



## DİŞ HEKİMLİĞİNDE SONLU ELEMANLAR STRES ANALİZ YÖNTEMİ FINITE ELEMENT METHODS IN DENTISTRY

Arş. Gör. Dt. Serhat RAMOĞLU\*

Doç. Dr. Oğuz OZAN\*

**Makale Kodu/Article code:** 1261  
**Makale Gönderilme tarihi:** 14.08.2013  
**Kabul Tarihi:** 22.10.2013

### GİRİŞ

Diş hekimliği sanatını icra ederken, yapılan tedavilerin başarı ve başarısızlıklarının temelinde uygulanan kuvvet ve bu kuvvetin etkenleri en önemli noktayı oluşturmaktadır. Başarının elde edilmesi için, yapılan bilimsel araştırmaların birçoğu dişlere, restorasyonlara veya kemiğe gelen kuvvetlerin etkileri üzerine olmuştur. Canlı bir organizma üzerinde kuvvetlerin gösterilmesi oldukça zor, hatta bazen imkansızdır. Bu durumlarda in-vitro çalışmalar değer kazanmıştır.

Çok uzun yıllardır gerek doktora tezlerin yapılmasında gerekse yapılan çalışmalarda sıkça kullanılan bir yöntem olan sonlu elemanlar analiz yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analiz yöntemi, katı ve sıvıların mekanik sorunlarının çözümü ve yapıların fiziksel analizleri için yarım asırdan fazla süredir kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analiz yöntemi ile bir problemin en küçük parçasından yola çıkarak sorunu çözmek amaçlanmıştır. Sorunun temelini en küçük modeldeki en küçük parçadan ulaşıldığı için problemin anlaşılmasının kolaylaştırılması ve yapılan analiz bilgisayar ortamında yapıldığı için aynı şartlar altında tekrarlanabilir olması nedeniyle güvenilir sonuçlar elde edilmesi bu yöntemi değerli kılan diğer noktaları oluşturmaktadır.

Bu derleme ile literatürde çok sık kullanılan bir yöntem olan sonlu elemanlar analiz yöntemi hakkında detaylı bilgi vererek, araştırmacılara bir bakış sunmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu eleman analiz yöntemi, SESA, stres analizleri, kuvvet

### ABSTRACT

During presenting the art of dentistry, the applied force and the factors of this force form the main point on the basis of success and failure of a treatment. In order to get a success, most of the scientific researches are in matter of the forces on teeth, restorations, and a bone. It is so difficult to show the forces on a living organism and even it is sometimes impossible. In these situations, the in-vitro studies gain a value.

For a long time, finite element method is often used both for PhD thesis and for doing studies. The finite element method analysis has used more than half a century to solve the mechanic problems of solids and liquids and to do physical analysis. In the method of finite element analysis, we target to solve the problems by starting from the smallest part. The main points that make the method more valuable are the convenience of understanding the problem because of reaching the problems by starting from the smallest part of the models and can be repeated under the same conditions because of being a computer-based analysis.

This compilation gives detailed information about finite element method and offers a view for researchers.

**Key Words:** Finite Element Analysis, FEM, Stress Analysis, Force

\* Yakın Doğu Üniversitesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı,



Diş hekimliği biliminde, ağız içerisinde meydana gelen kuvvetleri iyi bir şekilde tanıyıp, analizmesi ve bu analizler neticesinde kuvvetleri fizyolojik sınırlar içerisinde dağıtarak restorasyonların oral rehabilitasyon kurallarına uygun şartlarda olması sağlanmalıdır.<sup>1</sup> Başarılı bir restorasyonun uygulanabilmesi için, kullanılacak olan materyallerin mekanik özelliklerinin ve bu materyallerin gelebilecek olan kuvvetler karşısındaki stres ve gerilmelerinin bilinmesi gerekmektedir. Doku ve organların, gelecek olan kuvvetler karşısında sergileyeceği davranışların tespit edilmesi; oldukça zor, maliyetli ve riskli olduğu gibi, bazı durumlarda da imkansızdır.<sup>1,2</sup> Söz konusu etkenler göz önüne alındığı zaman, canlı dokuların modelleri yapılması ve bu modeller üzerinde kuvvetin yoğunlaştığı bölgelerin tespit edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.<sup>3</sup> Bu streslerin tespiti için çeşitli kuvvet analiz yöntemleri mevcuttur (Tablo 1).<sup>1,4,5</sup>

Tablo 1. Stres analiz yöntemleri

1. Fotoelastik stres analiz yöntemi
2. Gerilim ölçer stres analiz yöntemi
3. Kırılgan vernik kaplama yöntemi ile stres analizi
4. Holografik interferometri (Lazer Işını) ile kuvvet analizi
5. Termografik kuvvet analiz yöntemi
6. Radyotelemetri ile kuvvet analiz yöntemi
7. Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi

### Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi (FEM)

Biyomekanik sistemin gerçeğe uygun matematiksel modelini çıkartıp bilgisayar ile bu modelin çözümlenmesi esasına dayanan bu analiz yöntemi; bir nevi bilgisayar üzerinde tabiatın taklit edilmesidir. Sonlu elemanlar metodu, fiziksel modelleri tarif eden matematiksel denklemlere sayısal çözüm getiren, çağımızın en modern ve önemli bilimsel tekniklerindedir. Bu yöntemin uygulanması sırasında milyarlarca aritmetik işlem yapıldığından bilgisayar kullanımı şarttır.<sup>1,4</sup>

İlk kez 1960'ların başlarında özellikle havacılık ve uzay endüstrisinde yapısal problemlerin çözümü için geliştirilmiş olup, günümüzde statik analizlerin yapılmasında, akışkanlar mekaniğinde, ısı transferinin incelenmesinde, elektromanyetik analizlerin yapılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır.<sup>2,6-8</sup>

Özellikle otomotiv, uçak ve inşaat endüstrileri alanlarında yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar analiz yöntemi, analizi çok pahalı deneysel araç ve yöntemler gerektiren birçok malzemenin kolayca incelenmesine olanak sağlar.<sup>6,9</sup> Ayrıca bu alanlarda

üretimi planlanan prototiplerin üretilmeden önce bilgisayar ortamında yapılan analizlerle en uygun dizaynın oluşturulmasına yardımcı olan bir yöntemdir.

Dental materyaller gibi oldukça karmaşık geometriye sahip materyallerin analizlerini yapmak oldukça zordur. Sonlu elemanlar analiz yöntemi, karmaşık geometriye sahip materyallerin kolaylıkla analizinin yapılmasına olanak sağlayan bir yöntemdir.<sup>5,10</sup> 1960'ların sonunda Ledney ve Huang'ın bir diş modelini matematiksel olarak oluşturması ile kullanılmaya başlanan sonlu elemanlar stres analiz yöntemi, 1970'li yıllarda Farah ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarla diş hekimliğindeki yerini almaya başlamıştır.<sup>6,10,11</sup> Son 20 yıl içerisinde literatürde sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile sıklıkla karşılaşılmaktadır.<sup>2,7,8,12,13</sup>

Bu yöntem ile analizler tek boyutta, iki boyutta ve üç boyutta yapılabilmektedir. Sonlu elemanlar analiz yöntemi karmaşık bir mekanik sorunun çözümünde rahatlıkla kullanılan bir teknik olup, incelenecek olan bölgeyi küçük ve basit alanlara (elemanlara) ayırarak incelemenin daha kolay olmasına olanak veren ve çözümü bu küçük parçalar içerisinde sağlayabilen matematiksel bir analizdir.<sup>1,2,4</sup> Kısacası sonlu elemanlar analizi "parçadan bütüne gitme" prensibine dayanır.<sup>6,7</sup>

Sonlu elemanlar stres analiz yönteminde mevcut problemlere çözüm oluşturabilmek için; mevcut olan tüm sistemin şekilsel fonksiyonları kullanılarak çok daha küçük ve basit parçalara, varyasyonel prensiplere dayanarak çözüm aranmaktadır.<sup>2,11</sup>

Sonlu elemanlar stres analiz yönteminin uygulanacağı deney parçanın üç boyutlu katı modelinin oluşturulmasında farklı yöntemlerin kullanılması mümkündür.<sup>2,4,12,14</sup> En sık kullanılan yöntemleri şunlardır.<sup>5,11,14</sup>

1. MR ve CT görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılarak modelin oluşturulması
2. Koordinat belirleme cihazlarıyla elde edilen nokta ve yüzey verilerinden model oluşturulması.

Bu yöntemlerin kullanılmasında karşılaşılabilecek olan en basit problem MR ve CT görüntüleme sistemleri ile sonlu elemanlar stres analiz yönteminde kullanılacak olan katı modelin oluşturulmasında kullanılan CAD (*computer aided design*) programları arasında uyumsuzluk ve koordinat belirleme cihazlarıyla sayısallaştırılmış nokta veya yüzey datalarının üç boyutlu katı model haline getirilmesi için kullanılacak



yazılımın yetersizliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, bu analiz yönteminin kullanıldığı durumlarda, katı model üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak modeller elde edilmelidir.

#### Sonlu eleman stres analiz yöntemi özellikleri <sup>11</sup>

1. Karmaşık geometriye sahip yapılar için uyumluluk
2. Değişik yapısal problemler için uyumluluk
3. Teorik temellerin güvenilirliği
4. Doğruluğun güvenilirliği
5. Hesaplama verimliliği

#### Sonlu eleman stres analiz yönteminin avantajları <sup>6,9,11,15,16</sup>

1. Sonlu elemanlar analiz yöntemi ile oldukça karmaşık geometriye sahip cisimler rahatlıkla ve güvenli bir şekilde analiz edilebilir.
2. Bağlantı noktası fazla olan cisimler (delikli veya köklere sahip cisimler) rahatlıkla analiz edilebilir.
3. Yapısında değişik malzeme ve geometri özelliklerini barındıran cisimler ek bir zorluk çıkartmadan analizleri gerçekleştirilebilir.
4. Neden – sonuç ilişkisine bağlı sorunlar, yapının bütününe değil de, küçük bir yapıda çözümlenerek, bütün yapıya ait kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sorunu basite indirerek, sorunların anlaşılmasına ve çözümlenmesine olanak sağlar.
5. Sınır şartları oldukça kolay uygulanır.
6. Sonlu eleman stres analiz yöntemi karmaşık yapılarda ve problemlerde sebep – sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metotlardan çok daha hassas sonuçlar vermektedir.

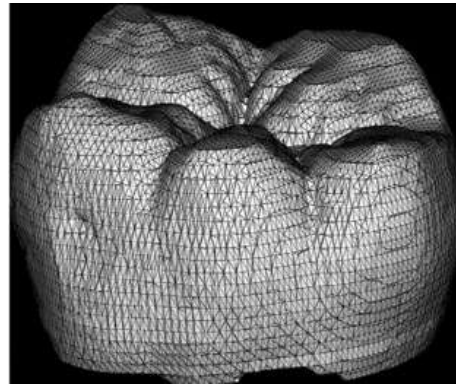
#### Sonlu eleman stres analiz yönteminin dezavantajları <sup>8,9,11</sup>

1. Analizlerin yapılabilmesi için gerekli olan donanımına sahip bilgisayar ve *software* programlarının maliyet ücretleri fazladır.
2. Gelişen teknolojiyle doğru orantılı olarak mevcut olan *software* programlarının düzenli olarak güncellenmesi gerekmektedir.
3. Bu yöntemler; yapılan araştırmaların doğruluğu, malzeme özelliklerinin sisteme yüklenmesi gibi kilit noktalara bağlıdır.

#### Sonlu eleman stres analiz yönteminin aşamaları

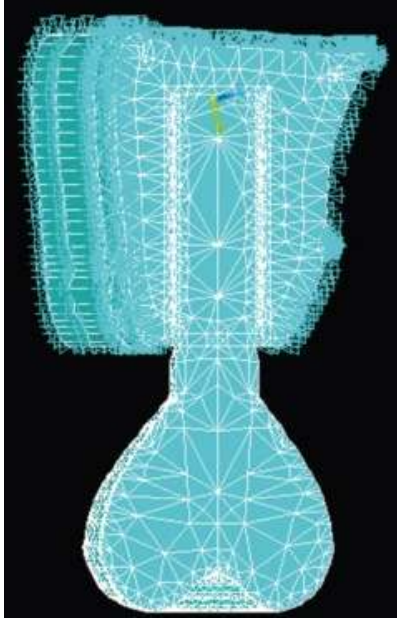
##### 1. Pre-processing: İncelencek yapının modelinin elde edilmesi

Katı modelin oluşturulması için gerekli olan yöntemlerden birinin kullanılıp, bilgisayar ortamında CAD programı vasıtasıyla modelin oluşturulması ile ilk aşama gerçekleştirilmiş olunur. Gerekli olan programların kullanılması sonrasında, analizi yapılacak olan yapı; boyutuna ve geometrisine uygun olarak elemanlara bölünerek "matematiksel model" denilen bir ağ yapıya (*mesh*) dönüştürülür (Şekil 1).<sup>2,6,9,11,17,18</sup>



Şekil 1. Örnek Ağ yapı (*Meshing*) işlemi<sup>18</sup>

Sonlu eleman analiz yönteminde, katı, sıvı veya gaz gibi gerçek cisimler birbirine bağlanmış, sonlu eleman adını alan alt bölümlerle ifade edilmektedirler. Bu elemanlar, birbirlerine düğüm noktası (*node*) adı verilen noktalardan bağlanmışlardır (Şekil 2).<sup>11</sup> Düğüm noktaları genellikle elemanların birbirlerine bağlandıkları yerler olan eleman sınırlarında bulunmaktadır. Model ağını oluşturan elemanlar sanal stresler altında gerilme ve şekil değiştirmelerini bağlı oldukları diğer elemanlara aktararak onların da etkilenmelerine sebep olurlar.<sup>9</sup> Düğüm noktalarının oluşturulması ile sınır koşulları (*boundary conditions*) oluşturulur (Şekil 2).<sup>11</sup> Sınır koşulları, streslerin ve deplasman hareketlerinin sınır ifadelerini kapsar. Cismin nereden sabitlendiğini ve kuvvetlerin nereden uygulandığını gösterir. Analizin yapılacağı cismin hangi bölgesinden kuvvet uygulanacağına göre sınır şartları belirlenir.<sup>6,9</sup> Düğüm noktaları, birbirleriyle köşe noktalardan birleşebilen eşit büyüklükteki sonlu sayıdaki elemanlara bölünmüştür. Eleman sayısının artması, sonucun gerçeğe daha yakın olmasına olanak sağlarken, hata ihtimalini de arttırmaktadır.<sup>2,17,19</sup>



Şekil 2. Örnek düğüm noktaları (nodes) ve sınır koşulları (boundary conditions)<sup>11</sup>.

## 2. Analiz: Verilerin software programına yüklenmesi

Oluşturulan katı modelde var olan farklı elemanların mekanik özellikleri ve yükleme koşulları tanımlanmalıdır. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde elastisite modülü (*Young's Modulus*) ve poisson oranları kullanılır (Tablo 2). Yükleme koşullarının belirlenmesi ile birlikte uygulanması düşünülen kuvvetin şiddeti, yönü ve açısı belirlenir.<sup>6,9,11</sup>

Modeldeki her eleman, analizi planlanan ana modelin bütün özelliklerine sahip olduğu için bu elemanların yüklemeler altında göstermiş oldukları tepkiler yapının bütünlüğünü taklit eder. Yüklemeler altında elde edilen veriler depolanır.

Tablo 2. Örnek Elastiklik modül (*Young's Modulus*) ve Poisson oranları<sup>14</sup>

	Elastiklik Modülü	Poisson Oranı
Cr-Cobalt	100000	0,35
Kortikal	13700	0,3
Titanyum	105000	0,35
Spongioz	1370	0,3
PMMA	3000	0,35
Mukoza	1	0,45

## 3. Post-processing: Analiz çözümlenir.

Sonlu eleman analiz yönteminde, her bir alt yapının çözümlenmesi; yapının bütünlüğün çözümlenmesi ile sonuçlar elde edilir.<sup>2,9</sup> Farklı yükleme koşulları altında yapılan analizler neticesinde farklı değişkenlere ilişkin veriler elde edilebilir. Bu veriler, asal gerilimler (*principal stresses*), eksensel gerilimler (*axial stresses*), yer değiştirme değerleri (*displacements*), deformasyon değerleri veya eşdeğer gerilimler (*equivalent stresses*) dir.<sup>2,6,9,11</sup>

Veriler değerlendirilirken analizi yapılan materyalin mekanik özellikleri göz önüne alınıp ona göre değerlendirilmede kullanılacak olan analiz yöntemi seçilir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde; kırılabilir materyaller (kemik, greft materyalleri, porselenler) için asal gerilim (*principal stresses*) değerleri, metaller gibi çekilebilir materyaller için Von Misses stres (*equivalent stresses*) değerleri kullanılabilir.<sup>11</sup> Asal gerilim değerleri için elde edilecek olan, en yüksek değer (*maximum principal stress*) modelde oluşan gerilme (çekme) tip gerilimi; en düşük asal gerilim (*minimum principal stress*) ise modelde oluşan sıkışma tip gerilimi ifade eder. Ayrıca Von Misses değerleri ile tüm yapıda oluşan stres değerleri hakkında bilgi elde edilebilir.<sup>2,6,9,11,14,20</sup>

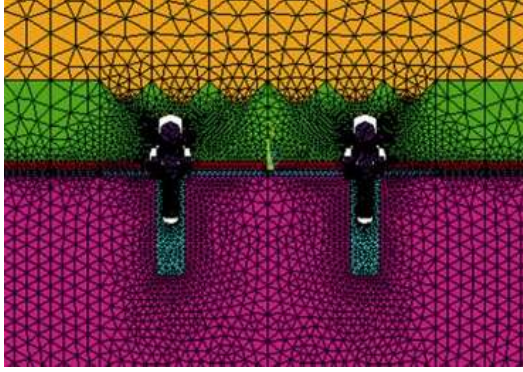
## Sonlu eleman stres analiz yönteminde sonuçların değerlendirilmesi

Sonlu elemanlar stres analiz metodunda en önemli nokta; doğru kesitler elde edilip, düğümlerdeki stres miktarının doğru ve tam bir biçimde değerlendirilmesi ve diğer örneklerle kıyaslama yaparak anlamlı sonuçların elde edilmesidir.<sup>9,21</sup> Asal gerilimlerin değerlendirilmesi ile kırılabilir materyaller hakkında bilgi elde edilebilirken, Von Misses değerleri ile tüm yapıda meydana gelen makaslama kuvvetlerinin bileşke değerleri hakkında fikir sahibi olunabilir.<sup>2,4</sup> Ayrıca Von Misses değerleri, plastik deformasyondan sorumlu distorsiyon enerjisi ile ilgilidir. *Yield* noktasını tanımlamak için kullanılır. Bir materyalin *yield* noktasının aşılması durumunda materyal elastik davranış gösteremeyip, deformasyona maruz kalır.<sup>22</sup>

## İki boyutlu sonlu eleman stres analiz yöntemi:

İki boyutlu sonlu elemanlar analiz yöntemi, diş hekimliğinde bilimsel araştırmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Ancak; son zamanlarda bazı kapsamlı çalışmalarda kullanılan materyalin çeşitliliği, komp-

leksliği ve üç boyutlu morfolojik yapıların varlığı nedeniyle iki boyutlu sonlu eleman analiz yöntemi yetersiz kalmaktadır (Şekil 3).<sup>21,23,24</sup>

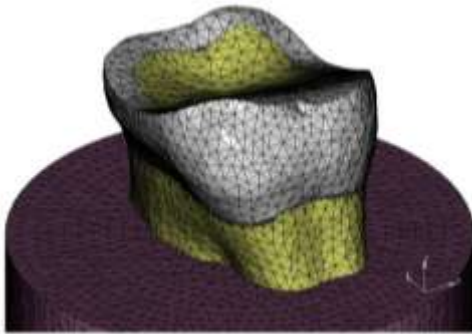


Şekil 3. Örnek 2 boyutlu sonlu elemanlar analiz modeli<sup>24</sup>

### Üç boyutlu sonlu eleman stres analiz yöntemi:

Üç boyutlu sonlu eleman analiz yöntemi, iki boyutlu sonlu eleman analiz yöntemine göre kompleks yapıların simülasyonu için daha uygun bir yöntemdir (Şekil 4).<sup>25</sup> Bu yöntem, diş hekimliğinde kullanılan birçok araştırma metoduna göre çok fazla mühendislik bilgisi gerektirmektedir. Üç boyutlu sonlu eleman analiz yönteminde kullanılacak olan modelin biyolojik bir yapı, düzensiz köşeler ve farklı materyalleri içermesi durumunda oluşturulması oldukça zordur.<sup>20,23,26,27</sup>

Karmaşık bir yapının incelenmesinde, iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu sonlu elemanlar analiz yöntemi arasındaki seçim; analizin yapılacağı yapının geometrik karmaşası, gereken analiz yöntemi ve bulguların kabul edilebilmesi gibi birçok faktöre bağlıdır.<sup>28</sup>



Şekil 4. Örnek 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli<sup>25</sup>

### Diş hekimliğinde kullanılan sonlu eleman stres analiz programları:

Teknolojinin gelişmesi ile doğru orantılı olarak ileri işlemci yeteneğine sahip bilgisayarların gelişmesi neticesinde sonlu elemanlar teknolojisi ve bu teknoloji ile kullanılan yazılım paketlerinin de gelişmesine neden olmuştur. Sonlu elemanlar analiz yazılımları arasında, teknik olarak farklılıklar olmakla birlikte diş hekimliğinde en sık; ALGOR, ABAQUS, ADINA, ANSYS, COMSOL, FEMPRO, FEMTOOLS, I-DEAS, MARC, NASTRAN, PAFEC 75, PATRAN, PROENGINEER, SOLIDWORKS, SAP 80, SAP2000, STRAND7, VISUALFEA ve ZEBULON' isimli programlar kullanılmaktadır.<sup>2,4,5-11,21</sup> Bu programların yardımı ile gerilme, şekil değiştirme ve yer değiştirme miktarları sayısal değerlerle ifade edilebilmekte ve elde edilen verilerin kolayca anlaşılıp, yorumlanabilmesi için renkli görüntüler alınabilmektedir. Programın hazırlanmış olduğu renk cetvelleri ile gelen kuvvetlerin değerlendirilmesi rahatlıkla yapılabilmektedir.

### KAYNAKLAR

1. Ulusoy M, Aydın K. Diş hekimliğinde hareketli bölümlü protezler, Ankara Üniversitesi Yayınları, 2010, s. 94-120.
2. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: A review of the literature. Journal of Prosthetic Dentistry 2001;85:585-98.
3. Çalikkocaoğlu S. Dişsiz hastaların protetik tedavisi. 5 Basım. Quintessence Yayıncılık, 2010, s:1-63
4. Adıgüzel Ö. Sonlu elemanlar analizi: Derleme bölüm I: Dişhekimliğinde Kullanım Alanları, Temel Kavramlar ve Eleman Tanımları. Dicle Dişhekimliği Dergisi 2010;11:18-23.
5. Güler MS, Sen S, Bayındır YS, Güler Ç. İnsan diş kaplamalarında kullanılan farklı özelliklerdeki yapıştırıcı simanların gerilme etkilerinin sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg 2012; 22: 31-9
6. Ebrahimi F. Finite element analysis-new trends and developments, Intech, 2012, s:5-20.
7. Wakabayashi N, Ona M, Suzuki T, Igarashi Y. Nonlinear finite element analyses: Advances and challenges in dental applications. J Dent. 2008; 36:463-71.
8. Holmgren EP, Seckinger RJ, Kilgren LM, Mante F.

- Evaluating parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis-a two-dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant shape, and load direction. *J Oral Implantol* 1998;24:80-88.
9. Logan DL. First course in the finite element method 5<sup>th</sup> edition, Nelson Education Ltd, 2007 s. 1-27.
  10. Baiamonte T, Abbate MF, Pizzarello F, Lozada J, James R. The experimental verification of the efficacy of finite element modeling to dental implant systems. *J Oral Implantol* 1996;22:104-10.
  11. Moratal D. Finite element analysis, *Sciyo*, 2010, s:43-103.
  12. Mackerle, J. Finite Element Modelling and Simulations in Dentistry: A Bibliography. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 2004; 7: 277- 303.
  13. Eskitaşçıoğlu G, Yurdukuru B. Dişhekimliğinde sonlu elemanlar stres analiz yöntemi. *A Ü Diş Hek Fak Derg* 1995; 22:201-5.
  14. Hong HR, Pae A, Kim Y, Paek J, Kim HS, Kwon KR. Effect of implant position, angulation, and attachment height on peri-implant bone stress associated with mandibular two-implant overdentures: a finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:69-76.
  15. Menicucci G, Mossolov A, Mozzati M, Lorenzetti M, Preti G. Tooth-implant connection: some biomechanical aspects based on finite element analyses. *Clin Oral Implants Res* 2002; 13:334-41.
  16. Chun HJ, Cheong SY, Han JH, Heo SJ, Chung JP, Rhyu IC, Choi YC, Baik HK, Ku Y, Kim MH. Evaluation of design parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis. *J Oral Rehabi.* 2002; 29:565-74.
  17. Akça K, Cehreli MC, İplikçioğlu H. A comparison of three-dimensional finite element stress analysis with in vitro strain gauge measurements on dental implants. *International Journal of Prosthodontics* 2002; 15:115-21.
  18. Magne P. Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data. *Dent Mater* 2007;23;539-48
  19. DeTolla DH, Andreana S, Patra A, Buhite R, Comella B. Role of the finite element model in dental implants. *J Oral Implantol* 2000;26:77-81.
  20. Tabata LF, Assunção WG, Barão VA, Gomes EA, Delben JA, de Sousa EA, Rocha EP. Comparison of single-standing or connected implants on stress distribution in bone of mandibular overdentures: a two-dimensional finite element analysis. *J Craniofac Surg.* 2010; 21:696-702
  21. Gokhale NS, Deshpale SS, Bedekar SV, Thite AN. Practical finite element analysis, *Finite to Infinite*, 2008, s:1-140.
  22. Chen L, Guo X, Li Y, Li T. Finite element analysis for interfacial stress and fatigue behaviors of biomimetic titanium implant under static and dynamic loading conditions. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban* 2010; 35:662-72.
  23. O'Grandy J, Sheriff M, Likeman P. A finite element analysis of a mandibular canine as a denture abutment. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry* 1996;4:117-21.
  24. Assunção WG, Tabata LF, Barão VA, Rocha EP. Comparison of stress distribution between complete denture and implant-retained overdenture-2D FEA. *J Oral Rehabil* 2008; 35:766-74
  25. Magne P, Stanley K, Schlichting LH. Modeling of ultrathin occlusal veneers. *Dent Mater* 2012; 28:777-82.
  26. Ausiello P, Apicella A, Davidson CL, Rengo S. 3D-finite element analyses of cusp movements in a human upper premolar, restored with adhesive resin-based composites. *J Biomech* 2001; 34:1269-77.
  27. Lin CL, Chang CH, Cheng CS, Wang CH, Lee HE. Automatic finite element mesh generation for maxillary second premolar. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 1999;59:187-95.
  28. Hood, J.A.A. Biomechanics of the intact, prepared and restored tooth: some clinical implications, *International Dental Journal* 1991;41:23-32.

**Yazışma Adresi:**

Arş.Gör. Dt. Serhat RAMOĞLU  
Yakın Doğu Üniversitesi,  
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı,  
Lefkoşa/KKTC, Mersin – 10, Türkiye  
Tlf: +903926802030  
e-mail: srht@me.com

