

FARKLI POST-CORE RESTORASYONLARIYLA RESTORE EDİLMİŞ MAKSİLLER SANTRAL DİŞLERİN ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

Yrd.Doç.Dr.Mehmet YILDIZ*

Prof.Dr.Sami AKSOY**

Prof.Dr. Nilgün SEVEN***

THREE DIMENSIONAL FINITE ELEMENT ANALYSIS IN THE MAXILLAR CENTRAL TEETH WHICH ARE RESTORATED WITH VARIOUS POST-CORE RESTORATIONS

OZET

Çalışmamızda, kuron kısmı bulunmayan santral dişlerin restorasyonu için en uygun postcore alternatifi sonlu elemanlar metodu kullanılarak araştırılmıştır.

Santral diş köklerinden oluşan ömeklere, bilgisayar ortamında kanal pini (kök ankeri), dentin pini ve corono radicular tekniği uygulanmıştır. Ayrıca bu ömekler, amalgam, ışıkla sertleşen kompozit ve geleneksel cam iyonmerle restore edilmiştir.

Sonlu elemanlı stres analizi için, standart ölçülere uyularak santral dişin dört katı büyüklükte mumdan modeli hazırlanmıştır. Bu mum modeldeki değerler, SAP 90 paket program gerekleri yerine getirilerek bilgisayar ortamına aktarılmış ve böylece santral diş üç boyutlu hale dönüştürülmüştür. Daha sonra mekanik stres analizinde kullanılan yöntemler şekillendirilerek 9 model elde edilmiştir. Sonuçlar, gerilme değerleri ile bu değerlerin gerilme dağılımı veren çıktılar biçiminde alınmıştır.

Sonlu eleman stres analizi yardımıyla elde edilen gerilme değerlerine göre, en başarılı modelin amalgam ve dentin pini, en başarısız modelin ise cam iyonmer ve postlu model olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Post -core restorasyonlar, Sonlu elemanlı stres analizi

SUMMARY

This study attempted to investigate the most suitable postcore for the restoration of the central teeth without crown by using finite element methods. Canal post (radix anchor), dentine pins and coronal radicular techniques were used for the restoration of the samples of roots of central teeth. These samples were restored alternately by silver amalgam, light cured composite and conventional cam ionomer.

Based on standard measures, to obtain data for a finite element method. The data obtained from the measurements of this wax model were transferred to a computer and used the Sap 90 program to obtain a three-dimensional central tooth figure. The stress values were calculated, and their distribution were digitized by the mentioned computer program.

According to the results of stress values obtained by finite element method, the most successful model was amalgam-dentine pin model while the cam ionomer post model presented itself as the poorest one.

Key words: Post-core restorations, Finite element method

GİRİŞ

Post veya pin gibi tutucu elemanların kullanımının amacı, diş eti seviyesine kadar inmiş doku harabiyetinde geri kalan diş yapısından faydalanmak suretiyle üst yapıyı restore etmektir.³ Endodontik tedavi veya bir başka nedenle devitalize olmuş dişin başarılı bir şekilde restorasyonu diş hekimi için başarılması zor bir konudur. Endodontik olarak tedavi edilmiş diş kronolojik olarak yaşlı bir dişe benzer. Nem oranının düşük olması ve koronal dentin yokluğu nedeniyle bu dişler potansiyel olarak kök ve klinik kuron fraktürlerine hazır durumdadırlar. Amalgam veya kompozit dolgularda sağlam diş dokularının yetersizliği ve diş dokularının retentif özelliklerini kaybetmeleri nedeniyle kırılma gerçekleşebilir. Bu kırılmalar sekonder çürüklere neden olabilir. Tekrar dişler restore edilmek istendiğinde bu defa

daha büyük kaviteler açmak gerekir. Bu aşamada tutuculuğu sağlamak için Dentin pinleri gibi yardımcı tutucu elemanlara gereksinim duyulur.^{7,13}

Çürük ve benzeri sebeplerle aşırı derecede sağlam dokusunu kaybetmiş dişlerde restorasyonun tutuculuğunu sağlamak için kanal pini, dentin pini gibi çeşitli yollara başvurulur. Coronal radicular amalgam veya corona radicular dowel diye adlandırılan teknik kanal ağızlarını da içine alan bir tutucu kavite şeklidir. Çalışmamızda yukarıda anlatılan alt yapı alternatifleri amalgam, kompozit ve cam iyonmerle restore edilmiştir.^{1,9}

Post core restorasyonların performansı çeşitli stres analiz yöntemleriyle belirlenebilir. Bu yöntemlerden biride sonlu elemanlı stres analizidir. Sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method) temel olarak bir yapının çok sayıda elemana (finite elements) ayrılmasına ve bu elemanların karakteristikleri göz önünde tutularak

* Atatürk Üniv. Diş Hek Fak. Diş Hastalıkları ve Tedavisi A.B.D.

**9 Eylül Üniv. Makine Mühendisliği

*** Atatürk Üniv. Diş Hek Fak. Diş Hastalıkları ve Tedavisi A.B.D.

yapının genel karakteristiklerinin belirlenmesine dayanan matematiksel bir modelleme tekniğidir. Sonlu Eleman Modelinin doğuş nedeni mühendislik uygulamalarında karşılaşılan zorluk olmuştur. Mühendislik yapıların tamamı analitik formülasyona ya da her koşulda denemeye uygun değildir.

Dolayısıyla, yapıların çeşitli çalışma koşulları altındaki davranışlarını belirlemek de kolay olmamaktadır. Sonlu Elemanlar Yöntemi bu durumda devreye girmekte ve modellenen yapı sanki bir etki altındaymış gibi incelenebilmektedir. Ayrıca yapıların özellikle dinamik zorlamalar altında önem gösteren doğal frekans (natural frequency) ve biçim şekli (mode shape) gibi özellikleri de kolaylıkla bulunabilmektedir.¹⁴

Bazı objelerin tanımlanmaları düzgün olmayan geometrileri, karmaşık yükleme tarzları, malzemenin lineer veya homojen olmaması, karmaşık sınır koşulları gibi nedenlerle imkansız olabilmektedir. Uygulamada karşılaşılan pek çok boyutlandırma probleminin çözümü için diferansiyel denklemler yetersiz kalmaktadır. Bu gibi durumlarda devreye sonlu elemanlar metodu girmektedir.

Sonlu elemanlar metodunda modellenecek yapıdan matematiksel, farazi ve çizgisel bir ağ geçirilir. Bu ağı belirleyen çizgi veya yüzeyler arasında kalan sürekli ortam parçalarına "sonlu eleman" denir.

Eleman çevresindeki ağ da eleman sınırları olmaktadır. Ayrıntıların kesişme noktalarına "düğüm noktaları" denir. Elemanların birbirlerine sınırları üzerinde yerleşmiş bu düğüm noktaları ile bağlı oldukları varsayılacaktır.¹⁷ Sonlu elemanlar yöntemi genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

1. İncelenen yapı, yani sürekli ortam (bir, iki veya üç boyutlu) belirli sayıda sonlu elemana ayrılır. Araştırmamızda üç boyutlu sonlu elemanlar kullanılmıştır. Bu elemanlar sekiz köşeli prizmatik elemanlar olarak seçilmiştir. Fakat aynı yapı üzerinde birden fazla değişik elemanlar da kullanmak mümkündür.

2. Bu elemanların birbirleriyle düğüm noktalarında bağlandığı kabul edilir.

3. Her bir sonlu eleman içinde, yer alan değişkenlerini, düğüm noktaları cinsinden tanımlayan fonksiyonlar yazılır.

4. Her bir elemanın sınırları veya düğüm noktaları üzerindeki yüklerde gözönüne alınarak elemanların "katılık" matrisleri bulunur.

5. Her sonlu eleman için ayrı ayrı yazılan katılık matrisleri bütün sistemi ifade edecek şekilde birleştirilir ve tek bir katılık matrisi elde edilir.

6. Sınır koşulları da gözönüne alınarak çözüm ve değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerleri bulunur.

7. Değişkenlerin düğüm noktalarındaki değerinden malzeme veya incelenen sistemle ilgili diğer denklemde kullanılacak aranan diğer bilgiler elde edilir.

Bu yöntem matematiksel çözümü elde edilemeyen sistemlerin aranan değişkenlerinin saptanmasında yararlanan bir yaklaşık çözüm yöntemidir.⁵

Bir çok araştırmacı tarafından postların ve correlam dişlerde oluşturdukları stres durumları sonlu eleman kullanılarak analiz edilmiştir. Postların kanal içinde oluşturdukları stresler çeşitli periodontal destek düzeylerinde incelenmiştir.^{2,5,6,11}

MATERYAL VE METOD

Çalışmamızda travma veya çürük nedeniyle mine sement hududuna inmmiş kuron harabiyesinde, restorasyon için başvurulabilecek post (alt yapı) ve core (üst yapı) alternatifleri incelenmiştir. Amaç klinik kuron yerine gelecek üst yapının hem dirençli ve hem de kalıcı olanının seçilmesidir. Bunun için sonlu elemanlar metodundan faydalanılmıştır. Bu metodda objeler bilgisayar ortamında, özel paket program yardımıyla iki veya daha fazla boyutlu olarak modellenmekte ve bu modellere farazi kuvvetler uygulanarak gerilme türü değerler görüntülü ve sayısal çıktılar şeklinde alınmaktadır.

Bu araştırmada üst santral keser dişte aşırı madde kaybı durumunda restorasyon alternatifleri tutuculuk ve dayanıklılık açısından üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu yöntemde de mekanik stres analizlerinde olduğu gibi, çiğneme kuvvetine karşılık gelmek üzere, modele en üst diliminden homojen bir şekilde 3469 N'luk çiğneme kuvveti uygulanmıştır. Model normal diş boyutlarının 4 katı olacak şekilde oluşturulduğundan, kuvvet 4 katı büyüklükte uygulanmıştır. Bu değer 4'e bölünüp kg olarak ifade edilince 22 kg'a karşılık gelmektedir. Elde edilen gerilmeler diş dokuları ve restorasyon malzemelerinin mukavemet değerleriyle karşılaştırılarak restorasyon yapılan dişlerde kuvvetleri en iyi bir şekilde tolere edebilecek model araştırılmıştır.

Sonlu eleman metodu ile çalışılırken diş hakkında aşağıdaki varsayımlar kabul edilmiştir.

1. Diş boyutları kişiden kişiye farklılıklar arz etmekle birlikte çalışmamızda yararlanacağımız ölçümleri Wheeler'in⁸ diş atlasından temin ettik.

2. Diş kompleks ve anizotropik bir yapıya sahiptir. Ancak bu çalışmada diş elastik, homojen ve izotropik bir sürekli ortam olarak kabul edildi.

3. Periodontal ligament ve sement çok ince ve gerilme dağılımına olan etkisi çok küçük olduğundan çalışmada dikkate alınmadı.

4. Pulpa yumuşak bir yapıda olduğundan ve diş malzemesiyle kıyaslandığında gerilme dağılımına etkisinin çok düşük düzeyde olması nedeniyle tamamen boş kabul edildi (E=0).

5. Diş kökünün temasda bulunduğu kemik yapısı sabit kabul edildi.

6. Diş restorasyonunda kullanılan bütün malzemeler post, pin, kompozit vb. homojen ve izotropik kabul edildi.

Yukarıda anlatıldığı şekliyle invitro çalışmada kullanılan bütün ölçüm ve kuvvet değerlerine sadık kalmak şartıyla sonlu eleman metodu için modelleme işlemine başlanmıştır. İlk adım olarak santral dişin modellenmesine başlanmıştır. Diş ölçülerini aslına uygun bir şekilde bilgisayar ortamına aktarabilmek amacıyla maksiller santral dişin mumdan bir modeli elde edildi. Bu maksatla standart değerlere ulaşmak için Wheeler'in diş atlasına başvurulmuştur. Buradaki diş boyutu ölçümleri rehberliğinde dişin mumdan 4 (dört) kere büyütülmüş modeli elde edilmiştir.

Tablo 1. Sonlu eleman stres analizi sonuçları

Modeller	Gerilmenin Kritik Öldüğü Dişin Noktası	Gerilmenin Meydana Geldiği yer	Gerilme değeri (N/mm ²)
Final (D. pin-Amalgam)	387	Pulpa ortasındaki kritik gerilme noktasında	-133
Picam (D. pin-Pocam)	387	Pulpa ortasındaki kritik gerilme noktasında	-101
Picam (B. pin-Cam İon.)	387	Pulpa ortasındaki kritik gerilme noktasında	-92
Kaçam (Cor.Rad.-Amal.)	214	Kavite tabanıyla kanalın kesiştiği noktada	822
Kaçam (Cor.Rad.-Kompoz.)	214	Kavite tabanıyla kanalın kesiştiği noktada	859
Kaçam (Cor.Rad.-Cam İon.)	214	Kavite tabanıyla kanalın kesiştiği noktada	920
Final (Post-Amalgam)	325	Postun dişin üst. yüz.	-1640
Final (Post-Kompozit)	325	Korona dişin üst. yüz.	-659
Final (Post-Cam İon.)	325	Postun dişin üst. yüz.	-1780
Pocam (Post-Kompozit)	325	Korona dişin üst. yüz.	-800
Pocam (Post-Cam İon.)	325	Postun dişin üst. yüz.	-1960
Pocam (Post-Cam İon.)	325	Korona dişin üst. yüz.	-1000

Modelleme işlemine santral dişin modellenmesi ile başlamıştır. Bu maksatla standart değerlere ulaşmak için Wheeler'in diş atlasına başvurulmuştur.⁸ Diş modelini hazırlarken, dişin uzun ekseninden veya bir başka ifadeyle modelle-

mede kullanacağımız "z" ekseninden bir metal eksen geçirilmiştir. Burada amacımız kesitlerde modellemenin rehber noktasını teşkil edecek olan "z" eksenini tam olarak tesbit etmektir. Mum model daha sonra çeşitli kalınlıklarda 8 dilime ayrılmıştır. Dilimlerin her biri belli sayıda elemandan oluşmaktadır. Dilimlerdeki elemanların sayı ve içerikleri diş modelini oluşturacak şekilde bir araya gelmiştir (Tablo 2). Bu dilimlerin şekilleri gerçek boyutlarında kağıda aktarılmıştır. Bu çizimler üzerinde her bir elemanın şekli ve sınırları belirlenmiştir. Elemanların x, y ve z olmak üzere üç boyutta koordinatlarının olduğu kabul edilmiş ve bu koordinatlara rasgelelen düğüm noktalarındaki değerler "SAP90" isimli sonlu eleman paket program gereklileri yerine getirilerek bilgisayara yüklenmiştir.

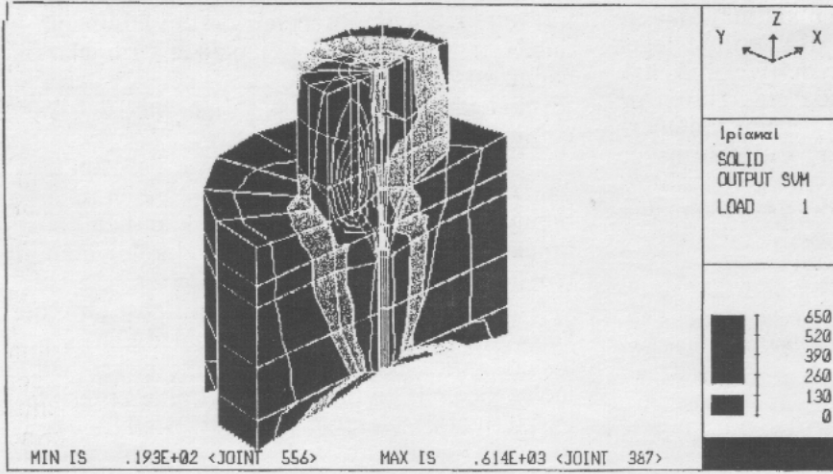
Tablo 2. Modeli oluşturan dilimlerdeki eleman sayı ve özellikleri

Dilim numaraları	Eleman sayısı	Eleman örneği
1. ve 2. Dilim	16	Dentin
3., 4., 5. ve 6. Dilimler	32	Dentin
	8	Post-pin
7. Dilim	8	Post-pin
	48	Core
8. Dilim	56	Core

Kanal pinli, dentin pinli coronal radiküler kaviteli üç ana model (1po, 1pi, 1ka) elde edildikten sonra core'u oluşturan elemanlara kompozit, amalgam ve cam iyonerin özellikleri yüklenerek alt gruplar oluşturulmuştur (1 piamal, 1 picom, 1 picam, 1 kaamal, 1 kacom, 1 poamal, 1 pocom, 1 pocam).

Yukarıda anlatıldığı şekliyle dişin modelleme işlemi tamamlandıktan sonra araştırmamızın konusuna uygun olarak modelleme üzerinde bir dizi manuplasyona gidilmiştir. Öncelikle diş modelinin bizim çalışmamızda yok farzedtiğimiz mine sement birleşiminin 1 mm altına kadar ki kuron kısmı modelden çıkarılmıştır.

Bu aşamadan sonra pulpa odasını oluşturan elemanlarda uygun değişikliklere gidilerek önce post'un daha sonra da sırasıyla labiale ve linguale yerleştirdiğimiz dentin pinlerinin ve kanal ağızlarında oluşturduğumuz corona radiküler kavitenin modellemesine geçilmiştir.



Şekil 1. Piamal (Dentin pini-amalgam core) modelinde kuvvet dağılımı

Yeni modelimizde her bir elemanı oluşturan malzemenin Young modülleri ve Poisson oranları bilgisayara girilmiştir. Böylece çalışmamızı oluşturan üç ana model elde edilmiştir. Ancak çalışmamızın birinci kısmından hatırlanacağı üzere core sadece bir restorasyon maddesinden oluşmakta, sırasıyla; amalgam, ışıkla sertleşen kompozit ve bir metal ilaveli cam iyonmer olan Ketac Fill olmak üzere üç dolgu maddesinden oluşmaktaydı. Bunun için modellerin core'u oluşturan elemanlarına bu dolgu maddelerinin özellikleri yüklenerek model sayısı dokuza çıkarılmıştır. Modellerin tamamı, atlanmadan oluşturulduktan sonra modellerin herbirine eşit olmak üzere ortalama bir kuvvet modellerin en üst diliminden dengeli bir biçimde uygulanmıştır. Kuvvet dik olarak uygulanmıştır. Sonuçlar Sap 90 bilgisayar paket programına ekli Saplot çizim programının oluşturduğu gerilmeleri gösteren renkli şekiller ve Sap 90 programının gerilme değerlerini veren çıktıları şeklinde alınmıştır. "Saplot" programı yardımıyla elde edilen şekillerin fotoğrafları çekilmiştir. Her bir elemanda oluşan gerilme değerleri o elemanı oluşturan malzemenin çekme ve basma değerleri de göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Bu değerler grafiklere dönüştürülmüştür.

BULGULAR

Kanal pinli, dentin pinli ve coranal radiküler kaviteli üç ana model (Ipo, Ipi, Ika) elde edildikten sonra core'u oluşturan elemanlara kompozit, amalgam ve cam iyonmerin özellikleri yüklenerek alt gruplar oluşturulmuştur. (Ipocom, Ipicom, Ikaacom, Ipoamal, Ipiamal, Ikaamal, Ipocam, Ipicam, Ikaacam) En yukarıdaki dilimden homojen bir şekilde kuvvet uygulanmıştır. Analizler gerilme değerleri dağılım eğrileri yardımıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar Tablo 1'deki gibi olmuştur.

Tablo 3. Modeli oluşturan elemanların özellikleri

Modeli Oluşturan Malzemeler	Young Modülü (Mpa)	Poisson Oranı
Amalgam	0.346×10^3	0.35
Cam iyonmer	0.495×10^4	0.30
Kompozit	0.169×10^3	0.24
Titanyum	1.12×10^7	0.35
Paslanmaz çelik	0.21×10^6	0.33
Dentin	0.189×10^3	0.31
Akril	0.21×10^4	0.29

Üç ana grupta da (Post, Pin, Kavite) ideal alternatifi ortaya koymak için, söz konusu malzemelerin elastiklik modüllerini göz önünde bulundurmadan kritik noktalardaki gerilmelere bakacak olursak yanılabiliriz. Kuvvet altında dişin (dentin) ve restorasyon malzemesinin birlikte şekil değiştirmesi ancak elastiklik modülleri birbirine yakınsa mümkün olabilecektir. Bu gerçeğin ışığında dentinle kompozitin elastiklik modülleri birbirine yakın veya birbirine eşit olduğundan yukarıdaki sonuçlara rağmen kompozitin tercih edilebileceği sonucuna varabiliriz.

Son bir değerlendirme core'larda meydana gelen gerilmelerle, o core'ları meydana getiren malzemelerin maksimum dayanmaları arasında yapılmıştır. Böylece restorasyonların kuvvet karşısında nasıl davranacakları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Core materyallerinin maksimum dayanımları Tablo 4'deki gibidir. Bu değerlere göre post-amalgam core modelinde gerçek gerilme yaklaşık -200 N/mm^2 dir. Bu değer amalgamın maksimum dayanımının yarısı kadar olması nede-

niyle sonuç uygundur. İki kat emniyet sunmaktadır. Postkompozit core modelinde meydana gelen gerilme -237.5 N/mm^2 dir. Bu gerilme değerleri kompozitin dayanım değerleriyle uyumaktadır. Post-cam ionomer core'da elde edilen gerilme değeri -220 N/mm^2 dir. Cam ionomerin maksimum dayanımının bir kaç katı olan bu gerilme değerleri cam ionomerin core materyali olarak kullanımının uygun olmadığı sonucunu vurgulamaktadır.

Tablo 4. Corelarda meydana gelen gerilme değerleri ve bu değerlerin coreları oluşturan malzemelerin maksimum dayanımlarıyla karşılaştırılması.

Modeller	Coreda oluşan kritik gerilme değerleri	Yorum	Core'u oluşturan malzemelerin maksimum dayanımları
POAMAL	-200.0	İki kat güvenli	Amalgamın M.D.
KAAMAL	-90.0	Başarılı	400 N/mm ²
PIAMAL	-100.0	Başarılı	
POCOM	-237.5	Başarılı	Kompozitin M.D.
PICOM	-115.0	Başarılı	-130 N/mm ² ile -250 N/mm ² arası
KACOM	-75.0	Başarılı	
POCAM	-220.0	Başarısız	Cam ionomerin M.D.
PICAM	-165.0	Başarısız	-50 N/mm ² ile
KACAM	-82.5	Başarısız	-75 N/mm ²

Corona radikuler-amalgam core modelde meydana gelen gerilme yaklaşık olarak -90 N/mm^2 dir. Amalgamın 400 N/mm^2 olan maksimum dayanımının çok altındadır. Dolayısıyla başarılıdır. Kompozit core'da gerilme değeri kompozitin maksimum dayanımından çok düşük olması nedeniyle bu alternatifte başarılı kabul edilmiştir. Ancak cam ionomer core'da cam ionomerin maksimum dayanımının çok altındaki değerleri (-82.5 N/mm^2) bu alternatifin başarısız olduğunu ortaya koymaktadır.

Dentin pini-amalgam core modelinde meydana gelen gerilme -100 N/mm^2 dir. Bu değer amalgamın normal dayanımının altında olduğundan başarılıdır. Dentin pini-kompozit core modelde meydana gelen -115 N/mm^2 gerilme değeri kompozitin dayanımından küçük olduğundan başarılıdır. Dentin pini-cam ionomer core modelinde ise diğer bütün modellerde olduğu gibi oluşan gerilme değerleri (-165 N/mm^2) cam ionomerin maksimum dayanımının üstündedir. Dolayısıyla dentin pinli modellerde de en başarısız alternatifin cam ionomer olduğu görülür.

TARTIŞMA

Sonlu elemanlı stres analizinde elemanlara bölünmüş modelde her bir elemana gelen yük ve bu yükün oluşturduğu gerilmeler hesap edilmiştir.

Elemanı oluşturan malzemenin çekme ve basma kuvvetlerine karşı dirençleri de bilindiğinden bu değerleri asan gerilmeler elemanda kırılmalar olacağını gösterir. En yüksek gerilme değerleri hangi modelde oluşursa en başarısız model o kabul edilmiştir.

Analiz sonucunda en başarılı üst yapı amalgam core olurken, Cam ionomer core en başarısız bulunmuştur. Dentin pinli örnekler hem postlu örnekler ve hem de coronal radikuler tekniklere göre daha başarılı bulunmuşlardır.

Yaman ve arkadaşları¹⁴ altın post-altın core ve çelik post-kompozit core uyguladıkları santral dişleri ayrıca porselenle kaplanmış çeşitli yüklemeler yaparak gerilme değerleri elde etmişlerdir. Farklı malzemelerden yapılmış postlara (çelik-titanyum) çeşitli kuvvetler uygulayarak aralarındaki farklılığı ortaya koymaya çalışmışlardır. Titanyum post-kompozit core ve titanyum post-amalgam core'u gerilme değerleri yönünden karşılaştırdıklarında titanyum post-amalgam core'a ait değerler daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Yaman ve arkadaşlarının¹⁶ bir başka çalışmasında ise çelik ve titanyum post uygulanmış santral diste gerilme dağılımını incelemişlerdir. Bu çalışmada post çapıyla gerilme miktarının arttığını yük miktarıyla kırılma olasılığının doğru orantılı olduğunu tespit etmişlerdir. Çelik ve ya titanyum postun farklı sonuçlar vermediğini belirtmişlerdir.

Bizim çalışmamızda da en küçük gerilme değerleri core'lara aitti. Dolayısıyla sonlu eleman metodu sonuçlarına göre amalgam en başarılı core materyali olmuştur. Sonuç Yaman ve arkadaşlarının çalışmalarıyla paralellik göstermektedir.

Peters ve arkadaşları¹⁰ post-core restorasyonlarda stres dağılımını incelemişlerdir. Post şeklinin boyunun çapının ve siman özelliklerinin kuvvet dağılımına etkisini postun simantasyonunda kullanılan malzemenin Çok önemli olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kritik gerilmelerin post ve diş arasında dolayısıyla siman malzemesinin bulunduğu aralıkta olduğu belirtilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Brandal, S. L., Nicholls 3.1., Harrington, G. W. A comparison of three restorative techniques for endodontically treated anterior teeth. I. Prosthet. Dent. 1987; 58.2:161-165

2. Cailloteau, J. G., Rieger JM. R., Akin S. E., Acomparison of intracanal stresses in a post restored tooth utilizing the finite element method. Journal of Endodontics. 1992; 18.11: 540-544

3. Darendeliler S. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan üç boyutlu gerilme analizi ile mine preparasyon teknikleri ve pin kullanımını kapsayan çeşitli ön diş restorasyonlarının kıyaslanarak elastikliği en az olan restorasyon tipinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Ankara: Doktora tezi, 1988
4. Darendeliler, S., Darendeliler, H., Kmoğlu, T., Analysis of a central maxillary incisor by using a three-dimensional finite element method. Journal of Rehabilitation. 1992; 19: 371-383
5. Ho, M. H., Lee, S. Y., Chen, H. H., Lee, M. C., Three-dimensional finite element analysis of the effects of posts on stress distribution in dentin. J. Prosthet. Dent. 1994; 72: 367-372
6. Huysmans, M. C. D. N.J. M., Van der Varst, P. G. T., Finite element analysis of quasistatic and fatigue failure of post and cores. J. Dent. 1993; 21: 57-63
7. Lambert R. L., Goldfogel M.F., Pin amalgam restoration and pin amalgam foundation. J. Prosthet. Dent. 1985; 54.1: 10-12
8. Major M A. Wheeler's atlas of tooth form. Philadelphia: Students Company, 1984; 32-33
9. Nayyar A, Wakon R E, Leonard L A. An amalgam coronal radicular dowel and core technique for endodontically treated posterior teeth. J Prosthet Dent 1980; 43.5: 511-514
10. Peters MCRB, Poort HW, Farah 3W, Craig RG. Stress analysis of a tooth restored with a post and core. J Dent Res 1983; 62: 760-763
11. Pao, Y. C., Reinhardt, R. A., Krejci, R. F., Root stresses with tapered post design in periodontally compromised teeth. J. Prosthet. Dent. 1987; 57.3: 281-286
12. Standlee, J. P., Caputo, A. A., Hanson, E. C., Retention of endodontic dowels. J. Prosthet. Dent. 1978; 39.4: 401-405
13. Virgil M S, Lau B S. The reinforcement of endodontically treated teeth. Dental Clinics of North America. 1976; 20.2: 313-329
14. Yaman, S.D., Sonlu elemanlar yöntemi ile Diş hekimliğindeki uygulamalar. Atatürk Üniv. Diş. Hek. Fak. Derg. 1995; 5.1: 87-96
15. Yaman S D, Alaçam T, Yaman Y. Çelik ve titanyum post uygulanmış üst ön keser dişte oluşan gerilme dağılımının üç boyutlu sonlu eleman yöntemi ile incelenmesi. G. Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 1996; 13.2: 2-12
16. Yaman S D, Alaçam T, Yaman Y. Çeşitli post-core ve porcelen kuron uygulanmış üst ön keser dişte oluşan gerilme dağılımının üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi. G. Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 1996; 13.2
17. Yıldız I. Kenar baraj silindirik plakların sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanması. İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, 1990.6