

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEDODONTİ ANABİLİM DALI

**DÖRT FARKLI CAM FİBER POSTUN İN VİTRO BÜKÜLME DİRENÇLERİNİN
VE SONLU ELEMAN METODU İLE STRES DAĞILIMLARININ ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Dt. Mert Kafkas ŞAHİN

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Neşe AKAL

ANKARA
Haziran 2008

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEDODONTİ ANABİLİM DALI

**DÖRT FARKLI CAM FİBER POSTUN İN VİTRO BÜKÜLME DİRENÇLERİNİN VE
SONLU ELEMAN METODU İLE STRES DAĞILIMLARININ ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Dt. Mert Kafkas ŞAHİN

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Neşe AKAL

Bu tez Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından SBE-03/2006-25 proje numarası ile desteklenmiştir.

ANKARA
Haziran 2008

I

**T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü**

**Pedodonti Ana Bilim Dalı Doktora Programı
çerçevesinde yürütölmüş olan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından
Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.**

Tez Savunma Tarihi: 20.06.2008

**İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.... Üniversitesi
Jüri Başkanı**

**İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.... Üniversitesi**

**İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.... Üniversitesi**

**İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.... Üniversitesi**

**İmza
Unvanı Adı ve Soyadı
.... Üniversitesi**

Aileme...

II

İÇİNDEKİLER

Kabul ve Onay	I
İçindekiler	II
Şekiller, Resimler, Grafikler	IV
Tablolar	VI
Semboller, Kısaltmalar	VII
Önsöz	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Post-Kor Restorasyonlar	3
2.2. Postların Sınıflandırılması	5
2.2.1. Metal Postlar	5
2.2.1.a. Döküm metal postlar	6
2.2.1.b. Prefabrik metal postlar	7
2.2.2. Metal İçermeyen Postlar	8
2.2.2.1. Seramik postlar	9
2.2.2.1.a. Cam seramik postlar	9
2.2.2.1.b. Alumina seramik postlar	9
2.2.2.1.c. Zirkona seramik postlar	10
2.2.2.1.d. Feldspat seramik postlar	10
2.2.2.2. Fiber destekli kompozit postlar	11
2.2.2.2.a. Karbon fiber destekli kompozit postlar	12
2.2.2.2.b. Cam fiber destekli kompozit postlar	12
2.3. Post Restorasyonların Başarısını Etkileyen Faktörler	14
2.3.1. Post çapı	14
2.3.2. Post şekil ve yüzey özellikleri	14
2.3.3. Post uzunluğu	15
2.3.4. Simantasyon	15
2.4. Kor Materyalleri	16
2.4.1. Cam iyonomer kor	16
2.4.2. Kompozit rezin kor	16
2.5. Cam Fiber Destekli Kompozit Post Çalışmaları	17
2.6. Kuvvet Analiz Yöntemleri	24
2.6.1. Sonlu elemanlar yöntemi stres analizi	24
2.6.1.a. Sonlu elemanlar yönteminin avantajları	26
2.6.1.b. Sonlu elemanlar yönteminin dezavantajları	26
2.6.1.c. Sonlu elemanlar yönteminin temel kavramları	27
2.6.2. Post-kor sistemlerde sonlu elemanlar yöntemi ile stres analizi çalışmaları	30

III

2.7. Fiziksel Dayanıklılık Testleri	32
2.7.1. Büyük ölçek testler	32
2.7.2. Küçük ölçek testler	32
2.7.3. Postlarla yapılan üç nokta bükme testi çalışmaları	33
2.8. Konu ile ilgili Temel Kavramlar	35
2.8.1. Gerilme	35
2.8.2. Gerinim	36
2.8.3. Elastisite katsayısı	37
2.8.4. Poisson oranı	37
2.8.5. Von Mises stres	38
3. GEREÇ VE YÖNTEM	39
3.1. Sonlu elemanlar yöntemi stres analizi	43
3.1.1. Katı modelleme	43
3.1.2. Mesh Modelleme	45
3.1.3. Kuvvet Modellemesi	46
3.2. Cam fiber destekli kompozit postların üç nokta bükme testi	49
3.2.1. Bükülme direnci istatistik değerlendirmesi	51
4. BULGULAR	52
4.1. Sonlu elemanlar yöntemi stres analizi sonuçları	52
4.1.1. Yatay kırık model stres analiz sonuçları	52
4.1.2. Çapraz kırık model stres analiz sonuçları	72
4.2. Cam fiber destekli kompozit postların üç nokta bükme test sonuçları	92
4.2.1. Kuru örneklerin maksimum kırık yükleme sonuçları	92
4.2.2. Termalsiklus uygulanan örneklerin maksimum kırık yükleme sonuçları	93
4.2.3. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin bükülme direnç değerleri	94
4.2.4. İstatistik analiz	97
4.2.4.a. Kuru örneklerin test sonuçları	97
4.2.4.b. Termalsiklus uygulanan örneklerin test sonuçları	98
4.2.4.c. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin test sonuçları karşılaştırması	99
5. TARTIŞMA	100
6. SONUÇ	115
7. ÖZET	116
8. ABSTRACT	118
9. KAYNAKLAR	120
10. ÖZGEÇMİŞ	133

IV

Şekiller, Resimler, Grafikler

Şekil 1. Mesh oluşturulması	28
Şekil 2. Üç nokta bükme test düzeneği	33
Şekil 3. x, y, z düzlemlerine etki eden normal (σ) ve makaslama iç gerilmeleri (τ)	36
Şekil 4. Poisson Oranı	37
Şekil 5. Katı model labial görünüm	43
Şekil 6. Katı model aproksimal görünüm	43
Şekil 7. Modelleme elemanları	44
Şekil 8. Yatay Kırık Mesh Model	45
Şekil 9. Çapraz Kırık Mesh Model	45
Şekil 10. F_1 yatay kuvvet	46
Şekil 11. F_2 dikey kuvvet	46
Şekil 12. F_3 çığneme kuvveti	47
Şekil 13. Dentorama titanyum yatay kırık F_1 stres dağılımı	54
Şekil 14. FibreKleer yatay kırık F_1 stres dağılımı	55
Şekil 15. EverStick yatay kırık F_1 stres dağılımı	56
Şekil 16. FRC PostecPlus yatay kırık F_1 stres dağılımı	57
Şekil 17. Snowlight 1.4 mm yatay kırık F_1 stres dağılımı	58
Şekil 18. Snowlight 1.6 mm yatay kırık F_1 stres dağılımı	59
Şekil 19. Dentorama titanyum yatay kırık F_2 stres dağılımı	60
Şekil 20. FibreKleer yatay kırık F_2 stres dağılımı	61
Şekil 21. EverStick yatay kırık F_2 stres dağılımı	62
Şekil 22. FRC PostecPlus yatay kırık F_2 stres dağılımı	63
Şekil 23. Snowlight 1.4 mm yatay kırık F_2 stres dağılımı	64
Şekil 24. Snowlight 1.6 mm yatay kırık F_2 stres dağılımı	65
Şekil 25. Dentorama titanyum yatay kırık F_3 stres dağılımı	66
Şekil 26. FibreKleer yatay kırık F_3 stres dağılımı	67
Şekil 27. EverStick yatay kırık F_3 stres dağılımı	68
Şekil 28. FRC PostecPlus yatay kırık F_3 stres dağılımı	69
Şekil 29. Snowlight 1.4 mm yatay kırık F_3 stres dağılımı	70
Şekil 30. Snowlight 1.6 mm yatay kırık F_3 stres dağılımı	71
Şekil 31. Dentorama titanyum çapraz kırık F_1 stres dağılımı	74
Şekil 32. FibreKleer çapraz kırık F_1 stres dağılımı	75
Şekil 33. EverStick çapraz kırık F_1 stres dağılımı	76
Şekil 34. FRC PostecPlus çapraz kırık F_1 stres dağılımı	77
Şekil 35. Snowlight 1.4 mm çapraz kırık F_1 stres dağılımı	78
Şekil 36. Snowlight 1.6 mm çapraz kırık F_1 stres dağılımı	79
Şekil 37. Dentorama titanyum çapraz kırık F_2 stres dağılımı	80
Şekil 38. FibreKleer çapraz kırık F_2 stres dağılımı	81
Şekil 39. EverStick çapraz kırık F_2 stres dağılımı	82

V

Şekil 40. FRC PostecPlus çapraz kırık F_2 stres dağılımı	83
Şekil 41. Snowlight 1.4 mm çapraz kırık F_2 stres dağılımı	84
Şekil 42. Snowlight 1.6 mm çapraz kırık F_2 stres dağılımı	85
Şekil 43. Dentorama titanyum çapraz kırık F_3 stres dağılımı	86
Şekil 44. FibreKleer çapraz kırık F_3 stres dağılımı	87
Şekil 45. EverStick çapraz kırık F_3 stres dağılımı	88
Şekil 46. FRC PostecPlus çapraz kırık F_3 stres dağılımı	89
Şekil 47. Snowlight 1.4 mm çapraz kırık F_3 stres dağılımı	90
Şekil 48. Snowlight 1.6 mm çapraz kırık F_3 stres dağılımı	91
Resim 1. everStick cam fiber destekli kompozit post	40
Resim 2. FibreKleer cam fiber destekli kompozit post	40
Resim 3. FRC PostecPlus cam fiber destekli kompozit post	41
Resim 4. Snowlight cam fiber destekli kompozit post	41
Resim 5. Dentorama titanyum post	42
Resim 6. Üniversal test makinesi	50
Grafik 1. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin maksimum kırık yükleme değerleri	94
Grafik 2. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin bükülme direnç değerleri	96
Grafik 3. Termalsiklus sonrası örneklerin bükülme dirençlerinde azalma	97

VI

Tablolar

Tablo I. Araştırmada kullanılan postlar	39
Tablo II. Modellemede kullanılan elemanların elastisite katsayıları ve Poisson oranları	48
Tablo III. Cam fiber destekli kompozit postların teknik özellikleri	49
Tablo IV. Yatay kırık modelde oluşan maksimum von Mises eşdeğer stres değerleri	53
Tablo V. Çapraz kırık modelde oluşan maksimum von Mises eşdeğer stres değerleri	73
Tablo VI. Kuru örneklerin maksimum kırık yükleme değerleri	92
Tablo VII. Termalsiklus uygulanan örneklerin maksimum kırık yükleme değerleri	93
Tablo VIII. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin bükülme direnç değerleri	95
Tablo IX. Kuru örnekler için bükülme direnci değerlerinin Ortalama ve standart sapmaları	98
Tablo X. Termalsiklus uygulanan örnekler için bükülme direnci değerlerinin ortalama ve standart sapmaları	99
Tablo XI. Kuru ve termalsiklus uygulanan örnekler için bükülme direnci değerlerinin ortalama ve standart sapmaları	99

VII

Semboller, Kısaltmalar

Normal gerilme	σ
Makaslama gerilmesi	τ
Gerinim	ε
Elastisite katsayısı	E
Poisson oranı	ν
Von Mises eşdeğer stres	σ_v
Bükülme direnci	δ
Maksimum asal stres	σ_1
Minimum asal stres	σ_3
Ara asal stres	σ_2

MA	Metakrilat
DMA	Dimetakrilat
PMMA	Polimetilmetakrilat
UDMA	Üretan dimetakrilat
HDDMA	Heksandioldimetakrilat
PUDMA	Poliüretan dimetakrilat
PCDMA	Polikarbonat dimetakrilat
TEDGMA	Trietilen glikol dimetakrilat
PEGDMA	Polietilen glikol dimetakrilat
E-cam	Elektriksel cam
S-cam	Güçlendirilmiş cam
GPa	Gigapascal
MPa	Megapascal

VIII

ÖNSÖZ

Doktora öğrenimim süresince yakınlığını ve desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve tezimin hazırlanmasında önemli yardımlarını gördüğüm değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Neşe Akal'a,

Tezimin deney aşamasında gerekli laboratuvar ortamını sağlayan Prof. Dr. Semih BERKSUN' a ve Sayın Mustafa AKIN' a, Sonlu elemanlar yöntemi stres analizlerinin gerçekleşmesini sağlayan Sayın Ayberk YAĞIZ' a,

Tezimin hazırlık aşamasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Dr. Çağdaş ÇINAR, Dr. Mesut ODABAŞ ve Dt. Tamer TÜZÜNER' e,

En iyi şekilde yetişmemde büyük çabaları olan Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı hocalarıma ve tezimde emeği geçen herkese en derin teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Travmaya bağlı ön diş yaralanmaları, çocuk diş hekimliğinde sık karşılaşılan problemlerden bir tanesidir. Çocuğun ilk yıllarında yürüme ve koşmaya başlamasıyla deneyimsizlik ve koordinasyon noksanlığından kaynaklanan düşme ve çarpmaya bağlı kazalarda, travma riski yüksektir. Okul çağına gelen çocuklarda ise, bisiklet kazaları, oyun esnasında düşmeler, kavga ve spor yaralanmaları karşılaşılan travma nedenleri arasındadır¹⁻³. Yine, trafik kazaları ve şiddete maruz kalma olayları da potansiyel birer travma etkeni olarak karşımıza çıkmaktadır. Epilepsi nöbetleri, ileri itimli diş dizilimi ve yetersiz dudak kapanışı, malokluzyonlar, dişsel anomaliler ve çürükler ise travma olasılığını artıran hazırlayıcı etkenlerdir⁴⁻⁹.

Diş yaralanmaları basit kuron kırıklarından, komplike kuron kırıklarına kadar çeşitlilik gösterir. Süt dişlerinde, daha çok lüksasyon yaralanmalarına rastlanırken, daimi dişlerde daha küçük kuron-kök oranı ve daha yoğun alveoler kemik nedeniyle kuron kırıklarına daha sık rastlanmaktadır⁵⁻⁸.

Günümüzde gelişen teknikler ve yeni üretilen materyaller ile madde kaybına uğrayan ön dişlerin fonksiyonel, biyolojik ve estetik ihtiyaçları karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla, kalan diş dokusunu kuvvetlendirmek, gelen kuvvetler karşısında oluşan streslerin yoğunluğunu azaltmak ve yapılacak son restorasyona yeterli destek sağlamak amacıyla, kök ucu kapanmış genç daimi dişlerde post-kor restorasyonlar yapılmaktadır. Post-kor restorasyonlarda altyapıyı oluşturan postlar, kullanıma ilk girdiği yıllarda metal yapıda üretilmiştir.

Metal postlar, diş ve çevre dokularla biyoyumlarının iyi olmaması, zamanla korozyona uğramaları, dişlerde estetik problemlere sebep olmaları, dişe ve üzerine uygulanan restorasyona kimyasal bağlanma yapmamaları ve başarısızlık durumunda kök kanalından sökülmelerinin çok zor olması nedenleriyle günümüzde yerlerini metal içermeyen postlara bırakmaktadır. Metal içermeyen postların, estetik olmalarının yanı sıra yüksek dayanıklılıkları, yeni nesil yapıştırma simanları ile kimyasal bağlanma yetenekleri ve diş ve çevre dokular ile iyi biyoyum gibi üstün özellikleri vardır.

İlk üretilen metal içermeyen postlar olan seramik postlar, metallere yakın çok rijit yapılarından dolayı dişe gelen kuvvetleri doğrudan ve düzensiz iletip, zamanla kök kırıklarına yol açmaları ve başarısızlık durumunda kök kanalından sökülmelerinin çok zor olması gibi dezavantajlar taşırlar¹⁰⁻¹². Metal içermeyen postlara diğer bir örnek ise fiber destekli kompozit postlardır. Bunlardan kullanıma ilk giren karbon fiber destekli kompozit postların, dentine yakın elastisite katsayısı, yüksek bükülme direnci avantajlarına rağmen, içeriğindeki karbon fiberlerin koyu renkli olması nedeniyle ön grup dişlerin restorasyonlarında estetik sorunlar oluşturması ve filmde radyolusent görüntü vermeleri gibi dezavantajları bulunmaktadır¹²⁻¹⁴.

Bir diğer fiber destekli kompozit post çeşidi ise günümüzde üzerinde en çok araştırma-geliştirme yapılmakta olan, cam fiber destekli kompozit postlardır. Cam fiber destekli kompozit postlar, yüksek biyouyum ve dayanıklılık, mükemmel estetik ve yeni nesil kompozit yapıştırma simanları ile çok iyi kimyasal bağlanma yeteneği yanında, başarısızlık durumunda kök kanalı içinden kolayca sökülebilmesi, iyi radyoopak görüntü vermesi ve bazı çeşitlerinde ihtiyaç duyulduğunda kolaylıkla kanala uygun form verilebilmesi gibi önemli özellikler taşırlar^{12,15,16}.

Çok çeşitli cam fiber destekli kompozit post markasının olduğu günümüzde, uygun post seçiminde maliyet, kolay temin edilebilir olması, çalışma süresinin kısa olması gibi ölçütler yanında postun iyi bir biyomekanik performansa, yani kuvvetler karşısında yüksek bükülme direncine ve farklı açılardaki kuvvetlerin oluşturduğu stresleri krun-kök alanı boyunca yoğunlaşma yapmadan dağıtma özelliğine sahip olması aranan özelliklerdir.

Bu çalışmanın amacı çocuk hastaların aşırı koronal madde kayıplı dişlerinde kullanılabilecek yeni üretilen dört farklı cam fiber destekli kompozit post ve bir titanyum postun üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile krun-kök alanı boyunca stres dağılımlarını karşılaştırmalı olarak analiz etmek ve üç nokta bükme testi ile post örneklerinin oda neminde ve termalsiklus sonrası bükülme dirençlerini karşılaştırmaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Post-Kor Restorasyonlar

Yapılan epidemiyolojik araştırmalar, spor, oyun, ev kazaları, düşme, çarpışma, overjet nedeniyle ileri itimli diziliş varlığı gibi çok çeşitli sebeplerle meydana gelen diş yaralanmalarının çocuklarda ciddi problemler oluşturduğunu göstermektedir¹⁻⁹. Travma sonucu oluşan diş yaralanmaları sadece mineyi ilgilendiren koronal madde kayıplarından, alveoler kemik kırıklarına varan dağılımlar gösterir. Daimi dişlenme döneminde travma sonrasında daha çok kuron kırıkları ile karşılaşılır¹⁻⁵.

Endodontik tedavi uygulanan dişlerin, giriş kavitesi hazırlanırken pulpa odası tavanının kaybı, kanal anatomisinin değiştirilmesi ve vital pulpadan sağlanan nem eksikliği gibi değişik nedenlerle yapıları fiziksel olarak zayıflar ve yüksek kırılma riski taşırlar^{17,18}. Bu önemli dezavantajlarından dolayı, kalan diş yapısının korunarak, estetik ve fonksiyonel açıdan devamlılığını sağlayan uzun ömürlü bir restorasyona ihtiyaçları vardır^{12,13}. Endodontik tedavili dişlerin restorasyonu ileride olası kırık riski nedeniyle restoratif diş hekimliğinde ortak bir problemdir^{19,20}. Bu dişlerin uzun dönemli başarısı restorasyonda kullanılan materyallerden çok, sağlam biyomekanik prensiplerin uygulanmasına bağlıdır^{12,13}. Tutuculuk için yeterli koronal yapısı kalan dişler, klinikte kompozitler, estetik kor üstyapı materyalleri ve indirekt restorasyonlarla restore edilebilirken, koronal diş yapısının aşırı kaybında post-kor restorasyonlar yapılması en uygun tedavi şeklidir. Bu uygulamaya post-endodontik tedavi de denilmektedir¹³.

Post-kor restorasyonlarda, kök kanalı içerisinde yer alan ve kök kanalının $\frac{2}{3}$ ' üne kadar uzanan kısma "post", kaybedilen dentin dokusunun yerine hazırlanan ve koronalde yer alan kısma "kor" adı verilir^{12,13,15}. Önceleri postların kök kanal yapısını güçlendirdiği düşünülürken, günümüzde üstyapı için güvenilir ve sağlam bir çapa olduğu kabul edilmektedir²¹. Endodontik tedavili dişlerin restorasyonu diş hekimliğinde uzun süredir ilgi odağı olmuştur. Post tutuculu bir kuron ile endodontik tedavili bir dişin restorasyonu ile ilgili çalışmalar, Fauchard' ın altın veya gümüşten yaptığı postları kullanmasıyla 200 yıl öncesine dayandırılmaktadır¹². Günümüzde kullanılan kök kanalının şekillendirilmesi ve temizlenmesi gibi endodontik işlemler ve prensiplerin temel ilkelerinin de o dönemlerde ortaya atıldığı bildirilmektedir¹²⁻¹⁴.

İdeal bir post sisteminde olması gereken özellikler şunlardır;

1. Dentine benzer fiziksel özellikler göstermelidir,
2. Kanal içerisinde maksimum tutuculuk sağlamalıdır,
3. Oluşan streslerin yoğunlaşma yapmadan dağıtabilmelidir,
4. Restorasyon ve çevre doku ile estetik uyum göstermelidir,
5. Kor ile materyal uyumu ve tutuculuğu iyi olmalıdır,
6. Gerekğinde kanaldan kolay sökülebilmelidir,
7. Kullanım kolaylığı olmalıdır^{10,20,22,23}.

Diş hekimliğinde post-kor restorasyonlar;

1. Periodontal desteği zayıf dişlerde krun/kök oranının endodontik stabilizatörler kullanarak güçlendirilmesi gerektiğinde,
2. Restorasyon sonrası endodontik girişimin güçleşeceği, pulpanın şüpheli olduğu geniş harabiyetli dişlerde,
3. Malpoze dişin okluzal veya aksiyel eğiminin düzeltilmesinin pulpa bütünlüğünü tehlikeye attığı durumlarda,
4. Overdenture uygulamalarında ataşmanların köklerle tutuculuğunda kullanılabilir^{14,15}.

Bununla birlikte post-kor restorasyonların,

1. Yetersiz krun-kök ve kanal dolgusu varlığında,
2. Kırılmaya direnci az ve ince kök yapısına sahip dişlerde,
3. Ağız sağlığı çok kötü olan hastalarda,
4. Kök ucu bölgesinde tekrarlayan ınatçı patoloji varlığında yapılması uygun değildir^{14,15}.

Kanal içine post yerleştirilmesinin ek bir işlem gerektirmesi ve dişin post için uygun hale getirilmesi sırasında daha fazla madde kaybına yol açılması postların dezavantajlarıdır. Bununla birlikte postların birçok avantajı vardır¹⁵;

1. Endodontik tedavili dişlerin iki aşamalı restorasyonu sağlanarak üst yapıların desteklenmesinde yararlanılır,

2. Estetik son restorasyon, marjinalde veya diğer bölümlerde başarısızlık gösterdiğinde intrakoronal restorasyonun yenilenmesini gerektirmez,

3. Döküm şeklinde hazırlanmayan postlarda, dişte sert doku engellerinin doldurulması imkânı vardır. Böylece döküm üst yapı restorasyonu yapıldığında kaldırılması gereken diş yapıları da korunur.

4. Post-kor yapı, son restorasyonda kullanılacak materyal miktarını azaltır,

5. Postlar, endodontik tedavili dişlerde uygulanan ortodontik ve periodontal tedavilerde geçici restorasyon için kullanılabilir,

6. Postlar, kuron ve kök arasında bir bağlantı mekanizmasıdır.

2.2. Postların Sınıflandırılması

Postlar, elde edilişlerine göre döküm veya prefabrik, materyal içeriğine göre ise metal veya metal içermeyen postlar olarak sınıflandırılır¹²⁻¹⁴.

2.2.1. Metal Postlar

Metal postlar, 19. yüzyıldan günümüze kadar uygun endikasyonlarda güvenle kullanılmış ve özellikleri sürekli geliştirilmiş post çeşitleridir. En önemli özellikleri, dişe gelen kuvvetler karşısında isotropik, yani kuvvetin geliş yönüne bağımlı olmaksızın her zaman aynı fiziksel özelliği göstermeleridir^{14,15}.

Metal postlar, diş ve çevre dokularda biyouyum sorunları, zamanla korozyon oluşturmaları ile estetik problemlere neden olmaları, dişe ve üzerine uygulanan restorasyonlara kimyasal bağlanmamaları ve başarısızlık durumunda kök kanalı içerisinde sıklıkla sıklıkla çok zor olması gibi dezavantajları nedeniyle günümüzde yerini metal içermeyen postlara bırakılmaktadır^{13,14,24,25}. Metal postlar ikiye ayrılır;

a. Döküm metal postlar

b. Prefabrik metal postlar

2.2.1.a. Döküm metal postlar

Hazırlanan kök kanalından doğrudan veya endirekt olarak, laboratuvar ortamında döküm metalden elde edilen konik şekilli post tipidir. Dökümlerinde kullanılan metaller genelde tip III veya IV döküm altını, bakır, gümüş ile az miktarda paladyum, platin veya çinkodur^{13,14}. Döküm metal postlar, geride çok az diş yapısının kaldığı ön grup dişler ile aşırı derecede koniklik gösteren, geniş veya düzensiz kanallı ve kökleri paralel olmayan arka grup dişlerde kullanılırlar. Bunun dışında, aynı arka birden fazla post yerleştirilmesi gerektiğinde, üzerine gelecek kor yapının posta göre açılabilmesinin gerektiği durumlarda ve dişeti sıvısının kontrol edilemediği vakalarda da döküm metal postlar uygulanabilir¹²⁻¹⁵.

Döküm metal postların en önemli avantajı, kök kanalı içinde küçük bir hazırlık gerektirmesi ve kanala tam uyumlu konik şekli sayesinde diş üzerinde oluşan stresleri iyi iletebilmesidir. Bu tip postlarda klinik başarı şansının artırılması için postun yerleştirilmesinden önce kök kanalı içinde yer alan sert doku engellerinin kaldırılmasına ve vakaya uygun ilave şekillendirmeler yapılmasına özen gösterilmelidir^{12,15}.

Döküm metal postların dezavantajları, paralel şekilli postlarla karşılaştırıldığında daha az tutuculuk göstermeleri ve konik şekli nedeniyle dişe gelen aşırı okluzal kuvvetler altında zamanla kökte dikey kırıklara sebep olabilmeleridir. Bu durum "kama etkisi" olarak tanımlanır²⁴. Kama etkisini engellemek ve post yerleştirme sırasında oluşan kuvvetleri ortadan kaldırmak için, yaklaşık 2 mm kalınlığında bir metal bant-ferrule-dişin etrafına sarılır^{26,27}.

2.2.1.b. Prefabrik metal postlar

Prefabrik metal postlar, post endikasyonu olan dişlerde işlemleri hızlandırmak amacı ile geliştirilmiştir. Döküm metal postlarla karşılaştırıldığında, uygulama aşamalarının daha basit olması, çoğu zaman tek seansta sonuç alınabilmesi ve laboratuvar işlemlerinin aradan çıkarılması nedeniyle uygun maliyeti ile tercih edilmektedir¹⁵. Prefabrik metal postlar, genelde yuvarlak kesitli kök kanalları olan ve koronal kısmında daha fazla diş yapısının kaldığı küçük ebatlı dişlerde kullanılır. Geometrik şekil olarak konik ve paralel; yüzey özellikleri olarak düz, dişli ve yivli; metal içerik olarak titanyum, paslanmaz çelik, paladyum, krom-nikel, altın-platin, pirinç ve bunların alaşımları halinde bulunmaktadır. Titanyum postlar hafif olmaları, yüksek bükülme direnci göstermeleri, çeşitli şekillerde bulunmaları ile metal postlar içerisinde en sık kullanılan post çeşitleridir^{10,13,14}. Metal postlar, aktif ve pasif olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar^{15,24,28}.

Aktif postlar, pasif postlarla kısa kanallı dişlerde artmış tutuculuk ihtiyacı karşılanamadığı durumlarda kanal içi dentine vidalanarak kullanılırken; pasif postlar, kanal içerisinde yapıştırıcı siman yardımıyla kanal içi duvarlardan mümkün olduğunca çok destek alarak işlev görürler^{13,14,18}.

Pasif postlar konik ve paralel olmak üzere iki çeşittir. Bunlardan pasif konik postlar aksiyel tutuculuk için uygun kanal uzunluğu 8-9 mm olan ve konik şekilli kanallara sahip dişlerde uygun seçimdir. Özellikle ince, kırılğan ve konik şekilli kanallarından dolayı küçük azı dişlerde kullanılırlar. Pasif konik postlar, kendi içinde düz yüzeyli ve dişli olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Doğal kanal şeklini en iyi taklit eden postlar olduklarından, uygulama sırasında en az miktarda kanal içi dentin kaldırılır¹³.

Pasif paralel postlar da düz yüzeyli ve dişli olmak üzere iki gruba ayrılır ve konik posta göre daha çok kanal içi tutuculuk gösterir. Bununla birlikte, paralel şekilli posta uyması için konik şekilli kanal içi dentininden fazlaca kaldırılır; bu yüzden pasif paralel postlar, artmış tutuculuğa ihtiyaç olması ve apikal 1/3'te kök bütünlüğünü tehlikeye atmayacak paralel kök kanal boşluğu preparasyonu durumunda tavsiye edilmektedir^{13,14}.

2.2.2. Metal İçermeyen Postlar

Metal postların, dentin, yapıştırma simanı, değişik kor materyalleri ile beraber heterojen yapıları, yüksek elastisite katsayıları nedeniyle diş yüzeyine gelen kuvvetleri stres emilimine uğramadan doğrudan iletmesi ile zamanla kök kırıklarına neden olmaları, biyouyum sorunları, zamanla korozyon oluşturmaları, diş yapısına kimyasal bağlanmamaları ve başarısızlık durumunda kanal içinden sökülmelerinin çok zor olması önemli dezavantajları nedenleriyle, yapılan araştırma ve geliştirmeler ile metal içermeyen, estetik ve homojen yapıda postların üretilmesi temel hedeflerden biri olmuştur^{10,13,14}.

Bu amaçla, paralel, iki aşamalı paralel, paralel-konik ve konik şekillerde üretilen seramik postlar ile fiber destekli kompozit postlar geliştirilmiştir^{20,24,25}.

Metal içermeyen postlar iki sınıfa ayrılır;

1. Seramik postlar

- a. Cam seramik postlar
- b. Alumina seramik postlar
- c. Zirkona seramik postlar
- d. Feldspat seramik postlar

2. Fiber destekli kompozit postlar

- a. Karbon fiber destekli kompozit postlar
- b. Cam fiber destekli kompozit postlar

2.2.2.1. Seramik postlar

Seramik postların, yüksek bükülme direncine sahip ve özellikle tam seramik kuronların altında uygulandığında estetik açıdan mükemmel materyaller oldukları bildirilmektedir²⁹⁻³¹. Bu postlar, korozyon oluşturmazlar, çiğneme kuvvetlerine yeterli direnç ve diş-çevre dokulara iyi biyouyum gösterirler^{32,33}.

Seramik postlar, ana madde olarak seramik ve seramiğe eklenen bazı materyallerle elde edilirler. Cam seramik postlar, alumina seramik postlar, zirkona seramik postlar ve feldspat seramik postlar olmak üzere dört çeşittir^{12,34}.

2.2.2.1.a. Cam seramik postlar

Cam seramik postların kırılma, ısı, aşınma dirençleri yüksektir ve biyouyumları iyidir³⁵. En translusent seramik sistemlerinden birisidir, ancak alüminöz porselenle kaplanması veya glazür ile renklendirilmesi gerekir. Seramikleştirme işleminden sonra oluşan ve "seram tabakası" adı verilen tabakanın seramik malzemesinin geri kalan kısmından büyük farklılıkta bileşim göstermesi dezavantajlarından biridir³⁵⁻³⁷. Bu bölgede mika kristalleri daha geniş ve pöröziteler daha büyüktür ve bu tabakanın kaldırılması seramiğin kırılma direncini etkiler^{35,38}.

Son yıllarda, cam yapı içine mika kristalleri yerine hidroksiapatit kristalleri yerleştirilerek Cerapearl³⁹, büzülmeleri ortadan kaldırmak amacıyla da Cerestore sistemleri üretilmiştir⁴⁰.

2.2.2.1.b. Alumina seramik postlar

Diş hekimliğine ilk kez 1991 yılında Kern ve Knode⁴¹ tarafından tanıtılan bu postlar, alumina (alüminyum oksit) ile güçlendirilmiş sert bir materyal olup, yüksek biyouyum, artırılmış bükülme direnci ve kanala tam uyumu ile tek parça seramik post-kor materyali olarak yeterli bir stabilite sağlamaktadır. Uygulanmasının çok zaman alması ve teknik zorluğu en büyük dezavantajlarıdır⁴²⁻⁴⁴.

2.2.2.1.c. Zirkona seramik postlar

1993' de, yüksek bükülme direnci ve estetik nitelikleri nedeniyle tetragonal zirkonyum polikristallerinden post-kor yapımı gündeme getirilmiştir^{45,46}. Zirkona seramik postlar, %3 Y_2O_3 (yttrium oksit) ile sabitleştirilmiş tetragonal zirkona polikristallerinden oluşur^{42,47,48}.

Estetik açıdan ön bölgede, kompozit veya seramik kor yapılar ile kullanılabilir olsalar da, tam seramik kuronlara doğal bir görünüm katması ve seramik postun estetik son restorasyon ile daha sağlam bir bütünlük oluşturarak yüksek başarı oranı göstermesi nedeniyle cam-seramik kor veya ısı ile preslenmiş seramik kor ile kullanımı önerilmektedir^{10,13,19,49}. Zirkona seramiğin direnci, alumina seramiklere göre iki kat daha yüksektir⁵⁰.

Zirkona seramiklerin yapısında farklı sıcaklıklarda faz değişimi meydana geldiği bildirilmiştir^{42,48}. Oda sıcaklığında monoklinik bir yapıda bulunan zirkonyum oksit, 1000-1100°C' ye ısıtıldığı zaman tetragonal, 2000°C' de ise kübik faza geçer. Malzemenin yapısında meydana gelen bu değişimler hacim değişikliklerine ve zirkonyumun fiziksel özelliklerini olumsuz etkileyen streslere neden olur. Faz değişimi CaO , MgO , Y_2O_3 gibi sabitleştirici ajanların ilavesiyle azaltılabilir⁴⁸. Adeziv yapıştırma simanları ile uyumlu olması, yüksek dirence sahip olması, radyopak görüntü vermesi ve optik yansıma özelliği sayesinde estetik olması zirkonyum oksit postların avantajlarıdır^{35,50,47,51}. Bu postların dezavantajları ise, diş ve kor materyaline kimyasal yapışma özelliğinin olmaması ve başarısızlık durumunda postun kökten sökülmesinin çok zor olmasıdır^{10,14,15}.

2.2.2.1.d. Feldspat seramik postlar

Lösitle güçlendirilmiş feldspat seramik postlar, seramik tabletlerin yüksek ısıda akışkan hale getirilip vakum ünitesinde hidrostatik basınç altında preslenmesi ile elde edilir³⁷. Bu postların ışık geçirgenliği ve bükülme direnci yüksektir; bu durum basınçla döküm aşamasına ve feldspat içinde kontrollü kristalizasyonla oluşturulan, oldukça küçük ve sık olarak dağılmış lösit kristallerine bağlıdır^{37,38}.

2.2.2.2 Fiber destekli kompozit postlar

Fiber destekli kompozit materyaller, içerik olarak çeşitli şekil ve yapıdaki fiber desteklerden ve bu fiberleri birbirlerine bağlayan matris yapılardan oluşur^{52,53}. Diş hekimliğinde fiber destekli kompozitlerin uygulama alanları; periodontal splintler, ortodontik yer tutucu ve ankraj destek, implant protezler, büyük mesafeli protetik köprüler, çatlak dişlerin tedavisi ve endodontik fiber postlar olarak çok geniştir.

Fiber destekli kompozit postlar, anisotropik fiziksel yapıya sahiptirler; dolayısıyla farklı açılardan gelen kuvvetlere karşı farklı fiziksel özellikler gösterirler. Neme karşı hassas olduklarından su ile temasa geçmeleri sonucu fiziksel özelliklerinde değişimler olur⁵². Bu postların en önemli avantajları; metal içermediklerinden, metal duyarlılık reaksiyonlarına sebep olmamaları, korozyona uğramamaları ve kuvvetler karşısında hafifçe esneyerek metal postlardan farklı olarak, stresleri kök dentinine dağıtmalarıdır⁵⁴⁻⁵⁶. Ağızın görülen bölgelerinin restorasyonunda özellikle tam seramik kronların altında, estetik sonuçlar verirler³¹. Ayrıca yeniden tedavi edilmesi gereken endodontik tedavili dişlerden kolayca uzaklaştırılabilirler⁴².

Postların üretiminde yararlanılan fiberler; polietilen, kevlar, cam, karbon materyal yapıdadır ve post içerisinde hacmen %20 ile %85 arasında, ağırlık olarak da %30 ile %65 arasında bulunur. Fiberler, matrise uzunlamasına tek tip veya gelişigüzel uzunlukta tek yönlü, örülü veya ağ yapıda otoklav döküm, rezin akıtma döküm, sıkıştırma döküm, açık döküm veya tel sarma gibi yöntemler ile yerleştirilir^{51,52,56}.

Matris yapı ise poliamid, polyester, poliolefin, polimid, poliarilat, poliüretan, vinil esterler veya epoksi temelli polimer materyallerden üretilir. Polimer yapıda tercih edilen monomerler, bisfenol A ve glisidil metakrilat "BIS-GMA", poliüretan dimetakrilat "PUDMA", trietilen glikol dimetakrilat "TEDGMA", polietilen glikol dimetakrilat "PEGDMA", üretan dimetakrilat "UDMA", heksandiol dimetakrilat "1.6 HDDMA", polikarbonat dimetakrilat "PCDMA" 'dir. Polimer matrisler, görülebilir ışıkla sertleşen, kendiliğinden sertleşen ve dual sertleşen tipte olabilir⁵⁶. Polimer matrise, polimerizasyon hızlandırıcıları, polimerizasyon başlatıcıları, ultraviyole ışık emiciler, anti-oksidanlar, baryum sülfat radyoopak ajanlar eklenebilir ve matrisler miktarı özel belirlenen quartz baryum silikat, baryum sülfat, baryumborosilikat, amorf silika, kalsiyum fosfat, alumina, zirkona gibi doldurucular içerebilir⁵⁶.

Fiber destekli kompozit postlar iki çeşittir;

- a. Karbon fiber destekli kompozit postlar
- b. Cam fiber destekli kompozit postlar

2.2.2.2.a. Karbon fiber destekli kompozit postlar

Karbon fiber destekli kompozit postlar, ilk kez 1990 yılında Duret ve arkadaşları⁵⁵ tarafından tanıtılmıştır. Epoksi rezin matris içerisinde tek yönlü paralel şekilde sıralanmış, ortalama 6-8 µm çapındaki karbon fiberlerden oluşur. Bu fiberler, üretici firmalara göre postun hacimce %60-65' ini oluşturur. Karbon fiber destekli kompozit postların yüzeyi pürüzlendirilmiş ve düz yüzeyli çeşitleri vardır; yüzeyi pürüzlendirilmiş çeşitleri, düz yüzeyli olanlara göre daha esnektir^{14,57,58}.

Yapılan araştırmalarda, karbon fiber postlarda air-abrazyon uygulaması ile klorheksidin ve ksilen kullanımının bağlanma kuvvetini önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir^{23,59,60}. Biyouyumu, korozyona dirençli olmaları ve kök kanalından kolayca sökülmeleri avantajlarıdır^{14,52}.

Dezavantajları ise, siyah rengi nedeniyle estetik problem oluşturması ve yeterli radyopak görüntü vermemesidir^{14,52,53}. Son yıllarda, siyah rengini gizlemek için üretici firmalar karbon fiberleri beyaz zirkona ile kaplamıştır. Bunların, fiziksel özellikleri siyah karbon fiber destekli kompozit postlar ile benzerdir⁵².

2.2.2.2.b. Cam fiber destekli kompozit postlar

Cam fiber destekli kompozit postlar, siyah renkteki karbon fiberlerin estetik dezavantajlarını gidermek amacıyla ilk kez 1990' ılı yılların ortalarında geliştirilmiştir. Bu postların en önemli avantajları, iyi ışık geçirgenliği sayesinde yeni nesil kompozit rezin yapıştırma simanları ile çok yüksek kimyasal bağlanma gücü, mükemmel estetikleri, diş ve çevre dokulara iyi biyouyumu ve bazı çeşitlerinde uygulanacak dişin kanal şekline gerektiğinde kolayca uyumlanabilmeleridir^{14,51,58,61}.

Cam fiber destekli kompozit postların fiber bileşen materyali olan cam, ana maddesi %70-72 silisyum olan, soğutulmuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle, bazı metal oksitlerin çözülmesinden oluşur. Cam bileşimine giren üç grup madde vardır; cam haline gelebilen oksitler, eriticiler ve stabilizatörler. Bu maddelerin dışında cama önemli özellikler kazandıran ve üretimde bazı yararlar sağlayan yardımcı bileşenler yer alır. Cam fiberler, camın çok ince liflerinden yapılan bir materyaldir. Birçok polimer ürünü için destekleyici olarak kullanılır ve günlük kullanımda fiberglas olarak bilinen, fiber destekli polimer veya cam destekli plastik kompozit materyal yapıdadır⁵⁶. Cam fiberler, genellikle eritme-bükme teknikleri ile üretilirler. Bu teknikte, erimiş camın akması için küçük delikleri olan platin tacın içine cam bileşimi eritilir. Devamlı fiberler deliklerden çekilir ve iğler halinde sarılır, fiberler daha sonra fiziksel yollarla veya hava jetleri ile istenilen uzunluklarda kesilirler⁶².

Cam fiberler, yüzey alanlarının ağırlığa oranının yüksek olması nedeniyle kullanışlıdır. Fakat artmış yüzey alanı onları kimyasal tepkimeye açık yapar. Havayı içlerinde hapsedme özellikleri sayesinde, cam fiber blokları iyi bir ısı yalıtımı sağlar. Nem oranı gerilme gücünde önemli bir etmendir. Fiberlere nem kolayca emilir ve ileride mevcut mikroskobik çatlakları ve yüzey defektlerini artırarak kullanıldığı materyalin dayanımını azaltabilir. Karbon fiberlerin aksine, cam fiberler kırılmadan önce daha çok uzamaya uğrayabilir^{62,63}.

Fiberlerin yapısındaki cam, fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla birden çok bileşen yapıda üretilir. Bunlar; elektriksel cam (e-cam), güçlendirilmiş cam (s-cam), zirkona destekli cam, baryumborosilikat cam, kurşun-potasyum-sodyum silikat cam, aluminosilikat camlardır. Ayrıca, bazen kristalize saf silika (quartz) cam yapıya katılarak fiberlerin düşük termal genleşme katsayısına sahip olması sağlanır^{56,64}.

Elektriksel cam, hacimce %54 SiO₂, %14 Al₂O₃, %22 CaO+MgO, %10 B₂O₃ ve <%2 Na₂O+K₂O karışımından oluşan düşük alkali özellikte bir camdır. Elektriksel camın özellikleri; düşük maliyet, yüksek dayanım ve yüksek bükülme direnci, yüksek ısı direnci ve neme düşük hassasiyet göstermesidir. Güçlendirilmiş cam ise hacimce %65 SiO₂, %25, Al₂O₃ %10 MgO den oluşur. Baryumborosilikat cam ise hacimce %30,5 SiO₂, %20 B₂O₃, %9,5 Na₂O, %19 BaO' den oluşur⁶².

2.3. Post Restorasyonların Başarısını Etkileyen Faktörler

Endodontik tedavi gören dişlerin restorasyonu için birçok post çeşidinin olduğu günümüzde, yapılan post restorasyonların uzun ömürlü olması için bazı faktörlere dikkat edilmelidir^{13,15};

2.3.1. Post çapı: Dişin doğal yapısını maksimum korumak ve restore edilen dişin kırıklara direncini artırmak için seçilecek postun çapı önemlidir. Post çapıyla sertlik, elastik limit ve kırılma dayanımı arasında bir orantı olduğu bildirilmiştir²⁰. İdeal post çapının belirlenmesi ile ilgili yaklaşımlar Lloyd ve Palik⁶⁵ tarafından koruyucu, sakıncacı ve oranlamacı yaklaşımlar olarak üç kategoride toplanmıştır. Buna göre;

- Oranlamacı yaklaşım, kökün en dar boyutunda postun $\frac{1}{3}$ ' den daha büyük olmaması gerektiğini;
- Sakıncacı yaklaşım yeterli diş yapısının korunması için postun en az 1 mm sağlam dentin ile çevrenmesi gerektiğini;
- Koruyucu yaklaşım ise minimum kanal hazırlığı ve maksimum oranda dentin bırakılmasını savunur.

Bazı çalışmalarda post çapındaki artışın tutuculuğa önemli katkıda bulunmadığı ve geride kalan dentindeki azalmaya bağlı olarak, daha geniş postlarla restore edilen dişlerde ileride olası kırıklara karşı daha az direnç olduğu belirtilmiştir^{66,67,74}. Lambjerg-Hansen ve Asmussen ise⁶⁸, aynı materyalden yapılan, farklı çaplara ve yüzey özelliklerine sahip postların fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla yapılan bir çalışmada, endodontik postların dirençlerinin çaplarına bağlı olduğunu belirtmiştir. Morgano⁶⁹, 900 hastayı kapsayan geriye dönük bir çalışma sonucunda, post restorasyonun başarısını en çok arttıran noktanın post çapı olduğunu bildirmiştir.

2.3.2. Post şekil ve yüzey özellikleri: Isidor ve Brondum⁷⁰, konik şekilli postlarda oluşan kama etkisinden bahsederken, Assif ve arkadaşları²⁷, paralel ve konik şekilli tasarımlar arasında herhangi bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Smith ve arkadaşları⁷¹, paralel-konik şekilli postların en iyi biyomekanik performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Postun önceden silanize edilmiş olması ve pürüzlü olması gibi yüzey özellikleri de tutuculuğu ve olası kırıklara karşı direnci artırır^{26,51,72,73}.

2.3.3. Post uzunluğu: Yapılan çalışmalar post uzunluğu arttıkça tutuculuğun arttığını göstermektedir^{51,65,67,72}. Bununla birlikte, postun uzunluğunun aşırı derecede artırılması apikal tıkanmanın bozulmasına ve apikal bölgede bir kurvatür var ise perforasyonlara yol açabilmektedir⁷⁴. Lambjerg-Hansen ve Asmussen⁶⁸ seçilen postların en az klinik kuron boyu kadar uzun olması gerektiğini bildirmişlerdir. Sorensen ve Martinoff⁷², post uzunluğu klinik kuron uzunluğuna eşit olduğunda başarısızlık oranını %2,5; ¼ ü kadar olduğunda ise %25 olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca, post yerleştirmeden önce kök kanal ucunda en az 4 mm gütta-perka bırakılması gerektiği belirtilmektedir^{13,14}.

2.3.4. Simantasyon: Kullanılacak siman tipi ve simantasyon, postun hazırlanan kök kanalı içerisine sabitlenmesinde, diş ile post arasında tutuculuk artışında ve stres dağılımında çok önemlidir. Ayrıca, karıştırma ve postun yerleştirilmesi esnasındaki sertleşme reaksiyonu da yapıştırılacak postun başarısını etkiler. İdeal bir yapıştırma simanı, biyouyumlu, mikrosızıntı göstermeyen, direnci yüksek, adeziv ve uygulanması kolay olmalıdır. Günümüzde post yapıştırmada kullanılan simanlar, çinko fosfat siman, polikarboksilat siman, cam iyonomer siman, rezin modifiye cam iyonomer siman ve rezin kompozit siman olmak üzere beş çeşittir. Bunlardan, çinko fosfat siman, asidik ortamlarda çözünebilmesine rağmen, uzun yıllar uygun fiziksel özellikleri, ucuz olması ve kullanım kolaylığı ile metal post yapıştırılmasında uygun seçimlerden biri olarak tercih edilmiştir⁷⁵. Polikarboksilat simanlar, cam iyonomer simanlar ve rezin modifiye cam iyonomer simanlar ise artan yüklemeler sonucu deformasyona uğramalarından, uygun sertliğe ulaşmalarına kadar uzun zaman geçmesinden ve ağız sıvılarında çözündüklerinden kullanımı sınırlıdır¹²⁻¹⁴.

Son yıllarda geliştirilen rezin kompozit simanlar ise, kanal içeriklerinin fazla madde kaybı yapılmadan uzaklaştırılması istendiğinde tercih edilmektedir. Bu gruptaki maddeler genelde iki tiptir. Birincisi metilmetakrilat esaslı, ikincisi BIS-GMA tipi dimetakrilat esaslı maddelerdir. Uygulanmadan önce çeşitli bağlanma ajanları ile birlikte kullanılırlar. Ayrıca, %37' lik fosforik asitle asitlemenin bağlanma kuvvetini artırdığı bilinmektedir⁶². Resin simanların dişe, metale veya porselene yüksek bağlanma kuvveti, dual aktivasyon özellikleri, ağız ortamında çözünmeye dirençli olması, renk uyumunun sağladığı estetik avantajlar ve kullanım kolaylığı avantajlarıdır^{14,15,67,76}.

2.4. Kor Materyalleri

Post-kor restorasyonlarda kullanılan kor materyalleri, cam iyonomer ve kompozit rezinlerdir^{14,28,71,77}.

2.4.1. Cam iyonomer kor: Gümüş ile güçlendirilmiş cam iyonomerler, düşük termal genleşme katsayısına sahip olmaları, florid salınımı, dişe kimyasal olarak bağlanması ve hızlı uygulanması gibi avantajlara sahiptir. Fakat düşük kırılma yüklemeye değerine sahip olması en büyük dezavantajlarıdır^{14,61,71,77}. Yine, cam iyonomer korların okluzal kuvvetlere karşı yeterince dirençli olmadığı bilinmektedir¹⁴. Bu materyaller sadece arka bölgede koronal diş yapısının yarısından fazlası kaldığı durumlarda kullanılmalıdır⁷⁷.

Son zamanlarda rezinle güçlendirilmiş cam iyonomer simanların özellikleri bir hayli geliştirilmiştir. Bunların uygulanması daha kolaydır ve ağız içinde erken nem kontaminasyonuna daha dirençlidirler⁷¹.

2.4.2. Kompozit rezin kor: Kullanım kolaylığı nedeniyle günümüzde en çok tercih edilen korlardır. Kompozitin en büyük avantajı diş yapısına ve estetik son restorasyona kolayca ve güçlü bir şekilde kimyasal bağlanabilmesidir. Kompozitler, yeterli kırılma sertliğine ve basma dayanıklılığına sahiptir¹⁴.

Dezavantajları ise, uzun dönemde dinamik yüklemelerde plastik bir deformasyona uğrama riski ve boyutsal stabilitesinin az olması nedeniyle mikrosızıntıya neden olabilmesidir^{77,78}.

Son yıllarda fiberle güçlendirilmiş dual polimerizasyonlu kompozit rezin kor materyalleri piyasaya sürülmüştür. Bu materyaller çift heliksli karıştırıcılar sayesinde hava kabarcıksız ve homojen olarak karıştırılabilmektedir⁵³.

2.5. Cam Fiber Destekli Kompozit Post Çalışmaları

Monticelli ve arkadaşları⁷⁹, 225 hastanın premolar dişlerine üç ayrı fiber destekli kompozit post-Grup 1: Æstheti-plus (Bisco), Grup 2: D.T. Light Post (Bisco), Grup 3: FRC Postec Plus (Ivoclar-Vivadent) ve porselen kuron uygulayarak 6, 12 ve 24 aylık takipler sonrasında postların klinik performanslarını değerlendirmişlerdir. Sonuçta, sekiz vakada postların yerinden oynamadığını, altı vakada ise periapikal lezyon tekrarı izlendiğini, test edilen postlar arasında kullanım ömrü açısından önemli derecede fark olmadığını belirtmişlerdir.

Scotti ve arkadaşları⁸⁰ 2006 yılında, sığır dişine uygulanan fiber destekli kompozit postun-FRC PostecPlus-yorulma direncine simantasyon mesafesinin etkisini araştırdıkları çalışmalarında, 30 adet tek köklü sığır dişini kuron/kök uzunluğuna (post simantasyon mesafesi) göre üç gruba (Grup 1: $\frac{2}{3}$ oran; Grup 2: $\frac{1}{2}$ oran, Grup 3: 1/1 oran) ayırmışlar ve örnekleri 2 milyon kez mekanik siklusa tabi tutmuşlardır. Yöntem ve sonuçlar göz önüne alındığında, değerlendirilen fiber postta en uygun simantasyon mesafesinin kuron/kök oranı 1/1 olarak alındığında elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Salameh ve arkadaşları⁸¹ yine 2006 yılında yaptıkları çalışmalarında FRC PostecPlus ile kor materyali olarak kullandıkları değişik rezin kompozitler (Multicore Flow-Ivoclar-Vivadent, Tetric Flow-Ivoclar-Vivadent, Filtek Flow-3M-ESPE, Tetric Ceram-Ivoclar-Vivadent, Filtek Z250-3M ESPE) arasındaki bağlanma kuvvetlerini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda en yüksek bağlanma değerlerini Multicore Flow verdiğini, bunu Tetric Flow, Filtek Flow, Tetric Ceram, Filtek Z250 izlediğini tespit ederek, fiber post üzerine kor yapılırken, dual sertleşen rezin kompozitlerin ışınlı sertleşenlere göre daha tercih edilebilir olduklarını belirtmişlerdir.

Souza ve arkadaşları⁷⁸, adeziv uygulamak için kullanılan fırça tipinin ve fazla solusyonun paper pointler kullanılarak uzaklaştırılmasının postun direncine etkisini inceledikleri çalışmalarında, 80 adet 16 mm uzunluğunda tek köklü sığır dişinde 12 mm derinliğe FRC Postec Plus fiber postu Duolink (Bisco) rezin simanla yapıştırmışlar ve 8 gruba ayırmışlardır. (Grup 1: küçük Microbrush (Cavi-Tip, SDI); Grup 2: Microbrush (Dentsply); Grup 3: Endobrush (Bisco); Grup 4: konvansiyonel fırça (Bisco); Grup 5: Cavi-Tip (SDI) + paper point; Grup 6: Microbrush (Dentsply) + paper point; Grup 7: Endobrush (Bisco) + paper point; Grup 8: konvansiyonel fırça (Bisco) + paper point).

Örnekler, köklerinin yarısı akrilik rezine gömülerek 24 saat 37° C suda tutulmuşlardır. Her bir örnek 4 disk şekilli örneklerle kesilmiş ve push-out testine tabi tutulmuştur. Sonuçta, en küçük fırçanın (Cavi-Tip) ve paper point kullanımının sığır dişine rezin bağlanmasını önemli derecede artırdığını belirlemişlerdir.

D'Arcangelo⁸² ve arkadaşları yapıştırma simanı uygulama yöntemini değiştirerek, üç farklı adeziv/rezin siman/fiber post sistemlerin apikal üçlüdeki dentin post boşluğundaki tutuculuk güçlerini değerlendirmişlerdir. Üretici tarafından sağlanan rezin siman ile hazırlanan kök kanallarına ENA post (Micerium), FRC PostecPlus ve Anatomical post (Dentalica) yapıştırarak, örnekleri yapıştırma ajanının uygulama tekniğine göre (lentulo spiral, post yüzeyine uygulama ve özel şırınga ile enjekte etme) rastgele üç gruba ayırmışlar ve her örneğin apikal post boşluğu kısmından push-out testi uygulamışlardır. Sonuçta bağlanma kuvvetlerinin yapıştırma ajanı uygulama tekniğinden önemli derecede etkilenmediğini, ENA postların en yüksek, diğer iki postun ise birbirlerine benzer bağlanma kuvvetleri gösterdiğini belirtmişlerdir.

de Durão Mauricio⁸³ ve arkadaşları, FRC PostecPlus postun değişik kök kanal üçlüsü kısmındaki bölgesel bağlanma kuvvetlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, altmış adet çekilmiş insan ön dişlerine gutta-perka ve AH Plus ile endodontik tedavi uygulamışlar ve dişlerin kuron kısımlarını keserek post boşluğu hazırlamışlardır. Hazırlanan dişleri oluşturdukları altı gruptan birine gelişigüzel dağıtmışlar ve altı farklı yapıştırma ajanı (Ketac Cem Aplicap-3M ESPE; RelyX Unicem Aplicap-3M ESPE, Variolink II/Excite DCS-Ivoclar-Vivadent, Panavia F/ED Primer-Kuraray, C&B siman/All-Bond 2-Bisco ve Multilink/Multilink Primer A/B-Ivoclar-Vivadent) kullanarak FRC PostecPlus postu kanala yapıştırmışlardır. Örnekleri rezine gömerek, kökleri 1 mm kalınlığında seri dilimlere ayırmışlar ve en yüksek bağlanma kuvveti değerlerinin servikal üçlüde, en düşük değerlerin apikal üçlüde oluştuğunu, yapıştırma ajanlarında en yüksek değerleri, Variolink II, Panavia F ve Multilink resin simanda, daha sonra C&B ve RelyX Unicem rezin simanda, en düşük Ketac-cem simanlarda oluştuğunu belirtmişlerdir.

Valandro ve arkadaşları⁸⁴, kök içine yapıştırılan fiber postların bağlanma kuvvetlerine mekanik siklusun etkisini araştırdıkları çalışmalarında, altmış adet kurunsuz tek köklü insan dişlerini 12 mm boyunda hazırlayarak, otuz dişe D.T. Light Post-(Bisco), geri kalan otuz dişe ise FRC PostecPlus cam fiber destekli kompozit post uygulayarak, bütün postları kompozit bir rezinle (All Bond+Duolink-Bisco) yapıştırmışlar ve epoksi rezinle dolu bir silindire gömmüşlerdir.

Örnekler, uzun eksenlerine dik kesilerek 2 mm kalınlığında disk örnekleri oluşturulmuş ve daha sonra değişik sıklıkta (20,000-2,000,000) push-out testine tabi tutulmuştur. Sonuçta mekanik siklusun sıklığı ne olursa olsun, köke yapıştırılan iki postun bağlanma kuvvetlerini etkilemediği sonucuna varmışlardır.

D'Arcangelo ve arkadaşları⁸⁵, 2008 yılında kök post boşluğunun koronal, orta ve apikal üçlüsünde farklı adeziv/rezin siman/fiber post sistemlerin bağlanma kuvvetlerini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, üç farklı cam fiber post sistemini-Saremco post (Saremco), FRC PostecPlus ve Anatomical post (Dentalica)-üreticileri tarafından sağlanan adeziv rezin siman ile hazırlanan kök kanallarına yapıştırmışlardır. Bağlanma kuvvetini ölçmek için her bir örneğin kökün apikal, koronal ve orta üçlü kısımlarından push-out testi gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, bağlanma kuvveti değerlerinin hem kullanılan post-adeziv-siman sistemi hem de kök bölgesine göre önemli derecede etkilendiğini, Saremco ve Anatomical post sistemlerde en yüksek tutuculuk değerleri bulunurken, FRC PostecPlus sistemin en düşük bağlanma değerlerine sahip olduğunu, en yüksek bağlanma kuvveti değerlerinin ise bütün deney gruplarında kökün koronal üçlüsünde oluştuğunu belirtmişlerdir.

Finger ve arkadaşları⁸⁶, bir titanyum ve yedi fiber destekli kompozit rezin postun-AESthetiPlus (RTD, FibreKor (Jeneric Pentron), Light-Post (RTD), LightPost (Dentatus), Mirafit (Hager&Werken), Snowlight (Carbotech) ve Snowpost (Carbotech) kanin dişe-Panavia 21 EX (Kuraray) ile yapıştırıldıktan sonra alınan radyografilerinin densitometrik analizler ile radyoopasitelerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, yirmi diş hekimi tarafından iyiden kötüye 1 ile 5 arasında skorlar vererek değerlendirilmiş, sonuçta titanyum, Snowlight ve Snowpost postlar 5 üzerinden 4 skor alırken, FibreKor 3, diğer postların radyoopasiteleri ise yetersiz ve kabul edilemez bulunmuştur.

Michalakakis ve arkadaşları⁸⁷ ise çalışmalarında, estetik seramik Celay post (Mikrona) ve CosmoPost (Ivoclar-Vivadent) ile bir cam fiber destekli postun-Snowlight-ışık geçirgenliğini, döküm metal post-kor ve opak porselen ile kaplanmış kontrol grubu ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca, klinik açıdan değerlendirmek amacıyla 5 adet çekilmiş insan ön dişini akrilik rezinlere gömerek, postları kanal içine yerleştirmişler ve 25° C karanlıkta spektrofotometrik analiz yapmışlardır. Sonuçta en iyi ışık geçirgenliğinin Snowlight postta, daha sonra CosmoPost ve Celay postta olduğunu belirlemişlerdir.

Kelsey ve arkadaşları⁸⁸ 2007 yılında iki farklı yüzey sertleştirme işleminin (AlO₂ ve CoJet ile air abrazyon) kanal içine yerleştirilen üç değişik fiber destekli postun-Parapost (Coltène Whaledent) FibreKleer ve FibreKor tutuculuğuna etkisini araştırdıkları çalışmalarında, 90 adet çekilmiş insan dişi kullanmışlardır. Dişlerin koronal kısmı kesildikten sonra gütta-perka ile kanal tedavileri tamamlanmış ve 3 hafta 37° C suda bekletilmiştir. Post hazırlığı 9 mm derinlikte yapılmış ve her bir post grubu için 30 diş kullanılmıştır; 10 tanesine geleneksel 50 mµ AlO₂ air abrazyon, 10 tanesine CoJet (3M ESPE) air abrazyon ile yüzey pürüzlendirme yapılarak, 10 tanesine ise yüzey pürüzlendirme yapılmadan bağlanma kuvvetleri test edilmiştir. Sonuçta, yüzey pürüzlendirme yapılmamış FibreKor ve FibreKleer postların bütün test gruplarından daha düşük tutuculuk gösterdiği, air abrazyon ile yüzey pürüzlendirmenin rezin simanla yapıştırılan postlarda yüzey sertliğini değiştirerek tutuculuğu artırdığı, AlO₂ ve CoJet sistemlerin etkinliğinin ise eşit olduğunu belirtmişlerdir.

Teixeria ve arkadaşları⁸⁹, aynı yıl dört farklı cam fiber destekli kompozit postun-D.T. Light-Post konik (Bisco), FibreKleer konik, FibreKleer Paralel, FibreKor paralel-*in vitro* tutuculuk ve kırılma özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, tek köklü 44 dişi dört gruba ayırarak, kırılma değerleri ve sertliklerini değerlendirmişlerdir. Sonuçta, konik postların paralel postlardan daha düşük tutuculuk gösterdiğini, D.T. Light-Post' un diğerlerinden daha sert olduğunu belirtmişlerdir

Tezvergil ve arkadaşları⁹⁰, iki fiber destekli kompozitin postun-everStick ve Stick (StickTech), dişlere olan bağlanma kuvvetlerini kompozit kontrol grubu ile araştırdıkları çalışmalarında, 200 adet çekilmiş insan molar dişine, everStick ve Stick postlar, doğrudan veya akışkan kompozit rezin (Tetric Flow-Ivoclar-Vivadent) ile uygulanmış, örnekler 24 saat 6000 kez termalsiklusa tabi tutularak, push-out direnç testi yapılmıştır. Sonuçta, termalsiklusun bağlanma kuvvetini %10 kadar artırdığını, akışkan rezin kompozit varlığının ise bağlanma kuvvet değerlerini artırmadığını ve postların bağlanma kuvvetlerinin kompozitten farklı olmadığını bildirmişlerdir.

Lassila ve arkadaşları⁹¹, 2004 yılındaki çalışmalarında, çeşitli fiber destekli kompozit postların bükülme dirençlerini tespit etmek amacıyla oda neminde ve termalsiklus sonrası yedi farklı marka-Carbonite (Nordin), Carbopost (Carbotech), C-post (Bisco)-karbon fiber destekli; everStick, ParaPost FiberWhite (Coltène Whaledent), Snowpost, Glassix (Nordin)-cam fiber destekli ve farklı çaptaki (1,0–2,1 mm) fiber postu üç nokta bükme testi ile değerlendirmişlerdir.

Sonuçta termalsiklusun, materyal markasının ve post çapının kırık yüklemesi ve bükülme dirençleri üzerine önemli bir etkisi olduğunu, en yüksek bükülme direncini everStick postların gösterdiğini, fiber postlarda kırık yüklemesi ve çap arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu ve termalsiklusun post örneklerin tümünde bükülme direnci ile kırık yükleme değerlerinin her ikisini ortalama %18 azalttığını belirtmişlerdir.

Mannocci ve arkadaşları⁹², IPN (Interpenetrating Polymer Network) polimerli post-everStick ve çapraz bağlı polimer matrise sahip-C-Post Millenium (Sogeva) cam fiber destekli kompozit postlara uygulanan iki farklı bonding rezinin postlara penetrasyonunu karşılaştırmak amacıyla yaptıkları çalışmalarında, 1,2 mm çapında hazırladıkları 36 adet postu; 18 IPN ve 18 çapraz bağlı-olarak her birinde üç post içeren 12 gruba ayırmışlar ve bonding rezinlerin 1, 30 ve 300 saniye teması sonrası postlara penetrasyonunu konfokal tarama ışık mikroskobu ile ölçmüşlerdir. Sonuçta, 1 saniye temas sonrası postların herhangi bir kesiminde penetrasyon oluşmazken, everStick için penetrasyonun her zaman 30 saniye sonra oluştuğunu, 300 saniye sonraki penetrasyon derecesinin ise 30 saniye sonraki penetrasyondan fazla olduğunu, her iki temas süresinde, C-post Millenium ile elde edilen sıfır penetrasyondan önemli derecede yüksek olduğunu, everStick posta bonding rezinlerin yüksek penetrasyon kapasitesi dolayısıyla post, kompozit kor ve yapıştırma simanları arasında iyi bir bağlanma yapabileceğini bildirmişlerdir.

Fokkinga ve arkadaşları⁹³ 2006 yılında, deneysel fiber destekleri dâhil ve hariç tutarak direkt rezin kuronların kırılma davranışını araştırmayı amaçladıkları çalışmalarında, tek köklü üst premolarları mine-sement bileşimi sınırından keserek, gates-glidden frezleri ile kanalları genişletmişlerdir. Daha sonra kökleri akliliğe gömmüşler ve kanal girişlerini standardize ederek (derinlik 2 mm, çap 1,75 mm) her biri ondört örnek içeren üç grup oluşturmuşlardır (Grup 1: özel yapım everStick post-5 mm fiberler kanal içinde, Grup 2: deneysel cam fiber yapı eklenmiş everStick, Grup 3: fiber destekler yok). Postları Panavia F (Kuraray) ile yapıştırarak, Filtek Z250 (3M ESPE) rezin kompozit kuronlarla restore etmişler ve kırılma noktasına kadar yükleme yaparak, oluşan kırılmaları önemli ve önemsiz olarak ayırmışlardır. Sonuçta, gruplar arasında ortalama kırılma yükleme değerleri arasında önemli farklar bulunmadığını, Grup 2' de diğerlerine göre daha fazla önemsiz kırılmalar oluştuğunu, yeni tip deneysel cam fiber destek yapının eklenmesinin kırılma şekline etki etmekle birlikte, yükleme dayanma kapasitesini etkilemediğini belirtmişlerdir.

Yine, Fokkinga ve arkadaşları⁹⁴ aynı yıl metal kuronlar ve çeşitli post-kor sistemler ile restore edilen aşırı madde kayıplı premolar dişlerde kırılma davranışını her biri onbir örnek içeren gruplarda incelemişlerdir. Grup 1: döküm post-korlar-Parapost XP (Coltène Whaledent), Wironium Plus (Bego), Grup 2: paslanmaz çelik post, Parapost XH (Coltène Whaledent), Grup 3: cam fiber destekli kompozit post-ParaPost FiberWhite (Coltène Whaledent), Grup 4: özel yapım cam fiber post-everStick. Postlara termalsiklus uygulanarak (6000 kez, 5-55 arası), 30° eğimle statik yükleme testleri yapılmıştır. Sonuçta, ortalama başarısızlık yükleme değerleri gruplar arasında önemli derecede farklı bulunmazken, oluşan önemli başarısızlıklar kök kırıkları, önemsiz başarısızlıklar ise post-koron sistemin yerinden oynaması şeklinde meydana geldiğini ve gruplar arasında önemli/önemsiz başarısızlıkların sıklığında farklar görülmediğini belirtmişlerdir.

Kalkan ve arkadaşları⁹⁵, opak, translusent ve e-cam fiber postların hazırlanan post boşluğu yerlerindeki bağlanma kuvvetlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, altmış adet çekilmiş insan üst kesici dişi kullanılmışlardır. Postları, opak cam fiber post-Snowpost, translusent cam fiber post-FiberMaster (NTI) ve everStick, Panavia F ile yapıştırmışlardır. Push-out testi kullanarak, 24 saat ve 1 hafta sonra post-dentin arası bağlanma kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Sonuçta, kullanılan post sistemleri arasında önemli derecede fark olurken, test zamanları arasında (24 saat, 1 hafta) önemli fark olmadığını ve opak ile e-cam fiber postların, translusent posttan daha yüksek değerler verdiğini belirtmişlerdir.

Pastila ve arkadaşları⁹⁶, kısa dönem suda bekletmenin kompozit materyallerin elastik özelliklerini değiştirip değiştirmediğini tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, parçacık dolduruculu kompozit rezin ve tek yönlü e-cam-everStick-materyalini önce foto polimerize daha sonra da ısı ile polimerize etmişler ve test örneklerini 37° C' de 30 gün kadar bekletmişlerdir. Sonuçta, örneklerin ağırlıklarında %1 kadar su emmeye bağlı artış olduğunu, su emmenin elastik özelliklerde önemli derecede azalma meydana getirmediğini ve su emmenin materyalin elastik özelliklerini değil, matrislerin esneme sınırlarını değiştirdiği için fiziksel özelliklerini değiştirdiğini savunmuşlardır.

Garoushi ve arkadaşlarının⁹⁷ 2007 yılında yaptıkları bir çalışmada, kısa fiber doldurucular içeren deneysel kompozit rezinden yapılan kuronlarla restore edilen üst kesici dişlerin, statik yükleme kapasitesini ve kırılma tipini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Deneysel kompozit rezini %22,5 kısa e-cam fiber, %22,5 IPN (Interpenetrating Polymer Network) ve %55 silanize edilmiş silika doldurucularla hazırlamışlar ve 30 adet çekilmiş insan üst kesicileri mine-sement sınırından keserek, 6 grup oluşturmuşlardır (Grup A: kompozit rezin (Grandio Caps, VOCO); Grup B: PFC fiber post (everStick, StickTech); Grup C: PFC everStick fiber post ve FRC-altyapı; Grup D: FC, Grup E: FC ile FRC-altyapı). Postlar, hazırlanan kök kanalına bir rezin siman (ParaCem Universal-Coltène Whaledent) ile yapıştırılarak, test öncesi oda sıcaklığında 24 saat suda bekletilmiş ve kırılmalar gözle izlemişlerdir. Sonuçta, deneysel fiber kompozitlerin daha yüksek yükleme direnci gösterdiğini, FRC altyapılı ve yapısız örnekler arasında yükleme farkı bulunmadığını, IPN polimer matrisli kısa cam fiber içeren kompozit rezinlerin, düz PFC veya PFC destekli fiber postlara göre daha iyi yükleme kapasitesi gösterdiğini belirtmişlerdir.

2.6. Kuvvet Analiz Yöntemleri

Bir materyalin uzun ömürlü olması için materyalin yeterince sert ama üzerine gelen kuvvetleri homojen dağıtacak kadar esnek olması gereklidir. Uzun ömürlü olmasını sağlamak amacıyla, materyale gelen kuvvetlerin nerelerde yoğunlaştığını tespit edip güçlendirmek ve ideal şeklini belirlemek için materyale laboratuarda çeşitli kuvvet analizleri yapılır²¹.

Diş hekimliğinde, yapılan restorasyonlarda zaman içerisinde normal morfolojinin değişmesi ile diş üzerine gelen streslerin dağılımında değişiklikler meydana gelir ve uygulanan kuvvetler iç gerilimlerin oluşumuna neden olur. İç gerilimler, kuvvetin şekline, dişin desteklenme biçimine göre değişerek yeterli büyüklükte kalıcı bozulma ve yerel zayıflamalar meydana getirirler⁹⁸. Ayrıca, kullanılan restoratif materyaller çiğneme işlemi esnasında değişken ve yüksek kuvvetlerin etkisinde kaldığından, kullanılan materyallerin fiziksel dayanıklılığının tespiti restorasyonların klinik başarısı için son derece önemli bir faktördür. Bu nedenle diş hekimliğinde çeşitli kuvvet analiz yöntemleri sıklıkla kullanılır. Bunlar; kırılğan vernik kaplama yöntemi, gerinimölçer kuvvet analiz yöntemi, fotoelastik kuvvet analiz yöntemi, termografik kuvvet analiz yöntemi ve holografik interferometri kuvvet analiz yöntemidir^{99,100}.

Bütün bu yöntemler laboratuvar ortamında yapılan deneysel kuvvet analiz yöntemleridir. Bir başka yöntem ise, bilgisayarlar yardımı ile teorik olarak yapılan ve matematiksel denklem çözümlmelerine dayanan sonlu elemanlar yöntemi stres analizidir.

2.6.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Stres Analizi

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık geometrilerin analizinde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Bu yöntemle incelenen bir yapının bir, iki veya üç boyutlu analizi yapılabilir. Yöntemde, değişik şekillerdeki yapılar modellenir ve birbirlerine düğüm noktalarında birleşen daha basit geometrik şekillere (elemanlara) bölünür. Kuvvet dağılımı, her eleman için ayrı ayrı bulunacağından, daha hassas bir analiz için eleman sayısı çoğaltılır^{101,102}.

Bu yöntem, matematikçiler tarafından mühendislikte karşılaşılan problemlerin analitik çözümünde kullanılmak üzere 1940' lı yıllarda geliştirilmiştir¹⁰³. Yöntem ile ilgili ilk çalışmalar, Hrennikoff ve McHenry tarafından geliştirilen iki boyutlu yarı analitik analiz yöntemlerine dayanır. Yöntemin üç boyutlu problemlere uygulanması 1964 yılında geliştirilmiştir. 1965 yılında yöntem ile Poisson denklemi çözülmüştür¹⁰². 1970' de ise yöntem, akışkanlar mekaniğine uygulanmıştır^{101,103,104}. Modeldeki stresleri matematiksel olarak elde edebilmek için bazı bilgiler gereklidir. Bunlar;

- Düğüm noktaları ve elemanlarının toplam sayısı ile her bir düğüm noktasını ve elemanı belirlemek için numaralandırma sistemi,
- Her bir elemanla ilgili olarak materyalin elastisite katsayısı ve Poisson oranı,
- Sınır şartları tipi ve dış düğümlere uygulanan kuvvetlerin değerlendirilmesidir¹⁰².

Yöntem son yıllarda biyomekanik ile ilgilenen araştırmacıların ilgisini çekmesi sonucunda, diş hekimliği alanında sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Yöntem, iki boyutlu ve üç boyutlu olarak uygulanabilir. İki boyutlu sonlu elemanlar analizi uygulama kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir.

İki boyutlu modelin kullanımıyla diş yapısındaki en ince tabakaların (yapıştırıcı siman, mine tabakası, gütta-perka, kesici kenara uzanan porselen yapısı gibi) daha iyi modellenmesinde başarılı olunduğu belirtilmektedir^{101,105}. Ancak iki boyutlu sonlu elemanlar modelinin yetersiz kaldığı durumlar söz konusudur. İnsan dişi bir hayli düzensiz bir yapıya sahiptir. Diş yapısındaki farklı materyallerin dağılımı da herhangi bir simetri göstermemektedir. Bu nedenle güvenilir bir analiz için gerçek boyutları yansıtan üç boyutlu bir model kullanması tercih edilmelidir¹⁰⁶.

Diş hekimliğinde sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde kullanılan programlar ANSYS, SAP 80, FEMPRO, I-DEAS, NASTRAN, PAFEC 75, MARC ve PATRAN¹⁰⁴ dır.

2.6.1.a. Sonlu elemanlar yönteminin avantajları

1. Bazen iç içe geçmiş elemanlardaki malzeme özellikleri aynı olmayabilir ve bu durum analizde sorun yaratabilir. Sonlu elemanlar yöntemi ile birkaç malzemenin birleştirildiği cisimlerde uygulanabilir.

2. Gerçek yapıya çok daha yakın bir model hazırlanabilir,

3. Yöntem ile düzgün olmayan sınırlara sahip şekiller ve eğri kenarlı elemanlar analiz edilebilir ve eleman boyutları kullanıcı tarafından kolayca değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı artırılabilir.

4. Stresler, gerinimler ve yer değiştirmeler hassas bir şekilde elde edilebilir^{101,103,104}.

2.6.1.b. Sonlu elemanlar yönteminin dezavantajları

1. Benzeşim modeli elde edilen yapıların isotropik, homojen ve doğrusal elastisite gibi malzeme özellikleri ile ilgili varsayımlar, genellikle yapının tam bir temsili örneği değildir ve modellenen yapılar gerçekte olduğundan daha çok dinamik yükler altındadır. Yapıların analizi bu yöntemle dinamik açıdan da ele alınabilir, ancak işlemler hem daha uzun sürer hem de daha karmaşık bir hal alabilir.

2. Yöntemin geçerliliği ve yapılan araştırmanın doğruluğu için malzeme özellikleri, geometrisi ve modellenen gerçek sistemin yüklenmesi gibi bazı önemli özelliklerin doğru verilmesinin tamamen araştırmacının sorumluluğuna dayanmasından dolayı çok hassas bilgi aktarımını gerektirir^{101,103,104}.

2.6.1.c. Sonlu elemanlar yönteminin temel kavramları

- Düğüm (Node)

Sonlu elemanlar yönteminde modeller, sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır ve bu noktalara düğüm (node) denir. Katı modellerde, her bir elemandaki yer değiştirmeler, doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilgili işkilili iken, düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ise elemanların gerilmeleriyle iřkilidir¹⁰⁴. Sonlu elemanlar yöntemi, bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri c zmeye c lışır. Böylece gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir^{101,104}.

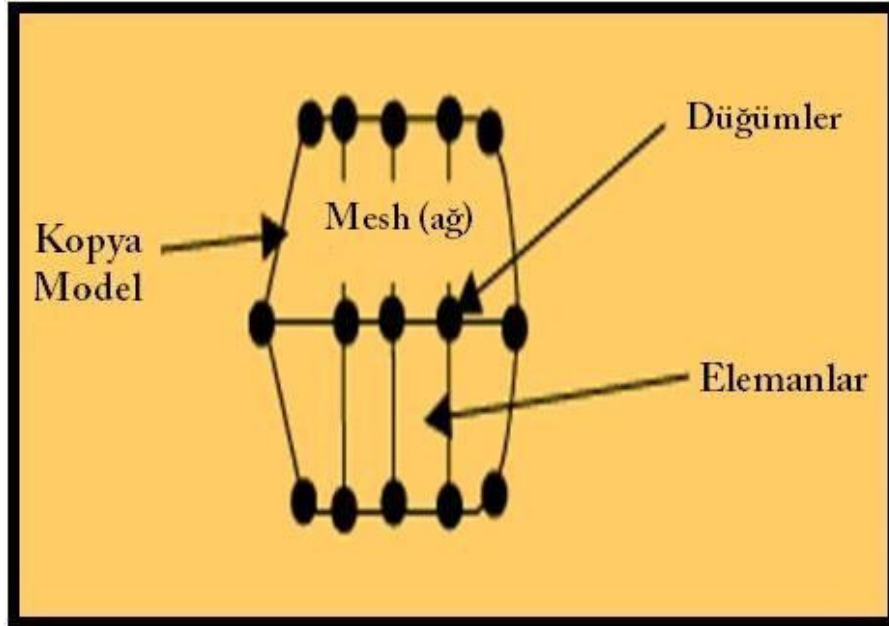
- Eleman (Element)

Sonlu elemanlar yönteminde sistemi tanımlayan bölge, eleman (element) olarak adlandırılan basit geometrik şekillere parcalanır. Bu elemanlar, "düğüm" olarak adlandırılan özel noktalardaki bilinmeyen değerler cinsinden ifade edilir. Sınır koşullarını da içerecek şekilde, elemanların birleştirilmesi sonucu lineer veya lineer olmayan cebirsel denklem seti elde edilir. Bu denklemlerin c z m , sistemin yaklaşık davranışını verir¹⁰¹. Sonlu elemanlar yönteminde elemanlar geometrisine göre,  cgen, paralel kenar, dörtgen elemanlar olarak sınıflandırılırken, boyutlarına göre tek boyutlu, iki boyutlu, dönel elemanlar,  c boyutlu elemanlar, izoparametrik elemanlar olarak, düğüm sayısına ve düğüm sayısındaki bilinmeyenlere ve sürekli ortam probleminin özelliklerine göre ise plak, levha, kabuk problemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi düğüm noktaları için tanımlanmış şartları, cebirsel lineer denklemlere c virir, önce bu denklemler c z l r ve bütün elemanlardaki gercek gerilmeleri bulmaya c lışır. Sonuç olarak model ne kadar c k sayıda elemana bölünürse daha gercek i sonuçlar elde edilir^{101,104}.

- Mesh oluşturulması

Mesh (ađ) oluřturma iřlemi, dűđűm noktalarının ve elemanların koordinatlarını oluřturur. Aynı zamanda kullanıcı tarafından girilen minimum bilgiye karřılık uygun deđer sűrede otomatik olarak dűđűm noktalarını ve elemanları sıralar, numaralanmasını sađlar. Mesh űretme konusunda kullanıcının ayrıca űzerinde mesh űretilcek alanda, hangi bűlgelerin eleman yođunluđunun fazla olacađına hangi bűlgelerin eleman yođunluđunun daha az olacađına karar vermesi gerekebilir.

Genellikle, űnemli olduđu veya kendi içinde bűyűk deđiřime sahip olduđu bilinen veya tahmin edilebilen bűlgelerde, birim alana daha fazla eleman yerleřtirilir. Mesh oluřturmada modeller sonlu sayıda elemanlara bűlűnűr (řekil 1). Bundan sonra, cismin nereden sabitlendiđini ve kuvvetin neresinden uygulandıđını gűsteren sınır řartları belirlenir^{101,104}.



şekil 1. Mesh oluşturulması

- Katı modelleme

En üst düzey modelleme tekniğidir. Gerçek anlamda cismin iç ve dış geometrisinin tanımı yapılmış olur. Katı modellemenin esas özelliği, görüntünün ötesinde cismin iç ve dış geometrisinin bilgi kütüğü şeklinde bilgisayara geçmiş olmasıdır. Böylece ağırlık, moment gibi parametreler hesaplanabilir veya kesitler alınarak cismin iç geometrik formu incelenebilir. Cisimlerin yüzeylerindeki renkler, geçirgenlik ışık yoğunluğu ve gölgeleme yapılabilir¹⁰⁴. Cisimlerin katı modellemesi için CAD (Computer Aided Design-Bilgisayar Destekli Tasarım) programları iki yöntem kullanır. Bu yöntemler yardımıyla yüzey sınırlarının tanımı yapılır ve bu sınırlar boyunca iki boyutlu yüzeylerin taranması ile cismin tüm hacmi tanımlanır. Eksenel simetri olan bir parça, dönme şeklinde bir tarama ile kolaylıkla tanımlanır ya da karmaşık yüzeylerde tanımlanan eğriler boyunca yapılan tarama yüzeyi oluşturulur. Tasarım yapılacak cismin yapısına göre bu iki yöntemden birisi tercih edilir¹⁰⁴.

CAD ortamında hızlı bir veri iletişim ve işlem gücüne ihtiyaç duyulması, yöntemin dezavantajı olarak gösterilmektedir. Katı modelleme sayesinde bir ürünün daha üretilmeden istenen şekil ve işlevi sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilir. Dayanım ve malzeme hesapları da yüksek maliyetli testlerle değil yazılım olarak yapılabileceğinden daha hızlı ve ucuz olur^{101,104}.

- Bir, iki ve üç boyutlu modelleme

Bir boyutlu modellemede, oluşturulan model tek eksenli olur. Yani yüksek hesap gerekmeyen ya da kuvvetin tek ekseninden etki ettiği durumlarda kullanılabilir. İki boyutlu modellerde çizilen parçalar ise iki boyutlu olarak oluşturulur. Kuvvetler oluşturulan modelde iki eksen doğrultusunda etki ettirilir. Meydana gelen etkiler de bu yönlerde oluşmaktadır. Kullanım yeri, üç boyutlu hareket eksenini olmayan veya özellikleri nedeniyle başka eksenlerde çalışmayan sistemlerdir¹⁰¹.

Üç boyutlu modelleme ise gerçek dünyanın koordinat düzlemine göre oluşan kuvvetleri temsil etmek için kullanılır. Her ekseninde olan kuvvetler hesaba katılmış olur. Böylece daha hassas ve gerçek sonuçlar elde edilebilir. Üç boyutlu bir benzeşimi, iki boyutlu veya bir boyutlu çözmek sisteme daha basit yaklaşılmasını sağlayarak hesaplamalarda kolaylık sağlar^{101,104}.

2.6.2. Post-kor Sistemlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Stres Analiz Çalışmaları

Huysmans ve Van der Varst¹⁰⁷, post-kor sistemlerde materyal yorulması ile oluşan başarısızlık nedenlerini üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile araştırmışlardır. Dişlerde yapılan stres analizlerinin güvenilir değerler vermesi için yapılacak modellemenin standardizasyonunun çok önemli olduğunu ve standardize edilmemiş modellerle yapılan çalışmaların sonuçlarının çok dikkatli incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Eskitaşçıoğlu ve arkadaşları¹⁰⁸ fiber kompozit laminat post-Ribbond (Ribbond) ve konvansiyonel nikel-krom döküm post sistemlerdeki stres dağılımlarını üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırmışlar ve stresin döküm nikel-krom post içinde toplanırken, diş üzerinde az oluştuğunu; fiber kompozit laminat postun ise tersine stresi dişe ilettiğini ve post içerisinde daha az stres oluştuğunu bildirmişlerdir.

Boschian Pest ve arkadaşları¹⁰⁹, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile materyal sertliğinin, post yerleştirme derinliğinin ve çapının, üst santral kesici dişte oluşan streslerin dağılımına etkilerini bir cam fiber destekli post-Luscent Anchor (Dentatus), paslanmaz çelik ve titanyum post materyali ile incelemişlerdir. Cam fiber destekli kompozit postların, titanyum ve paslanmaz çelik postlardan daha iyi stres iletimi yaptığını, cam fiber destekli kompozit postların kök içinde mümkün olan en derin noktaya yerleştirilmeleri gerektiğini ve cam fiber destekli kompozit postlarda çap farkının stres dağılımını etkilemediğini belirtmişlerdir.

Albuquerque ve arkadaşları¹¹⁰ üç değişik materyalden (çelik, titanyum, BIS-GMA matriste karbon fiber destekli) üretilen postların farklı anatomik şekillerinin (konik, paralel, iki aşamalı paralel) üst santral kesicilerdeki stres dağılımlarını iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişlerdir. Çalışmalarında, dişin palatinal yüzündeki alveoler kemiğe yakın bölgedeki stres yoğunlaşmasının, farklı post şekil ve materyalinden etkilenmezken; kök palatinal yüzdeki post-dentin ara yüzünün önemli derecede etkilendiğini, metal postların daha yüksek yoğunlaşma yaptığını post şeklinin ise göreceli olarak düşük bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Yaman ve arkadaşları¹¹¹ 2004 yılında farklı post; paslanmaz çelik-Flexi-post (EDS) zirkona seramik post-Cera-post (Brassaler) ve karbon fiber destekli kompozit post-Composipost (RTD) ve kor; titanyum-Ti-core (EDS) ve porselen-Tetric Ceram (Ivoclar Vivadent) ile restore edilen üst santral kesici dişte oluşan streslerin dağılımına değişik faktörlerin (kuvvet açısı, bölgesi, post-kor materyali ve çapı) etkisini üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Kor materyalinin kuvvet açısı, kuvvet bölgesi, post materyali ve çapından daha önemli olduğunu, daha yüksek elastisite katsayısına sahip postların diş boyunca daha az stres oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Li ve arkadaşları¹¹² 2006 yılında yaptıkları çalışmalarında, titanyum alaşım postlarda değişik yapıştırma simanları-Superbond C&B (Sunmedical), Panavia F (Kuraray), cam iyonomer siman (Promedica), çinkopolikarboksilat (Shofu) siman ve çinkofosfat siman (SMI Inc) ile restore edilen zayıf köklerdeki stres dağılımını üst santral kesici dişte üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişler ve dentine yakın elastisite katsayısına sahip simanların zayıf kökü güçlendirebileceğini ve dentin üzerindeki stresi azaltabileceğini belirtmişlerdir.

Toksavul ve arkadaşları¹⁰⁵, üst santral kesici dişte zirkona seramik post-CosmoPost (Ivoclar-Vivadent), cam fiber destekli kompozit post-FRC Postec ve titanyum-Er Post (Komet) kullanıldığında dişte oluşan stres dağılımını üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analizi ettikleri çalışmalarında, elastisite katsayısı en yüksek olan zirkona seramik postun dentinde cam fiber destekli kompozit post ve titanyum postlara göre daha az stres değerleri oluşturduğunu bildirmişlerdir.

2.7. Fiziksel Dayanıklılık Testleri

Cisimlerin direnç ve esneklik gibi materyal özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla laboratuvar ortamlarında yapılan testlere, fiziksel dayanıklılık testleri adı verilir⁹⁸. Bu testler büyük ölçek testler ve küçük ölçek testler olmak üzere iki grupta toplanır.

2.7.1. Büyük ölçek testler

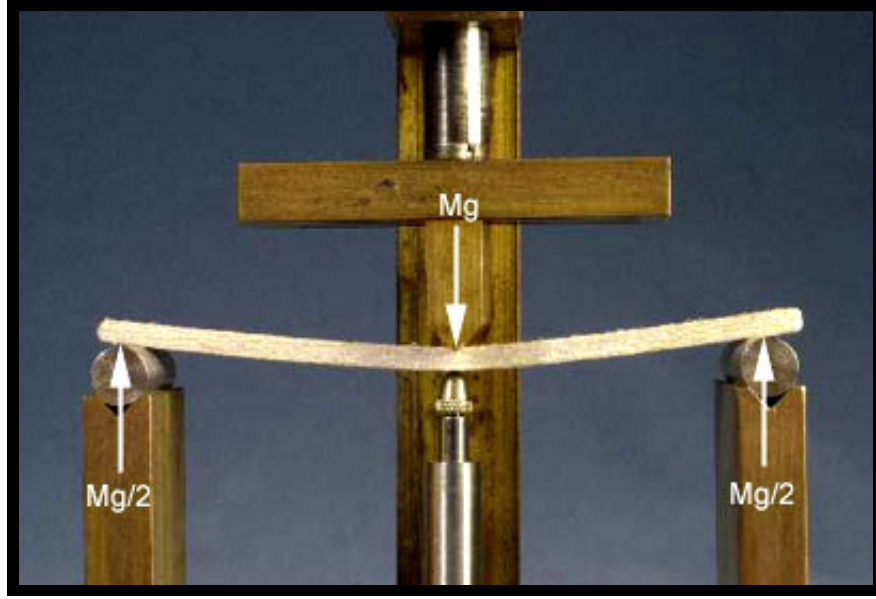
Büyük ölçek testler, bir ana yapının geometrisini ve gelen yüklemeleri mümkün olan en yakın değerde simule etmek amacıyla yapılır. Eğer test ana yapının durumunun modellenmesi şeklinde yapılırsa yapısal temsil olarak adlandırılır. Yapısal temsil testleri, geçmişte uygun materyal özelliği ölçüt standartlarının geliştirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmış ve yeni materyalleri kapsamak için cisimlerin fiziksel özellikleri ve davranışlarına yönelik sürekli geliştirilmiştir^{73,113,114}.

Günümüzde büyük ölçek testlere alternatif olarak görülen bilgisayar destekli modellemelere rağmen hâlâ yeni materyaller için güvenlidirler ve kalite süreçlerinde önemli bir rolleri vardır⁷³.

2.7.2. Küçük ölçek testler

Yapısal temsil testleri, her ne kadar fiziksel davranışı ölçmede en gerçekçi yol olsa da, pratik ve ekonomik değildir. Bu yüzden, küçük ölçek testleri geliştirilmiştir. Bu testler, ISO, CEN, BSI, ASTM, DIN gibi uluslararası test şartnameleri ile standardize edilmiştir⁷³. Yaygın kullanılan küçük ölçek fiziksel dayanıklılık testleri; sertlik testleri, gerilme testleri, bükme testleri, sıkışma testleri, makaslama ve döndürme testleri ve çalışabilirlik-fonksiyon testleri olmak üzere altı çeşittir.

Bu testlerden bükme testleri, materyallerin bükülme direnç değerlerinin tespit edilmesinde kullanılır. Bükme testlerinin birden çok çeşidi vardır. Bunlar içinde, üç nokta bükme testi dış hekimliğinde iyi bilinen bir fiziksel dayanıklılık testidir (Şekil 2). Üç nokta bükme testinin avantajı, model hazırlamanın ve test uygulamanın kolaylığıdır. Yine de, bu test sonuçlarının test edilen modele, yükleme geometrisine ve gerilme oranına karşı hassas olması gibi dezavantajları vardır^{98,113,115}.



Şekil 2. Üç nokta bükme test düzeneği

2.7.3. Postlarla Yapılan Üç Nokta Bükme Test Çalışmaları

Torbjörner ve arkadaşları¹¹⁶, üç nokta bükme testi kullanarak karbon fiber destekli kompozit bir postun-Composipost (RTD)-suda bekleterek termalsiklus sonrası fiziksel özelliklerini karşılaştırmış ve fiber postların sitotoksik etkilerini değerlendirmişlerdir. Bükülme direnci değerlerinin suda bekletme ve termalsiklus sonrası önemli oranda azaldığını ve karbon fiber postun herhangi bir sitotoksik etkisinin gözlenmediğini belirtmişlerdir.

Mannocci ve arkadaşları¹¹⁷, karbon fiber destekli kompozit postları-Composipost, Carbotech (Ganges) ve cam fiber destekli kompozit postları-Aestheti-Plus (RTD), Light post (RTD), Snowpost oda sıcaklığında, 37 °C suda ve sıgır dışında bir sene bekleterek üç nokta bükme testi ile incelemişlerdir. Sonuçta suda bekletilen postların daha düşük bükülme direnci gösterdiğini, sıgır dışında bekletilenlerin ise oda sıcaklığında bekletilenlere yakın değerler verdiğini belirtmişlerdir.

Cormier ve arkadaşları¹¹⁸, altı farklı post sistemin-cam fiber destekli kompozit post-FibreKor; karbon fiber destekli kompozit post; C-post-(Bisco), AEsthetipost (Bisco); zirkona seramik post CosmoPost-

Ivoclar Vivadent; paslanmaz çelik post-ParaPost (Coltène Whaledent) üç nokta bükme testi ile kırık direncini, her bir post için başarısızlık sebebini araştırmışlardır. Fiber postların başarısızlık sonrası kanal içinden kolayca uzaklaştırılabildiğini, fiber postların metal postlara oranla daha iyi bir kök kırık direnci gösterdiğini ve oluşan başarısızlıkların metal postlarda geri dönüşümsüz hasarlara neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Galhano ve arkadaşları²², sekiz değişik marka; C-Post (Bisco), Æstheti-Post (Bisco)-karbon fiber destekli; Æstheti-Plus (Bisco), Light Post (Bisco), D.T. Light Post (Bisco), ParaPost White (Coltène Whaledent), FibreKor (Jeneric Pentron), Reforpost (Angelus)-cam fiber destekli postun bükülme dirençlerini üç nokta bükme testi ile değerlendirmişlerdir. Æstheti-Post ve Æstheti-Plus postların benzer ve diğer gruplardan yüksek değerler alırken, Reforpost postun en düşük değere sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Alander ve arkadaşları¹¹⁹, üç nokta bükme testi ile everStick e-cam fiber destekli kompozit örneklerin bükülme direnci ve katsayısı değerlerini, değişik test örneği tasarımları (dikdörtgensel ve dairesel), test düzeneği denge aralığı uzunluğu (10-20 mm) ve farklı örnek çapları (1.5-2.8 mm) ile tespit etmeyi amaçlamışlardır. Sonuçta, uzunluk/çap oranını artırmak ile bükülme direnci ve katsayısının artarken, maksimum kırık yükleme değerlerinin azaldığını ve denge aralığı uzunluk/örnek çap oranının, küçük ölçekli test örneklerinin bükülme direnci ve katsayı değerlerinin yorumlanmasında çok önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Grandini ve arkadaşları¹²⁰, 2005 yılında yaptıkları çalışmada sekiz değişik fiber postun; Easypost (Krug)-karbon fiber destekli; ParaPost FiberWhite (Coltène Whaledent), FibreKor, Ghimas White (Ghimas), D.T. Light (RTD), FRC Postec, Luscent Anchors (Dentatus), Snowpost-cam fiber destekli yorulma dirençlerini üç nokta bükme testi ile incelemişler ve D.T. Light post ile FRC Postec postların diğer gruplardan daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

2.8. Konu ile İlgili Temel Kavramlar

2.8.1. Gerilme (Stres): Bir cisme bir kuvvet etki ettiğinde, dışarıdan gelen bu kuvvete karşı bir direnç gelişir. Bu direnç, kuvvet uygulanan cisimde eşit şiddette ve zıt yönde oluşur. Yani gerilme, cisme uygulanan dış kuvvetleri veya sınırlayıcı durumları dengeleyen ve karşı koyan birim alana düşen kuvvetin iç dağılımının bir ölçüsüdür. Birimi MPa' dır^{102,121-123}.

$$\text{Gerilme } (\sigma) = F / A$$

F: Uygulanan kuvvet

A: Cismin kuvvet uygulanmadan önceki kesit alanı

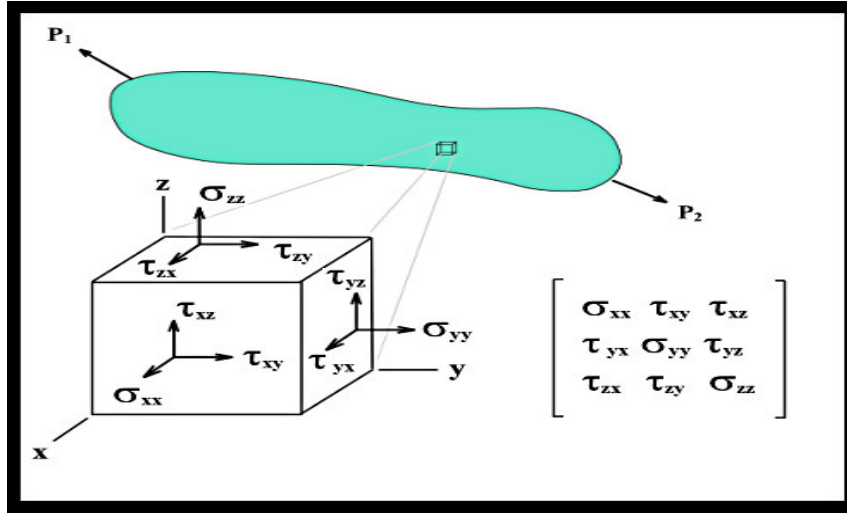
Bir cisme herhangi bir açıdan kuvvet gelebilir ve çoğu zaman bunlar bir araya gelerek yapının içerisinde karmaşık iç gerilmeleri oluştururlar. Tüm iç gerilmeler; çekme, basma ve makaslama şeklinde üç temel tipe ayrılır;

a. Çekme gerilmesi: Bir yapıyı uzatmaya çalışan kuvvete karşı oluşan gerilmedir. Çekme stresi, çekme gerinimi ile birlikte oluşur.

b. Basma gerilmesi: Bir yapıyı sıkıştırmaya çalışan kuvvete karşı oluşan gerilmedir. Basma stresi, basma gerinimi ile birlikte oluşur.

c. Makaslama gerilmesi: Bir yapının bir kısmı diğer kısmına paralel olarak kaydırılarak döndürüldüğü, büküldüğü veya deforme edildiğinde ortaya çıkan gerilmedir. Makaslama stresi, daima makaslama gerinimi ile birlikte oluşur^{102,121}.

Uygulanan kuvvetler sonucunda oluşan iç gerilmeler normal gerilmeler (çekme ve basma gerilmeleri) ve makaslama gerilmesi olarak iki ana grupta toplanır. Normal gerilme “ σ ” sembolü, makaslama gerilmesi ise “ τ ” sembolü ile gösterilir. Bir üç boyutlu elemana x, y, z düzlemlerinde, bir normal (σ), iki tane de makaslama iç gerilmeleri (τ) etki eder¹²⁴ (Şekil 3).



Şekil 3. x, y, z düzlemlerine etki eden normal “σ” ve makaslama “τ” iç gerilmeleri

P: Kuvvetin geçtiği nokta

Asal Stres: Bir üç boyutlu elemanda en büyük stres değeri bütün makaslama stres bileşenlerinin sıfır olduğu durumda oluşur. Bir eleman bu konumda olduğunda kaydedilen strese asal stres denir ve değerlendirmeyi kolaylaştırmak için referans olarak kullanılır. Asal stres, maksimum asal stres, ara asal stres, minimum asal stres olarak üçe ayrılır. Genelde σ_1 , maksimum pozitif değeri, σ_3 minimum negatif değeri ve σ_2 ise ara değeri gösterir. Bu değerlerin sıralaması $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ şeklindedir¹²⁴.

2.8.2. Gerinim: Gerinim, gerilim uygulandığında, cismin her biriminde meydana gelen birim uzunluktaki değişim şeklinde tanımlanır. Bir başka ifade ile birim boyut başına uzunluk değişimidir. Gerinim, elastik veya plastik şekilde olabilir. Elastik gerinim geri dönüşümlü iken, plastik gerinim geri dönüşümsüzdür. Bu durumda kopma veya kırılma meydana gelir. Gerilme ve gerinim birbirinden tamamen farklı niceliklerdir. Gerilme, büyüklüğü ve yönü olan bir kuvvet iken; gerinim bir kuvvet değil, sadece bir büyüklüktür^{102,121-123}. Gerinimin birimi yoktur. Sembolü ϵ ' dir.

$$\text{Gerinim } (\epsilon) = \Delta L / L_0$$

ΔL : Şekil değişikliği

L_0 : Orijinal uzunluk

2.8.3. Elastisite katsayısı: Elastisite katsayısı, gerilmenin gerinime oranıdır. Gerilme-gerinim eğrisinin doğrusal kısmındaki Gerilme-gerinim oranı, maddenin katılığıdır. Yani gerilme altındaki materyalin katılığı ile ilgili özellik elastisite katsayısı adını alır. Elastisite katsayısı arttıkça, cismin katılığı da artar. Dikey ve yatay olmak üzere iki adet elastisite katsayısı vardır. Dikey değer, genelde fiber destekli kompozit postların dirençlerinin incelendiği laboratuvar testlerinde kullanılır. Birimi GPa, sembolü E' dir^{102,121,124}.

$$E = \sigma / \varepsilon = FL_0 / A_0 \Delta L$$

F: Cisme uygulanan kuvvet

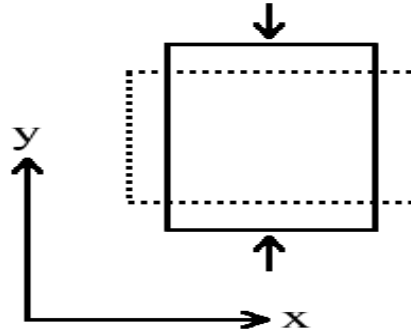
L_0 : Orijinal uzunluk

ΔL : Boyda olan uzama

A_0 : Gerilim altındaki cismin kesit alanı

2.8.4. Poisson oranı: Elastik sınırlar içinde kuvvete dik yöndeki gerinimin yükleme yönündeki gerinime oranıdır. Pratikte, gerdirilen bir lastik şeridin boyunun uzamasına karşılık alanının daralması olarak tarif edilebilir (Şekil 4).

Poisson oranı, bütün maddeler için 0 ile 0,5 arasında değişir ve cisme bağlı ayırıcı bir özelliktir. Küçük gerinmelerde elastik olarak deforme olan mükemmel bir sıkıştırılmaz materyal için, Poisson oranı tam olarak 0,5 olur. Sembolü " ν " dir^{121,125}. Formülü, materyal y eksenini boyunca sıkıştırıldığında, $\nu_{yx} = -\varepsilon_x / \varepsilon_y$ (ε_x : Yatay gerinim, ε_y : Dikey gerinim)



Şekil 4. Poisson oranı

2.8.5. Von Mises stres: Von Mises stresi, materyal üzerine gelen eşdeğer streslerin rakamsal değerlendirmesini veren strestir. Von Mises stres değerleri, test edilen materyal üzerine gelen streslerin dağılımını ve yoğunlaşmaları hakkında bilgi edinmek amacıyla kullanılır.

Von Mises stres değerleri üç asal stres değeri ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) kullanılarak hesaplanır. Von Mises formülü daima pozitif olan değerler verir^{124,126}. Birimi genelde MPa olarak verilir. Sembolü “ σ_v ” dir.

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu araştırmada, üst santral kesici dişin yatay ve çapraz kırık modellerinde dört farklı cam fiber destekli kompozit post; everStick (StickTech, Finland), FibreKleer (Jeneric Pentron, USA), FRC PostecPlus (Ivoclar-Vivadent, Liechtenstein) ve Snowlight (Carbotech, USA) ile Dentorama titanyum post (Svenska Dentorama, Sweden) uygulanarak elde edilen post-kor restorasyonların karşılaşılabilecekleri üç yönde kuvvetin oluşturduğu stres dağılım ve büyüklük analizleri üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, kuru ve termalsiklusa tabi tutulan cam fiber destekli kompozit postların *in vitro* üç nokta bükme testi ile elde edilen bükülme dirençleri kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile stres analizi Ay Medikal Tasarım Şirketinde, *in vitro* üç nokta bükme testi Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada kullanılan postlar, uzunluğu 14 mm olacak şekilde altı gruba ayrılmıştır. 1, 2 ve 3. Grupta çapları 1.5 mm olan everStick, FibreKleer, FRC PostecPlus, 4. Grupta çapı 1.4 mm olan Snowlight, 5. Grupta çapı 1.6 mm olan Snowlight, 6. Grupta ise kontrol grubu olarak titanyum post kullanılmıştır (Tablo I). Araştırmada kullanılan post materyalleri Resim 1, 2, 3, 4 ve 5’ de görülmektedir.

Tablo I. Araştırmada kullanılan postlar

Grup	Marka	Uzunluk (mm)	Çap (mm)
1	everStick (StickTech, Finland)	14	1.5
2	FibreKleer (Jeneric Pentron, USA)	14	1.5
3	FRC PostecPlus (Ivoclar-Vivadent, Liechtenstein)	14	1.5
4	Snowlight (Carbotech, USA)	14	1.4
5	Snowlight (Carbotech, USA)	14	1.6
6	Dentorama Titanyum (Svenska Dentorama, Sweden)	14	1.5



Resim 1. everStick cam fiber destekli kompozit post



Resim 2. FibreKleer cam fiber destekli kompozit post



Resim 3. FRC PostecPlus cam fiber destekli kompozit post



Resim 4. Snowlight cam fiber destekli kompozit post

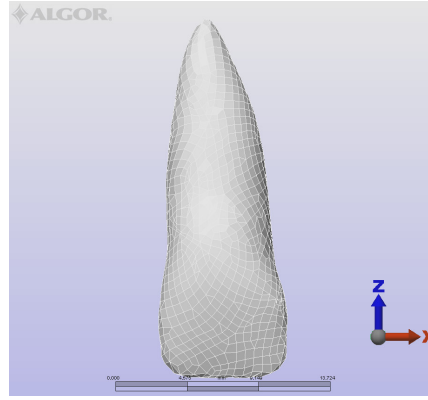


Resim 5. Dentorama titanyum post

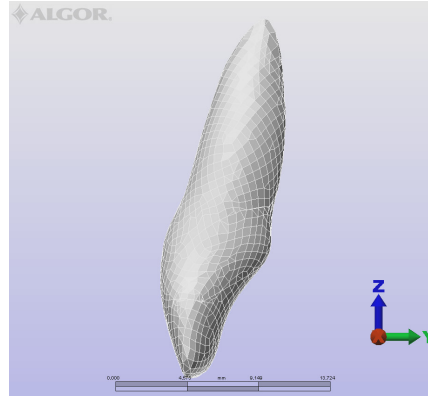
3. 1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Stres Analizi

3.1.1. Katı Modelleme

Sonlu elemanlar yöntemi stres analizi için üst santral kesici diş seçildi ve Wheeler' ın¹³⁹ Diş Formu Atlasında belirtilen ortalama boyutlara (toplam diş uzunluğu 23 mm, kök uzunluğu 13 mm) uygun olarak Rhinoceros 4.0 programı (Robert McNeel&Assoc, USA) kullanılarak üç boyutlu katı modeli elde edildi (Şekil 5, 6).



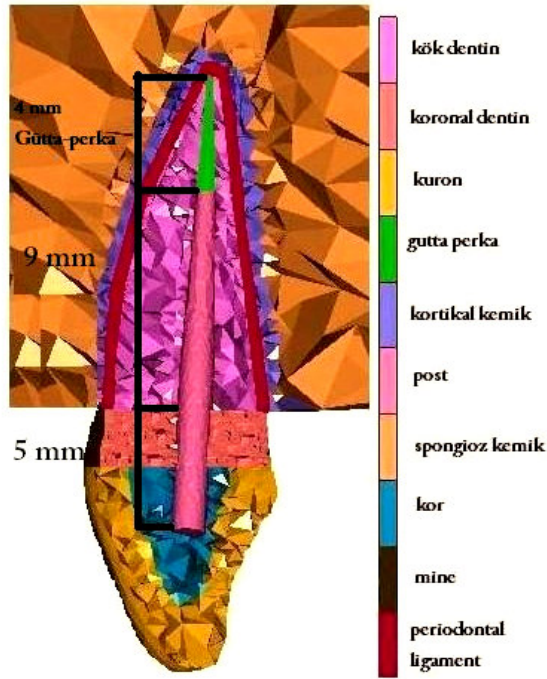
Şekil 5. Katı model labial görünüm



Şekil 6. Katı model aproksimal görünüm

Katı modelleme sonrası, stres analizi yapılacak everStick, FibreKleer, FRC PostecPlus ve Snowlight cam fiber destekli postlar ile Dentorama titanyum postun mine, dentin, periodontal ligament, kortikal kemik ve spongiöz kemik ile desteklenen on iki adet üç boyutlu diş modeli Fempro (Algor Inc, USA) stres analiz programı kullanılarak oluşturuldu.

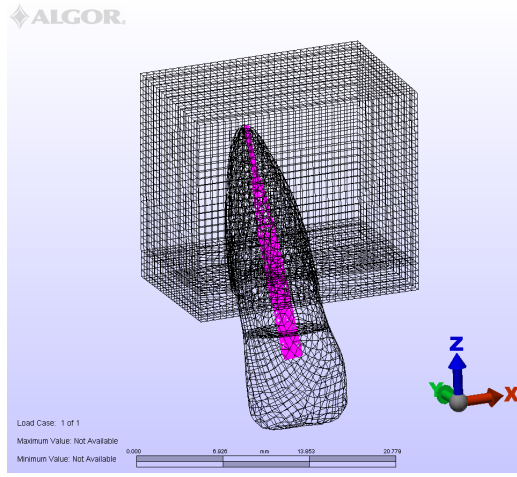
Altı model (everStick, FibreKleer, FRC PostecPlus, Snowlight 1.4 mm, Snowlight 1.6 mm ve Dentorama titanyum post) dişeti seviyesinden 2 mm yukarıda yatay kırık olarak, diğer altı model ise çapraz kırık olarak modellendi. Kor ve kuron restorasyonu rezin kompozit olarak (Filtek Supreme XT, 3M ESPE, USA) planlandı. Periodontal ligament kalınlığı 0.3 mm, kortikal kemik kalınlığı 0.4 mm olarak; postların uzunlukları ise apikalde 4 mm gutta-perka kalacak şekilde, toplam 14 mm uzunlukta (9 mm kök içinde, 5 mm koronalde) ve paralel-konik tasarlandı (Şekil 7).



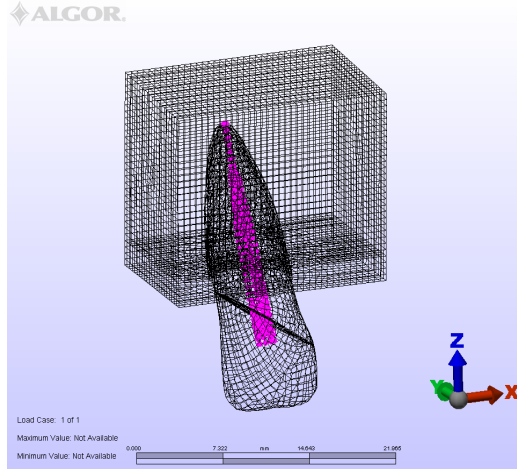
Şekil 7. Modelleme elemanları

3.1.2. Mesh Modelleme

Hazırlanan katı matematik modellerin içi birbirine bağlı dört düğüm noktasına sahip üç boyutlu katı elemanlara ayrıldı. Elde edilen katı model ve çevre dokular, 46892 adet düğüm ile birbirine bağlanan ve her biri modellenen materyali temsil eden elastik özelliğe sahip 28542 adet eleman içeren mesh ile modelleme yapıldı (Şekil 8, 9).



Şekil 8. Yatay Kırık Mesh Model

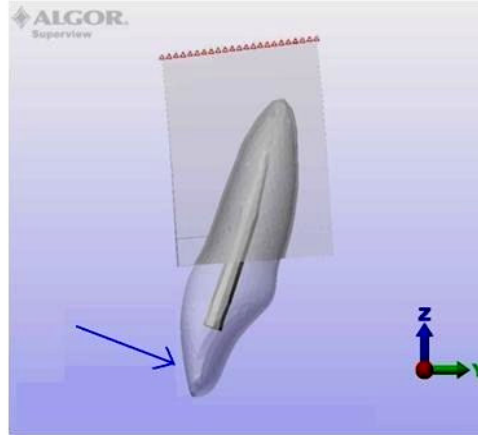


Şekil 9. Çapraz Kırık Mesh Model

3.1.3. Kuvvet Modellemesi

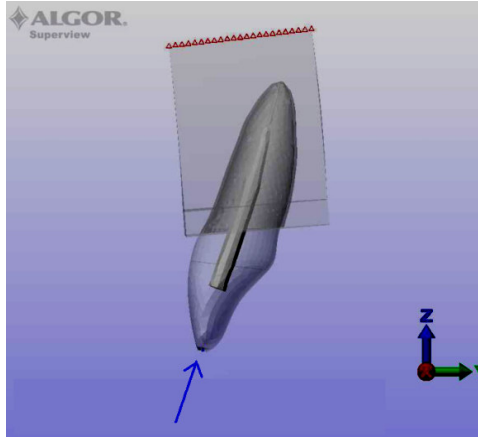
Her bir post modeline üç farklı yönden gelen kuvvetlerin büyüklüğü 100 Newton olarak seçildi (Şekil 10, 11, 12).

- F_1 Yatay kuvvet, labialden kurona dikey yönde (90°),



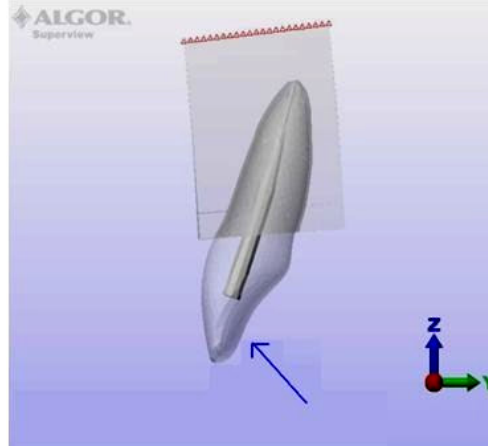
Şekil 10. F_1 yatay kuvvet

- F_2 Dikey kuvvet, dişin uzun eksenine yatay yönde (0°),



Şekil 11. F_2 dikey kuvvet

- F_3 Çiğneme kuvveti, palatinalden dişin uzun eksenine 45° açıyla,



Şekil 12. F_3 çiğneme kuvveti

Beş adet cam fiber destekli kompozit post (FibreKleer, everStick, FRC PostecPlus, Snowlight 1.4 mm, Snowlight 1.6 mm) ve Dentorama titanyum posta farklı yönlerden üç kuvvet (F_1 , F_2 , F_3), yatay kırık ve çapraz kırık modellere uygulanarak toplam 36 adet stres analizi yapıldı.

Analiz sonucunda yatay ve çapraz kırık modellerde oluşan maksimum von Mises stres değerleri tablolar ile verilirken dişler üzerinde oluşan von Mises eşdeğer stresleri ise renkli stres çizelgesi ile beraber verildi (yatay ve çiğneme kuvvetleri için 0-40 MPa, dikey kuvvetler için 0-12 MPa aralığında). Modellemede kullanılan elemanların stres analiz hesaplamalarında gerekli olan elastisite katsayıları ve Poisson oranları ise Tablo II' de gösterildi¹²⁷⁻¹²⁹.

Tablo II. Modellemede kullanılan elemanların elastisite katsayıları ve Poisson oranları

Materyal	Elastisite katsayısı (GPa)	Poisson oranı
Mine	41	0,3
Dentin	18,6	0,31
Periodontal Ligament	0.0689	0,45
Gütta-Perka	0,00069	0,45
Kortikal kemik	13,7	0,3
Spongioz kemik	1,37	0,3
*Filtek Supreme XT-Rezin kompozit	10,4	0,27
*Dentorama titanyum post	103	0,33
*everStick-cam fiber destekli kompozit post	**27	0,28
*Snowlight-cam fiber destekli kompozit post	**49	0,28
* FRC PostecPlus-cam fiber destekli kompozit post	**48	0,24
*FibreKleer-cam fiber destekli kompozit post	**26	0,24

*Üretici firmaya göre

**Dikey elastisite katsayısı

3.2. Cam Fiber Destekli Kompozit Postların Üç Nokta Bükme Testi

Bu bölümde, araştırmada kullanılan cam fiber destekli kompozit postların fiziksel özelliklerinde su emiliminin oluşturduğu etkiler araştırıldı. Bu amaçla, cam fiber destekli kompozit postların kuru testleri yanında, termalsiklus sonrası suda bekletilen örneklerin maksimum kırık yükleme ve bükülme direnç değerlerinin tespiti için *in vitro* üç nokta bükme testi uygulandı.

Test için kullanılan cam fiber destekli kompozit postlar, dört gruba ayrıldı (Grup 1: everStick, Grup 2: FibreKleer, Grup 3: FRC PostecPlus, Grup 4: Snowlight 1.4 mm ve 1.6 mm). everStick postlara test öncesi 1.5 mm çapında paralel-konik form verildi ve bir ışınlama fırınında-LicuLite (Dentsply, Germany) 40 dakika süre ile polimerize edildi. Her gruptan rastgele seçilen on dört adet postun oda neminde bekletilen yedi tanesi kuru olarak, yedi tanesi de termalsiklus (2000 kere, 30 saniye ara, 5-55 °C) uygulanarak test edildi. Termalsiklusu takiben postlar iki hafta süre ile su içerisinde bekletildi.

Çalışmada yer alan cam fiber destekli kompozit postların teknik özellikleri üreticilerin verileri doğrultusunda Tablo III' de verildi.

Tablo III. Cam fiber destekli kompozit postların teknik özellikleri

Post	EverStick (StickTech)	FibreKleer (Jeneric Pentron)	FRC PostecPlus (Ivoclar- Vivadent)	Snowlight (Carbotech)
Form	Tek yön örülü	Tek yön uzunlamasına	Tek yön uzunlamasına	Tek yön uzunlamasına
Cam fiber tipi	E-cam	Baryum borosilikat cam	Quartz cam	Silika-zirkon cam
Matris tipi	BIS-GMA PMMA	Kopolimer (BIS-GMA, UDMA, HDDMA)	Ytterbium fluoride DMA	Polyester MA
Fiber/ Matris oranı (Hacmen)	65/35	75/25	~70/30	~68/32

Üniversal test makinesi-Model LRX (Lloyd Instruments, England) ile postlara ISO 10477 standardına uygun düzenek ile (denge aralık uzunluğu 10.0 mm, piston kafası hızı 1.0 mm/dakika, yükleme başlığı çapraz kesit çapı 2 mm) üç nokta bükme testi uygulanarak, postların maksimum kırık yükleme değerleri tespit edildi (Resim 5).



Resim 5. Üniversal test makinesi

Maksimum kırık yükleme değerleri bir PC yazılımı ile - Nexygen (Lloyd Instruments, England) kaydedildi. Elde edilen maksimum kırık yükleme değerleri ile her bir post için bükülme direnci (δ) verisi aşağıdaki formülden elde edildi¹⁷. Bütün testler, oda sıcaklığında ($22\pm1\text{ }^{\circ}\text{C}$) gerçekleştirildi.

$$\delta = 8 F_{\text{maks}} l / \pi d^3$$

δ : Bükülme direnci (MPa),

F_{maks} : Maksimum kırık yükleme değeri (Newton),

l : Denge aralık uzunluğu (10,0 mm),

d : Post örneklerin çapı (mm)

3.2.1. Bükölme Direnci İstatistik Değerlendirmesi

İstatistiksel değerlendirmede, karşılaştırma yapılmadan önce verilerin normal dağılım gösterip göstermediğine Shapiro-Wilk testi ile bakıldı. Normal dağılım gösteren iki grup karşılaştırmalarında bağımsız iki örnek T-testi; üç veya daha fazla grubun karşılaştırılmasında Tek Yönlü Varyans Analizi - ANOVA (SPSS, SPSS Inc, USA) uygulandı.

Fark çıkan gruplarda çoklu karşılaştırmalar Tukey ve Tamhane testleri ile yapıldı. Normal dağılım göstermeyen iki grup karşılaştırmalarında ise Mann-Whitney U-Testi kullanıldı. $P < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

Araştırmanın sonlu elemanlar yöntemi ile stres analizi kısmında, uygulanan kuvvetler karşısında üst santral kesici dişte oluşan stres dağılımları von Mises eşdeğer stres gösterge çizelgesi ile beraber yatay kırık modeller için Şekil 13-30 ve çapraz kırık modeller için Şekil 31-48 arasında; kuron-kök alanda oluşan maksimum von Mises eşdeğer stres değerleri ise yatay kırık modeller için Tablo IV, çapraz kırık modeller için Tablo V' de verildi.

In vitro üç nokta bükme testi sonrası, kuru ve termalsiklus uygulanan post örneklerin maksimum kırık yükleme değerleri Tablo VI ve Tablo VII ile Grafik 1 ve 2' de; bükülme direnç değerleri Tablo VIII' de; termalsiklus sonrası bükülme dirençlerinde oluşan yüzde azalma sonuçları ise Grafik 3' de sunuldu.

4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Stres Analizi Sonuçları

4.1.1. Yatay Kırık Model Stres Analiz Sonuçları

Tüm kuvvetler altında kuvvetlerin geldiği ilk alanda stres yoğunlaşmaları beklenen bir sonuçtur. Bu alan dışında, postların oluşturduğu stres dağılımları bütün olarak değerlendirildiğinde, F_1 ve F_3 kuvvetleri altında Dentorama titanyum postun daha fazla stres yoğunlaşmaları oluşturduğu, F_2 kuvvetleri altında ise bütün postların stres dağılımlarının benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

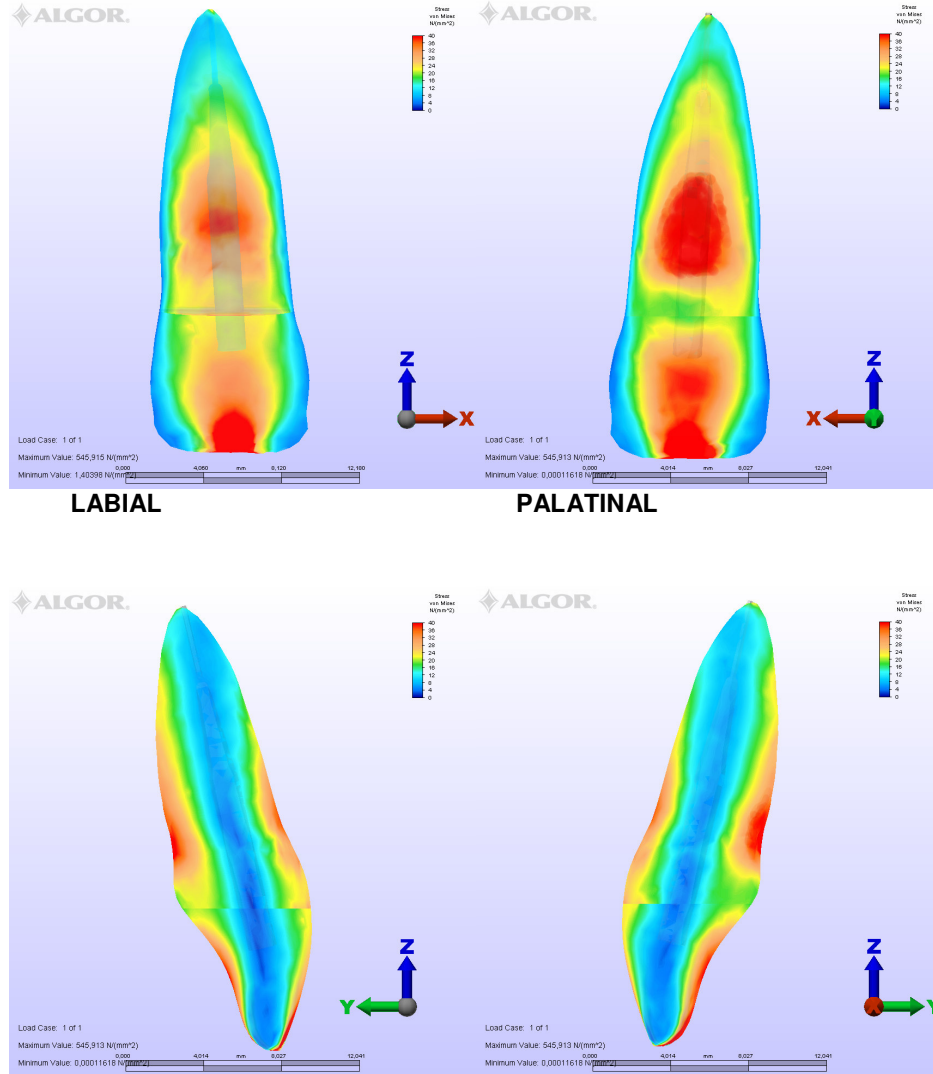
Diş üzerinde oluşan maksimum von Mises eşdeğer stresleri, her zaman kuvvetin geldiği ilk alanda oluşmuştur. Bu alan dışında modellemede yer alan postların maksimum von Mises eşdeğer stres değerleri incelendiğinde, en az stres oluşturan Dentorama titanyum post olmuş, bunu Snowlight 1.6 mm, Snowlight 1.4 mm, FRC PostecPlus, everStick ve FibreKleer izlemiştir.

Yatay kırık modele uygulanan F_1 , F_2 ve F_3 kuvvetlerinin dişte oluşturdıkları maksimum von Mises eşdeğer stres değerleri kıyaslandığında ise en çok stres yaratan yatay kuvvet, daha sonra çığneme kuvveti ve en az stres yaratan dikey kuvvet olmuştur (Tablo IV).

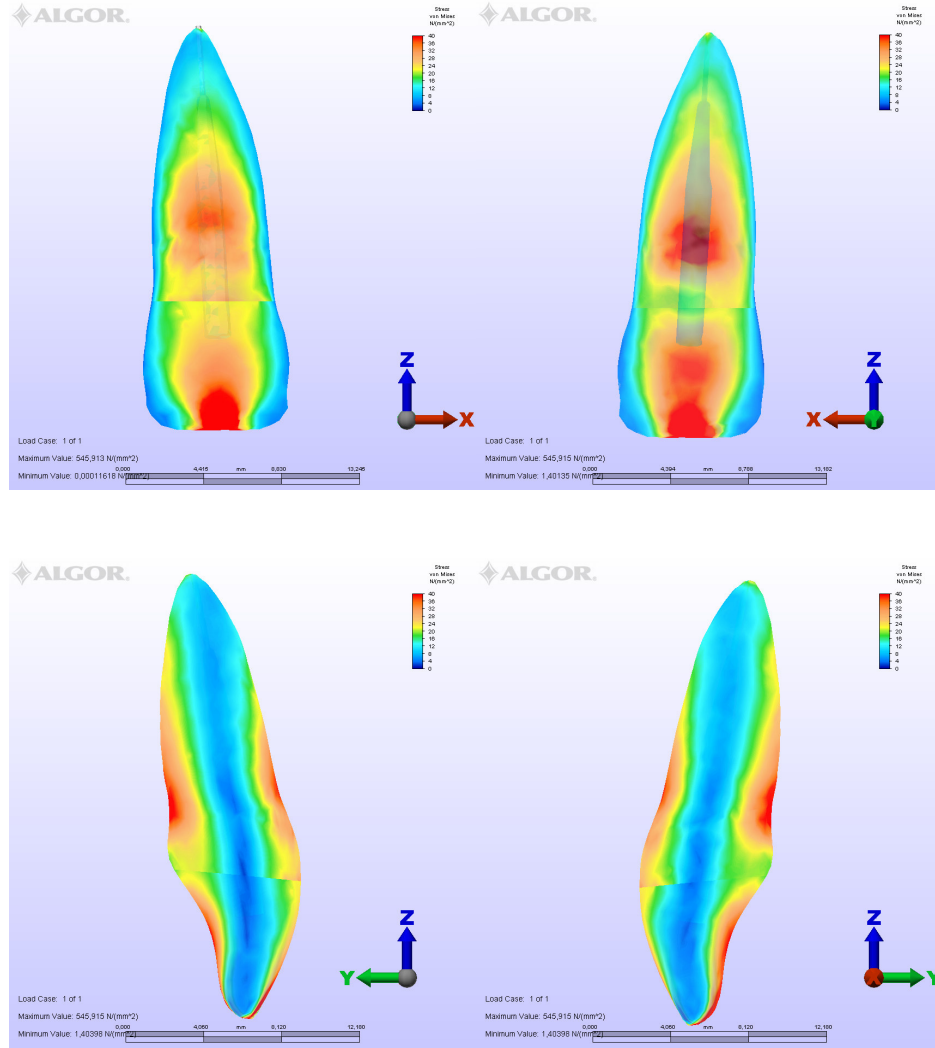
Tablo IV. Yatay kırık modelde oluşan maksimum von Mises eşdeğer stres değerleri

Kuvvet Yönü	Post		Maksimum von Mises eşdeğer stres (MPa)
F₁ Kuvveti (Yatay Kuvvet)	Dentorama titanyum		36.98
	FibreKleer		39.59
	everStick		39.56
	FRC PostecPlus		38.79
	Snowlight	1.4	38.42
		1.6	38.05
F₂ Kuvveti (Dikey Kuvvet)	Dentorama titanyum		10.92
	FibreKleer		11.34
	everStick		11.32
	FRC PostecPlus		11.15
	Snowlight	1.4	11.07
		1.6	10.98
F₃ Kuvveti (Çiğneme Kuvveti)	Dentorama titanyum		31.78
	FibreKleer		34.56
	everStick		34.52
	FRC PostecPlus		33.93
	Snowlight	1.4	33.78
		1.6	33.20

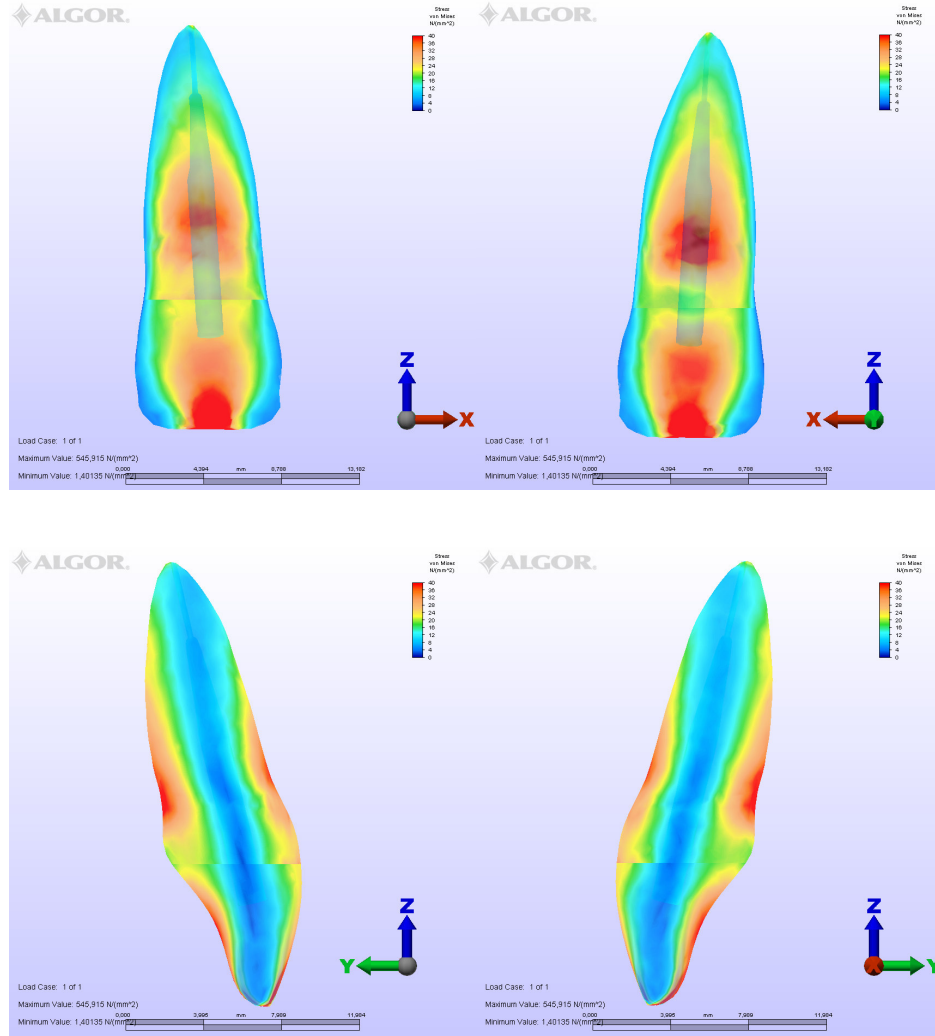
F_1 kuvvetinin ilk geldiği labial insizal alan ve palatinal insizal alan dışında oluşan von Mises eşdeğer stresleri, modellerin palatinal kök yüzeyinin servikal üçlüsü ile palatinal kuron yüzeyin orta üçlüsünde yoğunlaşmıştır. Bunun dışında oluşan stres bölgeleri, labial kök yüzeyinin servikal üçlüsüdür.



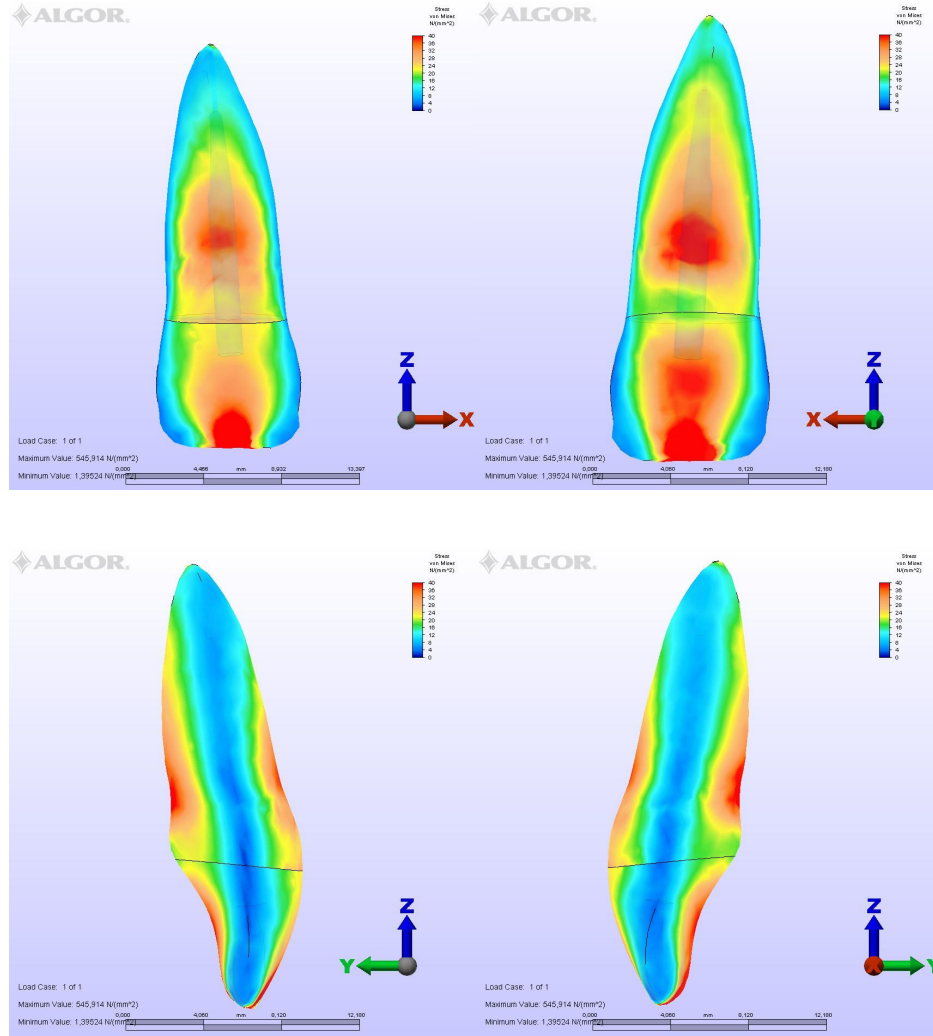
Şekil 13. Dentorama titanyum yatay kırık F_1 stres dağılımı



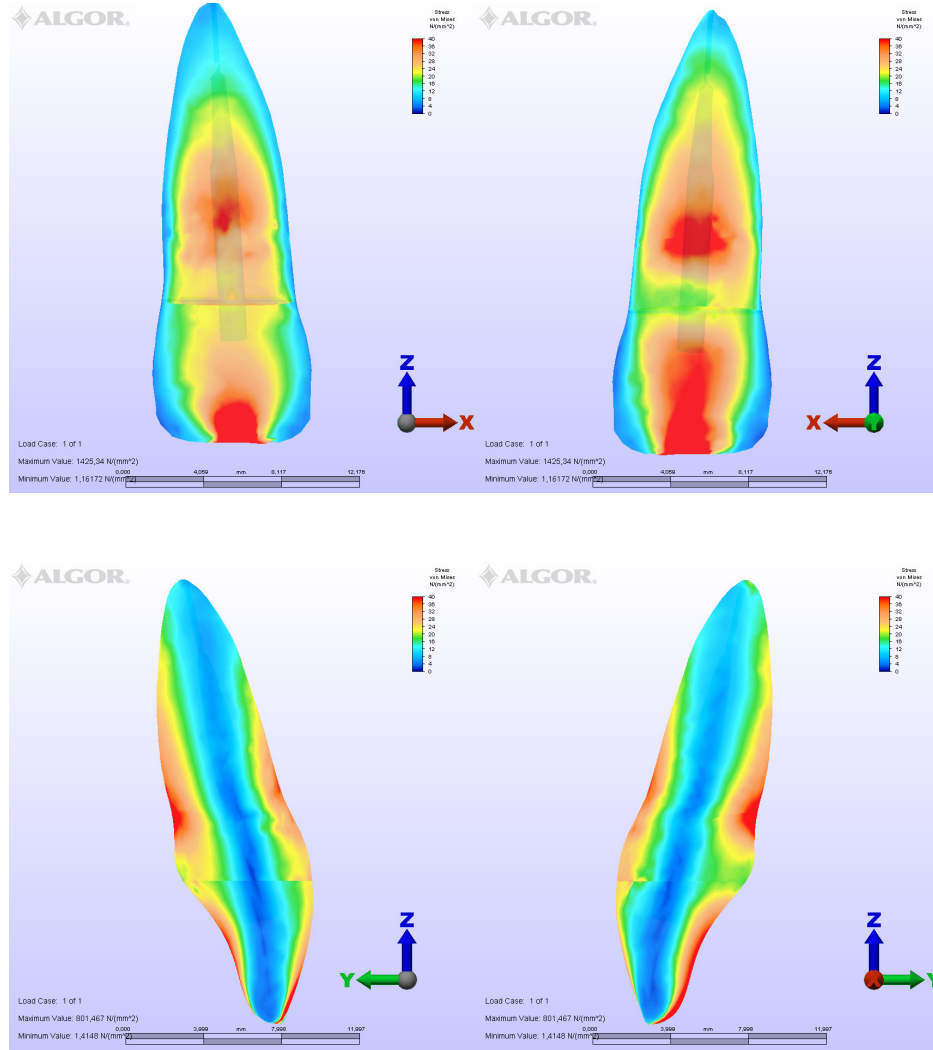
Şekil 14. FibreKleer yatay kırık F_1 stres dağılımı



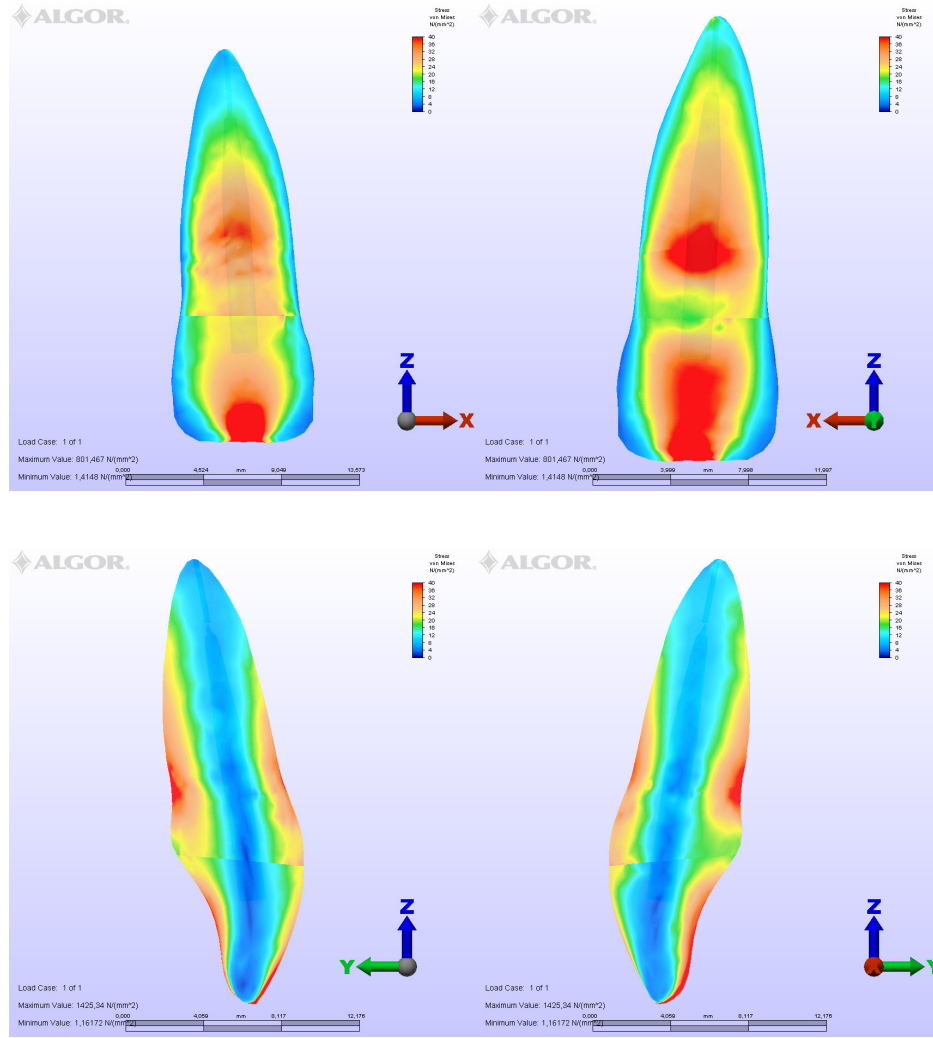
Şekil 15. everStick yatay kırık F_1 stres dağılımı



Şekil 16. FRC PostecPlus yatay kırık F_1 stres dağılımı

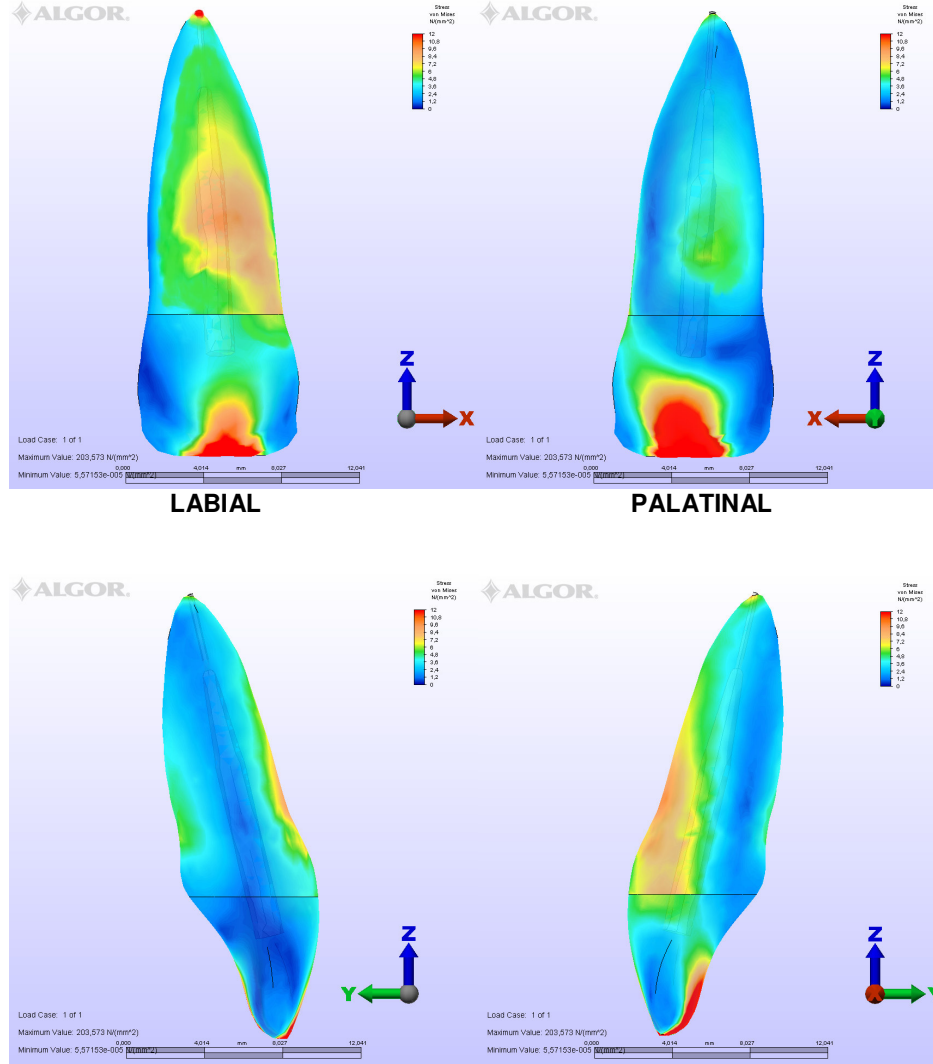


Şekil 17. Snowlight 1.4 mm yatay kırık F_1 stres dağılımı

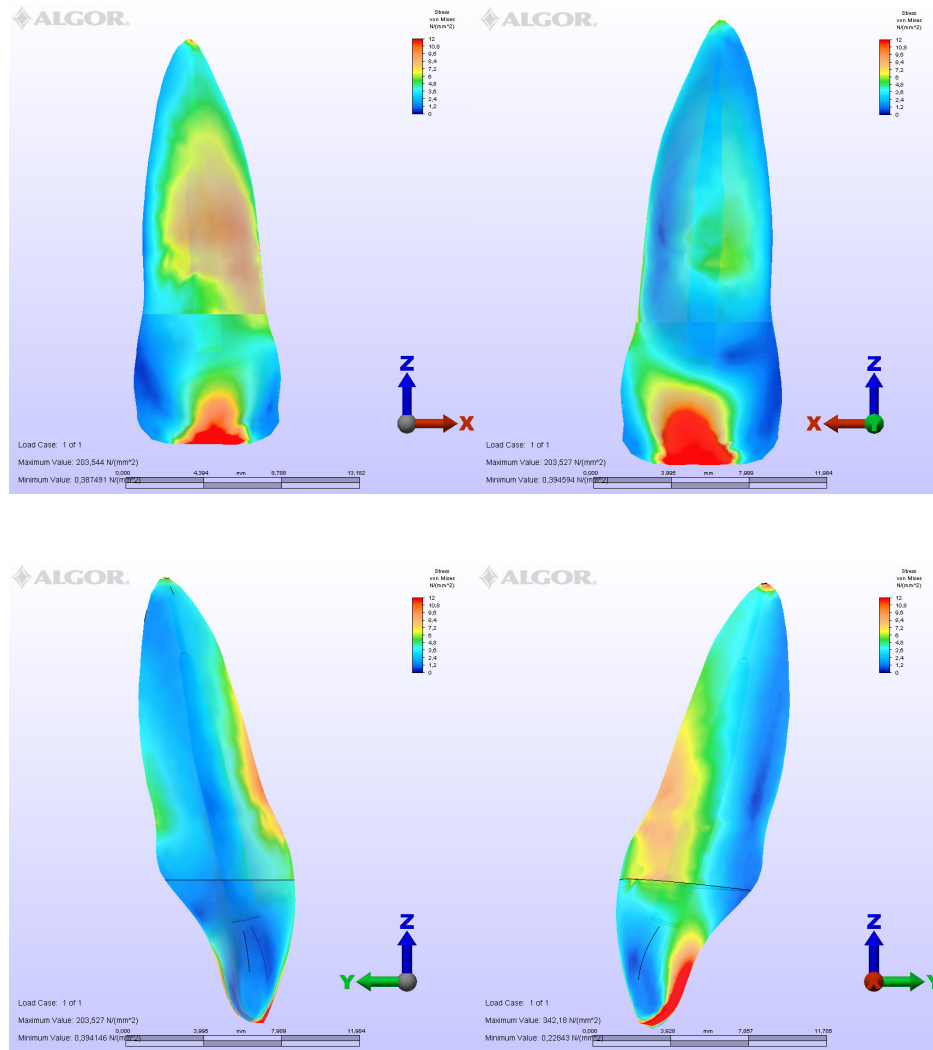


Şekil 18. Snowlight 1.6 mm yatay kırık F_1 stres dağılımı

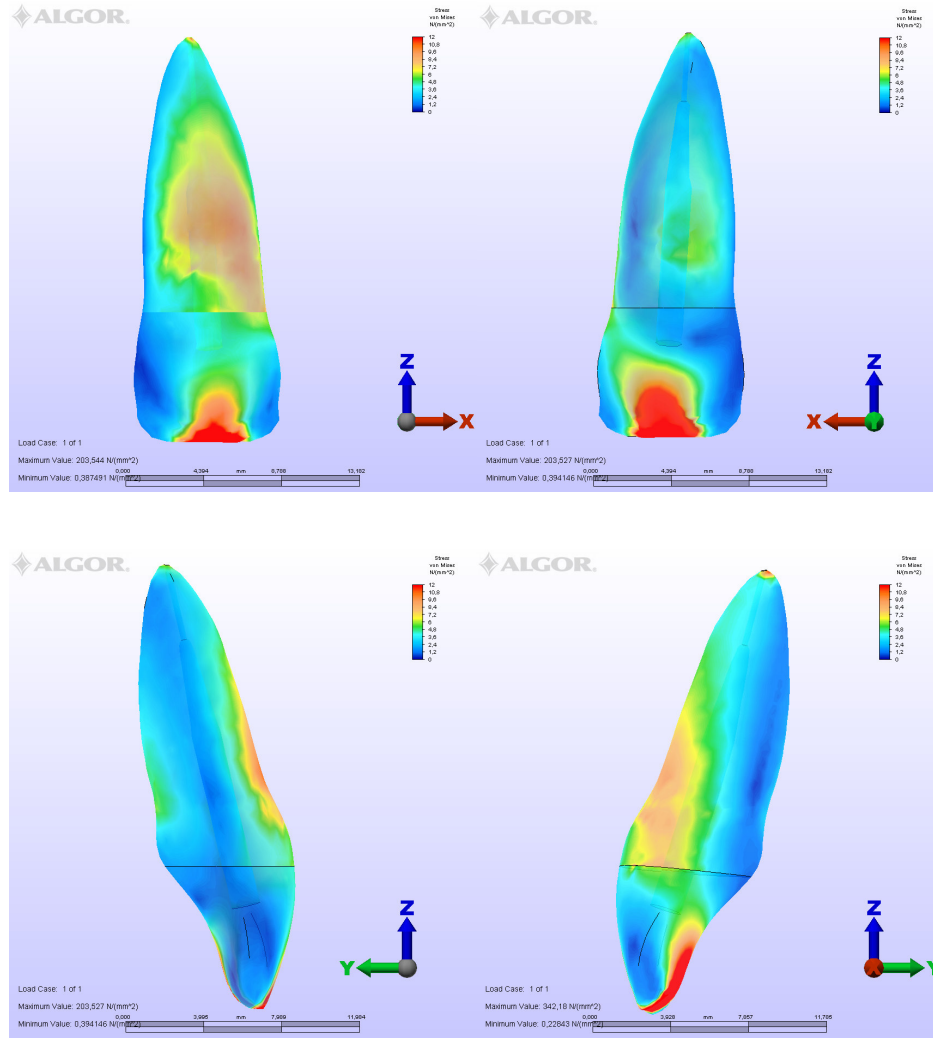
Uygulanan F_2 kuvvetinin ilk geldiği labial ve palatinal insizal alan dışında oluşan von Mises eşdeğer stresleri, modellerin labial kök yüzeyi servikal üçlüsünde yoğunlaşmıştır. Bunun dışında stres bölgeleri palatinal kök yüzeyi servikal üçlüsünde ve az miktarda postun apekte sonlandığı kök yüzeyinde oluşmuştur.



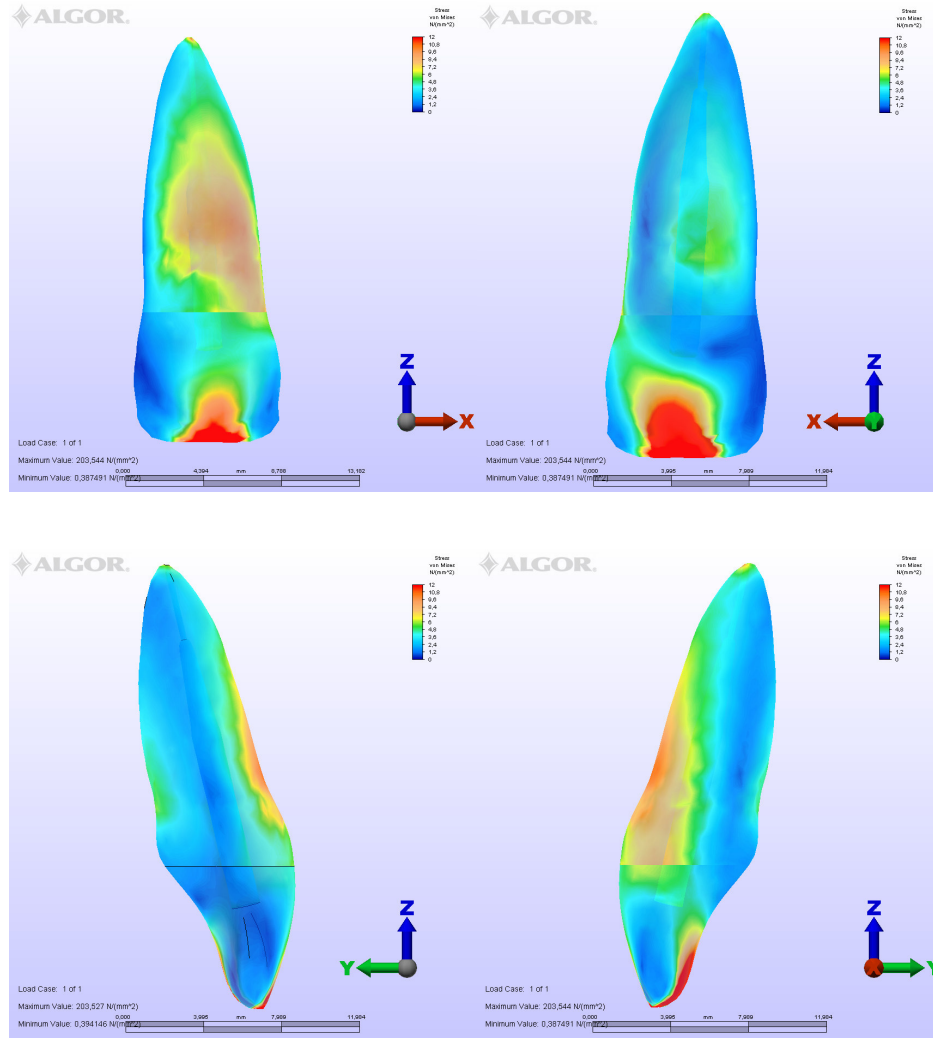
Şekil 19. Dentorama titanyum yatay kırık F_2 stres dağılımı



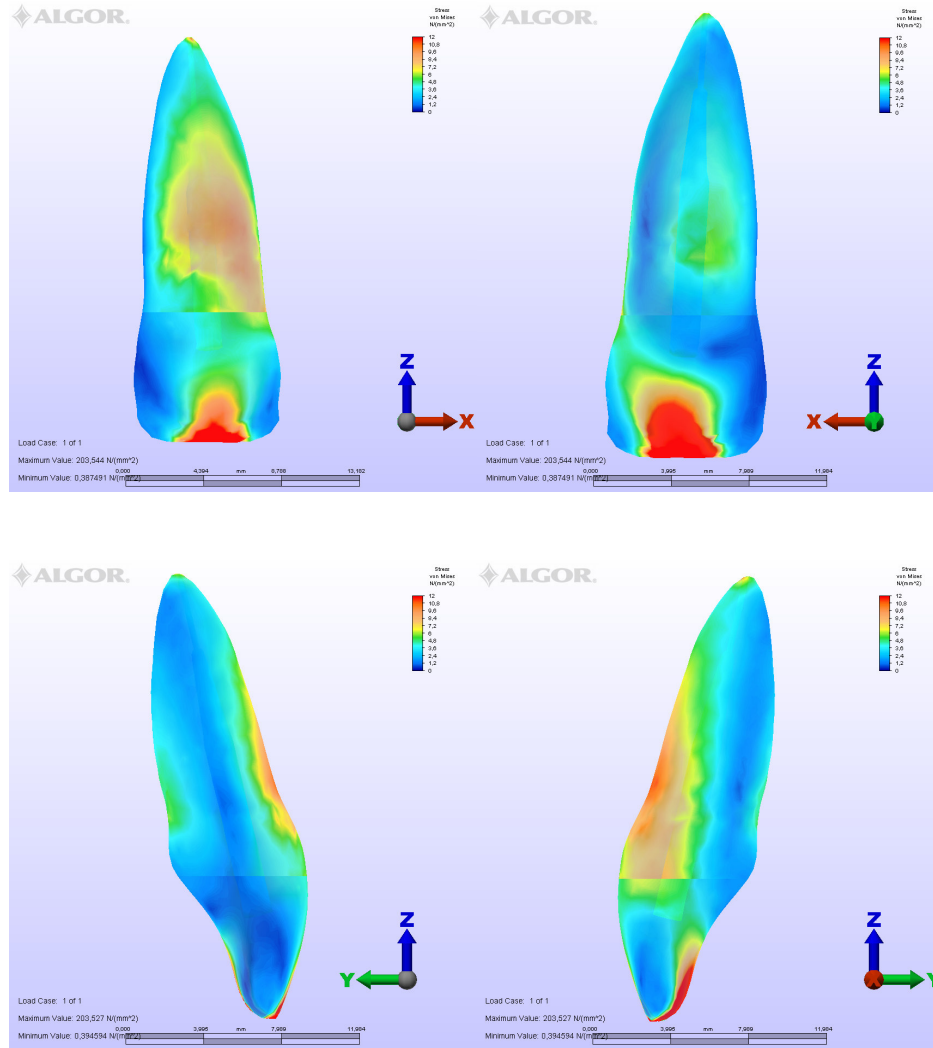
Şekil 20. FibreKleer yatay kırık F₂ stres dağılımı



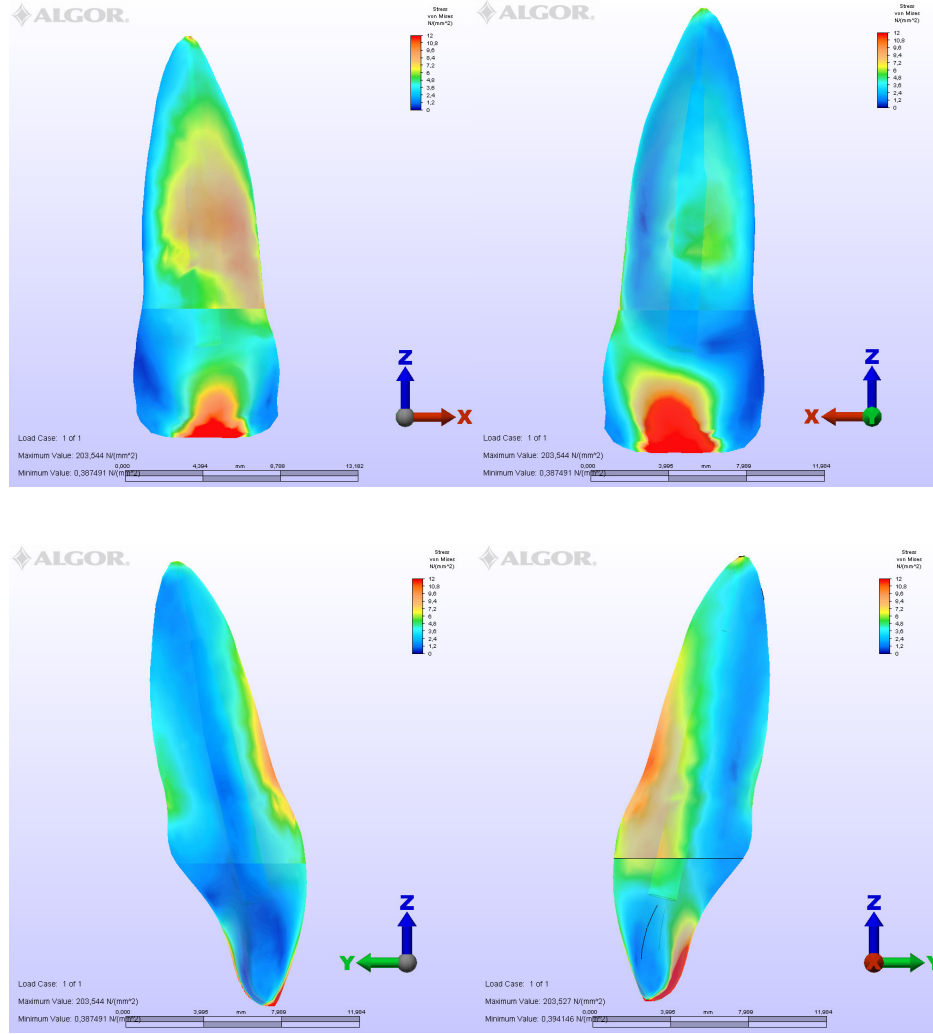
Şekil 21. everStick yatay kırık F_2 stres dağılımı



Şekil 22. FRC PostecPlus yatay kırık F_2 stres dağılımı

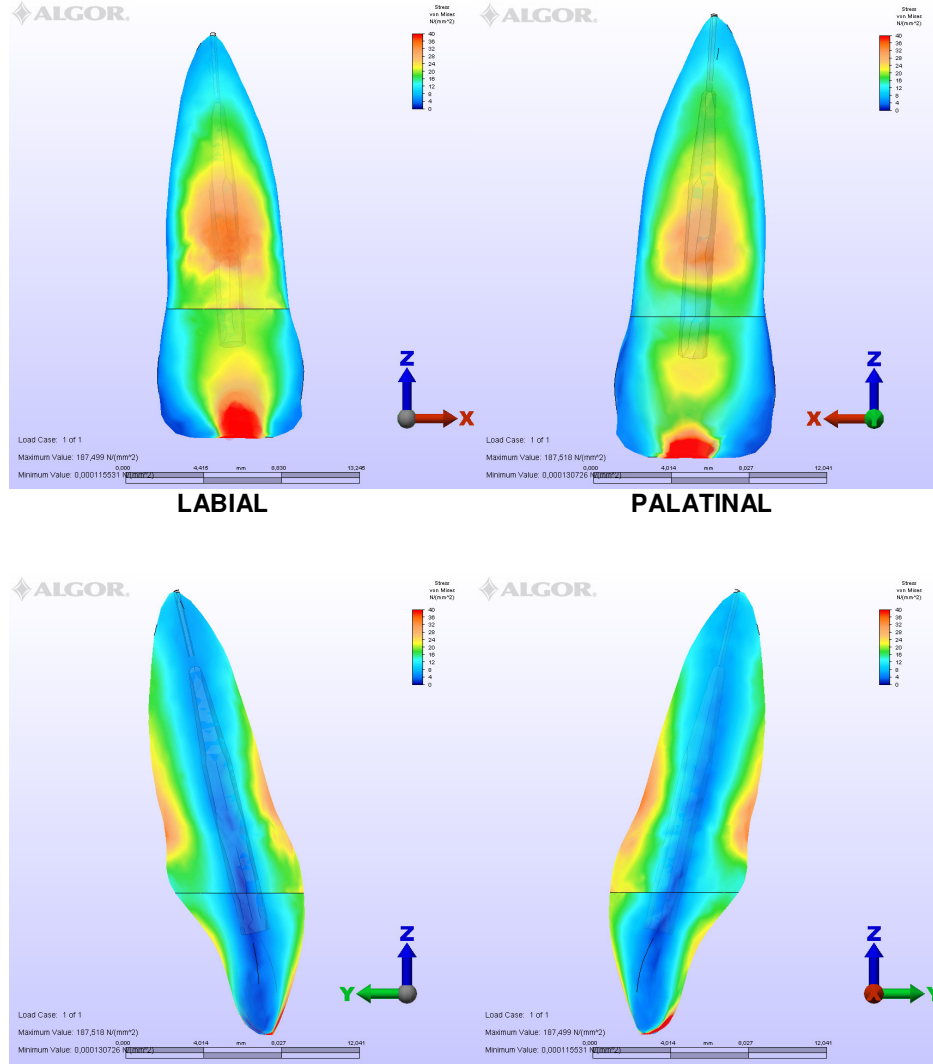


Şekil 23. Snowlight 1.4 mm yatay kırık F₂ stres dağılımı

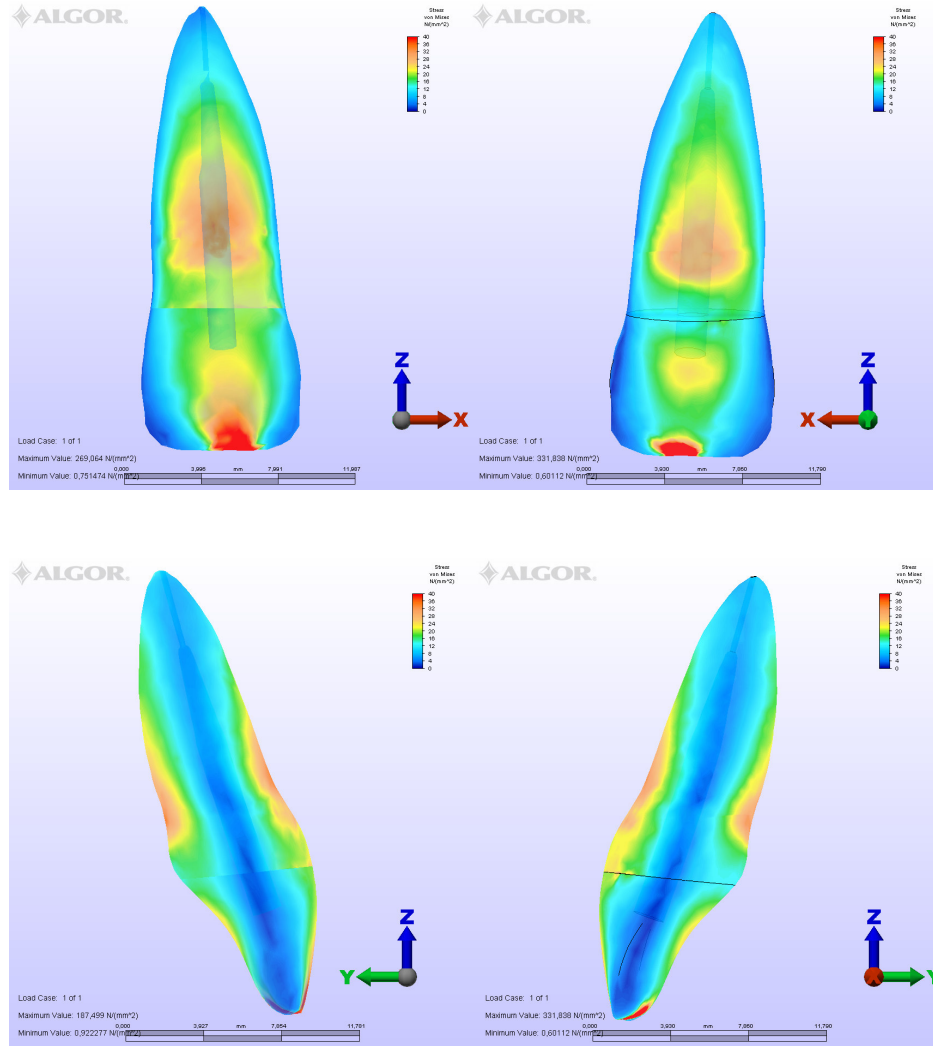


Şekil 24. Snowlight 1.6 mm yatay kırık F_2 stres dağılımı

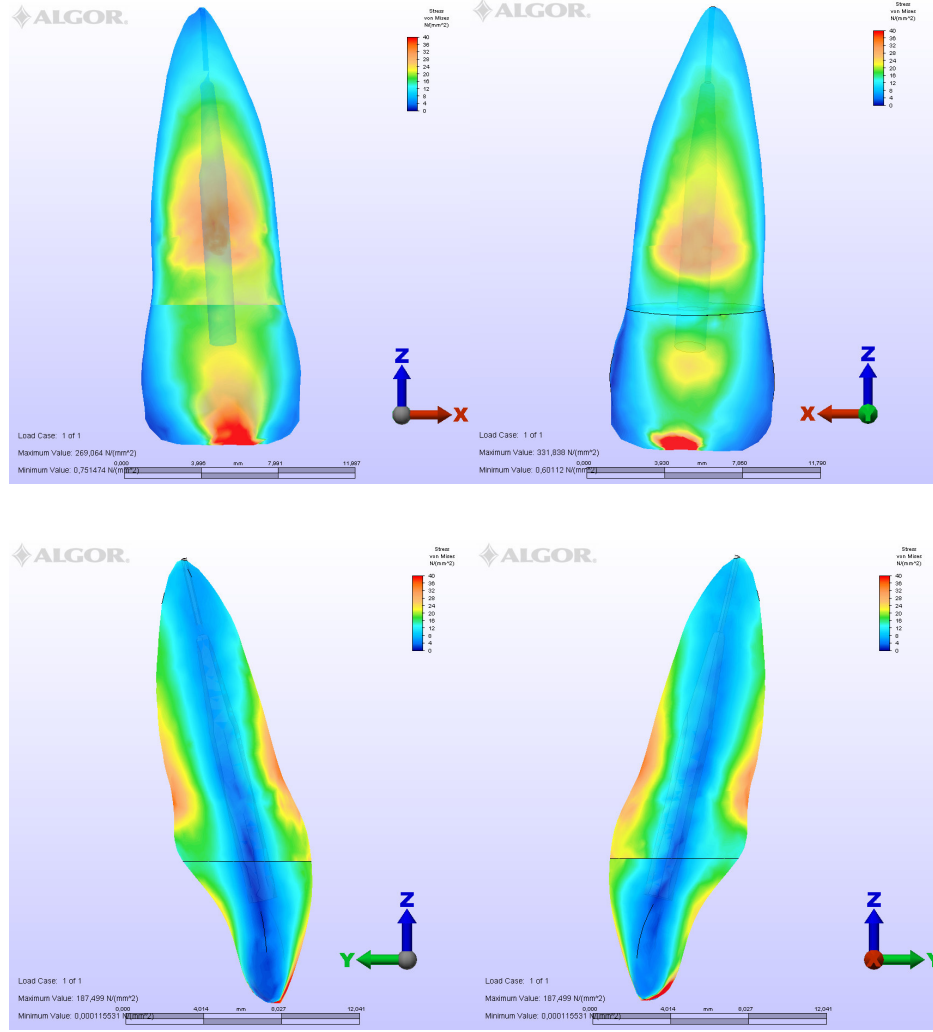
F_3 kuvvetinin ilk geldiği palatinal insizal alan ve labial insizal kuron alanı dışında oluşan von Mises eşdeğer stresleri, modellerin labial kök yüzeyinin servikal üçlüsünde yoğunlaşmıştır. Bunun dışında oluşan stres bölgeleri, palatinalde servikal kök yüzeyi ile kuronun labial ve palatinal yüzeyinin orta üçlüsüdür.



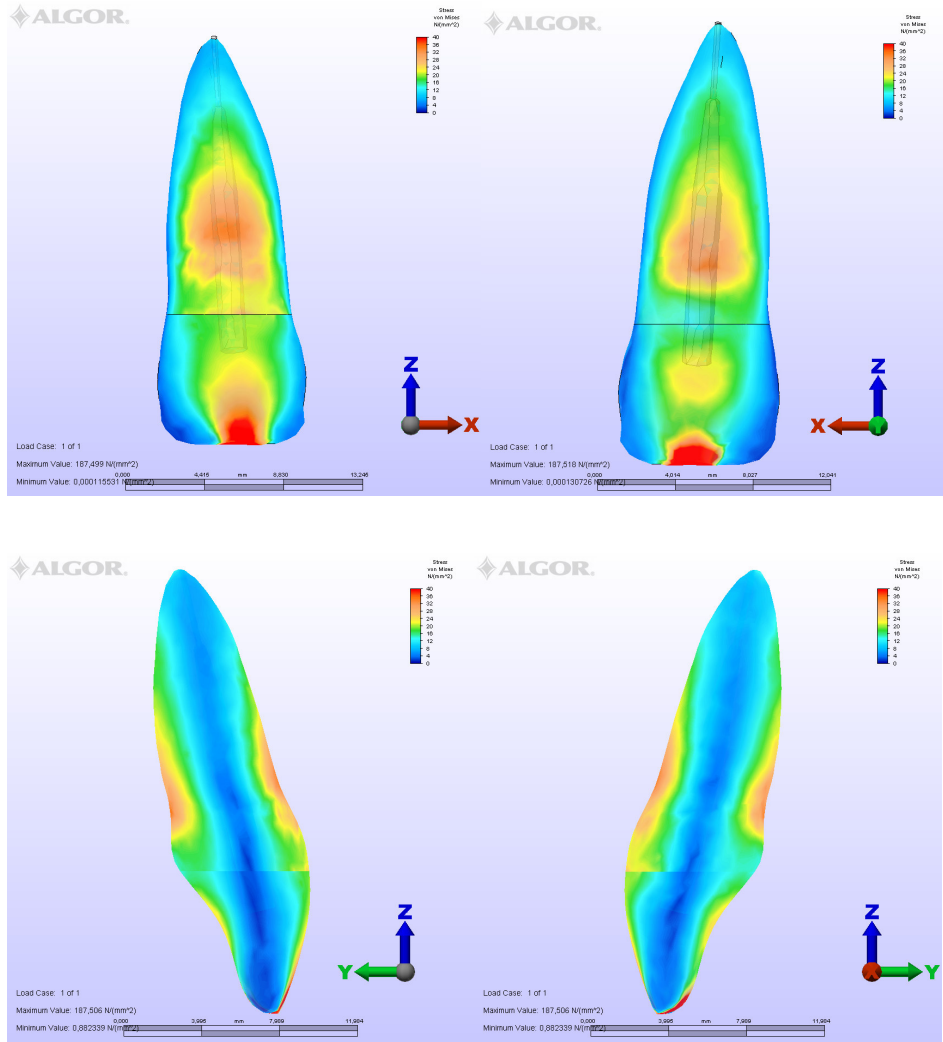
Şekil 25. Dentorama titanyum yatay kırık F_3 stres dağılımı



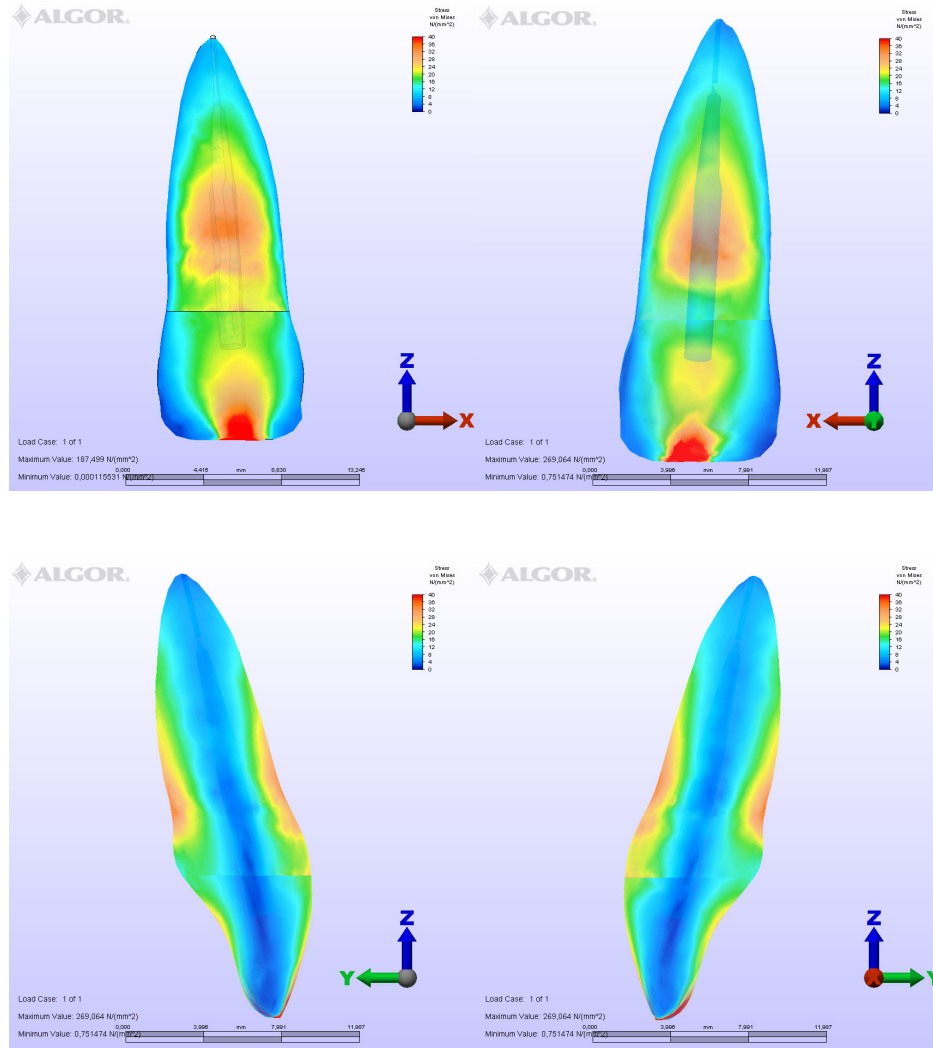
Şekil 26. FibreKleer yatay kırık F₃ stres dağılımı



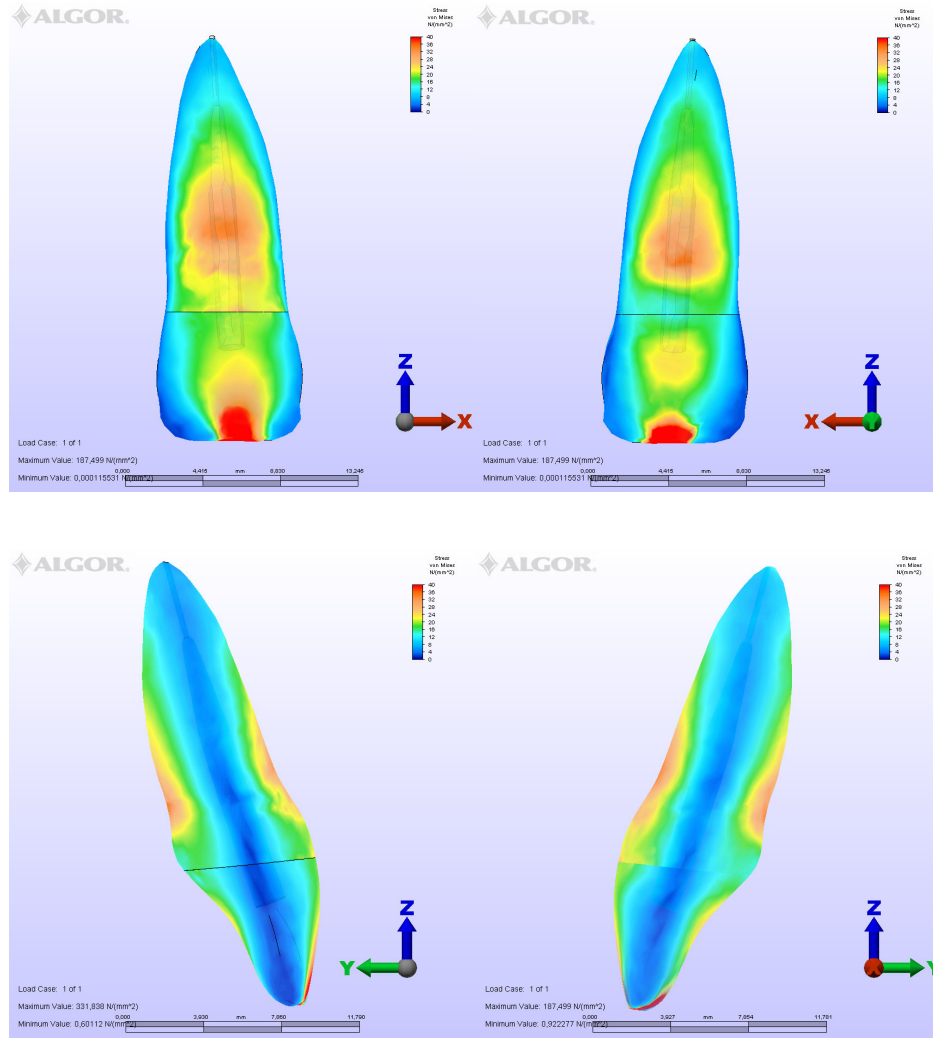
Şekil 27. everStick yatay kırık F_3 stres dağılımı



Şekil 28. FRC PostecPlus yatay kırık F_3 stres dağılımı



Şekil 29. Snowlight 1.4 mm yatay kırık F_3 stres dağılımı



Şekil 30. Snowlight 1.6 mm yatay kırık F_3 stres dağılımı

4.1.2. Çapraz Kırık Model Stres Analiz Sonuçları

FibreKleer, everStick, FRC PostecPlus, Snowlight 1.4 mm, Snowlight 1.6 mm ve Dentorama titanyum post olarak toplam altı grupta stres analizi yapılan çapraz kırık modelde, tüm kuvvetler altında kuvvetlerin geldiği ilk alanda stres yoğunlaşmaları beklenen bir sonuçtur. Bunun alan dışında, postların oluşturduğu stres dağılımları bütün olarak değerlendirildiğinde, yatay kırık modellerde izlendiği gibi F_1 ve F_3 kuvvetleri altında Dentorama titanyum postun daha çok stres yoğunlaşmaları oluşturduğu, F_2 kuvvetleri altında ise bütün postların stres dağılımlarının benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

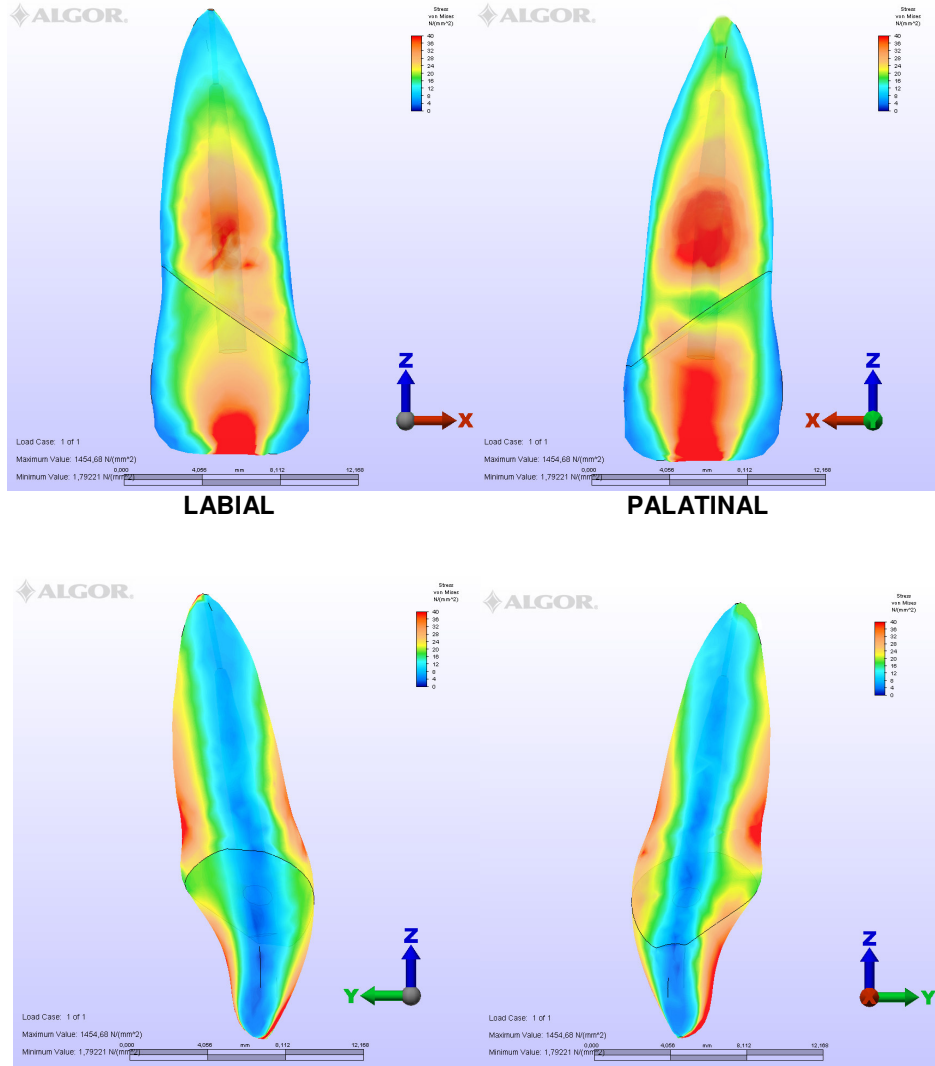
Çapraz kırık modellerde de diş üzerinde oluşan maksimum von Mises eşdeğer stresleri, her zaman kuvvetin geldiği ilk alanda oluşmuştur. Bu alan dışında modellemede kullanılan postların maksimum von Mises eşdeğer stres değerleri incelendiğinde yatay kırık modellerdeki sıralama ile aynı olarak, en az Dentorama titanyum postta, daha sonra sırayla Snowlight 1.6 mm, Snowlight 1.4 mm, FRC PostecPlus, everStick, FibreKleer postlarda oluşurken, bütün olarak yatay kırık modellerdeki değerlerden daha yüksek bulunmuştur.

En çok stresler, yine yatay modellerdeki gibi sırayla yatay kuvvet, çiğneme kuvveti ve dikey kuvvetlerde oluşmuştur (Tablo V).

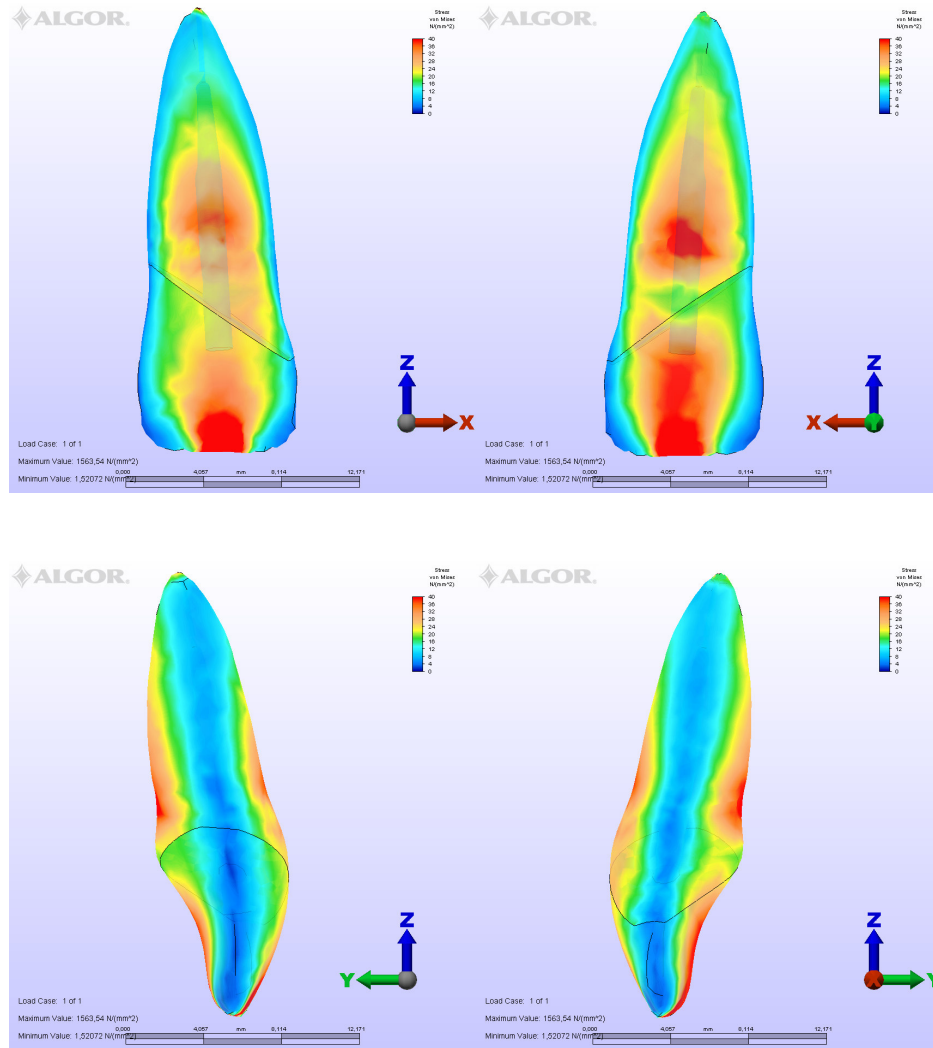
Tablo V. Çapraz kırık modelde oluşan maksimum von Mises eşdeğer stres değerleri

Kuvvet Yönü	Post		Maksimum von Mises eşdeğer stres (MPa)
F₁ Kuvveti (Yatay Kuvvet)	Dentorama titanyum		38.68
	FibreKleer		40.56
	everStick		40.44
	FRC PostecPlus		39.81
	Snowlight	1.4	39.62
		1.6	39.43
F₂ Kuvveti (Dikey Kuvvet)	Dentorama titanyum		11.02
	FibreKleer		11.51
	everStick		11.48
	FRC PostecPlus		11.32
	Snowlight	1.4	11.28
		1.6	11.26
F₃ Kuvveti (Çiğneme Kuvveti)	Dentorama titanyum		32.43
	FibreKleer		35.87
	everStick		35.45
	FRC PostecPlus		34.35
	Snowlight	1.4	33.87
		1.6	33.26

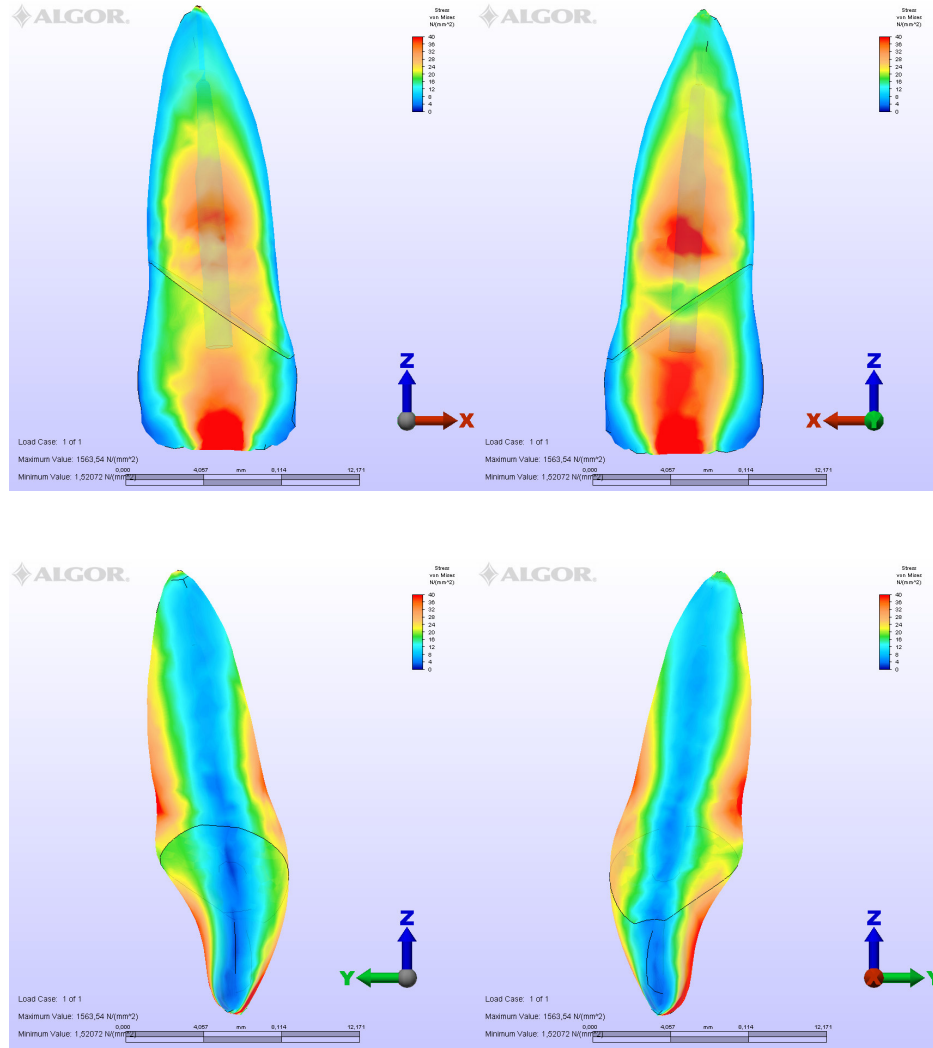
Modellere uygulanan F_1 kuvvetinin ilk geldiği labial insizal alan ve palatinal insizal alan dışında oluşan von Mises eşdeğer stresleri, palatinal kök yüzeyinin servikal üçlüsü ile palatinal kuron yüzeyinde orta üçlüde yoğunlaşmıştır. Bunun dışında oluşan stres bölgeleri, labial kök yüzeyinin servikal üçlüsüdür.



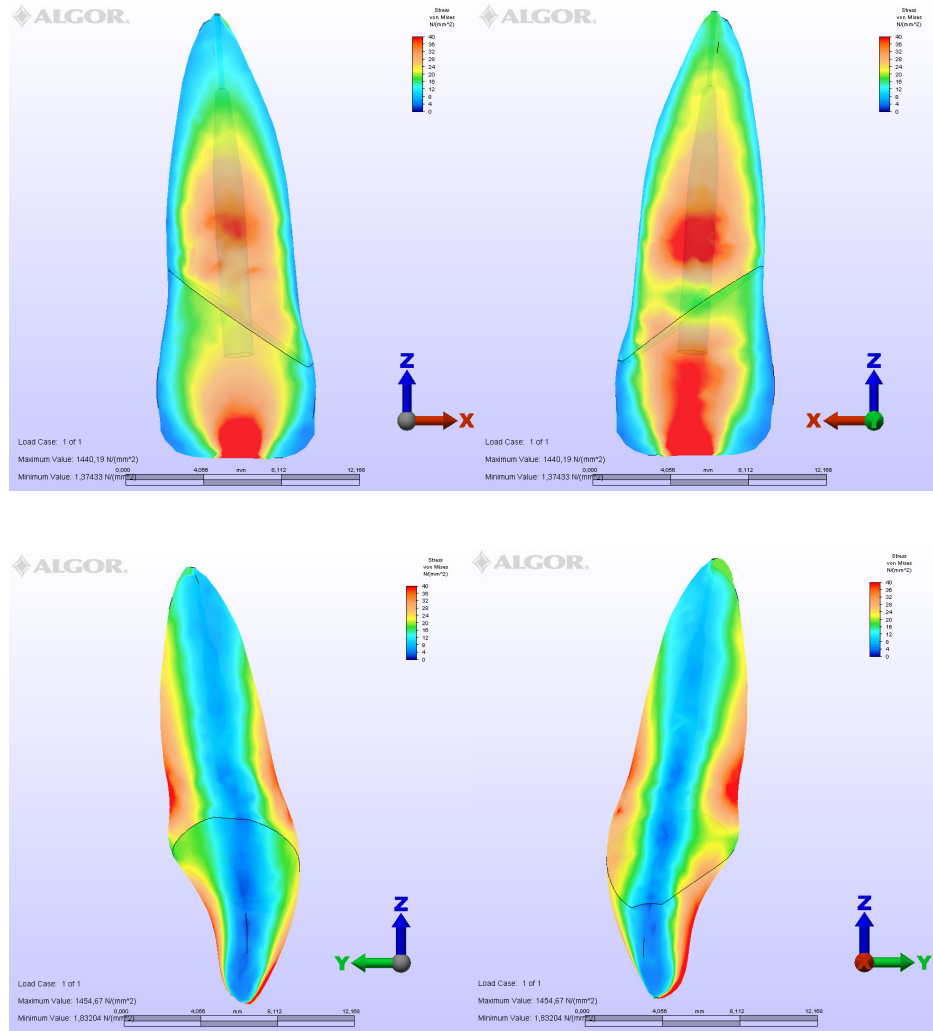
Şekil 31. Dentoramba titanyum çapraz kırık F_1 stres dağılımı



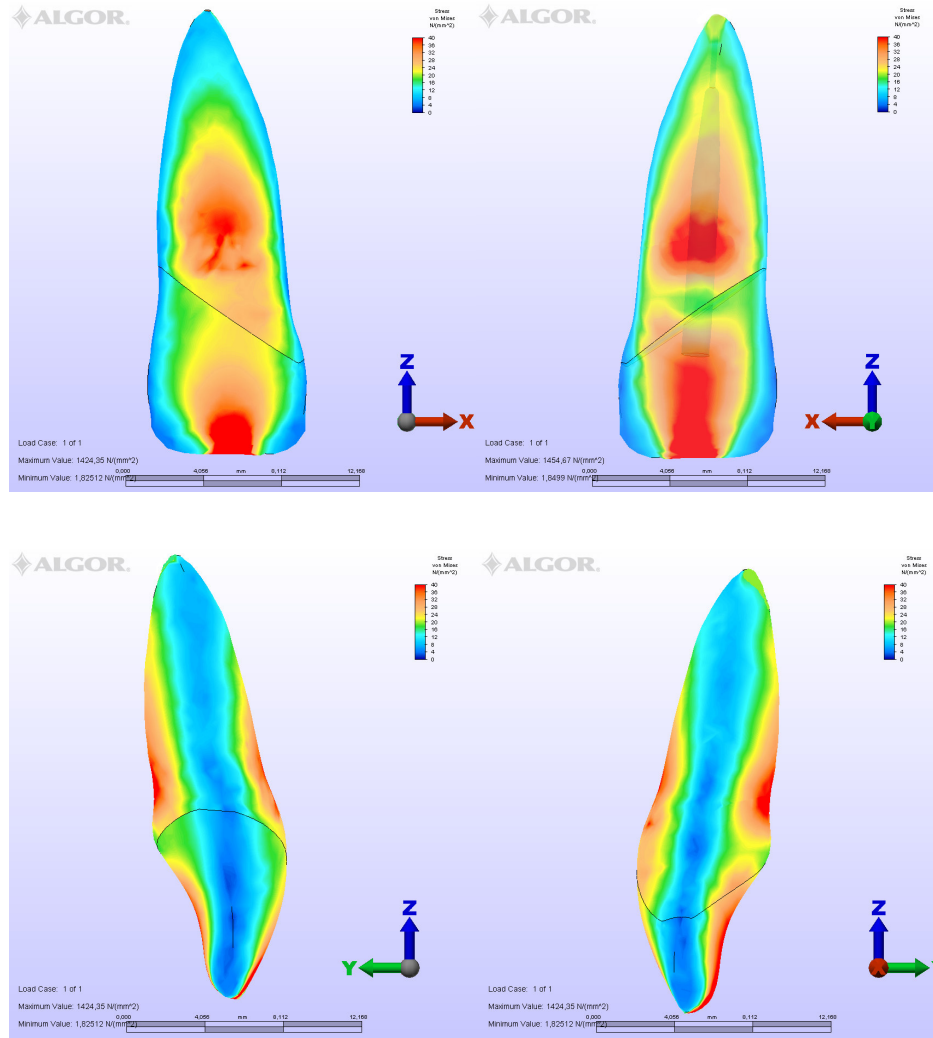
Şekil 32. FibreKleer çapraz kırık F_1 stres dağılımı



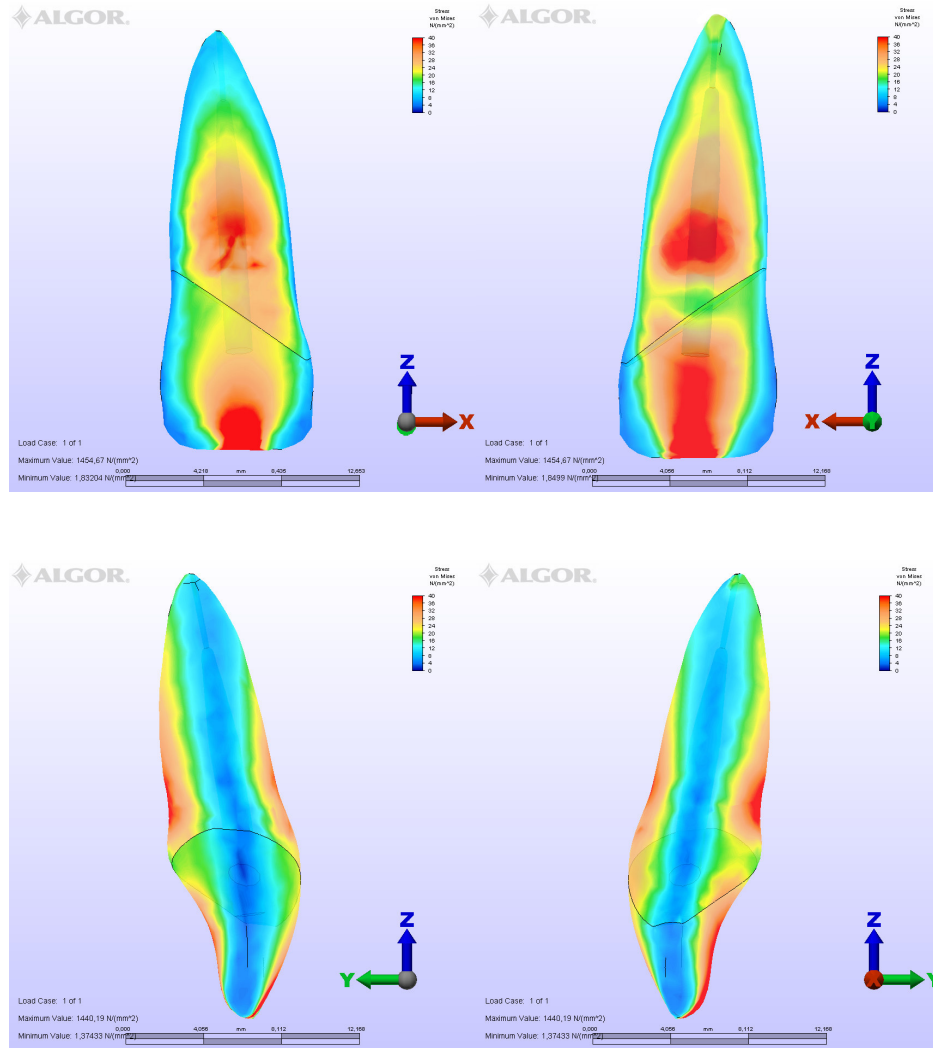
Şekil 33. everStick çapraz kırık F₁ stres dağılımı



Şekil 34. FRC PostecPlus çapraz kırık F_1 stres dağılımı

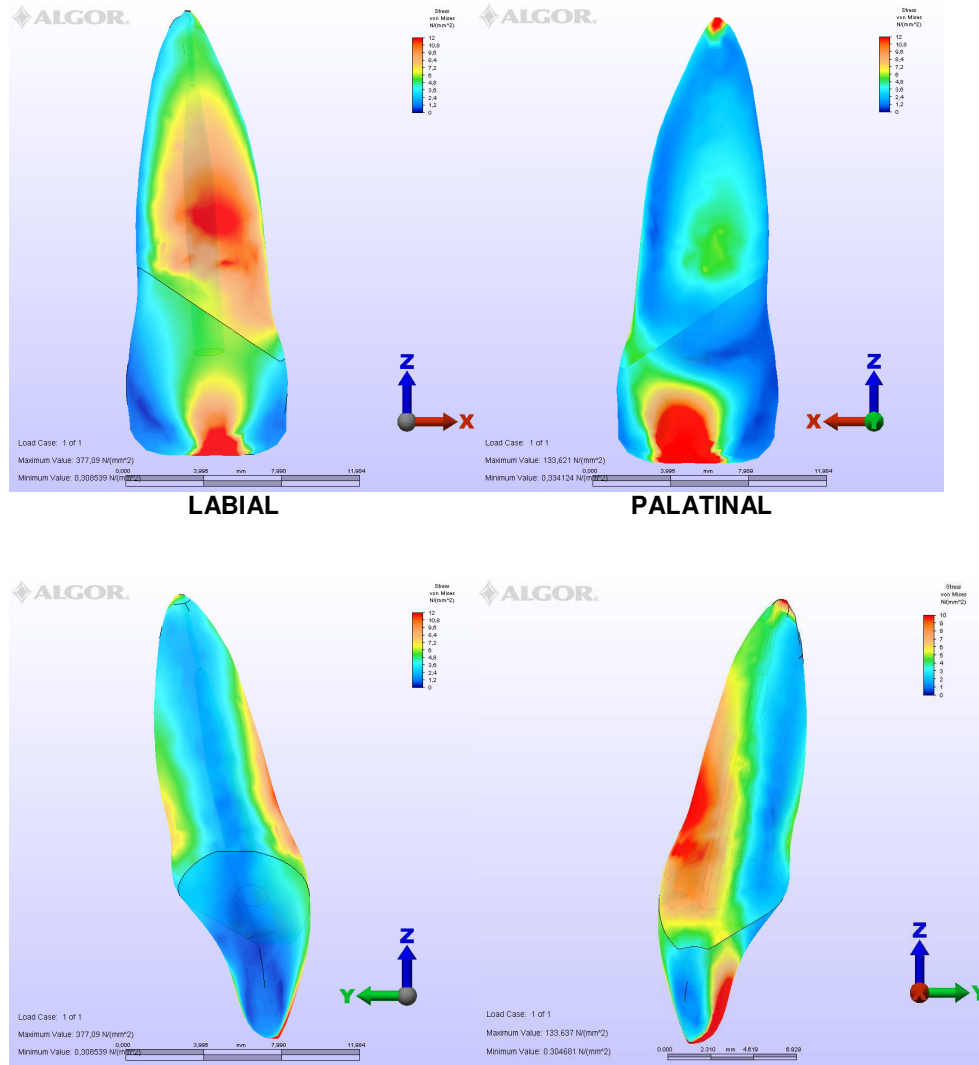


Şekil 35. Snowlight 1.4 mm çapraz kırık F_1 stres dağılımı

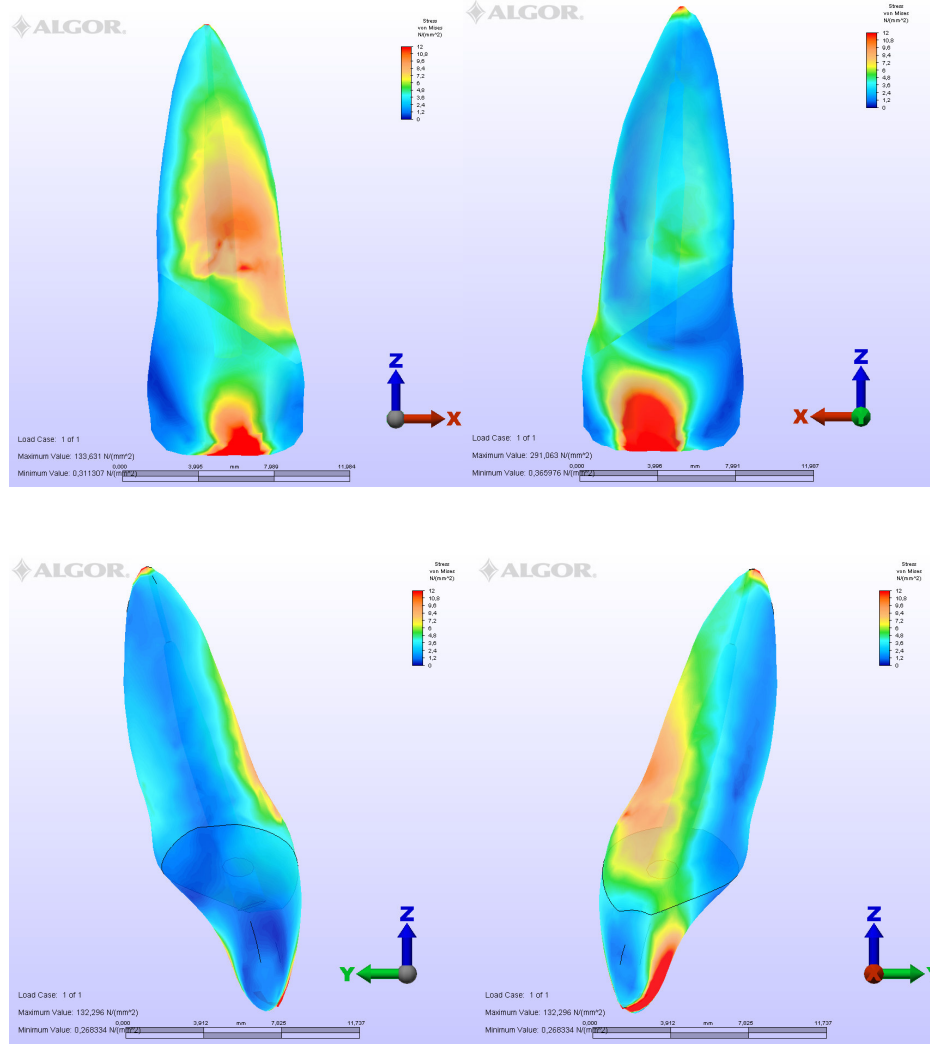


Şekil 36. Snowlight 1.6 mm çapraz kırık F_1 stres dağılımı

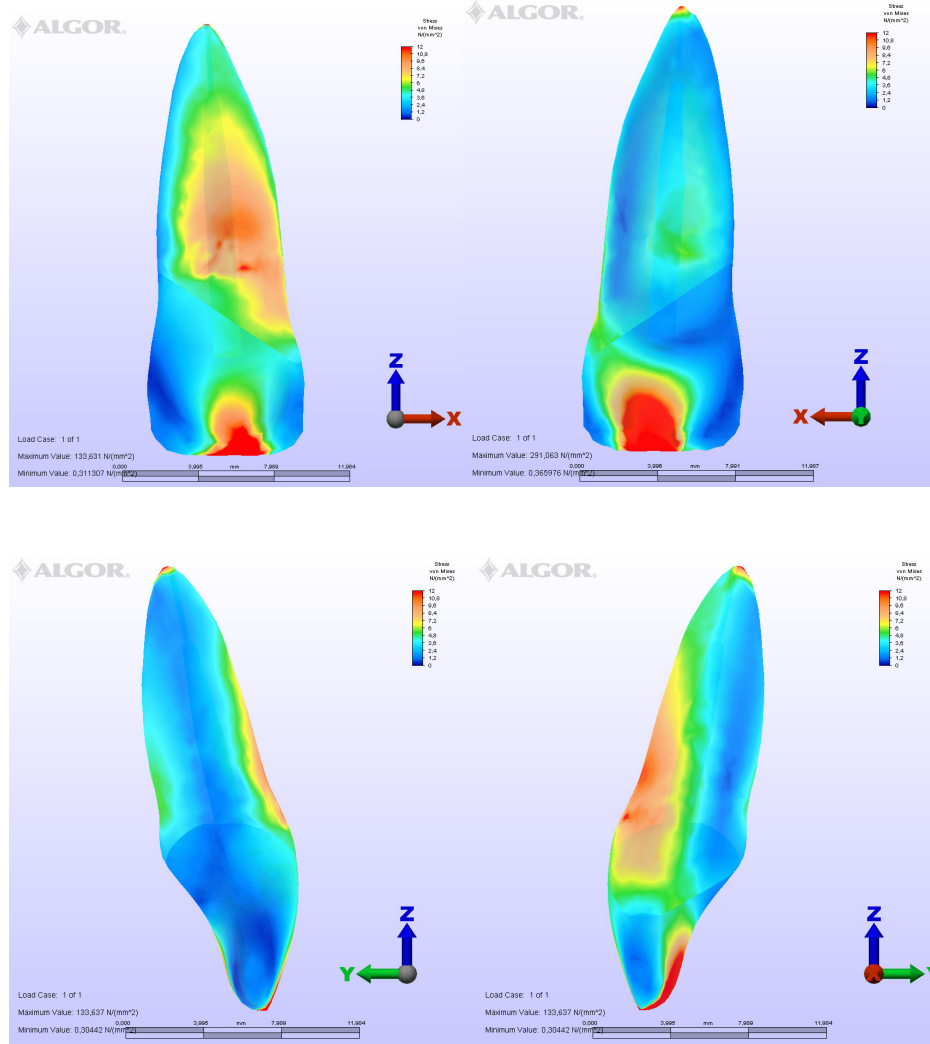
Uygulanan F_2 kuvvetinin ilk geldiği labial ve palatinal insizal alan dışında oluşan von Mises eşdeğer stresleri, modellerin labial kök yüzeyi servikal üçlüsünde yoğunlaşmıştır. Bunun dışında palatinal kök yüzeyinin servikal üçlüsü ve az miktarda postun apekte sonlandığı kök yüzeyinde stres bölgeleri oluşmuştur.



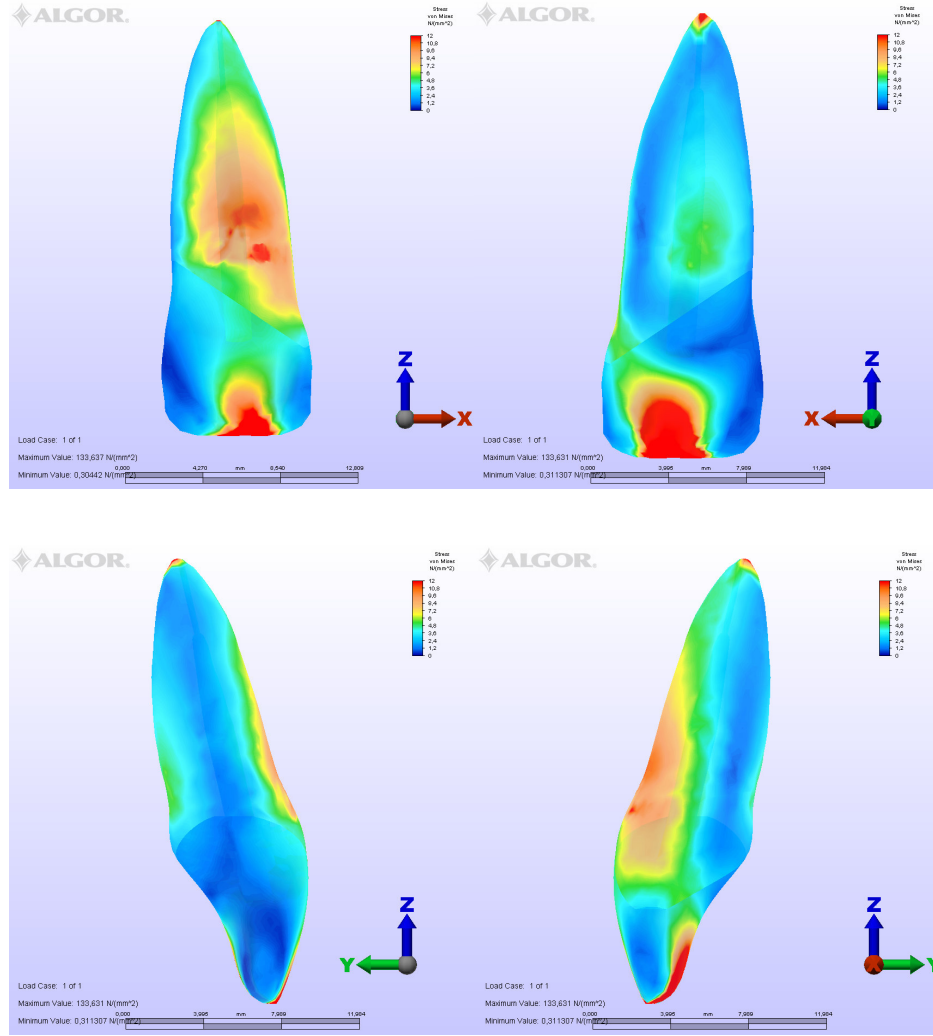
Şekil 37. Dentorama titanyum çapraz kırık F_2 stres dağılımı



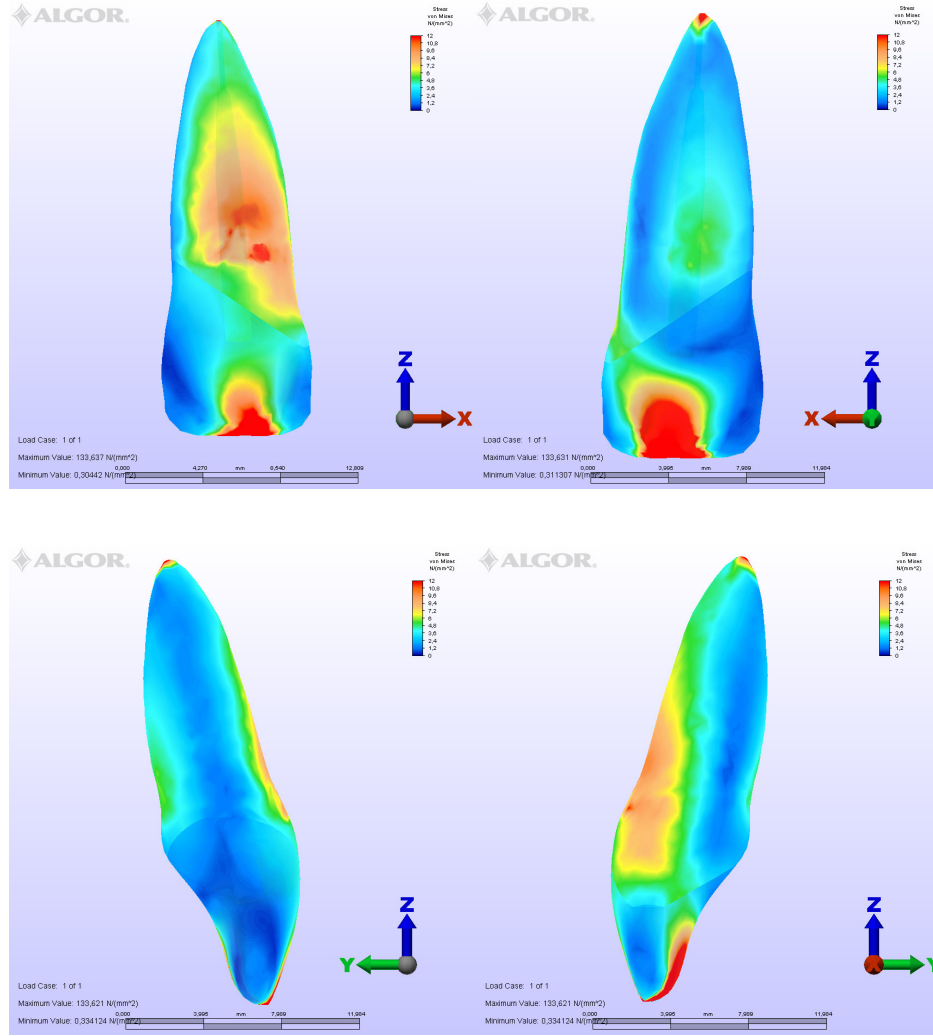
Şekil 38. FibreKleer çapraz kırık F_2 stres dağılımı



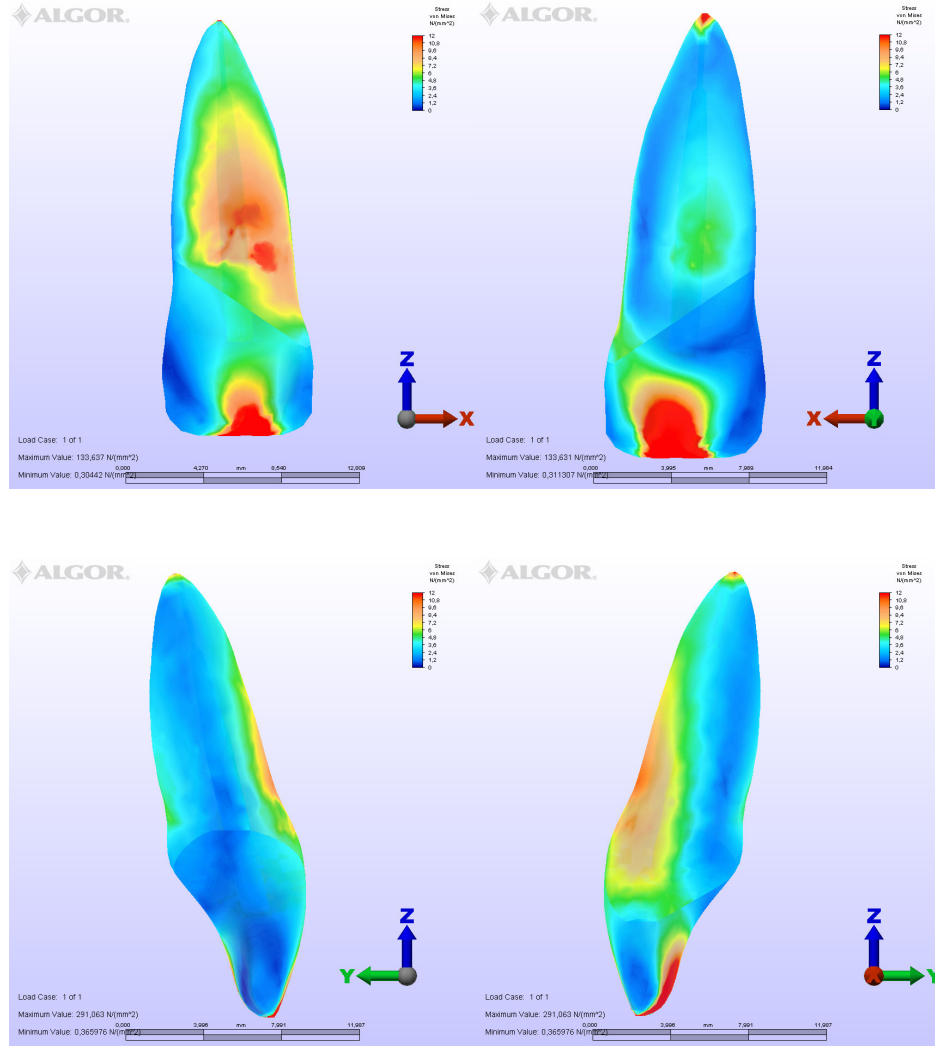
Şekil 39. everStick çapraz kırık F_2 stres dağılımı



Şekil 40. FRC PostecPlus çapraz kırık F_2 stres dağılımı

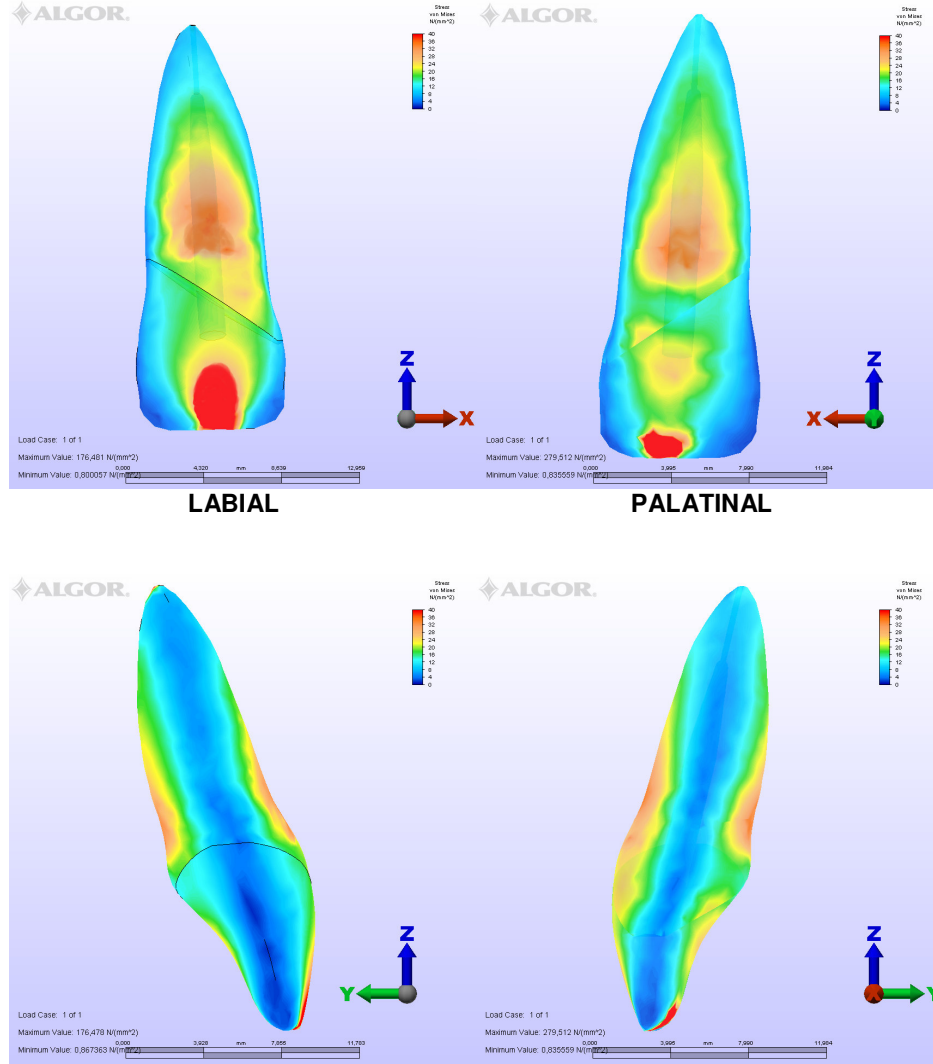


Şekil 41. Snowlight 1.4 mm çapraz kırık F_2 stres dağılımı

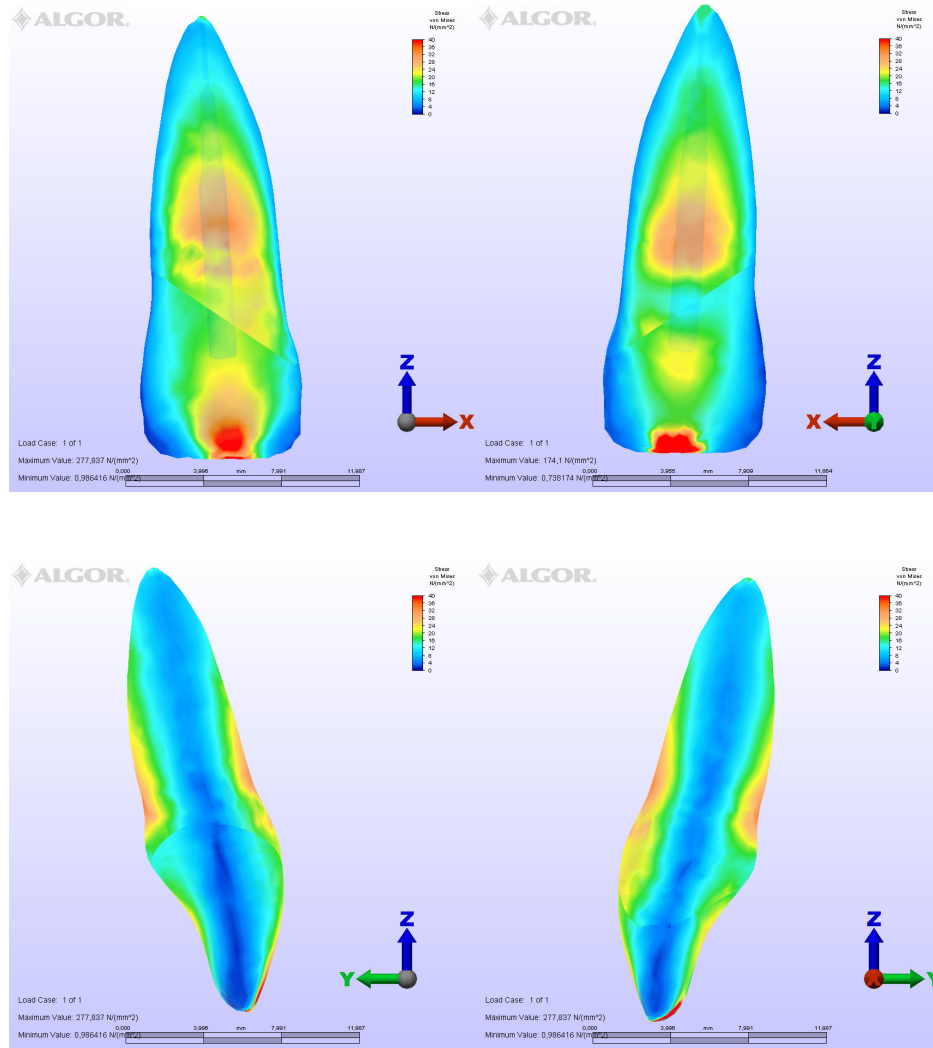


Şekil 42. Snowlight 1.6 mm çapraz kırık F_2 stres dağılımı

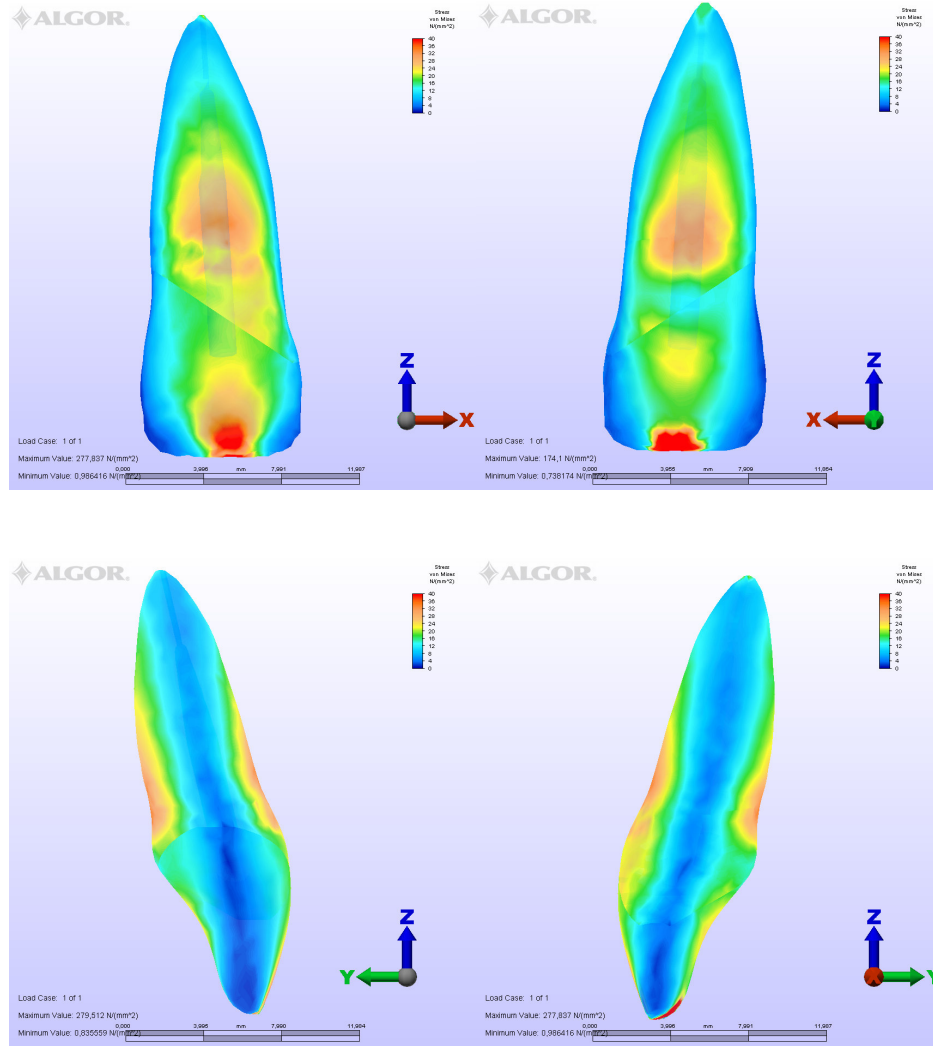
F_3 kuvvetinin ilk geldiği palatinal insizal alan ve labial insizal alanı dışında oluşan von Mises eşdeğer stresleri, modellerin labial kök yüzeyinin servikal üçlüsünde yoğunlaşmıştır. Bunun dışında oluşan stres bölgeleri, palatinal kök yüzeyi servikal üçlüsü ile kuronun palatinal ve labial yüzeyi orta üçlü bölgesindedir.



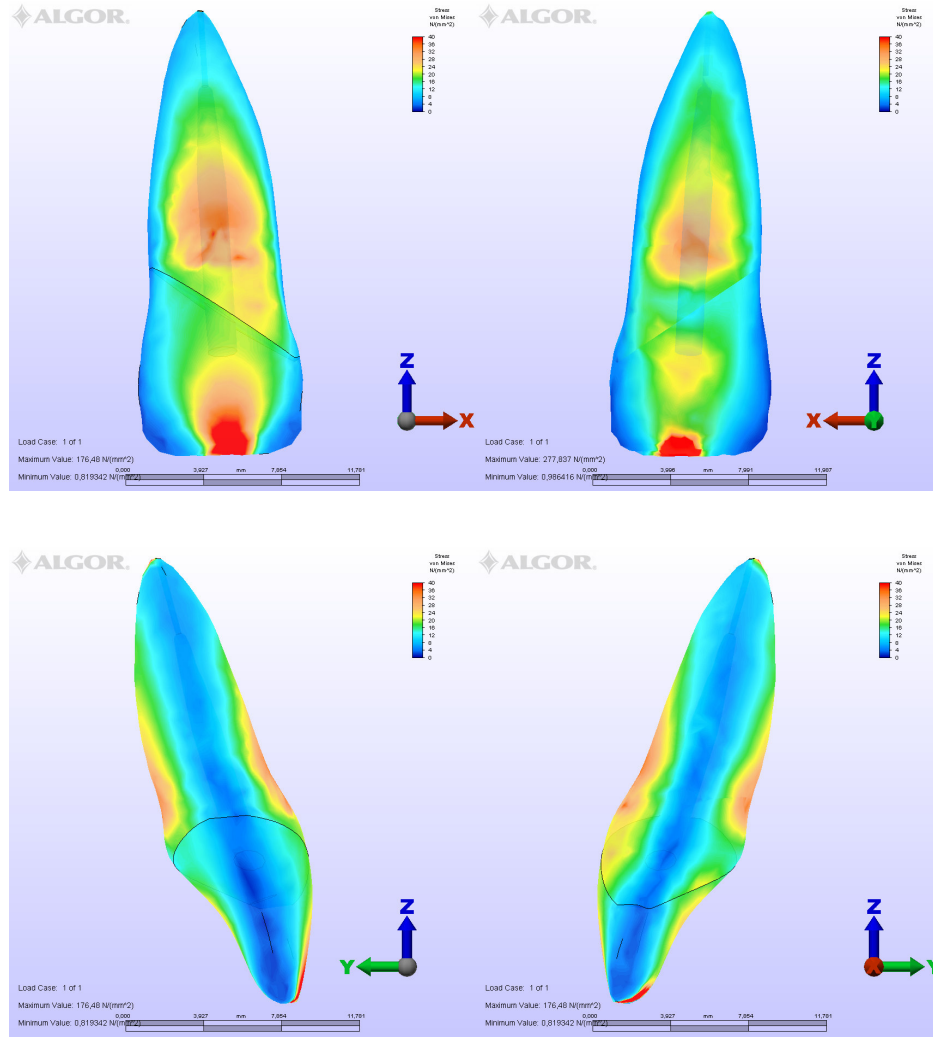
Şekil 43. Dentorama titanyum çapraz kırık F_3 stres dağılımı



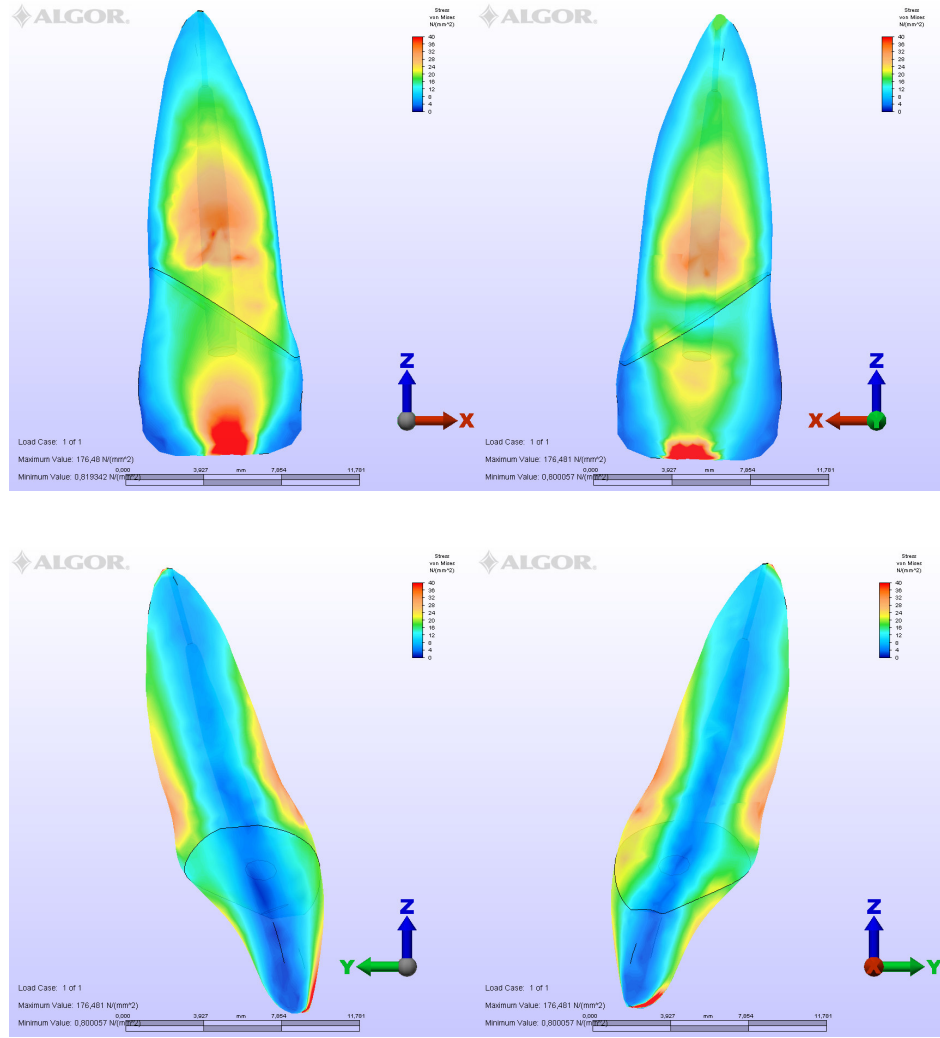
Şekil 44. FibreKleer çapraz kırık F_3 stres dağılımı



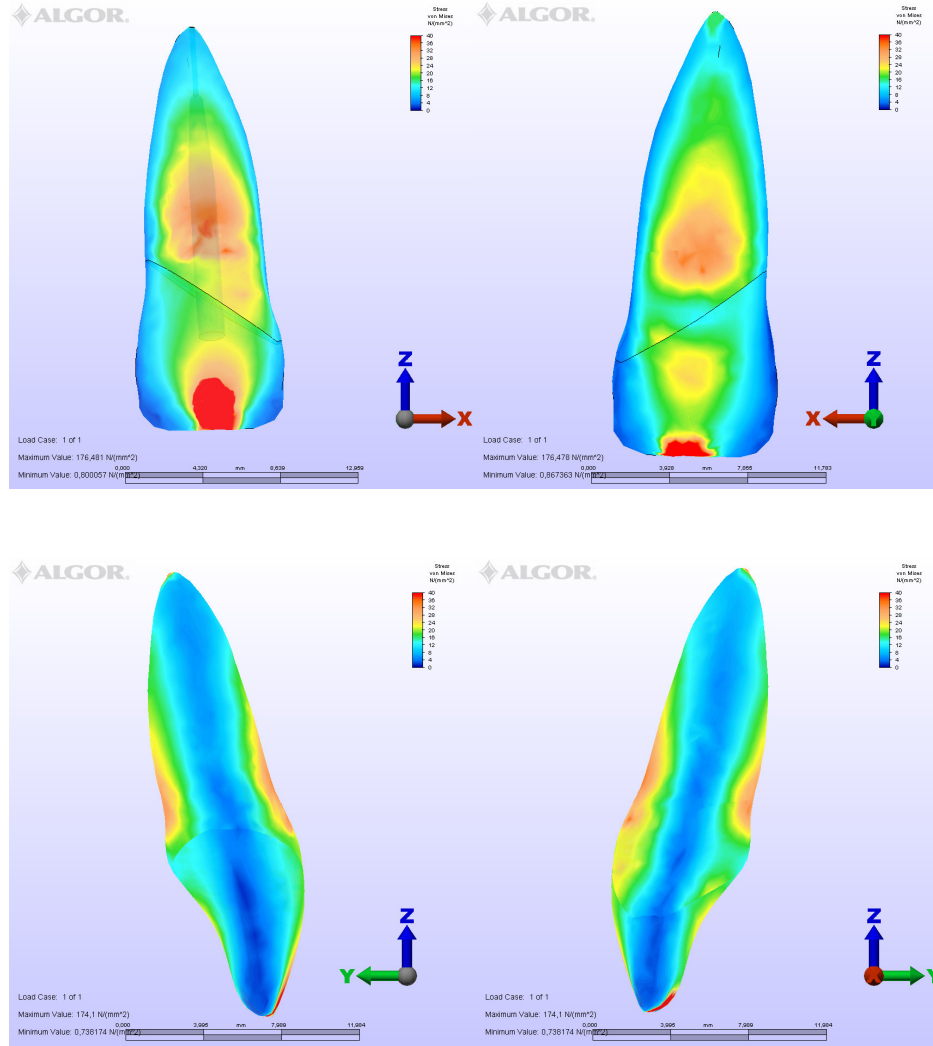
Şekil 45. everStick çapraz kırık F_3 stres dağılımı



Şekil 46. FRC PostecPlus çapraz kırık F_3 stres dağılımı



Şekil 47. Snowlight 1.4 mm çapraz kırık F_3 stres dağılımı



Şekil 48. Snowlight 1.6 mm çapraz kırık F_3 stres dağılımı

4.2. Cam Fiber Destekli Kompozit Postların Üç Nokta Bükme Test Sonuçları

Cam fiber destekli postların üç nokta bükme test sonuçları; kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin maksimum kırık yükleme değerleri ve bükülme dirençleri olarak elde edildi ve sonuçların istatistiksel analizleri yapıldı.

4.2.1. Kuru Örneklerin Maksimum Kırık Yükleme Sonuçları

Kuru örneklerin maksimum kırık yükleme değerlerinin üç nokta bükme test sonuçları incelendiğinde, en yüksek ortalama kırık yükleme değerine everStick postun sahip olduğu, bunu sırasıyla FibreKleer, FRC PostecPlus, Snowlight 1.6 mm ve Snowlight 1.4 mm postların izlediği görülmektedir (Tablo VI).

Tablo VI. Kuru örneklerin maksimum kırık yükleme değerleri (Newton)

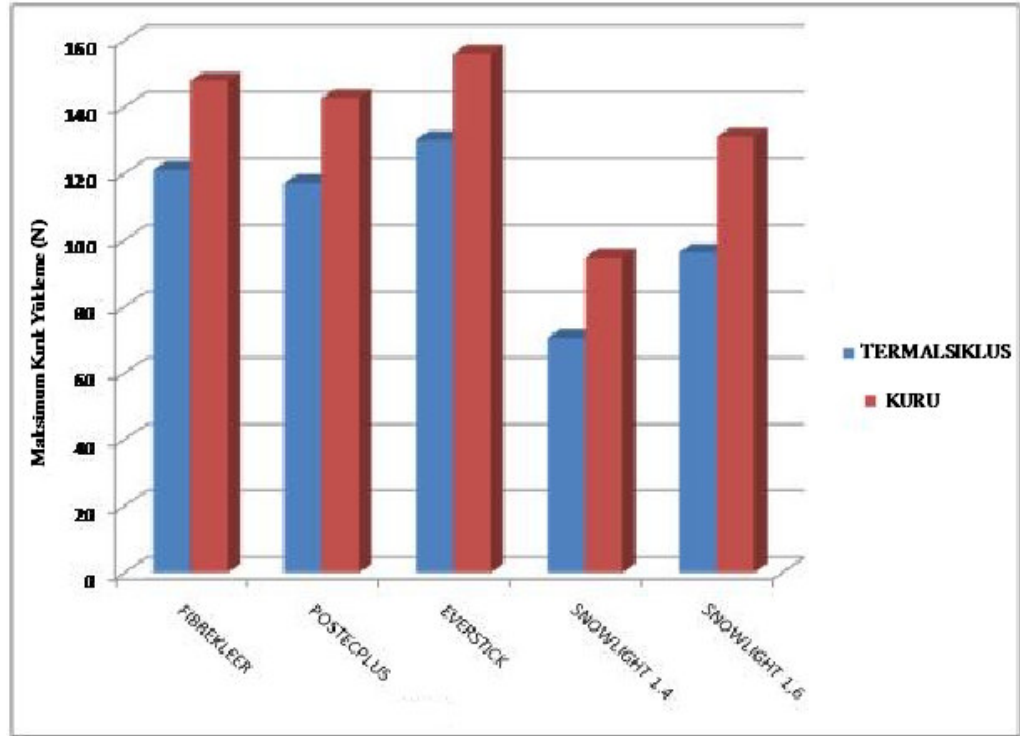
Post	everStick	FibreKleer	FRC PostecPlus	Snowlight	
				1.4 mm	1.6 mm
1	159.67	141.64	143.64	99.57	127.92
2	151.32	148.98	136.56	95.64	129.65
3	155.57	146.39	143.45	88.35	133.35
4	157.42	151.63	148.56	95.26	131.64
5	155.93	152.32	141.45	93.44	131.37
6	154.32	147.65	142.24	96.76	129.65
7	158.51	146.67	143.64	94.46	133.56
Ort	156.11	147.90	142.79	94.78	131.02

4.2.2. Termalsiklus Uygulanan Örneklerin Maksimum Kırık Yükleme Sonuçları

Termalsiklus uygulanan örneklerin maksimum kırık yükleme değerlerinin üç nokta bükme test sonuçları incelendiğinde, en yüksek ortalama kırık yükleme değerlerini yine everStick postun gösterdiği, bunu sırasıyla FibreKleer, FRC PostecPlus, Snowlight 1.6 mm ve Snowlight 1.4 mm postların izlediği görülmektedir (Tablo VII, Grafik 1).

Tablo VII. Termalsiklus uygulanan örneklerin maksimum kırık yükleme değerleri (Newton)

Post	everStick	FibreKleer	FRC PostecPlus	Snowlight	
				1.4 mm	1.6 mm
1	127.84	119.50	109.85	71.30	93.74
2	128.77	119.59	112.85	68.36	99.64
3	131.72	122.98	119.64	73.62	92.53
4	127.25	121.56	127.52	70.33	94.62
5	132.77	123.53	113.24	71.82	99.63
6	132.64	122.34	117.60	73.45	92.63
7	129.98	117.84	118.93	65.43	101.63
Ort	130.14	121.05	117.09	70.62	96.35



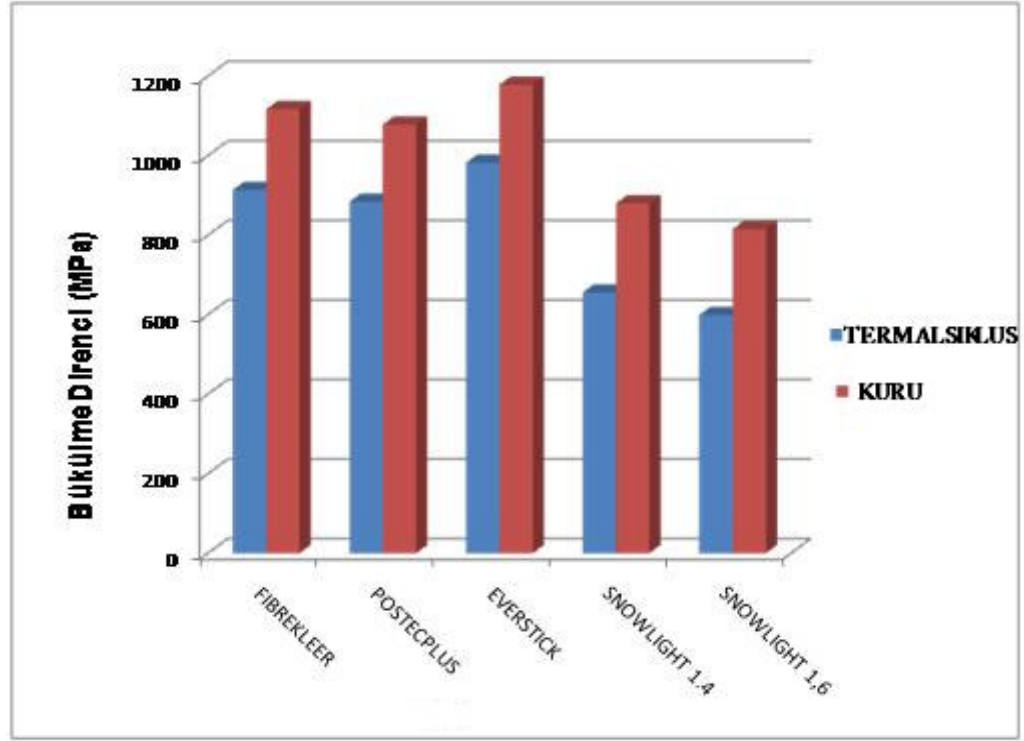
Grafik 1. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin maksimum kırık yükleme değerleri

4.2.3. Kuru ve Termalsiklus Uygulanan Örneklerin Bükülme Direnç Değerleri

Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerde en yüksek bükülme direnç değerine everStick postun sahip olduğu, bunu sırasıyla FibreKleer, FRC PostecPlus, Snowlight 1.4 mm ve Snowlight 1.6 mm postların izlediği görülmektedir (Tablo VIII, Grafik 2).

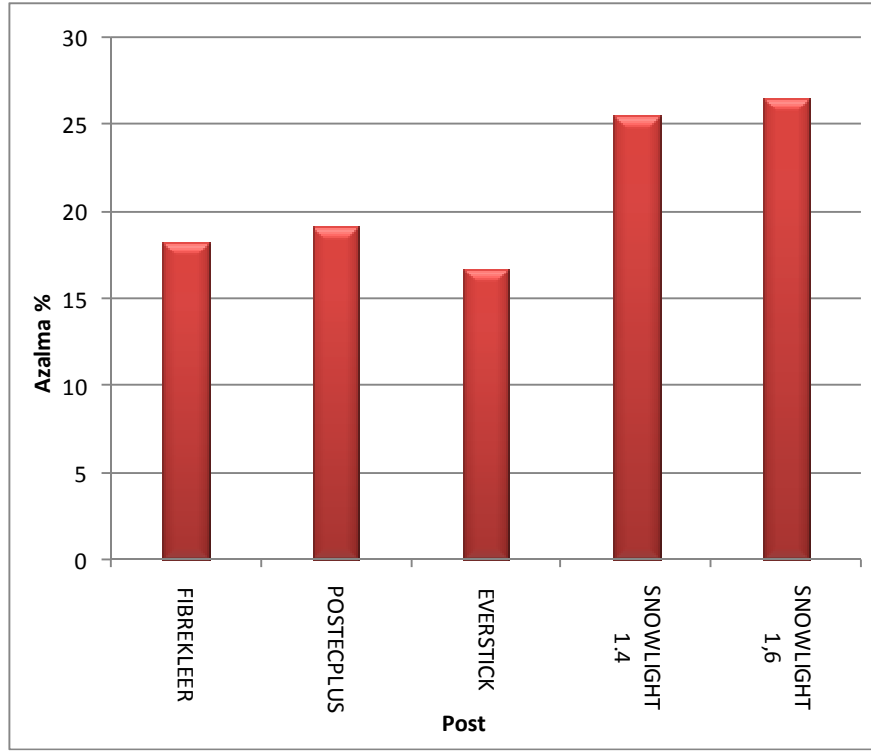
Tablo VIII. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin bükülme direnç değerleri (MPa)

KURU ÖRNEKLER	Post	everStick	FibreKleer	FRC PostecPlus	Snowlight 1.4 mm 1.6 mm	
	1	1205.34	1069.23	1084.33	925.15	795.76
	2	1142.30	1124.64	1030.88	888.64	806.53
	3	1174.39	1105.09	1082.89	820.90	829.54
	4	1188.35	1144.64	1121.47	885.11	818.91
	5	1177.10	1149.85	1067.79	868.19	817.23
	6	1164.95	1114.60	1073.76	899.04	806.53
	7	1196.58	1107.20	1084.33	877.67	830.85
	Ort	1178.46	1116.48	1077.91	880.65	815.05
TERMALSIKLUS UYGULANAN ÖRNEKLER	1	965.05	902.09	829.25	662.48	583.16
	2	972.07	902.77	851.89	635.16	619.84
	3	994.34	928.36	903.15	684.04	575.61
	4	960.60	917.65	962.64	653.47	588.62
	5	1002.27	932.52	854.84	667.31	619.78
	6	1001.29	923.53	887.75	682.46	576.23
	7	981.21	889.56	897.79	607.94	632.22
	Ort	982.42	913.80	883.90	656.12	599.33



Grafik 2. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin bükülme direnç değerleri

Örneklerde termalsiklus sonrası bükülme dirençlerinde azalma en çok %26.5 ile Snowlight 1.6 mm' de, %25.5 ile Snowlight 1.4 mm' de, %19.01 FRC PostecPlus' da, %18.16 ile FibreKleer' de ve en az %16.64 ile everStick' de tespit edildi (Grafik 3).



Grafik 3. Termalsiklus sonrası örneklerin bükülme dirençlerinde azalma

4.2.4. İstatistik Analiz

4.2.4.a. Kuru örneklerin test sonuçları

Kuru örneklerin bükülme direnci test sonuçlarında 1.5 mm çaplı postlar (everStick, FibreKleer, FRC PostecPlus) arasında önemli düzeyde anlamlı fark bulundu ($p<0.001$). 1.5 mm çapındaki postların tamamı bir grup alınarak 1.4 mm ve 1.6 mm çapındaki Snowlight post ile karşılaştırıldığında, bu gruplar arasındaki fark da anlamlı bulundu ($p<0.001$). Ayrıca, Snowlight 1.4 mm ve Snowlight 1.6 mm postlar arasında anlamlı farklılık belirlendi ($p<0.001$) (Tablo IX).

Tablo IX. Kuru örnekler için bükülme direnci değerlerinin ortalama (Ort) ve standart sapmaları (ss)

Post	Sayı	Ort±ss	Minimum değer	Maksimum değer
everStick	7	*1178.46±20.98	1142.30	1205.34
FibreKleer	7	*1116.48±27.06	1069.23	1149.85
FRC PostecPlus	7	*1077.91±26.84	1030.88	1121.47
Snowlight	1.4 mm	7	*880.65±31.95	820.90
	1.6 mm	7	*815.05±12.87	795.76

* $p<0.001$

4.2.4.b. Termalsiklus uygulanan örneklerin test sonuçları

Termalsiklus uygulanan örneklerin bükülme direnci test sonuçlarında 1.5 mm çaplı postlar (everStick, FibreKleer, FRC PostecPlus) arasında önemli düzeyde anlamlı fark bulundu ($p<0.001$).

FibreKleer ve FRC PostecPlus grupları arasında fark bulunmazken ($p>0.01$), everStick bu gruplardan önemli derecede farklı bulundu ($p<0.01$). 1.5 mm çapındaki postların tamamı bir grup alınarak 1.4 mm ve 1.6 mm çapındaki Snowlight post ile karşılaştırıldı ve aralarında anlamlı bir fark bulundu ($p<0.001$). Snowlight 1.4 mm ve Snowlight 1.6 mm postlar arasındaki farklılık da anlamlı bulundu ($p<0.001$) (Tablo X).

Tablo X. Termalsiklus uygulanan örnekler için bükülme direnç değerlerinin ortalama (Ort) ve standart sapmaları (ss)

Post	Sayı	Ort±ss	Minimum değer	Maksimum değer
everStick	7	*982.42±17.19**	960.60	1002.27
FibreKleer	7	*913.80±15.83	889.56	932.52
FRC PostecPlus	7	*883.90±43.95	829.25	962.64
Snowlight	1.4 mm	7	*656.12±27.03	607.94
	1.6 mm	7	*599.33±23.76	575.61

* $p<0.001$, ** $p<0.01$

4.2.4.c. Kuru ve termalsiklus uygulanan örneklerin test sonuçları karşılaştırması

Kuru örneklerin bükülme direnci test sonuç değerlerinin tamamı ile termalsiklus uygulanan örneklerin sonuçları değerlerinin tamamı arasında önemli düzeyde anlamlı fark bulundu ($p<0.001$) (Tablo XI).

Tablo XI. Kuru ve termalsiklus uygulanan örnekler için bükülme direnç değerlerinin ortalama (Ort) ve standart sapmaları (ss)

Örnekler	Ort±ss	Minimum değer	Maksimum değer
Kuru	*1013.71±21.98	971.81	1046.53
Termalsiklus uygulanan	*807.11±21.89	772.59	842.73

* $p<0.001$

5. TARTIŞMA

Geniş koronal madde kayıplı endodontik tedavi uygulanan dişler, vital dişlerle karşılaştırıldığında daha kırılabilirler. Bu nedenle, geniş koronal madde kayıplı genç daimi dişlerde de hazırlanan kök kanalı içine destek sağlayıcı bir materyal-post-yerleştirilerek üzerine estetik restorasyon yapılması doğru ve tercih edilmesi gereken bir uygulamadır. Bu amaçla kullanılan ilk postlar, metalik yapıda üretilmiştir. Ancak metal postların, zamanla korozyona uğrayarak renkleşme yapması, biyouyum sorunları, gerektiğinde kök kanalı içinden sökülmesinin çok zor olması, dişe ve üzerine uygulanan restorasyona kimyasal olarak bağlanmamaları gibi dezavantajları vardır. Bunların dışında, dentin ile arasındaki yüksek elastisite katsayısı farkına bağlı olarak, dentin-post ve dentin-yapıştırma simanı arasında yoğun basma ve makaslama stres yoğunlaşma alanları oluşturur^{130,131}. Klinikte gözlemlenen başarısızlıkların birçoğu, metal postların stres dağılımındaki düzensizliklere bağlı olarak oluşan stres yoğunlaşma alanlarının, diş ile post-kor yapıda bulunan mikro çatlakları büyütürken zamanla dentin kırıklarına yol açması ile oluşmaktadır^{127,132}.

İdeal post, diş yapısının doğal esneme hareketlerine eşlik edebilecek kadar elastik özellik göstermelidir^{12-15,31,53}. Bunu rijit yapıda olan metal postların yapması imkânsızdır. Yapılan araştırma-geliştirmeler ve ilerleyen materyal teknolojisi ile günümüzde metal postlara alternatif olarak, metal içermeyen yeni postlar kullanıma girmiştir. Bu postlardan olan fiber destekli kompozit postlar, dentine yakın biyomekanik (kuvvetleri diş üzerinde homojen iletme yeteneği ve yüksek bükülme direnci) özelliklere sahip olduklarından, klinik başarı açısından metal postlara göre daha avantajlıdır^{53,127}.

Metal içermeyen postlardan kullanıma en son giren ve günümüzde üzerinde en çok araştırma yapılan postlar olan cam fiber destekli kompozit postlar, mükemmel estetik ve biyouyumu, iyi radyopak görünüm vermesi, kanal içinden kolayca sökülebilmesi ve yüksek bükülme direnci gibi önemli avantajlara sahiptir. Adeziv siman ve bağlanma ajanlarının, post ve kök arasında oluşan stres yoğunlaşmalarını azaltarak, kuron-kök bölgesinde oluşabilecek kırıklardan korunmaya yardımcı olduğu bilinmektedir^{49,133}. Cam fiber destekli kompozit postlar, yeni nesil rezin kompozit yapıştırıcı siman ve bağlanma ajanları ile çok iyi uyum gösterdiğinden, hazırlanan kök kanalına ve estetik restorasyonlara kimyasal olarak yapışmaktadırlar^{76,82,112}.

Literatür incelendiğinde cam fiber destekli kompozit postlar ve titanyum postların sonlu elemanlar yöntemi ile stres yoğunlaşmalarının analiz edildiği sınırlı sayıda çalışma mevcuttur^{105,109,110}. Ayrıca, metal postların fiziksel özelliklerinin nemden etkilenmemesi nedeniyle, üç nokta bükme test çalışmaları fiber destekli kompozit postların kendi aralarında yapılmaktadır. İyi bir biyomekanik özellik, ideal bir post için önemli olduğundan, farklı içerik ve yapıdaki metal postlar ile ilgili literatürde çok sayıda fiziksel dayanıklılık ve stres analiz çalışmaları göze çarpmaktadır^{11,22,23,26,27,32,54,70,106,132}. Günümüzde hızlı materyal teknolojisi ile çok çeşit ve farklı içerikte cam fiber destekli kompozit postlar üretilmektedir. Bunlar arasında çalışmamızda yer alan cam fiber destekli kompozit postlarla ilgili üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile stres dağılımları ve *in vitro* termalsiklus uygulaması sonrası suda bekletilerek bükülme dirençlerinin bir arada karşılaştırıldığı çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu nedenle araştırmamızda son yıllarda üretilen dört farklı içerikte cam fiber destekli kompozit post (FibreKleer, everStick, FRC PostecPlus ve Snowlight) kuron-kök alanı boyunca farklı açılardan gelen kuvvetler altında oluşturdukları stres dağılımı üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile birbirleriyle ve Dentorama titanyum post ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, kuru ve termalsiklus uygulanan cam fiber destekli kompozit post örneklerinin bükülme dirençleri üç nokta bükme testi ile değerlendirilmiştir.

Stres analizleri açısından literatür incelemesi yapıldığında postların kuron-kök alanı boyunca stres dağılımlarının genellikle fotoelastik kuvvet analiz yöntemi, gerilimölçer kuvvet analiz yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edildiği görülmektedir^{134,135}. Bunlar arasında, sonlu elemanlar yöntemi, streslerin doğrudan görülmesine imkân vermesi, gerçek yapıya çok yakın bir model elde edilebilmesi, deney modelinin malzeme kullanılmadan aslına uygun şekilde elde edilebilmesi ve stres dağılımlarının bir arada ve hassas olarak tespit edilebilmesinden dolayı günümüz diş hekimliğinde kullanılan temel bir stres analiz yöntemidir^{101,104,107,136}. Çalışmamızda da, dişe gelen kuvvetler sonrası oluşan stresleri incelemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile stres analizleri, iki boyutlu ve üç boyutlu olarak yapılmaktadır. İki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile stres analizi, uygulama kolaylığı nedeniyle tercih edilmekle birlikte, yetersiz kaldığı durumlar söz konusudur¹⁰⁵. İnsan dişlerinin düzensiz morfolojik yapısı ve diş yapısındaki dokuların homojen dağılım göstermemesi nedeniyle üçüncü boyut düşünülmeden güvenilir bir analiz yapılması mümkün değildir¹³⁸. Bu nedenle çalışmamızda üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmiştir.

Kırılgan yapıları nedeniyle postlar ile restore edilen dişlerde, karşılaşılan başarısızlıkların birçoğu, basma tipi streslerden kaynaklanır^{105,124}. Sonlu elemanlar yöntemi ile diş üzerinde oluşan stresleri değerlendirmek amacıyla, basma tipindeki stresleri veren von Mises eşdeğer stresleri kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda von Mises eşdeğer stresleri, kuron-kök alanı boyunca oluşan streslerin dağılımlarını değerlendirmek amacıyla seçilmiştir.

Her iki dişlenme döneminde travma sonrası diş yaralanmalarına üst çenede alt çeneye göre daha fazla rastlanmaktadır^{1,6}. Üst santral kesiciler ise ilk süren dişlerden olmaları ve ağızdaki konumları nedeniyle travmalardan en çok etkilenen dişlerdir^{2,4,9}. Literatürde üst santral kesicilerde oluşan kuron kırıklarının, en çok yatay ve çapraz kırıklar şeklinde olduğu da belirtilmektedir^{1,4,8}. Bu sebeplerle, çalışmamızda örnek stres analiz modeli olarak üst santral kesici diş seçilmiş ve dişin yatay ve çapraz kırık hattı içeren modellerine ayrı ayrı stres analizi uygulanmıştır. Dişler ve çevresindeki sert ve yumuşak dokular, karmaşık ve dinamik yapılarından dolayı homojen bir bütünlük göstermezler. Bu yüzden streslere tepkileri çok değişkendir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile stres analizleri yapılan postların elastik, isotropik ve strese doğrusal bir tepki verdiği kabul edilir; bu yüzden yöntem ile yapılan çalışmalarda yer alan biyolojik yapıların fiziksel özellikleri ancak gerçeğe yakın kabul edilen yaklaşımlardır¹⁰⁵. Öte yandan, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan stres analizinin doğruluğu tamamen benzetim modelinin hassasiyetine bağlıdır¹⁰⁷. İnsan dişleri arasındaki morfolojik farklılıklar nedeniyle analiz öncesi standardizasyon çok önemlidir. Bu amaçla, çalışmamızda üst santral kesici dişin şekil ve boyutu, standart olarak kabul edilen Wheeler' ın¹³⁹ Diş Formu Atlas' ından yararlanılarak modellenmiştir. Tasarlanan diş modellerinde periodontal ligament ve kemiğin göz önünde tutulması gerektiği tavsiye edildiğinden¹⁴⁰, çalışmamızdaki modellerde, periodontal ligament, kortikal kemik ve spongios kemik tabakaları yer almaktadır. Sement tabakası, çok ince yapısı nedeniyle göz ardı edilebilir olduğundan ve elastisite katsayı değeri dentinle eş kabul edildiğinden, analizde dentinin bir parçası olarak kabul edilmiştir¹⁴¹.

Sonlu elemanlar yönteminde diş üzerinde oluşan stres değer ve dağılımına, modellemede kullanılan her bir elemanın değişik oranda etkisi vardır¹¹¹. Birden fazla elemandan oluşan sistemlerde en uygun stres dağılımları, restorasyonda kullanılan elemanların birbirleri ile benzer fiziko-kimyasal özellikler göstermeleri ile elde edilir^{13,14,49,142,143}.

Bu açıdan, restorasyonlarda postlar kadar kullanılan kor ve kuron materyalinin de birbirleri ile uyumlu olmaları gereklidir. Çocuk diş hekimliğinde, büyüme ve gelişimini tamamlamamış çocuk hastaların travma sonrası oluşan geniş madde kayıplı komplike kuron kırıklarının endodontik tedavileri sonrası uygulanan post-kor restorasyonlarında kor ve kuron çoğunlukla rezin kompozitlerle tamamlanmaktadır. Bu yüzden çalışmamızda kor ve kuron materyali olarak, dentine yakın fiziksel özelliklere ve dual sertleşme özelliğine sahip bir restoratif rezin kompozit-Filtek Supreme XT (3M ESPE, USA)-seçilmiştir.

Smith ve arkadaşlarının⁷¹ belirttiği gibi biyomekanik açıdan en uygun post tasarımı paralel başlayıp, konik sona eren şekildir. Farklı bir üretim teknolojisi olan everStick post hariç çalışmamızda kullanılan tüm cam fiber destekli kompozit postlar, paralel-konik şekilde üretilmişlerdir. everStick posta ise uygulama öncesi, işlemlerden geçirilerek paralel-konik şekil verilmektedir. Çalışmada yer alan cam fiber destekli kompozit postların tasarımları arasında az da olsa farklar olması ve sonlu elemanlar yöntemi ile stres analizlerinde standardizasyonun önemi nedeniyle, 1.5 mm çapındaki postlar, 5°18' açı ile üçte ikisi paralel ve üçte biri konik olarak apikalde 0.8 mm; Snowlight 1.4 mm çapındaki post apikalde 0,75 mm; Snowlight 1.6 mm çapındaki post ise apikalde 0,85 mm konik sonlanacak şekilde modellenmiştir.

Çalışmamızda modellere üç farklı açıdan kuvvet uygulanmıştır. Bunlar; dişin uzun eksenine labialden kurona dik gelen yatay kuvvet, dişin uzun eksenine insizalden paralel gelen dikey kuvvet ve palatinalden kesici kenara yakın 45° lik açı ile gelen çiğneme kuvvetidir. Uygulanan yatay kuvvet, çocuk hastalarda çarpışma, kavga, kaza gibi durumlarda dişe karşıdan gelen kuvvetleri; dikey kuvvet düşme, çarpma gibi nedenlerle dişin uzun eksenine paralel gelen kuvvetleri; çiğneme kuvveti ise karşıt dişle sentrik okluzal teması ve normal çiğneme kuvvetini temsil etmesi amacıyla seçilmiştir^{110,129,141}.

Kohal ve arkadaşları¹³⁷, maksimum ısırma kuvvetinin (300 Newton) 1/3' ünü normal çiğneme kuvveti olarak belirtmişlerdir. Helkimo ve arkadaşları¹⁴⁴ ise çiğneme esnasında ön bölgede oluşan kuvvetlerin 100-200 Newton arasında değiştiğini belirtmektedirler. Ho ve arkadaşları¹⁴¹ ile Holmes ve arkadaşlarının¹²⁸ yaptıkları üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi çalışmalarında ise kuvvet büyüklüğü 100 Newton olarak seçilmiştir. Bu yüzden, araştırmamızda kullanılan kuvvetler, çiğneme kuvveti için literatürde belirtilen sınırlar içerisinde, dikey ve yatay kuvvetler için ise çiğneme kuvvetiyle karşılaştırma yapabilmek amacıyla 100 Newton büyüklüğünde belirlenmiştir.

Çalışmamızda her iki kırık hattına sahip diş modellerine uygulanan kuvvetlerin kuron-kök alanı boyunca oluşturdıkları stres değerleri birbirleriyle kıyaslandığında en yüksek değerler, yatay kuvvetler altında oluşmuştur. Bunu çiğneme kuvvetleri takip etmiş ve en düşük değerler ise dikey kuvvetler uygulandığında gözlenmiştir. Yang ve arkadaşları¹⁴⁵ da streslerin en çok yatay kuvvetler sonucu oluştuğunu, Standlee ve Caputo¹⁴⁶ ile Yaman ve Thorsteinsson¹⁴³ ise dişe açılı gelen kuvvetlerinin, dikey kuvvetlerden daha fazla stres oluşturdıklarını belirtmişlerdir.

Dikey kuvvette ise tüm periodontal lifler fonksiyonda olduğundan daha eşdeğer stres dağılımı oluşmakta, dişe eğik gelen kuvvetler sonucu oluşan rotasyon merkezinin kuvvetlerin dişin uzun eksenini boyunca gelmesinden dolayı oluşmaması sonucu ise daha az eşdeğer stres değerleri izlenmektedir^{129,143}.

Modellere yatay kuvvet uygulandığında, kuvvetin geldiği ilk alan dışında stres yoğunlaşmalarının dişin palatinal yüzey servikal kök bölgesi ile palatinal kuron yüzeyinde oluştuğu ve streslerin labio-palatinal yön boyunca yayıldığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda, kök kırıklarının üst kesici dişlerde çoğunlukla labio-palatinal yönde oluştukları belirtilmiştir¹⁴⁷⁻¹⁵⁰. Bu durum, Huang ve arkadaşlarının¹⁵¹, yatay kuvvetler altında diş üzerinde oluşan stres alanlarının zamanla yatay kuron kırığına, çiğneme kuvvetleri altında oluşan streslerin ise diş kolesinde yatay kırık, çapraz kuron-kök kırıkları ve çapraz kök kırıkları oluşumuna neden olduklarını belirttikleri çalışmaları ve Sathorn ve arkadaşlarının¹⁵², kök kırıklarının dentinin en kalın kısmı olan labio-palatinal yön boyunca oluştuğunu belirttikleri çalışmaları ile uyumludur.

Dikey kuvvet uyguladığında oluşan stresler yine kuvvetin geldiği ilk alan dışında dişin labial ve palatinal kök servikal ile çapraz kırık modellerde yatay kırık modellere göre çok az daha belirgin olmak üzere postların apeksinde yoğunlaşmıştır. Post-kor uygulanan dişlerde dikey kuvvetler altında oluşan stresleri, Yaman ve Thorsteinsson¹⁴³ ile Assif ve arkadaşları¹⁵³ fotoelastik stres analiz yöntemi, Ko ve arkadaşları¹²⁹ ile Huang ve arkadaşları¹⁵¹ iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi stres analizi, Eskitaşçıoğlu ve arkadaşları¹⁰⁸ ise üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişler ve oluşan streslerin postların apeksinde bulgularımızdan daha çok yoğunlaştığını belirtmişlerdir. Bu durum, kuvvetlerin doğrudan kor üzerine uygulanması, diş modellemesinde kullanılan kor ve kuron materyallerinin (porselen) elastisite katsayılarının dentinden çok yüksek olması ve uygulanan kuvvetlerin büyüklük ve açılarının farklılığından kaynaklanmaktadır.

Dişler değişik materyallerden oluşan kuronlarla restore edildiğinde ve dişe uygulanan kuvvetin büyüklüğü, açısı ve uygulanma alanına göre oluşan streslerin dağılımlarının da değiştiği çalışmalarda gösterilmiştir^{105,111,154,155}.

Modellere çiğneme kuvveti uygulandığında ise kuvvetin geldiği ilk alan dışında diş üzerinde oluşan streslerin labial yüzeyde servikal kök bölgesi ile palatinal ve labial yüzeyde kuronun orta üçlüsünde yoğunlaştıkları gözlenmiştir. Oluşan bu streslerin dağılımı, Assif ve Gorfil'in¹⁵⁶ yaptıkları bir çalışmada dişe açılı kuvvet uygulandığında oluşan stres bölgelerine benzemektedir. Yine, Holmes ve arkadaşları¹²⁸, Ho ve arkadaşları¹⁴¹, Pierrisnard ve arkadaşları¹⁵⁴, Toksavul ve arkadaşları¹⁰⁵ ve Yaman ve arkadaşlarının¹¹¹ değişik materyaller ve diş modelleri kullanarak yaptıkları üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi çalışmalarında, açılı gelen kuvvetler sonucu oluşan stres dağılımlarını çalışmamız ile aynı bölgelerde gözlemlemişlerdir.

Çalışmamızda yer alan postların yatay, dikey ve çiğneme kuvvetleri altında oluşturduğu stres değerleri farklılıklar göstermiştir. Kuvvetlerin geldiği ilk alan dışında en yüksek von Mises eşdeğer stres değerleri, FibreKleer postta oluşurken, bunu sırayla everStick, FRC PostecPlus, Snowlight ve Dentorama titanyum post takip etmektedir. Bu sıralama postların elastisite katsayısı ile ilgilidir. Buna göre, elastisite katsayısı yüksek olan postlara uygulanan kuvvet ile diş üzerinde daha düşük stres değerleri gözlenirken, elastisite katsayısı düşük olan postlar ile daha yüksek stres değerleri oluşmaktadır. Bu durum yüksek elastisite katsayısına sahip, yani rijit yapıda olan post materyalinin, elastisite sınırları içerisinde oluşan kuvvetlerin sebep olduğu yer değiştirme ve bükülmelere daha dirençli olmaları ve gelen kuvvetleri kendi yapılarında yoğunlaştırarak diş yapısında daha az bükülmeye neden olması ile diş üzerinde daha düşük stresler oluşturmasından kaynaklanmaktadır^{108,109,112,129,145,157}.

Yaman ve arkadaşları¹¹¹, post ve kor materyalinin, post çapının, uygulanan kuvvet açısı ve bölgesinin üst santral kesici dişte oluşan stres dağılımlarına etkilerini üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz ettikleri çalışmalarında, stres dağılımında yüksek elastisite katsayısına sahip postların, diş üzerinde daha az stres değerleri oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ho ve arkadaşları¹⁴¹ da, döküm altın ve paslanmaz çelik post ile restore edilmiş üst santral kesici dişlerde daha düşük elastisite katsayısına sahip altın postların dentindeki stresleri %7-10 oranında azaltırken, paslanmaz çelik postların %10-14,5 oranında azalttığını belirtmişlerdir.

Öte yandan, Toksavul ve arkadaşları¹⁰⁵, üst santral kesici dişte zirkona seramik post, cam fiber destekli kompozit post ve titanyum post kullanıldığında oluşan streslerin dağılımını üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişler ve elastisite katsayısı en yüksek olan zirkona seramik postun dentinde cam fiber destekli kompozit post ve titanyum posta göre daha az stres değerleri oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Bütün bu çalışmaların sonuçları bulgularımızla uyumludur. Sonlu elemanlar yöntemi stres analizinde kullanılan materyallerin elastisite katsayısına bağlı olarak elde edilen veriler ışığında, diş üzerinde oluşan stresler değerlendirilip, olası kırılma alanları önceden tespit edilerek buna uygun post materyalleri belirlenmelidir.

Modellere uygulanan kuvvetlerin yönüne ve çalışmada kullanılan post çeşitlerine bağlı olmaksızın, çapraz kırık diş modellerinde maksimum von Mises eşdeğer stres değerlerinin, yatay kırık diş modellerinden daha yüksek olduğu ve streslerin yatay ve çiğneme kuvvetleri altında kırık hattı boyunca, daha yaygın dağıldığı gözlenmiştir. Stresler, bir materyal üzerine uygulanan kuvvetler sonucu oluşurlar. Bu streslerin dağılımı, materyalin geometrisine ve gelen kuvvetlerin açısına bağlıdır¹⁵⁸.

Çapraz kırık diş modellerindeki stres dağılımlarının, yatay kırık modellerinden farklı olmasının nedeni, vektörel bir büyüklük olan kuvvetin eğik bir alan üzerine geldiğinde, düz bir alana göre çok daha düzensiz yönlerde dağılıma uğraması ile kuvvetlerin geldiği alan boyunca oluşan streslerin daha yaygın oluşmasından kaynaklanmaktadır. Eşdeğer stres değerlerinin, çapraz kırıklarda daha yüksek değerlerde oluşması ise çapraz kırık modellerde daha çok alan kaplayan kor ve kuron materyalinin elastisite katsayısının düşük olması nedeniyle diş üzerinde daha çok stres yaratması ile açıklanabilir. Bu veriler sonucunda, düz kırık hattı içeren yüzeylere sahip madde kayıplı ön dişlerde uygulanacak postların, açılı kırık hattına sahip olanlardan daha uzun ömürlü olacağı sonucu çıkarılmasa da, post uygulaması öncesi mümkün olduğunca yüzeyin düzleştirilmesi faydalı olacaktır.

Post materyali ile dentin arasında var olan mikro çatlaklar sürekli gelen kuvvetlerle stres değerlerinin artışına neden olur ve bu durum stres yoğunlaşmaları olarak adlandırılır. Stres yoğunlaşmaları, artan materyal yorulması ile ortaya çıkan çatlak oluşumlarıyla beraber gelişerek ileride başarısızlığa yol açar^{127,158}. Stres yoğunlaşmaları özellikle iki farklı materyalin yüzeysel kesişmelerinde oluşur.

Bu tip yüzeysel kesişmeler, dişe uygulanan bir post-kor sistemde; postun alt ve üst kısmı, post-kor ara yüzü ve post-yapıştırıcı siman ara yüzündedir¹²⁷. Yüksek elastisite katsayısına sahip postlara gelen kuvvetler, post-diş ara yüzüne stres emilimi olmadan iletilir ve bu durum zamanla dişin kırılma direncinde azalmaya yol açar¹⁵⁹. Bir post-kor restorasyonda, post-dentin, post-kor, post-yapıştırıcı siman ve post-kuron materyalinin elastisite katsayıları ne kadar birbirine yakın ise, stres dağılımı da o kadar homojen oluşur ve restorasyonun gelen kuvvetlere karşı direnci artar^{105,156,157}.

Çalışmamızda kullanılan postların kuron-kök alanı boyunca oluşturdukları stres dağılımları değerlendirildiğinde, en yüksek elastisite katsayısına sahip Dentorama titanyum posttaki yoğunlaşmanın en çok olduğu görülmektedir. Her iki kırık modelinde uygulanan yatay ve çiğneme kuvvetleri karşısında çalışmada kullanılan cam fiber destekli kompozit postlarda oluşan stres yoğunlaşmaları arasındaki farkın ise benzer olduğu bulgulanmıştır. Bu durum, postların elastisite katsayılarının yakın olması, yine modellemede önemli bir hacmi kapsayan kor ve kuron materyalinin elastisite katsayısının düşük ve dentine çok yakın değerde olması ve uygulanan kuvvetin büyüklüğü ile açıklanabilir. Öte yandan, modellere dikey kuvvet uygulandığında ise çalışmada kullanılan bütün postlar arasında oluşan stres dağılımları çok daha benzer olmuştur.

Bu durum, Yang ve arkadaşlarının¹⁴⁵, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile farklı şekil, çap ve boydaki post-korlar ile restore edilmiş üst santral kesici dişte, dikey kuvvetler altında oluşan streslerin birbirine çok yakın olduğunu tespit ettikleri çalışmalarında da belirtilmiştir.

Barjau-Escribano ve arkadaşlarının¹⁶⁰, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile paslanmaz çelik ve cam fiber destekli kompozit post ile restore edilen üst santral kesici dişte oluşan stresleri inceledikleri çalışmalarında, paslanmaz çelik postların daha kötü performans gösterdiğini, bunun paslanmaz çelik ve çevre dokular arasındaki yüksek elastisite katsayı farkının yarattığı büyük stres yoğunlaşmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Zarone ve arkadaşları¹⁶¹, yine aynı yöntemle değişik restoratif materyaller (feldspat seramik, sinterize alumina, dual sertleşen kompozit) ile restore edilen postların üst santral kesici dişteki biyomekanik davranışı karşılaştırmak amacı ile yaptıkları çalışmalarında, yüksek elastisite katsayısına sahip materyallerin dişin doğal fiziksel davranışlarını büyük oranda değiştirdiğini, dentin veya mineye yakın fiziksel özelliklere sahip materyallerin ise yüksek stres yoğunlaşması alanlarını azaltarak restore dişin biyomekanik davranışını geliştirdiğini bildirmişlerdir.

Vitalariu ve arkadaşları¹⁶² ise, seramik, karbon fiber ve cam fiber destekli kompozit postların üst santral kesici dişte oluşturdukları streslerin dağılımını sağlıklı dişlerle karşılaştırdıkları çalışmalarında, elastisite katsayıları daha düşük olan karbon ve cam fiber destekli kompozit postların sağlıklı dişe yakın sonuçlar verirken, seramik postların en yüksek stres yoğunlaşması oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Yine, Chen ve arkadaşları¹⁶³, döküm nikel-krom alaşım, döküm titanyum alaşım, cam fiber destekli kompozit ve polietilen fiber destekli kompozit postlar ile restore edilen dişlerde stres dağılımını inceledikleri çalışmalarında, en iyi stres dağılımını dentine en yakın elastisite katsayısına sahip materyaller içeren fiber destekli kompozit post-korların oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Bütün bu çalışmalar ile uyumlu olan bulgularımız ışığında, metal postlar yerine klinikte dentine yakın elastisite katsayısına sahip postların tercih edilmesi, post-kor restorasyonların klinik başarısı açısından önemlidir.

Post-kor restorasyonlar yapılmadan önce, apikal tıkanmanın bozulmasına ve kökte perforasyonlara yol açmamak için, kök apikalinde en az 4 mm gutta-perka bırakılması şartı ile postlarda uzunluk arttıkça tutuculuğun arttığı birçok çalışmada belirtilmiştir^{51,65,67,72,128}. Post-kor restorasyonlarda köklerin dayanımını etkileyen en önemli faktörler arasında postların çapları gelir¹⁶⁴. Dişin doğal yapısını maksimum korumak ve restore edilen dişin kırıklara direncini artırmak için seçilecek postun çapı önemlidir. Post çapıyla kırılma dayanımı arasında bir orantı olduğu bildirilmiştir²⁰. Yine de, post çapındaki artışın tutuculuğa önemli katkıda bulunmadığı ve geniş postlarla restore edilen dişlerde kalan dentin miktarındaki azalmaya bağlı olarak zamanla olası kırıklara karşı daha az direnç olduğu yapılan bazı *in vitro* çalışmalarda belirtilmiştir^{66,67,74}. Literatürde, cam fiber destekli kompozit postlarda çap artışının etkisini üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile araştıran çalışmaların sayısı azdır.

Bu amaçla çalışmamızda, Snowlight cam fiber destekli kompozit postun iki farklı çapının (1.4 mm-1.6 mm) stres dağılım ve değerleri üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilmiştir. Sonuçta, uygulanan kuvvetler altında, 1.6 mm çapındaki Snowlight postun, 1.4 mm çapındaki Snowlight posttan daha az stres değerleri oluşturduğu, stres dağılımlarının ise çok az fark olmakla birlikte tersine 1.6 mm çaplı postta daha yoğun belirlenmiştir.

Hunter ve arkadaşları¹⁶⁵, üst santral kesici dişlerde farklı fiber destekli kompozit post çaplarının etkisini fotoelastik kuvvet analiz yöntemi, Peters ve arkadaşları¹⁶⁶ da iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişler ve küçük çaplı postların dentinde daha fazla stres oluşturdıklarını belirtmişlerdir. Okamoto ve arkadaşları¹⁶⁷ ise, farklı çapların stres dağılımlarına etkisini üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz ettikleri çalışmalarında, stresleri azaltmak için geniş çaplı fiber destekli kompozit post kullanımı önermişlerdir. Asmussen ve arkadaşları¹⁶⁸ da, materyal, şekil, elastisite katsayısı, uzunluk ve çapın cam fiber postlarda streslere etkisini yine aynı yöntem ile araştırdıkları çalışmalarında, streslerin artan elastisite katsayısı, uzunluk ve çap ile orantılı olarak azaldığını belirtmişlerdir. Bunun yanında, Boschian Pest ve arkadaşları¹⁶⁹, üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile cam fiber destekli kompozit bir postta, post yerleştirme derinliği ve post çapının stres dağılımına etkilerini analiz etmişler ve sonuçta cam fiber destekli kompozit postların kök içinde mümkün olan en derin noktaya yerleştirilmeleri gerektiğini, post çapının ise stres dağılımını önemli derecede etkilemediğini, bu yüzden gereksiz madde kaybı yapılmadan ince fiber post kullanılmasının doğru olacağını belirtmişlerdir.

Rodríguez-Cervantes ve arkadaşları¹⁶⁴ da, yine üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanarak fiber destekli kompozit post ile restore edilen üst santral kesici dişte, post çapının stres dağılımında metal postlara göre daha az önemli olduğu hipotezini test etmişlerdir. Sonuçta, metal postlarda çapın stres dağılımını etkilerken, dentine yakın elastisite katsayısına sahip olan cam fiber destekli kompozit postlarda etkilemediğini tespit etmişlerdir. Yine, Nakamura ve arkadaşları¹⁶⁹ ise kök kırıklarına neden olan stres yoğunlaşmalarını azaltmak için uzun ve ince bir fiber post kullanımını önermişlerdir.

Açıkça görüldüğü gibi, bazı araştırmacılar stres değerlerini önemsediklerinden kalın post kullanımını; bazı araştırmacılar ise çaplar arasında stres yoğunlaşması farkları çok az olduğu için ince post kullanımı önermişlerdir. Çalışmamızda da, bütün bu bulgulara paralel olarak, ince (1.4 mm) Snowlight postların, kalın (1.6 mm) postlardan daha yüksek stres değerleri oluşturmalarına rağmen farkın önemli olmaması, stres yoğunlaşmalarının ise az farkla da olsa kalın postlardan daha az oluşması nedeniyle, hazırlanan kök kanalı içinde gereksiz madde kaybı yapılmadan, ince cam fiber destekli kompozit post kullanımının daha uygun olacağını söyleyebiliriz.

Materyal teknolojisindeki hızlı gelişime paralel olarak günümüzde birçok çeşitte fiber destekli kompozit postlar üretilmektedir. Bu durum, üretilen her yeni fiber destekli kompozit postun fiziksel özelliklerinin ve klinik performanslarının sistematik değerlendirilmesini gerektirmektedir. Şayet, fiber destekli kompozit post fazla esnek yapıda olursa post, yapıştırma simanı ve dentin üzerine gelen kuvvetler ileride restorasyonun başarısızlığına neden olabilir^{97,117}. Bu yüzden, postların en önemli fiziksel özellikleri, yüksek bükülme (esneme) direncine sahip olmalarıdır^{34,170}. Fiber destekli kompozit postlar, fiberlerin post içerisinde uzunlamasına diziliminden ve anisotropik yapılarından dolayı uzun eksenine paralel gelen kuvvetlere karşı daha dayanıklıdır^{56,171,172}. Bu yüzden, postların uzun eksenine dik gelen kuvvetlerin etkisini görmek, ayrıca uygulama kolaylığı ve hızlı sonuç alınması nedeniyle fiber destekli kompozit postların bükülme dirençlerini tespit etmek için üç nokta bükme testleri tercih edilmektedir^{49,58,116,173}.

İnsan dişlerine uygulanan postlar, çeşitli yönlerden gelen ve büyüklükleri farklı kuvvetlerin etkisi altında işlevini görmektedir. Ağıza alınan gıdalar ve ağız içindeki karmaşık fizyolojik ortam, sıkça ısı değişimleri oluşturmaktadır¹³². Öte yandan, nem emiliminin fiber destekli kompozit postların fiziksel özelliklerini olumsuz etkilediği bilinmektedir^{116,170,174}. Ağız içi ortamı taklit etmek amacıyla postlara laboratuarda termalsiklus uygulanmaktadır. Bu şekilde ısı değişimlerinin etkisi postlarda izlenebilmektedir. Bu nedenlerle çalışmamızda kullanılan cam fiber destekli kompozit postların kuru örnek testleri yanında, ısı ve nemin cam fiber destekli kompozit postların büküme dirençlerine etkisini tespit edebilmek amacıyla postların bir kısmı termalsiklus sonrası iki hafta suda bekletilmiş ve oluşan sonuçlar kuru örneklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Dişler, normal okluzal hareketler ve çiğneme işlevi sırasında, döngüsel kuvvetlere maruz kalırlar. Fiber destekli kompozit bir posttaki potansiyel zayıflık alanları, fiber-matris yapı içerisindeki veya fiber-matris arasındaki ara yüz boyunca var olan boşluklardır⁶³. Bu bölgelerdeki bir mikro çatlak, yorulma kuvvetleri ile post boyunca derece derece ilerleyerek, sonuçta geri dönüşümsüz başarısızlığa neden olur^{120,176}. Dolayısıyla postların klinik başarısı için, yapısal bir bütünlük göstermesi çok önemlidir. Fiber destekli kompozit postların, fiziksel özelliklerini içeriklerindeki fiber ve matris bileşenler arasındaki bağlanma gücü ile destekleyici fiberlerin yoğunluğu, dizilim yönü, şekli ve uzunluğu etkiler^{63,120}. Fiberler ile matris arasında var olan iyi bir bağlanma, destekleme özelliklerinin etkin kullanımı için en önemli gereksinimlerden biridir ve gelen kuvvetlerin matristen fiber desteklere aktarımını sağlar¹⁷⁶.

Yine, yüksek fiber yoğunluğuna sahip postlar, düşük fiber içeren postlara göre daha yüksek bir bükülme direncine sahiptir. Öte yandan, fiberlerin postun uzun eksenine paralel yönden sapmaları matrise stres iletimi olarak yansır; bu yüzden paralel ve tek yönlü dizilimli fiberler içeren postlar, düzensiz yerleşim gösteren fiberli postlara oranla kuvvetlere daha dayanıklıdır. Ayrıca, fiberlerin matris içerisinde kesintisiz ve devamlı dizilimi, kısa ve parça parça yerleştirilen fiberlere sahip sistemlerden daha iyi fiziksel özellikler sağlar^{63,64,120,177}. Bir diğer önemli faktör ise fiberlerin matrise gömülmeden önce silanize edilmesidir. Bu durum postların yapısal bütünlüğünü ve fiberlerin çigneme kuvvetleri gibi sürekli gelen yorulma kuvvetlerine karşı direncini olumlu etkiler^{63,177}.

Çalışmamızda yer alan bütün postlar kesintisiz ve devamlı fiberlerden oluşmaktadır; fiberler matrisler içinde ait oldukları postların uzunluğu kadar boya sahiptirler. Öte yandan, everStick post hariç bütün postların fiberleri matrisleri içinde tek yönlü uzunlamasına paralel dizili iken, everStick postta, fiberler matris içinde tek yönlü uzunlamasına örölü olarak dizilidir. Snowlight ile FRC PostecPlus postların fiberleri matrislerine gömülmeden önce silanize edilmişlerdir. Bunların dışında, postların fiber yoğunluğu, kullanılan fiber tipi ve matris yapıları farklıdır.

Üç nokta bükme test düzeneğindeki l/d oranı (denge aralığı uzunluğu-post örnek çapı oranı) ve oda nem ve ısı gibi test şartları, bu konuda çalışmalar yapan araştırmacılar tarafından yeterince önemsenmediği için, çok değişken şartlar altında bükülme direnç testleri yapılmaktadır^{84,96,116,119,178,179}. Bu yüzden literatürde aynı marka fiber destekli postun farklı sonuçlar vermesi olasıdır. Güvenilir ve doğru bir sonuç için, çalışmalarda yayımlanmış standartlar kullanılmalıdır¹¹⁹. Çalışmamızda, dental materyallerin üç nokta bükme testleri için yayımlanmış bir standart olan ISO 10477: 2004 kullanılmıştır¹⁸⁰. Anisotropik fiber destekli kompozit postlarda, yüksek bir l/d oranı (40:1 gibi), test sırasında oluşabilecek makaslama etkisini ortadan kaldırmak ve örneğin dış yüzeyine doğru bir kırılma yaratmak için önerilmektedir. Daha düşük bir l/d oranı, post örneklerde daha fazla makaslama deformasyonuna sebep olur¹⁸⁰⁻¹⁸². Bir materyalin interlaminer makaslama direncini tespit etmek için kısa örnek testlerinde ASTM D 2344 materyal standardı, l/d oranını 4 kullanır⁹¹.

Çalışmamızda gelen yükleme kuvvetinin paralel-konik yapıda, 14 mm uzunluğunda ve 1.4 mm-1.6 mm arasında çaplara sahip post örneklerin tam orta noktasından etki göstermesi amacıyla denge aralığı uzunluğu (l) 10 mm seçilmiştir. Bu nedenle l/d oranı, 7.14-6.25 arasında değişmiştir.

Üç nokta bükme testi ile kuru ve termalsiklus sonrası test edilen 1.4 mm ve 1.6 mm çapındaki Snowlight post örneklerde, çap arttıkça maksimum kırık yükleme değerlerinin de arttığı, bükülme dirençlerinin ise azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Alander ve arkadaşları¹¹⁹, üç nokta bükme testi ile fiber destekli kompozit postların bükülme direnci ve katsayısını değişik denge aralığı uzunluğu ve post örnek çapları ile tespit etmeyi amaçladıkları çalışmalarında, l/d oranının arttırılması ile bükülme direnci ve katsayısının artarken, maksimum kırık yükleme değerlerinin azaldığını ve l/d oranının, küçük ölçekli test örneklerinin bükülme direnci ve katsayı değerlerinin yorumlanmasında çok önemli olduğunu bildirmişlerdir. Lassila ve arkadaşları⁹¹ ise, farklı marka ve çaptaki on yedi değişik marka fiber destekli postun kırık yükleme ve bükülme dirençlerini yine üç nokta bükme testi ile araştırdıkları çalışmalarında, kullanılan tüm fiber destekli kompozit postlarda çapla birlikte doğrusal olarak artan bir kırık yükleme kuvvetleri direncine karşılık, azalan bir bükülme direnci oluştuğunu belirtmişlerdir. Öte yandan, Cacciafesta ve arkadaşları⁶³ ise, üç nokta bükme testi ile iki farklı çaptaki (0,6 ve 1,2 mm) everStick postun fiziksel özelliklerini karşılaştırmışlar ve 1,2 mm çapındaki örneklerin 0,6 mm örneklere göre daha yüksek bir bükülme direnci gösterdiklerini bildirmişlerdir.

Üç nokta bükme testinde, postların bükülme dirençlerinin tespit edilmesinde sonuçların test düzeneğinin denge aralığı uzunluğu ve örneklerinin çap oranına çok bağımlı olduğu yukarıda belirtilen çalışmalardan açıkça görülmektedir.

Çalışmamızda, termalsiklus sonrası kısa dönemli (iki hafta) suya maruz bırakma uygulanmıştır. Termalsiklus sonrası test edilen post örneklerin fiziksel dayanımlarında farklılıklar bulunmuştur. Bükülme dirençlerinde azalma en fazla %26.5 ile Snowlight 1.6 mm' de, %25.5 ile Snowlight 1.4 mm' de, %19.01 FRC PostecPlus' da, %18.16 ile FibreKleer' de ve en az da %16.64 ile EverStick' de oluşmuştur. Elde edilen bu bulgular, 30 gün boyunca suda bekletilen postlarda fiziksel özelliklerde azalma ve su emilimi nedeniyle polimer matrisin plastikleşerek bozulması ile sonuçlanan diğer kısa dönem termalsiklus çalışmalarının sonuçları ile uyumludur^{173,183,184}. Daha uzun dönemli suda bekletmelerde, fiber ve polimer matris arasında adezyonu artırmak amacı ile kullanılan ajanların hidrolizi daha önemli rol oynayabilir¹⁸⁵⁻¹⁸⁷. Torbjörner ve arkadaşları¹¹⁶ yaptıkları bir çalışmada, Composipost karbon fiber postta termalsiklus sonrası fiziksel özelliklerde %65 oranında azalma tespit etmişler de çalışmalarında farklı postları her birinin farklı çapları ile karşılaştırdıklarından, sonuçları da doğal olarak l/d oranından etkilenmiştir.

Örnekler termalsiklusa tabi tutulduğunda, post içeriğindeki her bir bileşenin termal genleşme katsayısı arasındaki farklılıklar, fiber destekli post-diş bileşiminin uzun dönemli dayanımını etkileyebilirler. Termal genleşme katsayısı bakımından çalışmamızdaki post örneklerin fiber ve matrisleri arasında büyük farklar mevcuttur (polimer matris: $40\text{--}80 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, e-cam: $8 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, baryumborosilikat cam: $0,21 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, quartz: $0,2 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, silika-zirkon cam: $0,25 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)^{188,189}. Yine de bu değerlerin varlığına rağmen, fiber destekli kompozit materyallerin anisotropik/isotropik termofiziksel davranışları günümüzde tam olarak anlaşılamamaktadır.

Snowlight örneklerin bükülme dirençlerindeki büyük azalma, Snowlight postun içeriğindeki fiber-matris yapı arasındaki termal genleşme katsayısı farklarından ileri gelmektedir. Postun, silika-zirkon fiberleri ile polyester dimetakrilat matrisi arasındaki termal genleşme katsayısı farkı, diğer cam fiber destekli postların arasındaki farktan önemli derecede büyüktür (silika-zirkon cam: $0,25 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, polyester dimetakrilat matris: $49 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)¹⁸⁹. Öte yandan, aynı üretici tarafından benzer teknikle üretilen ve sadece ışık geçirgenliği ile fiber-matris oranı farklı olan Snowpost' la yapılan biEM görüntüleme çalışmasında⁹¹ belirtildiği gibi, fiber-matris yapıları arasında boşluklara sahip olma ihtimali termalsiklus sonrası fiziksel özelliklerdeki azalmayı açıklayabilir.

Çalışmada kullanılan everStick postların ise kuru ve termalsiklus test sonrası en yüksek bükülme direnç değerleri vermesi, yapısında yer alan optimize edilmiş polimer matris, kullanılan yüksek dirençli e-cam fiber destekler ve fiber-matris arası bağlanma uyumu ile açıklanabilir. everStick postun fiber desteklerini oluşturan e-cam; SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , $\text{CaO}+\text{MgO}$, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ve diğer alkali metal oksit karışımından oluşan düşük alkali yapıda bir camdır ve yüksek bükülme direnci, yüksek ısı direnci ve neme düşük hassasiyet gösterir^{56,62,189}. everStick postun matrisi ise çapraz-bağlı BIS-GMA yapısındaki polimer matriste yer alan yüksek molekül ağırlıklı PMMA zincirleridir. Bu zincir yapı, everStick matrisi güçlendirerek fiber-matris ara yüzüne gelen kuvvetler esnasında stres oluşumunu azaltmada etki eder.

Yine everStick polimer matrisi, matrisin yapıştırma için kullanılacak rezin siman içerisinde kısmi çözünmesini sağlayan IPN (Interpenetrating Polymer Structure) yapıya sahiptir. Bu yapı sayesinde, polimer matriste meydana gelen kısmi çözünme sonucu oluşan mikro boşluklar içerisine yapıştırma simanı girerek, adeziv kimyasal bağlanmanın yanı sıra mikro mekanik bir bağlanma da elde edilir¹⁸⁸.

Bunun dışında everStick ile yapılan SEM görüntüleme çalışmalarında^{91,190,191} izlenen boşluksuz yapıdaki matrisi ve fiber-matris uyumu da postun en yüksek bükülme direnç değerleri göstermesindeki diğer etmenlerdir.

FibreKleer ise bükülme direnç değerlerinde everStick posttan sonra gelmektedir. FibreKleer post bileşimindeki geliştirilmiş baryumborosilikat cam fiberler, yüksek fiber-matris oranı ve matrisinin farklı polimerlerin bileşiminden oluşan geliştirilmiş kopolimer yapıda olması bu durumu açıklayabilir. Seefeld ve arkadaşları¹⁹², sekiz değişik fiber postun SEM görüntülerini ve fiziksel dirençlerini inceledikleri çalışmalarında, fiber/matris oranı ile bükülme direnci arasında kuvvetli bir ilişki bulunduğunu tespit etmişlerdir. Park ve Robertson¹⁹³ ise FibreKleer postun içerisinde de yer alan UDMA ve HDDMA polimerlerin birbirine belli oranlarda eklendiğinde örneklerin elastisite katsayılarının ve dolayısıyla dirençlerinin %20 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Öte yandan, Mishra ve arkadaşları¹⁹⁴, borosilikat camlar üzerine yaptıkları bir çalışmada, cama artan baryum ilavesi ile aktivasyon enerjisinin arttığını bunun da borosilikat camlarda baryum kullanılmasıyla elektrostatik ve yapısal faktörler açısından daha sert yapıda cam ağı oluşumu ile sonuçlandığını belirtmişlerdir.

Sunulan çalışmanın sonuçları tümüyle değerlendirildiğinde dentine yakın elastisite katsayısına sahip olan cam fiber destekli kompozit postların diş üzerinde oluşturdıkları stres yoğunlaşmalarının titanyum postlardan daha az olduğu görülmüştür. *In vitro* testlerde ise su ve ısıya karşı everStick, FibreKleer ve FRC PostecPlus postlar, Snowlight postlardan daha üstün fiziksel özellikler göstermişlerdir. Bu veriler, travma sonucu geniş koronal madde kaybına uğrayan ön grup dişlerde, everStick, FibreKleer ve FRC PostecPlus cam fiber destekli postların rezin kompozit kor ve kuronlarla birlikte uygun endikasyonlarda başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, post çap farkının Snowlight cam fiber destekli kompozit postların stres değerlerinde önemli farklar oluşturmaması, ince Snowlight postların daha az yoğunlaşmalara neden olması, yine *in vitro* test sonuçlarına göre Snowlight postlarda artan çap ile bükülme direncinde görülen artış; genç daimi dişlerde gereksiz madde kaybı yapılmadan kök kanal şekline uyan en ince cam fiber destekli kompozit postların tercih edilebileceğini ortaya koymaktadır.

6. SONUÇ

Araştırmamızda farklı materyal içeriğine sahip dört değişik cam fiber destekli kompozit ve bir titanyum post uygulanarak kompozit kor ve kuronla restore edilen üst santral kesici dişin, kuron-kök alanı boyunca oluşan stres değerleri ve dağılımları üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edildi. Üç nokta bükme testi ile cam fiber destekli kompozit postların bükülme direnç değerleri *in vitro* olarak tespit edildi.

1. Modellere uygulanan yatay kuvvet ile çiğneme kuvvetlerine bağlı olarak kuron-kök alanı boyunca oluşan stres yoğunlaşmalarının, dentinden çok yüksek elastisite katsayısına sahip Dentorama titanyum postlarda daha çok olduğu gözlemlendi. Dentine ve birbirlerine yakın elastisite katsayısına sahip FibreKleer, everStick, FRC PostecPlus ile Snowlight postlarda ise benzer yoğunlaşmalar belirlendi. Dikey kuvvetler altında ise, tüm postlarda stres yoğunlaşmalarının benzer olduğu görüldü.

2. Tüm kuvvetler altında postların stres değerleri birbirlerine yakın değerler olmakla birlikte elastisite katsayı değerleri ile ters orantılı olarak en az Dentorama titanyum postta, daha sonra sırayla Snowlight, FRC PostecPlus, everStick ve FibreKleer postlarda gözlemlendi.

3. Farklı çaplarda incelenen Snowlight cam fiber destekli kompozit post örneklerin stres analizlerinde, post çapının oluşan stres değer ve dağılımına etkisinin az olduğu görüldü; *in vitro* test sonuçlarına göre ise kalın Snowlight postların daha yüksek kırık yükleme değerleri oluştururken, daha az bükülme dirençleri oluşturduğu tespit edildi.

4. Yatay kırık hatlı dişlerin, çapraz kırıklı dişlerden daha az stres değerleri gösterdikleri, çapraz kırık hatlı dişlerin ise yatay ve çiğneme kuvvetleri altında kırık hattı boyunca daha yaygın stresler oluşturduğu belirlendi.

5. Cam fiber destekli kompozit postlara uygulanan üç nokta bükme test sonuçlarına göre, en yüksek bükülme dirençleri sırasıyla everStick, FibreKleer, FRC PostecPlus ve Snowlight postlarda tespit edildi. Kuru örnekler ile termalsiklus uygulanan post örneklerin bükülme dirençleri arasında ise istatistiksel olarak önemli düzeyde anlamlı fark bulundu ($p<0.001$).

7. ÖZET

Dört farklı cam fiber postun in vitro bükülme dirençlerinin ve sonlu eleman metodu ile stres dağılımlarının analizi

Bu araştırmada, dört farklı cam fiber destekli kompozit post-FibreKleer (Jeneric Pentron, USA), everStick (StickTech, Finland), FRC PostecPlus (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), Snowlight (Carbotech, USA) ve Dentorama titanyum postun (Svenska Dentorama, Sweden), üst santral kesici dişin kuron-kök alanı boyunca oluşturdıkları stres değerleri ve dağılımları ile cam fiber destekli kompozit postların bükülme dirençleri *in vitro* olarak test edildi.

Üst santral kesici diş, kök kanalı içerisinde 4 mm gütta-perka bırakılarak yatay ve çapraz koronal kırık hatlı şeklinde modellendi, dual sertleşen bir rezin kompozit (Filtek Supreme XT, 3M ESPE, USA) kor ve kuron materyali ile restore edildi. 1.5 mm çapındaki FibreKleer, everStick, FRC PostecPlus ve Dentorama post ile Snowlight postun iki farklı çapı (1.4-1.6 mm) kullanılarak, 100 Newton büyüklüğünde yatay, dikey ve çigneme kuvvetlerinin etkisi altında dişin kuron-kök alanı boyunca oluşan stresler üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edildi. Cam fiber destekli kompozit postların kuru ve termalsiklus sonrası suda bekletilen örneklerinin bükülme direnç değerleri, universal test makinesinde (Lloyd Instruments, England) üç nokta bükme testi ile *in vitro* tespit edildi ve sonuçlar istatistiksel (SPSS, SPSS Inc, USA) olarak karşılaştırıldı.

Her iki kırık hattında, uygulanan kuvvetler altında diş modellerinde oluşan stres değerleri elastisite katsayılarına bağlı olarak çoktan aza FibreKleer, everStick, FRC PostecPlus, Snowlight ve Dentorama titanyum postlarda gözlemlendi. Stres yoğunlaşmaları ise yatay ve çigneme kuvvetleri altında, elastisite katsayısı en yüksek olan Dentorama titanyum postta en çok gözlenirken cam fiber destekli kompozit postlarda benzer olduğu; dikey kuvvetler altında ise tüm postların benzer yoğunlaşmalar gösterdiği tespit edildi. Stres yoğunlaşmaları ve değerleri çapraz kırık hattına sahip modellerde daha yüksek olduğu görüldü. Snowlight postlardaki çap farkının ise stres değerlerine ve dağılıma önemli etki etmediği belirlendi. Cam fiber destekli postların, kuru ve termalsiklus sonrası suda bekletilen örneklerinde en yüksek bükülme dirençleri ise sırayla everStick, FibreKleer, FRC PostecPlus ve Snowlight postlarda belirlendi.

Elde edilen sonuçlar, estetik yapıda olan, rezin kompozit yapıştırma simanları ve restoratif materyalleri ile iyi fiziko-kimyasal, diş ve çevre dokularla ise iyi biyouyuma sahip olan cam fiber destekli kompozit postların geniş madde kayıplı genç daimi dişlerde metal postlara alternatif olarak kullanılabileceğini gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Cam fiber destekli kompozit post, sonlu elemanlar yöntemi, üç nokta bükme testi

8. ABSTRACT

Analysis of in vitro flexural strength and stress distribution of four different glass fibre posts with finite element method

In this research, it was aimed to help choose the appropriate glass fibre post in clinics by analyzing the stress distributions and values of four different types of glass fibre posts-FibreKleer (Jeneric Pentron, USA), everStick (StickTech, Finland), FRC PostecPlus (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), Snowlight (Carbotech, USA) and a titanium post (Svenska Dentorama, Sweden) as control group-on maxillary central incisor tooth and also by testing the flexural strengths of glass fibre posts *in vitro*.

Maxillary central incisor tooth with oblique and horizontal crack formation was modelled leaving 4 mm of gutta-percha as apical seal and restored with a dual activated resin composite (Filtek Supreme XT, 3M ESPE, USA) core and crown material. 1.5 mm diameter FibreKleer, everStick, FRC PostecPlus, Dentorama post and two different diameters (1.4-1.6 mm) of Snowlight post were used to analyze stresses on the coronal-radicular area of the tooth that develop under 100 Newton magnitude horizontal, vertical and chewing forces using three dimension finite element method. Flexural strengths of glass fibre post samples both dry and left in water after thermocycled were determined with three point bend test *in vitro* using a universal test machine (Lloyd Instruments, England) and results were compared statistically (SPSS, SPSS Inc, USA).

Stress values on both crack formation teeth models from highest till lowest were determined as FibreKleer, everStick, FRC PostecPlus, Snowlight and Dentorama titanium posts according to their elasticity modulus. Stress concentrations under horizontal and chewing forces are seen mostly by Dentorama titanium post and similar at glass fibre reinforced composite posts. Under vertical forces, stress concentrations are seen very similar at all posts. Stress values and concentrations are found to be slightly higher at oblique cracked tooth models compared to horizontal cracked ones. Diameter differences at Snowlight posts were found to have almost no impact on stress concentrations and values. Glass fibre reinforced composite posts that have highest flexural strength values both dry and thermocycled were recorded as everStick, FibreKleer, FRC PostecPlus and Snowlight.

Results of the current study showed that glass fibre reinforced posts which are esthetic, and have good physico-chemical compatibility to both resin composite luting cements and restorative materials and good biocompatibility to teeth and surrounding tissues can be used alternatively to metal posts at children's young permanent teeth with excessive coronal damage.

Keywords: Glass fibre reinforced composite post, finite elements method, three point bend test

9. KAYNAKLAR

1. Altay N, Gungor HC. A retrospective study of dentoalveolar injuries of children in Ankara, Turkey. *Dent Traumatol* 2001; 17: 201-4.
2. Andreasen FM, Ravn JJ. Epidemiology of traumatic dental injuries to primary and permanent teeth in a Danish population sample. *Int J Oral Surg* 1972; 1: 5-9.
3. Borssen E, Holm AK. Traumatic dental injuries in a cohort of 16-year-old in northern Sweden. *Endod Dent Traumatol* 1997; 13: 276-80.
4. Caliskan MK, Turkun M. Clinical investigation of traumatic injuries of permanent incisors in İzmir, Turkey. *Endod Dent Traumatol* 1995; 11: 210-3.
5. Gabris K, Tarjan L, Rozsa N. Dental trauma in children presenting for treatment at the Department of Dentistry for Children and Orthodontics, Budapest. *Dent Traumatol* 2001; 17: 103-8.
6. Forsberg CM, Tedestam G. Etiological and predisposing factors related to traumatic injuries to permanent teeth. *Swed Dent J* 2003; 17: 183-90.
7. Marcenés W, Beuriti N, Tayfour D, Issa S. Epidemiology of traumatic injuries to the permanent incisors of 9-12-year-old school children in Damascus, Syria. *Endod Dent Traumatol* 1999; 15: 117-23.
8. Rocha MJC, Cardoso M. Traumatized permanent teeth in Brazilian children assisted at the Federal University of Santa Catarina, Brazil *Dent Traumatol* 2001; 1: 245-49.
9. Zerman N, Cavalleri G. Traumatic injuries to permanent incisors. *Endod Dent Traumatol* 1993; 9: 61-4.
10. Akkayan B, Gülmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent* 2002; 87: 431-7.
11. Fokkinga WA, Kreulen CM, Vallittu PK, Creugers NH. A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. *Int J Prosthodont* 2004; 17: 476-82.
12. Freedman GA. Esthetic post and core treatment. *Dent Clin North Am* 2001; 45: 103-16.
13. Morgano SM, Rodrigues AHC, Sabrosa CE. Restoration of endodontically treated teeth. *Dent Clin N Am* 2004; 48: 397-416.
14. Robbins JW. Restoration of the endodontically restored tooth. *Clin N Am* 2002; 46: 367-84.
15. Fernandes AS, Shetty S, Coutinho I. Factors determining post selection: A literature review. *J Prosthet Dent* 2003; 90: 556-62.

16. Goldberg AJ, Burstone CJ. The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mater* 1992; 8: 197-202.
17. Huang TJ, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *J Endod* 1992; 18: 209-15.
18. Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod* 1992; 18: 332-5.
19. Yeh CJ. Fatigue root fracture: a spontaneous root fracture in non-endodontically treated teeth. *Br Dent J* 1997; 182: 261-6.
20. Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN. Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent* 2000; 13: 9-13.
21. Reeh ES, Douglas WH, Messer HH. Stiffness of endodontically-treated teeth related to restoration technique. *J Dent Res* 1989; 68: 1540-44.
22. Galhano GA, Valandro LF, de Melo RM, Scotti R, Bottino MA. Evaluation of the flexural strength of carbon fiber, quartz fiber and glass fiber based posts. *J Endod* 2005; 31: 209-11.
23. Triolo PT, Trajtenberg C, Powers JM. Flexural properties and bond strength of an esthetic post. *J Dent Res* 1999; 78: 548-50.
24. Morgano SM, Millot P. Clinical success of cast metal posts and cores. *J Prosthet Dent* 1993; 70: 11-6.
25. Fox K, Wood DJ, Youngson CC. Clinical report of 85 fractured metallic post-retained crowns. *Int Endod J* 2004; 37: 561-73.
26. Yue LZ, Xing ZY. Effects of post-core design and ferrule on fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors. *J Prosthet Dent* 2003; 89: 368-73.
27. Assif D, Bitenski A, Pilo R, Oren E. Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns. *J Prosthet Dent* 1993; 69: 36-40.
28. Alaçam T, Nalbant L, Alaçam A. *İleri Restorasyon Teknikleri*. Ankara. Polat Yayınları; 1998. p. 47-136.
29. Hochstedler J, Huband M, Poillion C. Porcelain fused to metal post and core: an esthetic alternative. *J Dent Technol* 1996; 13: 26-9.
30. Paul SJ, Werder P. Clinical success of zirconium oxide posts with resin composite or glass-ceramic cores in endodontically treated teeth: a 4-year retrospective study. *Int J Prosthodont* 2004; 17: 524-8.
31. Cheung W. A review of the management of endodontically treated teeth. Post, core and the final restoration. *J Am Dent Assoc* 2005; 136: 611-9.
32. Butz F, Lennon AM, Heydecke G, Strub JR. Survival rate and fracture strength of endodontically treated maxillary incisors with moderate defects restored with different post and core systems: an in vitro study. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 58-64.
33. Probst L, Diehl J. Slip-casting alumina ceramics for crown and bridge restorations. *Quint Int* 1992; 23: 25-31.

34. Purton DG, Love RM. Rigidity and retention of ceramic root canal posts. *Oper Dent* 2000; 25: 223-7.
35. Tüfekçi NM. Değişik tipteki tam-seramik mil ve çekirdek sistemlerinin direnç yönünden incelenmesi. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi; 2001.
36. Al-Shehri S A, Mohammed H, Wilson C A. Influence of lamination on the flexural strength of a dental castable glass ceramic. *J Prosthet Dent* 1996; 76: 23-8.
37. Kelly J R, Nishimura I, Campbell S D. Ceramics in dentistry: Historical roots and current perspectives. *J Prosthet Dent* 1996; 75: 18-32.
38. Touati B, Nathanson D, Miara P. Aesthetic dentistry and ceramic restorations. London: Dunitz; 1999.
39. Hobo S, Iwata T. Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material. I. Theoretical considerations. *Quint Int* 1985; 2: 135-41.
40. McLean JW. Ceramics in clinical dentistry. *Br Dent J* 1988; 19: 187-94.
41. Kern M, Knode H. Posts and cores fabricated out of In-Ceram-direct and indirect methods. *Quint Zahntech* 1991; 17: 917-25.
42. Ivoclar AG. Scientific Documentation, CosmoPost/IPS Empress Cosmo Ingot. Schaan. Liechtenstein; 1998.
43. Dean JP, Jeanson BG, Sarkar N. : In Vitro Evaluation of a Carbon Fiber Post. *J Endod* 1998; 24: 807-10.
44. Sirimai S, Riis DN, Morgano SM. An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-core systems. *J Prosthet Dent* 1999; 81: 262-9.
45. Sandhaus S, Pasche K. Tenon radriculaire en zircone pour la realisation d'inlays-cores tout ceramique. *Tribune Dent* 1994; 2: 17-24.
46. Kakehashi Y, Luthy H, Naef R, Wohlwend A, Schare P. A new all ceramic post and core system: clinical, technical, and in vitro results. *Int J Perio Res Dent* 1998; 18: 586-93.
47. Koutayas SO, Kern M. All-Ceramic Posts and Cores: The State of the Art. *Quint Int* 1999; 30: 383-92.
48. Chai J, Chu FC, Chow TW, Liang BM. Chemical solubility and flexural strength of zirconia-based ceramics. *Int J Prosthodont* 2007; 20: 587-95.
49. Asmussen E, Peutzfeld A, Heitmann T. Stiffness, elastic limit and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent* 1999; 27: 275-8.
50. Ahmad I. Yttrium-partially stabilized zirconium dioxide posts. *Rest Dent* 1998; 18: 454-65.
51. Freedman GA. Esthetic post and core treatment. *Dent Clin North Am* 2001; 45: 103-16.

- 52.** Bateman G, Ricketts DNJ, Saunders WP. Fibre-based post systems: A review. *Br Dent J* 2003; 195: 43-8.
- 53.** Ricketts DNJ, Tait CME, Higgins AJ. Post and core systems, refinements to tooth preparation and cementation. *Br Dent J* 2005; 198: 533-41.
- 54.** Rengo S. Behaviour of RTD fiber posts in finite element Analysis (FEM) on three dimensional models. *Proceedings from 3rd International Symposium* 1999; 20-7.
- 55.** Duret B, Reynaud M, Duret F. Un nouveau concept de reconstitution coronoradiculaire: le Composipost. *Chir Dent Fr* 1990; 60: 69.
- 56.** Wikipedia, the free encyclopedia. Fiberglass. [online]. 2007 [cited 2007 september 14]. Available from: URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fiberglass>
- 57.** Frederiksson M, Astback J, Pamenius M, Arvidson K. A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon-fiber reinforced epoxy resin posts. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 151-7.
- 58.** Purton DG, Payne JA. Comparison of Carbon Fiber and Stainless Steel Root Canal Posts. *Quint Int* 1996; 27: 93-7.
- 59.** Martinez-Insua A, da Silva L, Rilo B, Santana U. Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a complete core. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 527-32.
- 60.** Love RM, Purton DG. The effect of Serrations on Carbon Fiber Post Retention within the canal, Core Retention and Rigidity. *Int J Prosthodont* 1996; 9: 484-8.
- 61.** Sivers JE, Johnson WT. Restoration of Endodontically Treated Teeth. *Clin N Am* 1992; 36: 631-50.
- 62.** The A to Z of Materials and AZojomo - The "AZo Journal of Materials Online". AZoM™.com Pty.Ltd. E-Glass Fibre [online]. 2008 [cited 2008 may 15]. Available from: URL: <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=764>
- 63.** Cacciafesta V, Sfondrini MF, Lena A, Scribante A, Vallittu PK, Lassila LV. Flexural strengths of fiber-reinforced composites polymerized with conventional light-curing and additional postcuring. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132: 524-7.
- 64.** Bae JM, Kim KN, Hattori M, Hasegawa K, Yoshinari M, Kawada E, Oda Y. The flexural properties of fiber-reinforced composite with light-polymerized polymer matrix. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 33-9.
- 65.** Lloyd PM, Palik JF. The philosophies of dowel diameter preparation: a literature review. *J Prosthet Dent* 1993; 69: 32-6.
- 66.** Frommer HH. Radiology for dental auxiliaries. 6th ed. St. Louis: Mosby;1996.p. 265-6.
- 67.** Morgan JP, Caputo AA, Holcomb JP. Retention of endodontic dowels: effects of cement, dowel length, diameter, and design. *J Prosthet Dent* 1978; 39: 400-5.

68. Lambjerg-Hansen H, Asmussen E. Mechanical properties of endodontic posts. *J Oral Rehab* 1997; 24: 882-87.
69. Morgano SM. Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts. *J Prosthet Dent* 1996; 75: 375-80.
70. Isidor F, Brondum K. Intermittent loading of teeth with tapered, individually cast or prefabricated, paralel-sided posts. *Int J Prost* 1992; 5: 257-61.
71. Smith CT, Schumann NJ, Wasson W. Biomechanical Criteria for Evaluating Prefabricated Post and Core Systems: A Guide for the Restorative Materials. *Quint Int* 1998; 29: 305-12.
72. Sorensen JA, Martinoff JT. Endodontically treated teeth as abutments. *J Prosthet Dent* 1995; 53: 631-6.
73. Mechanical testing of metals and metallic joints. [online]. 2008 [cited 2008 may 23]. Available from: URL: http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/kscsw010.html
74. Pilo R, Tamse A. Residual dentin thickness in mandibular premolars prepared with Gates-glidden and ParaPost drills. *J Prosthet Dent* 2000; 83: 617-23.
75. Stockton WL. Factors affecting retention of post systems: A literature Review. *J Prosthet Dent* 1999; 81: 380-85.
76. Junge T, Nicholls JI, Phillips KM, Libman WJ. Load fatigue of compromised teeth: a comparision of three luting cements. *Int J Prosthodont* 1998;11: 558-64.
77. Kovarik RE, Breeding LC, Caughman WF. Fatigue Life of Three Core Matarials under Simulated Chewing Conditions. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 584-90.
78. Souza RO, Lombardo GH, Michida SM, Galhano G, Bottino MA, Valandro LF. Influence of brush type as a carrier of adhesive solutions and paper points as an adhesive-excess remover on the resin bond to root dentin. *J Adhes Dent* 2007; 9: 521-6.
79. Monticelli F, Grandini S, Goracci C, Ferrari M. Clinical behaviour of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 593-6.
80. Scotti R, Valandro LF, Galhano GA, Baldissara P, Bottino MA. Effect of post length on the fatigue resistance of bovine teeth restored with bonded fiber posts: a pilot study. *Int J Prosthodont* 2006; 19: 504-6.
81. Salameh Z, Papacchini F, Ounsi HF, Goracci C, Tashkandi E, Ferrari M. Adhesion between prefabricated fiber-reinforced posts and different composite resin cores: a microtensile bond strength evaluation. *J Adhes Dent* 2006; 8: 113-7.
82. D'Arcangelo C, D'Amario M, De Angelis F, Zazzeroni S, Vadini M, Caputi S. Effect of application technique of luting agent on the retention of three types of fiber-reinforced post systems. *J Endod* 2007; 33: 1378-82.

- 83.** de Durão Mauricio PJ, González-López S, Aguilar-Mendoza JA, Félix S, González-Rodríguez MP. Comparison of regional bond strength in root thirds among fiber-reinforced posts luted with different cements. *J Appl Biomater* 2007; 83: 364-72.
- 84.** Valandro LF, Baldissara P, Galhano GA, Melo RM, Mallmann A, Scotti R, Bottino MA. Effect of mechanical cycling on the push-out bond strength of fiber posts adhesively bonded to human root dentin. *Oper Dent* 2007; 32: 579-88.
- 85.** D'Arcangelo C, Zazzeroni S, D'Amario M, Vadini M, De Angelis F, Trubiani O, Caputi S. Bond strengths of three types of fibre-reinforced post systems in various regions of root canals. *Int Endod J* 2008; 41: 322-8.
- 86.** Finger WJ, Ahlstrand WM, Fritz UB. Radiopacity of fiber-reinforced resin posts. *Am J Dent.* 2002; 15: 81-4.
- 87.** Michalakakis KX, Hirayama H, Sfolkos J, Sfolkos K. Light transmission of posts and cores used for the anterior esthetic region. *Int J Perio Rest Dent* 2004; 24: 462-9.
- 88.** Kelsey WP 3rd, Latta MA, Kelsey MR. A Comparison of the Retention of Three Endodontic Dowel Systems Following Different Surface Treatments. *J Prosthodont.* 2007 Dec 14 [Epub ahead of print]
- 89.** Teixeira ECN, Teixeira FB, Piasick JR, Thompson JY. An in vitro assessment of prefabricated fiber post systems. *J Am Dent Assoc* 2006; 137: 1006-12.
- 90.** Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK. Strength of adhesive-bonded fiber-reinforced composites to enamel and dentin substrates. *J Adhes Dent* 2003; 5: 301-11.
- 91.** Lassila LVJ, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater* 2004; 20: 29-36.
- 92.** Mannocci F, Sherriff M, Watson TF, Vallittu PK. Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. *Int Endod J* 2005; 38: 46-51.
- 93.** Fokkinga WA, Kreulen CM, Le Bell-Rönnlöf AM, Lassila LV, Vallittu PK, Creugers NH. In vitro fracture behavior of maxillary premolars with metal crowns and several post-and-core systems. *Eur J Oral Sci* 2006; 114: 250-6.
- 94.** Fokkinga WA, Kreulen CM, Le Bell-Rönnlöf AM, Lassila LV, Vallittu PK, Creugers NH. Fracture behavior of structurally compromised non-vital maxillary premolars restored using experimental fiber reinforced composite crowns. *Am J Dent* 2006; 19: 326-32.
- 95.** Kalkan M, Usumez A, Ozturk AN, Belli S, Eskitascioglu G. Bond strength between root dentin and three glass-fiber post systems. *J Prosthet Dent* 2006; 96: 41-6.

- 96.** Pastila P, Lassila LV, Jokinen M, Vuorinen J, Vallittu PK, Mäntylä T. Effect of short-term water storage on the elastic properties of some dental restorative materials--A resonant ultrasound spectroscopy study. *Dent Mater* 2007; 23: 878-84.
- 97.** Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LV. Direct restoration of severely damaged incisors using short fiber-reinforced composite resin. *J Dent* 2007; 35: 731-6.
- 98.** Hashemi J, Smith WF. *Foundations of Materials Science and Engineering* 4th Ed. New York: McGraw-Hill; 2006.
- 99.** Korkmaz T. İki Değişik Gövde Tasarımında Sabit Porselen Restorasyonlar Üzerine Gelen Okluzal Kuvvetlerin Değişik Bölgelerdeki Dağılımlarının Holografik İnterferometre Yöntemi İle İncelenmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniv. Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı. Ankara 1995.
- 100.** Ulusoy M, Aydın K. Bölümlü Protezler. Ankara Üniv. Diş Hekimliği Yayınları. Ankara; 1988.
- 101.** Geng JP, Keson BCT, Liv GR. Application of Finite Element Analysis in Implant Dentistry: A Review of the Literature. *J Prosthet Dent* 2001; 8: 585-98.
- 102.** Craig R. *Restorative Dental Materials*. 10th Ed. St. Louis: The CV Mosby Co; 1997.
- 103.** ASME International. [ASME Eyewitness Series: Finite Element Method \(FEM\)](http://www.asme.org/Communities/History/Resources/Interactive_Timeline.cfm). [online]. 2008 [cited 2008 april 21]. Available from: URL: http://www.asme.org/Communities/History/Resources/Interactive_Timeline.cfm
- 104.** 40 Soruda Marc Mentat ile Sonlu Elemanlar Analizi. [online]. 2008 [cited 2008 may 21]. Available from: URL: http://www.mekatronikkulubu.org/yazi/40_soruda_marc_mentat_ile_sonlu_elemanlar_analizi
- 105.** Toksavul S, Zor M, Toman M, Güngör MA, Nergiz I, Artunç C Analysis of dentinal stress distribution of maxillary central incisors subjected to various post-and-core applications. *Oper Dent* 2006; 31: 89-96.
- 106.** Borchers L, Reichart P. Three-dimensional Stress distribution around a dental implant at different stages of interface development. *J Dent Res* 1983; 62: 155-59.
- 107.** Huysmans MC, Van der Varst PG. Finite element analysis of quasistatic and fatigue failure of post and cores. *J Dent* 1993; 21: 57-64.
- 108.** Eskitascioglu G, Belli S, Kalkan M. Evaluation of two post core systems using two different methods (fracture strength test and a finite elemental stress analysis). *J Endod* 2002; 28: 629-33.

- 109.** Boschian Pest L, Guidotti S, Pietrabissa R, Gagliani M. Stress distribution in a post-restored tooth using the three-dimensional finite element method. *J Oral Rehabil* 2006; 33: 690-7.
- 110.** Albuquerque Rde C, Polleto LT, Fontana RH, Cimini CA. Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts. *J Oral Rehabil* 2003; 30: 936-43.
- 111.** Yaman SD, Karacaer O, Şahin M. Stress distribution of post-core applications in maxillary central incisors. *J Biomater Appl* 2004; 18: 163-77.
- 112.** Li LL, Wang ZY, Bai ZC, Mao Y, Gao B, Xin HT, Zhou B, Zhang Y, Liu B. Three-dimensional finite element analysis of weakened roots restored with different cements in combination with titanium alloy posts. *Chin Med J* 2006; 119: 305-11.
- 113.** Mott RL. *Applied Strength of Materials*. 4th ed. London: Prentice-Hall; 2002.
- 114.** Beer FP, Johnston ER. *Mechanics of Materials*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 2001.
- 115.** Engineering Systems (Nottm) Ltd. Three Point Bend Testing Aids the Formulation and Manufacture of New Tablets. [online]. 2008 [cited 2008 april 12]. Available from: URL: <http://www.engsys.co.uk/pages/3point.htm>
- 116.** Torbjörner A, Karlsson S, Syverud M, Hensten-Pettersen A. Carbon fiber reinforced root canal posts. Mechanical and cytotoxic properties. *Eur J Oral Sci* 1996; 104: 605-11.
- 117.** Mannocci F, Sheriff M, Watson TF. Three-Point Bending Test for Fiber Posts. *J Endod* 2001; 27: 758-61.
- 118.** Cormier CJ, Burns DR, Moon P. In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration. *J Prosthodont* 2001; 10: 26-36.
- 119.** Alander P, Lassila LV, Vallittu PK. The span length and cross-sectional design affect values of strength. *Dent Mater* 2005; 21: 347-53.
- 120.** Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater* 2005; 21: 75-82.
- 121.** McCabe JF, Walls AWG. *Applied Dental Materials*. 8th Ed. Oxford: Blackwell Science Ltd; 1984.
- 122.** O'Brien WJ. *Dental Materials and Their Selection*. 2nd Ed. New York: Quintessence Publishing Co; 1997.
- 123.** Van Noort R. *Dental Materials*. Spain: Mosby Co. 1994.
- 124.** Shigley JE. *Mechanical Engineering Design*. First Metric Ed. Singapore: McGraw-Hill Co; 1986.
- 125.** Zaimoğlu A, Can G, Ersoy E, Aksu L. Diş Hekimliğinde Maddeler Bilgisi. Ankara: Ankara Üniv. Basımevi; 1993.

- 126.** Kazimi SMA. Solid Mechanics. New York: McGraw-Hill; 1982.
- 127.** Lanza A, Aversa R, Rengo S, Apicella D, Apicella A. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. *Dent Mater* 2005; 21: 709-15.
- 128.** Holmes DC, Diaz-Arnold AM, Leary JM. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 1996; 75: 140-7.
- 129.** Ko CC, Chu CS, Chung KH, Lee MC. Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 421-7.
- 130.** Huysmans MC, Peters MC, Plasschaert AJ, van der Varst PG. Failure characteristics of endodontically treated premolars restored with a post and direct restorative material. *Int Endodont J* 1992; 25: 121-9.
- 131.** Huysmans MC, van der Varst PG, Schafer R. Failure behaviour of fatigue tested post and cores. *J Dent Res* 1992; 71: 1145-50.
- 132.** Toparli M, Sasaki S. Finite element analysis of the temperature and thermal stress in a postrestored tooth. *J Oral Rehabil* 2003; 30: 921-6.
- 133.** Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent* 2000; 13:15B- 118.
- 134.** Rossenstein SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary Fixed Prosthodontics. 2nd Ed. St. Louis: Mosby Co. 1995.
- 135.** Caillateau JG, Rieger MR, Akin JE. A comparasion of intracanal stresses in a post-restored tooth utilizing the finite element method. *J Endod* 1992; 18: 540-44.
- 136.** Lewgoy HR, Youssef MN, Matson MR, Bocangel JA, Netto CA, Amore R. Finite elements study of the Flexi Post and Flexi Flange post systems in a maxillary central incisor. *Pesqui Odontol Bras* 2003; 17: 132-6.
- 137.** Kohal RJ, Papavasiliou G, Kamposiora P, Tripodakis A, Strub JR. Three-dimensional computerized stress analysis of commercially pure titanium and yttrium-partially stabilized zirconia implants. *Int J Prosthodont* 2002; 15: 189-94.
- 138.** Borchers L, Reichardt P. Three dimensional Stress distribution around a dental implant at different stages of interface development. *J Dent Res* 1983; 62: 155-59.
- 139.** Wheeler RC. An atlas of tooth form. Philadelphia: WB Saunders; 1962.
- 140.** Rees JS. An investigation into the importance of the periodontal ligament and alveolar bone as supporting structures in finite element studies. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 425-32.

- 141.** Ho MH, Lee SY, Chen HH, Lee MC. Three-dimensional finite element analysis of the effects of posts on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 1994; 72: 367-72.
- 142.** Boschian Pest L, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive Post-Endodontic Restorations with Fiber Posts: Push-Out Tests and SEM Observations. *Dent Mater* 2002; 18: 596-602.
- 143.** Yaman P, Thorsteinsson TS. Effect of core materials on stress distribution of posts. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 416-20.
- 144.** Helkimo E, Carlsson G, Corneli Y. Bite force in patients with functional disturbances of the masticatory system. *J Oral Rehab* 1975; 2: 397-401.
- 145.** Yang HS, Lang LA, Moolina A, Felton DA. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations. *J Prosthet Dent* 2001; 85: 558-67.
- 146.** Standlee JP, Caputo AA. Endodontic dowel Retention with resinous Cements. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 913-17.
- 147.** Pitts DL, Natkin E. Diagnosis and treatment of vertical root fractures. *J Endod* 1983; 9: 338-46.
- 148.** Walton RE, Michelich RJ, Smith GN. The histopathogenesis of vertical root fractures. *J Endod* 1984; 10: 48-56.
- 149.** Selden HS. Repair of incomplete vertical root fractures in endodontically treated teeth.-in vivo trials. *J Endod* 1996; 22: 426-9.
- 150.** Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Finite element analysis and Strain-gauge studies of vertical root fracture. *J Endod* 2003; 29: 529-34.
- 151.** Huang HM, Ou KL, Wang WN, Chiu WT, Lin CT, Lee SY. Dynamic finite element analysis of the human maxillary incisor under impact loading in various directions. *J Endod* 2005; 31(10): 723-7.
- 152.** Sathorn C, Palamara JE, Palamara D, Messer HH. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *J Endod* 2005; 31: 288-92.
- 153.** Assif D, Oren E, Marshak BL, Aviv I. Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques. *J Prosthet Dent* 1989; 61: 535-43.
- 154.** Pierrisnard L, Bohin F, Renault P, Barquins M. Coronoradicular reconstruction of pulpless teeth: a mechanical study using finite element analysis. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 442-8.
- 155.** Sorrentino R, Aversa R, Ferro V, Auriemma T, Zarone F, Ferrari M, Apicella A. Three-dimensional finite element analysis of strain and stress distributions in endodontically treated maxillary central incisors restored with different post, core and crown materials. *Dent Mater* 2007; 23(8): 983-93.
- 156.** Assif D, Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1994; 71: 565-7.

- 157.** Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials* 2002; 23: 2667-82.
- 158.** Toparlı M. Stress analysis in a post-restored tooth utilizing the Finite element method. *J Oral Rehab* 2003; 30: 470-76.
- 159.** Mannocci F, Ferrari F, Watson TF. Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber and zirconium dioxide ceramic root canal posts. *J Adhes Dent* 1999; 1: 153-58.
- 160.** Barjau-Escribano A, Sancho-Bru JL, Forner-Navarro L, Rodríguez-Cervantes PJ, Pérez-González A, Sánchez-Marín FT. Influence of prefabricated post material on restored teeth: fracture strength and stress distribution. *Oper Dent* 2006; 31: 47-54.
- 161.** Zarone F, Sorrentino R, Apicella D, Valentino B, Ferrari M, Aversa R, Apicella A. Evaluation of the biomechanical behavior of maxillary central incisors restored by means of endocrowns compared to a natural tooth: a 3D static linear Finite elements analysis. *Dent Mater* 2006; 22: 1035-44.
- 162.** Vițalariu A, Comănesci R, Tatarciuc M. Analysis on the stress induced by non metallic posts in dental and periodontal support by using the finite element method. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi* 2006; 110: 705-10.
- 163.** Chen XT, Li XN, Guan ZQ, Liu XG, Gu YX. Effects of post material on stress distribution in dentin. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 2004; 39: 302-5.
- 164.** Rodríguez-Cervantes PJ, Sancho-Bru JL, Barjau-Escribano A, Forner-Navarro L, Pérez-González A, Sánchez-Marín FT. Influence of prefabricated post dimensions on restored maxillary central incisors. *J Oral Rehabil* 2007; 34: 141-52.
- 165.** Hunter AJ, Feiglin B, Williams SF. Effect of post placement on endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1989; 62: 166-172.
- 166.** Peters MC, Poort HW, Farah JW, Craig RG. Stress analysis of a tooth restored with a post and core. *J Dent Res* 1983; 62: 760-63.
- 167.** Okamoto K, Ino T, Iwase N, Shimizu E, Suzuki M, Satoh G, Ohkawa S, Fujisawa M. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution in composite resin cores with fiber posts of varying diameters. *Dent Mater J* 2008; 27: 49-55.
- 168.** Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. *J Prosthet Dent* 2005; 94: 321-9.
- 169.** Nakamura T, Ohyama T, Waki T, Kinuta S, Wakabayashi K, Mutoke Y, Takano N, Yatani H. Stress analysis of endodontically treated anterior teeth restored with different types of post material. *Dent Mater J* 2006; 25: 145-50.

- 170.** Chong KH, Chai J. Strength and mode of failure of unidirectional and bidirectional glass fiber-reinforced composite materials Int J Prosthodont 2003; 16: 161-6.
- 171.** Bonfante G, Kaizer OB, Pegoraro LF, do Valle AL. Fracture strength of teeth with flared root canals restored with glass fibre posts. Int Dent J 2007; 57: 153-60.
- 172.** Plotino G, Grande NM, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Flexural properties of endodontic posts and human root dentin. Dent Mater 2007; 23: 1129-35.
- 173.** Lassila LVJ, Nohrström T, Vallittu P. The influence of short term water storage on the flexural properties of unidirectional glass fiber-reinforced composites. Biomaterials 2002; 23: 2221-9.
- 174.** Ozcan M, Breuklander MH, Vallittu PK. The effect of box preparation on the strength of glass fiber-reinforced composite inlay-retained fixed partial dentures. J Prosthet Dent 2005; 93: 337-45.
- 175.** Griffith AA. The phenomena of rupture and flow in solids. Phil Trans R Soc Lond (Ser A) 1920; A221: 168-98.
- 176.** Gu W. Interfacial adhesion evaluation of uniaxial fiber reinforced-polymer composites by vibration damping of cantilever beam. PhD Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University; 1997. p. 11-3.
- 177.** Callister Jr WD. Materials science and engineering: an introduction. Composites. 3rd ed. New York: Wiley; 1997. p. 513-41.
- 178.** Goldberg A, Burstone C, Hadjinikolaou I, Jancar J. Screening of matrices and fibers for reinforced thermoplastics intended for dental applications. J Biomed Mater Res 1994; 28: 167-73.
- 179.** ASTM D 790, Plastics (I). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials, Annual book of ASTM standards. American society for Testing and Materials; 1999.
- 180.** BS EN ISO 10477: 2004 [online]. 2008 [cited 2008 april 18]. Available from: URL: http://www.standardsdirect.org/standards/standards2/StandardsCatalogue24_view_18118.html.
- 181.** Cooper G. Optimization of the three-point bend test for fracture energy measurement. J Mater Sci 1977; 12: 277-89.
- 182.** ASTM D 4476, Plastics (III). Standard test method for flexural properties of fiber reinforced pultruded plastic rods, Annual book of ASTM standards, Section B, Plastics: American society for Testing and Materials; 1999.
- 183.** Vallittu PK. Effect of 180-week water storage on the flexural properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite. Int J Prosthodont 2000; 13: 334-9.
- 184.** Grant T, Bradley W. In-situ observations in SEM of degradation of graphite/epoxy composite materials due to seawater immersion. J Compos Mater 1995; 29: 852-67.

- 185.** Latour R, Black J. Development of FRP composite structural biomaterials: ultimate strength of the fiber/matrix interfacial bond in in vivo simulated environments. *J Biomed Mater Res* 1992; 26: 593-606.
- 186.** Söderholm K, Mukherjee R, Longmate J. Filler leachability of composites stored in distilled water or artificial saliva. *J Dent Res* 1996; 75: 1692-9.
- 187.** Meyer M, Friedman R, Del Schutte H, Latour R. Long-term durability of the interface in FRP composites after exposure to simulated physiologic saline environments. *J Biomed Mater Res* 1994; 28: 1221-31.
- 188.** Wikipedia, the free encyclopedia. Coefficient of thermal expansion [online]. 2008 [cited 2008 april 24]. Available from: URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_thermal_expansion.
- 189.** Murphy J. Reinforced plastics handbook. Oxford: Elsevier; 1998.p. 63-106.
- 190.** Lassila LV, Tezvergil A, Lahdenperä M, Alander P, Shinya A, Shinya A, Vallittu PK. Evaluation of some properties of two fiber-reinforced composite materials. *Acta Odontol Scand* 2005; 63: 196-204.
- 191.** Vallittu PK. The Second International Symposium on fiber-Reinforced Plastics in Dentistry. Turku: University of Turku; 2002. p. 2-28.
- 192.** Seefeld F, Wenz HJ, Ludwig K, Kern M. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater* 2007; 23: 265-71.
- 193.** Park C, Robertson RE. Mechanical properties of resin composites with filler particles aligned by an electric field. *Dent Mater* 1998; 14: 385-93.
- 194.** Mishra RK, Kumar S, Tomar BS, Tyagi AK, Kaushik CP, Raj K, Manchanda VK. Effect of barium on diffusion of sodium in borosilicate glass. *J Hazard Mater* 2007 Dec 8 [Epub ahead of print]

10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Mert Kafkas

Soyadı Şahin

Doğum Yeri ve Tarihi Kayseri- 25.11.1976

Eğitimi

2003-2007 Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Pedodonti Anabilim Dalı Doktora Programı

1994-2001 Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi

1991-1994 Kayseri Fen Lisesi

1987-1991 TED Kayseri Koleji Ortaokulu

1982-1987 Kayseri Ahmet Paşa İlkokulu

Yabancı Dili

İngilizce, Almanca

Üye Olduğu Bilimsel Kuruluşlar

Türk Pedodonti Derneği

Bilimsel Etkinlikler

Kongreler:

*2007 Türk Pedodonti Derneği 15. Ulusal Kongresi,
Lara-Antalya

- Şahin MK, Akal N. Üst Santral Kesici Dişin Bir Cam Fiber
Post ile Restorasyonu: Olgu Sunumu (Poster Sunumu)

- Şahin MK, Akal N. Lamellar Ichthyosis: Olgu Sunumu
(Poster Sunumu)