

T.C.  
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

# **DENTİNE BAĞLANMANIN TAM SERAMİK MALZEMENİN MUKAVEMETİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**Dt. Selver Suna DEMİRÖZ**

**DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Prof. Dr. Hakan UYSAL**

**ADANA-2006**

## KABUL VE ONAY FORMU

### Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Protetik Diş Tedavisi Doktora Programı Çerçevesinde yürütülmüş olan "**Dentine bağlanmanın tam seramik malzemenin mukavemeti üzerine etkisi**" adlı çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi : 17/11/2006

**İmza**  
**Prof.Dr.Hakan UYSAL**  
Çukurova Üniversitesi/  
Jüri Başkanı



**İmza**  
Prof.Dr.Deniz GEMALMAZ  
Marmara Üniversitesi



**İmza**  
Doç.Dr.Öğüt YOLDAŞ  
Çukurova Üniversitesi



**İmza**  
Prof.Dr.Emirullah MEHMETOV  
Çukurova Üniversitesi



**İmza**  
Yrd.Doç.Dr.Haluk ÖZTUNÇ  
Çukurova Üniversitesi



Yukarıdaki tez, Yönetim Kurulunun ..... tarih ve ..... sayılı kararı ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Halil KASAP  
Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Çalıőmam sırasında yardım ve desteğini esirgemeyen, beni cesaretlendiren ve benim için bir yol gösterici olan danıőmanım Sayın Prof. Dr. Hakan UYSAL'a,

Çalıőmamı titizlikle inceleyerek, önerileriyle beni yönlendiren Sayın Dr. Cem KURTOğLU'na,

Örneklerin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Sayın Zafer AKŐAHİN'e,

Çalışmanın sonlu elemanlar stres analizindeki katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Emirullah MEHMETOV'a ve Sayın Arő. Gör. Harun AKKUŐ'a,

Çalışmanın optik incelemelerinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Osman PARLAK ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ'a,  
Teőekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

Kabul ve Onay	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Tam Seramiklerin Sınıflaması	3
2.1.1. Refraktör Model Üzerinde Pişirilen Seramik Tozları	3
2.1.2. Dökülebilir Seramikler	4
2.1.3. Torna ile Şekillendirilen Seramikler	4
2.1.4. Sıcak Preslenen Seramikler	4
2.1.5. İnfiltrasyon Edilen Seramikler	6
2.2. Tam Seramiklerin Mekanik Özellikleri	7
2.2.1. Young Modülü	7
2.2.2. Sertlik	8
2.2.3. Tokluk	8
2.2.4. Dayanım	8
2.3. Hertzian Kontak Test	9
2.4. Sonlu Elemanlar Stress Analizi	10
2.5. Tabakalı Yapılar	10
2.5.1. Tabakalı Yapılarda Harabiyet Şekilleri	11
2. 5.1.1. Tek Tabakalı Yapılarda Harabiyet Şekilleri	12
2. 5.1.2. İki Tabakalı Yapılarda Harabiyet Şekilleri	13
3. GEREÇ VE YÖNTEM	15
3.1. Test Örneklerinin Hazırlanması	15

3.2. Hertzian Kontak Test	19
3.3. Optik İnceleme	20
3.4. Sonlu Elemanlar Stres Analizi	20
3.4.1. İki tabakalı Seramik-Dentin Sisteminin	20
Üç Boyutlu Modeli	
3.4.2. Yükleme ve Analizler	22
4. BULGULAR	23
4.1. Optik İnceleme Bulguları	23
4.2. Sonlu Elemanlar Stres Analizi Bulguları	32
5. TARTIŞMA	33
6. SONUÇLAR	38
7. KAYNAKLAR	39
8. ÖZGEÇMİŞ	42

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 2.1</b>	Kırılgan malzemelerde sıkışma kuvvetinin yapıda oluşturduğunu gerilme streslerini göstermektedir.	9
<b>Şekil 2.2</b>	Tek tabakalı yapılarda Hertzian kontak testin şematik resmi (P uygulanan yükü, r yükleme ucu çapını gösterir. Harabiyet konik çatlama “C” (brittle mode) ve yield “Y” (plastik ya da Quasiplastic mode) şeklinde oluşabilir.	12
<b>Şekil 2.3</b>	İki tabakalı yapılarda Hertzian kontak testin şematik resmi. (P uygulanan yükü, r yükleme ucunun çapını gösterir. Seramik üst tabakanın kalın olduğu iki tabakalı sistemlerde harabiyet, konik çatlama “C” (brittle mode) ve yield “Y” (plastik ya da Quasiplastic mode) şeklinde görülür.	14
<b>Şekil 2.4</b>	İki tabakalı yapılarda Hertzian kontak testin şematik resmi. (P uygulanan yükü, r yükleme ucunun çapını gösterir. Seramik üst tabakanın ince olduğu iki tabakalı sistemlerde seramik bükülür; harabiyet, seramik/alt tabaka ara yüzeyinden başlayan, yukarı ve dışarı doğru uzanan radial çatlaklar şeklinde görülür.	14
<b>Şekil 3.1</b>	2 mm kalınlığında dentin disk	16
<b>Şekil 3.2</b>	Patern resin disk örnek	16
<b>Şekil 3.3</b>	Empress 2, feldspatik ve In Ceram Zirconia seramiklerinden disk örnekler	16
<b>Şekil 3.4</b>	Dentin disklerin hazırlandığı metal kalıp	16
<b>Şekil 3.5</b>	Resin simanın asit ve silanı	17
<b>Şekil 3.6</b>	Yükleme düzeneği	18
<b>Şekil 3.7</b>	Yükleme düzeneği	18
<b>Şekil 3.8</b>	Test örneklerinin üstten görünümü	18
<b>Şekil 3.9</b>	Test örneklerinin yandan görünümü	18
<b>Şekil 3.10</b>	Yükleme ucu. 3, 98 mm çapında tungsten karbid bilye yükleme ucuna sabitlenmiştir.	19
<b>Şekil 3.11</b>	Üniversal test cihazı	19
<b>Şekil 3.12</b>	Oluşturulan iki tabakalı seramik-dentin sisteminin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli. Model 28 eleman ve 66 noktadan oluşmaktadır.	21

<b>Şekil 3.13</b>	İki tabakalı seramik-dentin sisteminin üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde yükleme	22
<b>Şekil 4.1</b>	Tam olarak şekillenmemiş bir halka çatlak (1 mm kalınlığında feldspatik örnek, 300 N.)	24
<b>Şekil 4.2</b>	Şekil 4.2 Tam olarak şekillenmiş bir halka çatlak (1,5 mm kalınlığında feldspatik disk örnek, 450 N. Etrafında çok sayıda ringler izlenmektedir.)	24
<b>Şekil 4.3</b>	Çoklu halka çatlaklar (2 mm kalınlığında feldspatik disk örnek, 550 N.)	24
<b>Şekil 4.4</b>	Feldspatik seramik kalınlığının 1 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde halka çatlaklar (A: 300 N, B: 350 N, C: 400 N, D: 450 N, E: 500 N ve F: 550 N yüklemeleri.)	25
<b>Şekil 4.5</b>	Feldspatik seramik kalınlığının 1,5 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde halka çatlaklar (A: 250 N, B: 300 N, C: 350 N, D: 400 N, E: 450 N, F: 500 N ve G: 550 N yüklemeleri.)	26
<b>Şekil 4.6</b>	Feldspatik seramik kalınlığının 2 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde halka çatlaklar (A: 250 N, B: 300 N, C: 350 N, D: 400 N, E: 450 N, F: 500 N, G: 550 N ve H: 600 N yüklemeleri.)	27
<b>Şekil 4.7</b>	Radial çatlak başlangıcının mikroskobik görüntüsü (1 mm kalınlığında feldspatik disk örnek, 150 N)	28
<b>Şekil 4.8</b>	Yıldız şeklinde yan dallara ayrılmış radial çatlakın mikroskobik görüntüsü (1 mm kalınlığındaki feldspatik disk örnek, 350 N)	28
<b>Şekil 4.9</b>	Feldspatik seramik kalınlığının 1 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde radial çatlaklar. (A: 150 N, B: 200 N, C: 250 N, D: 300 N, E: 350 N, F: 400 N ve G: 450 N yüklemeleri.)	29
<b>Şekil 4.10</b>	Feldspatik seramik kalınlığının 1,5 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde radial çatlaklar (A, B: 400 N, C: 450 N, D: 500 N yüklemeleri.)	30
<b>Şekil 4.11</b>	Feldspatik seramik kalınlığının 2 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde radial çatlaklar (A: 400 N, B: 500 N, C: 550 N ve D: 600 N yüklemeleri.)	31

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1</b>	IPS Empress 2'nin kimyasal yapısı	7
<b>Çizelge 2.2</b>	In Ceram Zirconia'nın kimyasal içeriği	9
<b>Çizelge 3.1</b>	Sonlu elemanlar stres analizinde kullanılan materyallerin elastik modülleri (GPa: gigapascal) ve Poisson oranları (V).	23
<b>Çizelge 4.1</b>	Kullanılan üç farklı seramik sitemde farklı kalınlıklarda görülen harabiyet şekilleri.(C; Quasiplastic deformasyon, R; radial çatlak, F; katastrofik başarısızlık, N; newton, mm; milimetre, *; harabiyet var, -; harabiyet yok, ●; yükleme yok)	25
<b>Çizelge 4.2</b>	Sonlu Elemanlar Analizi bulguları. Kullanılan üç farklı seramik sitemde farklı kalınlıklarda sonlu elemanlar stres analizinde harabiyetin başladığı yük değeri, harabiyetin oluştuğu seramik yüzeyi ve oluşan maksimum gerilme stresi. (mm; milimetre, N; Newton, $\delta_{Max}$ ; maximum gerilme stresi, MPa; megapascal, L; alt)	34



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>°C</b>	: Derece
<b>CAD/CAM</b>	: Bilgisayar destekli tasarım ve imalat
<b>GPa</b>	: Giga paskal (Basınç ve Stres Birimi) ( $N/m^2$ )
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>MPa</b>	: Mega paskal (Basınç ve Stres Birimi) ( $N/m^2$ )
<b>N</b>	: Newton
<b>P<sub>max</sub></b>	: Maksimum gerilme stresi
<b>v</b>	: Poisson oranı
<b>E</b>	: Elastik modül
<b>H</b>	: Sertlik
<b>T</b>	: Tokluk
<b>r</b>	: İndenter çapı
<b>P</b>	: Yük
<b>D</b>	: Çap
<b>T</b>	: Kalınlık
<b><math>\sigma_x</math></b>	: Gerilme stresi
<b>DİK</b>	: Differansiyel İnterferens Kontrast yöntemi
<b>C</b>	: Brittle mode
<b>Y</b>	: Yield (Plastik ya da Quasiplastic mode)
<b>P<sub>C</sub></b>	: Brittle mode için kritik yük
<b>P<sub>Y</sub></b>	: Quasiplastic mode için kritik yük
<b>P<sub>R</sub></b>	: Radial çatlak oluşumu için kritik yük
<b>E<sub>C</sub></b>	: Üst tabakanın elastik modülü
<b>E<sub>S</sub></b>	: Alt tabakanın elastik modülü
<b>S</b>	: Alt tabaka
<b>C</b>	: Üst tabaka
<b><math>\delta_{Max}</math></b>	: Maximum gerilme stresi

<b>Bilayer</b>	: İki tabaka
<b>Bonding</b>	: Bağlanma
<b>Ceramic</b>	: Seramik
<b>Compression</b>	: Sıkışma
<b>Crack</b>	: Çatlak
<b>Crack initiation</b>	: Çatlağın başlangıcı
<b>Crack propagation</b>	: Çatlağın ilerlemesi
<b>Critical load</b>	: Kritik yük
<b>Coating</b>	: Üst tabaka
<b>Damage</b>	: Harabiyet
<b>Damage mode</b>	: Harabiyet şekli
<b>Flexural strength</b>	: Bükülme dayanımı
<b>Fracture</b>	: Kırılma
<b>Fracture toughness</b>	: Kırılma tokluğu
<b>Fracture strength</b>	: Kırılma dayanımı
<b>Hardness</b>	: Sertlik
<b>Hertzian contact test</b>	: Hertzian kontak testi
<b>Indenter</b>	: Yükleme ucu
<b>Indentation</b>	: İndentasyon
<b>Layered structure</b>	: Tabakalı yapı
<b>Modulus of elasticity</b>	: Elastik modül (Young modülü)
<b>Monolayer</b>	: Tek tabaka
<b>Multilayer</b>	: Çok tabaka
<b>Poisson's ratio</b>	: Poisson oranı
<b>Radial crack</b>	: Radial çatlak
<b>Ring crack</b>	: Halka çatlak
<b>Sphere</b>	: Bilye
<b>Strength</b>	: Dayanım
<b>Strain</b>	: Gerinim
<b>Stress</b>	: Stres (Gerilim)
<b>Substrate</b>	: Alt tabaka

<b>Ultimate strength</b>	: Maksimum gerilme stresi
<b>Tensile</b>	: Gerilme
<b>Trilayer</b>	: Üç tabaka
<b>Toughness</b>	: Tokluk

## ÖZET

### Dentine Bağlanmanın Farklı Tam Seramik Malzemelerinin Mekanik Dayanımı Üzerine Etkisi

Bu çalışmanın amacı; resin simanla dentin dokusu üzerine yapıştırmanın farklı tam seramik malzemelerinin mukavemetine olan etkisini incelemek ve sonlu elemanlar stres analizi ile iki tabakalı seramik-dentin sisteminde oluşan streslerin dağılımını göstermektir.

1 mm, 1,5 mm ve 2 mm kalınlığında feldspatik seramikten oluşan seramik-dentin sistemine 100-600 N yük aralığında Hertzian kontak test uygulandı. 1 ve 1,5 mm kalınlığında IPS Empress 2 ve In Ceram Zirconia seramiklerinden oluşan iki tabakalı seramik-dentin sistemine 200-850 N yük aralığında Hertzian kontak test uygulandı. Brittle ve quasiplastic mode ile radial çatlakların tanımlanması için tüm örnekler optik mikroskopta incelendi. Sonlu elemanlar stres analizi ile iki tabakalı seramik-dentin sisteminde hertzian kontak test sonrasında oluşan stresler hesaplandı.

Her iki mode'da oluşan harabiyetin yeri ve derecesi materyalin mikroyapısına bağlı olarak uygulanan yüklerle değişti. 1 mm kalınlığındaki feldspatik seramikte 150 N'da, 1mm kalınlığındaki IPS Empress 2 seramikte 500 N'da, 1,5 mm kalınlığındaki IPS Empress 2 seramikte 700 N'da ve 1,5 mm kalınlığındaki Zirconia seramikte 850 N'da radial çatlak gözlenmiştir. Ancak, 1,5 ve 2 mm kalınlığındaki feldspatik seramikte quasiplastic mode oluştu. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen maksimum gerilme streslerinin yeri ve değeri, mekanik test bulguları ile tutarlıdır.

Materyalin kalınlığı ve mikroyapısının iki tabakalı seramik-dentin sisteminde oluşan harabiyet üzerinde anlamlı etkisi vardır. Resin simanla dentin dokusu üzerine yapıştırma, materyalin mekanik dayanımını artırmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Hertzian Kontak Test, Tam Seramikler, Resin siman, Dentin

## **ABSTRACT**

### **Effects of Dentin Bonding on Mechanical Strength of All Ceramic Restorative**

#### **Materials**

The aim of this study was to evaluate the basic damage modes of different ceramic systems bonded to dentin under Hertzian indentation with the support of stress distribution analysis.

A single-cycle Hertzian contact test over a load range of 100–600 N was applied randomly to ceramic–dentin bilayer disc specimens of feldspathic ceramic with 1mm, 1,5mm and 2mm thickness. A single-cycle Hertzian contact test over a load range of 200–850 N was applied to ceramic–dentin bilayer disc specimens of Zirconia or IPS Empress 2 with 1mm, 1,5mm thickness. Optical microscopy was employed for the identification of quasiplastic mode and radial cracks. Finite element analysis was also used to analyze the stress distribution under such Hertzian indentation.

Owing to the microstructure of the material, the degree of damage in both modes evolved progressively and the origin of damage mode changed with contact load. Radial cracks were the first cracks for feldspathic porcelain with 1mm thickness at 150 N contact load, IPS Empress 2 with 1mm at 450 N and 1,5mm at 700 N, and Zirconia with 1,5mm at 850 N. However, for feldspathic porcelain with 1,5mm and 2mm thickness a quasiplastic mode occurred. The location and the value of maximum principle stresses seen in the models were consistent with the mechanical test results.

Microstructure and the thickness of the material have a significant effect on the damage modes of ceramic layer systems. Dentin luting with resin cement, increases the mechanical strength of all ceramic materials.

**Key words:** Hertzian contact test, all ceramics, resin cement, dentin

# 1. GİRİŞ

Seramikler üstün biyolojik uyumluluk, kimyasal stabilite ve estetik özellikleri nedeniyle protetik diş hekimliğinde sıkça kullanılır<sup>1</sup>. Dental seramik restorasyonlar, bir metal alt yapı üzerine pişirilerek (metal-seramik) veya tam seramik sistemler olarak uygulanabilir. Metal-seramikler, metal renginin diş etine yansması, metal alerjisi, aşımın korozyonu ve opak görünüm gibi dezavantajlara sahiptir<sup>2,3</sup>. Tam seramik sistemlerde ise bu problemler gözlenmez. Ancak, gerilme streslerine karşı gösterdikleri düşük direnç nedeniyle, kullanım alanlarının 'lamine veneer', 'inlay', 'onlay' ve 'jaket kron' ile sınırlanmaları önerilir<sup>4</sup>.

Mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yapılmış çalışmalar sonucunda, günümüzde birçok farklı tam seramik sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemler, birbirinden önemli ölçüde farklı dayanım değerleri göstermektedir. Guazzato ve ark<sup>5</sup> IPS Empress 1, IPS Empress 2, In Ceram Alumina ve In Ceram Zirconia seramiklerinin bükülme dayanım değerlerini sırasıyla 476, 630, 680 ve 840 MPa; kırılma tokluğu değerlerini de 4,9, 4,8, 5,5 ve 7,4 MPa olarak bildirmiştir. Bir diğer çalışmada, IPS Express 1, IPS Empress 2, yeni bir deneysel seramik, In Ceram Alumina (dry-pressed) ve In Ceram Alumina (slip) seramiklerin bükülme dayanımı sırasıyla 106, 306, 303, 440 ve 594 MPa; kırılma tokluğu değeri ise 1,2, 2,9, 3,0, 3,6 ve 4,4 MPa olarak tespit edilmiştir<sup>6</sup>.

Ancak, farklı dayanım değerlerine sahip malzemelerle yapılan restorasyonların klinik başarıları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemektedir. Bir çalışmada, aynı hastada kimyasal yolla sertleşen iki farklı simanla (resin modifiye cam iyonomer siman ve resin kompozit siman) yapıştırılan IPS Empress seramik inlayler değerlendirilmiştir. Her iki siman ile yapıştırılan 71 seramik inlayin 5 yıllık takibi sonucunda fonksiyonel olarak tatmin edici bulgular elde edilmiştir<sup>7</sup>. Aynı araştırmacının, Empress seramik inlayleri değerlendirdiği 2 yıllık ve başka araştırmacının Dicor, IPS Empress, Mirage II, Cerec-Vita-Mark II ve Duceram inlaylerin 7 yıllık klinik performanslarını değerlendirdiği çalışmalarında, % 98'lik bir başarı oranı bildirilmiştir<sup>8,9</sup>. Kompozit resin ve seramik inlaylerin klinik performanslarının değerlendirildiği 5 yıllık bir çalışmada, % 88'lik başarı gözlenmiştir<sup>10</sup>.

Bu sonuçlar, tam seramik restorasyonların simantasyondan sonra gösterdikleri mekanik davranışlarının malzeme deneyleri ile gösterdiklerinden farklı olabileceğini düşündürmektedir.

Bu çalışmanın amacı; resin simanla dentin dokusu üzerine yapıştırmanın farklı tam seramik malzemelerinin dayanımına olan etkisini incelemektir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Tam Seramiklerin Sınıflaması

Seramik Yunanca kökenli bir kelimedir. Yunanca'da 'Keramikos', 'toprakta yapılmış' anlamına gelir<sup>11</sup>. Diş hekimliği'nde kullanılan seramikler kullanım alanlarına göre 3 gruba ayrılır<sup>12</sup>.

1. Yapay diş olarak kullanılan seramikler
2. Metal destekli seramikler
3. İnceley, onley ve jaket kronlarda kullanılan metal desteksiz seramikler (Tam seramikler)

Tam seramikler kompozisyon ve yapım aşamalarına göre 5 gruba ayrılır<sup>13,14</sup>.

1. Refraktör model üzerinde pişirilen seramik tozları
2. Dökülebilir seramikler
3. Torna ile şekillendirilen seramikler
4. Sıcak preslenen seramikler
5. İnfiltre edilen seramikler

#### 2.1.1. Refraktör Model Üzerinde Pişirilen Seramik Tozları

Seramik yapıda bulunan en sert ve en güçlü oksitlerden biri alüminyum oksittir. McLean ve Huges 1965 yılında, feldspatik yapıda alüminyum oksit içeriğini %50 oranında artırarak, feldspatik seramiğin yaklaşık olarak 2 katı olan bir dayanım (180 MPa) elde etmiştir<sup>15</sup>. Alüminyum oksitin dışında, yapının dayanımının artırılması amacıyla zirkonyum oksit ve lösit kristalleri de kullanılmıştır. Refraktör model üzerinde pişirilen seramik tozlarına örnek olarak, Vita Hi-Ceram, Mirage ve Optec gösterilebilir. Bunlardan Hi-Ceram'da alüminyum oksit içeriği %50 oranında artırılmıştır. Alüminyum oksit içeriğinin artırılması ile yapı gerilme streslerine karşı güçlendirilir<sup>16,17</sup>. Mirage sistemi zirkonyum oksit ile güçlendirilmiş iken, Optec sistemi lösit ile güçlendirilmiştir. Zirkonyum oksit kristallerinin ilave edilmesi, daha opak bir yapının oluşmasına neden olur. Ancak, lösit içeriğinin ışık geçirgenliği, alüminyum oksit ve zirkonyum oksite oranla daha fazladır<sup>13</sup>.



### **2.1.2. Dökülebilir Seramikler**

Bu grup seramiklerde erimiş seramik döküm usulü merkez kaç ile manşete gönderilir. Özel bir ısıl işlem uygulanır<sup>18</sup>. Böylelikle kontrollü kristalizasyon sağlanır. Kontrollü kristalizasyon ile dayanım artırılmaya çalışılmıştır. Ancak, kırılma direnci düşüktür. Maliyeti yüksektir<sup>19</sup>. Dökülebilir seramiklere örnek olarak, Dicor ve Cera Pearl gösterilebilir<sup>13,14</sup>.

### **2.1.3. Torna ile Şekillendirilen Seramikler**

Seramik restorasyonların yapım aşamaları sırasında uygulanan yüksek ısı, yapının homojen olmamasına, yapıda mikropörözitelerin oluşmasına ve büzülmeye neden olmaktadır. Torna ile şekillendirilen seramikler, bu problemlerin önlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu gruptaki seramikler CAD/CAM teknolojisi ile şekillendirilir. CAD/CAM teknolojisinde, hazır seramik bloklar bilgisayar ile kontrol edilen fireze cihazları ile şekillendirilmektedir. Torna ile şekillendirilen seramiklere örnek olarak Cerec ve procera gösterilebilir<sup>20</sup>.

Alumina yüksek saflıkta iken dayanıklılığı ve mekanik özellikleri çok yüksektir. Ancak, pişirimi sırasında yapısında büzülme meydana gelir. Bilgisayar kontrollü fireze cihazında şekillendirilmesi ile seramik pişirimi sırasında oluşan büzülme önlenmektedir. Malzemenin yapısında oluşan büzülme sadece hazır seramik blokların üretimi sırasında meydana gelir. Bu da alüminanın üstün mekanik özelliklerinden faydalanılmasına olanak sağlar. Hazır seramik blokların bilgisayar kontrollü fireze cihazında şekillendirilmesi ile elde edilen seramik alt yapının üzerine feldspatik porselen pişirilerek restorasyon tamamlanır<sup>13,14,21</sup>. Klinik başarısı çok yüksektir<sup>22</sup>.

### **2.1.4. Sıcak Preslenen Seramikler**

Bu gruptaki seramikler, pnömatik kollu özel bir seramik fırınında yüksek ısı ve basınç altında revetman kalıp içerisine preslenir. Yapım aşamaları kolaydır. Sıcak presleme tekniği ile<sup>18</sup>:

1. Marjinal uyum artar.
2. Pörosite azalır.
3. Formun tam olarak oluşturulabilmesi mümkündür.
4. Bükülme dayanımı artar.

Sıcak preslenen seramiklere örnek olarak Cerestore, IPS Empress, IPS Empress 2 verilebilir. Cerestore'da core materyalinin çoğu alüminyum oksit ve magnezyum oksittir. Bu iki oksitin birleşimi ile magnezyum alüminat oluşur. Magnezyum alüminat en güçlü seramik oksittir. Cerestore sisteminin dezavantajı, seramik partiküllerinin büyüklüğünden dolayı marjinlerde plak birikimine neden olmasıdır<sup>23</sup>.

IPS Empress lösitle güçlendirilmiş bir tam seramik sistemdir. Lösit seramiğe, sertlik, kimyasal ajanlara karşı direnç ve düşük termal genişleme kazandırır<sup>24</sup>. Estetiği olumsuz etkilediğinden, seramik yapıda, %30-40 oranından daha fazla kullanılmaz. IPS Empress'in mekanik özelliklerinin yetersiz olmasından dolayı, sabit bölümlü protezlerin yapımında kullanımı önerilmemektedir<sup>25</sup>.

IPS Empress 2 sisteminde ise yapı lityumdisilikat ( $\text{Li}_2\text{O}_2\text{SiO}_2$ ) ile güçlendirilmiştir. Malzemenin kimyasal yapısı Çizelge 2.1'de gösterilmektedir<sup>26</sup>. Kontrollü kristalizasyonla lityumdisilikat ve lityumortofosfat kristalleri oluşur. Kristal içeriğinin yapıdaki oranı, seramiğin optik ve mekanik özelliklerini belirler. Venering seramikte (kaplama seramiği) aynı mekanizma ile floroapatit kristalleri oluşturulur<sup>26</sup>. Kontrollü kristalizasyon ile kristallerin dağılımının ve gelişiminin kontrollü olması, seramikte ışık geçirgenliğinin doğal dişe yakın olmasına neden olur<sup>27</sup>. IPS Empress 2'nin sitotoksik etkisi yoktur<sup>26</sup>. Mine üzerindeki aşındırıcı etkisi, diğer seramiklere oranla daha azdır<sup>28</sup>. IPS Empress 2 sisteminde seramik ingotlar  $920^\circ\text{C}$ 'de 5 barlık basınçla preslenir.

IPS Empress 2'nin bükülme dayanımı 215-433 MPa, termal genişleme katsayısı  $10,6 \times 10^{-6}$ , sertliği 404 MPa ve elastik modülü 98,5 GPa'dır. IPS Empress 2'nin aşınma direnci, diğer restoratif materyallere oranla daha düşüktür<sup>29,30</sup>.

Çizelge 2.1 IPS Empress 2'nin kimyasal yapısı<sup>26</sup>

Oksitler	Kütle içerisindeki %
$\text{SiO}_2$	57-80
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0-5
MgO	0-5
$\text{K}_2\text{O}$	0-13
$\text{Li}_2\text{O}$	11-19
$\text{La}_2\text{O}_3$	0,1-6
$\text{P}_2\text{O}_5$	0-11
$\text{ZrO}_2$	0-8
Renk Oksitleri	0-8

### 2.1.5. İnfiltrre Edilen Seramikler

İlk pişirimle elde edilen alümina içeriği yüksek pöröz seramik yapıya ikinci bir pişirimle lantanum alümina silika yapısındaki erimiş cam infiltrre edilerek, pöröz yapıdaki boşluklar doldurulur. Bu tekniğe ‘slip casting’ denir. Bu şekilde elde edilen seramik alt yapısının üzerine uygun feldspatik seramik pişirilerek restorasyon tamamlanır. İnfiltrre edilen seramiklere örnek olarak, In Ceram Alumina, In Ceram Spinell ve In Ceram Zirconia gösterilebilir.

In Ceram Alumina, yapısında %72 oranında alumina içerir<sup>31,32,33</sup>. Yüksek alümina içeriği, seramik yapının opak görünümüne sebep olur. Estetik özelliklerinin yetersiz olması kullanımını sınırlar.

In Ceram Spinell, alüminyum oksit ve magnezyum oksitten oluşmuştur. Yapısındaki alümina içeriği In Ceram Alümina’ya oranla daha azdır. Ancak, estetik özellikleri gelişmiş olmasına rağmen, mekanik özellikleri yetersizdir.

In Ceram Zirconia ise, %67 oranında alüminyum oksit ve %35 oranında tetragonal yapıda zirkonyum oksit kristalleri içermektedir. Malzemenin kimyasal içeriği Çizelge 2.2’de gösterilmektedir<sup>34</sup>. Yapım aşamaları sırasında tetragonal fazdaki zirkonyum oksit kristalleri monolitik faza geçer. Bu, kristal hacminde %3-5’lik bir genişlemeye neden olur. Seramik yapısında oluşan genişleme, malzemede baskı oluşturarak yeni çatlak oluşumunu ve oluşan bir çatlağın ilerlemesini önler<sup>18</sup>. In Ceram Zirconia’nın yapım aşamaları kolaydır. Cam infiltrasyonu sırasında yapıda büzülme meydana gelmez. Bitim restorasyonun marjinal uyumu yüksektir<sup>18,34</sup>. In Ceram Zirconia’da yapıya zirkonyum oksit ilavesi ile hem bükülme dayanımı, hem de kırılma tokluğu artırılmıştır<sup>18</sup>. In Ceram Zirconia bükülme dayanımı, 600±30 MPa ve termal genişleme katsayısı  $7,7\pm 0,1 \times 10^{-6}$  dır<sup>34</sup>.

Çizelge 2.2 In Ceram Zirconia'nın kimyasal içeriği<sup>34</sup>

Oksitler	Kütle içerisindeki %
SiO <sub>2</sub>	14-18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14-18
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11-15
TiO <sub>2</sub>	2-7
CaO	5-12
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25-34
CeO <sub>2</sub>	4-9
ZrO <sub>2</sub>	1-3
Renk Oksitleri	<2

## 2.2. Tam Seramiklerin Mekanik Özellikleri

Herhangi bir malzeme üzerine kuvvet uygulandığında, bu malzemenin kuvvet karşısındaki davranışı bir diagramla gösterilir. Bu diagrama gerilim-gerinim eğrisi denir. Gerilim kısaca birim yüzeye uygulanan kuvvet olarak tanımlanır. Malzeme strese maruz kaldığında, yapısında bir deformasyon meydana gelir. Gerinim ise, birim uzunluktaki deformasyon miktarıdır. Stres altında yapıda;

- a) Elastik deformasyon
- b) Plastik deformasyon, meydana gelir.

Gerilim-gerinim eğrisinde elastik sınıra kadar materyal elastiktir. Elastik sınırdan sonra ise plastiktir; yapıda oluşan deformasyon kalıcıdır. Moleküler yapı tekrar eski halini almaz. Metaller gibi çekilebilir malzemeler plastik deformasyon gösterirken; cam, seramik gibi kırılğan malzemeler plastik deformasyon göstermez<sup>35</sup>. Dış hekimliğinde kullanılan seramikler gerilme kuvvetlerine karşı kırılğandır. Teorikte gerilme kuvvetlerine karşı dirençleri, pratikte gösterdikleri dirençten 100 kat daha fazladır<sup>36</sup>.

### 2.2.1. Young Modülü

Malzemenin elastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir<sup>37</sup>. Elastik sınırlar içinde malzemenin katılığını gösterir. Gerilim-gerinim eğrisinden belirlenebilir. Gerilim-gerinim eğrisinin linearitesinin bozulduğu noktada, gerilimin gerinime olan oranıdır. 'E' harfi ile gösterilir<sup>35</sup>.

### **2.2.2. Sertlik**

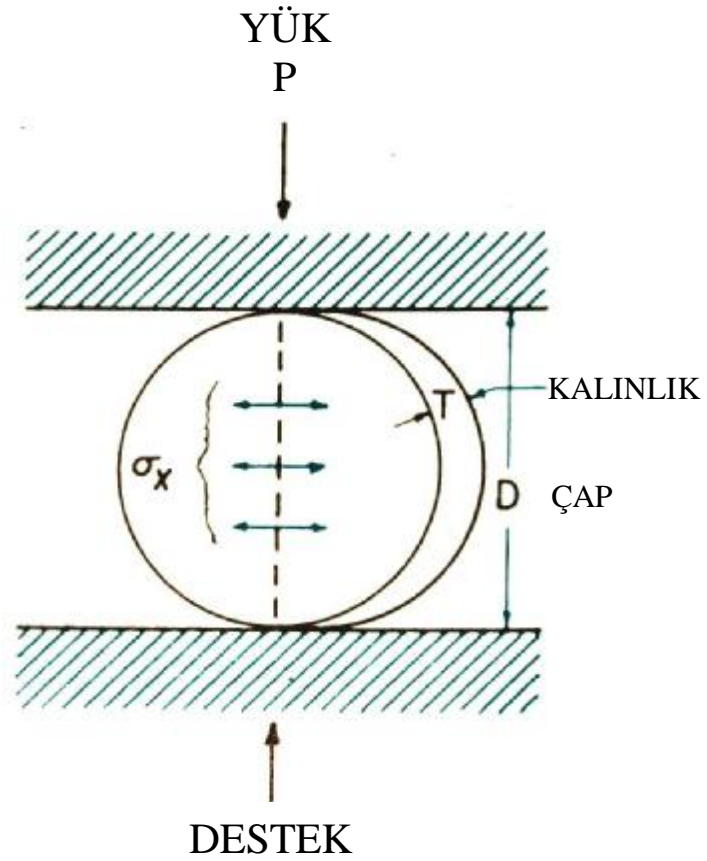
Malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir<sup>37</sup>. Başka bir ifade ile kalıcı yüzey indentasyonuna ya da kalıcı yüzey penetrasyonuna karşı gösterilen dirençtir<sup>35</sup>. ‘H’ harfi ile gösterilir.

### **2.2.3. Tokluk**

Malzemede oluşan çatlakın ilerlemesine karşı olan dirençtir<sup>37</sup>. Başka bir ifade ile tokluk, malzemede başarısızlığa neden olacak bir çatlakın başlaması için gerekli olan enerji olarak tanımlanır<sup>35</sup>. Tokluk, kırılma direncidir. Materyali kırılma noktasına getirmek için gerekli olan enerji miktarıdır. Gerilim-gerinim eğrisinde, elastik ve plastik kısımların altındaki alandır. Kırılma tokluğu, kırılma olmadan plastik olarak deforme olabilme yeteneği ya da kırılma için gerekli enerji miktarıdır. Seramik gibi kırılğan malzemeler için, kırılma ile birlikte bölgesel bir deformasyon olmaz. ‘T’ harfi ile gösterilir<sup>35</sup>.

### **2.2.4. Dayanım**

Dayanım, malzemenin dayanabileceği maksimum gerilme stresidir<sup>35</sup>. Materyalin kırıldığı andaki strese kırılma dayanımı ya da kırılma stresi denir<sup>35</sup>. Kırılğan materyallerde maksimum gerilme streslerinin kompresif test ile belirlendiği bir yol vardır. Bu test kolaydır ve tekrarlanabilir bir testtir. Bu teste, ‘tension için diametral kompresyon testi’ (Brezilyalı Testi ya da İndirekt Tensile Test) denir<sup>35</sup> (Şekil 2.1). Bu test için kırılğan materyalden hazırlanmış disk şeklinde örneklerin olması gerekir. Disk örnek, kırılma olana kadar test cihazında kompresyona tabi tutulur. Örneğe uygulanan kompresif stres, test cihazının kuvvet uygulama düzleminde, materyal içine bir gerilme stresi iletir. Bu tensile stres aşağıdaki formül ile bulunabilir ve bükülme dayanımını verir<sup>35</sup>.



Şekil 2.1 Kırılgan malzemelerde sıkışma kuvvetinin yapıda oluşturduğu gerilme streslerini göstermektedir<sup>35</sup>.

$$(\text{Gerilme Stresi}) \sigma_x = \frac{2P}{p \times D \times T}$$

P: Yük

D: Çap

T: Kalınlık

### 2.3. Hertzian Test

Hertz tarafından 1865 yılında bulunan bir test yöntemidir. Dental seramiklerin mekanik cevabında mikroyapının rolünü değerlendirmek için kullanılır<sup>38</sup>. Bu testte yüklemeler, ucunda tungsten karbid bir bilye bulunan yükleme ucu ile yapılır. Her bir malzemenin yük altında bir mekanik davranış biçimi vardır. Yapı strese maruz kaldığında, yapıda bir harabiyet meydana gelir. Hertzian test, dental seramiklerde, belli

bir yük altında strese maruz kalındığında, yapıda oluşan harabiyeti göstermede kullanılan iyi bir test protokolüdür. Nedeni, oral fonksiyonun temel elemanlarını taklit etmesi, kolay ve tekrarlanabilir olmasıdır. Ayrıca, maliyeti de yüksek değildir. Yapıda harabiyetin başlaması için gereken yük 'kritik yük' olarak ifade edilir. Seramik yapıda oluşan harabiyet, henüz çatlağın ilk başlangıcıdır. Bu yükün tespitinde kullanılan matematiksel formüller ve ilişkiler, Brian Lawn ve ark<sup>37</sup> tarafından tanımlanmıştır.

#### **2.4. Sonlu Elemanlar Stres Analizi**

Sonlu elemanlar stres analizi teorik gerilim analizi yöntemidir. Karmaşık geometrilerin analizinde oldukça yararlı bir yöntemdir. Bu yöntemle, üç boyutlu elemanlar kullanılarak gerilim ve gerinim belirlenebilir. Yöntemde, sonlu sayıda yapısal elemanlar, sonlu sayıda noktalarda bir araya getirilir. Bu sonlu elemanlar oluşturulurken, orijinal yapı belli sayıda kesitlere bölünür. Bu kesitler malzemenin gerçek özelliklerine sahiptir. Bir sonlu elemanlar modelinde gerilimlerin hesaplanabilmesi için, eleman sayısı ve kullanılacak elemanların elastik modül değerleri ile Poisson oranlarının bilinmesi gerekir. Maliyeti yüksektir. Sonlu elemanlar stres analizi ile elde edilen sayısal bulguların, deneysel bulgularla doğrulanması gerektiği vurgulanmaktadır<sup>35</sup>.

#### **2.5. Tabakalı Yapılar**

Laminate yapılar yıkıcı potansiyele sahip eksternal kuvvetlere karşı yumuşak alt veya ara tabakaları korumak için, sıklıkla kırılğan dış tabakalarla oluşturulur. Kırılğan dış tabakalar, aşınma, korozyon, termal ve elektriksel direnç de sağlar. Mühendislikte laminate yapıda kullanılan dış tabakalar bu bakış açısıyla tasarlanmıştır. Kron, kalp kapakçıkları ve kalça protezleri gibi biyouyumluluk, kimyasal stabilite ve estetiğin birinci derece önem taşıdığı biyomekanik sistemlerde laminate yapılar son derece önemlidir. Tabakalı sistemler seramik, metal, polimer ve kompozit gibi çok sayıda farklı materyali içerebilir. Seramikler prematüre başarısızlık göstermelerinden dolayı özellikle önemlidir. Seramik esaslı tabakalı yapılarda başarısızlığın primer kaynağı seramiklerdir. Bu nedenle, seramik esaslı tabakalı yapılarda, yapının ömrünü sınırlayan, materyal ve geometrik faktörlerin bilinmesi önemlidir. Tabakalı yapılar 4 ana grupta incelenir<sup>39</sup>.

1. Tek tabakalı yapılar
2. İki tabakalı yapılar
3. Üç tabakalı yapılar
4. Çok tabakalı yapılar

### 2.5.1. Tabakalı Yapılarda Harabiyet Şekilleri

Dental seramiklerde Hertzian test kullanılarak temas yüklemelerin altında harabiyet şekilleri gösterilmiştir. Oluşan harabiyet şekilleri aşağıdaki 4 faktöre bağlıdır<sup>37,39</sup>.

1. Seramiğin tipi (Mikroyapı)
2. Mikroçatlak karakteri
3. Yükleme şartları
4. Geometrik faktörler

Bunun yanında, kritik yük 2 geometrik faktöre bağlıdır<sup>37,39</sup>.

1. Tabakanın kalınlığı
2. Yükleme ucunun çapı

Kritik yük materyalle ilgili 4 faktöre bağlıdır<sup>37,39</sup>.

1. Materyalin elastik modülü
2. Materyalin dayanımı
3. Kırılgan elemanların tokluğu
4. Deforme olabilen elemanların sertliği

Tabakalı yapılarda harabiyet şekilleri 2 tiptir<sup>37,39</sup>.

1. 'Brittle mode': Gerilme streslerinden kaynaklanır. İlk olarak yüzeyde bir halka çatlak oluşur. Halka çatlak ilerleyen yüklemelerde konik çatlağa dönüşür. Kırılgan cam, kırılgan seramik ve ince grenli seramiklerde görülür.
2. 'Quasiplastic mode': Makaslama streslerinden kaynaklanır. Temas altında yield zonlarından yayılan mikroçatlaklar oluşur. Bu mikroçatlakların hızlı birleşimi ile yüzey altında radial çatlaklar oluşur. Kalın grenli ve tokluğu yüksek olan seramiklerde görülür. Özellikle nemli ortamlarda bu çatlaklar seramik dayanımını azaltır.

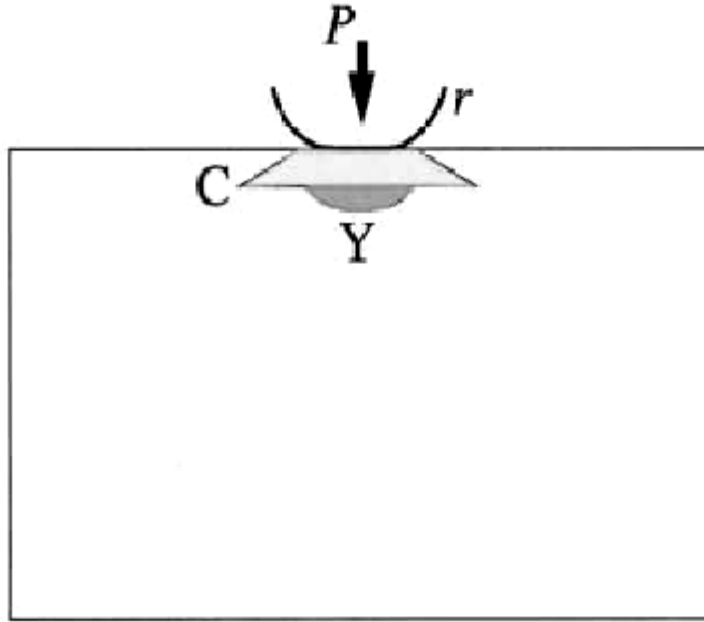
Tabakalı yapılarda oluşan harabiyetin gösterilmesinde 2 yöntem kullanılır<sup>37,39</sup>.



1. Direkt görüntüleme: Hertzian test sırasında ‘in situ’ görüntülenmez.
2. ‘Bonded interface’ tekniği: Hertzian test sonrasında yapılan görüntülenmez. Yüzeyler altınla kaplanarak Differansiyel İnterferens Kontrast yöntemi (DİK/ Nomarski Illumination) ile optik olarak incelenir.

### 2.5.1.1. Tek Tabakalı Yapılarda Harabiyet Şekilleri

Tek tabakalı yapılarda Hertzian kontak test sonrasında, ‘brittle’ ve ‘quasiplastic mode’ lar görülür<sup>37,39</sup> (Şekil 2.2). Kritik yükün üzerindeki bir yük değerinde, materyalin elastik sınırını aştığından, seramik yüzeyinde küresel yükleme ucunun altında geri dönüşümsüz bir harabiyet meydana gelir. Bu harabiyet iki şekilde kendini gösterir. ‘Brittle mode’da gerilme streslerinden kaynaklanan konik çatlaklar görülür. Bu çatlaklar, ilk olarak yüzeyde bir halka çatlak oluşumu ile başlar. ‘Quasiplastic mode’da ise yüzey altındaki ‘yield zone’lardan dağılan mikro çatlaklar vardır. Bu mikro çatlaklar makaslama streslerinden kaynaklanır<sup>37,39</sup>.



Şekil 2.2 Tek tabakalı yapılarda Hertzian kontak testinin şematik resmi. (P uygulanan yükü, r yükleme ucu çapını gösterir. Harabiyet konik çatlama ‘C’ (‘brittle mode’) ve ‘yield’ ‘Y’ (plastik ya da ‘quasiplastic mode’) şeklinde oluşabilir<sup>37,39</sup>).

Tek tabakalı yapılarda ‘brittle’ ve ‘quasiplastic mode’lar için bir kritik yük değeri vardır. ‘Brittle mode’ için kritik yük değeri ‘ $P_C$ ’ ve ‘quasiplastic mode’ için kritik yük değeri ‘ $P_Y$ ’ ile gösterilir ve matematiksel bir formül ile açıklanır. Formülde

görüldüğü üzere, 'brittle mode' için gereken kritik yük değeri materyalin tokluğuna bağımlı iken; 'Quasiplastic mode' için gereken kritik yük değeri materyalin sertliğine bağımlıdır<sup>37,39</sup>.

$$P_C = A \times (T^2 / E) \times r$$

$$P_Y = D \times H \times (H / E)^2 \times r^2$$

P : Yük

A ve D: Boyutsal katsayılar

E : Elastik modül

H : Sertlik

T : Tokluk

r : İndenter çapı

### 2.5.1.2. İki Tabakalı Yapılarda Harabiyet Şekilleri

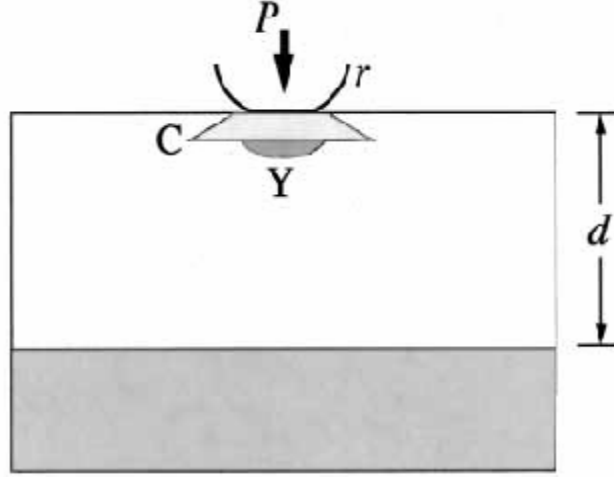
İki tabakalı yapılarda Hertzian kontak test sonrasında, seramik üst yüzeyinde 'brittle' ve 'quasiplastic mode'lar ile seramik alt yüzeyinden (seramik-dentin ara yüzeyinden) başlayan radial çatlaklar görülür<sup>37,39</sup>. İki tabakalı sistemlerde, tabakaların elastik modüllerinin birbiri ile olan ilişkisi önemlidir ve oluşan harabiyet şeklini etkiler. Alt tabakanın yumuşak, üst tabakanın sert olduğu iki tabakalı sistemlerde, tek tabakalı sistemlere benzer bir harabiyet şekli görülür. Ancak, iki tabakalı sistemlerde oluşan konik çatlakların çapı daha büyüktür<sup>37,39</sup>. Alt tabakanın sert, üst tabakanın yumuşak olduğu iki tabakalı sistemlerde ise; kalın üst tabakalarda konik çatlaklar oluşurken, ince üst tabakalarda ara yüzeyden başlayan radial çatlaklar oluşur<sup>37,39</sup> (Şekil 2.3 ve 2.4).

İki tabakalı yapılarda 'brittle mode' için olan kritik yük değeri ' $P_C$ ', 'quasiplastic mode' için kritik yük değeri ' $P_Y$ ' ve radial çatlak oluşumu için kritik yük değeri ' $P_R$ ' ile gösterilir. 'Brittle mode' için gereken kritik yük değeri materyalin tokluğuna bağımlı iken; 'quasiplastic mode' için gereken kritik yük değeri materyalin sertliğine bağımlıdır<sup>37,39</sup>. Radial çatlak oluşumu için gereken yük değeri ise dayanıma ve üst tabakanın kalınlığına bağımlıdır. Yükleme ucunun çapından bağımsızdır.

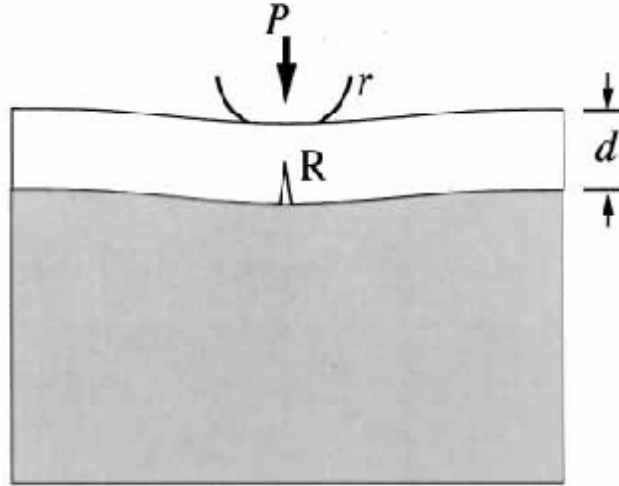
$$P_Y = G \times H_s \times d^2 \quad (G = a + b \times E_C / E_S)$$

$$P_R = B \times S_C \times d^2 / \log(C \times E_C / E_S)$$

- A, B, C,  $\alpha$ ,  $\beta$  : Katsayılarıdır.  
d : Seramik kalınlığı  
 $E_C$  : Üst tabakanın elastik modülü  
 $E_S$  : Alt tabakanın elastik modülü



Şekil 2.3 İki tabakalı yapılar için Hertzian temas testi şematik resmi. (P uygulanan yükü, r yükleme ucunun çapını gösterir. Seramik üst tabakanın kalın olduğu iki tabakalı sistemlerde harabiyet, konik çatlama 'C' ('brittle mode') ve yield 'Y' (plastik ya da 'quasiplastic mode') şeklinde görülür<sup>37,39</sup>).



Şekil 2.4 İki tabakalı yapılar için Hertzian temas testi şematik resmi. (P uygulanan yükü, r yükleme ucunun çapını gösterir. Seramik üst tabakanın ince olduğu iki tabakalı sistemlerde seramik bükülür; harabiyet, seramik/alt tabaka ara yüzeyinden başlayan, yukarı ve dışarı doğru uzanan radial çatlaklar şeklinde görülür<sup>37,39</sup>).

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Dentin dokusu üzerine resin siman ile yapıştırmanın tam seramik restorasyonun dayanımı üzerine etkisinin incelenmesinde, resin simanla dentin dokusuna bağlanan seramik diskler Hertzian kontak test uygulandı. Feldspatik seramiklere 100 N ila 600 N, IPS Empress 2 ve In Ceram Zirconia seramiklerine 200 N ila 850 N yük aralığında yükleme yapıldı. Seramik yapıda oluşan hakla çatlaklar ve Quasiplastisite ile radial çatlaklar Differansiyel İnterferens Kontrast yöntemi (DİK/Nomarski Interferens Contrast/Nomarski Illumination) ile optik olarak incelendi. In Ceram Zirconia, IPS Empress 2 ve feldspatik seramiğin dentine resin simanla bağlanması ile oluşan iki tabakalı sistemde hertzian yükleme sonucunda oluşan stresler, sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile incelendi. Teorik gerilim analizi yöntemi ile Hertzian test sonuçları karşılaştırıldı.

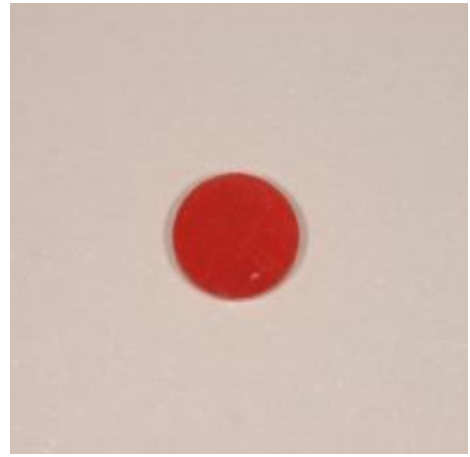
#### 3.1. Test Örneklerinin Hazırlanması

Dentin disk örneklerinin hazırlanması için, yeni çekilmiş  $10 \pm 3$  mm mesiodistal ve  $10 \pm 2$  mm bukkolingual genişliğe sahip 210 adet çürüksüz molar diş toplandı ve %0,5 kloramin solüsyonunda bekletildi. Dişler üzerinde bulunan periodontal dokular ve diğer artıklar kretuvar yardımıyla temizlendi. Dişlerin pomza ve alçı-alkol ile polisajı yapıldıktan sonra, 5 dakika ultrasonik temizleyicide distile su içerisinde bırakıldı. Dişler ultrasonik temizleyicide distile suda temizlendikten ve kurutulduktan sonra mine-sement birleşim yerinin 2 mm apikalinden akrilik resin içerisine gömüldü. Dişler okluzal yüzeyden pulpa dokusuna doğru okluzal yüzeye paralel olacak şekilde 500 rpm hızla sulu ortamda elmas frezlerle kesildi. Böylece dişin servikookluzal olarak orta üçlüsünden 2 mm kalınlığında, 8 mm çapında dentin diskler elde edildi (Şekil 3.1). Ağız ortamında  $45\mu\text{m}$  ince frezle diş dokusunda yapılan preparasyonun taklit edilmesi amacıyla dentin disklerin üst yüzeyi 320 grit büyüklüğündeki silikon karbid ile aşındırıldı. Feldspatik disk örnekler, üretici firmanın talimatları doğrultusunda 90 adet hazırlandı. IPS Empress 2 ve In Ceram Zirconia disklerin yapımında kullanılmak üzere, 7 mm çapında ve 2 mm derinliğinde bir metal kalıp içerisinde patern resin diskler üretildi (Şekil 3.2). Patern resin diskler, IPS Empress 2 cam seramik için, üretici firmanın talimatları doğrultusunda üretildi. Patern resin diskler tıjlandı; IPS Empress

2'nin özel revetmanına alındı. Ön ısıtma fırınında mum atımı yapılan manşete Empress 2 seramik ingot basınç altında preslenerek, Empress 2 fırınında dökümü yapıldı ve 60 adet Empress 2 disk elde edildi. In Ceram Zirconia disk örnekler ise patern resin disklerden hazırlanan silikon indeks kullanılarak, üretici firmanın talimatları doğrultusunda elde edildi (Şekil 3.3). Feldspatik disk örneklerin yapımında, 8mm çapında ve 2 mm yüksekliğinde bir metal kalıp kullanıldı (Şekil 3.4).



Şekil 3.1 2 mm kalınlığında dentin disk



Şekil 3.2 Patern resin disk örnek



Şekil 3.3 IPS Empress 2, feldspatik ve In Ceram Zirconia seramiklerinden disk örnekler



Şekil 3.4 Dentin disklerin hazırlandığı metal kalıp

Seramik disk örnekler sırasıyla 120 ve 320 grit büyüklüğünde silikon karbid ile aşındırılarak  $1 \pm 0,02$  mm,  $1,5 \pm 0,02$  mm ve  $2 \pm 0,02$  mm kalınlığına getirildi. Seramik yüzeylerinin polisajında, ilk olarak 500, 800 ve 2500 grit silikon karbid kullanıldı.

Seramik yüzeyleri, alumina süspansiyonu ile  $0,3\mu$  ve koloidal  $\text{SiO}_2$  süspansiyonu ile  $0,04\mu$ 'a kadar inceltildi.

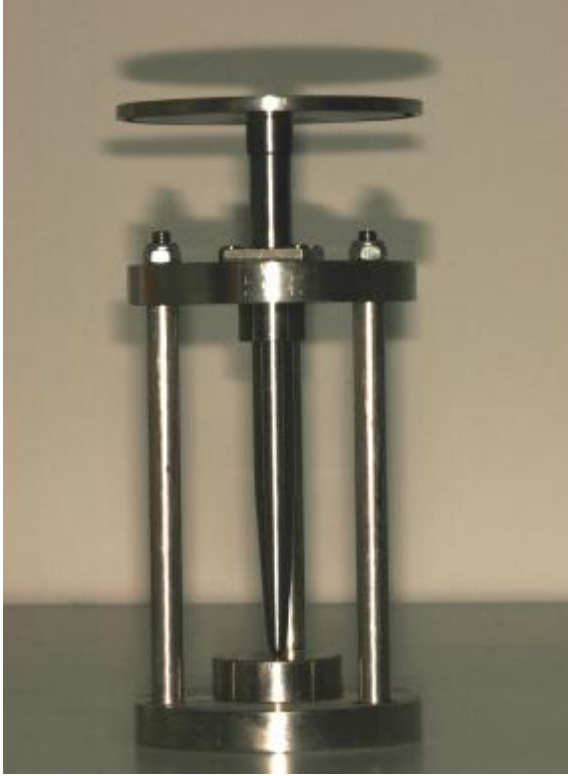
Seramik diskler dentin disklere resin siman (Panavia F, Kuraray Co., Japan) ile üretici firmanın talimatları doğrultusunda yapıştırıldı. Tam seramik restorasyonların resin siman ile diş dokusuna simantasyonu, restorasyon ve diş yüzeyinin muamelesi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirildi. Restorasyon yüzeyine  $30\mu$  ila  $50\mu$  alümina partikülleri kullanılarak, düşük hava basıncı ( $1-2 \text{ kg/cm}^3$ , 14-28 PSI ) altında kumlama yapıldıktan sonra %37'lik fosforik asit (K Etchant Gel, Kuraray Co., Japan) uygulandı. Fosforik asit uygulamasından sonra, restorasyon yüzeyi yıkandı ve kurutuldu. Son olarak restorasyon yüzeyine, Clearfil porselen bond aktivatör ve Clearfil Se bond primer karışımı ile silan (Clearfil porselen bond aktivatör + Clearfil Se bond primer, Kuraray Co., Japan) uygulaması yapıldı (Şekil 3.5). Likid A ve Likid B eşit oranlarda karıştırılarak diş yüzeyine uygulandı. Uygulamadan sonra 60 saniye beklendi. Yüzeyde bulunan fazla primer temizlendikten sonra yüzey kurutuldu. Paste A ve Paste B eşit oranlarda karıştırılarak simantasyon gerçekleştirildi. Siman artığı kenarlardan temizlendi ve 20 saniye ışınla sertleştirildi.



Şekil 3.5 Resin simanın asit ve silanı

Kron simantasyonu sırasında klinikte uygulanan yükü taklit etmek amacıyla bir yükleme düzeneği hazırlandı (Şekil 3.6, Şekil 3.7). Yükleme düzeneği kullanılarak okluzalden  $50 \text{ N}$ 'luk statik yük 5 dakika uygulandı<sup>40</sup>. Siman artığı sond yardımıyla

uzaklaştırıldı. Simantasyondan sonra test örnekleri, Hertzian kontakt test öncesinde distile suda 37°C’de 24 saat bekletildi (Şekil 3.8, Şekil 3.9).



Şekil 3.6 Yükleme düzeneği



Şekil 3.7 Yükleme düzeneği



Şekil 3.8 Test örneklerinin üstten görünümü



Şekil 3.9 Test örneklerinin yandan görünümü

### 3.2. Hertzian Kontakt Test

Hertzian kontak test, Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Diş Hekimliği Bilimleri Araştırma Birimi, Biyomekanik Araştırma laboratuvarında niversal test cihazı (Testometric, Testometric Co, UK) kullanılarak yapıldı. 3.98 mm çapında tungsten karbid bilye uca sahip bir yükleme ucu hazırlandı ve niversal test cihazına bağlandı (şekil 3.10, şekil 3.11).



şekil 3.10 Yükleme ucu. 3, 98 mm çapında tungsten karbid bilye yükleme ucuna sabitlenmiştir.



şekil 3.11 niversal test cihazı



Yapılan ön çalışmada, 1 mm ve 1,5 mm IPS Empress 2 ve feldspatik seramik disklerinden test örnekleri hazırlandı. Seramiklerin her bir kalınlığı için 2 adet örneğin kullanılması düşünüldü. Ön çalışmada yüklemeye, literatürde rapor edilen minimum çigneme kuvveti olan 100 N'dan başlandı. Her bir örnekte 5 yükleme yapıldı ve her yüklemeye uygulanan yük 50 N artırıldı. Empress örneklerde yüklemeler 150 N'dan başladı. Seramik yüzeyinde oluşan halka çatlakları ile seramik alt yüzeyinde oluşan radial çatlaklar DİK yöntemi ile incelenerek, fotoğraflandı. Seramik alt yüzeyinde oluşan radial çatlakların incelenmesi için, seramik disk dentin diskten ayrıldı. Ön çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda, bu çalışmada kullanılan yükleme aralığı belirlendi.

Feldspatik örneklere 100 N ila 600 N yük aralığında, IPS Empress 2 ve In Ceram Zirconia örneklere 200 N ila 850 N yük aralığında yükleme yapıldı. Uygulanan yük her bir yüklemeye 50 N artırıldı. Yüklemeler dakikada 0,2 mm sabit hızda sıkışma kuvveti ile seramik yüzeyine dik olarak gerçekleştirildi.

### **3.3. Optik İnceleme**

Halka çatlakları ve quasiplastik deformasyon optik mikroskopta (Olympus Optical Co. Ltd, Japan) x10'lük büyütmede Differansiyel İnterferens Kontrast ile incelendi. Radial çatlakların değerlendirilmesi için örnekler, mekanik olarak dentin disklerden ayrıldı. Resin siman silikon karbid zımpara yardımıyla mekanik olarak seramik yüzeyinden uzaklaştırıldıktan sonra, x20'lük büyütmede optik mikroskopta (Leica DMLSP, Leica Microsystem, Wetzlar GmbH, Germany) görüntüledi.

### **3.4. Sonlu Elemanlar Stres Analizi**

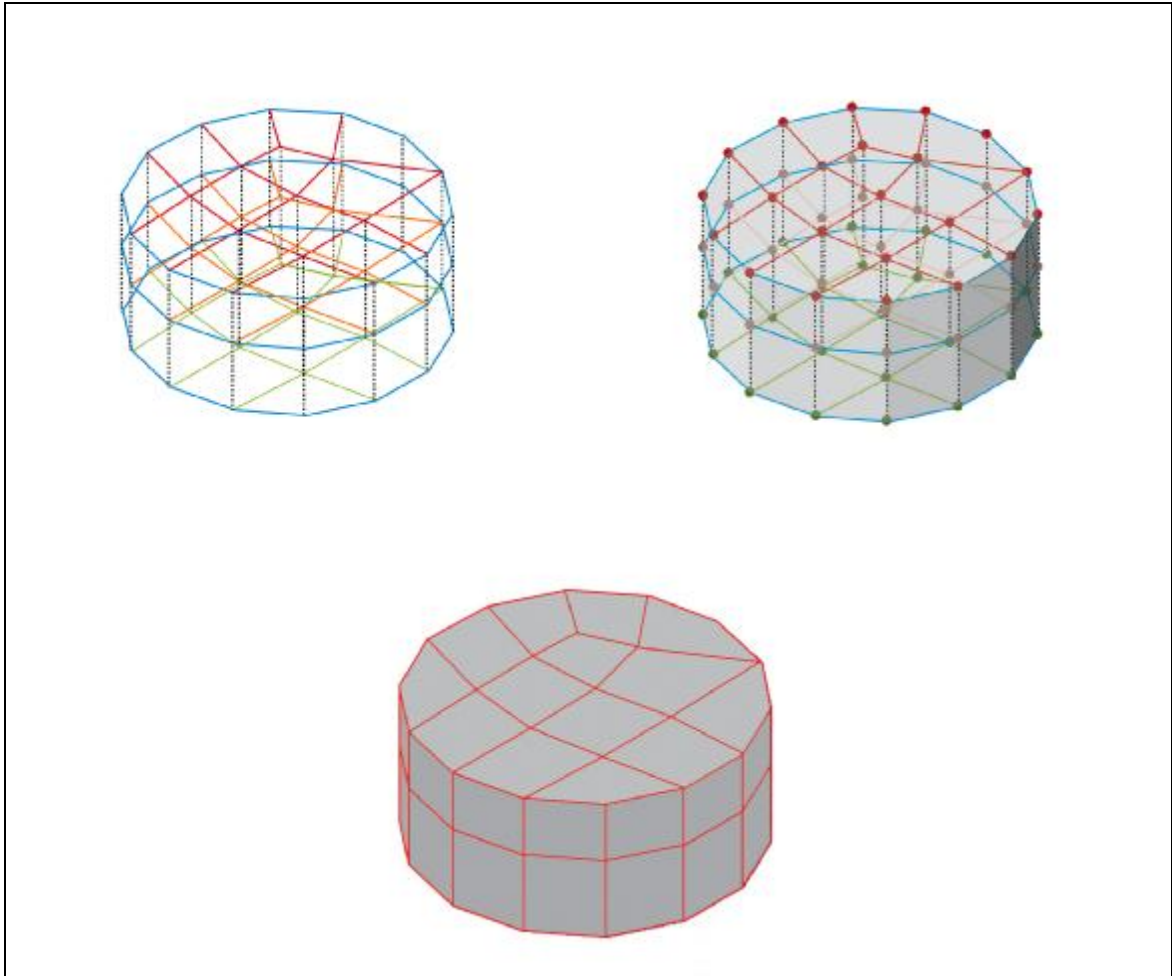
#### **3.4.1. İki Tabakalı Seramik-Dentin Sisteminin Üç Boyutlu Modeli**

Sonlu elemanlar stres analiz programı (JL Analyzer (Auto FEA Eng. Software Techn. Inc.) kullanılarak, disk şeklinde 7 mm çapında iki tabakalı (2 mm kalınlığında dentin tabakası; 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm kalınlığında seramik tabakası ve iki tabaka arasında 0,03 mm kalınlığında resin siman) sistemin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturuldu (Şekil 3.12). İki tabakalı sistemin üç boyutlu sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında kullanılan malzemelerin materyal özellikleri Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir. Sonlu elemanlar modelinde multiangular elemanlar kullanıldı.

Oluşturulan bu üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde, aynı zamanda çizgisel, vertikal ve horizontal çatlak ve hava kabarcığı gibi yapıda oluşan bir takım farklı defektleri de içermektedir.

Çizelge 3.1 Sonlu elemanlar stres analizinde kullanılan materyallerin elastik modülleri (GPa: giga paskal) ve Poisson oranları ( $\nu$ ).

Materyal	Üretici Firma	Young Modülü	Poisson Oranı
Feldspatik	Ceramco Dentsply	70 <sup>(39)</sup>	0.19 <sup>(39)</sup>
IPS Empress II	Ivoclar Vivadent	90 <sup>(54)</sup>	0.27 <sup>(47)</sup>
Zirconia	VITA Zahnfabrik	205 <sup>(39)</sup>	0.19 <sup>(39)</sup>
Panavia F	Kuraray Dental	8 <sup>(39)</sup>	0.33 <sup>(39)</sup>
Dentin	-	16 <sup>(39)</sup>	0.31 <sup>(39)</sup>

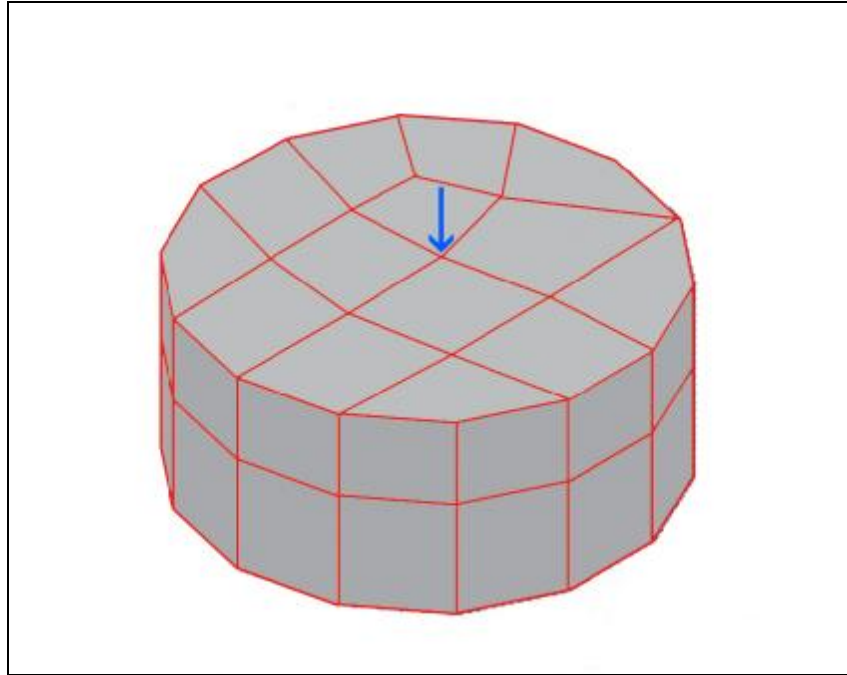


Şekil 3.12 Oluşturulan iki tabakalı seramik-dentin sisteminin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli. Model 28 eleman ve 66 noktadan oluşmaktadır.

### 3.4.2. Yükleme ve Analizler

İki tabakalı seramik-dentin disklerin 150 N ila 850 N'luk yük aralığında, yük her bir örnekte 50 N artırılarak, merkezden yüklendiğinde, sistemde oluşan stres dağılımı, üç boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılarak incelendi(Şekil 3.13). Her bir örnek için uygulanan yükte, sistemde çatlakın hangi bölgeden başladığı (seramik üst tabakasından ya da seramik alt tabakasından) ve oluşan maksimum gerilme değerleri ( $P_{max}$ ) hesaplandı. Elastik limit değerinin aşılmasının bir göstergesi, nonlinearitenin ya da plastik deformasyonun başlangıcı olan yük değeri tespit edildi.

1. Bu üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde kullanılan tüm materyallerin homojen, izotrop ve linear elastik olduğu,
2. Ara yüzeylerin tam olarak birbirine temasta olduğu,
3. Yapılan yüklemelerde, örnek yüzeyi ile yükleme ucu temasında arada sürtünmenin olmadığı, kabul edildi.



Şekil 3.13 İki tabakalı seramik-dentin sisteminin üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde yükleme

## 4. BULGULAR

Resin simanla dentin dokusu üzerine yapıştırmanın iki farklı tam seramik malzemenin dayanımı üzerine etkisinin incelendiği bu çalışmanın bulguları, Hertzian test sonrasında yapılan optik inceleme ve sonlu elemanlar stres analizi bulguları olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

### 4.1. Optik İnceleme Bulguları

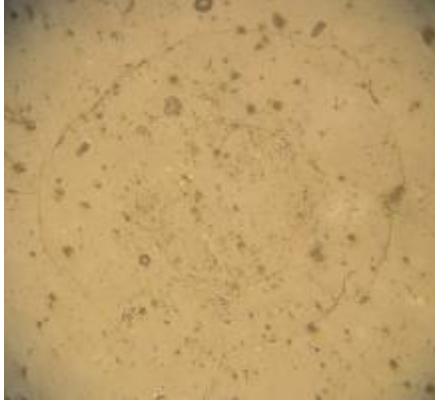
Resin simanla dentin dokusu üzerine bağlanan farklı kalınlıklardaki In Ceram Zirconia, IPS Empress 2 ve feldspatik seramiklerinin, ön çalışma neticesinde belirlenen yük aralığında yapılan hertzian kontak test yüklemeleri sonrasındaki harabiyet şekilleri olan halka çatlaklar ve quasiplastic deformasyon, radial çatlaklar ile Çizelge 4.1’de sırasıyla ‘C’ ve ‘R’ olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan üç farklı seramik sitemde farklı kalınlıklarda görülen harabiyet şekilleri. (C; quasiplastic deformasyon, R; radial çatlak, F; katastrofik başarısızlık, N; newton, mm; milimetre, \*; harabiyet var, -; harabiyet yok, ●; yükleme yok)

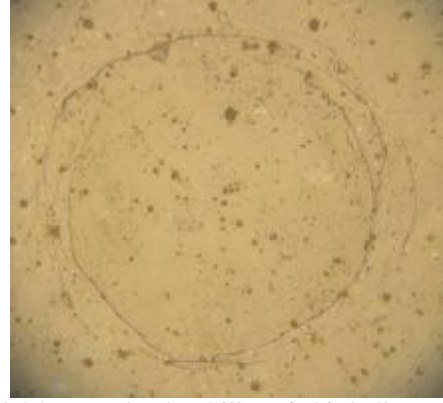
YÜK	ZİRCONİA				IPS EMPRESS II				FELDSPATİK SERAMİK					
	1 mm		1,5 mm		1 mm		1,5 mm		1 mm		1,5 mm		2 mm	
	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R
100 N	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-
150 N	●	●	●	●	●	●	●	●	-	*	-	-	-	-
200 N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-
250 N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	*	-
300 N	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	-
350 N	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	-
400 N	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*
450 N	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	*	*	*	*
500 N	F	F	-	-	-	*	-	-	F	F	*	*	*	*
550 N	F	F	-	-	F	*	-	-	F	F	*	F	*	*
600 N	F	F	-	-	F	F	-	-	F	F	F	F	*	*
650 N	F	F	-	-	F	F	-	-	●	●	●	●	●	●
700 N	F	F	-	-	F	F	-	-	●	●	●	●	●	●
750 N	F	F	-	-	F	F	-	-	●	●	●	●	●	●
800 N	F	F	-	-	F	F	-	-	●	●	●	●	●	●
850 N	F	F	-	-	F	F	-	*	●	●	●	●	●	●

Feldspatik seramik örneklerde uygulanan yük aralığında quasiplastic deformasyon görülmüştür. In Ceram Zirconia ve IPS Empress 2 seramik örneklerde, seramik kalınlığındaki farklılığa rağmen, seramiğin üst tabakasında quasiplastic deformasyon görülmemiştir. 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm kalınlığındaki feldspatik seramiklerin yükleme yüzeyinde, 250 N, 300 N ve 350 N yüklemelerinde tam olarak şekillenmemiş halka çatlak oluşurken; 300 N, 350 N ve 450 N yüklemelerinde tüm örneklerde halka tam olarak şekillenmiştir. Yükleme alanında seramik yüzeyinde bir çöküntü ve çevresinde çoklu halkalar gözlenmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6).

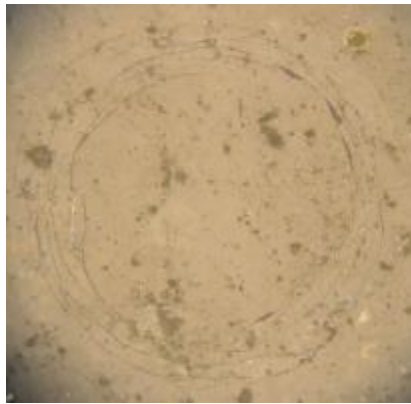
Feldspatik seramik örneklerin tamamında artan yüklerde (500 N, 550 N ve 600 N), temas yerinde oluşan halkaların sayısı artmakla birlikte, yüzeyde oluşan çöküntü de daha belirgin ve daha derin olarak izlenmiştir (Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6).



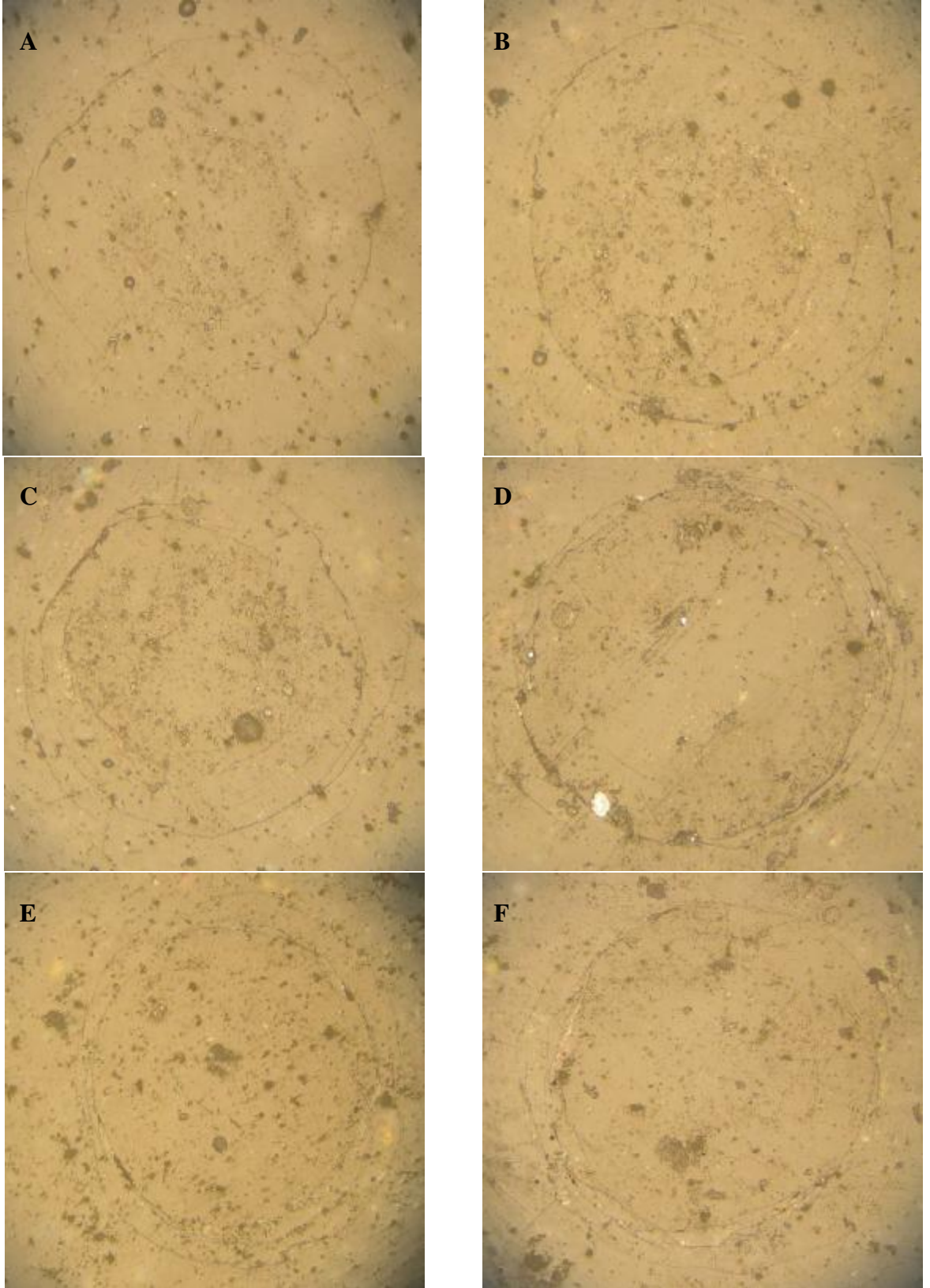
Şekil 4.1 Tam olarak şekillenmemiş bir halka çatlak (1 mm kalınlığında feldspatik örnek, 300 N.)



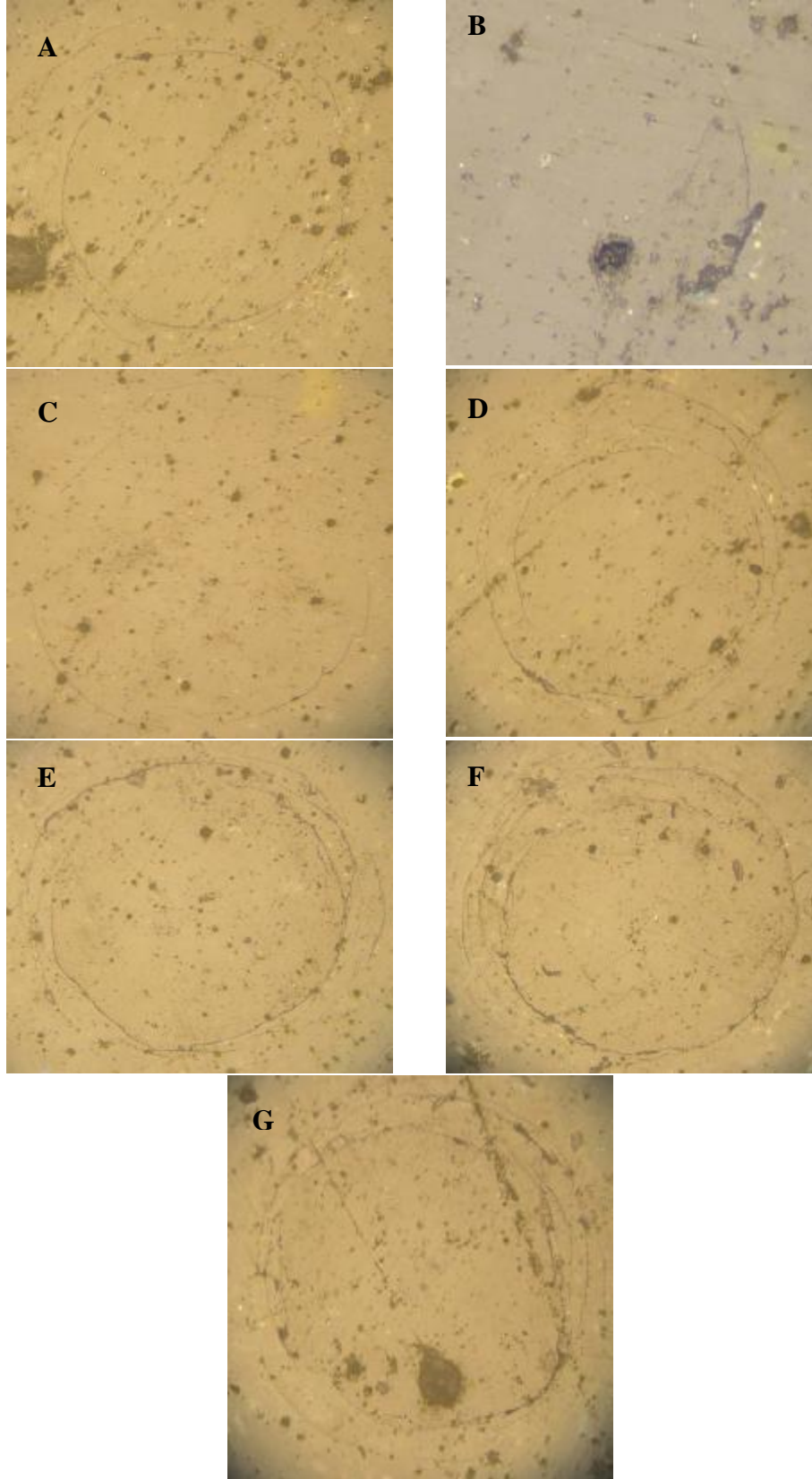
Şekil 4.2 Tam olarak şekillenmiş bir halka çatlak (1,5 mm kalınlığında feldspatik disk örnek, 450 N. Etrafında çok sayıda ringler izlenmektedir.)



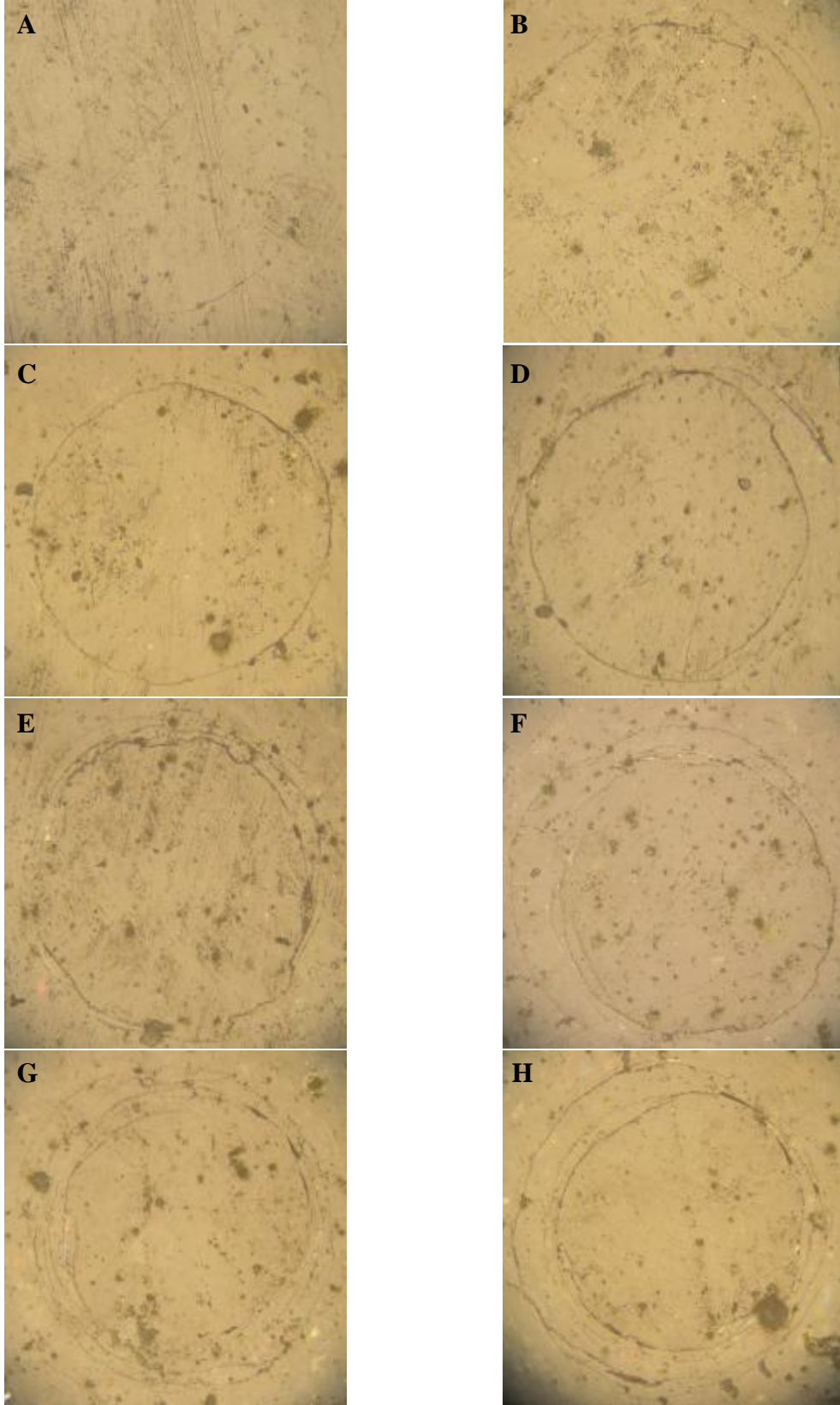
Şekil 4.3 Çoklu halka çatlaklar (2 mm kalınlığında feldspatik disk örnek, 550 N.)



Şekil 4.4 Feldspatik seramik kalınlığının 1 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde halka çatlaklar (A: 300 N, B: 350 N, C: 400 N, D: 450 N, E: 500 N ve F: 550 N yüklemeleri.)



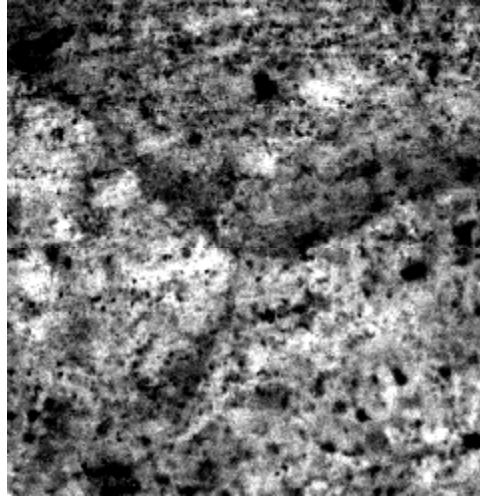
Şekil 4.5 Feldspatik seramik kalınlığının 1,5 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde halka çatlaklar (A: 250 N, B: 300 N, C: 350 N, D: 400 N, E: 450 N, F: 500 N ve G: 550 N yüklemeleri.)



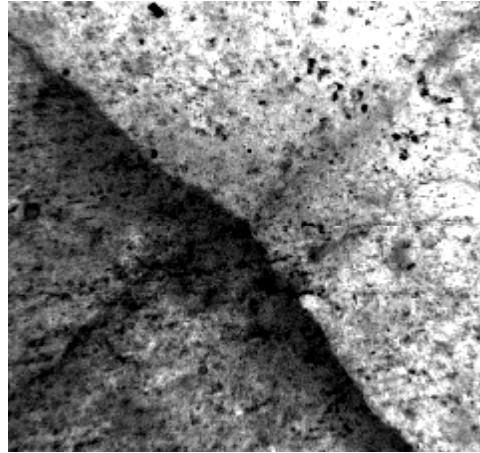
Şekil 4.6 Feldspatik seramik kalınlığının 2 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde halka çatlaklar (A: 250 N, B: 300 N, C: 350 N, D: 400 N, E: 450 N, F: 500 N, G: 550 N ve H: 600 N yüklemeleri.)



Seramik kalınlığının 1 mm olduğu feldpatik örneklerde, ilk radial çatlak 150 N yüklemesinde izlenmiştir. Artan yüklerde çatlakların daha belirgin ve çok yönlü olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de seramik kalınlığının 1 mm olduğu feldpatik örneklerde, 150 N ve 350 N yüklemelerinde oluşan radial çatlakların gelişim evreleri gösterilmiştir. Seramik kalınlığının 1 mm olduğu IPS Empress 2 örneklerde radial çatlak ilk olarak 500 N yüklemesinde görülürken, 550 N yüklemesinde çatlakların yıldız şeklini aldığı ve yan dallara ayrılarak radial olarak uzandığı görülmüştür.

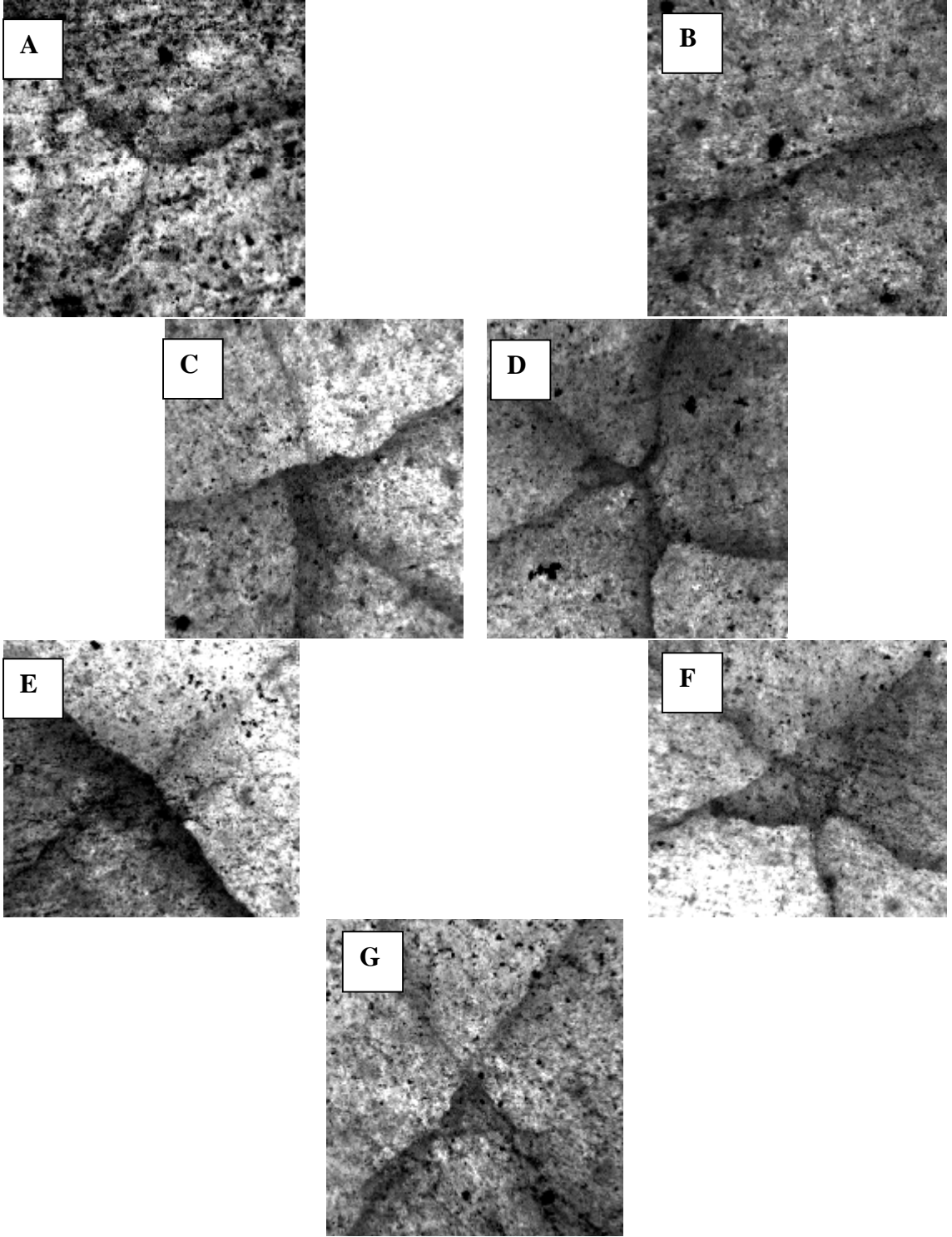


Şekil 4.7 Radial çatlak başlangıcının mikroskopik görüntüsü (1 mm kalınlığında feldspatik disk örnek, 150 N)

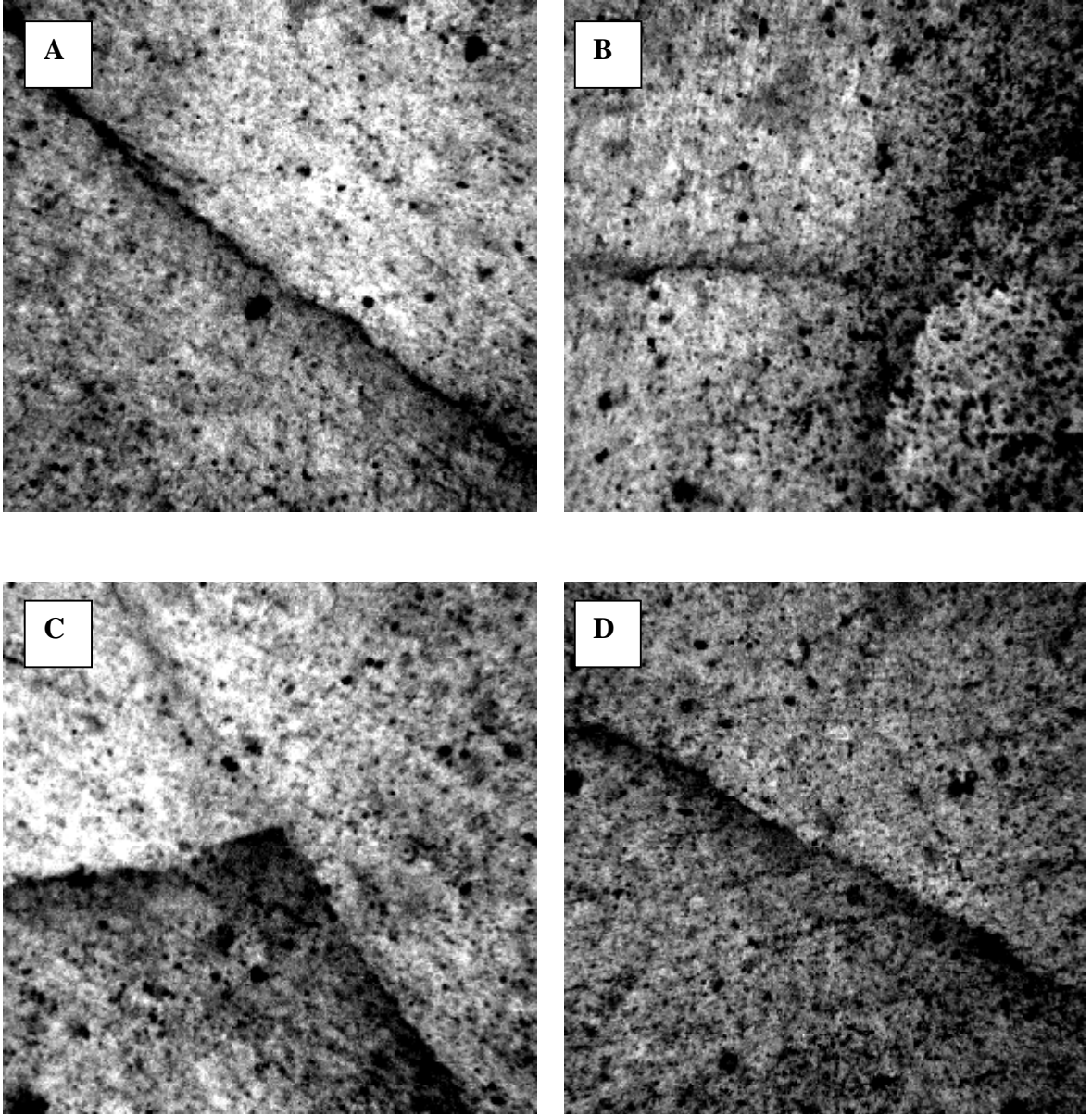


Şekil 4.8 Yıldız şeklinde yan dallara ayrılmış radial çatlakın mikroskopik görüntüsü (1 mm kalınlığındaki feldspatik disk örnek, 350 N)

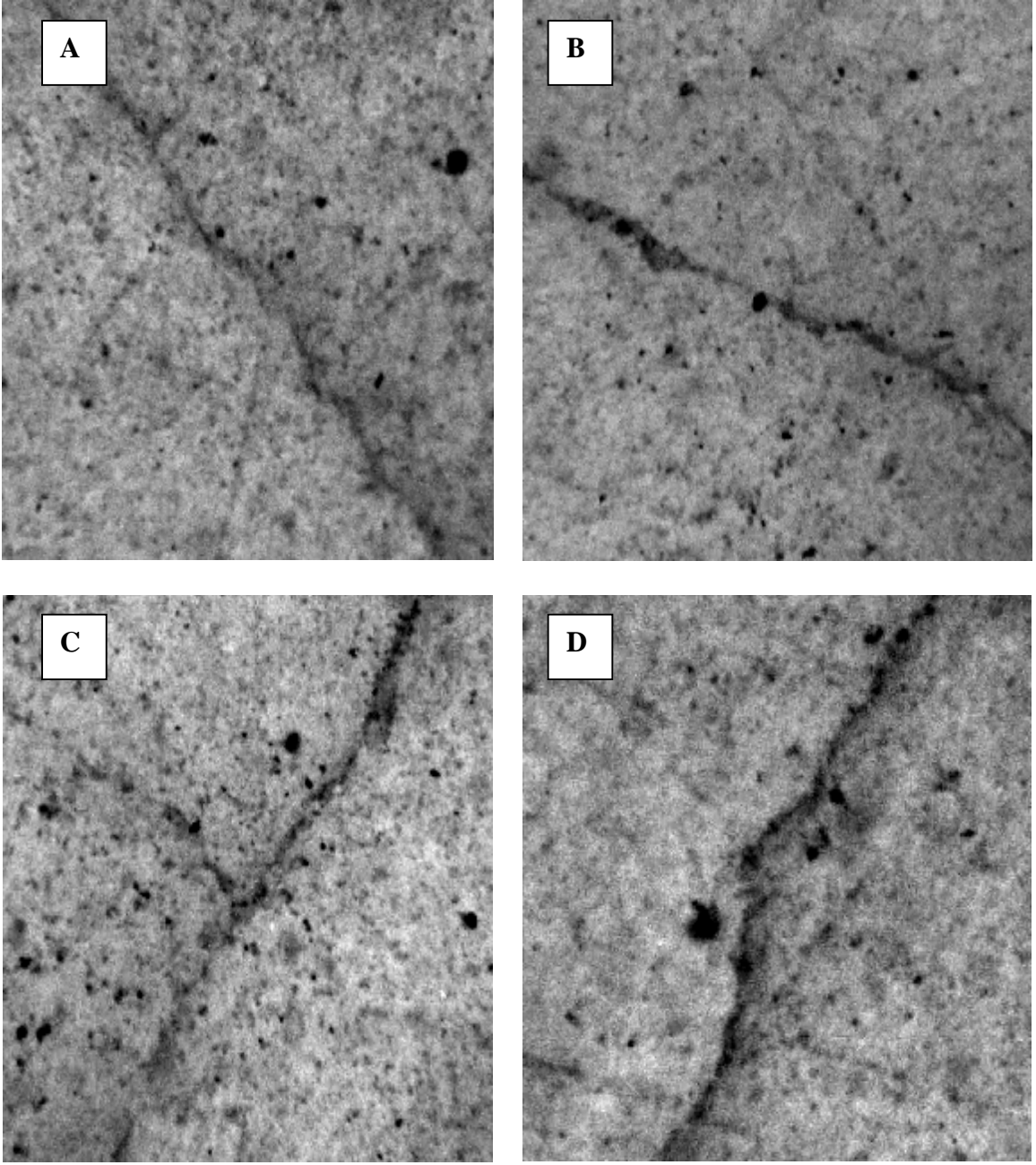
Feldspatik seramik örneklerde seramik kalınlığı arttıkça, sistemde quasiplastic cevabın radial çatlak oluşumundan önce meydana geldiği görülmektedir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.9 Feldspatik seramik kalınlığının 1 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde radial çatlaklar. (A: 150 N, B: 200 N, C: 250 N, D: 300 N, E: 350 N, F: 400 N ve G: 450 N yüklemeleri.)



Şekil 4.10 Feldspatik seramik kalınlığının 1,5 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde radial çatlaklar (A, B: 400 N, C: 450 N, D: 500 N yüklemeleri.)



Şekil 4.11 Feldspatik seramik kalınlığının 2 mm olduğu iki tabakalı seramik-dentin sistemlerde radial çatlaklar (A: 400 N, B: 500 N, C: 550 N ve D: 600 N yüklemeleri.)

#### 4.2. Sonlu Elemanlar Stres Analizi Bulguları

İki tabakalı seramik-dentin sisteminin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli üzerinde yapılan stres analizinde, seramik malzemenin devamlılığının bozulmadığı varsayılmaktadır. Sistem seramik üst tabakasından merkezi olarak yüklendiğinde, yükleme noktasında sıkışma streslerinden yoğun bir alan oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, gerilme stresleri, sıkışma streslerinin yoğunlaştığı bu alanın dışında, radial olarak gelişmektedir.

Sonlu elemanlar modeli üzerinde yapılan hesaplamalar, Hertzian yüklemelerinden sonra iki tabakalı seramik-dentin sisteminde oluşan maksimum gerilme streslerinin, seramik alt tabakasinda yoğunlaştığını; seramik tipine ve seramik tabakasının kalınlığına göre değiştiğini göstermiştir (Çizelge 4.2).

Tüm seramiklerde, Hertzian kontak test sonucunda mekanik başarısızlığının gerçekleştiği yüklerde malzeme üzerinde oluşan streslerin, malzemenin gerilme dayanım değerlerinin çok üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Sonlu Elemanlar Analizi bulguları. Kullanılan üç farklı seramik sitemde farklı kalınlıklarda sonlu elemanlar stres analizinde harabiyetin başladığı yük değeri, harabiyetin oluştuğu seramik yüzeyi, oluşan maksimum gerilme stresi ve malzemenin gerilme dayanımı. (mm; milimetre, N; Newton,  $\delta_{Max}$ ; maximum gerilme stresi, MPa; mega paskal, L; alt)

Seramik tipi/Seramik kalınlığı	Yük (N)	Maksimum gerilme stresi $\delta_{Max}$ (MPa)	Maksimum gerilme dayanımı (MPa)	Seramik yüzeyi
Zirconia1 mm	600 N	1250	600 <sup>(34)</sup>	Alt (L)
Zirconia1,5 mm	750 N	1562	600 <sup>(34)</sup>	Alt (L)
Empress1 mm	550 N	1145	420 <sup>(37,39)</sup>	Alt (L)
Empress1,5 mm	650 N	1354	420 <sup>(37,39)</sup>	Alt (L)
Feldspathic1 mm	250 N	520	130 <sup>(37)</sup>	Alt (L)
Feldspathic1,5 mm	400 N	833	130 <sup>(37)</sup>	Alt (L)
Feldspathic2 mm	500 N	1041	130 <sup>(37)</sup>	Alt (L)

## 5. TARTIŞMA

### Hertzian Kontak Test

Seramik malzemelerin dayanımını belirlemek amacıyla kırılğan katılara uygulanan testler malzemenin mekanik özelliklerini belirlerken, gerek yükleme mekaniğindeki farklılıklar, gerekse malzemenin yalnız katastrofik başarısızlığının dikkate alınması nedeniyle, ağız içerisinde işlev gören bir seramik restorasyonun mekanik davranışının öngörülmesinde yetersiz kalır. Diş hekimliğinde kullanılan seramiklerin yapısında oluşan harabiyetin laboratuvar ortamında incelenebilmesi için, ağız ortamını ve ağız ortamındaki yükleri taklit eden bir test yönteminin kullanılması gerekir. Bilye yükleme ucu ile yapılan Hertzian kontak test, laboratuvar ortamında çiğneme işlevi sırasındaki yük iletimini en doğru taklit eden test yöntemi olarak kabul edilir ve seramik malzemelerin yapısal harabiyetini ve harabiyet şekillerini göstermek için kullanılır<sup>37,41</sup>. Hertzian kontak test ile tek, iki ve daha çok tabakalı seramik malzemelerin, metal<sup>42,43,44</sup> ve polimer alt tabakalar ile desteklendiğinde sergiledikleri harabiyet şekillerini de tanımlamak mümkündür.<sup>45,46,47,48,49</sup>

### İki Tabakalı Sistem ve Harabiyet Şekilleri

İki tabakalı seramik-dentin sisteminde seramik yüzey ve yüzey altı harabiyetinin nasıl oluştuğu ve yapıda tam bir başarısızlık meydana gelmeden önceki gelişimi literatürde çok iyi tanımlanmaktadır<sup>37,38,41,46,50</sup>. Lawn tarafından önerilen iki tabakalı invitro modelde, seramik malzeme polikarbonat alt tabaka üzerine yapıştırılmış ve seramik üst tabaka üzerinden Hertzian kontak test uygulanmıştır. Yüklemeden sonra oluşan harabiyet, yüzeyde halka şeklinde çatlakların oluşumu ve daha büyük yüklerde halka altında bir quasiplastic alanın yada çöküntünün meydana gelmesi, yüzey altında ise radial çatlakların başlaması ve daha büyük yüklerde bu çatlakların yıldız şeklinde yan dallara ayrılması olarak tanımlanmıştır. Literatürde dentin dokusu üzerine yapıştırıldığında seramiğin Hertzian kontak test altında sergilediği harabiyeti ve harabiyet biçimini inceleyen çalışmaya rastlanmamıştır. Seramiğin sağlıklı dentin dokusu üzerine resin siman ile yapıştırıldığı bu çalışmada, seramiğin sergilediği harabiyet şekilleri, Lawn'un iki tabakalı seramik yapılar için tanımladığı harabiyet şekillerine uyumluluk göstermektedir<sup>37,38,41,46,50</sup>.

### **Harabiyet Şekillerine Etki Eden Faktörler**

Farklı seramik materyallerdeki harabiyet şekillerini inceleyen çalışmalarda<sup>37,46</sup>, iki tabakalı In Ceram Zirconia örneklerde radial çatlak başlangıcının 1000 N ila 3000 N arasında olduğu ve ancak 4750 N’da henüz sığ bir halka çatlak görüldüğü bildirilmiştir. Bu yük değerleri, minimum çığneme kuvveti aralığı olan 100-600 N ile karşılaştırıldığında son derece yüksektir ve bu sonuçların malzemenin güven sınırları içerisinde olduğu rahatça düşünülebilir<sup>39</sup>. Bu çalışmada ise örnekler 100-850 N arasında yüklenmiştir. Mekanik özellikleri en üstün olarak gösterilen In Ceram Zirkonia, 1.5 mm kalınlıkta hiçbir üst veya alt yüzey harabiyeti göstermediği halde, 1mm kalınlıkta çatlak başlangıcı halinde yüzey altı harabiyeti göstermiş; 600 N yükte ise katastrofik başarısızlık sergilemiştir. Diğer taraftan feldspatik seramik, çok daha düşük yüklerden itibaren hem yüzey, hem de yüzey altı harabiyet şekilleri göstermiş, katastrofik başarısızlıkları da çok daha düşük yüklerde gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1). Genel olarak malzemeler, mekanik özelliklerine, mikroyapılarına ve kalınlıklarına göre farklı harabiyet şekilleri sergilemiştir.

Tabakalı sistemlerde kaplama materyalinin mikroyapısındaki farklılıklar, quasiplastic deformasyon için gereken yük değerinin de farklı olmasına neden olmaktadır<sup>38,41</sup>. Feldspatik seramik, kristalin partiküller ile güçlendirilmiş bir cam matrisi, IPS Empress 2, lityum di silikat cam seramik ve In Ceram Zirconia, % 67’si alüminyum oksit, kalanı tetragonal yapıda zirkonyum oksitten oluşan kristalin yapıda cam seramiktir. Bu çalışmada da farklı mikroyapıya sahip seramikler farklı yüzey harabiyet şekilleri sergiledi (Çizelge 4.1). Bu da literatürde yer alan daha önceki çalışmalarla tutarlılık göstermektedir<sup>38,41,45,50</sup>.

### **Halka Çatlak**

İki tabakalı sistemlerle yapılan çalışmalarda, materyalin sertliği, Hertzian yüklemeleri altında sistemin bir bütün olarak davranışını etkileyen bir diğer parametredir<sup>43,45</sup>. Dentin dokusu üzerine resin siman ile yapıştırmanın tam seramik restorasyonun dayanımı üzerine etkisinin incelendiği bu çalışmada, kullanılan tüm seramikler dentinden daha sert, zirconia en sert materyaldir. Bu çalışmada uygulanan maksimum yük 850 N’dur. Bu, In Ceram Zirconia’da bir radial çatlağın başlaması için gereken yükten çok daha düşük bir değerdir. İki tabakalı bir sistemde radial çatlamanın kritik

yük değeri üst tabakanın kalınlığına bağlıdır<sup>37,39</sup>. Üst tabaka incelidikçe radial çatlak oluşma ihtimali artar. Nitekim, 1 mm kalınlığındaki In Ceram Zirkonia seramikte 450 N’ da katastrofik başarısızlık görüldü. Feldspatik seramiğin gerilme dayanımının ve sertliğinin düşük olması, uygulanan yük aralığında iki tabakalı seramik-dentin sisteminde, hem plastik deformasyonun (halka çatlaklar), hem de radial çatlakların oluşmasına neden olmuştur. Ancak, feldspatik seramik tabakası kalınlaştıkça, yüzey harabiyeti, yüzey altı harabiyetinden daha düşük yüklerde gerçekleşmiştir. Bu, kalınlaştıkça bükülmeye karşı direnç gösteren sistemde streslerin yüzeyde birikmesi ve mikroyapısı nedeniyle feldspatik seramiğin sahip olduğu yetersiz sertlikle açıklanabilir.

### **Radial Çatlak**

Tüm kalınlıklardaki feldspatik örneklerde, seramik yüzeyinde materyalin quasilastic deformasyonunu gösteren halka çatlak ve ara yüzeyde radial çatlak gözlenmiştir. İki tabakalı seramik-dentin sisteminde, seramik kalınlığının artması ile birlikte radial çatlakın başlangıcı olan yük değeri de artmaktadır. Radial çatlakın başlangıcı olan yük değeri, 1 mm seramik kalınlığı için 150 N; 1,5 mm seramik kalınlığı için 300 N; 2 mm seramik kalınlığı için 400 N olarak tespit edilmiştir. IPS Empress 2 örneklerde radial çatlak, 1 mm kalınlığında 500 N’da, 1,5 mm kalınlığında 850 N’da gözlenmiştir. Radial çatlamanın iki tabakalı sistemlerde seramik kalınlığına bağımlı olduğu görülmektedir. Bu bulgu, iki tabakalı sistemlerle yapılan diğer çalışmalarla da tutarlılık göstermektedir<sup>42,43,47</sup>.

### **Sonlu Elemanlar Stres Analizi**

Sonlu Elemanlar Stres Analizi, iki tabakalı seramik dentin sisteminde seramik üst yüzeyinde yük altında maksimum sıkıştırma, alt yüzeyinde ise maksimum gerilme streslerinin oluştuğunu göstermektedir. Tüm kırılma katları için yapılan stres analizlerinde olduğu gibi bu çalışmada da maksimum stres kriterleri uygulanmış ve model üzerinde yoğunlaşan maksimum stresler malzemenin gerilme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 1 mm kalınlığa sahip In Ceram Zirkonia 550 N yük altında katastrofik başarısızlığa uğrarken sonlu elemanlar modeli üzerinde ölçülen maksimum gerilme stresi 1145 MPa olarak ölçülmüştür. Bu teorik olarak In Ceram Zirkonia’nın gerilme dayanımının (600 MPa) çok üzerinde bir değerdir. Yalnız Zirkonia değil, tüm



seramiklerde ve kalınlıklarda Hertzian kontak test sonucunda, mekanik başarısızlığın gerçekleştiği yüklerde, malzemeler üzerinde oluşan maksimum streslerin, malzemelerin gerilme dayanım değerlerinin çok üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, malzemelerin dentin üzerine resin simanla yapıştırıldıklarında teorik olarak dayanabilecekleri maksimum stres değerinin çok üzerindeki streslere de mukavemet edebildiklerinin bir göstergesidir.

Beraber değerlendirilen mekanik deney bulguları ile sonlu elemanlar stres analizi bulguları yalnız malzemelerin gerilme dayanıklılığının değil, yüzey sertliklerinin yada tokluk değerlerinin de önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Feldspatik seramikte kalınlık 2 mm'ye çıkarıldığında 600 N' a kadar katastrofik başarısızlık görülmemiş ancak, 250 N dan itibaren yüzey harabiyeti, 400 N dan itibaren de yüzey altı harabiyeti tespit edilmiştir.

### **Çalışmanın Klinik Önemi**

İki tabakalı sistemlerde, kalın üst tabakalarda quasiplastic deformasyon; ince üst tabakalarda ise radial çatlakların olduğu daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir. Bunun yanında, kronlarda görülen klinik başarısızlık özellikle ince kaplamalarda oluşan radial çatlaklardan kaynaklanabilir<sup>51,52</sup>. Yine iki tabakalı sistemlerde kaplama yüzeyinin üst tabakasında görülen quasiplastic deformasyon, ilk oluşan harabiyet şeklindedir<sup>48</sup>. Bu çalışma da önceki çalışmaların bulgularını desteklemektedir. Kullanılan seramikler arasında Zirconia, uygulanan yük aralığında radial çatlama en fazla direnç gösteren malzeme olduğundan iki tabakalı seramik-dentin sistemlerinde tercih edilmesi gereken seramik olabilir. Seramik restorasyonların kalınlığı 1 mm veya daha fazla olmakla birlikte marjinlerde daha ince yapılması gerekebilir. Çatlakların, özellikle radial çatlakların, düşük yüklerde olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, yukarıdaki bulgular seramik kronların klinik başarısızlığının başlaması ile doğrudan ilişkilidir.

### **Çalışmanın Sınırları**

Cam, safir ve polikarbonat alt tabakalar kullanılarak elde edilen deneysel tabakalı sistemlerde çatlağın başlangıcı ve çatlakta ilerleme, kullanılan tranparan alt tabakaların alt yüzeyinden 'in situ' olarak görüntülenebilir veya 'bonded interface' adı verilen teknikle her iki tabakayı da içeren kesit yüzeylerinden elde edilen görüntü

üzerinde tespit edilebilir<sup>40,46,48,53</sup> . İki tabakalı seramik-dentin sisteminde alt tabakayı oluşturan dentin tabakasının opak olması nedeniyle seramiğin dentine yapışan yüzeyinin 'in situ' görüntülenmesi mümkün olamamıştır. Bununla birlikte çalışmada kullanılan yöntem klinik boyutlarda ve dentine resin ile yapıştırılmış seramiklerin ağız içerisindeki nemli ortamı taklit eden koşullarda saklanabilmesine ve yüklenebilmesine imkan vermiştir. Diğer taraftan, çiğneme işlevinin dinamik olduğu, Hertzian kontak testinin ise statik bir yük altında gerçekleştirildiği unutulmamalıdır. Bu çalışma küresel uçla, tek yüklemenin seramik üzerindeki etkileri ile sınırlıdır. Dinamik yüklemelerin seramik malzemelerin harabiyet şekilleri üzerine etkisini incelemek için ayrı çalışmalara ihtiyaç vardır.

## 6. SONUÇLAR

1. Seramik malzemeler dentin üzerine yapıştırıldıklarında teorik olarak dayanabilecekleri maksimum stres değerinin çok üzerindeki streslere de mukavemet edebilir. Resin ile dentin dokusuna bağlanma, tam seramik sistemin mekanik dayanımını arttırmaktadır.

2. Dentin ve üzerine resin simanla yapıştırılan seramik, iki tabakalı yapılar için önerilen mekanik davranışı ve harabiyet şekillerini sergilemiştir.

3. İki tabakalı seramik-dentin sisteminde, seramik materyalin mikroyapısı ve kalınlığı seramik üzerinde oluşan harabiyet şeklini ve kritik yükü etkilemektedir.

4. Dentin dokusuna resin simanla yapıştırılan 1mm kalınlığında In Ceram Zirkonia seramik, fonksiyonel kuvvetlerin üst sınırındaki (500 N) yüklere kırılmadan ve yüzey harabiyeti göstermeden dayanabilmiştir. İki tabakalı zirkonia seramik-dentin sisteminde, çatlağın önlenmesi için In Ceram Zirkonia'nın en az 1mm kalınlıkta yapılması önerilebilir.

5. Dentin dokusuna resin simanla yapıştırılan 1 mm kalınlığında IPS Empress 2 seramik, fonksiyonel kuvvetlerin üst sınırındaki (550 N) yüklere kırılmadan direnç gösterebilmiştir. Ancak, IPS Empress 2 seramik, 400 N ve üzerindeki yüklerde, mekanik başarısızlığın başlangıç noktası olarak kabul edilen, radial çatlak oluşumu göstermiştir. İki tabakalı IPS Empress 2 seramik-dentin sisteminde, çatlağın önlenmesi için malzemenin 1.5 mm ve daha kalın yapılması önerilebilir.

## 7. KAYNAKLAR

1. **Mc Lean J.W.** Perspectives on dental ceramics. In: Dental Ceramics. Proceedings of the First International Symposium on Dental Ceramics. Chicago: Cuintessence, **1984**:13-40.
2. **O' Brien W.J. Dental Materials: Properties and Selection.** Cuintessence Publishing Co. Inc. Chicago, **1989**.
3. **Phillips RW.** Skinner's science of dental materials. 9th ed., Philadelphia: W.B. Saunders Company, **1991**.
4. **Herbert T. Shillingburg.** Fundamentals of fixed Prosthodontics. 3rd ed., IL USA: Cuintessence Publishing Co. Inc.,**1997**.
5. **Guazzato M.** Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materialsve. Part II. Zirconia based dental ceramics. Dent Mater, **2004**; 20(5):449-456.
6. **Guazzato M.** Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materialsve. Part I. Pressable and alumina glass-infiltrated ceramics. Dent Mater, **2004**; 20(5):441-448.
7. **Van Dijken JW.** Resin-modified glass ionomer cement and self-cured resin composite luted ceramik inlays. A 5-year clinical evaluation. Dent Mater, **2003**; 19(7):670-674.
8. **Felden A.** Retrospective clinical investigation and survival analysis of ceramic inlays and partial ceramic crowns: results up to 7 years. Clin Oral Investig, **1998**; 2(4):161-167.
9. **Van Dijken JW.** Clinical performance of pressed ceramic inlays luted with resin-modified glass ionomer and autopolimerizing resin composite cements. J Prosthet Dent, **1999**; 82(5):529-535.
10. **Thordrup M.** A 5-year clinical study of indirect and direct resin composite and ceramic inlays. Cuintessence Int, **2001**; 32(3):199-205.
11. **Mc Lean J.W.** The science and art of dental ceramics,Vol I., Cuintessence Publishing Co. Inc Chicago, **1979**.
12. **Van Dijken JWV.** All ceramic restorations: Classification and clinical evaluation. Compend Contin Educ Dent **1999**; 20(12): 1115-1134.
13. **Alison J.E., Piddock C. and V.** Ceramic Update. J. Dent, **1997**; 25(2): 91-95.
14. **Alison J.E., Piddock C. and V.** Dental ceramics: What's new?. Dent Update, **2002**; 29(1): 25-33.
15. **Mc Lean J.W.** The science and art of dental ceramics,Vol II., Chicago, Cuintessence Publishing Co. Inc, **1979**.
16. **Campbell S.** A comparative strength study of metal ceramic and all ceramic esthetic materials: modulus of rupture. J Prosthet Dent, **1989**; 62(4): 476-479.
17. **Rosenstiel S, Porter SS.** Apparent fracture toughness of all ceramic crown systems. J Prosthet Dent, **1989**; 62(5): 529-532.

18. **Blatz MB.** Long term clinical success of all ceramic posterior restorations. *Cuintessence Int*, **2002**; 33(6): 415-426.
19. **Adair PJ, Grossman DG.** The castable ceramic crown. *Int J Periodont Rest Dent* **1984**; 23(2): 181-186.
20. **Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spiekermann H, Anusavice KJ.** Marginal fit of alumina and zirconia based fixed partial dentures produced by CAD/CAM System. *Op Dent* **2001**; 26(4): 367-374.
21. **Anderson M, Oden A.** A new all ceramic crown. A dense sintered high purity alumina coping with porcelain. *Acta Odont Scand* **1993**; 51(1): 59-64.
22. **McLean J, Odont D.** Evaluation of dental ceramics in the twentieth century. *J Prosthet Dent*, **2001**; 85(1): 61-66.
23. **Chan C, Harszthy G.** The marginal fit of cerestore full ceramic crowns. A preliminary report. *Cuintessence Int*, **1985**; 16(4): 399-402.
24. **Claus H.** The structure bases of dental porcelain. *Dental Labor*, **1980**; 28(1): 1-8.
25. **Zawta C.** Fixed partial dentures with an all ceramic system: A case report. *Cuintessence Int*, **2001**; 32(5): 351-359.
26. **Ivoclar Vivadent AG.** IPS Empress system-The original, Scientific documentation, Schaan, Liechtenstein, **2002**
27. **Oh SC, Dong JK, Lüthy H, Schärer P.** Strength and microstructure of IPS Empress 2 glass ceramic after different treatments. *Int J Prosthodont*, **2000**; 13(6): 468-472.
28. **Sorensen JA, Condon JR.** Friction and wear of human enamel against dental ceramics. *J Dent Res*, **2000**; 78(1): 217.
29. **O'Brien WJ, Boenke KM, Wagner WC.** Properties of a hot pressed lithium di silicate glass ceramic. *J Dent Res*, **2000**; 79(3): 179-184.
30. **Cattel MJ, Knowles JC, Clarke RL, Lynch JR.** The biaxial flexural strength of two pressable ceramics. *J Dent Res*, **1999**; 27(2): 183-196.
31. **Pröbster L, Diehl J.** Slip casting alumina ceramics for crown and bridge restorations. *Cuintessence Int*, 1992; 23(1): 25-31.
32. **Pröbster L.** Survival rate of In-Ceram restorations. *Int J Prosthodont*, **1993**; 6(3): 259-263.
33. **Giordano R, Campell S.** Flexural strength of infused ceramic, glass ceramic and feldspathic porcelain. *J Prosthet Dent*, **1995**; 73(5): 411-418.
34. **Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH&Co.** Vita all ceramic systems, Vita In Ceram Zirconia, Brochure B, Bad Sackingen/Germany, **1999**.
35. **Craig RG.** *Restorative Dental Materials*. 10th ed., St. Louis: Mosby, **1997**
36. **Yamamoto Makoto.** *Metal-Ceramics, Principles and methods of Makoto Yamamoto*, Cuintessence Publishing Co. Inc. **1985**.
37. **Lawn BR, Deng Y, Thompson VP.** Use of contact testing in the characterization and design of all-ceramic crown-like layer structures: A review. *J Prosthet Dent*, **2001**; 86: 495-510.

38. **Peterson IM, Wuttiphan S, Lawn BR, Chyung K.** Role of microstructure on contact damage and strength degradation of micaceous glass-ceramics. *Dent Mater*, **1998**; 14: 80-89.
39. **Lawn BR, Deng Y, Miranda P, Pajares A, Chai H, Kim DK.** Overview: damage in brittle layer structures from concentrated loads. *J Mater Res*, **2002**; 17(12): 3019-29.
40. **Ergin S, Gemalmaz D.** Retentive properties of five different luting cements on base and noble metal copings. *J Prosthet Dent*, **2002**; 88: 491-7.
41. **Peterson IM, Pajares A, Lawn BR, Thompson VP, Rekow ED.** Mechanical characterization of dental ceramics by hertzian contacts. *J Dent Res*, **1998**; 77(4): 589-602.
42. **Zhao H, Hu X, Bush MB, Lawn BR.** Cracking of porcelain coatings bonded to metal substrates of different modulus and hardness. *J Mater Res*, **2001**; 16: 5.
43. **Zhao H, Hu X, Bush MB, Lawn BR.** Contact damage in porcelain/Pd-alloy bilayers. *J Mater Res*, **2000**; 15(3): 676-682.
44. **Zhao H, Miranda P, Lawn BR.** Cracking in ceramic/metal polymer trilayer systems. *J Mater Res*, **2002**; 17(5): 1102-11.
45. **Deng Y, Lawn BR, Lloyd IK.** Characterization of damage modes in dental ceramic bilayer structures. *J Biomed Mater Res (Appl Biomater)*, **2002**; 63: 137-145.
46. **Chai H, Lawn BR, Wuttiphan S.** Fracture modes in brittle coatings with large interlayer modulus mismatch. *J Mater Res*, **1999**; 14: 9.
47. **Jung Y-G, Wuttiphan S, Peterson IM, Lawn BR.** Damage modes in dental layer structures. *J Dent Res*, **1999**; 78(4): 887-897.
48. **Deng Y, Lawn BR, Lloyd IK.** Damage characterization of dental materials in ceramic-based crown-like layer structures. *Key Eng Mater*, **2002**; 224-227: 453-8.
49. **Lawn BR, Deng Y, Lloyd IK, Janal MN, Rekow ED, Thompson VP.** Materials design of Ceramic-based layer structures for crowns. *J Dent Res*, **2002**; 81(6): 433-8.
50. **Deng Y, Miranda P, Pajares A, Guiberteau F, Lawn BR.** Fracture of ceramic/ceramic/polymer trilayers for biomechanical applications. *J Biomed Mater Res*, **2003**; 67A: 828-33.
51. **Kelly JR.** Clinically relevant approach to failure testing of all ceramic restorations. *J Prosthet Dent*, **1999**; 81: 652-61.
52. **Thompson JY, Anusavice KJ, Naman A, Morris HF.** Fracture surface characterization of clinically failed all-ceramic crowns. *J Dent Res*, **1994**; 73: 1824-32.
53. **Zhang Y, Lawn BR, Rekow ED, Thompson VP.** Effect of sandblasting on the long-term performance of dental ceramics. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater*, **2004**; 71B: 381-6.

## 8. ÖZGEÇMİŞ

Selver Suna Demiröz 14.08.1977 tarihinde Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk öğrenimini Atatürk İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini ise 1995 yılında Kahramanmaraş Çukurova Elektrik Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nde yüksek öğrenimine başlayan Selver Suna Demiröz 2000 yılında fakülte 2.si olarak mezun oldu. 2001 yılı Eylül döneminde Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. 2002 yılında araştırma görevlisi kadrosuna atandı. 2004 yılında 'Dentine bağlanmanın tam seramik malzemenin mukavemeti üzerine etkisi' isimli doktora tez çalışmasına başladı.