeküler kemik, tomografi görüntülerindeki kalınlıklar referans alınarak ölçeklendirme yöntemiyle SolidWorks programında ayrı katı modeller haline getirildi. Alveolar kemik ve periodontal ligamentin kalınlıkları literatür bilgileri ışığında belirlendi.<sup>15</sup> Sement tabakası çok ince olduğu ve fiziksel özellikleri dentine benzediği için modellenmedi.<sup>16</sup>

Biri kontrol grubu olmak üzere 4 farklı grup oluşturuldu. Kontrol grubundaki diş tedavi edilmemiş kök ucu açık sağlıklı diş olarak, diğer gruplar ise farklı kanal dolum materyali (MTA; Biodentin; Güta-perka) kullanılarak kanal tedavisi yapılmış dişler olarak simüle edildi.

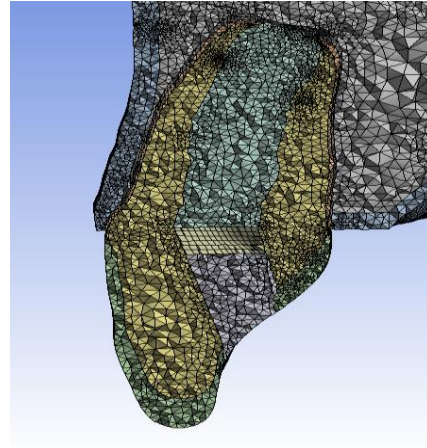
Grup 1; sağlıklı dişi, grup 2; MTA ile kanal dolumu gerçekleştirilmiş olan dişi, grup 3; biodentin ile kanal dolumu gerçekleştirilmiş olan dişi ve grup 4; güta-perka ile kanal dolumu gerçekleştirilmiş olan dişi temsil etmektedir.

Kontrol grubundaki sağlıklı diş modeli tamamen tetrahedral katı elemanlar kullanılarak mesh edildi (ağ yapısına bölündü). Çalışmada incelenen sağlıklı diş modeline ait düğüm sayısı 2 066 503 ve eleman sayısı 1 437 975 olarak oluşturuldu (Resim 3). Kanal tedavisi yapılmış olan gruplarda; kanal giriş kavitesi, uygulanacak olan restorasyon materyali, kaide materyalinin yerleştirileceği alan ve kaide materyali olan siman CAD programı olan SolidWorks Premium 2014'de yüzey modelleme yöntemiyle oluşturuldu. Kanal tedavisi yapılmış olan gruplardaki diş modeli % 99 tetrahedral ve % 1 hegzagonal katı elemanlar kullanılarak ağ yapısına bölündü. Çalışmada incelenen kanal tedavili diş modeline ait düğüm sayısı 3 592 431 ve eleman sayısı 2 501 647 olarak oluşturuldu (Resim 4).



**Resim 3.**

Sağlıklı diş modelinin mesh görüntüsü



**Resim 4.**

Kanal tedavili diş modelinin mesh görüntüsü

Çalışmamızda, uygulanacak olan kuvvetlere karşı diş dokularının nasıl cevap vereceğini belirleyebilmemiz için diş ve kemik dokularının mekanik özelliklerinden olan young's modülü ve poisson oranının bilinmesi gerekmektedir. Literatür bilgileri baz alınarak bu değerler veri olarak sonlu elemanlar programına aktarıldı. Modeldeki tüm yapılar homojen, izotropik ve elastik olarak varsayıldı (Tablo 1).

**Tablo 1.**

#### Diş ve kemik dokularının young's modülü ve poisson oranları

Materyaller	Young's modülü (E) (GPa)	Poisson oranı ( $\mu$ )	Referanslar
Mine	77.90	0.33	(Huang ve ark 2005)
Dentin	16.6	0.31	(Huang ve ark 2005)
Pulpa	0.00689	0.45	(Huang ve ark 2005)
Periodontal ligament	0.05	0.45	(Huang ve ark 2005)
Alveolar kemik	3.50	0.33	(Huang ve ark 2005)
Trabeküler kemik	0.50	0.38	(Huang ve ark 2005)
Kortikal kemik	10.00	0.26	(Huang ve ark 2005)

Daha sonra kanal dolum materyali olarak kullanılacak MTA, biodentin ve güta-perkanın mekanik özellikleri olan young's modülü ve poisson oranları programa aktarıldı. Kaide materyali olarak cam iyonomer siman ve giriş kavitesi restorasyon materyali olarak ise kompozitin mekanik özelliklerinden yararlanıldı.

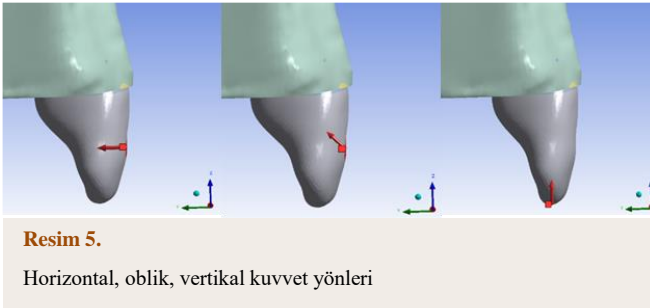
Diş, kemik dokuları ve giriş kavitesi dolgu materyali ile kaide materyalinin mekanik özellikleri olan young's modülü ve poisson oranı literatürden elde edilerek programa aktarılırken, kanal dolum materyali olarak kullanılacak olan MTA, biodentin ve güta-perkanın mekanik özellikleri ise Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden hizmet alınarak elde edildi (Tablo 2).

**Tablo 2.****Kavite ve kanal dolgu materyallerinin young's modülü ve poisson oranları**

Materyaller	Young's modülü (E) (GPa)	Poisson oranı ( $\mu$ )	Referanslar
Cam iyonomer siman	10.8	0.3	(Ichim ve ark 2007)
Kompozit rezin (Clearfil Photo Core, Kuraray, Japan)	18.600	0.26	(Adigüzel ve ark 2011)
MTA Angelus	1.13	0.4	*
Biodentin (Septodent)	1.7	0.45	*
Güta-perka	0.14	0.3	*

\*Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında test edilerek elde edilmiştir.

Oluşturulan gruptaki dişlere travmayı simüle etmesi için 3 farklı yönde ve 3 farklı miktarda statik kuvvet uygulandı. Kuvvet yönleri; Horizontal kuvvet yönü (kronun labial yüzeyinin ortasındaki 3,17 mm<sup>2</sup>'lik alana 90° açıyla), oblik kuvvet yönü (kronun labial yüzeyinin ortasındaki 3,17 mm<sup>2</sup>'lik alana dişin uzun aksına 45° açıyla), vertikal kuvvet yönü (insizal kenarın ortasındaki 0,99 mm<sup>2</sup>'lik alana 90° açıyla) olarak belirlendi (Resim 5).

**Resim 5.**

Horizontal, oblik, vertikal kuvvet yönleri

Kuvvet miktarları ise normal çiğneme kuvveti olarak nitelendirilen 100 N (Newton), parafonksiyonel kuvvet olarak nitelendirilen 500 N, ve travmatik kuvvet olarak nitelendirilen 800 N olarak uygulandı.<sup>16</sup>

Cisimlere çok eksenli yükleme yapıldığı durumlarda maddede plastik deformasyonun meydana gelip gelmediğini belirleyebilmek için, von Mises eşdeğer gerilimi rutin olarak kullanılmaktadır. Bir elementin von Mises eşdeğer gerilimi o maddenin çekme dayanımından daha yüksek seviyelerde ise bu elementte plastik deformasyonun gerçekleşmesi durumu mevcuttur<sup>17</sup> (Tablo 3).

Bu çalışmada simüle edilen diş gruplarına uygulanan farklı yönde ve farklı miktardaki kuvvetlerde, diş ve destek dokularında en yüksek stres ve deformasyonun olduğu bölgeler ile miktarları değerlendirildi. Stres dağılımı ve stres değerleri, von Mises stres kriterlerine göre değerlendirmeye alındı.

**Tablo 3.****Diş ve kemik dokularının çekme dayanımları**

Anatomik yapılar	Çekme dayanımı (MPa)	Referans
Mine	16,7	(Tanaka ve ark 2003)
Dentin	103	(Tanaka ve ark 2003)
Pulpa	2,94	(Tanaka ve ark 2003)
Kemik	123	(Tanaka ve ark 2003)

**BULGULAR**

Oluşan stres miktarları değerlendirildiğinde, genel olarak en fazla strese horizontal yönlü kuvvetin sebep olduğu görüldü. Uygulanan kuvvetler sonucunda; tüm grupta ve diş dokularında en çok deformasyona horizontal yönlü kuvvetin, en az deformasyona ise vertikal yönlü kuvvetin sebep olduğu gözlemlendi. Buna rağmen oluşan deformasyon miktarları dişte ciddi lüksasyon yaralanması oluşturabilecek düzeylerde bulunmadı.

Horizontal ve oblik yönlü kuvvetlerde dentin üzerinde oluşan stres birikiminin sağlıklı diş grubunda en az olduğu ve bu yöndeki kuvvetlerde sağlıklı dişin fraktür riskine karşı diğer gruplara göre daha dayanıklı olduğu gözlemlendi. Vertikal yönlü kuvvette ise en az stresin MTA ile kanal dolumu gerçekleştirilmiş olan dişte meydana geldiği ve vertikal kuvvet karşısında MTA'nın dişi, diğer materyallere göre daha dayanıklı hale getirdiği bulundu. Biodentin ile tedavi edilmiş diş grubunda horizontal ve oblik yönlü kuvvetlerde dentinde yoğunlaşan yüksek stres değerleri bize biodentinin diğer gruplarla karşılaştırıldığında, dişi fraktürlere karşı yeterince güçlendiremediğini göstermektedir.

Horizontal yönde kuvvet uygulandığında sağlıklı dişte minede oluşan en yüksek stres servikopalatal bölgedeyken, diğer gruplarda kuvvetin uygulandığı alan olan kronun bukkalindedir. Oblik ve vertikal yöndeki kuvvetlerde de tüm grupta minede oluşan en yüksek streslerin kuvvetlerin uygulandığı alanlarda olduğu görüldü. Çalışmamızda minede oluşan en yüksek stres değerleri, minenin çekme dayanımından fazla olduğu için stresin yoğunlaştığı bölgelerde fraktür meydana geldiği düşünülmektedir.

Gruplara 500 N ve 800 N kuvvet uygulandığında dentinde oluşan stres miktarları, dentinin çekme dayanımından yüksek olduğu için kırık oluşturabilecek büyüklüktedirler ve en yüksek streslerin görüldüğü alanlarda fraktür meydana geldiği düşünülmektedir.

Uygulanan kuvvet miktarları düşünüldüğünde kök kırığı açısından risk bulunmamıştır.

Tüm kuvvet yönlerinde, sağlıklı pulpa ve kanal dolum materyallerinde, stres kök ucunda yoğunlaşmışken, sağlıklı pulpada meydana gelen stres değerlerinin pulpada herhangi bir hasara ya da nekroze sebep olmayacağı düşünülmektedir.

## TARTIŞMA

Çalışmamızda, klinik şartlarda elde edebileceğimiz ve en sık kullanılan kanal dolum materyalleri tercih edilmiştir. Kök ucu açık dişlerde kanal tedavisi yapılırken kullanılan materyallerden günümüzde en popüler ve başarılı olarak kullanılanı MTA'dır. Yapılan bir çalışma; MTA'nın sert doku oluşumu için bir iskele sağladığını ve iyi bir biyolojik tıkaç olduğunu ileri sürerek apeksifikasyon tedavisinde kullanımını sağlamıştır.<sup>18</sup> Sonradan oluşabilecek servikal kök kırığı riskini azaltmak ve dentinin mekanik özelliklerini korumak en önemli avantajlarındanıdır.<sup>19</sup> MTA'ya alternatif olarak, güncel bir materyal olan kalsiyum silikat esaslı biodentin materyali de apeksifikasyon tedavilerinde kullanılmaktadır. Biyoaktif bir ajan olup mekanik özellikleri dentine benzemektedir.<sup>20,21</sup> Endodontik tedavilerde kanal dolum materyali olarak en sık kullanılan materyalin gütaperka olmasından dolayı bu materyal de çalışmamıza dahil edilmiştir. Kök ucu açık dişlerde termoplastik gütaperka kök kanal dolum teknikleri güncel olarak uygulanmaktadır.<sup>22,23</sup>

Endodontik olarak tedavi edilen dişlerin kırılma direnci birçok in vitro çalışmada incelenmiştir.<sup>20-23</sup> Bu çalışmalarda temel yöntem, dişte fraktür oluşana kadar dişe kuvvet uygulamak ve fraktürün olduğu kuvvet miktarlarını kaydetmektir. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz sonlu elemanlar analizi yönteminin bu in vitro çalışmalara göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bu yöntemde değişkenlerle kolaylıkla oynanabilir, insan materyaline gerek duyulmaz ve standardizasyon azami düzeyde sağlanır. Bu analiz, stres ve yer değiştirme noktalarını görselleştirmeye ve bunları daha iyi anlamamıza yardımcı olur.<sup>24</sup>

Sonlu elemanlar analizinde modeller üzerine uygulanan statik ve dinamik kuvvetler 100 N ile 2000 N arasında değişmektedir. Poiate ve ark yaptıkları bir çalışmada 100 N'luk kuvvet miktarını; çigneme kuvveti olarak, 500 N'luk kuvvet miktarını; parafonksiyonel kuvvet miktarı olarak, 800 N'luk kuvvet miktarını ise travmatik kuvvet olarak nitelendirmişlerdir.<sup>16</sup> Silva ve ark ise yaptıkları çalışmada 2000 N'luk kuvvet uygulamışlar ve bu kuvvet miktarını ağır travma olarak belirtmişlerdir. Kuvvet miktarı olarak 800 N'un uygulandığı çalışmalarda ise bu kuvvet miktarı hafif travma olarak nitelendirilmiş ve mine kırıklarının görüldüğü belirtilmiştir.<sup>16,25,26</sup>

Bir tez çalışmasında; üst santral dişlere 200 N'luk statik/dinamik kuvvet hem horizontal hem vertikal yönden uygulanmış ve oluşan von Mises stres, gerinim ve deformasyon miktarları değerlendirilmiştir. Tüm dokularda en fazla stres, gerinim ve deformasyonun horizontal uygulanan kuvvette meydana geldiği bulunmuştur.<sup>27</sup>

Silva ve ark tarafından yapılan çalışmada üst santral dişe hem horizontal hem vertikal yönden 2000 N'luk kuvvet uygulanmış ve krona en yüksek stres miktarlarının kuvvetin uygulandığı alan olan minede gerçekleştiğini bulmuşlardır.<sup>15</sup> Horizontal olarak uygulanan kuvvet, en fazla stresin minede servikopalatinal bölgede yoğunlaşmasına sebep olmuştur.

Benzer konu üzerinde yapılmış olan bir çalışmada, üst santral dişe, dişin uzun aksına 0°, 45° ve 90° açıyla 800 N'luk kuvvetler uygulanmış ve meydana gelen stresler değerlendirilmiştir. Horizontal olarak uygulanan kuvvette en yüksek stres servikopalatinal yüzeyde bulunmuşken, oblik ve vertikal uygulanan kuvvetlerde maksimum stres dağılımı, darbenin geldiği kron yüzeyinde bulunmuş fakat vertikal kuvvetin daha fazla stres birikimine sebep olduğu görülmüştür. Çalışmamızda minede oluşan stres dağılımları, bu çalışmadaki sonuçlara benzer bulunmuştur. Yine aynı çalışma, mine kırık hatlarının 50 MPa gerilme değerinde görüldüğünü söylemektedir.<sup>25</sup> Çalışmamızda sadece grup 2, grup 3 ve grup 4'e horizontal yönde 100 N'luk kuvvet uygulandığında oluşan stres değerleri 50 MPa'nın altında bulunmuştur. Bu sonuç bize uyguladığımız diğer yöndeki ve miktardaki kuvvetlerde mine kırığı oluşabileceğini düşündürmektedir. Fakat Huang ve ark'nın yaptıkları çalışmada dinamik kuvvetler uygulanmıştır ve dinamik kuvvetlerde ortaya çıkan değerler, statik analizlerden elde edilen sonuçlara göre anlamlı derecede düşüktür. Nedeni ise statik analizlerde tüm materyalin elastik olarak varsayılmasıdır.<sup>26</sup>

Poiate ve ark. yaptıkları bir çalışmada iki model oluşturmuşlar ve ilk modelde normal çigneme kuvvetini, 2. modelde maksimum çigneme kuvvetini dişin uzun aksına 45° açıyla uygulamışlar ve normal çigneme kuvvetini 100 N, maksimum çigneme kuvvetini ise 235,9 N olarak almışlardır. Minede oluşan en yüksek gerilmeler, mine-sement birleşiminde servikopalatinal bölgede yoğunlaşmış olup; ilk modelde en yüksek stres değerini 14,7 MPa, 2. modelde ise en yüksek stres değerini 40,2 MPa olarak bulunmuştur. Minenin çekme dayanımını referans göstererek 2. modelde oluşan stres miktarının servikal bölgede kırığa yani abfraksiyona sebep olabileceğini söylemişlerdir.<sup>16</sup> Çalışmamızda da benzer şekilde, minede servikal bölgelerde oluşan en yüksek stres değerleri, minenin çekme dayanımından fazladır ve buna dayanarak abfraksiyon gözlenme riski bulunmaktadır.

Stuart ve ark, farklı kanal dolun materyalleriyle 60 diş üzerinde yaptıkları bir çalışmada kök kırığının 1600 N kuvvet uygulandığında gerçekleştiğini bildirmişlerdir.<sup>28</sup> Dentinin kırılmaya karşı mineden daha yüksek deformasyon kapasitesine sahip olması kök kırığı ihtimalini azaltmaktadır.<sup>29</sup> Bu bulgu, epidemiyolojik verilerle de uyumludur. Diş travması sırasında kök kırığı prevalansının düşük olduğu bilinmektedir.<sup>30</sup> Çalışmamızda uyguladığımız kuvvetler belirtilen değerlerden daha düşük miktarlarda olduğu için kök kırığı olma ihtimali düşünülmemektedir.

Tanaka ve ark, çalışmamızda uyguladığımız tüm kuvvet yönlerinde ve miktarlarında gerilme/sıkıştırma kuvvetlerine karşı pulpada oluşan azami streslerden daha yüksek bir değere sahip olan 2.94 MPa'lık strese pulpanın dayanabildiğini bulmuşlardır. Yani 2.94 MPa'ya kadar pulpada hasar veya nekrozun olmadığını belirtmişlerdir.<sup>31</sup>

Çalışmamızda ortaya çıkan stres miktarları, mine ve dentinin çekme dayanımları referans alınarak değerlendirildiğinde; minede oluşan en yüksek stres değerlerinin yoğunlaştıkları bölgelerde fraktüre sebep olabilecekleri yani uygulanan kuvvet miktarlarının mine kırıklarına neden olabileceği düşünülmektedir. Dentinde herhangi bir kırık meydana gelebilmesi için 100 N'dan fazla kuvvet gerektiği çalışmamızın sonuçları doğrultusunda bu kırılmanın ancak 500 N ve 800 N'luk kuvvetler uygulandığında meydana gelebileceği görülmektedir.

Vertikal kök fraktürüne karşı MTA ve gütaperkanın karşılaştırıldığı bir çalışmada, MTA ile kanal dolunu yapılan dişlerde vertikal kök fraktürü riskinin daha az olduğu ve MTA'nın dişi daha dirençli hale getirdiği bulunmuştur.<sup>32</sup> Yapılan birçok çalışma MTA'nın diş kökünü fraktüre karşı daha dirençli hale getirdiği bulgusunu desteklemektedir.<sup>10,11,13,33,34</sup> Yaptığımız çalışmada da benzer şekilde vertikal yönden gelen kuvvetler karşısında dentinde oluşan stres miktarlarının, MTA ile kanal dolunu yapılmış dişte, gütaperka ile kanal dolunu yapılmış dişe göre daha az olduğu bulunmuştur.

Fraktür direncinin değerlendirildiği başka bir çalışma ise biodentin materyali ile MTA'yı karşılaştırmış ve aralarında fraktür direncine karşı anlamlı bir fark bulunmamıştır. Kanal tedavisi yapılmamış sağlıklı diş fraktür riskine karşı en dirençli bulunmuştur.<sup>35</sup> Benzer bir başka çalışmada Sornkul ve Stannard tarafından yapılmış ve endodontik tedavi yapılmamış sağlıklı diş grubunda fraktür direnci daha fazla bulunmuştur.<sup>36</sup> Bu bulguların çeliştiği yapılmış olan bir diğer çalışmada ise sağlıklı diş, biodentin ve gütaperkayı fraktür direnci açısından değerlendirmiş ve gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.<sup>37</sup> Çalışmamızda ortaya çıkan sonuçlar ise horizontal ve oblik kuvvetler karşısında fraktüre en dayanıklı dişin sağlıklı diş olduğudur. Ancak vertikal yönlü kuvvetlerde MTA ile tedavi edilmiş dişte daha az stres birikimi gözlenmiştir. Yani vertikal kuvvetler karşısında fraktüre en dayanıklı diş grubu MTA ile kanal dolunu gerçekleştirilmiş olan grup olarak bulunmuştur.

Biodentin ve MTA'nın kök fraktürü açısından değerlendirildikleri bazı çalışmalarda diş kökünü fraktüre karşı güçlendirmesi açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır.<sup>38,39</sup> Fakat Nagas ve ark'nın yaptıkları çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak biodentinin MTA'ya kıyasla diş yapısını fraktüre karşı daha dirençli hale getirdiğini vurgulamışlardır.<sup>40</sup> Biodentin ve gütaperkanın karşılaştırıldığı çalışmalarda ise diş kökünü güçlendirmesi açısından aralarında anlamlı bir fark bulunmamıştır.<sup>41,42</sup> Yapılan benzer bir çalışma biodentinle gütaperkayı fraktür direnci açısından kıyaslandığında ortaya çıkan sonuç oldukça şaşırtıcıdır. Nedeni ise fraktür direnci açısından biodentinin zayıf bir materyal olduğunun ve immatür dişlerde kanal dolun materyali olarak kullanılmasının kökü yeterince güçlendirmeyeceğinin bulunmasıdır.<sup>43</sup> Yaptığımız çalışmada bu çalışmaya benzer şekilde dentinde biriken stresin, biodentin grubu olan grup 3'te diğer gruplardan daha fazla olduğu ve biodentinin horizontal ve oblik kuvvetler karşısında diş yapısını yeterince güçlendiremediği görülmüştür.

## SONUÇ

Yaptığımız çalışmayı genel olarak değerlendirerek olursak horizontal ve oblik kuvvetler uygulandığında ortaya çıkan sonuç, travmatik kuvvetler karşısında fraktüre en dayanıklı grubun sağlıklı diş grubu olduğudur. Ancak vertikal kuvvetler uygulandığında ortaya çıkan sonuç değişmekte ve en dayanıklı dişin MTA uygulanmış diş olduğu görülmektedir. Horizontal ve oblik kuvvetlerde de biodentinin dişi fraktür riskine karşı yeterince güçlendirmediği görülürken, vertikal kuvvetlerde ise iyi sonuçlar ortaya çıkmıştır.

**KAYNAKLAR**

1. Alaçam A, 2012. Travma Nedeniyle Oluşan Diş Yaralanmaları ve Tedavileri. In: Endodonti. Eds: Alaçam T: Ankara, Mimtaş Yayıncılık, p. 985-1050.
2. Andreasen JO, 1970. Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries. A clinical study of 1,298 cases. *Scand J Dent Res*, 78, 4, 329-42.
3. Altay N, Gungor HC, 2001. A retrospective study of dento-alveolar injuries of children in Ankara, Turkey. *Dent Traumatol*, 17, 5, 201-4.
4. Saroglu I, Sonmez H, 2002. The prevalence of traumatic injuries treated in the pedodontic clinic of Ankara University, Turkey, during 18 months. *Dent Traumatol*, 18, 6, 299-303.
5. Lawley GR, Schindler WG, Walker WA, 3rd, Kolodrubetz D, 2004. Evaluation of ultrasonically placed MTA and fracture resistance with intracanal composite resin in a model of apexification. *J Endod*, 30, 3, 167-72.
6. Talati A, Disfani R, Afshar A, Fallah Rastegar A, 2007. Finite element evaluation of stress distribution in mature and immature teeth. *Iran Endod J*, 2, 2, 47-53.
7. Rafter M, 2005. Apexification: a review. *Dent Traumatol*, 21, 1, 1-8.
8. Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P, 2007. The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. *Int Endod J*, 40, 3, 186-97.
9. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC, 2002. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol*, 18, 3, 134-7.
10. Andreasen JO, Munksgaard EC, Bakland LK, 2006. Comparison of fracture resistance in root canals of immature sheep teeth after filling with calcium hydroxide or MTA. *Dental traumatology: official publication of International Association for Dental Traumatology*, 22, 3, 154-6.
11. Bortoluzzi EA, Souza EM, Reis JM, Esberard RM, Tanomaru-Filho M, 2007. Fracture strength of bovine incisors after intra-radicular treatment with MTA in an experimental immature tooth model. *Int Endod J*, 40, 9, 684-91.
12. Hatibovic-Kofman S, Raimundo L, Zheng L, Chong L, Friedman M, Andreasen JO, 2008. Fracture resistance and histological findings of immature teeth treated with mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol*, 24, 3, 272-6.
13. Cauwels RG, Pieters IY, Martens LC, Verbeeck RM, 2010. Fracture resistance and reinforcement of immature roots with guttapercha, mineral trioxide aggregate and calcium phosphate bone cement: a standardized in vitro model. *Dent Traumatol*, 26, 2, 137-42.
14. Craig RA, 1997. *Restorative Dental Materials*, St Louis: CV Mosby.
15. da Silva BR, Moreira Neto JJ, da Silva FI, Jr., de Aguiar AS, 2013. Three-dimensional finite element analysis of the maxillary central incisor in two different situations of traumatic impact. *Comput Methods Biomech Biomed Eng*, 16, 2, 158-64.
16. Poiate IA, de Vasconcellos AB, de Santana RB, Poiate E, 2009. Three-dimensional stress distribution in the human periodontal ligament in masticatory, parafunctional, and trauma loads: finite element analysis. *J Periodontol*, 80, 11, 1859-67.
17. Toparli M, Sasaki S, 2003. Finite element analysis of the temperature and thermal stress in a postrestored tooth. *J Oral Rehabil*, 30, 921-6.
18. Witherspoon DE, Small JC, Regan JD, Nunn M, 2008. Retrospective analysis of open apex teeth obturated with mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 34, 10, 1171-6.
19. Damle S, Loomba A, 2012. Apexification of Anterior Teeth: A Comparative Evaluation of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Hydroxide Paste. *J Clin Pediatr Dent*, 36, 3, 263-8.
20. Laurent P, Camps J, About I, 2012. Biodentine(TM) induces TGF-beta1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *Int Endod J*, 45, 5, 439-48.
21. Camilleri J, 2013. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent*, 41, 7, 600-10.
22. Tagger M, Tamse A, Katz A, Korzen BH, 1984. Evaluation of the apical seal produced by a hybrid root canal filling method, combining lateral condensation and thermatic compaction. *J Endod*, 10, 7, 299-303.
23. Tait CME, Ricketts DNJ, Higgins AJ, 2005. Weakened anterior roots – intraradicular rehabilitation. *Br Dent J*, 198, 10, 609-17.
24. Sreirekha A, Bshetty K, 2010. Infinite to finite: an overview of finite element analysis. *Indian J Dent Res*, 21, 3, 425-32.
25. Huang HM, Ou KL, Wang WN, Chiu WT, Lin CT, Lee SY, 2005. Dynamic finite element analysis of the human maxillary incisor under impact loading in various directions. *J Endod*, 31, 10, 723-7.
26. Huang HM, Tsai CY, Lee HF, Lin CT, Yao WC, Chiu WT, Lee SY, 2006. Damping effects on the response of maxillary incisor subjected to a traumatic impact force: a nonlinear finite element analysis. *J Dent*, 34, 4, 261-8.

27. Olsen JL, 2013. Finite Element Analysis of Maxillary Central Incisor Trauma, The University of North Carolina at Chapel Hill.
28. Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ, 2006. Reinforcement of immature roots with a new resin filling material. *J Endod*, 32, 4, 350-3.
29. Poolthong S, Mori T, Swain MV, 2001. Determination of elastic modulus of dentin by small spherical diamond indenters. *Dental materials journal*, 20, 3, 227-36.
30. Majorana A, Pasini S, Bardellini E, Keller E, 2002. Clinical and epidemiological study of traumatic root fractures. *Dental traumatology: official publication of International Association for Dental Traumatology*, 18, 2, 77-80.
31. Tanaka M, Naito T, Yokota M, Kohno M, 2003. Finite element analysis of the possible mechanism of cervical lesion formation by occlusal force. *J Oral Rehabil*, 30, 1, 60-7.
32. AM EL-Ma, Qualtrough AJ, Watts DC, 2014. Resistance to vertical fracture of MTA-filled roots. *Dent Traumatol*, 30, 1, 36-42.
33. Forghani M, Bidar M, Shahrami F, Bagheri M, Mohammadi M, AttaranMashhadi N, 2013. Effect of MTA and Portland Cement on Fracture Resistance of Dentin. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects*, 7, 2, 81-5.
34. Aksel H, Askerbeyli-Ors S, Deniz-Sungur D, 2017. Vertical root fracture resistance of simulated immature permanent teeth filled with MTA using different vehicles. *J Clin Exp Dent*, 9, 2, e178-e81.
35. Elnaghy AM, Elsaka SE, 2016. Fracture resistance of simulated immature teeth filled with Biodentine and white mineral trioxide aggregate - an in vitro study. *Dent Traumatol*, 32, 2, 116-20.
36. Sornkul E, Stannard JG, 1992. Strength of roots before and after endodontic treatment and restoration. *J Endod*, 18, 9, 440-3.
37. Di Fiore PM, Reyes A, Dorn SO, Cron SG, Ontiveros JC, 2016. Evaluation of a calcium silicate-based cement as a root reinforcement material for endodontically treated maxillary anterior teeth. *J Prosthet Dent*, 115, 1, 35-41.
38. Bayram E, Bayram HM, 2016. Fracture resistance of immature teeth filled with mineral trioxide aggregate, bioaggregate, and biodentine. *Eur J Dent*, 10, 2, 220-4.
39. Evren OK, Altunsoy M, Tanriver M, Capar ID, Kalkan A, Gok T, 2016. Fracture resistance of simulated immature teeth after apexification with calcium silicate-based materials. *Eur J Dent*, 10, 2, 188-92.
40. Nagas E, Cehreli ZC, Uyanik O, Vallittu PK, Lassila LV, 2016. Reinforcing Effect of Glass Fiber-incorporated ProRoot MTA and Biodentine as Intraorifice Barriers. *J Endod*, 42, 11, 1673-6.
41. Bin Ahmed YO, 2012. Biodentine™ as a Root Filling Material in Immature Permanent Teeth-a preliminary in Vitro study, King's Collage London.
42. Topcuoglu HS, Kesim B, Duzgun S, Tuncay O, Demirbuga S, Topcuoglu G, 2015. The effect of various backfilling techniques on the fracture resistance of simulated immature teeth performed apical plug with Biodentine. *Int J Paediatr Dent*, 25, 4, 248-54.
43. Zhabuawala MS, Nadig RR, Pai VS, Gowda Y, 2016. Comparison of fracture resistance of simulated immature teeth with an open apex using Biodentine and composite resin: An in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 34, 4, 377-82.

## Yazışma Adresi:

Dr. Öğr. Üyesi Firdevs KAHVECİOĞLU  
 Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi  
 Pedodonti Ana Bilim Dalı  
 Alaeddin Keykubat Kampüsü  
 Selçuklu, Konya  
 Tel : +90 332 223 12 90  
 Faks : +90 332 241 00 62  
 E Posta: drfirdevskahveci@hotmail.com