

# Tam Seramik Malzemelerde Basamak Şeklinin Gerilim Dağılımına Etkisi: Sonlu Elemanlar Stres Analizi

*The Effect of Margin Design on Stress Distribution on All-Ceramic Materials: A Finite Element Analysis*

Mehmet Ali GÜNGÖR<sup>1</sup> Mine DÜNDAR<sup>1</sup> Çiçek KARAOĞLU<sup>2</sup> Mehmet SONUGELN<sup>1</sup>  
Celal ARTUNÇ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Dişhekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavi AD, <sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Fakültesi, İZMİR

## Özet

**Amaç:** Farklı basamak tipinde diş kesimi ile çeşitli tam seramik malzemelerin çiğneme kuvveti altında meydana getirdiği gerilim dağılımlarını üç boyutlu sonlu eleman stres analiz yöntemi (SEA) ile incelemektir.

**Yöntem:** Alt çene birinci küçük azı dişin servikal bölgesinde omuz (shoulder-dik açı) ve şev (chamfer-yuvarlatılmış dik açı) şeklinde basamak oluşturularak diş kesimi modellendi. Diş üzerine tam seramik malzemesi kullanılarak kuron formunda model oluşturuldu. Dişin üzerine 90° ve 45° açılar ile bukkal tüberkül üzerinden 600 N'lik çiğneme kuvveti uygulandı. Gerilim dağılımları servikal bölgede bulunan üst yapı, alt yapı, siman/dentin tabakalarında x-x eksenli boyunca meydana gelen maksimum oy gerilmeleri olarak incelendi. Elde edilen sonuçlar doğal dişin tabakalarıyla karşılaştırıldı.

**Bulgular:** Kuvvetin uygulandığı alan, servikal bölge ve apex bölgesinde stres birikmesi görüldü. Çiğneme kuvveti 90° açı ile uygulandığında vestibülo-servikal bölgede basma geriliminin, lingua-servikal bölgede çekme geriliminin yoğunlaştığı görüldü. Çiğneme kuvveti 45°'lik açı ile uygulandığında vestibülo-servikal bölgede çekme geriliminin lingua-servikal bölgede basma geriliminin yoğunlaştığı görüldü. Omuz basamağının iç köşesindeki dentin dokusunda, şev basamağa göre daha fazla stresin biriktiği tespit edildi.

**Sonuç:** Şev basamak tipindeki gerilim dağılımı, omuz basamak tipine göre daha dengeli olmaktadır. Ayrıca Empres 2 (IE-2) restoratif materyali servikal bölgede doğal dişe (DD) benzer özellikte gerilim dağılımı göstermektedir.

**Anahtar sözcükler:** Tam seramik, sonlu eleman stres analizi, çiğneme kuvveti

## Abstract

**Objective:** To evaluate the stress distribution of various all-ceramic materials under masticatory loads with different margin designs by using finite element stress analysis (FEA) method.

**Methods:** The cervical region of a mandibular first premolar tooth was modeled in shoulder and chamfer designs. An all-ceramic crown was prepared and modelled. A 600 N masticatory load was applied on the buccal cusp with 90° and 45° angles. The stress analyses were performed along the x-x axis as oy stresses on the veneer layer, framework and cement-dentin layers around the cervical region. The obtained results were compared with that of the natural tooth.

**Results:** Stress concentrations were observed on the loaded area, cervical and apical regions. The 90°-masticatory load resulted in compressive stresses around vestibular cervical region while tensile stresses were observed around lingual cervical region. The 45°-applied load created tensile stresses on vestibular cervical area while compressive stresses occurred around lingual cervical region. Higher stresses were concentrated on the dentin of the inner corner of shoulder design when compared with chamfer design.

**Conclusion:** The stress distribution in chamfer design is more uniform in comparison with shoulder design. Empres 2 (IE-2) restorative material exhibited similar stress distribution pattern to natural tooth (NT) around the cervical region.

**Keywords:** All-ceramic, finite element analysis, masticatory load

## Giriş

Protetik tedavi uygulamalarında hastaların dayanıklılık, estetik ve fonksiyonel beklentilerinin artması seramik malzemelerin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Adeziv sistemlerinin gelişmesine paralel olarak biyouyumluluğa sahip çeşitli tam seramik sistemleri beklentileri gerçekleştirmede çözüm olabilmektedir. Günümüzde sinterize ve dökülebilen tam seramiklerin piyasaya sunulmasıyla klinik kullanım oranı önemli ölçüde artmıştır.<sup>1</sup> Metal alt yapı içermemesi, estetik bir görüntünün sağlanabilmesi, dişeti dokusunda toksik ve alerjik reaksiyonlar oluşturmaması, minerin sertliğine yakın sertlikte olmaları tam seramik malzemelere avantaj sağlarken, kırılma özelliklerinin olması dezavantaj oluşturmaktadır.<sup>1,2</sup>

Sabit restorasyon başarısında, diş kesimi ve servikal alanda oluşturulan basamak formu, belirleyici faktörlerdir.<sup>3</sup> Diş kesimi sırasında oluşturulan basamak çığneme kuvvetlerinin dişe dengeli dağılmasını sağlarken, krunun statik gücünü de artırır.<sup>4</sup> Seramik restorasyonlarda önemli bir özellik olan dayanıklılık belirli kalınlığın oluşturulmasıyla sağlanabilir. Bu durumda yeterli ve dengeli diş kesiminin gerekliliğini ortaya koymaktadır.<sup>3,5</sup>

Sabit protetik restorasyonların uygulandığı olgularda fonksiyon sırasında restorasyona, dolayısıyla dişlere gelen kuvvetlerin diş-periodontal ligament, çevre tutucu dokular ve alveoler kemik dokusunda farklı şekil değişimleri ve iç gerilmeler oluşturacağı, bunların değerlerinin her bir dokunun fiziksel özelliklerine bağlı olarak farklılık göstereceği bilinmektedir.<sup>6</sup> Oluşan gerilim ve şekil değişimleri çeşitli analiz yöntemleri ile incelenebilir. Bu yöntemler, sonlu eleman stres analizi (SEA), fotoelastik analiz, gerilim ölçüm analizleri, geometrik analizler olarak sınıflandırılır.<sup>7-9</sup> Sonlu elemanlar gerilim analizi dişhekimliğinde çeşitli materyallerin biyomekanik performansını tahmin

etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Karmaşık geometriye sahip sorunlarda analitik bir çözüm elde etmek çok zordur. Sonlu eleman stres analizinde mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın bir model hazırlanabilir, maddelerin özellikleri kolaylıkla değiştirilebilir ve yüklere ait değişken parametreler oluşturulabilir. Dolayısıyla SEA, sayısal bir yöntem olması nedeniyle özellikle dişlerdeki gerilim dağılımını incelemeye kullanılmaktadır.<sup>10</sup>

Dişlerin okluzal yüzeylerine uygulanan dış merkezli yükler, servikal bölgelerde yoğunlaşan gerilmeler yaratmaktadır.<sup>3,8,11,12</sup> Okluzal kuvvetler dişte basma, çekme ve kayma türünde iç gerilmelere (intenal stres) neden olmakta ve dişin yapısını ve dişteki biyomekanik olayları önemli boyutlarda etkilemektedir. Ayrıca tam seramik restorasyonlar için siman olarak kullanılan kompozit rezinlerin yapısı da etkilenmekte ve kimyasal ajanların etkisiyle de ayrılmalara neden olmaktadır.<sup>13</sup>

Çalışmada, alt çene birinci küçük azı dişe değişik tam seramik malzemelerden hazırlanmış krunların servikal bölgede oluşturulan omuz (*shoulder*-dik açılı) ve şev (*chamfer*-yuvarlatılmış dik açılı) basamak tiplerinin çığneme yükleri altında gerilim dağılımlarına olan etkisinin, üç boyutlu (3D) SEA kullanılarak incelenmesi ve elde edilen sonuçların doğal diş yapısıyla (DD) karşılaştırılması amaçlandı.

## Gereç ve Yöntem

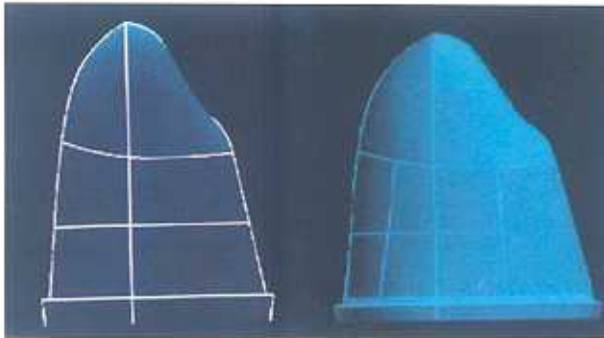
Çalışmada restoratif malzeme olarak: IPS Empres (IE), IPS Empres 2 (IE 2), Carrara pres seramik (Ca) ve Ceramco FAC tam seramik (Ce) kullanıldı. Elde edilen sonuçlar doğal diş (DD) yapısıyla karşılaştırıldı. Tam seramiklerin yapılandırılmasında rezin kompozit siman olan Variolink II (Ivoclar-Vivadent, Schaan, FL, Liechtenstein) kullanıldı (Tablo 1).

**Tablo 1.** Test materyalleri

Restoratif malzeme	Kod	Tipi	Firma
IPS Empres	IE	Lösit kristalleri	Ivoclar-Vivadent, Schaan, FL
IPS Empres 2	IE 2	Lityum disilikat kristalleri	Ivoclar-Vivadent, Schaan, FL
Ceramco FAC all-seramik	Ce	Düşük lösit kristalleri	Ceramco, Burlington, NJ
Carrara press seramik	Ca	Lösit kristalleri	Elephant Dental Products, NL
Doğal diş	DD		

Bu çalışmada alt çene birinci küçük azı dişi, farklı restoratif materyallerin ve farklı basamak tiplerinin dişte oluşturduğu gerilim dağılımlarının incelenmesi, gerilim oluşturma potansiyellerinin benzerlik ve farklılıklarının ortaya çıkarılması amacıyla destek diş olarak modellendi. Geometrik şeklin oluşturulması amacıyla alt çene birinci küçük azı dişi, Wheeler'in<sup>12</sup> tanımladığı anatomik forma uygun olarak hazırlandı. Sonlu eleman modelini oluşturmak için mine, dentin ve pulpa odasının konturlarını izleyen anatomik şekilli bukko-lingual kesit biçimlendirildi. Dişin çevre dokularının şekli ve boyutları modellemeye dahil edildi.<sup>9,14</sup>

Farklı tam seramik materyalleri kullanılarak restore edilecek dişe okluzal yüzeyde 2 mm, servikal alanda 1 mm ve bukko-lingual yönde de 1,2 mm boyutlarında madde kaldırılabilecek şekilde diş kesimi uygulandı. Servikal bölgede omuz ve şev şeklinde basamak oluşturuldu (Resim 1).

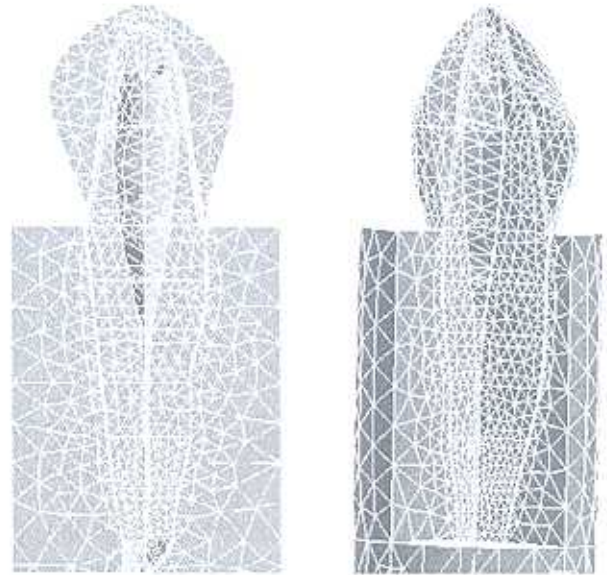


Resim 1. Basamak şeklinin oluşturulmuş formu

Hazırlanan tam seramik kuron ve dişin dentin dokusu arasında 50 µm'lik siman tabakası da modellemeye dahil edilerek, kuronun dişe mükemmel yapıştığı kabul edildi.<sup>9</sup> Ölçülen parametrelerin bilgisayara aktarılmasıyla 3 boyutlu SEA modeli oluşturuldu (Resim 2). Sonlu elemanlar gerilim analizinin yapılabilmesi amacıyla oluşturulan matematik modelde, malzemelerin iki önemli özelliği olan elastiklik modülü ve poisson oranı programa dahil edildi (Tablo 2).<sup>6,15</sup>

Çalışmada ANSYS 5.4 (Swanson Analysis System, Co., Houston, Teksas, ABD) sonlu elemanlar gerilme analizi paket programı kullanıldı. İzotropik, homojen, elastik ve eksen-simetrik olarak kabul edilen model 8188 düğüm noktası, 43755 katı eleman ve 6 serbestlik derecesi olacak şekilde hazırlandı. Problem

çözümünde "solid 72" eleman tipi kullanıldı. Model geometrisi ve ağ (mesh) oluşturulurken, noktalardan çizgiler, çizgilerden alanlar, alanlardan da hacimler elde edildi.



Resim 2. Üç boyutlu FEA modeli

Tablo 2. Malzemelerin fiziksel özellikleri

Materyal	Elastiklik Modülü (MPa)	Poison oranı
IPS Empres core materyali*	70000	0.25
IPS Empres layering materyali*	70000	0.25
IPS Empres 2 core materyali*	95000	0.25
IPSEmpres2 layering Materyali*	60000	0.25
Ceramco FAC all-seramik*	70000	0.19
Carrara Press Core*	80000	0.25
Carrara Vincent*	71000	0.25
Variolink II*	8300	0.29
Mine	48000	0.33
Dentin	18600	0.31
Periodontal ligament	68.9	0.45
Alveol kemiği	14700	0.26

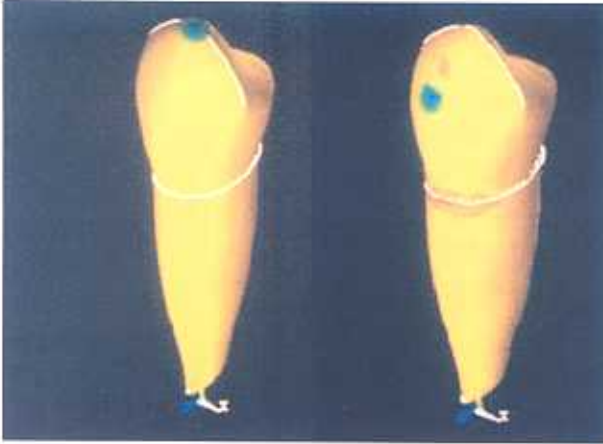
(\*) Materyallerin fiziksel özellikleri firmalar tarafından belirtilmiştir.

Çiğneme kuvveti 600 N değerinde alınarak 90° okluzal yüzeyden ve 45° bukkaal tüberkülün dış eğimine tek noktadan uygulandı.<sup>15</sup> Matematik modele statik yük uygulanarak meydana gelen çekme ve basma

gerilimleri buldukları  $x$ ,  $y$ ,  $z$  eksenleri üzerinde incelendi ve servikalde oluşturulan basamak bölgesindeki üst tabaka, alt tabaka ve siman/dentin tabakasındaki gerilim dağılımları incelendi. Değersel olarak büyük olan maksimum  $\sigma_1$  gerilimleri mezyo-distal, bukkal-servikal ve serviko-lingual bölgede değerlendirildi.<sup>5,9</sup> Pulpanın sonuçlar üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirtildiğinden,<sup>16</sup> bu çalışmada da pulpa boşluk olarak modellenildi.

## Bulgular

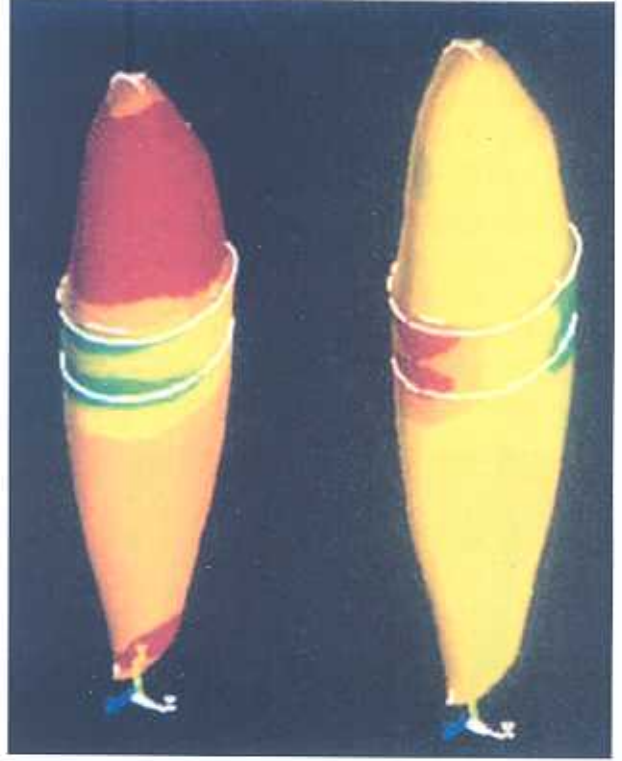
Matematiksel modelde, bukkal tüberkülden 90° ve 45° açı ile 600 N değerinde çiğneme kuvveti uygulandığında ilk temas noktası olan alanlarda maksimum basma gerilimleri meydana geldi. Bu alanlarda biriken gerilimler, restoratif materyal ve dentin dokusu içinde dağılım gösterdi. Oluşan gerilimler basma ve çekme gerilimleri olarak gözlemlendi ve gerilim dağılımlarının servikal bölgede yoğunlaştığı ve maksimum değere ulaştığı incelendi (Resim 3). Çiğneme kuvveti altında üç düzlemde basamak bölgesinde bulunan üst yapı, alt yapı ve siman/dentin tabakalarında meydana gelen maksimum basma ve çekme gerilimleri dikkate alındı.



Resim 3. Çiğneme kuvvetinin uygulandığı alan ve servikal bölgede meydana gelen gerilim dağılımı

Diş üzerine 90° açı ile çiğneme kuvveti uygulandığında, iki basamak tipinde de vestibulo-servikal bölgede maksimum basma gerilimi meydana gelirken, lingua-servikal bölgede maksimum çekme gerilimi meydana geldi (Resim 4). Restoratif materyallerin alt tabakasında meydana gelen basma ve çekme ge-

rilimleri değersel olarak artarken, üst yapıda daha az stres oluşumu görüldü. Siman/dentin tabakaları incelendiğinde iki basamak tipinde de birbirine yakın gerilim değerleri elde edildi. En fazla basma gerilimi IE-2 materyalinde meydana gelirken, Ce materyalinde en fazla çekme gerilimi meydana geldi (Tablo 3 ve 4).



Resim 4. Çiğneme kuvveti uygulandığında omuz bölgesinde oluşan gerilim dağılımları (Sağ: Basma gerilimi, Sol: Çekme gerilimi)

Diş üzerine 45° açı ile çiğneme kuvveti uygulandığında, vestibulo-servikal bölgede tüm malzemelerde ve DD de maksimum çekme gerilimi oluşurken, lingua-servikal bölgede maksimum basma gerilimi oluştu (Resim 5). IE-2 malzemesinin alt ve üst yapısında DD ile karşılaştırıldığında değersel olarak artan basma gerilimi ve Ce malzemesinde ise maksimum çekme geriliminin oluştuğu görüldü. Siman/ dentin yapısını incelediğimizde, iki basamak tipinde de küçük farklılıklar olmak üzere IE-2 malzemesi DD'ye gerilim dağılımı yönünden benzer özellik gösterdi (Tablo 5 ve 6). Gerilim değerleri malzemelerin alt tabakalarında maksimum iken, üst tabakada ve siman/ dentin tabakasında daha az gerilim dağılımı incelendi.

**Tablo 3.** Çiğneme kuvveti 90° olarak uygulandığında servikal bölgedeki omuz basamak ve tam seramik restorasyonlarda oluşan maksimum gerilim değerleri.

	Alt yapı		Üst yapı		Siman/Dentin	
	Basma Gerilimi (MPa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Basma Gerilimi (MPa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Basma Gerilimi (MPa)	Çekme Gerilimi (MPa)
IE-1	-61.9	25.9	-17.5	13.9	-17.6	9.2
IE-2	-72.8	21.2	-21.7	9.1	-21.1	6.4
Ca	-67.1	28.4	-19.4	14.7	-18.3	8.9
Ce	-59.8	35.7	-15.3	16.5	-16.9	8.1
DD	-70.4	20.1	-	-	-20.6	5.2

**Tablo 4.** Çiğneme kuvveti 45° olarak uygulandığında servikal bölgedeki omuz basamak ve tam seramik restorasyonlarda oluşan maksimum gerilim değerleri.

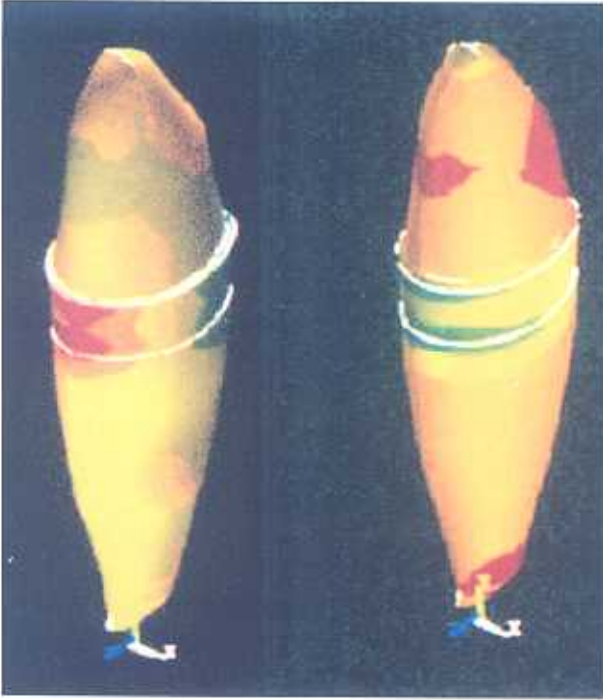
	Alt yapı		Üst yapı		Siman/Dentin	
	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)
IE-1	-96.8	47.7	-35.8	28.3	-24.6	12.8
IE-2	-103.4	40.3	-43.9	19.8	-31.7	10.5
Ca	-89.9	48.5	-38.3	29.5	-29.5	14.3
Ce	-91.9	52.9	-40.4	31.3	-28.9	12.8
DD	-98.7	39.3	-	-	-35.1	8.9

**Tablo 5.** Çiğneme kuvveti 90° olarak uygulandığında servikal bölgedeki şev basamak ve tam seramik restorasyonlarda oluşan maksimum gerilim değerleri

	Alt yapı		Üst yapı		Siman/Dentin	
	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)
IE-1	-62.6	24.8	-18.7	12.6	-16.4	8.6
IE-2	-73.8	20.1	-22.4	8.3	-18.9	5.9
Ca	-67.9	27.8	-16.9	12.9	-16.8	7.9
Ce	-60.7	32.6	-17.1	15.2	-13.9	7.7
DD	-70.4	20.1	-	-	-20.6	5.2

**Tablo 6.** Çiğneme kuvveti 45° olarak uygulandığında servikal bölgedeki şev basamak ve tam seramik restorasyonlarda oluşan maksimum gerilim değerleri

	Alt yapı		Üst yapı		Siman/Dentin	
	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)	Basma Gerilimi (Mpa)	Çekme Gerilimi (MPa)
IE-1	-98.7	46.2	-33.7	26.7	-23.1	11.2
IE-2	-102.1	39.1	-41.9	17.1	-29.4	9.1
Ca	-82.2	47.5	-37.1	28.2	-28.1	13.7
Ce	-89.4	49.7	-47.6	29.9	-26.7	10.3
DD	-98.7	39.3	-	-	-33.3	7.4



**Resim 5.** Çiğneme kuvveti uygulandığında şev bölgesinde oluşan gerilim dağılımları (Sağ: Basma gerilimi, Sol: Çekme gerilimi)

Her iki kuvvet uygulamasında da omuz ve şev basamak tipinde oluşturulan köşe kısmındaki dentin dokusunda stres birikimi görüldü. Fakat şev basamak tipindeki stres oluşumunun omuz basamak tipine göre değersel olarak daha az olduğu gözlemlendi.

## Tartışma

Alt-üst çenelerin fonksiyonu sırasında oluşan okluzal kuvvetler alt çene birinci küçük azı dişlerinin bukkal tüberkülünde yoğunlaşmaktadır.<sup>3,17</sup> Bundan dolayı çalışmada, çiğneme kuvvetini dişin bukkal tüberkül kısmından uzun aksına paralel 90° dik açı yapacak şekilde ve bukkal-lingual yönde diş aksıyla 45° açı yapacak şekilde nokta tarzında uygulandı. Oluşturulan sonlu eleman stres analiz modelinin güvenilirliğini sağlamak amacıyla tekrar edilebilir kuvvetler kullanıldı ve doğal diş ile restoratif malzemelerin gerilim değerlerinin karşılaştırılması yapıldı. Servikal bölgedeki basamak tipi farklılıklarının daha iyi anlaşılabilir olması için sement-mine birleşiminin 2 mm apikalinde kemik ile diş kök desteği sağlandı.<sup>12</sup>

Stresler herhangi bir yapı üzerine gelen kuvvetler sonucu oluşan gerilimlerdir. Bu streslerin dağılımı ve

değerleri, kuvvetin geliş açısına, malzemenin geometrisine ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.<sup>15</sup> Okluzal temaslar sırasında stres yoğunlaşmasının olduğu bölge servikal bölgedir. Servikal bölgede basma, çekme ve kayma tarzında iç gerilimler meydana gelmektedir.<sup>5,17,18</sup> Bundan dolayı protetik tedavi amacıyla yapılan tam seramiklerin diş kesiminde basamak şekli gerilim dağılımında önemli rol oynamaktadır.<sup>19,20</sup> Çalışmada tam seramik olgularında önerilen omuz ve şev basamak tipini içeren model hazırlandı. Yapılan çalışmalar, basamak şekillerine bağlı olarak meydana gelen stres birikimlerinin bu alanlarda önem kazandığını göstermektedir.<sup>20,22</sup> Farah,<sup>23</sup> metal alt yapı ile desteklenmiş seramik kuron ile restore edilmiş birinci molar dişe üç farklı basamak şekli oluşturarak sonlu eleman stres analizi sonucunda basamak bölgelerindeki stres dağılımının etkili olduğunu belirtmiştir. Yapılan son çalışmalarda, omuz basamağının iç açılarının keskinleştirilmesiyle elde edilen yüksek basamak-kenar devamlılığının, kuronun çıkartılması gerektiğinde uygulanması gereken çıkartma kuvvetini artırdığı görülmüştür. Omuz basamak tipi, şev basamak tipine göre daha iyi bir tutuculuk sağlamaktadır.<sup>5</sup> Bu tutuculuk, çalışmada çiğneme kuvveti uygulanması sonucu oluşan stres yoğunlaşmasının tam tersi bir sonuç yaratmaktadır. Omuz ve şev basamak tipleri arasında stres yığılması yönünden önemli bir fark olmadığı birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir<sup>3,20</sup> ve çalışmamızın sonuçları da bu görüşü destekler niteliktedir. Bunun nedeninin tam seramik kuronların asitleme işleminden sonra destek diş üzerine rezin kompozit ile simante edilmesi olduğu bildirilmektedir.<sup>24</sup> Başka bir anlatımla tam seramik kuronların kırılma olayına karşı direnç gösterebilmeleri için destek diş ile sıkı temas halinde olmaları gerekmektedir.<sup>20</sup> Çalışmalarda, yapılan bağlanma işleminin yetersiz kalma olasılığının gözardı edilmemesi gerektiği belirtilmektedir. Böyle bir durumda oluşan streslerin daha çok artmasına neden olmaktadır.<sup>25</sup> Çiğneme kuvvetleri sonucunda oluşan streslerin değeri adeziv rezin kompozitin gücünden ve adeziv rezin kompozitin dentine bağlanma gücünden daha az olmalıdır.<sup>25</sup> Ayrıca kullanılan restoratif malzemelerin de çiğneme kuvvetleri sonucunda yapılarında oluşan gerilim değerlerinin kırılmaya dayanma gücünün altında olması gerekmektedir.<sup>1,4</sup> Çalışmada saptanan maksimum gerilim değerlerinin,

adeziv kompozit rezinin ve dentinin gerilime dayanma gücünün altında olduğu görüldü. Oluşturulan basamak tabanında meydana gelen gerilmeler de sement ve dentinin kırılma gücünün altındadır.<sup>3</sup> Servikal bölgede oluşturulan basamak tipine göre bırakılan dentinin kalınlığı ne kadar fazla olursa sert olan restoratif materyalin alt yapısına büyük bir desteklilik sağlayacağı, dentin kalınlığı ne kadar az bırakılırsa kuronun servikal bölgesindeki gerilim değerinin artacağı belirtilmektedir.<sup>4</sup>

Restorasyonun sonlandığı basamak çevresi ve dişin alveole girdiği bölgede çiğneme kuvveti altında oluşan gerilmeler iki odaklı olarak yoğunlaşmaktadır. Birinci odak kuron kenarının sonlandığı basamak bölgesindeki gerilim yoğunlaşmasıdır. İkinci odak dişin sert doku içine girdiği alveol bölgesinde çiğneme kuvveti karşısında çentik etkisi sonucu oluşan gerilim yoğunlaşmasıdır.<sup>15</sup> Çalışmada, basamak dişin alveole girdiği konumdan daha yukarıda hazırlanmış ve sonuçlar buna göre değerlendirilmiştir. Bu iki odak bölgesinin çakıştığı diş kesimi durumlarında fonksiyon sırasında meydana gelen gerilim yığılmasının sonuç değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir.

Birçok araştırmacı, dental restorasyonlardaki başarısızlıklarının çoğunu uzun süre kullanıma bağlamaktadır.<sup>21,25</sup> Kronik gerilmeler sonucu oluşan çatlaklar, kırılma meydana gelinceye kadar komponenti zayıflatır. Ortaya çıkan çekme gerilmeleri özellikle basma gerilmelerinden daha zararlı etki oluşturmaktadır.<sup>12</sup> Çalışmamızda oluşan streslerin analizi yapıldığında, kırık başlangıcının servikal bölgede olabileceği açık bir şekilde gösterilmektedir. Maksimum stres yığılmasının olduğu bölgeler döngüsel kuvvetlere açık olan restoratif malzemeyi zayıflatır. Ayrıca tam seramik kuronlarda çatlakların yavaş yavaş ilerlemesinde çiğneme kuvveti verilmiş yönü gibi termal değişimler, nem ve statik yorgunluk da önemli rol oynamaktadır. Bu durum tam seramik kuronların uzun dönem kullanımları açısından sorun oluşturabilmektedir.<sup>5,22</sup>

Dişin üzerine lateral kuvvetlerin gelmesi durumunda vestibül ve lingual taraftaki servikal bölgede stres değerleri maksimuma doğru artış göstermektedir. Gelen kuvvetin şiddetine bağlı olarak vestibülo-servikal alanda diş ve restoratif malzeme bükülmeye karşı direnç gösterir ve çekme gerilmesi maksimum değere ulaşır. Dişin lingua-servikal alanında ise gelen

kuvvete karşı diş ve retoratif malzemede sıkışma etkisi oluşur ve buna karşı gösterilen direnç basma gerilimi olarak maksimum değere ulaşır. Dişin uzun eksenine paralel çiğneme kuvveti uygulandığında ise diş ve restoratif malzemede vestibülo-servikal alanda basma gerilimi, lingua-servikal bölgede çekme gerilmeleri meydana gelecektir.<sup>15</sup> Çalışmada elde edilen değerler ve gerilim tiplerinin oluşması bu bilgileri destekler niteliktedir.

Diş ve restoratif materyallere lateral kuvvetlerin gelmesi, dik gelen kuvvetlere göre daha fazla stres yığılmasına neden olur ve restorasyonun klinik başarısızlığını artırır.<sup>4,14,15</sup> Fonksiyon sırasında gelen kuvvetler sonucunda diş sadece kuvvete değil, aynı zamanda rotasyon hareketine karşı zıt bir direnç oluşturmak zorunda kalır. Bu durum karşılıklı çekme ve basma gerilim alanlarının oluşmasına neden olur.<sup>12</sup>

Yapılan araştırmalarda diş preparasyon şekli, restoratif malzemelerin mekanik özellikleri ve dentine bağlanma mekanizmasının, okluzal kuvvetlerin yarattığı iç gerilmeleri azaltabilecek ve diş-restorasyon kompleksinin direncini artıracak nitelikte olması gerektiği belirtilmektedir.<sup>5,6,9</sup> Bu hususlar protetik tedavinin başarısı ve sürekliliği için büyük önem taşımaktadır. Oluşturulacak basamak tipi de okluzal kuvvetleri dengeli dağıtabilecek formda olmalıdır.<sup>19</sup> Çalışmada omuz ve şev basamak tipi kullanıldı. Bu basamaklara yapılan restoratif malzemelerin, basamaklarda aşın stres birikimine neden olmadığı görüldü. Fakat şev tarzı basamakta, omuz tarzı basamağa göre iç köşesi yuvarlatıldığı için daha az stres birikimi oluştu. Servikal bölgedeki restoratif malzemelerin alt tabakalarında daha fazla bir stres birikimi görülürken, üst tabakada daha az stres birikimi izlendi. Sement/dentin tabakalarında ise, gerilim değersel olarak daha az bulundu. Doğal diş incelendiğinde, servikal bölgedeki mine ile dentin arasında sıkı bir bağ var olduğundan streslerin daha elastik olan dentine daha kolay dağılması sağlanır.<sup>3,15</sup> Restoratif malzemelerde ise alt tabaka daha sert olduğundan ve siman tabakasıyla bağlanılan da göz önünde bulundurularak dentine geçen streslerin dağılımı daha dengesiz olmaktadır.<sup>1,14</sup> Çalışmada kullandığımız restoratif malzemeleri doğal diş yapısı ile karşılaştırdığımızda IE-2 malzemesi gerilimin dağılımı açısından daha yakın bir özellik göstermektedir. IE-1, Ca ve Ce restoratif materyalleri mal-

zemelerin fiziksel özelliklerine bağlı olarak doğal diş yapısına göre değersel olarak farklılıklar göstermektedir. Bu malzemelerde basma gerilimi düşük, çekme gerilimi ise değersel olarak daha fazla görülmüştür.

Servikal bölgedeki basamak şeklinin uygun olarak düzenlenmesi ve uygun malzemelerin kullanılması, hekimlerin görevidir ve kuron içinde gerilim dağılımını ve kuronun performansını etkilediği bu çalışmada da gösterilmektedir.

Destek dişin uzun eksenine göre, lateral ve dik yönde gelen kuvvetler sonucunda oluşan gerilim dağılımlarının etkisinin restoratif malzemeler ve dokularda incelenmesi için ileri araştırmalar gerekmektedir. Ayrıca alt yapı kalınlığının oluşan streslerdeki rolü ve kuron altında kalan dentin doku kalınlığının etkisinin de incelenmesi gerekmektedir.

## Sonuçlar

1. Çiğneme kuvveti uygulandığında gerilim yoğunlaşması özellikle servikal bölgede olmaktadır. Bu bölgede stresin daha dengeli dağıtılmasının sağlanması ve kırılma dayanıklılığını artırmak için restoratif malzemelerin daha kalın olarak hazırlanması gerekmektedir.
2. Servikal bölgede oluşturulan omuz ve şev basamak tipi değersel olarak karşılaştırıldığında, şev basamak tipinde daha dengeli bir gerilim dağılımının oluştuğu izlendi.
3. Dentin/siman tabakasında, ve restoratif materyallerdeki gerilim dağılımları incelendiğinde IE-2 restoratif materyali, doğal diş yapısına en yakın gerilim dağılımı özelliği gösterdi.

## Kaynaklar

1. Gu XH, Kern M. Marginal discrepancies and leakage of all-ceramic crowns: Influence of luting agents and aging conditions. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 109-116.
2. Toksavul S, Ulusoy M, Toman M. Clinical application of all-ceramic fixed partial dentures and crowns. *Quintessence Int* 2004; 35: 185-188.
3. Proos KA, Swain MV, Ironside J, Steven GP. Influence of margin design and taper abutment angle on a restored crown of a first premolar using finite element analysis. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 442-449.

4. Goodacre CJ, Campagni WV, Aquilino SA. Tooth preparations for complete crowns: An art form based on scientific principles. *J Prosthet Dent* 2001; 85: 363-376.
5. Castellani D, Baccetti T, Giovannoni A, Bernardini UD. Resistance to fracture of metal ceramic and all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 1994; 7: 149-153.
6. Farah JW, Craig RG, Meroueh KA. Finite element analysis of three-and four-unit bridges. *J Oral Rehabil* 1989; 16: 603-611.
7. O'Grady J, Sherill M, Likeman P. A finite element analysis of a mandibular canine as a denture abutment. *Eur J Prosthodont Restorative Dent* 1996; 4: 117-121.
8. Özpmar B, Aksoy S. Akrilik ve seramik kuron uygulanmış dişlere gelen kuvvetlerin oluşturduğu gerilimlerin sonlu elemanlar analizi FEA yöntemiyle incelenmesi. *EÜ Dişhek Fak Derg* 1995; 16: 29-39.
9. Verdonchot N, Fennis WM, Kuijs RH, Stolk J, Kreulen CM, Creugers NH. Generation of 3D finite element models of restored human teeth using micro-CT techniques. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 310-315.
10. Jones ML, Hickman J, Middleton J, Knox J, Volp C. A validated finite element method study of orthodontic tooth movement in the human subject. *J Orthodont* 2001; 28: 29-38.
11. Lee WC, Eakle WS. Possible role of tensile stress in the etiology of cervical erosive lesions of teeth. *J Prosthet Dent* 1984; 52: 374-380.
12. Palamara D, Palamara JEA, Tyas MJ, Messer HH. Strain patterns in cervical enamel of teeth subjected to occlusal loading. *Dent Mater* 2000; 16: 412-419.
13. Wheeler RC. An atlas of tooth form. W.B. Saunders, Philadelphia, ABD, 1989. 64-66.
14. Nakamura T, Imanishi A, Kashima H, Ohyama T, Ishigaki S. Stress analysis of metal-free polymer crowns using the three-dimensional finite element method. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 401-405.
15. Aykul H, Toparlı M, Dalkız M. A calculation of stress distribution in metal-porcelain crowns by using three-dimensional finite element method. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 381-386.
16. Hojjatie B, Anusavice KJ. Three dimensional finite element analysis of glass ceramic dental crowns. *J Biomech* 1990; 23: 1157-1166.
17. Goel VK, Khara SC, Ralston JL, Chong KH. Stresses at the dentinoenamel junction of human teeth-A finite element investigation. *J Prosthet Dent* 1991; 66: 451-459.



18. Khiera SC, Goel VK, Chen RCS, Gurusami SA. A three-dimensional finite element model. *Oper Dent* 1988; 13: 128-137.
19. Burke FJT. Fracture resistance of teeth restored with dentin-bonded crowns: The effect of increased tooth preparation. *Quintessence Int* 1996; 27: 115-121.
20. Malament KA, Socransky SS. Survival of Dicor glass-ceramic dental restorations over 14 years. Part II: Effect of thickness of Dicor material and design of tooth preparation. *J Prosthet Dent* 1999; 81: 662-667.
21. Butel EM, Campell JC, DiFiore PM. Crown margin design: A dental school survey. *J Prosthet Dent* 1991; 65: 303-305.
22. Ohyama T, Yoshinari M, Oda Y. Effects of cyclic loading on the strength of all-ceramic materials. *Int J Prosthodont* 1999; 12: 28-37.
23. Farah J, Craig R. Finite element stress analysis of a restored axisymmetric first molar. *J Dent Res* 1974; 53: 859-866.
24. Burke FJ, Watts DC. Fracture resistance of teeth restored with dentin-bonded crowns. *Quintessence Int* 1994; 25: 335-340.
25. Dündar M, Özcan M, Çömlekoğlu E, Güngör MA, Artunç C. Bond strengths of veneering ceramics to reinforced ceramic core materials. *Int J Prosthodont* 2005; 18: 71-72.

---

**Yazışma Adresi:**

Dr. Mehmet Ali GÜNGÖR  
Ege Üniversitesi,  
Dişhekimiği Fakültesi,  
Protektik Diş Tedavi AD,  
35100 – Bornova / İZMİR  
Tel : (232) 388 03 27  
Faks : (232) 388 03 25  
E-posta : maligungor@yahoo.com