

## *Normal ve Parçalı Köprü Sistemlerinin Direnç Yönünden Fiziksel ve Yapısal Karşılaştırması*

Erdal POYRAZOĞLU

### GİRİŞ

Köprü protezleri bugüne dek yapılan araştırmalarda çeşitli yönlerden incelenmiştir. Bu çalışmalardan bir kısmında köprülerin dinamik ve mekanik problemleri etüd edilmiş ve protezin fonksiyon anında etkisi altında kaldığı güçlerin hesaplanması ve niteliklerinin nasıl olması gerektiği sorunu tartışılmıştır. Kuvvetlerin dağılım ve etkisi, destek dişlere geçişleri, klasik mekaniğin teorik ve pratik hesaplarıyla sonuca bağlanmak istenmiştir. Ancak, bu sonuçların geçerliliği ağız içinde % 100 başarıyla sağlanamamış, bazı durumlarda önerilen sonucun tamamen aksi durumlar ortaya çıkmıştır. Özellikle, parçalı köprüler için ileri sürülen düşünce ve görüşler, yapılan basit matematiksel araştırmalar sonucu olduğu için, köprü protezlerinden istenilen fonksiyon ve protezden beklenen amaca cevap vermemiştir.

Köprü protezi, vücut ile tam bir inkorporasyon durumunda olup kendi çalışmadığı halde çevre dokuların fonksiyon sahası içinde yer alır ve onlar üzerine gelen kuvvetlerin bazen direkt, bazen indirekt etkilerinde kalır. Klasik olarak köprü gövdesine etki eden kuvvetler, gövde ve çapalar-dayanak diş-periodontium-alveol kemiği-çene kemiği yollarını katetmektedir. Ancak, bu katediş anında kuvvetlerin nerelerde yoğunlaştığı, nerelerde etkinin azaldığı veya hiç görül-

mediği, ayrıntılı olarak bilinmemektedir. Buna bağlı olarak yapım tekniği ve köprü şeklinin belirlenmesi, sonucun verimli veya verimsiz olmasını etkileyen en büyük unsur olabilmektedir.

İşte bu nedenledir ki, öncelikle köprü protezinin öz yapım şekli, üzerine gelen kuvvetlerin yayılış yollarının ve dayanak dişlerin kuronlarında ne denli etki ettiklerinin deneysel olarak etüd edilmesi ve elde edilen sonuca göre yapım tekniği ile bir uyuşum sağlanması gereğinin saptanması kanısındayız. Ancak, kendilerine özgü yapıları nedeniyle doğal dişler veya bunların kaybı halinde yerlerine uygulanacak sun'i dişler üzerine gelen basınçların nasıl dağıldığı, nerelerin dayanıklı, nerelerin zayıf olduğu, matematik açıdan, teorik olarak tam hesaplanamamaktadır. Bu çeşit problemlerin çözümlenmesinde bazı deneysel metodlar büyük ölçüde yardımcı olmaktadır.

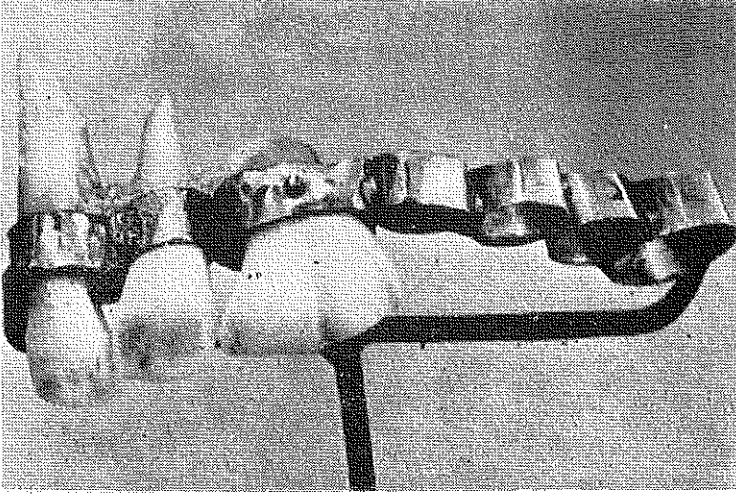
Çalışmalarımızda, çiğneme basıncının daha yoğun olduğu azı-lar bölgesinde uygulanacak köprü protezleri üzerine etki eden kuvvetlerin protezin gövde ve kuron kısımlarındaki trajelerinin nasıl olduğunu düşündük. Bunu, önce normal bir köprü protezinde, daha sonra yapım tekniği bakımından birçok araştırma konusu olmuş parçalı köprü protezi tiplerinde inceledik. Bu tiplerin seçimini yaparken, uygulama nedenleri detaylı bir şekilde açıklanmamış olan, fakat klinikte en çok rastlanan vaka ve uygulanan protez tipleri üzerinde durduk.

Normal ve parçalı köprü sistemlerinde aynı test şartları altında ortaya çıkan gerilmeleri deneysel bir metod olan fotoelastisite ile araştırırken, sistemleri birbiriyle karşılaştırarak yapım tekniği yönünden en az zorlama gören şeklin hangisi olduğunu ve nedenini bulmaya çalıştık.

## GENEL BİLGİLER

### Tarihçe

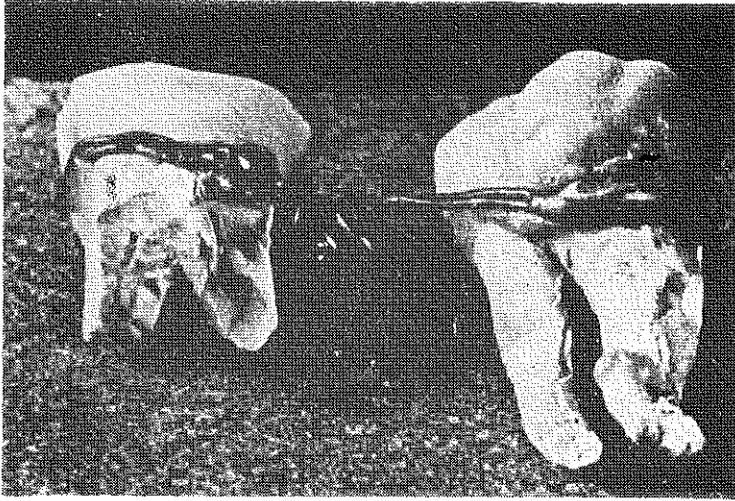
Dişhekimliği ile ilgili belgeler incelendiğinde, dişlere alt prote-tik uygulamaların M. Ö. 4-5. yüzyıla kadar gittiği görülmektedir (33) Medeniyetin bu eski kalıntılarında görülenler, suni dişler veya bir ağızdan çıkartılan doğal dişlerin ligatürler veya benzeri apareylerle sabitleştirilerek başka bir ağıza uygulanması idi. Ligatürler, altın veya gümüş tellerden, altın şerit veya birbirine bağlı halkalardan meydana gelmekteydi (Şekil 1).



Şekil : 1 — Altın Bant ile yapmış bir köprü (Etrüsk) (42)

Arkeolojik kazılar göstermiştir ki, dişe uygulanan ilk protez M. Ö. 2500 yılında Mısırlılar tarafından yapılmıştır (39). Brown ise, Mısırlıların bunu Fenikelilerden aldıklarını söylemektedir (Şekil 2).

13. Yüzyılda Guy de Chauliac, Chirurgia Magna isimli bir Fransız cerrahi mecmuasında, kaybolan bir dişin, başka bir ağızdan alınan veya öküz kemiğinden yapılan suni dişle, ağızdaki diğer dişlere bağlamak suretiyle giderilmesine çalışıldığından bahseder (33).



Şekil : 2 — Dişlerin altın tel ile bağlanması (Mısır) (42)

Pierre Fouchard, modern dişhekimliğinin kurucusu sayılır. Uygulamış olduğu restorasyonlar tek dişten tam protezlere kadar geniş bir çalışmayı içine alır. Ağızda var olan köklerden faydalanma yoluna gitmiş ve milli kuronları yapmıştır. Bunlar aynı zamanda köprü çapası olarak da kullanılmıştır (34).

Modern metodlarla, eksik bir dişin yerini doldurmak için, ilk köprü protezi 1828 de F. Maury tarafından yapıldı (33).

1860 da W. G. Beers, altın ve porselenden kuron yapımına başlamış, ölümünden sonra G. M. Richmond devam etmiş ve bugün kendi ismi verilen kuron tipini yapmıştır. Bu kuron, sabit protezlerin temeli olmuş daha sonra fonksiyon ve anatomik şekillerin geliştirilmesi yoluna gidilmiştir (34).

1908 de Peeso, köprü yapımında paralelizm kanunlarını ileri sürmüştür. (28).

1919 da Mauk, bazı temel ilkeleri anlatmıştır. Bunlar, destek olacak bütün anatomik elemanların fizyolojik uyumu, civar dokuların korunması, normal artikülasyon ve oklüzyondur (33).

1927 de Duchange, köprülerde bazı mekanik teoriler ileri sürmüştür (13).

1942 de K. Kolomb devrinde Güney Amerika'da altın ve diğer çeşitli metallere yapılmış kuron, inley ve bantlara rastlanmıştır (40).

1951 de Belger, hastalarda ağrı eşiği ile ilgili çalışmada her üyeye isabet eden çığneme basıncını hesapladı (6).

1952 de Tylman, sabit protezlerin gelişmesinde biolojik faktörlerin önemini belirtti (34).

1953 de Uhlig ve 1954 de Smyd, köprü dayanağı olan dişlerin statığı üzerine eğildiler. Çığneme fonksiyonu anında kuvvetlerin sonucu olarak meydana gelen değişik hareketleri incelediler ve köprü yapımı üzerinde durdular (35).

1954 de Brumfield ve 1955 de Leander, köprülerin taşıma (yük) kapasitelerini incelediler (35).

1953 de Jeanneret ve 1955 de Karlstrom, köprü yapımlarında paralelizm üzerinde çalıştılar. Jeanneret isodromi (18), Karlstrom pontostrüktür'ü açıkladılar (35).

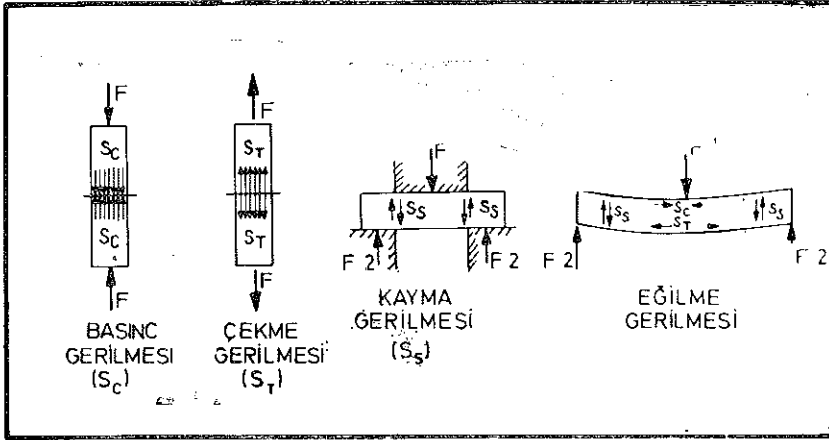
1956 da Karl Häupl, uzun eksenleri birbirine paralelligini kaybetmiş dayanakların varlığında vidalanabilen parçalı köprüleri önermiştir. Böylece pulpanın zarar görmeyeceğine işaret etmiştir (35).

1964 de Ulrich Bech, alt 6 veya 5-6 no'lu dişlerin kaybı halinde, Schwebe-Brücke (parçalı köprü tipi) sisteminin sempatik ve hijyenik bir çözüm olacağını belirtmiş, küçük azılarda sadece inlay-onlay çapaları hazırlamanın daha uygun ve ekseriya memnun edici bir hacim tasarrufu sağladığını ileri sürmüştür (5).

### Mekanik Hakkında Genel Bilgiler

Çiğneme fonksiyonunun daha çok olageldiği azılar bölgesine uygulanacak normal veya parçalı köprü sistemlerinin gövde ve kuron kısımları üzerine gelecek yüklerin ne denli etkide buldukları, uygulanmış protezin bu etkilere nasıl cevap vereceği konuları mekanik faktörlerin kapsamına girmektedir. Kuron-köprü protezlerine özgü olan dişhekimliğinde klasik mekanik düşüncelerini ele almadan önce mekanik hakkında bazı genel bilgilerden kısaca bahsetmekte fayda görmekteyiz.

İki eşit dış kuvvet, karşıt yönlerde, fakat aynı doğrultuda olmak üzere bir cisme uygulanırsa, bu kuvvetlerin etkisi altındaki cisim dengede kalır. Ancak, cismin dış bölgelerine uygulanan kuvvetlerin etkisi iç bölgelerde iç kuvvetler, diğer bir deyişle gerilmeler (stress) şeklinde devam eder. Gerilmeler cisimlerin şekil ve boy değiştirmelerine sebep olurlar. Cismin şekil değiştirmesi, şekil değiştirme bile-



Şekil : 3 — Dış kuvvetler etkisiyle cisimlerde ortaya çıkan gerilme tipleri (Mahler ve Terkla)

şenleri (strain) adı verilen tensörel bir büyüklükle ölçülür (41). Eğer bu iç gerilmeler önemsiz derecede küçükse, o cisim rigid cisim gibi kabul edilebilir (15).

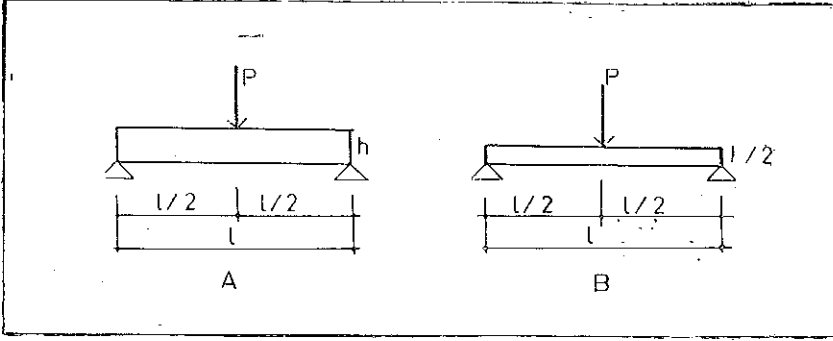
Yine kuvvet etkisi altında kalan cisimde ortaya çıkan gerilmeler cismin yapısına, şekline göre farklılık gösterirler (Şekil 3) (25).

Bir kirişe uygulanacak yükler sonucu ortaya çıkan gerilmeler, kirişin elastisite sınırını geçmediği zaman, kirişin uzunluğu ve kalınlığı ile orantılı olarak farklılık gösterirler (Örnek 1 ve 2).

### Örnek 1.

- A) 2 mesnet üzerinde  $l$  uzunluğunda ve  $h$  kalınlığında bir kiriş alalım. Kirişin orta noktasına  $P$  yükünü uygulayalım (Şekil 4).
- B) 2 mesnet üzerinde  $l$  uzunluğunda fakat  $h/2$  kalınlığında ikinci bir kiriş alalım. Kirişin ortasına  $P$  yükünü uygulayalım (Şekil 4).

Bu durumda A ve B deki eğilmeler farklı olacaktır. Şöyle ki; kalınlığı diğerinin yarısına eşit olan kiriş, kalınlığının küpüyle ters orantılı olarak daha fazla deformasyon gösterir (34).

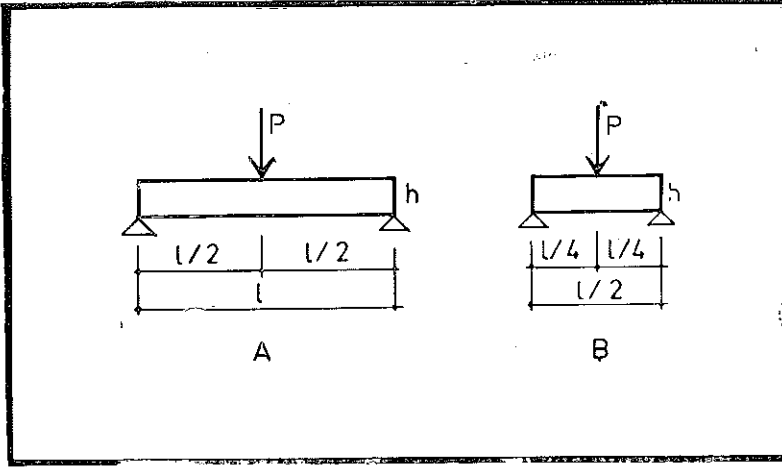


Şekil : 4 — Kalınlıkları farklı kirişlere uygulanan yükler.

### Örnek 2.

- A) 2 mesnet üzerinde,  $l$  uzunluğunda ve  $h$  kalınlığında bir kiriş alalım. Kirişin orta noktasına  $P$  yükünü uygulayalım (Şekil 5).

B) 2 mesnet üzerinde  $l/2$  uzunluğunda ve  $h$  kalınlığında ikinci bir kiriş alalım. Kirişin orta noktasına  $P$  yükünü uygulayalım (Şekil 5).



Şekil : 5 — Uzunlukları farklı kirişlere uygulanan yükler

Bu durumda A ve B deki eğilmeler farklı olacaktır. Şöyle ki, uzunluğu diğerinin yarısına eşit olan kiriş uzunluğunun köpüyle doğru orantılı olarak daha az deformasyon gösterir (34).

### Dişhekimliğinde Mekanik

20. asrın başına kadar dişhekimliği, özellikle protez dalı, bir el sanatı olarak kabul edilmekte idi. Protezin Bio-fizyo-dinamik bir ilim olduğu ancak 1913 ten sonra günümüze kadar yapılan çeşitli araştırmalar sonucu ispatlanmıştır. İlk defa Sadrin ön dişler bölgesinde yaptığı bir köprüde devrilmeyi önlemek için çekici destekler kullanılması gerekliliğini ortaya atmıştır (31). Onu takip eden araştırmalarda genellikle genel mekanik kuralları ile dişhekimliği bir uyuşum içine alınmak istenmiştir.

#### a) Kuvvet :

Beliard, «Alveol içinde yer alan dişler antagonistlerince etki ettirilen kuvvetler karşısında dengede midirler?», sorusunu ortaya atmıştır (9). Ackermann, «Dişler alveol kemiğine kaynamış olduklarına göre, sürekli yer değiştirmeleri, yani; bir anlamda statik dengelerinin bozulması gerekmektedir, oysa böyle bir durum, çene kavsinde eksik diş olmayan şahıslarda hiçbir zaman olmamaktadır.

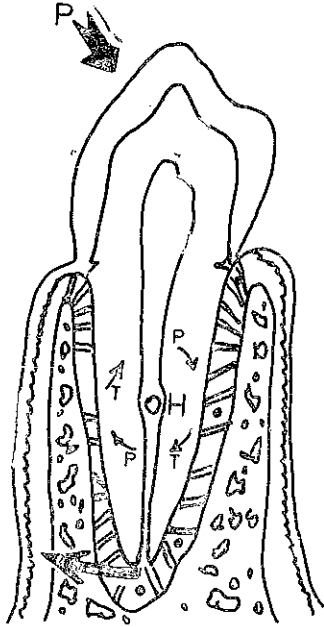
Çünkü, dengeyi sağlayan kuvvetler, sistemin kendi öz bünyesinde yer almaktadırlar. Bu kuvvetler etki eden, yani fonksiyonel ve buna tepki gösteren direnç kuvvetleridir», şeklinde bir cevap vermektedir (1). Aynı araştırmacı, bu kuvvetlerin sabit bir değere sahip olmadığını, çünkü bunların şahıstarı şahısa değiştiğini, bir başka deyişle bu kuvvetlerin, şahsın alışkanlıkları, aldığı gıdalar, hastalıkları, çiğneme kuvvetinin etki alanı, direnç kuvvetinin nitelik ve nicelikleri gibi faktörlerin bir fonksiyonu olduğunu belirtmektedir.

Çiğneme anında alveol kemiğine aktarılan basınçları araştırmacılar ölçerek aşağıdaki değerleri ortaya koymuşlardır.

KLAFENBACH	67 kg/cm <sup>2</sup> (22)
TİBAULT	24-55 kg/cm <sup>2</sup> (32)
WUSTROW	10-50 kg/cm <sup>2</sup> (38)
BELGER	15-50 kg/cm <sup>2</sup> (6)
MATHE	30-45 kg/cm <sup>2</sup> (27)

#### b) Kuvvetlerin Etkisi

Herhangi bir diş üzerine gelen kuvvetler bileşkelere ayrılırlar. Buna sebep dişin tüberkül eğilimleri olduğu kadar, dişin alveol kavsi içinde diğerlerine oranla olan durumudur. Kuvvet etkisi altında diş şekilde görüldüğü gibi hareket eder (Şekil 6) (2).



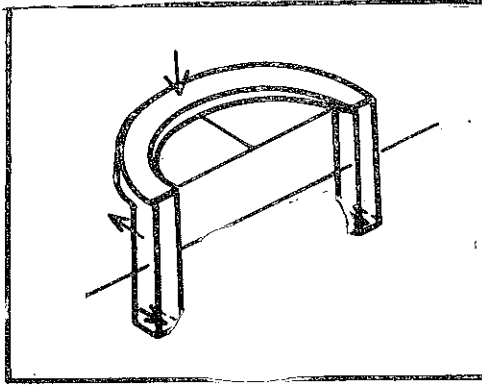
Şekil 6 — Kuvvet etkisinde dişin alveol içindeki hareketi (Ackermann)



Dişin hareketini birinci veya ikinci tip kaldıraç olarak kabul eden yazarlar vardır. İkinci tip gibi çalıştığını savunanlar ekseriyeti teşkil etmektedirler (34), (10), (7).

Tek diş üzerine gelen kuvvetlerin yönleri dişlerin uzun eksenlerinin doğrultusundan farklı doğrultuda olursa, diş üzerinde her zaman bir moment söz konusudur. Buna, dişin alveol kavsi üzerindeki yeri ve tüberkül eğilimleri sebep olur. Tüberkül eğilimlerinin sebep olduğu momentleri en aza indirmek, oklüzal inleyler yaparak sağlanabilir (37).

Ön bölgede yapılacak köprü protezlerinde çene kavsi nedeniyle ortaya çıkacak momentler, desteklerin alveol içinde yer değiştirmelerine sebep olurlar. Rezorpsiyon ve apozisyonun dengesizliği desteklerin sallanmasına yol açar (Şekil 7).

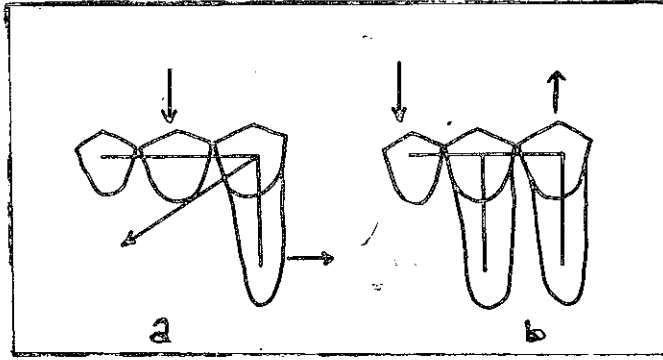


Şekil 7 — Ön Bölgede kavsi köprülerde devrilme meydana gelmesi  
(Kantorowicz)

Bu durumda, Belger'e göre iki şekilde önlem alınabilir (7) :

- a) Kavis üzerinde mevcut kökleri tedavi ederek momenti parçalara ayırmak, böylece moment kolunu, buna bağlı olarak da büyüklüğünü azaltmak gerekir.
- b) Bunun mümkün olmadığı hallerde, komşu dişleri de desteklere ilâve ederek çekici (Cer) ayaklar prensiplerini uygulamak gerekir. Kanatlı köprülerde de çekici ayak kullanmak zorunluluğu vardır.

Aksi takdirde, (Şekil 8) de görüldüğü gibi, destek diş alveolu içinde boşluğa doğru bir devrilme etkisi altındadır. Bu durumlarda çekici ayak kullanılmı olanağı olmayan vak'alarda, diğer diş üzerine inley hazırlanarak buna basan bir uzantının köprü gövdesinde yapılması gereklidir. Bu prensiplere uymayan yapım şekillerinde hiçbir zaman momenti ortadan kaldırmak veya en aza indirmek mümkün olamaz (20).

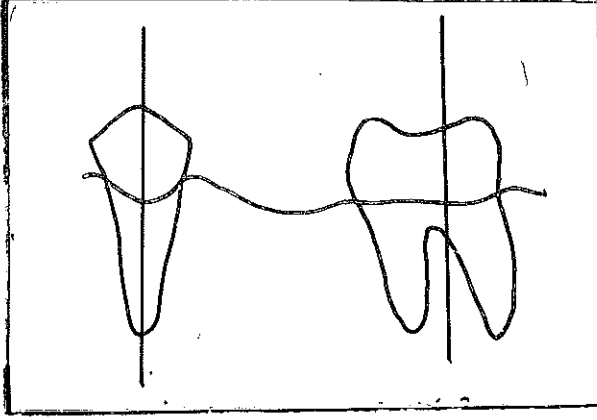


a. Sonu serbest biten köprülerde devrilme ve dönme durumu. b. Çekici ayakların kullanılması.

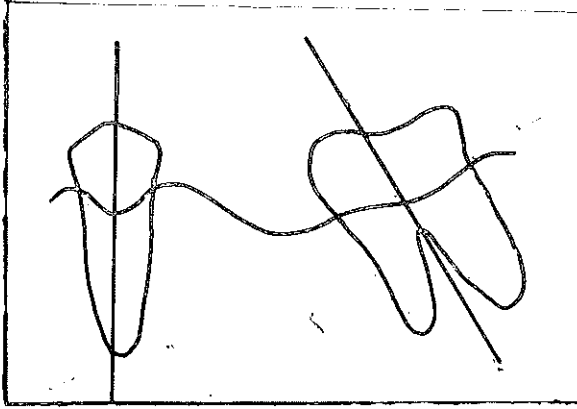
Şekil 8 — (.....) (Kantorowicz)

Kuvvetler konusunda araştırmacılar genellikle etki kuvvetinin hemfikir olmalarına rağmen, tepki kuvvetinin tek kuvvetten oluşmadığını, bunun iki ayrı karakterdeki kuvvetin beraber çalışması sonucu ortaya çıktığını ileri sürmektedirler. Şöyle ki; antagonisti çekim sonucu kaybolan diş boşluğa doğru yürümektedir. Burada etki kuvveti olmadığına göre, bunun oluşumuna sebep olan direnç kuvveti de yok demektir. Ancak, kuvvet tanımına göre uygun olarak ortada bir hareket vardır. O halde bunun karakteri ayrıdır. Bundan dolayı, buna «reaksiyonel kuvvet» denilmektedir. Aynı kuvvetler, komşu dişlerin çekim boşluğuna (meziyale ve distale) doğru eğilme olaylarını da açıklar. Öyleyse, direnç kuvvetini meydana getiren kuvvetlerin birisi fonksiyonel kuvvet, diğeri de pasif kuvvettir (24).

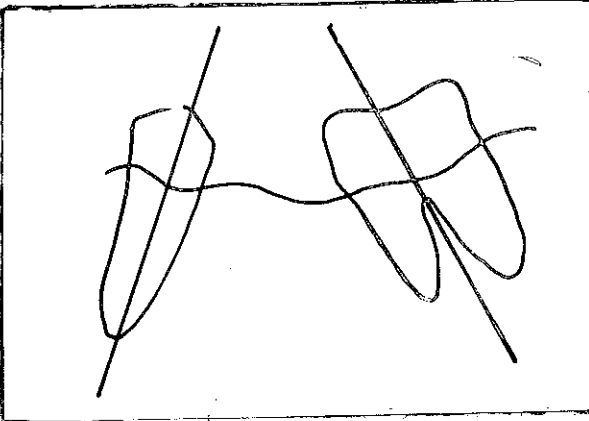
Fonksiyonel kuvvetler etkisi ile alveol içinde yer değiştirmiş dişlerin köprü yapımında bazı indikasyon sorunları ortaya koyacağını belirten Belger, (Şekil 9) daki sınıflandırmayı yapmakta ve bunlarda parçalı köprü yapımının uygun olacağını belirtmektedir (8).



a -- Paralel Eksenler



b -- Distal dişin çekim boşluğuna eğilmesi



c -- Distal ve mesial dişlerin çekim boşluğuna eğilmeleri

Şekil : 9 -- Komşu dişlerin kaybı sonucu diğer dişlerin uzun eksenlerinde meydana gelen değişmeler (Belger)

Tylman ise, etki kuvvetinin karakterini, masa üzerinde duran bir kitapta doğan etki-tepki kuvveti gibi olmadığını, bunun, kitabın kaldırılarak masa üzerinde bırakıldığında ortaya çıkan etki-tepki kuvvetleri şeklinde olduğunu belirtmektedir (34).

Diş üzerine gelen kuvvet dişin 2 şekilde hareketine yol açar

1. Momentan hareket

2. Ortopedik hareket

1. Momentan harekette diş, kesik ve küçük değerdeki kuvvetlerin etkisi sonucu, periodonsiyumdaki sıvının dengelenmesiyle alveol içinde hareket eder.

2. Ortopedik harekette ise sürekli büyük kuvvetler söz konusudur. Bu harekete sebep bir kaldıraçtır. Hareket süresinde dönme merkezi ortaya çıkar. Bunun yeri her araştırmacıya göre değişmektedir. Oysa, belirli bir yeri olmayıp kemik yapısına bağlı olarak değişmektedir (26).

Köprü protezlerindeki momentlerin yol açtığı devrilmeler ile ilgili olarak sistemde dengesizliğin giderilmesi için yukarıda sayılan prensiplere ilâveten Housset ve Beliard, sustantasyon düzlemi kavramını ortaya atmışlardır (17, 9). Bu iki araştırmacıya göre dişe etki eden kuvvetler bileşkelere ayrılırlar dahi köprü protezlerinin dengede kalabilmeleri için bu bileşkelere sustantasyon düzlemi içinden geçmeleri gereklidir. Bu sustantasyon düzlemi tek dayanaklı köprülerde bir nokta, iki dayanaklılarda bir çizgi, aynı düzlemde olmayan üç dayanaklılarda ise bir düzlem olarak ortaya çıkar.

### **Bio-Fizyo-Mekanik Kurallar**

Köprü protezlerinin indikasyonları ve yapım teknikleri için araştırmacılar farklı görüşler ileri sürmüşlerdir.

İlk defa herhangi bir kaide şeklinde olmamakla beraber Sadrin, ön kavisli köprülerde, dayanakların devrilmemesi için komşu dişlerin de dayanak olarak alınmasının gerekliliğini belirtmiştir (31).

Ante ise, kuvvetlerin etkileri ile periodonsuyum yüzeyleri arasında da bir ilişki kurarak ortaya bazı değerler koymuştur. Bu araştırmacı, çekim boşluğuna yapılacak köprü gövdesinin yüzeyi ile destek dişlerin periodontium alanları arasında bir ilişki kurmaktadır. Buna göre, «köprü gövdesi yüzeyi ile destek dişlerin periodonsiyumu arasında bir oran vardır. Bu orana göre gövde alanı arttıkça her dişin % 10 oranında küçültülmesi gerekmektedir» (4).

Diğer bir görüş ise mekanik kuralları köprü protezlerine uygulamaktadır (9) :

1. Bir tek dayanağı olan köprü protezi her yönde hareket edebilir.
2. İki dayanağı olan bir köprü protezi bu dayanakları birleştiren eksen üzerinde hareket edebilir.
3. Aynı düzlemde olmayan 3 dayanıklı bir köprü protezi her durumda hareketsiz kalır.
4. 3'üncü şıktaki dayanaklara her ilâve edilen dayanak denge durumunu daha da arttırır.

Kurallara göre :

1. Tek dayanağına sahip olan köprüler, dayanağın alveolünün her üç düzlemde harabiyetine yol açarlar.
2. İki dayanıklı köprülerin dayanakları alveollerini boşluğun iki düzleminde zedelerler ki, bunlar dayanakların eksenlerine aynı düzlemde diktirler.
3. Üç ayrı düzlemde dayanağı olan köprülerde dayanak alveolleri, eksenleri yönünden travmaya uğrarlar.

Köprü mekaniğini daha katı bir görüşle ele alan Duchange dişlere bazı kat sayılar vererek, bunlar arasında bir denge sağlandığında bu dengenin ağız içinde de geçerli olacağını ileri sürmektedir (13). Ana kural olarak, dayanakların kat sayıları toplamı ile boşluktaki dişlerin kat sayıları toplamının sonucunun sıfırdan büyük veya sıfır olması gereklidir. Örneğin; Duchange'ın Tablo 1'de verdiği kat sayılara göre,

	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	C	PM <sub>1</sub>	PM <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
Üst	2	1	3	4	4	6	6	2-5
Alt	2	1	3	4	4	6	6	2-5

**Tablo 1 — Duchange'ın Dişlere Verdiği Kat Sayılar.**

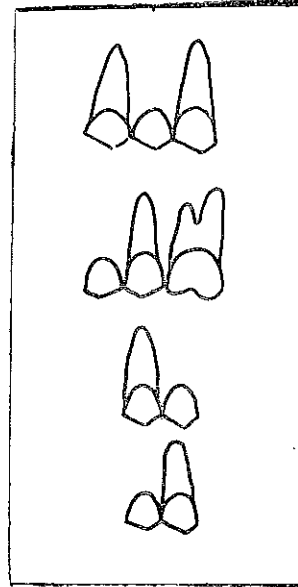
3-5 arasında bir köprü protezi yapılması düşünüldüğünde şu tip protezler yapılabilir (Şekil 10) :

$$A : (3+4) - 4 = 7 - 4 = 3$$

$$B : (4+6) - 4 = 10 - 4 = 6$$

$$C : (3) - 4 = -1$$

$$D : (4) - 4 = 0$$



**Şekil 10 — 4 nın kaybedilmesi halinde yapılabilecek köprü protezi tipleri (Duchange)**

A ve B şekilleri yapılabilir. C şeklinde bir köprü protezi yapılamaz. D tam sınırdadır bir hal olup, diğer faktörler göz önünde tutulursa, bunun da yapılmaması gerektiğini belirtir.

Desteklerin izafi düzlemlerinde sistemdeki kuvvetlerin ortaya koyacağı problemleri ele alan Biaggi, bunların giderilmesinde hastanın genel durumunun ve ligamanların kemiğe, dişe olan bağıllık derecelerinin de bilinmesi gerekliliğini savunmaktadır (11).

### **Dışhekimliğinde Fotoelâstisite**

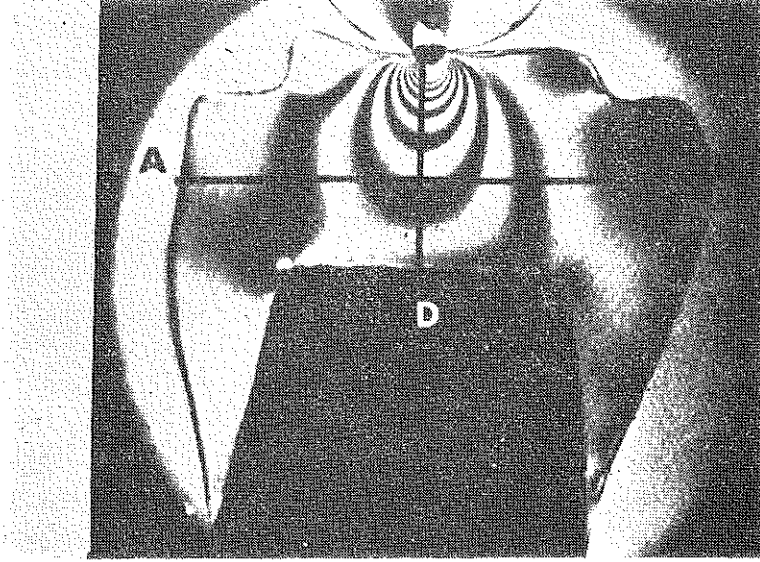
Walton ve Leven, değişik kalınlıktaki Fosterit jaket kuronlara kesici kenardan yaptıkları yüklemeler sonucu meydana gelen basınç analizini incelemişlerdir. Bu incelemeden, kalın duvarlı jaket kuronların daha dayanıklı oldukları ortaya çıkmıştır. Ancak, stabilite, rezistans ve pulpaya girme sorunlarını ele almadıklarından, pratikte bu konulara dikkat edilmesinin gereği üzerinde durmuşlardır (36).

Lehman ve Hampson, Araldit B den değişik şekillerde hazırladıkları jaket kuronlarda fotoelastik dondurma metoduyla basınç analizi yapmışlardır. Buna göre, restore edilecek dişlerin anatomik dişin bir minyatürü olması, keskin köşeler bulunmaması, restoratif materyalin iyi polimerize olması gibi faktörler üzerinde durmuşlardır (23).

Craig, El-Ebrashi ve Peyton, Catalin reçine plaklarından MOD restorasyonlar şeklinde hazırladıkları 2 boyutlu modeller üzerinde fotoelastik metoduyla yaptıkları basınç analizinden şu sonuçları elde etmişlerdir (12) :

- a) MOD restorasyonların pulpa yüzeyi etrafındaki sıkışma gerilmeleri, uygulanan kuvvet kendisine mesial veya distal yönde de olsa azalma göstermiştir.
- b) Normal okluzyonda (uzun eksenine yere dik) olan bir dişe oranla eğim verilerek incelenen modellerde, aynı test şartları altında sıkışma gerilmelerinde artma görülmüştür.
- c) MOD box preparasyonu, yuvarlatılmış axio-pulpal açılı olan, omuzsuz preparasyonuna oranla daha düşük sıkışma gerilmeleri göstermiştir (Şekil 11).

Jourdant ve Primus, Araldit B den yaptıkları ön köprülerde besici kenardan uyguladıkları 2,5 kg.lık yüklemeler sonucu meydana gelen basınç şiddetini incelemişlerdir. Üç model hazırlamışlar ve hepsinin dayanaklarını farklı olarak kesmişlerdir. Bu araştırmaya göre, en az zorlanma gösteren modelin dayanakları gençlerdeki pulpa şekline göre hazırlanmış model olduğunu bulmuşlardır (19).



Şekil 11 — MOD restorasyona ortadan yapılan 54 kg.lık yükleme sonucu ortaya çıkan gerilmeler (Craig et. al.)

El-Ebrashi, Craig ve Peyton üç çeşit köprü üzerinde 2 boyutlu fotoelâstik metoduyla basınç analizi yapmışlardır (14). Modeller :

1. Normal sistem - basamaksız kenar, anatomik oklusal kesim
2. Normal sistem - yuvarlatılmış basamaklı düz oklusal kesim
3. Kanatlı sistem, şeklinde hazırlanmıştır.

Eklemlerine kasıtlı olarak U ve V şekli verilmiştir.

Sonuç olarak şunları elde etmişlerdir.

- a) Sabit protezler eğilme anında simetrik kırışlar gibi hareket etmezler. Birden fazla yük bulunduğu değişik alanlarda basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelmiştir.
- b) Sabit köprülerde en kritik bölge eklem yerleridir.
- c) Eklem yerleri V oluklar yerine U şeklinde hazırlanmalıdır.
- d) Düz oklusal kesim ile hazırlanan sabit protezler anatomik oklusal kesim ile hazırlanandan daha dayanıklıdır.
- e) Kanatlı köprüneklemlerinde, iki tarafı sabit köprüye oranla daha fazla zorlanma olmuştur.



Zembilci, Ney firmasının kendi araştırma laboratuvarlarında çeşitli tipteki kroşeler üzerinde fotoelâstik metotla yapmış olduğu basınç analizlerini detaylı bir şekilde açıklamıştır. Elde edilen sonuçlara göre :

- a) Kroşede istenilen flexibilitenin sağlanabilmesi için kroşe kolunun uç kısmına doğru incilmesi gereklidir.
- b) Kroşe üzerine gelen yüklerin uniform bir şekilde dağılabilmesi için düzgün muhlama ve möileme işlemleri yapılmalıdır (42).

### — M A T E R Y E L —

Araştırmamızda, Normal ve Parçalı Köprü Sistemlerinin incelenmesinde, polyester deney modelleri, Özel Yükleme Aygıtı ve Polaris-kop kullanılmıştır. Modeller :

1. Normal sistem
  2. Büyük Azı Kuron İçi Parçalı Sistem
  3. Küçük Azı Kuron İçi Parçalı Sistem
  4. Büyük Azı Kuron Dışı Parçalı Sistem
  5. Küçük Azı Kuron Dışı Parçalı Sistem
- olarak hazırlanmıştır.

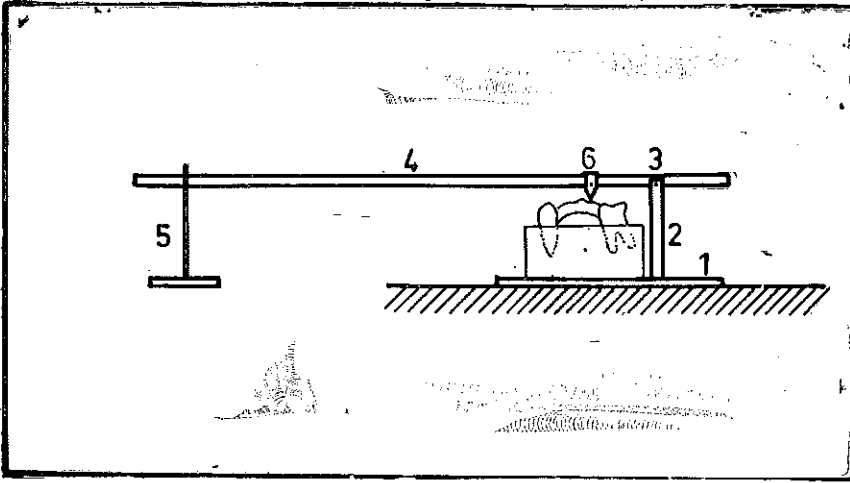
Deney modellerinin yapımı için, gerek işlenebilmesi, gerek fiziksel özellikleriyle istenilen şartları yerine getirmesi yönünden, piyasada 104 No ile tanınan Polyesteri kullandık.

Polyesterler, çeşitli di (veya poli) karboksilli asitler ile di (veya poli) alkollerler arasındaki polykondansasyon reaksiyonundan meydana gelen sentetik reçinelerdir. Zembilci, sentetik reçineleri, «organik bileşiklerden sentez yolu ile elde edilen, çeşitli şekillerde sertleştirilen ve metalik olmayan plâstik maddeler» olarak tanımlar (40).

Polyester, bal kıvamında, renksiz ve kendine has kokusu olan bir sıvıdır. Belli oranlarda dondurucu ve hızlandırıcı ile karıştırıldığında hazırlanan homogen sıvı kalıplara dökülerek istenilen şekiller elde edilebilir. Bu şekiller cilalanmaya, kesmeye ve eğelemeye elverişlidir. Biz, dondurucu olarak Metil-etil-ke-ton, hızlandırıcı olarak da kobalt naftalat kullandık.

## Özel Yükleme Aygıtı (Şekil 12)

30x15 cm. boyutlarında, 4 mm kalınlığında bir demir levha alındı (Parça 1). Levhanın uzun ekseninde kısa kenarlardan birine 5 cm. uzaklıkta, boyutları 15 x 2 cm. ve kalınlığı 4 mm. olan bir demir çubuk elektrik kaynağıyla tutturuldu (Parça 2). Çubuğun üst bölgesine (ucuna) yine elektrikle U şeklinde bir yatak kaynatıldı. U yatak karşılıklı uçlarından matkapla delindi (Parça 3). 68x2 cm. boyutlarında 4 mm. kalınlığında ikinci bir demir çubuk alındı (Parça 4). Uc bölgelerinden birine yakın bir yerde (5 cm) matkapla bir delik açıldı. Delinen uc U yatak içine yerleştirildi. U yatak ve demir çubuk deliklerden geçirilen bir mülle birleştirilerek bir kantar sistemi elde edildi. Böylece, bu kol, U yatak içinde kılıçlamasına hareket etme yeteneğine sahip oldu (kaldıraç kolu).



Şekil 12 — Özel Yükleme Aygıtı

Kaldıraç kolunun diğer ucunda (serbest uc) bir çentik açıldı. Bura bir terazi kefesini takıldı (Parça 5). Yükleme ucu olarak kullanılacak parça, yarısı dikdörtgen yarısı da üçgen prizma şeklinde ve ortası kaldıraç kolunun girebileceği genişlikte delinerek hazırlandı. İstenilen bölgede sabitleştirebilmek için bir tarafından delinerek vida kondu. Ancak, modellerin üzerine bütün yüzey boyunca temas etmesi ve polyester modelleri kesmemesi için üçgen prizma kısmının tepe kenarı eğe ile 2 mm. genişliğinde düzleştirildi.

## — M E T O D —

Çalışmalarımızda metod olarak fotoelastisiteyi kullandık. Fotoelastisite, karışık geometri ve kompleks yükleme altında sistem veya elemanlardaki gerilmelerin elde edilmesinde kullanılan deneysel bir methodur.

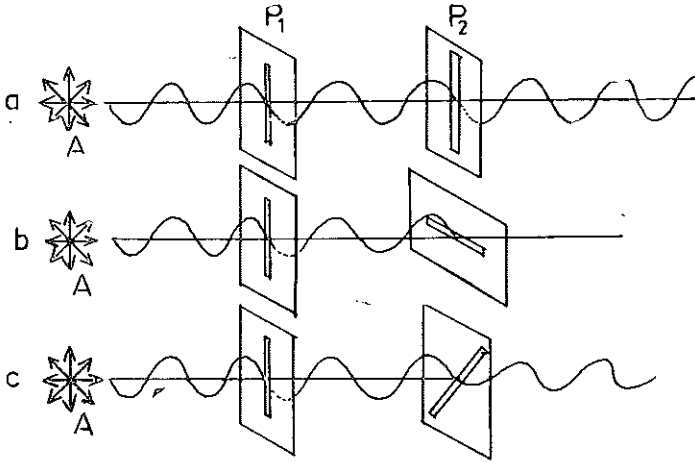
Fotoelastisite ismi, deneysel metodun tabiatını ortaya koyar : Foto ışınların ve optik tekniklerin kullanıldığını belirtirken; elastisite, elastik cisimlerde gerilme ve deformasyon çalışmalarını anlatır (13). Fotoelastik metodu daha iyi anlayabilmek için metodun ana prensipleri hakkında kısa bir bilgi vermeyi uygun bulduk.

### Işın ve Polarizasyonu

Işık, görme duyusuyla algılanan ve ışına ile yayılan enerji şeklidir. Işık, ilerleme doğrultusuna dik enine dalgalar halinde yayılır.

Polarize ışık, ilerleme doğrultusuna dik düzlemdeki titreşimlerin belirli bir kurala göre düzenlendiği bir elektro-manyetik dalgadır. Örneğin, lineer polarize ışıkta titreşim doğrultusu ilerleme boyunca sabittir.

Polarizasyonun meydana gelişini aşağıdaki örnekte izleyelim (Şekil 13) :



Şekil 13 — Enine dalganın polarizasyonu (Ener)

- a) İki fant birbirine paralel durumdadır. A da elimizde tuttuğumuz lastik kabloyu dairesel bir hareketle döndürelim. Böylece enine dalganın titreşim doğrultusu sürekli olarak değişir. Fakat  $P_1$  ve  $P_2$  fantlarının arasındaki bir düzlemde dalganın P nin sağına doğru yayıldığı görülür. Bu polarizlenmiş bir dalgadır.
- b) de  $P_2$  fantı  $P_1$  fantına dik konulmuştur (çapraz durum). Polarizlenmiş dalganın  $P_2$  den geçmediği görülür.
- c) de  $P_2$  fantı bir açısı kadar döndürülmüş durumdadır. Burada linear polarizlenmiş dalganın amplitüdü küçülmüş olarak geçer.

$P_1$  fantına Polarizör,  $P_2$  ye de Analizör denir.

Polarizasyonda ışık kaynağı olarak Beyaz Işık veya Monokromatik ışık kullanılır. Beyaz ışık değişik frekanslı dalgalardan meydana gelmiştir ve kırılma ile renklere ayrılarak spektrum olagelir. Monokromatik ışık belirli bir dalga boyu ışık demektir (15).

### **Fotoelastik Metod**

Fotoelastik metod, David Brewster'in basınç altında bırakılarak polarize ışık ile incelenen bir cam parçasında gerilme nedeniyle parlak renkli şekillerin görülmesi hakkındaki buluşuna dayanır. Fotoelastik renk şekilleri ile analitik çözümler arasındaki karşılaştırmalar fizikçi Maxwell tarafından yapılmıştır. Daha sonra Wilson tarafından tek bir kuvvetle yüklü kirişteki gerilmelerin ve Mesnager tarafından da kemer köprülülerin incelenmesinde uygulandı.

Metod, selüloid'i ilk defa model malzemesi olarak kullanan Coker tarafından geliştirildi. Daha sonraki araştırmacılar Bakalit ve Fostorit'i kullandılar (21). Bugün, firmaların değişik hassasiyetteki suni reçinelerden yapılan tabaka veya sıvı halindeki materyalleri kullanılmaktadır. Örneğin; Columbia reçinesi, Epoxy reçineleri, çeşitli numaralardaki polyesterler.

Önceleri mühendislikteki yapılar üzerinde uygulanan deneyler,

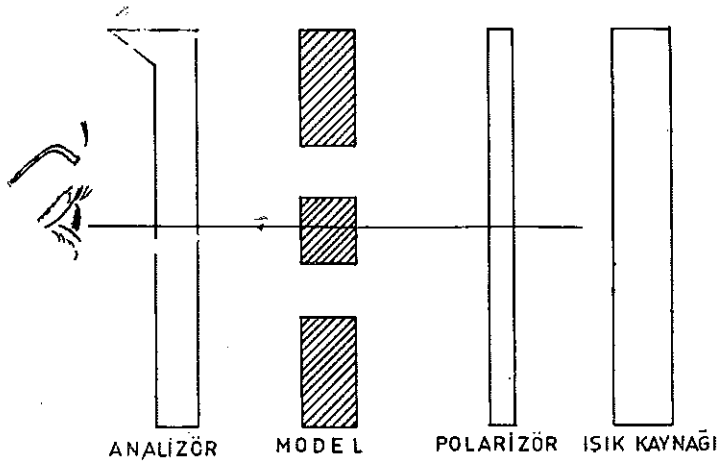
zamanla diğler meslek dallarını da kapsamına almıştır. Örneğın, ıp ve Dişhekimliğı.

Matematik teorilerin daha çok düzenli şekillere uygulanabildiğı düşünülürse, düzensiz şekillerden oluşın diş protezlerinin gerilim analizlerini ortaya koyan deneysel bir metod olması yönünden foto elastik metodun geçerliliğı daha da belirlenir.

Fotoelastik deneyler için kullanılan polariskop (fotoelastik bench) genel olarak aşağıdaki unsurlardan oluşur :

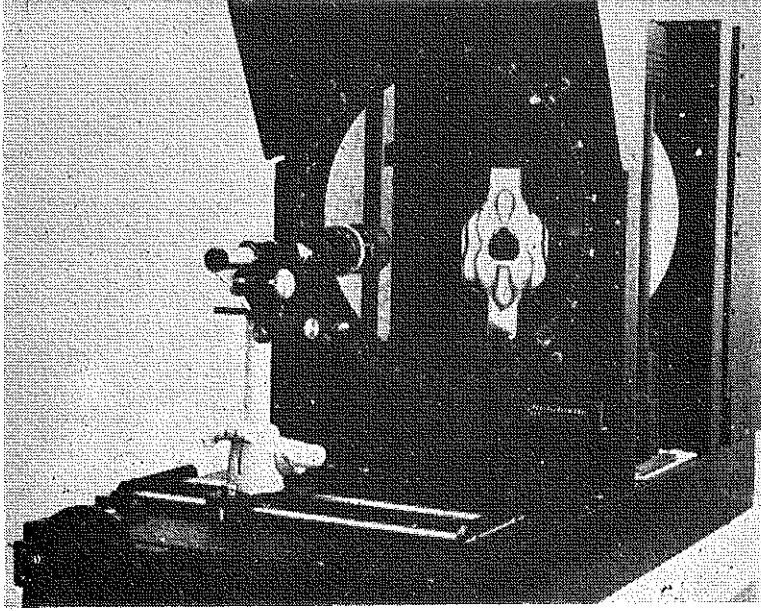
- a) Işık kaynağı — Monokromatik veya Beyaz Işık
- b) Polarizör — Işık kaynağından yayılan dalgaların yalnız polarizasyon eksenine paralel olan demetlerini geçirirler.
- c) Analizör

Fotoelastik bench'de polarizör ve analizör birbirilerine dik olaak ayarlanmıştır. Model polarizör ve analizör arasında yerleştirilir (Şekil 14) (30).



Şekil 14 — Polariskop'da deney modelinin izlenmesi (Redner) (30)

Model materyali transparan isotropik maddelerden yapılır. Model serbest durumda iken polarizör aydınlatıldığında herhangi bir olay görülmez, ancak model üzerine bir basınç uygulanırsa materyel anisotropik duruma geçer ve polarize ışık 2 demet halinde seyredir. Bu demetlerden birinin geçiş hızı diğerlerinden farklıdır. Gecikme miktarı ışınların analizörden geçirilmesiyle ölçülür (Şekil 15).



Şekil 15 — Transparan anisotropik maddelerin polariskopta incelenmesi.

Beyaz ışık kullanıldığında bu durum renkli paternler olarak görülür, (Spektrum). Her patern bir gerilme şeridini temsil eder. Bunlara «Fringe» denir. Zorlanmaların hangi bölgelerde yoğun olduğu «fringe» lerin sayılmasıyla hesaplanır. Ancak, tarafsız bir eksen boyunca daima siyah renkli bir fringe vardır, bunun derecesi «0» olarak alınır ve sayma işlemi 0'dan başlayarak 1.. 2.. 3.. vs. devam eder (3).

Fotoelastisitenin üç ana tekniği vardır (12).

1. İki boyutlu fotoelastisite, burada iki boyutlu modeller incelenir.

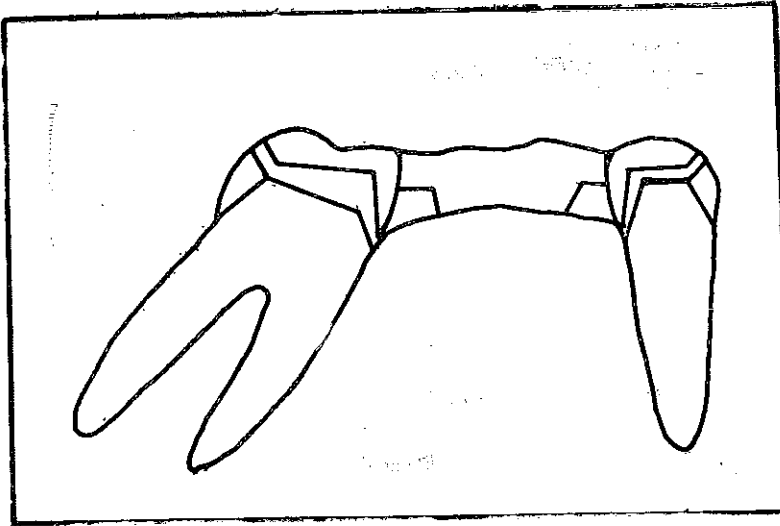
2. Üç boyutlu fotoelastisite, burada üç boyutlu modeller incelenir ve basınçlar dondurulmuştur.
3. Fotoelastik kaplama, burada modellerin üzerine çift kırılma özeliği gösteren plastikten ince bir tabaka uygulanır.

Biz, iki boyutlu fotoelastisite tekniğini kullandık. İki boyutlu model analizleri için düz plaklardan hazırlanmış deney modelleri kullanılır (29). Hazırlanan model fotoelastik bench'deki yerine konur, yüklemeler yapılır ve materyelin bünyesindeki gerilme alanları incelenir.

### **Deney Modellerinin Hazırlanması**

Kliniğimize müracaat eden hastalar arasında Belger'in sınıflandırmasında en çok rastlanan tip olarak tanımlanan (Şekil 9b) deki gibi bir vak'a seçildi (8).

Alt sol 5 ve 6 no'lu dişleri çekilmiş olan bu hastadan 4.5.6.7. no'lu dişlerin bulunduğu bölgenin röntgeni alındı. Film kasetlenerek slide makinasında 3,5 defa büyütüldü. Görüntü beyaz kağıt üzerine bütün detaylarıyla çizildi. Aynı kağıt üzerinde dayanak olarak alınacak 4 ve 7 no'lu dişlerin pulpaları dikkate alınarak maximum ölçülere göre dayanak, çapa ve gövde şekilleri çizildi. Deney modellerinin hazırlanmasında rehber olacak bu şekillerin çizilmesinde şu sıra izlendi (Şekil 16) :



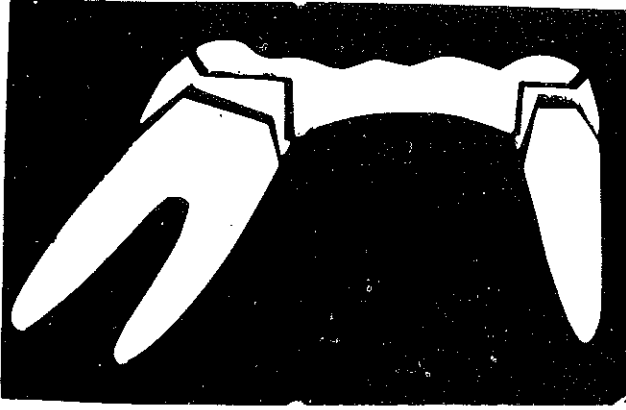
Şekil 16 — Master Modellerin Hazırlanmasında Rehber Olacak Ana Şekil

1) Normal Sistem

2) Büyük Azı - Küçük Azı Kuron İçi Parçalı Sistem

3) Büyük Azı - Küçük Azı Kuron Dışı Parçalı Sistem.

Kağıt üzerindeki ana şekil makasla kesilerek parçalara ayrıldı ve her parça 3 mm. kalınlık ve 20x15 cm. boyutlarındaki alüminyum levha üzerine yapıştırıldı. Şekiller kıl testeresiyle kesilerek çıkartıldı. Alüminyum levhanın kesimi sırasında meydana gelen fazlalıklar ana modeli bozmamak üzere eğe ile kaldırıldı. Sonunda, bütün parçalar bir araya getirilerek master model elde edildi (Şekil 17).



Şekil 17 — Deney Modellerinin Hazırlanmasında Kullanılacak Olan Master Model

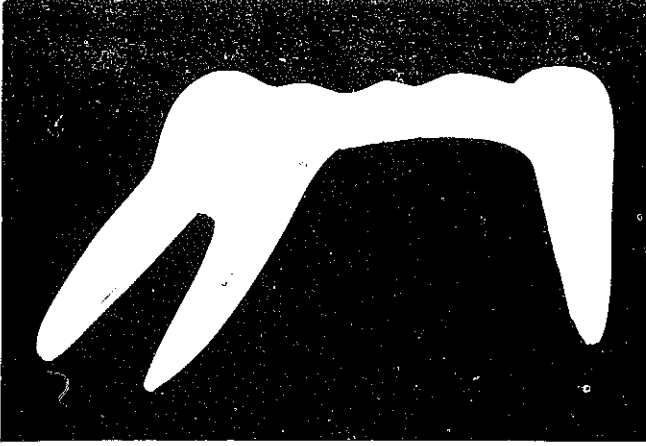
Ana şekil 2 nci kez parçalara ayrılmadan çizilerek 2 nci bir alüminyum levha üzerine yapıştırıldı ve yalnız kenarları çepeçevre kesildi. Elde edilen model, model taşıyıcı yapımında kullanıldı (Şekil 18).

Alüminyum modelde, önceden röntgende saptanan dişeti hudutları işaretlendi. Büyük ve küçük azının mesial dişeti hududundan başlanarak, bütün kök kısmını içine alacak şekilde ve distal dişeti hududunda bitirmek üzere yumuşatılmış Pembe mum kondu (Şekil 19).

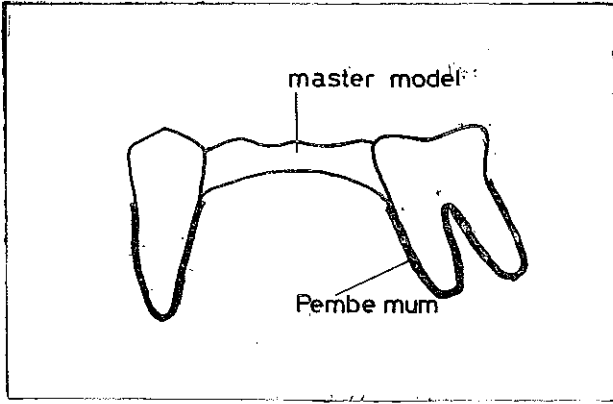
Periodonsium aralığını verecek olan mum kalınlığı büyültme ile orantılı olarak hazırlandı. Kök kısımlarının yan yüzeyleri yağlandıktan sonra model gövdesinden tutturuldu ve 30x10 cm. boyutlarında, 10 cm. derinliğindeki karton kutu içine dişlerin kuron kısımları dışa-



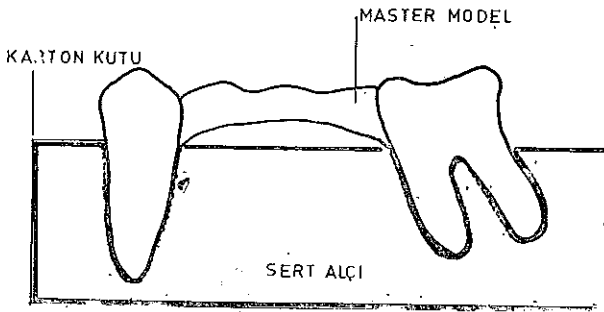
rıda kalacak şekilde ayarlandı. Bir kap içinde hazırlanan sert alçı karton kutuya döküldü (Şekil 20).



Şekil 18 — Model Taşıyıcı Yapımında kullanılacak olan Master Model

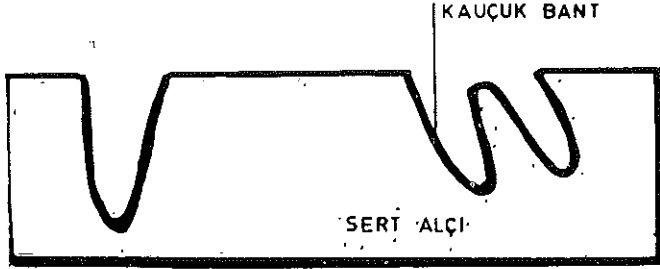


Şekil 19 — Master Model ve kökler çevresinde pembe mum



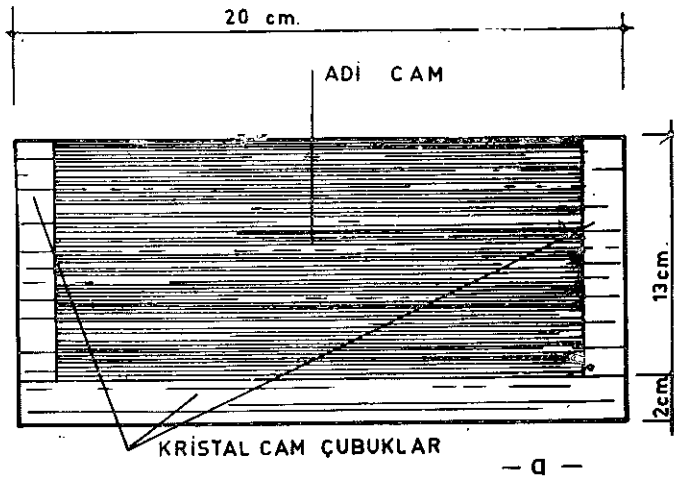
Şekil 20 — Master Model, karton kutu ve sert alçı içinde

Alçı donduktan sonra model taşıyıcı, karton kutu içinden çıkarıldı. Böylece suni alveollerin orta oksal düzlem üzerindeki kesitleri elde edilmiş oldu. İçerdeki mum kalıntıları sıcak su ile temizlendi. Periodontal lifleri taklit edecek olan ve daha önce konan mum kalınlığındaki kauçuk bantlar suni alveol içine yerleştirildi (Şekil 21).



Şekil 21 — Suni Alveol ve Kauçuk Bantlar

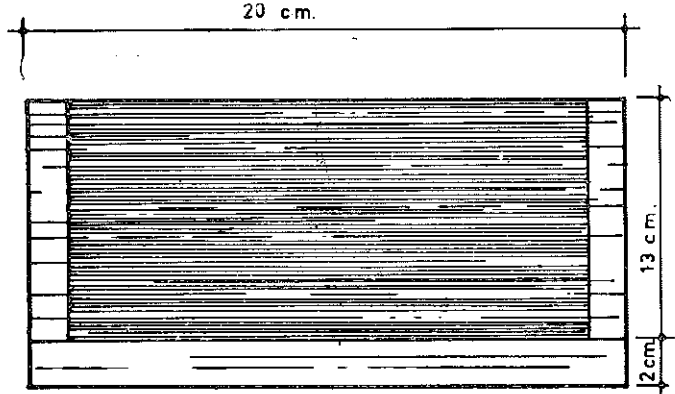
20x15 cm. boyutlarında 2 mm. lik 12 adet adi cam parçalar kesildi. Camların birer yüzeylerine silikon esaslı izolan madde kıl fırça ile sürüldü. Her iki cam parça arasına ve üç kenarına, üst taraf açık olmak üzere, kristal cam çubuklar yerleştirildi. 6 mm. kalınlığında 2 cm. genişliğinde ve 20 cm. uzunluğundaki çubuk taban kısmında, yine 6 mm. kalınlık 2 cm. genişlik ve 13 cm. uzunluğundaki 2 çubuk da yarı kısımlara kondu (Şekil 22a).



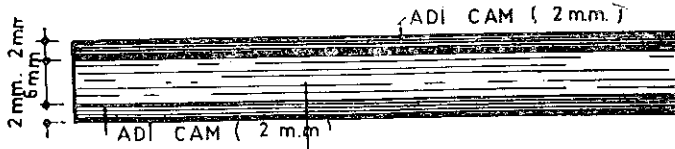
Şekil 22 a — Adi Cam ve Kristal Cam Çubukları

Böylece, iç kalınlığı 6 mm. olarak hazırlanan boş altı camdan kalıp seloteyp ile dış yüzeylerinden devamlı sarılarak sıkıca bloke edildi. Kalıpların içine konacak materyelin dışarıya akmaması bu bloke

ile sağlandı. Kalıplar, hazırlanmaları tamamlandıca, açık kenarları yukarıda kalacak şekilde düz bir yüz üzerine kondu ve yan duvarları metal kitleler ile desteklendi (Şekil 22b-c-d).

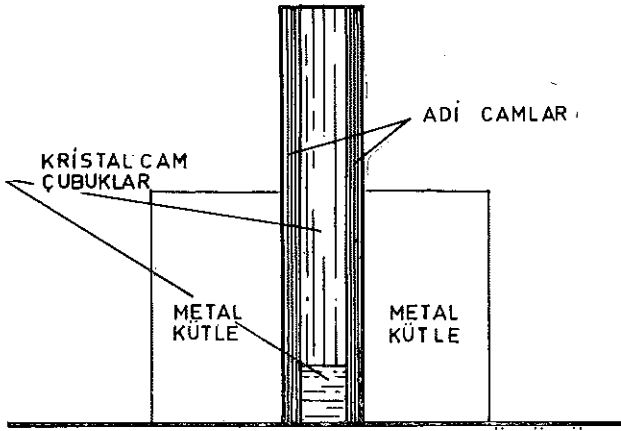


- b - ÖNDEN GÖRÜNÜŞ



KRİSTAL CAM ( 6mm ) ÇUBUK

- c - ALTTAN GÖRÜNÜŞ

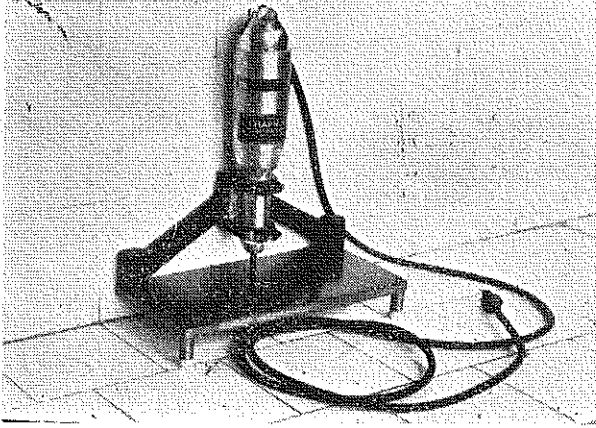


- d - YANDAN GÖRÜNÜŞ

Şekil 22 b-c-d — Cam Kalıpların Önden, Alttan ve Yandan Görünüşleri

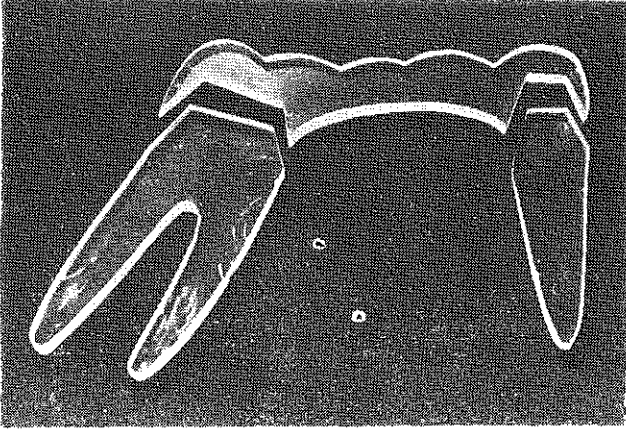
Bu 6 kalıp için ölçekli beher glas ile 900 cc. polyester No.104 ölçülerek polyetilen bir kap içine kondu, ve verilen tarif üzerine 135 damla dondurucu ve 18 damla hızlandırıcı kaptaki materyele ilâve edildi. Materyel homojen bir duruma gelinceye kadar cam bagetle karıştırıldıktan sonra yavaş bir tempoda, hep aynı bölgeden kalıplara döküldü. 48 saat sonra kalıplar açılarak içindeki polyester plaklar çıkartıldı. Sunî reçinenin donma anındaki muhtemel yüzey hatalarını ortadan kaldırmak için plâkların her iki yüzeyi de önce 1, sonra 0, daha sonra da 0.2 ve 0.4 zımparalarla tesviye edildi. Zımparalanmış plaklar çuha ile parlatma aygıtında yatay olarak dönen keçe üzerinde aliminyum oksit ile cilâlandı. Cilalı plaklar polarize ışıkta kontrol edildi. Plaklarda ilkel gerilmeler görülmediğinden modellerin hazırlanmasına başlandı.

Önceden hazırlanmış olan master model çift taraflı yapıştırıcı ile cilalanan plaklar üzerine sıra ile yapıştırıldı. Bütün parçalar önce dış kenar hudutlarından 3-4 mm. uzaktan elektrikli testere ile kesildi. Tam kesme işlemi ise bir cins özel freze aygıtında tamamlandı (Şekil 23, 24, 25).

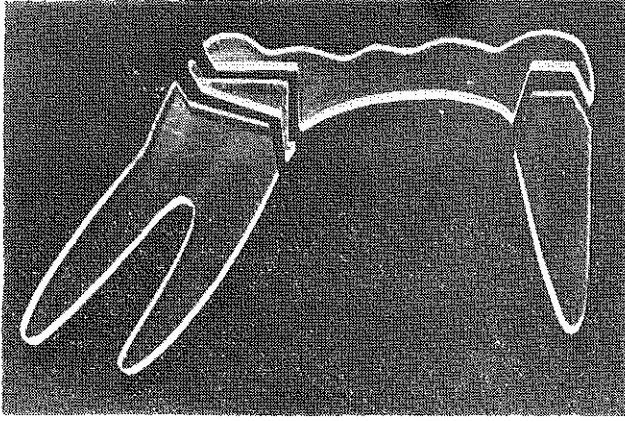


Şekil 23 Freze Aygıtı

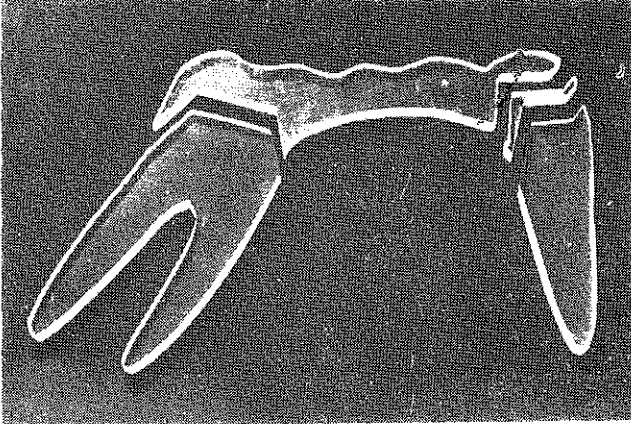
Yalnız kuron dışı parçalı sistemlerin kuron dışında kalan parçaları ve bu parçaların gövdeye girecekleri yerler elde ince eğelerle hazırlandı. Parçalar birbirlerine alıştırlarak oturtuldu ve tam uygunluk sağlandıktan sonra sistemin eklem yeri enlemesine olarak bir rond frezele delindi. Bu delik, daha sonra, önceden hazırlanan ve kuron dışı



Şekil 24 Normal Sistem (Polyesterden).

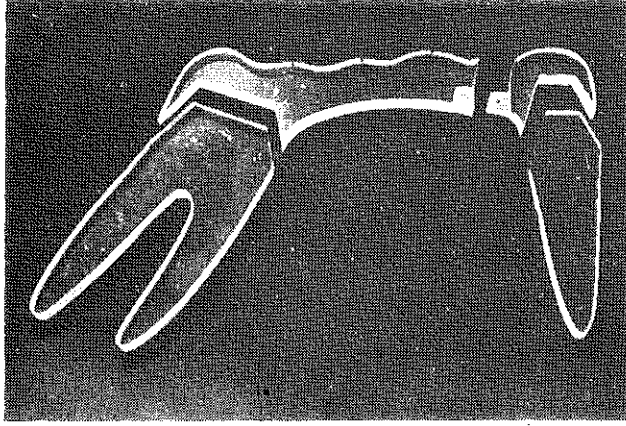


Şekil 25a -- Büyük Ağı Kuron İçi Parçalı Sistem (Polyesterden)

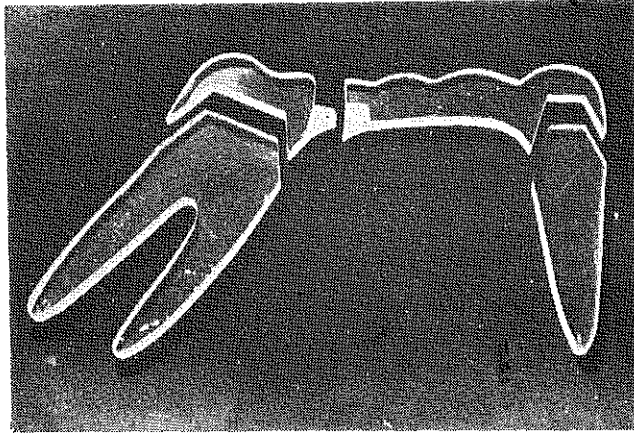


Şekil 25b -- Küçük Ağı Kuron İçi Parçalı Sistem (Polyesterden)

uzantı ile gövdeyi birbirine saptayacak olan pin kalınlığındaki bir fisür frezle genişletildi (Şekil 26).



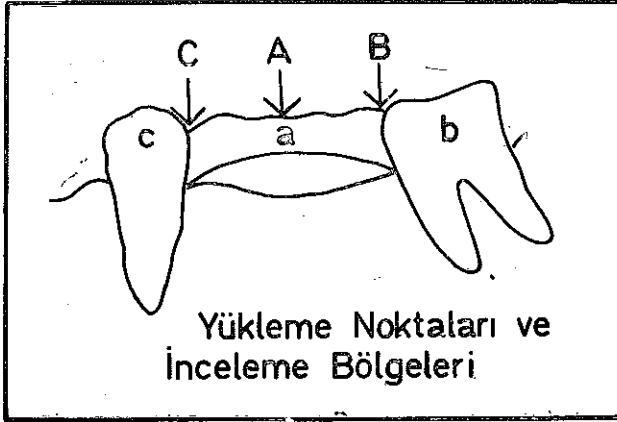
Şekil 26a — Büyük Azı Kuron Dışı Parçalı Sistem (Polyesterden)



Şekil 26b — Küçük Azı Kuron Dışı Parçalı Sistem (Polyesterden)

### **Deney Modellerinin Fotoelastisite Aygıtında İncelenmesi**

Bütün modeller üst üste konularak yüklemelerin geleceği noktalar (A,B,C) işaretlendi (Şekil 27).



Şekil 27 — Yüklemelerin Geleceği Noktalar (A-B-C) ve İnceleme bölgeleri (a-b-c)

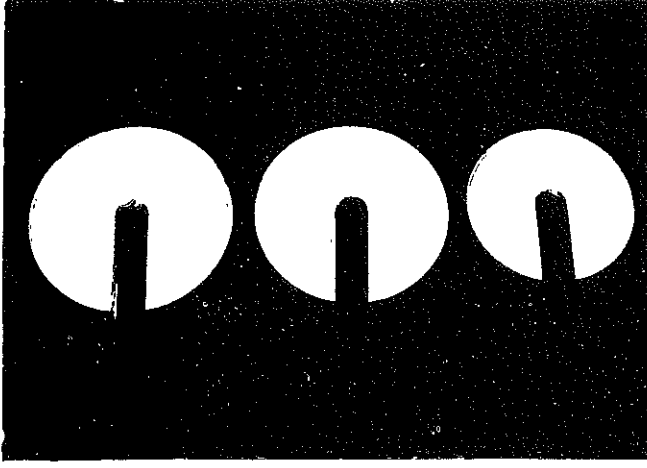
Bu 3 nokta da gövde üzerinde alındı. «A» orta nokta, «B» büyük ağı-gövde eklem yeri yakını, «C» küçük ağı-gövde eklem yeri yakını olarak seçildi.

İnceleme kapsamına giren bölgeler ise yüklemelerin dolaylarına rastlayan kısımlar olarak saptandı (a,b,c). Buna göre, a (gövde altı bölgesi), b (büyük ağı çapa-dayanak diş krunu bölgesi), c (küçük ağı çapa-dayanak diş krunu bölgesi) olarak incelendi.

Yükleme aygıtı fotoelastik bench üzerinde analizör ve polarizör arasına kondu, tablasına model taşıyıcı yerleştirildi. Modeller, model taşıyıcıdaki yerlerine oturtuldu. Analizörden 50 cm. uzaklığa 3 tripot üzerine 3 ayrı kamera yerleştirildi ve görüntü ayarı yapıldı, yalnız siyah beyaz film için yeşil filtre kullanıldı.

Yükleme ucu, kaldıraç kolunda bir noktada vida ile sabitleştirildi. A,B,C yükleme noktaları yükleme ucunu altına, model taşıyıcı sağa-sola kaydırılarak getirildi.

Ön çalışma olarak yüklemeler önce yalnız «A» noktasından, her model için 250 gm dan başlamak üzere, yavaş yavaş arttırılarak 4 kg na kadar uygulandı. Elde edilen fringe derecelerine göre 4 kg.lık yük deneysel araştırma için yeterli görüldü (Şekil 28).



Şekil 28 — Dcney Uygulamasında Kullanılan Yükleler (1 Kg. 500 gr. 250 gr.)

Böylece esas deney uygulamasına geçildi. Modellere «A», «B», «C» noktalarından ayrı ayrı yaptığımız yüklemeler sonucu a,b,c, bölgelerindeki fringe dereceleri okunarak kaydedildi ve olayların fotoğrafları çekildi. Fotoğrafların çekiminde Kodak Color X, Kodak Plux X Pan ve Kodakcrome filmleri kullanıldı.

### — B U L G U L A R —

A,B,C noktalarından 4 kg. olarak yapılan yüklemeler sonucu bu yüklemeye noktalarının hemen altında elde edilen fringe değerleri yerel sonuçlar olduğu için dikkate alınmadı. Buna karşılık, a (gövde altı) b (büyük azı çapa-dayanak dış kuronu) ve c (küçük azı çapa-dayanak dış kuronu) bölgelerinde ortaya çıkan olaylar izlenerek fringe değerleri okundu.