

## DİŞHEKİMLİĞİNDE KULLANILAN STRES ANALİZ YÖNTEMLERİ: DERLEME

### STRESS ANALYSIS METHODS USED IN DENTISTRY: REVIEW

<sup>1</sup>\*Gamze ALNIAÇIK, <sup>1</sup>Önjen TAK, <sup>1</sup>Serkan SARIDAĞ

<sup>1</sup>Yrd. Doç. Dr. Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, KOCAELİ.

#### Özet

Stres analiz yöntemleri dental yapılarda oluşan gerilmelerin belirlenmesi ve dişhekimliğinde kullanılan materyallerin mekanik dayanıklılıklarının geliştirilmesi amacıyla, son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Stres analiz yöntemleri, teorik ve deneysel alt gruplara ayrılabilir. Teorik yaklaşımlar, matematiksel formüller ve sonuç denklemlerin çözümünü gerektirir. Deneysel yaklaşımlar ise, ilgili yapı üzerinde doğrudan veya yapının modellenmesi yoluyla elde edilen ölçümlerin kullanımını içerir.

Bu derlemenin amacı, stres analiz yöntemlerinin dişhekimliğinde kullanımı ile ilgili bir bakış sunmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu elemanlar stres analizi, fotoelastik stres analiz, gerilim ölçer ile stres analiz yöntemi, kırılğan vernik kaplama tekniği ile stres analiz yöntemi, holografik interferometri (Lazer ışınları) ile stres analiz yöntemi, termografik stres analiz yöntemi, radyoteleometri ile stres analiz yöntemi.

#### Abstract

Stress analysis methods used to determine the tensions composed in the dental structures and to improve mechanical durability of the dental materials have gained importance in recent years. Stress analysis methods can be divided into subgroups as theoretical and experimental. Theoretical approaches require solution of mathematical formulas and concluding equations meanwhile experimental approaches include using the measurements obtained either direct or by modeling the related structures.

The purpose of this review is to provide an overview on the use of stress analysis methods in dentistry.

**Key words:** finite element analysis methods, photoelastic stress analysis, strain gauge stress analysis, brittle lacquer-coating techniques, holographic interferometry stress analysis methods, thermographic analysis, Radiotelemetry stress analysis methods.

#### Giriş

Dişhekimliğinde kullanılan materyallerin dental yapılarda oluşan gerilmelerin belirlenmesi ve mekanik dayanıklılıklarının geliştirilmesi amacıyla, bu yapıların stres analizlerinin yapılması son yıllarda oldukça önem kazanmıştır.

Bir kitle ya da malzeme üzerine dışarıdan bir kuvvet uygulandığı zaman, kitle içinde eşit miktarda, ancak ters yönde bir tepki oluşur (1,2). Dış kuvvete karşı kütlemin gösterdiği direncin birim alandaki miktarına, gerilim yani stres denir.

Stres, birim kuvvetin birim alana bölünmesi ile elde edilir ve Paskal olarak ifade edilir (1 Pa= 1N/m<sup>2</sup>). Bilimsel yayınlarda genellikle MPa olarak ifade edilir

(1MPa=10<sup>6</sup>Pa)(2). Uygulanan kuvvetin cinsine göre gerilim tipi farklı olacaktır<sup>1</sup>. Çekme gerilimi, sıkıştırma-basma gerilimi, makaslama-kayma gerilimi, bükülme gerilimi, şekil alabilme, yorgunluk, korozyon ve akıcılık gerilim çeşitlerindedir (1).

Stres analiz yöntemleri, teorik ve deneysel alt gruplara ayrılabilir. Teorik yaklaşımlar, matematiksel formüller ve sonuç denklemlerin çözümünü gerektirir. Deneysel yaklaşımlar ise, ilgili yapı üzerinde doğrudan veya yapının modellenmesi yoluyla elde edilen ölçümlerin kullanımını içerir (3).

Dişhekimliğinde kullanılmakta olan kuvvet dağılımı saptama yöntemleri:

1. Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi
2. Fotoelastik stres analiz yöntemi
3. Gerilim ölçer ile stres analiz yöntemi
4. Kırılğan vernik kaplama tekniği ile stres analiz yöntemi
5. Holografik interferometri (Lazer ışınları) ile stres analiz yöntemi
6. Termografik stres analiz yöntemi
7. Radyoteleometri ile stres analiz yöntemi (4).

#### \*İletişim Adresi

Dr. Gamze ALNIAÇIK  
Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi  
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı,  
Kocaeli, TÜRKİYE

Tel: 0 262 3442222/5133

Fax:0 262 3442109

e-mail: [gamze.alniacik@kocaeli.edu.tr](mailto:gamze.alniacik@kocaeli.edu.tr), [galniacik@yahoo.com](mailto:galniacik@yahoo.com)

## 1. Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi

Sonlu eleman analizi, yapısal mühendislik problemlerinin çözümünde yıllardan beri, sayısal çözümlene amacıyla kullanılmaktadır (5).

Karmaşık bir mekanik sorunun çözümü için kullanılan bir teknik olup, sorun alanını küçük ve basit alanlara ayıran bir analizdir. Diğer bir deyişle, genel anlamda bütün haldeki sorunun, daha küçük ve basit hale indirgenerek, her birinin kendi içinde çözümünün sağlanması ile bütünü çözümlenebildiği matematiksel bir analizdir (6). Bu bir çeşit, bilgisayar üzerinde tabiatın taklit edilmesidir. Bu yöntemin uygulanması sırasında çok sayıda aritmetik işlem yapıldığından bilgisayar kullanımı şarttır (4).

Sonlu elemanlar metodu sayısal bir metottur. Bu metot kompleks geometrilerin analizinde çok önemlidir. Bu yöntemle incelenen bir yapının bir, iki veya üç boyutlu analizi yapılabilir. Değişik şekillerdeki yapılar modellenir ve birbirlerine düğüm noktalarında birleşen daha basit geometrik şekillere veya elemanlara bölünür. Kuvvet dağılımı, her eleman için ayrı ayrı bulunacağından, daha duyarlı bir analiz yapabilmek için eleman sayısı çoğaltılmalıdır (7). Böylece boyutları belirlenmiş bir modelde, yazılımlar ile belirlenen şiddet, yön ve alandaki kuvvet uygulamasına bağlı olarak ortaya çıkan gerilimler (stress), gerinimler (strain) ve yer değiştirmeler (deplasman) ölçülebilmektedir (6-8).

Sonlu elemanlar yönteminin şu üstünlükleri vardır:

- Sonuçların hassasiyeti çok yüksektir.
- Sonuçlar çok kısa sürede elde edilebilir.
- Sonuçlar çok ayrıntılı ve çeşitli olarak elde edilebilir (4).

Bu yöntem bazı kısıtlamalar da içermektedir. Gerçekçi modeller oluşturabilmek için ileri teknoloji ve teknik donanım gerekmektedir. Bu da artmış maliyet ve zaman ile sonuçlanır (9,10).

Dişhekimliğinde sonlu eleman analiz yöntemi şu alanlarda kullanılmıştır (11).

- Dental materyaller; diş ve katmanları (mine, dentin, sement, ), amalgam, kompozit rezinler, cam iyonomer simalar ve yapıştırma simanları,

cam, seramik ve zirkonyum sistemler, metaller ve metalik sistemler, post ve kanal dolgu maddeleri,

- Oral ve maksillofasiyal yapıların mekaniği ve cerrahisi, maksilla ve mandibula kırıkları ile bunların fiksasyonu, osteotomi, temporomandibular eklem mekaniği, periodontal ligament, alveol kemiği, trabeküler kemik, kortikal kemik, implant materyalleri, mini vida ve plak,
- Ortodonti tedavileri, dişlerin hareket ettirilmesi, ortodontik apareyler, Konservatif ve endodontik tedaviler, kavitelelerin modellenmesi, kole defektleri, kök kanal sisteminin modellenmesi, kanal içi stresler, kanal eğeleri, irrigasyon sistemleri ve iğneleri
- Dental restorasyonlar; dolgu materyalleri, kron ve köprü protezleri, sabit ve parsiyel protezler, dental implantlar
- Dizayn özellikleri
- Materyal özellikleri
- Kuvvet yüklemesi ve diğer parametreler
- Osseointegrasyon

Sonlu elemanlar analizi daha spesifik olarak kuvvet yüklemesi, yapıların yer değiştirmesi eğilme, bükülme, kırılma, gerilme, titreşim, materyallerin elastik ve plastik deformasyonları ve bağlanma dayanıklılıklarının sayısal olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır (11).

## 2. Fotoelastik Stres Analiz Yöntemi

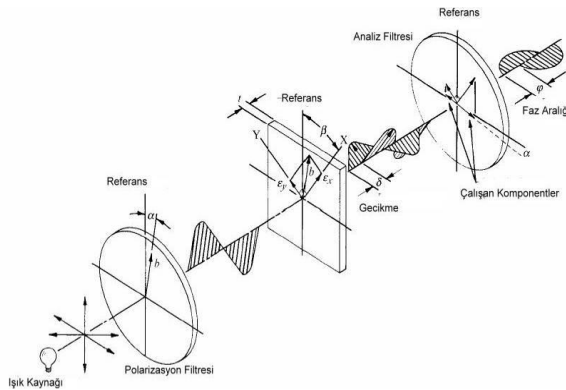
Çeşitli mühendislik dallarında sıklıkla kullanılan bu teknik diğer yöntemlere nazaran bütün modeldeki iç baskıları doğrudan göstermesi bakımından diş hekimliğinde de tercih edilmektedir (4,12). Restoratif diş hekimliğinde fotoelastisite ilk kez Noonan tarafından uygulanmıştır (13,14).

Söz konusu yöntem, karışık yapılar içinde oluşan mekanik iç baskı ve gerilimleri gözle görülebilir ışık taslakları haline dönüştürme tekniğidir. Bu yöntem iki fiziksel tekniğe dayanmaktadır:

- 1- Bazı ortamların kuvvet altında çift kırıcılık göstermesi
- 2- Işığın polarizasyonu

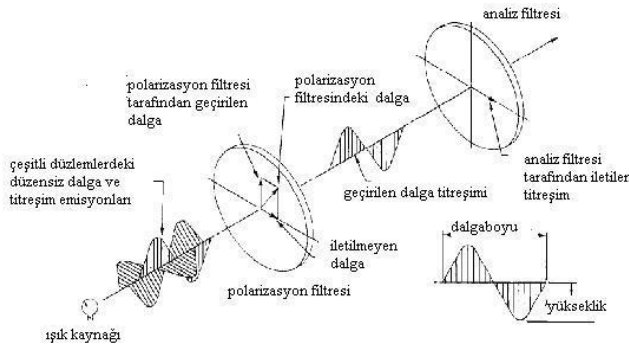
Işık bir Nicol prizmasından geçince polarize olur (Şekil 1). Polarizasyon, ışık dalga

hareketindeki titreşimlerin belirli bir yol çizmesi ile meydana gelen bir olaydır.



Şekil 1: Işığın Polarizasyonu

Polarize ışık huzmesi, kuvvet uygulanan bir fotoelastik materyalin içinden geçtiğinde madde içinde farklı hızlarla hareket eden dikey titreşimlere dönüşür. Bu faz farkı, polarize filtre ya da Polariskop yardımı ile görünür hale gelir (4,12,15). Polariskobu oluşturan ana yapılar polarize filtre ve ışık kaynağıdır. Bu tip polariskoba “düzlemsel polariskop” denir (Şekil 2).



Şekil 2: Düzlemsel Polariskop

Fotoelastik stres analizinin bazı avantajları vardır:

1. Oral yapılar gibi karmaşık şekillere sahip yapılar modellerle incelenebilir.
2. Çiğneme kuvvetleri gibi kompleks yüklerden ve farklı restoratif uygulamalardan kaynaklı stresler belirebilir.
3. Tüm modellerdeki streslerin yerleri ve büyüklüğü belirlenebilir (3).

Modeller oluşturulurken göreceli olarak da olsa protez ve dokuların elastik

modülüslerine dikkat edilerek fotoelastik materyalinin seçilmesi gerekir (3).

Fotoelastik analiz yönteminin üç temel tekniği vardır:

**1. Fotoelastik kaplama tekniği:** Stres analizi yapılacak materyale model üzerine yumuşak, kırılma özelliği gösteren plastik levhalar yapıştırılır ve sonra kuvvet uygulanır. Oluşan stres çizgileri polariskopta incelenir (16).

**2. İki boyutlu fotoelastik stres analiz tekniği:** Eğer, stres analizi istenen cisim iki boyutlu veya düzlemsel ise 3-5 mm 'lik kalınlığa sahip fotoelastik maddelerden oluşan levhalardan o cismin modeli hazırlanır ve Polariskop üzerindeki yüklem yapıp incelenir (4,16). İki boyutlu analizde stres varyasyonlarını engellemek için model kalınlıkları mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Oluşturulacak kuvvetler tek düzlemle sınırlandırılmalıdır. İki boyutlu fotoelastik stres analiz tekniğinin avantajları:

- a- Modellerin yapımı daha kolaydır,
- b- Aynı modellere çok çeşitli kuvvet uygulamaları yapılabilir,
- c- Aynı modelde birçok farklı yapı test edilebilir.

Bu uygulamanın dezavantajı olarak, üç boyutlu model hazırlanmadığı için üç boyutlu stres dağılımı gözlenememesi sayılabilir (3).

**3. Üç boyutlu fotoelastik stres analiz tekniği:** Bu teknikte de incelenecek cismin fotoelastik özelliği olan bir maddeden üç boyutlu bir modeli yapılır. Bu model özel koşullar altında (belirlenmiş bir sıcaklıkta) yüklenir ve oluşan gerilimler dondurulur. Daha sonra kesitler alınır ve Polariskopta incelenerek fotoğrafları çekilir (4,16).

Fotoelastik stres analiz yönteminde kullanılan Polariskop cihazı aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır (4):

A- Işık Kaynağı: İki tip ışık kaynağı vardır.

Beyaz ışık: Bu ışıkta bulunan farklı renklerin girişime olan eğilimleri, stres çizgilerinin spektrumda renkli görünmesine neden olur.

Monokromatik ışık: 5461 Å'lık filtre edilmiş civa buharlı lamba veya sodyum

lambası ile elde edilir. Stres çizgilerinin siyah görünmesini sağlar.

#### B- Diffuser: Işık dağıtıcı

C- Polaroid plaklar: Polaroid levhanın kolay geçiren eksen denilen levha içinde bir eksenidir. Eğer ışık bu eksen boyunca yönelmiş ise az bir soğurulma ile geçer.

Bu geçen ışığa "kutuplanmış ışık" denir, yani polaroid plak bir kutuplayıcıdır. Işık kolay geçiren eksene dik ise büsbütün soğurulur.

D- Çeyrek dalga plakaları: Bunlara geciktirme levhaları da denir. Yavaş ve hızlı geçiren eksenleri vardır. Kutuplanmış olarak gelen ışığı hızlı bileşene göre yavaş bileşeni 1/4 titreşimlik bir faz gecikmesi altında bırakır. Çeyrek dalga plakasından çıkan dalganın, yavaş ve hızlı bileşenlerinin genlikleri aynıdır. Hızlı bileşen yavaş bileşenden faz olarak 90° ileridir. Bunlar birbiri ile çapraz, polaroid plakların kolay geçiren eksenleri ile 45° lik açı yapacak şekilde yerleştirilmek suretiyle dairesel polarize ışık meydana getirmede kullanılır ki bu izoklinik çizgileri ortadan kaldırır.

E- Analizi yapılacak olan maddenin paralel kesiti

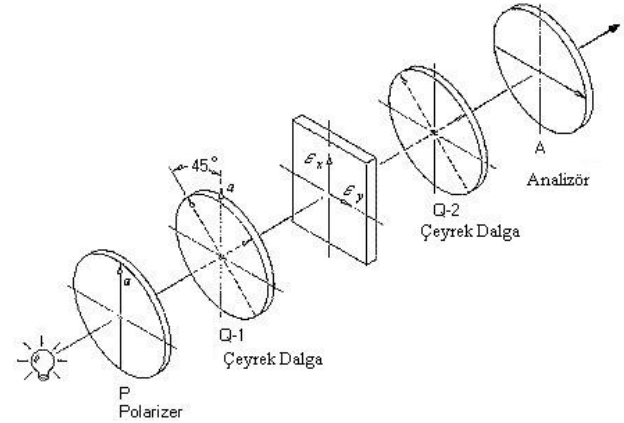
F- Fotoğraf makinesi: Kesitler polariskop cihazındaki özel yerlerine yerleştirildikten sonra, iki ayrı ışık demeti altında incelenebilir. Turuncu rengindeki monokromatik sodyum ışığı altında stres çizgileri siyah; beyaz ışıkta ise siyah, kırmızı, mavi ve yeşil olarak izlenir.

Fotoelastik materyalde kırmızı ve yeşil renkler arasındaki stres çizgileri 'fringe' olarak tanımlanır. Stres çizgilerinin sayısı arttıkça stres de oransal olarak artar. Bu renkli bantlar veya stres çizgileri birbirine yaklaştıkça stres değişimi fazla olur. Düzenli renk görünümü ise düzenli dağılım gösteren stres alanlarını ifade eder (3,4).

Genel olarak düzlemsel polariskopta iki tip stres çizgisi gözlenir. Bunlardan biri esas kuvvetin yönünü gösteren izoklinik çizgilerdir ve polariskopta siyah olarak görülürler (3). İkincisi ise gerilim farkından oluşan çizgiler olup izokromatik çizgiler diye adlandırılır ve stresin yoğunlaştığı yerlerde görülür (3,4). Modelin iyi olarak analiz edilebilmesi ve görüntü alınabilmesi için izokromatik stres çizgilerinin net olarak gözlenmesi gerekir. Bu nedenle izokromatik stres çizgilerinin görülmesini

kolaylaştırmak için izokliniklerin elimine edilmesi gerekir (3,4). İzokliniklerin eliminasyonu 'sirküler polariskop' ile gerçekleştirilebilir (Şekil 3). Materyalin incelenmesinde dairesel polarize ışık ve çeyrek dalga plakaları kullanılırsa sadece izokromatik çizgiler gözlenebilir. Gerilimdeki farklılığın şiddeti ise fringe sıralarının belirlenmesini sağlar. Modelin incelenmesinde beyaz ışık kaynağı kullanılırsa polariskopta birçok renkli çizgiler gözlenir. Işık dalgası değişik frekanslara sahip bir seri dalgadan oluşur. Dalga bileşenlerinden biri girişim ile yok edildiğinde onun tanıtıcı rengi kalır. Örneğin: Mor renk ayırt edildiğinde onun tamamlayıcı rengi sarıdır. Artan kuvvetlere göre fringe'lerin simgelediği renkler şöyle sıralanabilir: İlk siyah çizgi sıfır, kırmızı-mavi birinci fringe, kırmızı-yeşil ikinci fringe ve bundan sonraki sıra hep kırmızı-yeşil olarak devam eder (4,17).

Analizde bir diğer önemli konu ise modele uygulanan yük miktarıdır. Kuvvet ne kadar arttırılırsa izokromatik stres çizgisi sayısı da o oranda artış gösterecektir. Kuvvet miktarının arttırılmasıyla stres çizgilerinin şekil ve dağılımında farklılık gözlemlenmeyebilir.



**Şekil 3:** Sirküler Polariskop Çalışma Düzeni

İzokromatik stresler göz önüne alındığında yorum için iki temel prensip kullanılır:

1. Stres yoğunluğu arttıkça stres çizgilerinin sayısı artar,
2. İzokromatik kuvvet çizgilerinin birbirine yakınlığı ne kadar artarsa o oranda stres yoğunluğu fazla anlamına gelmektedir.



Stres yoğunluğu genel olarak üç durumda oluşur. Bunlar:

1. Bir cismin diğerine baskı yapması,
2. Geometrik cismin devamlılığının bozulması (sıkma, bükme, germe gibi),
3. Cismin iki parçası arasında elastik modülüs farkının olması (3,15).

### 3. Gerilim Ölçer ile Stres Analiz Yöntemi

Gerilim ölçer denildiğinde yük altındaki yapıların bünyesinde oluşan doğrusal şekil değişikliklerinin saptanmasında kullanılan aygıtlar anlaşılmaktadır. Bunların mekanik, mekanik-optik, optik, akustik, elektrik ve elektronik bünyeye sahip çeşitleri vardır<sup>4,18</sup>. Bu yöntem, kalibre edilmiş elektriksel direnç elemanları yardımıyla stres altındaki boyutsal değişiklikleri inceler (4).

Mekanik deformasyona maruz kaldığında iletkenin elektrik direncinin değişmesini prensibine dayanır. İn-vivo veya in-vitro şartlarda statik ve dinamik yüklemeler altında strain ile ilgili sonuçlar sağlar. Bu metotta incelenecek bölgelere straine duyarlı uçlar yerleştirilir ve daha sonra kuvvet uygulanır. Çekme dirençte artışa sıkıştırma dirençte azalmaya neden olur (3). Statik ve dinamik gerilim yükselticilerle oluşan strain bilgisayara yüklenir (19).

Bugün için gerilim ölçerin klinik yükleme sırasında in vivo ölçümler yapmaya yardımcı tek teknik olmasına rağmen in vivo ve in vitro gerilim ölçer çalışmaları bükülme momentlerinin miktarı hakkında ortak fikir ortaya çıkaramazlar. Buna ek olarak implant üzerindeki yükü in vivo ölçmek için her implant desteğindeki ve/veya protez komponentindeki gerilimlerin izole edilmesi, simantasyondan ya da vidanın sıkıştırılmasından önce ve sonra çeşitli ölçümler yapılması gerekir (20).

### 4. Kırılgen Vernik Kaplama Tekniği ile Stres Analiz Yöntemi

Kırılgen vernikle kaplama tekniği ile stres analizi, incelenecek olan model üzerine 0.005 – 0.010 inç arasında bir vernik tabakasının homojen bir şekilde püskürtülmesi ve bu verniğin fırınlanmasından sonra bu bölgeye kuvvet yüklenerek bölgede oluşan çatlakların yorumlanması esasına dayanır (21,22). Cisme kuvvet uygulandığında vernik

üzerinde bu kuvvete dik yönde uygulama noktasından uzaklaştıkça azalarak oluşan çatlakların yoğun olarak görüldüğü bölgeler kuvvetin etkisine en çok maruz kalan bölgelerdir (2,619,23,24).

### 5. Holografik İnterferometri (Lazer Işınları) ile Stres Analiz Yöntemi

Lazer hologram teknik dış üzerinde ki stresi ölçmek için kullanılır. Bu teknik, lazer interferensine dayalı bir hologram kayıt tekniğidir (25)

Cisimlerin üç boyutlu görüntüsünü elde etmek için kullanılan, bir koherent ışık kaynağından çıkan iki ışının karşılıklı etkisiyle oluşan mikroskobik girişim saçaklarının kaydedilmesi işlemidir (26).

Bu yöntemle yapılan stres analizinde, ışık girişim saçaklarını uzaktan ölçen interferometri denilen bir alet kullanılır. Bu alet cisimler üzerindeki aralık ve yer değiştirme miktarını, çıkardığı iki lazer ışın demeti ile ölçer. Işın verilmesi sırasında cisim hareket ettirildiğinde, holografik görüntüde şekillenen saçakların değerlendirilmesi ile sonuca gidilir (4).

Holografide ışığın iki temel özelliği olan girişim ve kırınım olaylarından faydalanılır. Gerilim veya herhangi başka bir nedenle oluşan yüzey değişimlerinin tespit edilebilmesi, holografinin bir alt alanı olan holografik interferometrenin doğmasına sebep olmuştur. Çift poz holografik interferometre, en çok kullanılan türdür (27). Bir hologram plağı üzerine birden fazla çekim yapılabilir. Hologram plağına, önce başlangıç konumunda olan cisim kaydedilir. Cisme ısı veya mekanik deformasyon uygulandıktan sonra yeni şeklin çekimi, aynı hologram plakasına yapılır. Böylece her iki çekim esnasında cismin durumlarının girişim deseni elde edilir. Görüntünün yeniden oluşturulması sırasında, kaydedilmiş iki cisim dalgası birbirleriyle girişim yaparak saçak alanı meydana getirirler. Bu saçakların şekli, yönü ve saçaklar arasındaki mesafe, iki pozlandırma arasında cisimde oluşan değişikliği tanımlar (27).

Zhang ve ark. (2007) bu teknikle sabit bölümlü protez dayanaklarını stabilizasyonunu değerlendirmiştir (25).

Ziebowicz ve Marciniak (2006) Holografik interferometri (lazer ışınları) ile stres analiz yöntemini kullanarak mandibular

kırıklarda kullanılan miniplakların biyomekanik analizlerini yapmışlardır (28).

Campos ve ark. (2006) köpek mandibulasında statik yük stres dağılımını incelemişlerdir (29).

Bu method nanometrelerin düzeninde dakikal hareketlerin tespit edilmesine ve bununla birlikte yük uygulamasına bağlı oluşan gerilmelerin yörüngelerinin toplam kalitatif ve kantitatif görüntülenmesine olanak sağlar. Holografik interferometri çekilmiş dişlerde, metal ve seramik kronlarda (30,31), dental implantlarda<sup>32</sup>, hareketli protezlerde (33), eksternal ortodontik kuvvetler sonucunda oluşan kraniofasiyal deplasmanlarda (34-37) ortaya çıkan streslerin değerlendirilmesinde kullanılır.

## 6. Termografik Stres Analiz Yöntemi

Termografik teknik, yorgunluk analizlerinin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan gerçek zamanlı ve non-kontakt analiz yöntemidir. Termografik teknolojiler yorulma testi sırasında bir kızılötesi tarayıcı vasıtasıyla, döngüsel olarak yüklenmiş bir numunenin yüzey sıcaklığı artışını ölçer ve görüntüler (38). Bu yöntem bir kuvvet karşısında materyalin içerisinde oluşan moleküler düzeydeki ısı değişikliklerinin ölçülmesi olarak tanımlanabilir. Dolayısı ile homojen materyallere uygulanan kuvvet yüklemelerinde oluşan streslerin toplamı ile orantılı olarak ortaya çıkan ısı değişiklikleri, materyal üzerinde yoğunlaşan belirli noktalarda incelenebilir (2).

Homojen, izotropik bir materyal periyodik olarak yüklendiğinde ısıda oluşan periyodik değişiklikler materyalin ilgili noktasındaki asal streslerin toplamı ile doğrudan orantılıdır. Çiğneme sırasında bu yöntem için gerekli olan periyodik yükleme frekansına ulaşmak mümkün olmakla beraber, dental implantların statik yüklenmesi gibi diğer ilgi alanları, bu yöntemin yüklenme frekansı gereksinimlerini karşılamamaktadır (4).

## 7. Radyo Telemetri ile Stres Analiz Yöntemi

Bu yöntem birleşik bir donanım ve yazılım yardımı ile elde edilen verilerin herhangi bir materyale bağlantısı olmadan transferi üzerine kurulu bir yöntemdir. Yöntemde bir güç kaynağı, radyotransmitter, bir alıcı, örneğe yapıştırılmış gerilimölçerler, gerilimölçer Cilt / Volume 14 · Sayı / Number 2 · 2013

yükselticisi, anten ve bir veri kaydedici mevcuttur. Gerilim ölçerde oluşan direnç farklılıkları voltaj düşmelerine sebebiyet vermekte ve bu da radyo telemetrisinin frekansını etkileyip sonuçları oluşturmaktadır. Bu yöntemde en büyük avantaj veri iletiminde kablo kullanılmamasıdır (2,4).

## Kaynaklar

1. Philips RW. In: Skinner's science of dental materials, W.B. Saunders Company, 9<sup>th</sup> Edition, Philadelphia, 1991.
2. Craig JM, Powers JM. Restorative Dental Materials, 11. ed. Mosby Co., St. Louis, 2002
3. Caputo AA, Standlee J. Biomechanics in Clinical Dentistry, Quintessence Publ. Co. Inc, Chicago, 1987
4. Ulusoy M, Aydın K. Diş hekimliğinde hareketli bölümlü protezler, Cilt 2, Ank. Ün. Dişhek. Fak. Yayınları No 23, Ankara, 2003.
5. Craig R. Restorative Dental Materials, 10th Ed, The C.V. Mosby Co., St. Louis, 1997.
6. Sonugelen M, Artunç C. Ağız Protezleri ve Biyomekanik. İzmir: Ege Ün. Dishek. Fak. Yayınları 2002; 3-8.
7. Genç JP, Keson BCT, Liv GR. Application of Finite Element Analysis in Implant Dentistry: A Review of the Literature, J Prosthet Dent 2001;8:585-598
8. Eyüpoğlu TF, Önal B, Erdilek N, Gören B, Ergücü Z. Molar dişlerde inley restorasyonların mekanik performansının incelenmesi: 3-boyutlu sonlu elemanlar analizi. Gazi Üniv. Diş Hek Fak Derg 2008; 25 (1) : 27-33.
9. Lin CL, Chang CH, Cheng CS, Wang CH, Lee HE. Automatic finite element mesh generation for maxillary second premolar, Compud Methods Programs Biomed Computer 1999;59:187-195
10. Romeed SA, Fok SL, Wilson NHF. A comparison of 2D and 3D finite element analysis of a restored tooth, J Oral Rehabil, 2006;33:209-215
11. Mackerle J. Finite Element Modelling and Simulations in Dentistry: A Bibliography. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering 2004;7:5,277-303.
12. Patterson EA. Digital photoelasticity: Principles, Practice and Potential, Strain 2002;38:27-39
13. Noonan MA. The use of photoelasticity in a study of cavity preparations. J Dent Child 1949;16:24-29
14. Topbası B, Günday M, Bas M, Turkmen C. Two-dimensional Photoelastic Stress Analysis of Traumatized Incisor. Braz Dent J 2001;12(2):81-84
15. Tombasco J. Photoelastic Dynamic Stress Analysis Using Synchronized Strobe Techniques, Study Notes, Pennsylvania State University, University Park, PA 16802. 2003, 2003
16. Çalıköğü S. Bölümlü Protezler, 2. Baskı, İstanbul Ü Basımevi, İstanbul, 1992.
17. Çehreli M, Duyck J, De Cooman M, Puers R, Naert I. Implant design and interface force transfer. A photoelastic and strain-gauge analysis. Clin. Oral Impl. Res 2004;15: 249-257.
18. Akça K, Çehreli MC, İplikçioğlu H. A comparison of three dimensional finite element analysis with in vitro strain gauge measurements on dental implants, Int J Prosthodont 2002;15: 115-21
19. Çağlar A, Kısmi Dişsizlik Vakalarında Uygulanan İmplant Destekli Sabit Protezlerde Mesio-Distal Olarak Farklı Açılarda Yerleştirilen İmplantların Stres Dağılımına Etkilerinin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Stres Analizi İle Değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2003
20. Şahin S, Çehreli MC, Yalçın E. Influence of functional force on the biomechanics of implant-supported prostheses- a review. J Dentistry 2002;30:271-282

21. Özgövde NO. Rezeksiyonlu dişsiz üst çenede implant üstü protez planlamalarının üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi metoduyla incelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 2003.
22. Karayazgan B. Yüz defektlerinde kullanılabilir farklı implant tasarımlarının kemikte oluşturduğu gerilmelerinin sonlu elemanlar analizi yöntemi ile değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 2005.
23. Korkmaz T. İki Değişik Gövde Tasarımında Sabit Porselen Restorasyonlar Üzerine Gelen Okluzal Kuvvetlerin Değişik Bölgelerdeki Dağılımlarının Holografik İnterferometre Yöntemi İle İncelenmesi. Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi; 1995
24. Sağesen LEM. İçi Boş Silindir (Hollow Silindir) İmplant Destekli Overdenturelarda İki Üst Yapı türünün Kemikteki Gerilme Dağılımına Etkileri. Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2000
25. Zhang Y, Zhou Y, Liu L, Lu Y, Hirofumi Y. Stabilization of an abutment under a rigidly fixed bridge by holographical-speckle interferometry J Zhejiang Univ Sci B 2007 8(6):416-421.
26. Balık A. Farklı İmplant Abutment Bağlatılarının Oluşturduğu Stresin Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi İle İncelenmesi, İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 2007
27. Korkmaz T, Suca Ç. Porselen üst yapıya destek oluşturacak metal alt yapı bağlantı bölgelerinin holografik interferometre yöntemi ile incelenmesi. G Ü Diş Hek Fak Derg 1998; 15(1-2-3): 61-67
28. Ziębowicz A, Marciniak J. The use of miniplates in mandibular fractures—biomechanical analysis. Journal of Materials Processing Technology 175 (2006) 452–456
29. Campos TN, Adachi LK, Chorres JE, Campos AC, Muramatsu M, Gioso MA. Holographic Interferometry Method for Assessment of Static Load Stress Distribution in Dog Mandible. Braz Dent J 2006; 17(4): 279-284
30. Chen TY, Chang GL, Wu SH. Holographic evaluation of the marginal fits of complete crowns loaded at the central fossa. Opt Eng 1995;34:1364-1368
31. Uono CRH, Chorres JER, Batista LR, Gioso MA, Muramatsu M, Campos TN. Effect of different prosthetic restorative materials on occlusal load distribution. Holographic interferometry method. Rev Pós Grad Fac Odontol USP. 2007. In press.
32. Chorres JER, Campos TN, Uono CRH, Gioso MA, Muramatsu M. Qualitative analysis of stress distribution in tooth-implant and implant-supported prosthesis by means of holographic interferometry method. RPG Rev Pós Grad 2005;12:412-416
33. Pezzoli M, Appendino P, Calcagno L, Celasco M, Modica R. Load transmission evaluation by removable distal-extension partial dentures using holographic interferometry. J Dent 1993;21:312-316
34. Dermault LR, Beerden L. The effects of class II elastic force on a dry skull measured by holographic interferometry. Am J Orthod 1981;79:296-304
35. Clerk H, Dermault L, Timmerman H. The value of the macerated skull as a model used in orthopaedic research. Eur J Orthod 1990,12:263-271
36. Govaert L, Dermault L. The importance of humidity in the in vitro study of the cranium with regard to initial bone displacement after force application. Eur J Orthod 1997,19:423-430
37. Dermault LR. The dry skull model in orthodontics. Verh K Acad Geneeskd Belg 2002;64:19-54.
38. Wang X.G, Crupi V, Guo X.L, Zhao Y.G. Quantitative Thermographic Methodology for fatigue assessment and stress measurement. Int J of Fatigue 2010;30:1970–1976