

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI**

**ZİRKONYUM DİOKSİT ALT YAPILARDA GERÇEKLEŞTİRİLEN  
FARKLI RENKLENDİRME İŞLEMLERİNİN ÜST YAPI PORSELENİYLE  
OLAN BAĞLANTI DAYANIMINA ETKİSİ**

**İlkin TUNCEL**

**DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Erdal EROĞLU**

**Bu tez Süleyman Demirel Üniversitesi  
Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından  
2847-D-11 Proje numarası ile desteklenmiştir.**

**Tez No:79**

**2011-İSPARTA**

## KABUL VE ONAY

Sağlık Bilimleri Enstitü Müdürlüğüne;

Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Doktora Programı çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi :10/07/2012

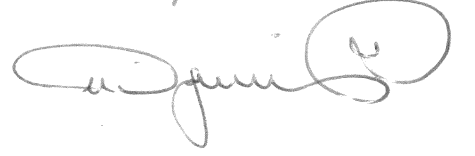
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erdal EROĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi



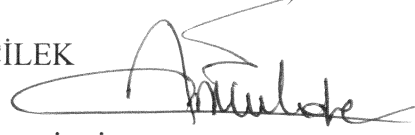
Üye : Prof. Dr. M. Üstün GÜLDAĞ

Süleyman Demirel Üniversitesi



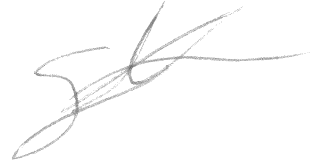
Üye : Prof. Dr. Emin Cafer ÇİLEK

Süleyman Demirel Üniversitesi



Üye : Prof. Dr. Gökhan AKGÜNGÖR

İstanbul Üniversitesi



Üye : Yrd. Doç. Dr. H. Cenker KÜÇÜKEŞMEN

Süleyman Demirel Üniversitesi



ONAY: Bu Doktora tezi, Enstitü Yönetim Kurulu'nca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Fehmi ÖZGÜNER

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, her konuda destek olan çok değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Erdal EROĞLU'na, deneyim ve birikimlerinden faydalanma fırsatı veren değerli hocam Prof. Dr. M. Üstün GÜLDAĞ'a, çalışmadaki değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Emin Cafer ÇİLEK'e, eğitimimin her aşamasında desteğini ve yardımlarını benden hiç esirgemeyen, sevgili hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle eğitimimiz süresince mutlulukları, üzüntü ve endişeleri birlikte paylaştığımız sevgili bölüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

2847-D-11no'lu doktora projesini destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olduklarını hissettiğim canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY .....	i
ÖNSÖZ .....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
RESİMLER DİZİNİ .....	viii
TABLolar DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Zirkonyumun Tarihsel Gelişimi .....	3
2.2. Zirkonyumun Yapısı .....	4
2.3. Zirkonyum Dioksit .....	5
2.4. Stabilize Zirkonyum .....	6
2.5. Yttrium-Oksit Parsiyel Stabilize Zirkonya (Y-PSZ) .....	7
2.6. Faz Diagramı ve Transformasyon Dayanıklılığı .....	8
2.7. Yttrium-Oksit Parsiyel Stabilize Zirkonya (Y-PSZ) Üzerine Uygulanan Üst Yapı Porselenleri .....	9
2.7.1. Tabakalama tekniği .....	10
2.7.2. Presleme tekniği .....	10
2.8. Renklendirme .....	11
3. MATERYAL VE METOT .....	14
3.1. İstatistiksel Değerlendirme .....	19
4. BULGULAR .....	20
4.1. Makaslama Dayanım Test Bulgularının Değerlendirilmesi .....	20
4.2. Kopma Şekillerinin Değerlendirilmesi .....	25
5. TARTIŞMA .....	28
6. SONUÇLAR .....	40
ÖZET .....	41

ABSTRACT .....	43
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	53

## SİMGELER ve KISALTMALAR

<b>%</b>	: Yüzde
<b>&lt;</b>	: Küçük
<b>&gt;</b>	: Büyük
<b>°C</b>	: Santigrat derece
<b>µm</b>	: Mikrometre
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Alüminyum oksit
<b>CAD</b>	: Bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design)
<b>CAM</b>	: Bilgisayar destekli üretim (Computer Aided Manufacturing)
<b>CaO</b>	: Kalsiyum oksit
<b>CeO<sub>3</sub></b>	: Seryum oksit
<b>cm</b>	: Santimetre (uzunluk birimi)
<b>CTE</b>	: Isısal genleşme katsayısı
<b>dk</b>	: Dakika
<b>K</b>	: Kübik faz
<b>M</b>	: Monoklinik faz
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metre kare
<b>MgO</b>	: Magnezyum oksit
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>MPa</b>	: Megapaskal
<b>PSZ</b>	: Parsiyel Stabilize Zirkonya
<b>sn</b>	: Saniye
<b>T</b>	: Tetragonal faz
<b>TZP</b>	: Tetragonal Zirkonya Polikristalleri

- Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Yttriyum oksit
- Y-PSZ** : Yttrium-Oksit Parsiyel Stabilize Zirkonya
- Y-TZP** : Yttrium Tetragonal Zirkonya Polikristalleri
- Zr** : Zirkonyum
- ZrO<sub>2</sub>** : Zirkonyum dioksit
- ZrSiO<sub>4</sub>** : Zirkonyum silikat

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Zirkonyumun kristal fazları .....	6
Şekil 2.2. Baskı kuvvetleri sonucu oluşan transformasyon sertleşmesi.....	9
Şekil 4.1. Dene örneklerinin bağlanma dayanımı değerleri.....	21
Şekil 4.2. Aynı süre grubu bağlantı değerlerinin karşılaştırmaları .....	22
Şekil 4.3. Aynı süre gruplarının ve renksiz grubun da dahil edildiği bağlantı değerlerinin üçlü karşılaştırmaları.....	23
Şekil 4.4. Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik bağlantı değerlerinin karşılaştırmaları.....	24
Şekil 4.5. Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik bağlantı değerlerinin ve renksiz grup bağlantı değerlerinin de dahil edildiği üçlü karşılaştırmalar .....	25



## RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1. Deney örneklerinin hazırlandığı zirkonyum bloklar.....	14
Resim 3.2. Deney örneklerinin mikrocut cihazıyla hazırlanışı.....	14
Resim 3.3. Deney örneklerinin ışık altında kurutma işlemi.....	15
Resim 3.4. Üst yapı seramiğinin hazırlanmasında kullanılan metal şablon.....	17
Resim 3.5. Üst yapı seramiğinin yığılması .....	17
Resim 3.6. Üst yapı seramiğinin yığılmış hali .....	17
Resim 3.7. Üniversal test cihazı.....	18
Resim 4.1. Kombine kopma gösteren bir örnek (x10).....	26
Resim 4.2. Koheziv kopma gösteren bir örnek (x10) .....	26
Resim 4.3. Kombine kopma gösteren bir örnek (x20).....	27
Resim 4.4. Koheziv kopma gösteren bir örnek (x20) .....	27

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. ICE Zirkonia sinterleme programı .....	16
Tablo 3.2. Vener seramik pişirme programı .....	18
Tablo 4.1. Deney örneklerinin bağlanma dayanımı değerleri.....	20
Tablo 4.2. Deney örneklerinin kopma şekillerinin değerlendirilmesi.....	26

## 1. GİRİŞ

Estetik beklentilerin artması, protetik ve restoratif diş hekimliğinde tam seramik restorasyonların kullanımını yaygınlaştırmıştır. Tüm olumlu özelliklerine rağmen metal seramik restorasyonların ışık geçirmez alt yapısı, diş eti bölgesindeki metal yansıması, kıymetsiz metal alaşımlarında görülebilen metal alerjisi ve yine kıymetsiz metal alaşımlarının korozyona yatkınlığı gibi faktörler hekimi ve hastayı tam seramik restorasyonların kullanımına yönlendirmektedir. Ancak dental seramikler üstün estetik, kimyasal stabilite ve biyoyumluluklarına rağmen düşük gerilme dayanıklılığı ve kırılma bir yapı ile maluldir. Baskı kuvvetlerine karşı direnci yüksek (350–550MPa) olan dental seramiklerin, gerilime karşı dirençleri oldukça düşüktür (20–60MPa) (Qualtrough ve Piddock 1997). Bu durum, uzun yıllar dental seramiklerin sadece ön bölge restorasyonlarında ve sınırlı endikasyonlarda kullanılmasına yol açmıştır. Tam seramik restorasyonları daha geniş bir endikasyon aralığı içerisinde kullanabilmek için ise güçlendirilmiş seramiklerin kullanılması gündeme gelmiştir. Yüzeyde basma gerilmelerinin oluşturulması, camın kristal bir faz ile güçlendirilmesi, camın kontrollü kristalizasyonu ve cam infiltrasyonu gibi yöntemler ile dental seramikler güçlendirilmeye çalışılmıştır (McLean 1979, 2001).

Zaman içerisinde dental seramik teknolojisindeki gelişmeler estetik, fonksiyonel, biyolojik olarak başarılı ve aynı zamanda fonksiyonel çiğneme kuvvetlerine karşı dirençli restorasyonların önünü açmıştır. Tam seramik restorasyonlardan biri olan zirkonyum, kimyasal stabilitesi ve biyoyumluluğunun yanısıra yüksek kırılma dayanımı nedeni ile posterior restorasyonlarda da kullanılabilen ve bu özelliği ile diğer dental seramikler arasında öne çıkmaktadır.

Zirkonyum destekli restorasyonların uygun estetik ve morfolojik özellikleri sağlayabilmeleri için viner seramikleriyle kaplanmaları gerekmektedir. Restorasyonların uzun süreli kullanımı ve başarısı için zirkonyum ve viner seramik arasındaki bağlantı dayanımının başarılı olması yaşamsal bir önem göstermektedir. Ancak mevcut klinik çalışmalar zirkonyum destekli restorasyonlarda en sık görülen klinik başarısızlığın üst yapı porseleninde gerçekleşen tabaka şeklinde kopmalardan (chipping) kaynaklandığını göstermiştir (Steyern ve ark. 2005, Aboushelib ve ark.

2005, Koutayas ve ark. 2009). Yapılan literatür taramasında, alt yapı renklendirme işlemlerinin zirkonyum seramik restorasyonlar üzerindeki etkilerini değerlendiren az sayıda çalışma olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, farklı renklendirme solüsyonları içerisinde ve farklı sürelerde renklendirme işlemlerine tabi tutulmuş zirkonyum dioksit seramik alt yapıların üst yapı seramikleri ile olan bağlantı dayanımının incelenmesidir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Zirkonyumun Tarihsel Gelişimi

Zirkonyum, etimolojik olarak 'altın renkli' anlamına gelen Arapça kökenli 'zargon' kelimesinden türemiştir. Kelime, Arapçaya da Farsça 'zar' (altın) ve 'gun' (renk) kelimelerinin birleşmesiyle girmiştir (Piconni ve Maccauro 1999).

Zirkonyum dioksit 1789 yılında Alman kimyager Martin Heinrich Klaproth tarafından keşfedilmiş ve 1824 yılında İsviçreli kimyager Jöns Jakob Berzelius tarafından potasyumla işlenerek izole edilmiştir (Stevens ve Hennike 1992, Oh ve Shen 2003, Chevalier 2006). Zirkonyumun endüstriyel alanda kullanımı zaman içinde yaygınlaşarak devam etmiştir.

Zirkonyumun biyomateryal olarak kullanımı ise ilk olarak Helmer ve Driskell'in 1969 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışma ile gündeme gelmiştir (Piconni ve Maccauro 1999, Vagkopoulou ve ark. 2009). İzleyen yıllarda Garvie ve Nicholson (1972) yüksek biyouyumluluğa sahip ve kırılma dayanımı arttırılmış yarı stabilize yttrium oksit zirkonyum seramikler (Y-PSZ) ya da yttrium tetragonal zirkonya polikristalleri (Y-TZP) üzerine odaklanmışlardır.

Malzemenin insan bedenindeki ilk kullanımını Christel gerçekleştirmiş ve zirkonyumu ortopedik kalça eklem protezlerinin yapımında kullanmıştır (Christel 1989, Chevalier 2006). Ancak bildirilen bir dizi başarısızlıktan dolayı 2001 yılından sonra bu alandaki uygulamaları giderek azalmıştır (Chevalier 2006). Bununla birlikte malzeme, CAD-CAM sistemlerinin gelişmesiyle günümüzde diş hekimliği de dâhil olmak üzere medikal ve endüstriyel birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### **Genel kullanım alanları;**

- Refrakter malzeme olarak,
- Aşındırıcı olarak ve kesici aletlerin üretiminde,
- Ekstrüzyon kalıplarında ve aşınmaya dayanıklı makine parçalarında,
- Oksitlenmeye karşı ve termal bariyer amacıyla yapılan seramik kaplamada,

- Katı elektrolit olarak oksijen algılayıcı imalinde,
- Isıtıcı eleman olarak,
- İzolasyon malzemesi olarak,
- Yakıt hücrelerinde,
- Seramik filtre üretiminde (Piconni ve Maccauro 1999).

### **Diş hekimliğindeki kullanım alanları;**

- Ortodontik braketlerde,
- Post ve kor malzemesi olarak,
- İmplantlarda,
- İmplant dayanaklarında,
- Kompozitlerde,
- Kuron dışı tutucularda,
- Kuron ve köprülerde alt yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Vagkopoulou ve ark. 2009).

## **2.2. Zirkonyumun Yapısı**

Zirkonyum, atom numarası 40, ağırlığı 91,22, sembolü Zr olan parlak ve olağanüstü korozyon stabilitesine sahip bir metal geçiş elementidir (Stevens ve Hennike 1992). Saf zirkonyum beyaz kristalin formundadır, amorf formu mavi siyah renkli toz şeklindedir.

Zirkonyumun yoğunluğu  $6,49 \text{ g/cm}^3$ , erime derecesi 2128K (1855°C / 3371°F) ve kaynama derecesi 4682K'dir (4409°C / 7968°F) (Vagkopoulou ve ark. 2009).

Yer kabuğunda bulunan elementler içerisinde bolluk açısından on sekizinci (18) sırada bulunmaktadır. Zirkonyumun bilinen mineralleri zirkonyum silikat ( $\text{ZrSiO}_4$ ) ve zirkonyum oksittir ( $\text{ZrO}_2$ ). Zirkonyum silikatın diğer adı da 'zirkon'dur. Zirkonyum oksitin diğer adları ise 'zirkonya', 'zirkonyum dioksit' ve 'baddeleyit' tir (Piconi ve Maccauro 1999, Lindemann 2000, Tosun 2007).

Zirkonyum dioksit, paslanmaz çeliğe benzer mekanik özelliklere sahiptir. Bükme dayanımı değeri 900-1200MPa'dır (Christel 1989, Kosmač ve ark. 1999, Derand ve Derand 2000, Luthardt ve ark. 2004). Kırılma dayanımı ise 9-10MPa m<sup>1/2</sup> olarak bulunmuştur (Christel ve ark. 1989, Piconni ve Maccauro 1999). Y-TZP'nin elastisite katsayısı yaklaşık 200MPa'dır (Guazzato ve ark. 2004). Vicker's sertlik değeri ise dental alaşımların 4-5 katıdır (Lüthy ve ark. 2006).

Zirkonyum dioksit alt yapılar radyoopaktır bu da marjinal bütünlüğün ve artık simanın radyografik olarak değerlendirilmesini kolaylaştırır (Raigrodski AJ 2006).

Zirkonyanın termal iletkenliği azdır, bu nedenle termal hassasiyet ve pulpa irritasyonları da az görülür (Raigrodski ve Gerard 2001, Tosun T. 2007).

Zirkonyanın biyouyumluluğunu araştıran in vivo ve in vitro çalışmalarda herhangi bir lokal ya da sistemik yan etki bildirilmemiştir (Ichikawa ve ark. 1992).

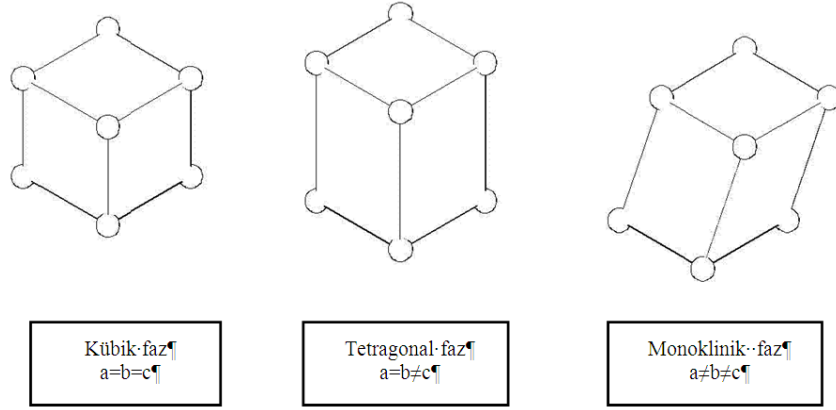
### **2.3. Zirkonyum Dioksit**

Zirkonya olarak da bilinen zirkonyum dioksit, zirkonyumun beyaz kristal oksididir. Saf zirkonyum oksit doğada bulunmamakta, baddeleyit ve zirkon (ZrSiO<sub>4</sub>) minerallerinin içerisinde yer almaktadır (Piconni ve Maccauro 1999, Lindemann 2000). Normal sıcaklıklarda zirkonat (ZrO<sub>3.2</sub>) ve zirconyl tuzları formunda altıgen kristal yapıdadır. Zirkonyum dioksit, asidik ve bazik özelliklerin her ikisinde sahip olan beyaz toz halinde elde edilir. Zirkonyum dioksit 3 farklı kristal form halinde sınıflandırılabilir:

- Kübik kare kenarlara sahip düz bir prizma şeklinde,
- Tetragonal dikdörtgen kenarlara sahip bir prizma şeklinde,
- Monoklinik paralel yüzeylere sahip bir prizma şeklinde (Şekil 2.1).

2370°C üzerinde stabil olan kübik faz orta derecede mekanik özelliklere sahiptir. 1170°C ve 2370°C arasında istikrarlı olan tetragonal faz seramikte artırılmış mekanik özelliklerin elde edilmesini sağlar. Monoklinik faz 1170°C kadar olan sıcaklıklarda görülen seramik yoğunluğunun ve koheziv bağlarının azalmasıyla

birlikte mekanik özelliklerin düştüğü fazdır. Zirkonyum oda sıcaklığında monoklinik faz halinde bulunur.



Şekil 2.1. Zirkonyumun kristal fazları

#### 2.4. Stabilize Zirkonyum

Zirkonyumu oda sıcaklığında tetragonal veya kübik faz halinde stabilize etmek için çeşitli metal oksitler kullanılmaktadır. Bunlar magnezyum oksit (MgO), yttrium oksit ( $Y_2O_3$ ), kalsiyum oksit (CaO) ve seryum oksittir ( $Ce_2O_3$ ) (Christel ve ark. 1989, Piconi ve Maccauro 1999).

Zirkonyumu kararlı hale getiren bir metal oksit (stabilizatör) eklenmesiyle birlikte kübik ve metastabil (yarı kararlı) tetragonal  $ZrO_2$  karışımı elde edilir. Bu zirkonyum polimorflarından oluşan bir karışımdır. Zirkonyumun **tam stabilize** ve **parsiyel stabilize zirkonya** olmak üzere iki tipi vardır:

**Tam stabilize zirkonyum**, zirkonyum dioksite 16mol CaO (ağırlıkça %7,9), 16mol MgO (ağırlıkça %5,86) veya 8mol  $Y_2O_3$  (ağırlıkça %13,75) den fazla miktarda eklenmesiyle elde edilir ve kübik formdan oluşur (Chevalier ve ark. 1999). Sertliğinin ve termal şok direncinin yüksek olması sebebiyle seramik endüstrisinde aşındırıcı bir araç olarak ve ateşe dayanıklı bir ürün olarak kullanılmaktadır.

Saf zirkonyum  $1000^\circ C$ 'nin üzerinde tetragonal faz halindeyken içerisine az miktarda stabilizatör madde konulması, oda sıcaklığında büyük kısmı kübik, kalan az miktardaki kısmı ise monoklinik ve tetragonal faz karışımı olan bir yapının elde



edilmesini sağlar (Piconi ve Maccauro 1999). Az sayıdaki faz içerikleri kübik matriks içerisinde tanecikler arasında bulunur (Piconi ve Maccauro 1999). Bu yapı, **parsiyel stabilize edilmiş zirkonyum** ya da **tetragonal zirkonya polikristali** olarak adlandırılmaktadır (TZP). Parsiyel stabilize zirkonya (PSZ) materyali, tam stabilize zirkonyuma göre daha kullanışlı mekanik özelliklere sahiptir (Garvie ve ark. 1975).

## 2.5. Yttrium-Oksit Parsiyel Stabilize Zirkonya (Y-PSZ)

Zirkonyum seramiğe %2-3 yttrium oksit ( $Y_2O_3$ ) eklenmesiyle oda sıcaklığında tamamı tetragonal fazda (Y-TZP) olan ince grenli zirkonyum elde edilir (Christel ve ark. 1989, Lindemann 2000).

Tetragonal fazın oda sıcaklığında stabil kalabilmesi, üretim sırasındaki sıcaklığa, yttrium içeriğinin oranına, gren büyüklüğüne ve matriks tarafından üzerlerine uygulanan baskı derecesine bağlıdır (Vagkopoulou ve ark. 2009).

Gren boyutu yttrium oksit konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Belirli kritik gren boyutunun üzerinde tetragonal - monoklinik faz değişimi spontan olarak gerçekleşir. Bu grenlerin tanecik boyutu belirli bir boyutun altına düşerse faz değişimi inhibe olur (Sato ve Shimada 1985, Piconi ve Maccauro 1999). Gren boyutundaki azalma veya stabilize edici oksit konsantrasyonundaki artış, faz değişim oranını azaltır.

Gren büyüklüğündeki büyük düşüş stabilite kaybına neden olurken stabilize edici oksit konsantrasyonunun %3,5 molün üzerine çıkmasında önemli miktarda stabil kübik faz çekirdeklenmesine neden olacaktır. Bu nedenle oda sıcaklığında stabil tetragonal faz elde edebilmek için gren boyutu  $0,8\mu m$ 'den küçük olmalı ve stabilize edici oksit miktarı %3 molü aşmamalıdır (Theunissen ve ark. 1992).

Y-TZP seramikleri  $Y_2O_3$  ile  $ZrO_2$  tuzlarının birlikte çökmesi veya  $ZrO_2$  taneciklerinin  $Y_2O_3$  ile kaplanması ile üretilir.

Y-TZP seramiklerin karakteristik bir özelliği yüzeyde basınç oluşturan tabakasıdır. Yüzeydeki tetragonal grenler matriks tarafından baskılanmamaktadır ve

bunun sonucunda monoklinik faz değişimi kendiliğinden gerçekleşmekte ve materyalin mekanik özelliklerini arttırmaktadır.

Y-TZP'nin yüksek dayanıklılık, kırılma dayanımı, sertlik, aşınma direnci, manyetik olmayan davranış, elektrik yalıtımı, düşük ısı iletkenliği, asit ve alkalik korozyon direnci çeliğe benzer elastisite katsayısı özellikleri ve demire benzer termal genleşme katsayısı gibi temel özellikleri biyomedikal mühendisliğinde büyük ilgi yaratmıştır.

Zirkonyum rnlerinin diş hekimliği kliniğinde kullanımı için taşımaları gereken özellikler de uluslararası kuruluşlarca tanımlanmıştır. Bu malzemeler Uluslararası Standartlar Organizasyonu (International Standards Organization / ISO - 13356) ve Amerikan Test ve Malzeme Birliği'nin (American Society for Testing and Materials /ASTM - F1873) ilgili şartnamelerine uygunluk göstermelidir.

## **2.6. Faz Diagramı ve Transformasyon Dayanıklılığı**

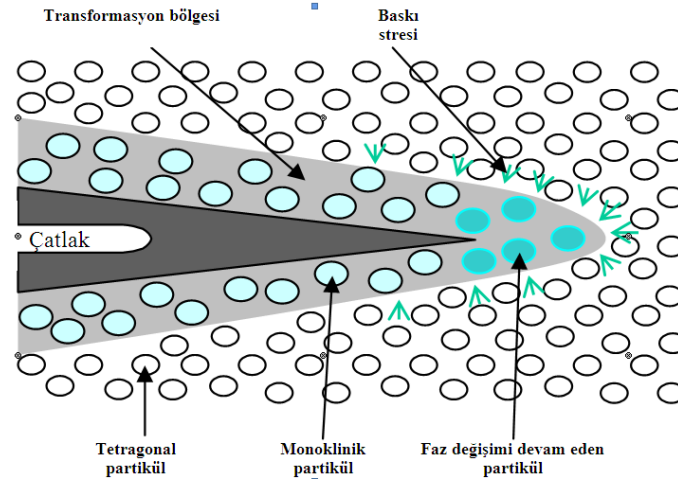
Oda sıcaklığından 1170°C'ye kadar monoklinik faz korunmakla birlikte bu derecenin üzerinde zirkonyum tetragonal faza geçer ve %5'lik hacim kaybına uğrar (Christel ve ark. 1989).

Tetragonal -monoklinik faz değişimi 670-1070°C arasında gerçekleşir ve %3 ile %4 arasında hacim artışı oluşur (Piconi ve Maccauro 1999). Bu fenomen, çatlak ucunun çevresinde gerçekleşir ve bu bölgede gerçekleşen hacimsel artış nedeniyle çatlağın ilerlemesi baskılanır (Christel ve ark. 1989).

Az miktarda stabilize edici oksit eklenmesiyle yeterince kk grenli tetragonal partiküller elde edilebilir ve bu sayede tetragonal - monoklinik faz değişiminin gerçekleştiği derecelerin altında metastabil tetragonal zirkonyum elde edilebilir.

Çatlak, malzeme içinde yayılırken komşu tetragonal grenler monoklinik faza dönüşebilir (Piconi ve Maccauro 1999). Bu faz değişimi grenlerin %3-5 arasında hacim artışına neden olur ve kırılın önünde baskılayıcı bir kuvvet oluşturur. Bu

nedenle kırığın ilerleyebilmesi için daha fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyulur. Bu enerji soğurması faz değişiminden kaynaklanmaktadır (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2. Baskı kuvvetleri sonucu oluşan transformasyon sertleşmesi**

Sonuç olarak, dayanıklılıktaki artma çatlak oluşumu ile ilişkili olan  $T \rightarrow M$  faz değişimi ve bunun sonucunda oluşan hacim artışının yarattığı baskı stresi ile oluşur. Bu mekanizma, '**dönüşüm sertleşmesi**' olarak bilinir (Transformasyon doygunluğu - dönüşüm doygunluğu) ve Y-TZP seramiklerdeki yüksek dayanıklılığın temeli olarak kabul edilir (Garvie ve ark. 1975, Gupta ve ark. 1978, Thompson ve Rawlings 1990, Chevalier ve ark. 1999, Cales 2000, Clarke ve ark. 2003, Guazzato ve ark. 2004).

## **2.7. Yttrium-Oksit Parsiyel Stabilize Zirkonya (Y-PSZ) Üzerine Uygulanan Üst Yapı Porselenleri**

Alt yapı hazırlığı tamamlanan restorasyon, kişisel morfolojik ve estetik özelliklerinin elde edilebilmesi için ısısız genleşme katsayısı  $ZrO_2$  ile uyumlu feldspatik düşük ısı porseleni ile kaplanmaktadır (Sundh ve ark. 2005).

Günümüzde üst yapı porseleninin işlenmesinde iki farklı teknik uygulanmaktadır (Aboushelib ve ark. 2006). Bunlar;

### 2.7.1. Tabakalama tekniği

Metal destekli seramik restorasyonlarda olduğu gibi, uygun renkte seçilen porselen tozu sıvı ile karıştırılmakta ve elde edilen kütle alt yapı üzerine istenilen kıvamda yığılmaktadır.

### 2.7.2. Presleme tekniği

Tekniğin uygulanması sırasında seramik ingotlar  $ZrO_2$  alt yapı üzerine yüksek ısıda preslenmektedirler. Presleme tekniğinde, IPS Empress sisteminde olduğu gibi farklı iki uygulama şekli bulunmaktadır.

1 – *Boyama tekniği (staining)*: Bu yöntemde restorasyon tüm mum modelajı yapılarak preslenmekte; makyaj ve boyama işlemleri ile tamamlanmaktadır.

2 – *Tabakalama tekniği (layering)*: Preslenebilen seramik, alt yapının yüzeyini min. 0,7-0,8mm kalınlığında kaplayacak şekilde uygulanmakta ve restorasyon, sistem ile uyumlu düşük ısı feldspatik porseleni ile tamamlanmaktadır.

Alt yapı materyaliyle üst yapı porseleni arasındaki bağlantı direncini etkileyen faktörler şunlardır:

- 1) Mekanik tutuculuğu etkileyen alt yapının yüzey bitimi,
- 2) Uygunsuz ısıl büzülme katsayısının sebep olduğu residüel stresler,
- 3) Alt yapı ile üst yapı ara yüzde yapısal kusur ve çatlakların varlığı,
- 4) Alt yapı ile üst yapı bağlantı bölgesinde, zirkonyum oksit kristallerinin ısı etkilerine veya stres yüklemelerine bağlı olarak faz dönüşümü gerçekleştirmesi,
- 5) Üst yapı seramiğinin ıslatma özellikleri,
- 6) Üst yapı seramiğinin hacimsel büzülmesi (Aboushelib ve ark. 2006).

Seramikteki düzensiz tabaka kalınlıkları, alt yapıdaki çok ince bölgeler ve yapı hataları istenmeyen çekme gerilimlerine neden olabilmektedir. Alt yapının bitim

yüzeyi ve mekanik tutuculuğu, ısıl genişleme katsayısı uyumu, alt yapı ile üst yapı arasında defekt oluşumu, üst yapının hacimsel büzülmesi, akışkanlık ve ıslanabilirlik bağlantı kuvvetini etkilemektedirler. İyi bir bağlantı için alt ve üst yapıların mekanik özellikleri birbirleri ile uyumlu olmalıdır. Her iki seramik materyalinin elastisite katsayısı restorasyonda oluşacak stresler üzerinde etkili olmaktadır (Al-Shehri ve ark. 1996, Taskonak ve ark. 2000, Sundh ve Sjögren 2004).

Zirkonyum oksit alt yapılar için kullanılan venter porselenlerin ısıl genişleme katsayısı ( $9,1-9,7 \times 10^{-6} K^{-1}$ ), zirkonyum oksit seramiklerin ısıl genişleme katsayısından ( $10,8 \times 10^{-6} K^{-1}$ ) daha düşüktür ve metal destekli porselen sistemlerindeki benzer şekilde az miktardaki sıkışmayla daha zayıf üst yapı porseleni zirkonyum oksit porselenine bağlanmaktadır (Luthart ve ark. 1999, Kler ve ark. 2006).

Yüzey işlemleri sırasında oluşan monoklinik fazın ara yüzeyde mikro çatlaklara sebep olduğu ayrıca faz dönüşümü sonucu meydana gelen sıkıştırıcı yüzey tabakasının bağlantıya olumsuz etkileri olduğu düşünülmektedir (Guazzato 2004).

## **2.8. Renklendirme**

Zirkonyum alt yapılar metal alt yapılara göre oldukça estetik olmalarına rağmen zirkonyum opak ve oldukça beyaz bir renktedir. Renk derinliği oluşturarak doğal diş görünümünü sağlamak amacı ile renklendirilmiş zirkonyum alt yapıların kullanılması gündeme gelmiştir (Ardlin 2002).

Zirkonyum yapının renklendirilmesi metalik pigmentlerin yapıya eklenmesi ile sağlanabilir. Zirkonyum yapılar içerisine eklenen metal oksit miktarı ve tipi renk farklılıklarını oluşturur.

Feldspatik porselenlerin renklendirilmesinde de metal oksitler kullanılmaktadır. Feldspatik porselenlerin renklendirilmesinde kullanılan, renk farklılıklarını oluşturan metal oksitler ve oluşturdukları temel etkilerden bazıları şunlardır (Naylor 2009):

- **Sarı-** Birçok dişteki bu baskın renk her ikisi de kararlı pigmentler olan indiyum ve praseodmiyum (limon) dan elde edilir.
- **Pembe-** Krom-kalay ya da krom-alümina dan elde edilir ve camdaki yeşil.rengi elimine etmek için kullanılır, bu nedenle porselende sıcak bir görüntü yaratır. Bu pigmentler 2462°F (1350°C) ye kadar kararlıdır, bu nedenle düşük ısı porselenlerinde kullanılırlar.
- **Beyaz-** Seryum oksit, titanyum oksit ve zirkonyum oksit gibi opaklaştırıcıların kullanımı ile yaratılır, en çok kullanılan opaklaştırıcı zirkonyum oksittir.
- **Siyah-** Demir oksitle elde edilir.
- **Gri-** Platin grisinden ya da demir oksitin seyreltilmesi ile elde edilir.
- **Mavi-** Kobalt tuzlarından elde edilir ve mine renklendirmesi için kullanılır.

Zirkonyum seramiklerin renklendirilmesinde kullanılan solusyon içeriklerinin incelendiği bir çalışmada oksijen, klor, demir, krom, erbiyum, aliminyum, kobalt, sülfür ve kalsiyum elementleri bulunmuştur. (Hjerppe ve ark. 2008) Bu elementler farklı renk solusyonlarında farklı miktarlarda görülmüştür.

Presleme öncesi veya sonrası zirkonyum tozuna renklendirici metalik pigmentlerin eklenmesi, aşındırılmış blokların renklendirme solüsyonlarına daldırılması ve sinterlenmiş beyaz bloklar üzerine liner materyalinin uygulanması gibi farklı teknikler kullanılarak zirkonyum alt yapılar renklendirilebilmektedir (Heffernan ve ark. 2002, Aboushelib ve ark. 2005).

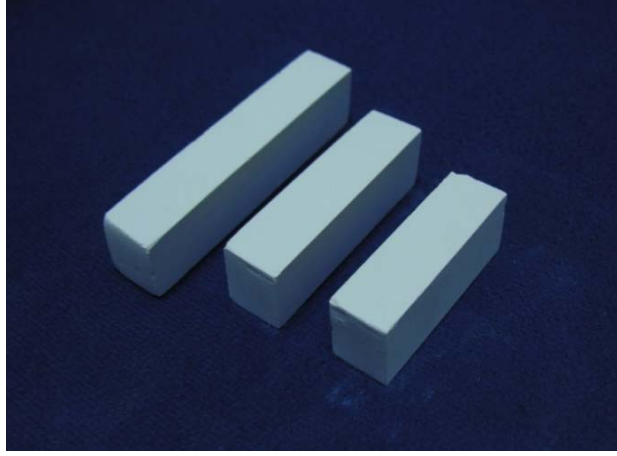
Renklendirilmiş zirkonyum blok kullanımının estetik görünümün yanı sıra bir başka etkisi daha vardır: renklendirilmiş bir alt yapının kullanılması alt yapıdaki beyaz rengin maskelenmesi için gerekli olan vener seramik kalınlığını azaltır ve aşırı kalınlık yapacak olan liner materyaline de gereksinim bırakmaz (Devigus ve Lombardi 2004). Ayrıca zirkonyum alt yapılar üzerine preslenebilir vener seramiğinin uygulandığı bazı araştırmalarda liner kullanımının bağlantı dayanımını düşürdüğü görülmüştür (Aboushelib ve ark. 2005). Bu materyalin, zirkonyum ile üst yapı porselenin bağlantı direncini güçlendirdiği bir çalışmada ise kırılma tipinin etkilendiği, kombine olarak görülen ayrılma tipinin liner kullanımı sonrası adeziv olarak gerçekteştiği bildirilmiştir (Aboushelib ve ark. 2006).

Yapılan literatür taramasında, alt yapı renklendirme işlemlerinin zirkonyum seramik restorasyonlar üzerindeki etkilerini değerlendiren az sayıda çalışma olduğu saptanmıştır. Bu çalışmaların bazılarında renklendirme işleminin zirkonyum yapıda değişikliklere neden olduğu görülmüştür (Deville ve ark. 2005, Pittayachawan ve ark. 2007, Hjerppe ve ark. 2008). Aynı şekilde renklendirilmiş zirkonyumların vena seramiğiyle olan bağlantı dayanımını inceleyen araştırmalarda da değişiklikler gözlemlenmiştir (Aboushelib ve ark. 2008, Aktaş 2010, Mosharraf ve ark. 2011).

Renklendirme işlemi sonrasında zirkonyum yapısında meydana gelen değişiklikler renklendirme solüsyonlarında bulunan metal oksitlere bağlıdır (Chevalier ve ark. 2004). Farklı renk solüsyonları farklı metal oksit içeriklerine ve konsantrasyonlarına sahiptir. Dolayısı ile bu solüsyonların zirkonyum alt yapının çeşitli mekanik, optik ve bağlanma özellikleri üzerinde etkileri olması beklenebilir. Ancak zirkonyum alt yapının ve üst yapı seramiğinin değerlendirildiği çalışmalarda ya önceden renklendirilmiş bloklar kullanılmış ya da tek tip renklendirme solüsyonu aynı süre içerisinde uygulanarak değerlendirilmiştir (Aboushelib ve ark. 2008, Aktaş 2010, Mosharraf ve ark. 2011).

### 3. MATERYAL VE METOT

İn-vitro olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, A3, B1, C4, D2, D4 ve renksiz gruplardan oluşan ve 3 ve 60sn olmak üzere iki farklı uygulama süresine tabi tutulacak 11 deney grubunun herbiri için 12 adet olacak şekilde toplam 132 adet 15x12x1,6mm ebadında ICE Zirkonia (Zirkonzahn, İtalya) zirkonyum deney örneği kullanıldı. Örnekler, ICE Zirkonia blokların mikrocüt cihazıyla (Struers Ltd, Lanarkshire, İngiltere) uygun boyutlarda kesilmesi ile elde edildi (Resim 3.1, 3.2). Deney örnekleri, sinterlenme sırasında oluşacak büzülmeyle karşılaşmak amacıyla yukarıda belirtilen boyutlardan %20 daha büyük olarak hazırlandı.



**Resim 3.1: Deney örneklerinin hazırlandığı zirkonyum bloklar**



**Resim 3.2: Deney örneklerinin mikrocüt cihazıyla hazırlanışı**



Hazırlanan zirkonyum plakların ön ve arka yüzeyleri sırası ile 800, 1200, 2400 gritlik aşındırıcı içeren aşındırma kâğıdı ile daha sonra da 4000 gritlik aşındırıcı içeren aşındırma kâğıtları kullanılarak 15sn süreyle zımparalandı (Struers, LaboPol-5, Kopenhag, Danimarka).

Zımparalanmış örnekler, renklendirme solüsyonlarıyla (Zirkonzahn, İtalya) Vita Classic Skalasına göre A3, B1, C4, D2 ve D4 renklendirme işlemine tabi tutuldu. ICE Zirkonia örnekler, Zirkonzahn firmasının ürettiği uygun renklendirici solüsyonlara 3'er saniye ve 60'ar saniye daldırılıp çıkartıldı ve sonrasında ön kurutma işlemi için yine aynı firmanın üretmiş olduğu kızıl ötesi ışık kaynağı (Zirkonlampe 250, Zirkonzahn, İtalya) altında 45 dakika kuruması için bekletildi (Resim 3.3).



**Resim 3.3: Deney örneklerinin ışık altında kurutma işlemi**

Ön kurutma işlemi tamamlandıktan sonra firmanın önermiş olduğu uygun programlarda sinterleme işlemi gerçekleştirildi (Tablo 3.1).

**Tablo 3.1 ICE Zirkonia Sinterleme Programı**

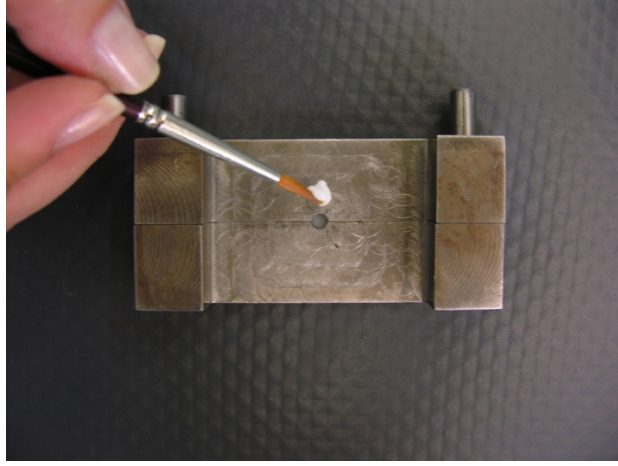
<b>Final sıcaklık</b>	<b>1500°C</b>
<b>Isıtma Süresi</b>	~ 3 saat
<b>Bekleme Süresi</b>	2 saat
<b>Soğuma süresi</b>	~ 18 dk

Bütün örneklerin sinterlenmesi tamamlandıktan sonra yüzey pürüzlülüğünün ve bağlanma kuvvetinin artırılması amacıyla tüm örneklere kalem uçlu kuşlama cihazı kullanılarak yüzeye 10mm uzaklıktan 50µm'luk alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) partikülleri ile 3,5 bar basınç altında 20sn süre ile kuşlama yapıldı. Kuşlama sonrasında tüm deney örnekleri ultrasonik temizleyicide (Quantrex 90, L&R Ultrasonics, Kearny, NJ, ABD) 10dk süreyle temizlendi ve ardından da durulanıp hava ile kurutuldu.

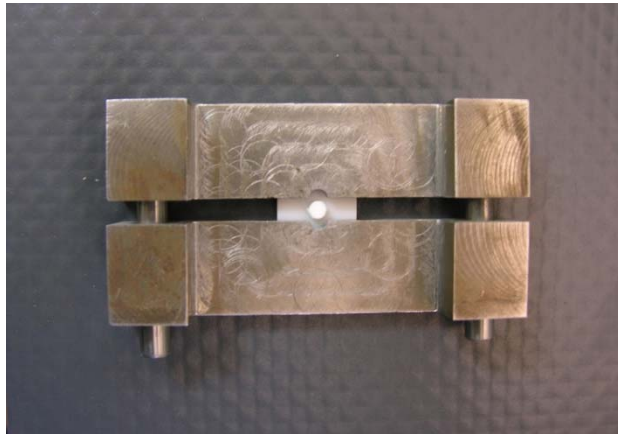
Çalışmamızda üst yapı porseleni olarak translusent CZR (Noritake Kizai Co., Nagoya, Japonya) uygulandı. Üst yapı porseleninin zirkonyum alt yapı üzerine uygulanması işleminde standardizasyonu sağlamak için alt yapı üzerine yerleştirilebilecek ve alt yapının ortasına denk gelen bir deliğe sahip metal şablon kullanıldı (Resim 3.4-3.6). Metal şablon, tüm zirkonyum deney örneklerinin üzerine 3,5mm çapında ve 3mm kalınlığında üst yapı seramiği uygulanmasını sağladı.



**Resim 3.4: Üst yapı seramiğinin hazırlanmasında kullanılan metal şablon**



**Resim 3.5: Üst yapı seramiğinin yığılması**



**Resim 3.6: Üst yapı seramiğinin yığılmış hali**

Firmanın önermiş olduğu uygun programda venter seramiğin pişirme işlemi gerçekleştirildi (Tablo 3.2).

**Tablo 3.2: Venter Seramik Pişirme Programı**

Seramik	B(°C)	S(dk)	t (°C)	T(°C)	H(dk.)
CZR	600	4 dk	45	930	1 dk

B: Hazırlık ısısı S: Ön kurutma süresi t: Porselen fırın ısısının 1 dakikada yükselme derecesi T: Pişirme derecesi H: Pişirme derecesinde durma süresi

Zirkonyum oksit blokların üzerine venter porseleni pişirildikten sonra, her örneğin üst yapısının çapı dijital kalınlık ölçer aracılığı ile ölçülerek makaslama bağlantı dayanımı testi “Universal Testing Machine” ‘de (TSTM 02500 Elista Ltd. İstanbul, Türkiye) hızı dakikada 1mm olacak şekilde gerçekleştirildi (Resim 3.7).



**Resim 3.7: Üniversal test cihazı**

Makaslama bağlantı dayanımı testinin ardından deney örneklerindeki kopma yüzeyleri başarısızlık tipini belirlemek amacıyla ışık mikroskobunda (Olympus SZ4045 TRPT, Osaka, Japonya) x10 ve x20 büyütmede incelendi, fotoğrafları çekildi ve kopma tiplerine göre sınıflandırıldı.

### **3.1. İstatistiksel Değerlendirme**

Bu çalışmada verilerin istatistiksel analizi 'SPSS 15.0 for Windows' paket programı ile yapıldı.

Aynı süre gruplarının (üç ve altmış saniyelik) kendi içlerinde istatistiksel olarak karşılaştırmalarında tek yönlü varyans analizi Anova kullanıldı. İkili kıyaslamalarda Tukey's HSD kullanıldı.

Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik değerlerinin istatistiksel olarak ikili karşılaştırmalarında; eşli t testi kullanıldı.

Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik değerlerinin ve renksiz grubunun da dahil edildiği üçlü karşılaştırmalarda; tekrar ölçümlü Anova kullanıldı.

İstatistiksel anlamlılık  $p < 0,05$  olarak kabul edilmiştir.

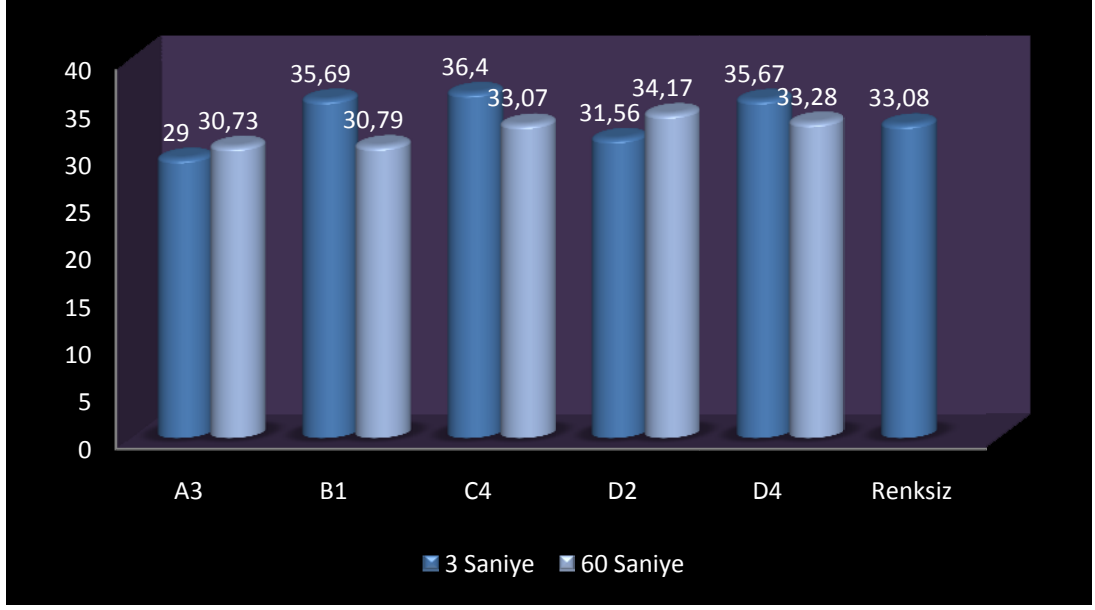
## 4. BULGULAR

### 4.1. Makaslama Dayanım Test Bulgularının Değerlendirilmesi

Bu in-vitro çalışmada, farklı renklerde ve sürelerde renklendirme işlemi uygulanmış olan zirkonyum seramiklerin (ICE Zirkon, Zirkonzahn, Sand in Taufers, İtalya), vener seramikleriyle (Noritake CZR, Noritake Kizai Co, Nagoya, Japonya) olan bağlanma dayanım değerleri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. İncelemeye tabi tutulan ve her biri 12 adet deney örneği içeren 11 deney grubundaki toplam 132 örneğin bağlanma dayanımlarına ilişkin istatistiksel veriler Tablo 4.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1: Deney örneklerinin bağlanma dayanımı değerleri**

Gruplar	Ortalama (MPa)	Std S ±	Min (MPa)	Max (MPa)
A3 (3sn.)	29,47	5,07	18,00	34,83
A3 (60sn.)	30,73	3,40	24,71	37,01
B1 (3sn.)	35,70	4,58	26,95	42,98
B1 (60sn.)	30,80	5,13	18,96	37,41
C4 (3sn.)	36,40	5,15	30,25	48,38
C4 (60sn.)	33,08	8,34	14,93	46,36
D2 (3sn.)	31,56	6,17	18,50	38,65
D2 (60sn.)	34,18	5,28	21,23	40,32
D4 (3sn.)	35,67	5,55	26,05	45,85
D4 (60sn.)	33,29	5,07	24,01	41,45
Renksiz	33,08	6,58	19,62	40,22



**Şekil 4.1 Deney örneklerinin bağlanma dayanımı değerleri (MPa).**

Çalışmada her uygulama tekniğine ait gruplar da kendi aralarında karşılaştırmalı olarak değerlendirildi.

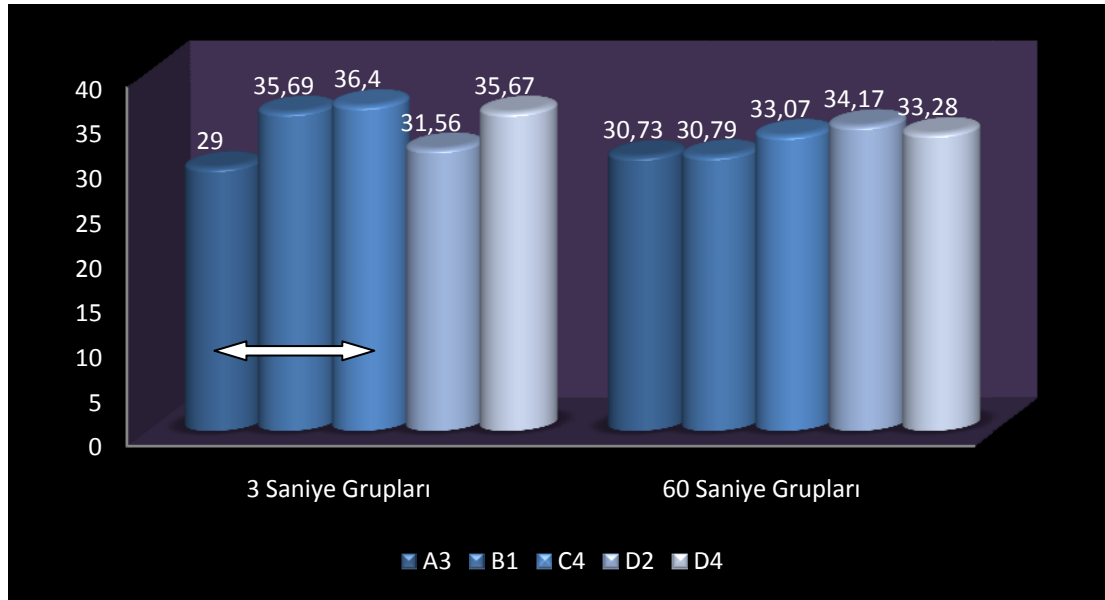
İncelenen onbir deney grubu içerisinde; 36,4MPa bağlanma dayanımı değeri ile C4 (3sn.) grubu en yüksek bağlanma dayanımı; 29,47MPa bağlanma dayanımı ile A3 (3sn.) grubu ise en düşük bağlanma dayanımı sonuçlarını göstermiştir.

Aynı süre gruplarının (üç ve altmış saniyelik) kendi içlerinde istatistiksel olarak karşılaştırmalarında;

1. Renklendirme işlemi uygulanmamış grubun dahil olduğu üç saniyelik çalışma grupları arası bağlanma dayanımı değerleri karşılaştırıldığında fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu anlamlılığa neden olan A3 ile C4 grupları arasındaki değerlerdir ( $p = 0.045$ ).
2. Renklendirme işlemi uygulanmamış grubun dahil olmadığı üç saniyelik çalışma grupları arası bağlanma dayanımı değeri karşılaştırıldığında fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu anlamlılığa neden olan A3 ile C4 grupları arasındaki değerlerdir ( $p = 0.024$ ).

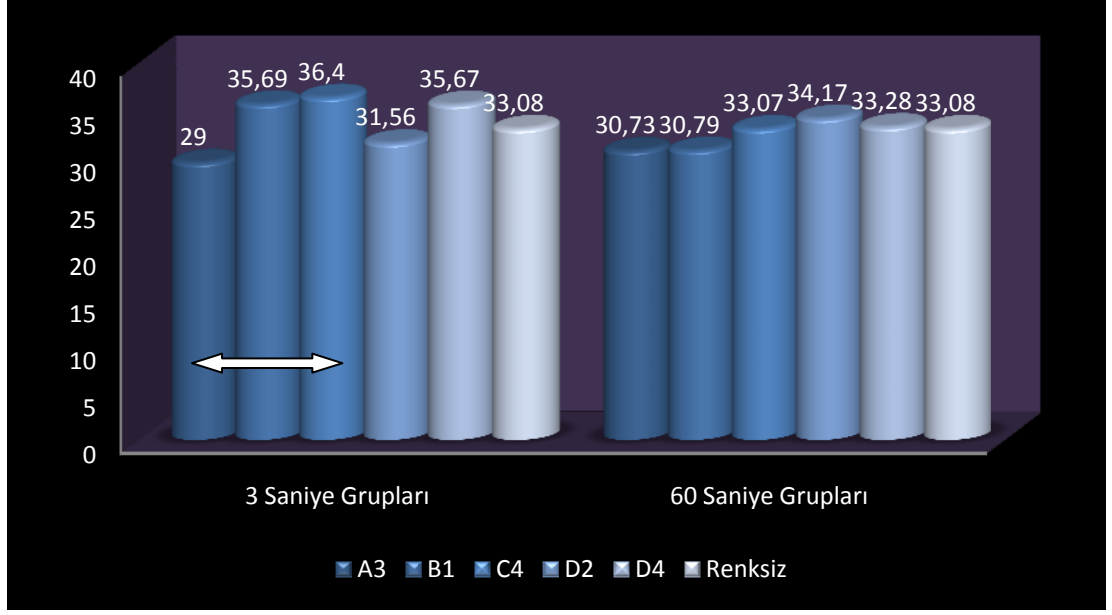
3. Renklendirme işlemi uygulanmamış grubun dahil olduğu altmış saniyelik çalışma grupları arası bağlanma dayanımı değeri karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan anlamlılık saptanamamıştır ( $p=0.616$ ).
4. Renklendirme işlemi uygulanmamış grubun dahil olmadığı altmış saniyelik çalışma grupları arası bağlanma dayanımı değeri karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan anlamlılık saptanamamıştır ( $p=0.466$ ).

İstatistiksel verilerin değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizi Anova kullanıldı. İkili kıyaslamalarda Tukey's HSD kullanılmıştır (Şekil 4.2, 4.3).



Şekil 4.2 Aynı süre grubu bağlantı değerlerinin karşılaştırmaları (MPa).



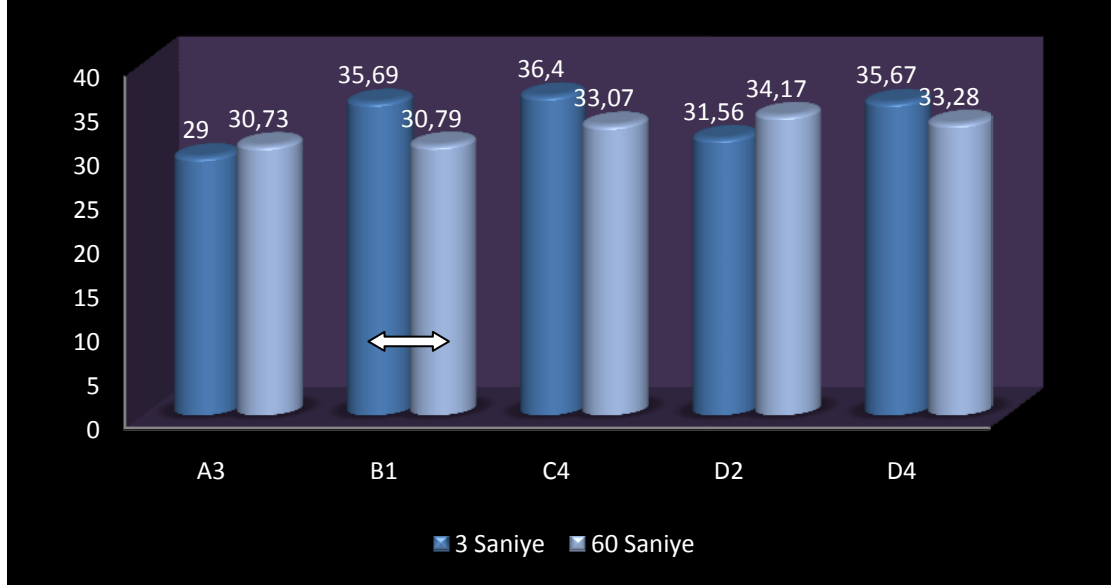


**Şekil 4.3. Aynı süre gruplarının ve renklendirme işlemi uygulanmamış grubun da dahil edildiği bağlantı değerlerinin üçlü karşılaştırmaları (MPa).**

Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik bağlantı dayanımı değerlerinin istatistiksel olarak ikili karşılaştırmalarında;

1. A3 renginin üç ve altmış saniyelik grupları arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ( $p=0.537$ ).
2. B1 renginin üç ve altmış saniyelik grupları arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunmuştur ( $p=0.036$ ).
3. C4 renginin üç ve altmış saniyelik grupları arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ( $p=0.214$ ).
4. D2 renginin üç ve altmış saniyelik grupları arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ( $p=0.365$ ).
5. D4 renginin üç ve altmış saniyelik grupları arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ( $p=0.106$ ).

İstatistiksel verilerin değerlendirilmesinde eşli t testi kullanıldı (Şekil 4.4).

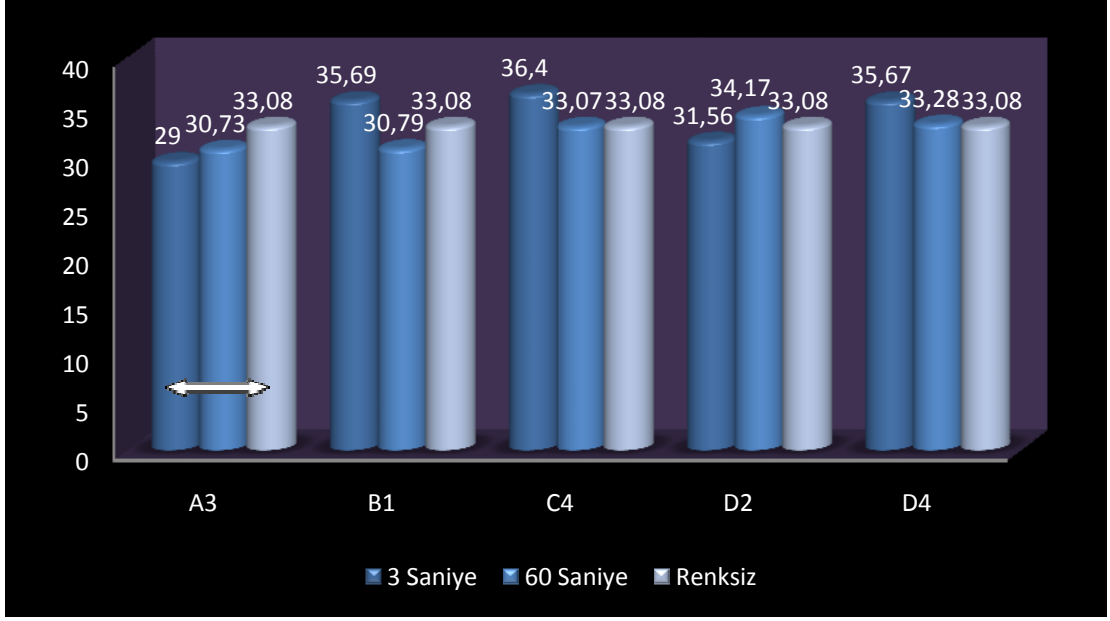


**Şekil 4.4 Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik bağlantı değerlerinin karşılaştırmaları (MPa).**

Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik değerlerinin ve renksiz grubunun bağlantı dayanımlarının da dahil edildiği üçlü karşılaştırmalarda;

1. A3 renginin üç ve altmış saniyelik grupları ve renksiz grup arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunmuştur ( $p= 0.020$ ).
2. B1 renginin üç ve altmış saniyelik grupları ve renksiz grup arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ( $p= 0.103$ ).
3. C4 renginin üç ve altmış saniyelik grupları ve renksiz grup arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ( $p= 0.419$ ).
4. D2 renginin üç ve altmış saniyelik grupları ve renksiz grup arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ( $p= 0.618$ ).
5. D4 renginin üç ve altmış saniyelik grupları ve renksiz grup arasında bağlantı dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlılık bulunamamıştır ( $p= 0.417$ ).

İstatistiksel verilerin değerlendirilmesinde tekrar ölçümlü Anova kullanıldı (Şekil 4.5).



**Şekil 4.5 Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik bağlantı değerlerinin ve renksiz grup bağlantı değerlerinin de dahil edildiği üçlü karşılaştırmalar (MPa)**

#### **4.2. Kopma Şekillerinin Değerlendirilmesi**

Örnekler, makaslama kuvvetlerine karşı bağlantı dayanım değerleri belirlendikten sonra kopma şekillerinin değerlendirilmesi için mikroskop altında incelendi. Kopma şekilleri ‘adeziv’, ‘koheziv’ ve her ikisininide içeren ‘kombine’ olacak şekilde 3 farklı tipte tanımlandı. Zirkonyum alt yapı ile porselen üst yapı arasında kopma şekilleri koheziv ve kombine olarak gözlemlendi (Tablo 4.2, Resim 4.1-4.4).

**Tablo 4.2** Deney örneklerinin kopma şekillerinin değerlendirilmesi

<b>Gruplar</b>	<b>Kombine</b>	<b>Koheziv</b>	<b>Adeziv</b>
A3 (3sn.)	9	3	0
A3 (60sn.)	11	1	0
B1 (3sn.)	10	2	0
B1 (60sn.)	10	2	0
C4 (3sn.)	9	3	0
C4 (60sn.)	11	1	0
D2 (3sn.)	11	1	0
D2 (60sn.)	11	1	0
D4 (3sn.)	11	1	0
D4 (60sn.)	11	1	0
Renksiz	11	1	0



**Resim 4.1** Kombine şekilde kopma gösteren bir örnek (x10)



**Resim 4.2** Koheziv şekilde kopma gösteren bir örnek (x10)



**Resim 4.3 Kombine şeklinde kopma gösteren bir örnek (x20)**



**Resim 4.4 Koheziv şeklinde kopma gösteren bir örnek (x20)**

## 5. TARTIŞMA

Weinstein ve ark.'nın 1962 yılında kıymetli metal üzerine dental seramiği pişirmesi diş hekimliği açısından gerçek bir dönüm noktası olmuştur. Aradan geçen yıllarda kıymetli metal alaşımlarının yerini kıymetsiz metal alaşımları almış olsa da, metal destekli seramik restorasyonlar diş hekimliği kliniğinin vazgeçilmezleri arasında yer almıştır. Özellikle metal döküm teknolojisindeki ilerlemeler ve endikasyon alanının genişliği, izleyen yıllarda bu restorasyonları diş hekimliğinde yoğun olarak kullanılan bir restorasyon türü haline getirmiştir (Naylor 2009). Ancak özellikle 80 ve 90 lı yıllarda estetik algının gelişmiş toplumların yaşantısında giderek ön plana çıkması ve diş kayıp sayısındaki azalma ile birlikte adeziv diş hekimliğindeki hızlı gelişmeler tam seramik restorasyonları yeniden diş hekimliği kliniğine sokmuştur. Bununla birlikte tam seramik restorasyonların sınırlı kullanım endikasyonları, diş hekimleri için sürekli bir araştırma ve geliştirme alanı haline gelmiştir. Alt ve üst çenenin tüm bölgelerinde kullanılabilen bir restorasyon üretmek amacı, 90'lı yılların sonlarından itibaren zirkonyum alt yapılı tam seramik restorasyonların kullanımını gündeme getirmiştir.

Zirkonyum destekli restorasyonların uygun estetik ve morfolojik özellikleri sağlayabilmeleri için venter seramikleriyle kaplanmaları gerekmektedir. Restorasyonların uzun süreli kullanımı ve başarısı için zirkonyum ve venter seramik arasındaki bağlantı dayanımının başarılı olması yaşamsal bir önem göstermektedir. Ancak mevcut klinik çalışmalar zirkonyum destekli restorasyonlarda en sık görülen klinik başarısızlığın üst yapı porseleninde gerçekleşen tabaka şeklinde kopmalardan (chipping) kaynaklandığını göstermiştir (Steyern ve ark. 2005, Aboushelib ve ark. 2005, Koutayas ve ark. 2009).

Vult von Steyern ve ark. (2005), üç ve beş üyeli zirkonyum alt yapılı sabit restorasyonları değerlendirdikleri çalışmada iki yıllık takip periyodu sonunda %15 oranında porselen venter kırığı gözlemişlerdir.

Raigrodski ve ark. (2006), üç üyeli zirkonyum alt yapılı restorasyonların iki yıllık takibi sonucu %25 porselen venter kırığı oluştuğunu rapor etmişlerdir.

Sailer ve ark. (2006, 2007, 2009) 3-5 yıl arasında değişen, üç ve beş üyeli zirkonyum alt yapılı sabit restorasyonları değerlendirdikleri çalışmalarında vener porseleninde %13'ten %25'e varan kırık oluşumunu bildirmişlerdir.

Molin ve ark. (2008) zirkonyum alt yapılı üç üyeli restorasyonların 5 yıllık takibi sonucunda %30'luk vener porselen kırığı tespit etmişlerdir.

Schmitt ve ark. (2009) zirkonyum alt yapılı 3-4 üyeli sabit restorasyonları değerlendirdikleri 3 yıl takip süreli çalışmalarında %11'lik vener porselen kırığı oluşumuna rastlamışlardır.

Roediger ve arkadaşlarının (2010) zirkonyum alt yapılı 3-4 üyeli sabit restorasyonları değerlendirdikleri 4 yıl takip süreli çalışmada da yalnızca %1'lik alt yapı kırığına rastlanırken %13 vener porselen kırığıyla karşılaşılmıştır.

Birçok faktör zirkonyum alt yapı ve vener seramiğinin bağlantı dayanımı üzerinde etkili olabilir. Bağlantı dayanımı üzerinde etkili olan faktörler bilinmesine rağmen, bu mekanizma henüz tam olarak tanımlanamamıştır (Kim ve ark. 2011).

Bu kompozit yapıyı oluşturan vener seramiğinin bileşimi, dayanıklılığı, ısıl genişleme katsayısı, ıslatabilirliği ve fırınlama büzülmesi ve diğer yandan da zirkonyum alt yapının farklı yüzey karakterleri, gren boyutu, şekli, içeriği, yoğunluğu ve sertliği, bağlantı dayanımı üzerinde etki gösterebilir. Ek olarak fırınlama ısısı, soğuma hızı, porozite miktarı ve üretim aşamaları da bu bağlantı üzerinde etkili olabilecek faktörlerdir (Sobrinho ve ark. 1998, Wakabayashi ve ark. 2000, Aboushelib ve ark. 2008, Ishibe ve ark. 2011, Kim ve ark. 2011).

Diğer taraftan manuel tabakalama tekniği için elverişli seramiğin hazırlanması diş teknisyenine bağlıdır; toz likit oranının varyasyonları ve karıştırma tekniği seramiğin kalitesini etkileyebilir. Sato ve ark. (2004), yapısal defektlerin oranı ve hava kabarcıklarının sayısı ve büyüklüğünün de bağlantı dayanımını etkileyebileceğini bildirmişlerdir.

Bağlantı dayanımı üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, zirkonyum alt yapılardaki opak görünümü maskelemek, renklendirmeyi başlatmak ve zaman zaman da bağlantı dayanımını artırmak için kullanılan ve 'liner' olarak tanımlanan malzemenin etkilerini de incelemişlerdir. Bazı yayınlar liner materyali

uygulamasının bağlantı dayanımını artırdığını bildirirken, bazı yayınlarda ise bağlantı dayanımının olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Tinschert ve ark. 2001, 2008, Aboushelib ve ark. 2005, 2006, Kim ve ark. 2011, Mosharraf ve ark. 2011). Bizim çalışmamızda örneklere liner işleme uygulanmamıştır.

Dental seramik restorasyonlarda üst yapı başarısızlığına neden olarak gösterilen stres oluşumuyla ilişkili birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar 1) seramik tabakasının kalınlığı 2) seramiğin mekanik özellikleri 3) destekleyen malzemenin elastisite modülü 4) uygulanan yükün yönü, şiddeti ve sıklığı 5) okluzal kontakt alanların yeri ve büyüklüğü 6) işleme esnasındaki rezidüel stresler 7) restorasyon-siman aralığındaki defektler 8) çevresel faktörler olarak sıralanabilir (Craig 2002).

Zirkonyum oksit esaslı restorasyonların alt yapı ve üst yapı porselen ara yüzünde zirkonyum oksit monoklinik fazın bulunmasının ara yüzde mikro boşlukların oluşmasına sebep olabildiği bildirilmiştir (Guazzato 2004).

Guazzato ve arkadaşlarına (2004) göre zirkonyum oksitte meydana gelen faz dönüşümü, üst yapı porseleninde mikro çatlaklara sebep olan lokalize streslerin oluşumunu tetikleyebilir. Öte yandan zirkonyum oksit seramiklerde bulunan monoklinik fazın termal genişleme katsayısı  $7.5 \times 10^{-6} K^{-1}$ , tetragonal fazın termal genişleme katsayısı  $10.8 \times 10^{-6} K^{-1}$  değerlerinde olduğu bildirilmiştir (Fischer ve Stawarczyk 2007). Bu sebeplerden dolayı, zirkonyum oksit seramiklerin yüzeyinde gerçekleşen tetragonal→monoklinik faz dönüşümü alt yapı ve üst yapı porselenleri arasındaki bağlantı direncini etkileyebilir.

Bağlantı dayanımı üzerinde gerçekleştirilen birçok araştırma bulunmasına rağmen zirkonyum destekli restorasyonların farklı renklendirme prosedürleri ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır.

Zirkonyum alt yapıların renklendirilmesi farklı yöntemlerle yapılabilir. Bunlar; önceden renklendirilmiş blokların üretilmesi, freze edilmiş alt yapıların renklendirici solüsyonlara daldırılması ve sinterlenen beyaz alt yapıya farklı renkteki liner materyallerinin uygulanmasıdır (Aboushelib ve ark. 2005).

Zirkonyum alt yapının opak yapısı venter porselendeki renk algısı için bir engel teşkil etmekte ve alt yapının rengini maskeleyerek için liner kullanılmakta ya da



gereğinden fazla kalınlıkta üst yapı porseleni yığılmaktadır. Bazı çalışmalarda bu liner materyalinin zirkonyum-vener seramik bağlantısını azalttığı görülmüştür (Aboushelib ve ark. 2006, Fischer ve ark. 2010). Mosharraf ve ark. yaptıkları çalışmada liner uygulamasının beyaz alt yapılarda bağlantıyı azalttığını ancak renklendirilmiş alt yapılarda bağlantıyı artırdığını bildirmiştir. Fakat bağlantıda gerçekleşen bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür (Mosharraf ve ark. 2011).

Liner kullanımı yerine renklendirilmiş zirkonyum alt yapıların üretilmesi de doğal diş görünümü sağlamak için gerçekleştirilen bir başka üretim yöntemidir. Renklendirilmiş zirkonyum seramiklerin temel avantajı, doğal diş görünümünü oluşturacak renk yansımalarının tıpkı doğal dişlerdeki mine-dentin tabakası ilişkisinde olduğu gibi alt yapıdan başlamasını sağlıyor olmasıdır. Böylece alt yapıyı maskelemek amacıyla kullanılan liner materyaline de gerek kalmaz (Aboushelib ve ark. 2008). Bu amaca yönelik olarak önceden renklendirilmiş ya da çalışmamızda kullanılan tipte sonradan bir solüsyon uygulaması ile renklendirilen zirkonyum bloklar ticari ürün olarak piyasaya sürülmüş ve kullanılmaktadır.

Hjerppe ve arkadaşları (2008), sinterleme öncesi uygulanan farklı renklendirme solüsyonları ve farklı uygulama sürelerinin zirkonyum seramiğinin *kırılma dayanımı üzerindeki etkilerini* araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda sinterleme öncesi zirkonyum seramiklerde yapılan renklendirme işleminin grenler arasındaki mesafede değişiklik oluşturduğu gözlenmiştir. Grenler arasında meydana gelen bu değişiklikler zirkonyum seramiklerin mekanik özelliklerini etkileyerek kırılma dayanımını düşürmüştür.

Swain (1986) Y-TZP seramiklerin dayanıklılığının ve faz dönüşümünün gren boyutlarındaki değişikliklerden etkilendiğini ortaya çıkarmıştır. Benzer şekilde, farklı zirkonyum oksit alt yapı seramiklerin bağlantı dirençlerinin araştırıldığı çalışmada seramiğin, farklı gren boyutlarında farklı yüzeysel ve yapısal özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir (Aboushelib ve ark. 2008).

Guazzato ve ark. (2004) zirkonyum seramik stabilizatör oksit içeriğinin, gren boyutunun ve üretim aşamalarının tetragonal faz kararlılığını etkileyerek materyalin dayanıklılığında değişikliklere neden olduğunu bildirmiştir.

Gren yapısı, şekil, birleşim, yoğunluk ve sertlik gibi özellikler, zirkonyumun yapısını etkileyebilir. Yapılan çalışmada gren sınırlarında renklendirici pigment konsantrasyonundaki artışın stabilizasyon elementlerinin azalmasına neden olduğu gösterilmiştir (Chevalier ve ark. 2004).

Stabilizasyon element oranlarının azalması tetragonal-monoklinik faz değişimini arttıracaktır. Faz değişiminin artışı renklendirilmiş alt yapıların yüzeyinde meydana gelen kabarmalara ve ayrılmalara neden olur (Ardlin 2002, Chevalier ve ark. 2004). Bu durum renklendirme solüsyonlarının temeli olan demir-oksidin erime derecesinin (1565°C) yttrium ve hafnium (sırasıyla yaklaşık 2410 ve 2751) oksitlere göre oldukça düşük olması ve bunun sonucunda da zirkonyumun sinterlenmesi sırasında stabilizasyon elementleriyle sıvı haldeki metalik pigmentlerin yer değiştirmesinden kaynaklanabilir (Aboushelib ve ark. 2008). Daha önceki çalışmalarda da stabilizasyon elementlerinin konsantrasyon veya lokalizasyonundaki değişikliklerin zirkonyum alt yapı mekanik özelliklerini direkt olarak etkileyebildiği görülmüştür (Piconi ve Maccauro 1999, Sundh ve Sjogren 2006).

Zirkonyumda başarısızlık oluşumu, yüzeyde monoklinik alanların oluşmasıyla başlayarak mikroçatlak ve ayrılmalarla sonuçlanır. Bu süreç daha sonra malzeme kütlelerinde derinlere doğru yavaş yavaş uzanır. Gren sınırlarında renklendirici pigmentlerin bulunmasıyla birlikte azalan yttrium konsantrasyonu bu süreci önemli derecede etkiler (Deville ve ark. 2005, Pittayachawan ve ark. 2007).

Aboushelib ve ark (2008) bağlantı dayanımının zirkonyum alt yapının renklenmesine bağlı olarak değişebildiğini bulmuşlardır. Renklendirilmiş zirkonyum alt yapıların beyaz olan zirkonyum alt yapılara oranla daha düşük bağlantı dayanımı gösterdiklerini bildirmişlerdir. Renklenmenin zirkonyum alt yapı üzerinde yapısal değişiklikler yaratabileceğini ve venerleme işlemi öncesinde farklı yüzey işlemleri gerektirdiğini bildirmişlerdir. Çalışmada beyaz ve renklendirilmiş zirkonyum bloklar arasında istatistiksel farklılıklar gözlenmemiş bununla birlikte renklendirilmiş blokların bağlantı değerleri daha düşük bulunmuştur (Aboushelib ve ark. 2008).

Diğer bir önemli nokta da kimyasal ve yapısal benzerlik göstermesine rağmen her bir bloğun renklendirme işleminin farklı olmasıdır. Cercon Base (Degudent GmbH, Hanau-Wolfgang, Almanya) bloklarda renklendirici pigmentler izostatik

olarak preslenen bloklara önceden eklenilir. Firma pigmentlerin homojen ve eşit bir dağılım gösterdiği teminatında bulunmaktadır (Aboushelib ve ark. 2008).

Bizim yapmış olduğumuz renklendirme sistemlerinde aşındırılan bloklar sonradan renklendirme solusyonlarına daldırılarak renklendirici pigmentlerin yapıya diffüze olması sağlanmıştır. Bu metotta yüzeyde bulunan pigment konsantrasyonu derinlerde bulunan pigment konsantrasyonundan daha yüksektir. Alt yapının sinterizasyonu sırasında yüzeyde bulunan renklendirici pigmentler kristalizasyon eğilimindedirler. Bu kristalize tabaka vener seramiğiyle olan bağlantının düşüklüğünden sorumlu olabilir (Aboushelib ve ark. 2008).

Farklı renklerde ve sürelerde renklendirme işlemlerinin grenler arasında meydana getirdiği değişikliklerin zirkonyum ve vener seramiği arasındaki bağlantıda da etkili olabileceği düşünülerek bu konuda çalışmaya gereksinim olduğu saptanmıştır.

Çalışmamızda, birçok çalışmada önerildiği gibi zirkonyum seramikler vener seramiğiyle kaplanmadan önce yüzey pürüzlülüğünü ve bağlantı dayanımını arttırmak için  $50\mu$ 'luk  $Al_2O_3$  partikülleri kullanılarak 3,5 bar basınç altında 20 saniye kumlama işlemi uygulandı (Aboushelib ve ark. 2005, 2006, 2008). Kumlama sonrası zirkonyum yüzeyinde faz değişimi oluşarak monoklinik faz ortaya çıkmaktadır (Guazzato ve ark. 2005, Papanagiotou ve ark. 2006). Yüksek sıcaklık oluşumu ve şiddetli yüzey harabiyeti olmaksızın faz değişimini sağladığı (Guazzato ve ark. 2005, Saito ve ark. 2010) için kumlamanın arayüzey bağlantı başarısızlık oranlarını düşürdüğü bulunmuştur (Aboushelib ve ark. 2005). Kim ve ark. (2011) kumlamanın yüzey pürüzlülüğü ve yüzey temas alanını artırdığını böylece zirkonyum-vener porseleni arasındaki bağlantı dayanımının da arttığını gözlemlemişlerdir.

Vener ve alt yapı materyali arasındaki bağlantı dayanımının değerlendirilmesinde çeşitli test yöntemleri mevcuttur;

- a. makaslama bağlantı dayanımı testi,
- b. mikrogerilme bağlantı dayanımı testi,
- c. biaksiyel kırılma dayanımı testi,
- d. üç ve dört noktalı yükleme testleri.

Bağlantı dayanım değerlerinin bu testlerle hesaplanması kırılma mekanizması ve test metodunun yapıda oluşturduğu yıkıma bağlı olarak oldukça karışıktır (Al-Dohan ve ark. 2004, Aboushelib ve ark. 2008). Metal seramik restorasyonlar için üç nokta bükme testinin bağlantı dayanımını değerlendirmede efektif olduğu bildirilmiştir. Fakat kırılmalardan dolayı bu test tam seramik sistemlerde kullanılamamaktadır (Albarky ve ark. 2003).

Bu çalışmada makaslama bağlantı dayanımı testi uygulanmıştır.

Makaslama bağlantı dayanımı testi birbirine bağlanan iki materyale ayrılma gerçekleşene kadar makaslama kuvvetinin uygulanması olarak tanımlanmıştır (Craig ve Powers 2002). Bağlantı dayanımı uygulanan maksimum kuvvetin bağlantı alanına bölünmesiyle hesaplanır (Versluis ve ark. 1997). Hızlı sonuçlar üreten, basit ve kolay bir testtir ve bağlantı değerlerini farklı materyaller ile karşılaştırabilme olanağı sağlar (Hadavi ve ark. 1993). Deney protokolünün uygulanması sırasında depolama şartları, deney örneğinin tipi, hazırlanışı, yük uygulama oranı, kesitsel yüzey alanı ve araştırmacının deneyimi önemlidir. Bu konuda uyulması gereken bazı kurallar 1994 yılında ISO tarafından da tanımlanmıştır (ISO TR 11405).

Makaslama testi ile sadece bağlantı dayanımı değil aynı zamanda verner seramiğinin içsel makaslama dayanımı da değerlendirilmektedir (Anusavice ve ark. 1980). Bununla birlikte makaslama bağlantı dayanım testinin, yüksek standart sapmalarından, eşit dağılım göstermeyen arayüz stres oluşumundan ve örnek geometrisinden etkilenme gibi dezavantajları mevcuttur (Choi ve ark. 2009). Bu nedenle örneklerin hazırlanmasının standardizasyonu, ara yüzey alanı, yükleme miktarı testin klinik uygulanabilirliğini arttırmak açısından önemlidir.

Birçok avantajına rağmen malzemelerin klinik performans tahminini sağlayacak in-vitro test yöntemi kullanılırken dikkat etmek gereken hususlar vardır. İlk olarak doğrudan klinik durumu yansıtmaz, klinik durumun tahminini sağlar. İkinci olarak in-vitro test sonuçlarında büyük farklılıklar ortaya çıkabilmektedir (Hadavi ve ark. 1993).

Bizim çalışmamızda zirkonyum oksit alt yapı porseleni ve üst yapı materyali arasında 36,4MPa bağ mukavemeti değeri ile en yüksek bağlantı direnci C4 üç

saniye grubunda bulunmuştur. 29,47MPa bağlanma dayanımı ile A3 üç saniye grubu en düşük bağlanma dayanımı değerini göstermiştir.

Metal seramik restorasyonların kırılma streslerine dayanabilmesi için en az 25MPa bağlantı dayanımı göstermeleri gerektiği bildirilmiştir (Craig ve ark. 2004). Bu bağlantı dayanım ölçümü ISO tarafından Schwickerath çatlak oluşum testiyle (üç nokta eğme testi) standardize edilmiştir (ISO 9693). Zirkonyum alt yapı üzerinde vener seramiğinin pişirildiği çalışmamızda ise bağlantı dayanımı sonuçları tüm gruplar için 29,47- 36,4MPa arasında elde edilmiştir. Bu sonuçlar, dayanıklılık ve klinik performans açısından standart olarak kabul edilebilecek metal-seramik restorasyonlar için tanımlanan ve yukarıda belirtilen değerlerin de üzerinde çıkmıştır. Fakat farklı testlere tabi tutulmuş örneklerin tam anlamıyla kıyaslanması mümkün değildir. Bununla birlikte tam seramik sistemler için tanımlanmış bir test sistemi ve gerekli olan minimum bağlantı dayanımı değeri bildirilmemiştir (Al-Dohan ve ark. 2004).

Zirkonyum ve metal destekli restorasyonların makaslama bağlantı dayanımının karşılaştırıldığı çalışmalar değerlendirildiğinde farklı sonuçlara rastlanılmıştır.

Saito ve ark. (2010), zirkonyum ile vener porselen arasındaki bağlantı dayanımını metal destekli porselen restorasyonlarla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak metal destekli seramik restorasyonlar (25,2MPa) ile zirkonyum destekli seramik restorasyonların (27MPa) bağlantı dayanımlarını benzer bulmuşlardır.

Al-Dohan ve ark. (2004), IPS-Empress2 ile Eris (IE), Procera AllCeram ile AllCeram (PA), Procera AllZircon ile CZR (PZ), and DC-Zircon ile Vita D (DC) bağlantı dayanımlarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda zirkonyum alt yapılar ve vener seramikleri arasındaki ortalama bağlantı dayanımı 27,9-28,03MPa arasında bulunmuştur. Ortalama 30,16MPa bağlantı dayanımına sahip olan metal destekli kontrol grubuyla zirkonyum grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmemiştir.

Ishibe ve ark. (2011), tabakalama ve presleme tipi porselen venerlerin zirkonyuma olan bağlantı dayanımını karşılaştırmışlardır. Kontrol grubu olan metal seramik bağlantı dayanımı 37,8-66,4MPa arasında bulunmuş zirkonyum-vener seramiği bağlantı dayanımı ise 30-47,2MPa arasında bulunmuştur. Metal seramik

bağlantı değerleri ile zirkonyum-vener seramiği arasındaki bağlantı değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Presleme ve tabakalama teknikleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır.

Benzer çalışmalarda da tabakalama ve presleme vener teknikleri arasında bağlantı açısından fark bulunmamıştır (Schweitzer ve ark. 2005, Venkatachalam ve ark. 2009).

Choi ve ark. (2009) zirkonyum, kıymetli metal alaşımı ve kıymetsiz metal alaşımlarının vener porseleni ile olan bağlantılarını değerlendirmiş ve birbirleriyle karşılaştırmıştır. Zirkonyumun vener seramiğiyle olan bağlantı dayanımı 25,43MPa, kıymetsiz metal alaşımında bağlantı dayanımı 35,87MPa ve kıymetli metal alaşımında bağlantı dayanımı 38MPa bulunmuştur. Çalışmada zirkonyumun vener seramiğiyle olan bağlantı dayanımı metal alaşımlarının bağlantı dayanımlarına oranla istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük bulunmuştur.

Guess ve ark. (2008), termal siklus test protokolünün farklı zirkonyum-vener seramik bağlantıları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kontrol grubu olarak metal seramik restorasyonların kullanıldığı çalışmada metal destekli restorasyonların bağlantı değerleri zirkonyum-vener seramiği arasındaki bağlantı değerlerine göre anlamlı derecede yüksek çıkmıştır. Zirkonyum- vener seramiği arasındaki bağlantı değerleri 9,4-12,5MPa arasında bulunmakla birlikte termal siklusun bağlantı dayanımına etkisinin olmadığı görülmüştür. Metal seramik bağlantı dayanımı değerleri ise termal siklus öncesi 27,6MPa termal siklus sonrası 26,4MPa bulunmuştur.

Bazı çalışmalarda zirkonyum ile vener seramiği arasındaki bağlantı dayanımlarının metal destekli restorasyonlara oranlara düşük bulunması metal destekli restorasyonların seramikle olan bağlanma mekanizmalarından kaynaklanabilir (Schweitzer 2005). Zirkonyumla vener seramiği arasındaki bağlantının mekanizması hala tam olarak bilinmemektedir.

Diş hekimliği kliniği açısından önemli olan bağlantı dayanımının olabildiğince yüksek değerlere çıkartılabilesidir. Yapılan çalışmalarda da bağlantı dayanımları çoğunlukla metal destekli restorasyonların minimum bağlantı değeri olarak kabul edilen 25MPa'ın üzerinde bulunmuştur.

**Sadece zirkonyum alt yapı ve vener seramik arasındaki bağlantı dayanımının değerlendirildiği çalışmalarda** ise ortalama bağlantı değerleri 16,8-48,8MPa arasında bulunmuştur (Aboushelib ve ark. 2005, 2006, 2008, 2009, Çömlekoğlu ve ark. 2008, Fischer ve ark. 2008, 2009, Nakamura ve ark. 2009, Komine ve ark. 2010, Ozkurt ve ark. 2010, Mosharraf ve ark. 2011, Ereifej ve ark. 2011, Kim ve ark. 2011)

Çalışmamızda, tüm renk gruplarında ve farklı işlem sürelerinde gerçekleşen bağlantı dayanımı ortalamaları (29,47-36,4Mpa), yukarıda bildirilen çalışma sonuçları ile uyumludur.

**Renklendirme işleminin alt yapı ve vener porseleninin bağlantı dayanımı üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalarda da farklı sonuçlar elde edilmiştir.**

Mosharraf ve ark. (2011) farklı yüzey işlemlerinin ve farklı renklerdeki zirkonyum alt yapıların vener seramiğiyle bağlantısını değerlendirmiştir. Farklı renklerdeki alt yapının vener bağlantısına etkisi olmadığı bununla birlikte farklı yüzey işlemlerinin bağlantıyı etkilediği görülmüştür. Çalışmada zirkonyum ile vener porselen arasında 21.33- 30.83MPa bağlantı dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Aktaş (2010), alt yapı renklendirmesinin bağlantı dayanımına etkisini araştırdığı çalışmasında 2 farklı zirkonyum oksit alt yapı (ICE Zirkonia, Prettau Zirkonia) üzerine 3 farklı üst yapı porseleni (ICE Ceramic, GC Initial Zr, IPS e.max Ceram) uygulamıştır. Çalışmada zirkonyum seramiklerin bir kısmı renklendirme solüsyonlarına daldırılarak renklendirme işleminin vener seramiği ile olan bağlantı dayanımına etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan örneklerin renklendirilmesi sadece A2 renklendirme solüsyonuyla ve 3'er saniye daldırılarak gerçekleştirilmiştir. Renklenmenin zirkonyum ve vener seramiği arasındaki bağlantı dayanımı üzerine istatistiksel açıdan önemli bir etkisi bulunmamıştır.

Aboushelib ve ark. (2008) önceden renklendirilmiş ve renklendirilmemiş zirkonyum bloklara farklı yüzey işlemleri uygulanmasının vener seramiğiyle olan bağlantı dayanımına etkisini araştırmışlardır. Zirkonyumlara (Cercon white and yellow, Lava white and yellow, Procera zirconia) aşındırma, kuşlama ve liner uygulaması yapılmıştır. Çalışma sonucunda renklendirilmiş ve renklendirilmemiş

zirkonyum blokların venter seramiğiyle olan bağlantı değerleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulmuşlardır.

Hjerppe ve ark. (2008), bizim çalışmamızdaki gibi A3, B1, C4, D2 ve D4 renk solusyonlarını kullanarak farklı renk ve sürelerin zirkonyumun kırılma dayanımı üzerine etkilerini incelemiş ve renklendirmenin kırılma dayanımını olumsuz etkilediğini bulmuşlardır. Araştırmacılar renklendirme işlem süresinin artmasıyla birlikte zirkonyumun dayanıklılığının daha da düştüğünü bildirmişlerdir. Bütün gruplarda 3 saniyelik renklendirme işlemi sonrası elde edilen değerler 60 saniyelik renklendirme işlemine tabi tutulmuş örneklerle göre yüksek bulunmuştur.

Çalışmamızın sonuçları da Hjerppe ve ark. yaptığı çalışmayı desteklemektedir. A3 ve D2 grupları hariç bizim çalışmamızda da renklendirme işlem süresinin bağlantı dayanımını düşürdüğü gözlemlendi. Çalışma sonucunda en yüksek 3 bağlantı dayanımı 3'er saniyelik grupta elde edildi.

Ayrıca Hjerppe ve ark. (2008) renklendirilmemiş kontrol grubu ile renklendirilmiş gruplar arasında istatistiksel fark elde etmişlerdir. Renk grupları arasında ise istatistiksel fark bulunmamıştır. Bizim çalışmamızda renklendirilmemiş olan kontrol grubu 33MPa bağlantı dayanımıyla gruplar arasında ortalama bir değer bulunmuştur.

Seramik materyalindeki başarısızlık mekanizmasının anlaşılması seramiğin güçlendirilebilmesi için önemli bir anahtardır. Kırılma tiplerinin mikroskop altında incelenmesi seramik gibi kırılğan materyallerin kırılma mekanizmasını anlamak için en önemli araçtır. Çatlak başlangıcının konumu, boyutu ve türleri çatlağın nasıl başladığını yayıldığını, makroskobik boyutlara ulaşarak kırıkla sonuçlandığını göstermektedir (Mecholsky 1995).

**Bağlantı dayanımlarının incelendiği bu çalışmada başarısızlık sebeplerini ortaya çıkarmak için x10 ve x20 büyütme optik mikroskop altında elde edilen örnek görüntüleri incelendi ve bağlantı başarısızlıkları da sınıflandırıldı.**

Bağlantı başarısızlıkları venter seramik veya zirkonyum alt yapının kendi içerisinde gerçekleşiyorsa bağlantı başarısızlığı koheziv olarak sınıflandırıldı. Bağlantı başarısızlığı zirkonyum ve venter seramiği arasında gerçekleşiyorsa adeziv



olarak değerlendirildi. Her iki tipte bağlantı başarısızlığının görüldüğü örnekler kombine olarak tanımlandı.

Çalışmamızda zirkonyum alt yapı ile porselen üst yapı arasında kopma şekilleri incelendiğinde örneklerin büyük çoğunluğunda kombine tipi olmak üzere koheziv ve kombine başarısızlık görülmüştür. Kombine tipi bağlantı başarısızlığına sahip örnek yüzeylerinin genelinde vener seramiğinin geniş bir alanda tabaka olarak kaldığı görülmüştür.

Yapılan diğer çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmekle birlikte birçoğu kombine ve koheziv tip başarısızlık bildirilmiştir (Al-Dohan ve ark. 2004, Aboushelib ve ark. 2006, 2008, Fischer ve ark. 2008, Choi ve ark. 2009, Saito ve ark. 2010).

Örnek yüzeyleri incelendiğinde zirkonyum ve vener seramiği arasındaki kırık başlangıcının kuvvet uygulanan tarafta vener porselenin içerisinde koheziv başladığı ve kuvvetin uygulanmadığı tarafta adeziv olarak sonlandığı görüldü. Choi ve ark.'da (2009) bizim bulduğumuz sonuçlara benzer kırık tiplerini elde etmişlerdir. Kırık başlangıcının vener porseleninde başlaması ve bağlantı başarısızlığının genel olarak vener porseleni içerisinde gerçekleşmesi bizim için önemli bir noktayı oluşturmaktadır. Bu zirkonyum ve vener porseleni arasındaki bağlantı dayanımının vener porselenin kendi içerisindeki kırılma dayanımına oranla daha iyi olduğunu göstermektedir. Çalışmamız sonucunda zirkonyum destekli restorasyonlarda zirkonyum ve vener porseleni arasındaki bağlantıya odaklanmaktan çok vener porselenlerinin kendi içlerinde güçlendirilmesi gerektiği ve bu yönde teknolojik araştırmalara açık olduğu görülmüştür.

## 6. SONUÇLAR

1. Yapılan bu tez çalışmasında farklı renklendirme solüsyonlarının ve uygulama sürelerinin zirkonyum alt yapılar ile viner seramikleri arasında bağlantı dayanımını etkileyebileceği görülmüştür,

2. Ancak çalışmamızın bulguları istatistiksel olarak düşük bağlantı dayanımı gösteren gruplarda bile zirkonyum alt yapı ile viner seramiği arasındaki bağlantı dayanımının klinik olarak kabul edilebilir bir düzeyde olduğunu göstermektedir,

3. Kopma yüzeyleri üzerinde gerçekleştirilen mikroskop incelemesinde “kombine” tip kopma başarısızlığının ağırlıkta olduğu gözlenmiştir,

4. Konuyla ilgili verilerin yetersiz olması nedeniyle yeni araştırmalara gereksinim duyulmaktadır.

## ÖZET

Zirkonyum alt yapılı restorasyonlarda en sıklıkla görülen başarısızlık, üst yapı porseleninin alt yapıdan tamamen ya da tabakalar şeklinde ayrılmasıdır. Bu çalışmanın amacı, farklı renklendirme solüsyonları içerisinde ve farklı sürelerde renklendirme işlemlerine tabi tutulmuş zirkonyum dioksit seramik alt yapıların üst yapı seramikleri ile olan bağlantı dayanımının incelenmesidir.

Deney örneklerini hazırlamak için yttrium parsiyel stabilize zirkonyum bloklar (ICE Zirkon, Zirkonzahn, Sand in Taufers, İtalya) düşük hızlı elmas bıçakla diskler halinde kesildi. Kesim sonrası elde edilen 132 disk 800 ve 4000 gritlik silikon karbit kağıtlarla (Struers, Kopenhag, Danimarka) kalınlığı 2 mm olacak şekilde hazırlandı.

Deney örnekleri, herbiri 12 disk içeren 11 gruba ayrıldı. Herbir test grubu Vita klasik skalasına göre: A3, B1, C4, D2, and D4 olan renklendirme solüsyonuyla (Zirkonzahn) renklendirildi. Renklendirme için üreticinin önerdiği (3s) normal renklendirme ve uzatılmış renklendirme zamanından (60s) oluşan iki alt grup oluşturuldu. Kontrol grubundaki 12 disk renklendirilme işlemine tabi tutulmadan test edildi. Tüm örnekler Universal Test cihazında 1 mm/dak makaslama kuvvetine maruz bırakıldı. Oluşan kırık yüzeyleri optik mikroskop ile incelendi.

Aynı süre gruplarının (üç ve altmış saniyelik) kendi içlerinde istatistiksel olarak karşılaştırmalarında tek yönlü varyans analizi Anova kullanıldı. İkili kıyaslamalarda Tukey's HSD kullanıldı. Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik değerlerinin istatistiksel olarak ikili karşılaştırmalarında; eşli t testi kullanıldı. Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik değerlerinin ve renksiz grubunun da dahil edildiği üçlü karşılaştırmalarda; tekrar ölçümlü anova kullanıldı.

İncelenen onbir deney grubu içerisinde; 36,4MPa bağlanma dayanımı değeri ile C4 (3sn.) grubu en yüksek bağlanma dayanımını; 29,47MPa değer ile A3 (3sn.) grubu da en düşük bağlanma dayanımı sonuçlarını göstermiştir. Diğer grupların bağlanma değerleri A3 (60sn.):30,73, B1 (3sn.):35,70, B1 (60sn.):30,80, C4 (60sn.):33,08, D2 (3sn.):31,56, D2 (60sn.):34,18, D4 (3sn.):35,67, D4 (60sn.):33,29 ve Renksiz: 33,08 olarak gerçekleşmiştir. Aynı süre gruplarının (üç ve altmış saniyelik) kendi içlerinde karşılaştırmalarında; A3 ile C4 grupları arasındaki farklar

istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. (renksiz grubun dahil olduğu  $p = 0.045$ , renksizin grubun dahil olmadığı  $p = 0.024$ )

Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik uygulama sürelerinin ikili karşılaştırmalarında; B1 renk grubu dışında ( $p=0.036$ )hiçbir grupta fark bulunamamıştır. Aynı renk gruplarının üç ve altmış saniyelik değerlerinin ve renksiz grubunun bağlantı dayanımlarının da dahil edildiği üçlü karşılaştırmalarda;A3 rengi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p= 0.020$ ). Zirkonyum alt yapı ile porselen üst yapı arasında kopma şekilleri incelendiğinde örneklerin büyük çoğunluğunda kombine tipi olmak üzere koheziv ve kombine başarısızlık gözlenmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, zirkonyum alt yapılara uygulanan renklendirme işleminin zirkonyum ve viner seramiği arasında bağlantı dayanımını üzerinde etkili olduğunu, ancak incelenen tüm gruplarda bağlantı dayanımının klinik olarak yeterli seviyede gerçekleştiğini göstermektedir.

## ABSTRACT

The most common failure seen on restorations with zirconium core is total or layered delamination of the veneering porcelain from the core material. In this study, the shear bond strengths between veneering porcelains and zirconium oxide core materials which colored by different coloring liquids in two time regimens are evaluated.

To get test specimens, yttrium partially stabilized zirconium dioxide blocks (ICE Zirkon, Zirkonzahn, Sand in Taufers, Italy) were cut into disks with a low-speed diamond saw (Leitz 1600). Prepared 132 disks were ground with 800 and 4000 grit silicon carbide grinding paper (Struers, Copenhagen, Denmark) to a thickness of 2 mm.

The disks were divided into 11 groups of 12 disks each. Groups were colored due to the manufacturer's instructions (Zirkonzahn) in the Vita Classic scale: A3, B1, C4, D2, and D4. There were two different subgroups for each color shade: normal color shading for 3 s in accordance with the manufacturer's instructions and prolonged color shading for 1 min. No procedure was applied to control group.

All specimens were subjected to shear force in a universal testing machine with a cross head speed of 1 mm/min. Fractured surface specimens were evaluated with optic microscope.

One-way Anova analysis of variance was used for the groups having same time schedules (three and sixty-second). Tukey's HSD was used for bilateral comparisons of the color groups having the same time schedules. Paired t test was used for groups of the same color (3s/ 60s). Comparison of the same color group of three and sixty-second values and colorless groups are included in triple comparisons by using repeated measured Anova test.

Among the investigated 11 groups, C4 had the highest bond strength with a value of 36.4 MPa, C4 (3sn.), while A3 showed the lowest bond strength results with 29.47 MPa.

Bonding values of the other groups were as A3 (60 sec): 30.73MPa, B1 (3 sec): 35.70MPa, B1 (60 sec): 30.80MPa, C4 (60sn.): 33.08MPa, D2 (3sn.): 31.56MPa, D2 (60sn.): 34.18MPa, D4 (3sn.): 35.67MPa, D4 (60sn.): 33.29MPa, and colorless: 33.08 MPa.

When the same time schedules were compared, statistical difference between values of A3 and C4 groups were observed (including the colorless group  $p = 0.045$ , not including the colorless group  $p = 0.024$ ).

When time schedules were compared for each color group, only B1 group showed a statistically difference ( $p = 0.036$ ) while others did not.

When time schedules were compared with control group and triple comparisons were made, only A3 group showed statistical difference ( $p = 0.020$ ), while other did not.

When failure types between the framework and veneer porcelain were examined, no “adhesive” failure was seen, while all failures were “combined” or “cohesive” type. Among these, combined type of failure was seen majorly.

The results of this study show that coloring procedures of zirconium frameworks can affect the bond strength between zirconium and veneer porcelain. However, results also show that bonding strengths of all investigated groups are clinically acceptable.

## KAYNAKLAR

- Aboushelib MN, de Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. *Dent. Mater.* 2005;21:984-991
- Aboushelib MN, de Kler M, van der Zel JM, Feilzer AJ. Microtensile bond strength and impact energy of fracture of CAD-veneered zirconia restorations. *J Prosthodont.* 2009;18:211-6.
- Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Effect of zirconia type on its bond strength with different veneer ceramics. *J Prosthodont* 2008;17:401-408.
- Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part 3: double veneer technique. *J Prosthodont* 2008;17:9-13.
- Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ: Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: zirconia veneering ceramics. *Dent Mater* 2006;22:857-863.
- Aktaş G. Zirkonyum Oksit Esaslı Alt yapılara Uygulanan Farklı Üst Yapı Porselenlerinin Kesme Dirençlerinin İncelenmesi. Doktora Tezi 2010 Hacettepe Üniversitesi
- Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Fracture toughness and hardness evaluation of three pressable all-ceramic dental materials. *J Dent* 2003;31:181-8.
- Al-Dohan HM, Yaman P, Dennison JB, Razzoog ME, Lang BR. Shear strength of core-veneer interface in bi-layered ceramics. *J Prosthet Dent* 2004;91:349-55.
- Anusavice KJ, Dehoff PH, Fairhurst CW. Comparative evaluation of ceramic-metal bond tests using finite element stress analysis. *J Dent Res* 1980;59:608-13.
- Anusavice KJ. *Philips' Science of dental materials* 11th ed Saunders, Florida. 2003:660-663
- Ardlin BI. Transformation-toughened zirconia for dental inlays, crowns and bridges: chemical stability and effect of low-temperature aging on flexural strength and surface structure. *Dent Mater* 2002;18:590-595.
- Cales B. Zirconia as a sliding material: histologic, laboratory, and clinical data. *Clin Orthop* 2000;1:94-112.

- Chevalier J, Deville S, Munch E, et al. Critical effect of cubic phase on aging in 3mol% yttria-stabilized zirconia ceramics for hip replacement prosthesis. *Biomaterials* 2004;25:5539-5545.
- Chevalier J. What future for zirconia as a biomaterial. *Biomaterials* 2006; 27:535-543.
- Choi BK, Han JS, Yang JH, Lee JB, KimSH. Shear bond strength of veneering porcelain to zirconia and metal cores. *J Adv Prosthodont.* 2009;1:129-35.
- Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peille CN. Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res* 1989;23:45–61.
- Christel PS. Zirconia: the second generation of ceramics for total hip replacement *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst.* 1989;49:170-177.
- Clarke IC, Manaka M, Green DD, Williams P, Pezzotti G, Kim YH, et al. Current status of zirconia used in total hip implants. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85:73–84.
- Craig RG, Powers JM, Wataha JC. *Dental materials: properties and manipulation.* 8th ed. St. Louis: Mosby; 2004:578-580.
- Craig RG, Powers JM. *Restorative dental materials.* 11th ed. Mosby. 2002:85.
- Craig, RG. *Mechanical properties in restorative dental materials.* 11th ed. New York: Mosby. 2002:551-592.
- Çömlekoğlu ME, Dündar M, Ozcan M, Güngör MA, Gökçe B, Artunç C. Evaluation of bond strength of various margin ceramics to a zirconia ceramic. *J Dent.* 2008;36:822-7.
- Derand P, Derand T. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont.* 2000;13:131-135.
- Devigus A, Lombardi G. Shading Vita In-ceram YZ substructures: influence on value and chroma, part II. *Int J Comput Dent* 2004;7:379-388.
- Deville S, Gremillard L, Chevalier J, et al: A critical comparison of methods for the determination of the aging sensitivity in biomedical grade yttria-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005;72:239-245.



- Ereifej N, Rodrigues FP, Silikas N, Watts DC. Experimental and FE shear-bonding strength at core/veneer interfaces in bilayered ceramics. *Dent Mater.* 2011;27:590-7.
- Fischer J, Grohmann P, Stawarczyk B. Effect of zirconia surface treatments on the shear strength of zirconia/veneering ceramic composites. *Dent Mater J.* 2008;27:448-54.
- Fischer J, Stawarczyk B, Sailer I, Hammerle CH. Shear bond strength between veneering ceramics and ceria-stabilized zirconia/alumina. *J Prosthet Dent* 2010;103:267-74.
- Fischer J, Stawarczyk B. Compability of machined Ce-TZP/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanocomposite and a veneering composite. *Dent. Mater.* 2007; 23:1500-1505.
- Fischer J, Stawarczyk B, Trottmann A, Hämmerle CH. Impact of thermal misfit on shear strength of veneering ceramic/zirconia composites. *Dent Mater.* 2009;25:419-23.
- Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. Ceramic Steel? *Nature* 1975;258:703–704.
- Garvie RC, Nicholson PS. Structure and thermomechanical properties of partially stabilized zirconia in the  $\text{CaO-ZrO}_2$  System. *J Amer Ceram Soc* 1972;55:152–157.
- Guazzato M, Albakry M, Quach L, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of a glass-infiltrated alumina/zirconia-reinforced dental ceramic. *Dent Mater* 2005;21:454-63.
- Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Mater.* 2004;20:449-456.
- Guazzato M, Proos K, Quach L, Swain MV. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. *Biomaterials* 2004;25:5045–5052.
- Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent* 2005;33:9–18.
- Guess PC, Kulis A, Witkowski S, Wolkewitz M, Zhang Y, Strub JR. Shear bond strengths between different zirconia cores and veneering ceramics and their susceptibility to thermocycling. *Dent Mater.* 2008;24:1556-67.

- Gupta TK, Lange FF, Bechtold JH. Effect of stress-induced phase transformation on the properties of polycrystalline zirconia containing metastable tetragonal phase. *J Mater Sci* 1978;13:1464–1470.
- Hadavi F, Hey JH, Ambrose ER, Louie PW, Shinkewski DJ. The effect of dentin primer on the shear bond strength between composite resin and enamel. *Oper Dent* 1993;18:61-65.
- Hayashi K, Matsuguchi N, Uenoyama K, Sugioka Y. Reevaluation of the biocompatibility of bioinert ceramics in vivo. *Biomaterials* 1992;13:195–200.
- Hjerpe J, Närhi T, Fröberg K, Vallittu PK, Lassila LV. Effect of shading the zirconia framework on biaxial strength and surface microhardness. *Acta Odontol Scand*. 2008;66:262-7.
- Ichikawa Y, Yasumasa Akagawa, Hirosama Nikai, Hiromichi Tsuru Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic: in vivo *J Prosthet Dent*. 1992;68:322-326.
- Ishibe M, Raigrodski AJ, Flinn BD, Chung KH, Spiekerman C, Winter RR. Shear bond strengths of pressed and layered veneering ceramics to high-noble alloy and zirconia cores. *J Prosthet Dent*. 2011;106:29-37.
- ISO 9693 Metal-ceramic bond characterization (Schwickerath crack initiation test) Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization;1999.
- ISO TR 11405 Dental Materials-Guidance on testing of adhesion to tooth structure. International Organization for Standardization.;1994.
- Kim HJ, Lim HP, Park YJ, Vang MS. Effect of zirconia surface treatments on the shear bond strength of veneering ceramic. *J Prosthet Dent*. 2011;105:315-22.
- Kler MD, Jagner ND, Meegdees M, Van Der Zel JM. Influence of thermal expansion mismatch and fatigue loading on phase changes in porcelain veneered Y-TZP zirconia discs. *J. Oral Rehabil*. 2007;34:841-847.
- Komine F, Saito A, Kobayashi K, Koizuka M, Koizumi H, Matsumura H. Effect of cooling rate on shear bond strength of veneering porcelain to a zirconia ceramic material. *J Oral Sci*. 2010;52:647-52.
- Kosmač T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater*. 1999;15:426-433.

- Koutayas SO, Vagkopoulou T, Pelekanos S, Koidis P, Strub JR. Zirconia in dentistry: part 2. Evidence-based clinical breakthrough. *Eur J Esthet Dent.* 2009;4:348-380.
- Lindemann W. Dentalkeramiken-mineralogisch betrachtet. *ZMK* 2000;5:280–285.
- Luthardt Ralph G, Mandy S. Holtzhüter, Heike Rudolph, Volker Herold, Michael H. Walter CAD/CAM-machining effects on Y-TZP zirconia Dental Materials. 2004;20:655-662.
- Luthart RG, Sandkuhl O, Reitz B. Zirconia-tzp and alumina-advanced technologies for the manufacturing of single crowns. *Eur. J. Prosthodont Restor. Dent.* 1999;7:113-119
- Lüthy H, Loeffel O, Hammerle CH. Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater.* 2006;22:195-200.
- McLean JW, Odont D. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. *J. Prosthet. Dent.* 2001;85:61-65.
- McLean JW. The Strengthening of Dental Porcelain. *The Science of Dental Ceramics*, Chicago, Quintessence 1979;55-63.
- Mecholsky J. Fractography: Determining the sites of fracture initiation. *Dent Mater* 1995;11:113-6.
- Molin MK, Karlsson SL. Five-year clinical prospective evaluation of zirconia-based Denzir 3-unit FPDs. *Int J Prosthodont.* 2008;21:223-7.
- Mosharraf R, Rismanchian M, Savabi O, Ashtiani AH. Influence of surface modification techniques on shear bond strength between different zirconia cores and veneering ceramics. *J Adv Prosthodont* 2011;3:221-8.
- Nakamura T, Wakabayashi K, Zaima C, Nishida H, Kinuta S, Yatani H. Tensile bond strength between tooth-colored porcelain and sandblasted zirconia framework. *J Prosthodont Res.* 2009;53:116-9.
- Naylor WP. Introduction to Metal-Ceramic Technology. Quintessence Pub Co 2009;6,26-27.
- Oh WS, Shen C. Effect of surface topography on the bond strength of a composite to three different types of ceramic. *J Prosthet Dent* 2003;90:241-6.
- Ozkurt Z, Kazazoglu E, Unal A. In vitro evaluation of shear bond strength of veneering ceramics to zirconia. *Dent Mater J.* 2010;29:138-46.

- Pallis K, Griggs JA, Woody RD, Guillen GE, Miller AW. Fracture resistance of three all-ceramic restorative systems for posterior applications. *J Prosthet Dent* 2004;91:561–569.
- Papanagiotou HP, Morgano SM, Giordano RA, Pober R. In vitro evaluation of low-temperature aging effects and finishing procedures on the flexural strength and stability of Y-TZP dental ceramics. *J Prosthet Dent* 2006;96:154–64.
- Piconi C, Maccauro G: Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 1999;20:1-25
- Pittayachawan P, McDonald A, Petrie A, et al. The biaxial flexural strength and fatigue property of Lava (TM) Y-TZP dental ceramic. *Dent Mater* 2007;23:1018-1029
- Qualtrough AJE, Piddock V. Ceramic Update. *Journal of Dentistry* 1997;25;91–95
- Raigrodski AJ, Chiche GJ, Potiket N, Hochstedler JL, Mohamed SE, Billiot S, Mercante DE. The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: a prospective clinical pilot study. *J Prosthet Dent*. 2006;96,237-244.
- Raigrodski AJ. Contemporary all-ceramic fixed partial dentures: a review *Dent Clin North Am*. 2006;48:531-544.
- Raigrodski, AJ. Gerard J. Chiche The safety and efficacy of anterior ceramic fixed partial dentures: A review of the literature *J Prosthet Dent*. 2001;86:520-5.
- Roediger M, Gersdorff N, Huels A, Rinke S. Prospective evaluation of zirconia posterior fixed partial dentures: four-year clinical results. *Int J Prosthodont*. 2010;23:141-8.
- Sailer I, Fehér A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, Hämmerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont*. 2007;20:383-8.
- Sailer I, Fehér A, Filser F, Lüthy H, Gauckler LJ, Schärer P, Franz Hämmerle CH. Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partial dentures: 3-year follow-up. *Quintessence Int*. 2006;37,685-693.
- Sailer I, Gottnerb J, Kanelb S, Hammerle CH. Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year follow-up. *Int J Prosthodont*. 2009;22:553-60.
- Saito A, Komine F, Blatz MB, Matsumura H. A comparison of bond strength of layered veneering porcelains to zirconia and metal. *J Prosthet Dent* 2010;104:247-57.

- Sato T, Tsuji K, Kawashima N, et al. Effect of defect size on fracture strength of dental low fusion porcelain. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2004;38:77-82.
- Sato TS, Shimada M. Control of the tetragonal –to-monoclinic phase transformation of yttria partially stabilized zirconia in hot water. *J Mater Sci.* 1985;20:3899-3992.
- Schmitt J, Holst S, Wichmann M, Reich S, Gollner M, Hamel J. Zirconia posterior fixed partial dentures: a prospective clinical 3-year follow-up. *Int J Prosthodont.*2009;22:597-603.
- Schweitzer DM, Goldstein GR, Ricci JL, Silva NR, Hittelman EL. Comparison of bond strength of a pressed ceramic fused to metal versus feldspathic porcelain fused to metal. *J Prosthodont* 2005;14:239-47.
- Sobrinho LC, Cattell MJ, Glover RH, Knowles JC. Investigation of the dry and wet fatigue properties of three all-ceramic crown systems. *International Journal of Prosthodontics* 1998;11:255–62.
- Stevens R, Hennike D. ZrO-Keramik. In: Kriegsmann J (Hrsg.): *Technische Keramische Werkstoffe.* Grundwerk. Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln. 1992;1-101.
- Sundh A, Sjogren G. Fracture resistance of all-ceramic zirconia bridges with differing phase stabilizers and quality of sintering. *Dent Mater* 2006;22:778-784.
- Swain MV. Grain–size dependence of toughness and transformability of 2mol% Y-TZP ceramics. *Journal of Materials Science Letters.* 1986;5:1159-1162.
- Taira M, Nomura Y, Wakasa K, Yamaki M, Matsui A. Studies on fracture toughness of dental ceramics. *J Oral Rehabil* 1990;17:551–563.
- Theunissen G, Bouma JS, Winnubst AJA, Burggraaf AJ. Mechanical properties of ultra-fine grained zirconia ceramics. *J Mater Sci* 1992;27:4429–4438.
- Thompson GA. Influence of relative layer height and testing method on the failure mode and origin in a bilayered dental ceramic composite. *Dent Mater* 2000;16:235–243.
- Thompson I, Rawlings RD. Mechanical behaviour of zirconia and zirconia-toughened alumina in a simulated body environment. *Biomaterials* 1990;11:505–508.

- Thompson JY, Anusavice KJ, Naman A, Morris HF. Fracture surface characterization of clinically failed all-ceramic crowns. *J Dent Res* 1994;73:1824–1832.
- Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H. Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina- and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. *Int J Prosthodont* 2001;14:231-8.
- Tinschert J, Schulze KA, Natt G, Latzke P, Heussen N, Spiekermann H. Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3-year results. *Int J Prosthodont* 2008;21:217-22.
- Tosun T. Kuron ve köprü protezlerinde zirkonyum. *Dentalife*. 2007;22:18-26.
- Vagkopoulou T, Koutayas SO, Koidis P, Strub JR. Zirconia in dentistry: Part 1. Discovering the nature of an upcoming bioceramic. *Eur J Esthet Dent*. 2009;4:130-51.
- Venkatachalam B, Goldstein GR, Pines MS, Hittelman EL. Ceramic pressed to metal versus feldspathic porcelain fused to metal: a comparative study of bond strength. *Int J Prosthodont* 2009;22:94-100.
- Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Why do shear bond test pull out dentin? *J Dent Res* 1997;76:1298-307.
- Von Steyern PV, Carlson P, Nilner K. All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon technique. A 2-year clinical study. *J Oral Rehabil*. 2005;32:180-187.
- Wakabayashi N, Anusavice KJ. Crack initiation modes in bilayered alumina/porcelain disks as a function of core/veneer thickness ratio and supporting substrate stiffness. *Journal of Dental Research* 2000;79:1398–404.

## ÖZGEÇMİŞ

01.10.1984 tarihinde Niğde'de doğdum. İlköğrenimimi Cumhuriyet İlkokulu'nda, ortaöğrenimimi Bor Anadolu Lisesini takiben Niğde Fen Lisesi'nde tamamladım. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden mezun oldum. 2008 yılında Süleyman Demirel Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda doktora eğitimime başladım.