

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

ZİRKONYA İÇERİKLİ FARKLI SERAMİK MATERYALLERİN OPTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
UZMANLIK TEZİ

Arş. Gör. Fatma Őhide ERCAN

KASIM, 2024

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

**ZİRKONYA İÇERİKLİ FARKLI SERAMİK MATERYALLERİN OPTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

UZMANLIK TEZİ

Arş. Gör. Fatma Őhide ERCAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Aysıla TEKELİ ŞİMŞEK

UŞAK

2024

JÜRİ ONAYI

Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Uzmanlık Programı öğrencisi Fatma Şehide ERCAN'ın "Zirkonya İçerikli Farklı Seramik Materyallerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi" adlı tezi tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, Uzmanlık Tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Jüri	Adı-Soyadı	İmza
Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Aysıla TEKELİ ŞİMŞEK	
Üye:	Doç. Dr. Bengisu YILDIRIM	
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Özge KIRARSLAN KARAGÖZ	

Diş Hekimliği Fakültesi Dekanı

Prof.Dr. Mehmet Ali GÜNGÖR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Arş. Gör. Fatma Şehide ERCAN



ZİRKONYA İÇERİKLİ FARKLI SERAMİK MATERYALLERİN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Diş Hekimliğinde Uzmanlık Tezi)

Fatma Şehide ERCAN

UŞAK ÜNİVERSİTESİ DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı

Kasım, 2024

ÖZET

Monolitik zirkonya materyaller, üstün mekanik özelliklerine rağmen estetik açıdan yetersizlik gösterebilmektedirler. Son yıllarda, estetik beklentinin de artmasıyla hem monolitik oluşuyla yüksek mekanik dayanıma hem de üstün estetik özelliklere sahip olan %4 mol ve %5 mol itriyum oksitle stabilize edilmiş, yüksek translüsenside zirkonya materyaller üretilmiştir. Çok katmanlı zirkonya seramikler, monolitik zirkonya restorasyonların renginin iyileştirilmesi için bir çözüm olarak tanıtılmıştır. CAD-CAM sistemleriyle üretilen restorasyonların uyumları son derecede iyi olsa da genelde klinik uyumlama gerekli olmaktadır. Bu çalışmanın amacı; klinik uyumlama sonrasında yapılması gereken çeşitli yüzey parlatma işlemlerinin, 3 farklı çok katmanlı monolitik zirkonya materyalinin optik özellikleri ve faz değişimine olan etkisinin incelenmesidir. Çalışmada; Katana UTML, Katana STML ve IPS e.max ZirCAD MT Multi bloklarından 1 mm kalınlığında, 10 mm çapında, A1 renginde, 30'ar adet olmak üzere toplam 90 adet örnek elde edildi. Her bir materyale ait örneklem grubu kontrol, polisaj ve glazür olmak üzere rastgele 3 ayrı gruba ayrıldı. Her örneğin L^* , a^* ve b^* değerleri yapılan yüzey bitirme işlemi sonrasında bir spektrofotometre yardımıyla incelendi. CIEDE2000 formülü yardımıyla örneklerin ΔE_{00} ve TP_{00} değerleri hesaplandı. Her alt gruptan 1'er örneğe XRD ve SEM analizleri yapıldı. ΔE_{00} ölçümlerinin veri analizleri IBM SPSS 25, TP_{00} ölçümlerinin veri analizleri IBM SPSS V23 programında gerçekleştirildi. Verilerin çok değişkenli normal dağılımına uyum gösterip göstermediği Shapiro Wilk testi ile

kontrol edildi. Farklı materyal ve yüzey bitirme işlemlerinin ΔE_{00} üzerine olan etkisinin incelenmesi için İki Yönlü Tekrarlı Ölçümler ANOVA (Greenhouse-Geisser İstatistiği), TP_{00} ölçümlerinin karşılaştırılmasında ise İki Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) testi uygulandı. Farkı yaratan grup ya da grupların ortaya çıkartılması için Post Hoc Bonferroni testleri kullanıldı. Varyans homojenliği Levene testi ile kontrol edildi. Çoklu grup karşılaştırmaları Bonferroni testi ile incelendi. İstatistiksel olarak anlamlılık düzeyi “ $p<0,05$ ” olarak belirlendi.

Elde edilen sonuçlara göre SP ile SG ($p<0,001$), UP ile UG ($p<0,001$), ZG ile ZP ($p=0,002$) gruplarının ΔE_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulundu. Glazür işleminin sebep olduğu renk değişiminin, polisaja göre daha fazla olduğu görüldü. ZG grubu ile SG ve UG gruplarının ΔE_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar elde edildi ($p=0,035$ ve $p=0,001$, $p<0,05$). SG ve UG gruplarının renk değişim ölçümlerinin, ZG grubunun renk değişim ölçümlerinden daha yüksek olduğu bulundu. En fazla renk değişimi UG grubunda görüldü. Yapılan yüzey işlemleri ve materyal tiplerinin ortalama TP_{00} değerleri üzerine olan etkisi istatistiksel olarak anlamsız bulundu ($p=0,132$, $p>0,05$). Bütün materyal gruplarında polisaj işlemi ile ortalama TP_{00} değerleri artarken, bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı. Glazür işlemi ile bütün materyal gruplarının TP_{00} değerleri azalırken, bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı. SEM analizi değerlendirmelerine göre her iki yüzey bitirme işlemi de kontrol grubuna göre daha düzgün bir yüzey elde edilmesini sağladı. Glazür işleminin, polisaj işlemine kıyasla daha düzgün bir yüzey oluşturduğu görüldü. İki yüzey bitirme işlemi de örneklerdeki derin çizik, çukur ve olukları tamamen gideremedi. Yapılan XRD analizi sonuçlarında, bütün örneklerin grafik ve pik değerlerinin, difraktometrenin veri tabanında bulunan kübik zirkonya grafik ve pik değerleriyle uyumlu olduğu belirlendi. İncelenen hiçbir örnekte monoklinik faz piki gözlenmedi. Materyal içerisinde faz dönüşümü meydana geldiğini düşündüren herhangi bir bulguya rastlanmadı.

Anahtar Kelimeler : zirkonya, polisaj, glazür, translüsensi

Sayfa Adedi : 108

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Aysıla TEKELİ ŞİMŞEK

INVESTIGATION OF THE OPTICAL PROPERTIES OF DIFFERENT CERAMIC MATERIALS CONTAINING ZIRCONIA

(Thesis For Specialization in Dentistry)

Fatma Şehide ERCAN

USAK UNIVERSITY FACULTY OF DENTISTRY

Department of Prosthetic Dentistry

November, 2024

ABSTRACT

Monolithic zirconia materials, despite their superior mechanical properties, may exhibit aesthetic shortcomings. In recent years, with the rise in aesthetic expectations, high translucency zirconia materials stabilized with 4 mol and 5 mol yttria, which possess both high mechanical strength due to their monolithic structure and superior aesthetic properties, have been developed. Multilayer zirconia ceramics have been introduced as a solution to improve the color of monolithic zirconia restorations. Although the fit of restorations produced with CAD-CAM systems is generally very good, clinical adjustments are often necessary. The aim of this study is to investigate the effects of various surface polishing procedures, performed after clinical adjustments, on the optical properties and phase changes of three different multilayer monolithic zirconia materials.

In this study, a total of 90 samples, 30 samples of 1 mm thickness, 10 mm in diameter, and A1 color, were obtained from Katana UTML, Katana STML, and IPS e.max ZirCAD MT Multi blocks. Each material sample group was randomly divided into three separate groups: control, polishing, and glazing. The L^* , a^* , and b^* values of each sample were analyzed using a spectrophotometer after the surface finishing procedures. The ΔE_{00} and TP_{00} values of the samples were calculated using the CIEDE200 formula. XRD and SEM analyses were performed on one sample from each subgroup. Data analyses for ΔE_{00} measurements were conducted using IBM SPSS 25, while TP_{00} measurements were analyzed using IBM SPSS V23. The normal distribution of the multivariate data was checked using the Shapiro-Wilk test. To examine the effects of different materials and surface finishing procedures on ΔE_{00} , a Two-Way Repeated Measures ANOVA

(Greenhouse-Geisser statistic) was applied, while a Two-Way ANOVA was used for comparing TP₀₀ measurements. Post Hoc Bonferroni tests were utilized to identify the group or groups causing the difference. Homogeneity of variances was checked using the Levene test. Multiple group comparisons were examined using the Bonferroni test. The level of statistical significance was set at “p<.05.”

According to the results obtained, statistically significant differences were found between the groups SP and SG (p<.001), UP and UG (p<.001), and ZG and ZP (p=.002) in terms of ΔE_{00} values. It was observed that the color change caused by the glazing process was greater than that of polishing. Statistically significant differences in ΔE_{00} values were found between the ZG group and the SG and UG groups (p=.035 and p=.001, p<.05). The color change measurements of the SG and UG groups were found to be higher than those of the ZG group, with the highest color change observed in the UG group. The effect of the surface treatments and material types on the average TP₀₀ values was found to be statistically insignificant (p=.132, p>.05). In all material groups, the average TP₀₀ values increased with the polishing procedure, but this increase was not statistically significant. With the glazing process, the TP₀₀ values of all material groups decreased, but this decrease was also statistically insignificant. According to the evaluations from SEM analysis, both surface finishing procedures resulted in smoother surfaces compared to the control group. It was observed that the glazing process created a smoother surface compared to the polishing procedure. However, both surface finishing procedures did not completely eliminate deep scratches, pits, and grooves in the samples. The results of the XRD analysis indicated that the graphs and peak values of all samples were consistent with the cubic zirconia graphs and peak values found in the diffractometer's database. No monoclinic phase peaks were observed in any of the examined samples. There were no findings suggesting that a phase transformation occurred within the material.

Keywords : zirconia, polishing, glazing, translucency

Number of pages : 108

Advisor : Assist. Prof. Aysıla TEKELİ ŞİMŞEK

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez danışmanım olmasından mutluluk duyduğum sevgili **Dr. Öğr. Üyesi Aysıla TEKELİ ŞİMŞEK'e**; tez sürecimde verdiği destek ve uzmanlık eğitimim boyunca klinik tecrübelerini ve mesleki görüşlerini benimle paylaştığı için,

Tez çalışmamızı Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) kapsamında destekleyen Uşak Üniversitesi B. A. P. Birimine,

Tecrübeleri ve bilgi birikimi ile kendime örnek edinip tanışmaktan memnuniyet duyduğum sayın hocam **Prof. Dr. Mehmet Ali GÜNGÖR'e**,

Hekimliğine, karakterli oluşuna, çalışkanlığına, olaylara çözümcül yaklaşımına ve zarafetine gıpta ile baktığım; akademik duruşunu örnek edindiğim değerli hocam **Doç. Dr. Bengisu YILDIRIM'a**,

Ufuk açıcı fikirleri, meslekî cüreti ve pratik zekâsı ile hayranlık uyandıran; bilgi birikimine rağmen mütevazılığını da kaybetmeyen hem hekimliğini hem de karakterini örnek aldığım ve tanışmaktan sevinç duyduğum sayın hocam **Dr. Öğr. Üyesi Ongun ÇELİKKOL'a**

Klinik tecrübelerini ve görüşlerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen **Dr. Öğr. Üyesi Özge KIRARSLAN KARAGÖZ** ve **Dr. Öğr. Üyesi Merve ÜNAL** başta olmak üzere Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi A.B.D. 'nin kıymetli öğretim üyeleri ve asistanlarına,

Uzmanlık hayatımın bana kattığı en güzel değerlerden biri olan; acı tatlı her anımın kıymetli şahidi olmasından mutluluk duyduğum, ilk başta mizah anlayışını çözemediğim

*fakat sonrasında da bağımlısı olup vazgeçemediğim, sevdiklerine sınırsızca açtığı tertemiz kalbine bayıldığım, meslekî görüşlerini çok önemseydiğim, hem maddi hem de manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyip Uşak'taki yaşantımı çekilir hâle getiren canım yoldaşım, bir tanecik eşkıdemlim **Ayşegül ÜÇDAL ASLAN'a**, bunca vakit yanımda olduğu için,*

*Uzmanlık hayatımın bana kattığı diğer bir kıymetli insan; yine mizahının bağımlısı olduğum, zor zamanlarımda yanımda olup mutluluklarımı benimle paylaşan; nasıl olmuş da böyle bir yerde denk gelmişiz, diye düşünmekten kendimi alamadığım; yumuşacık kalbi, empati yeteneği ve arkadaşlarına gösterdiği hassasiyetle örnek aldığım, canım arkadaşım **Cansel KIRKGÖZ'e**,*

*Uşak'ta tanıştığım, uzmanlık hayatımı güzelleştiren ve soyadı gibi cesur oluşunu örnek edindiğim; bir zorluk yaşadığımda yanımda olacağını bildiğim sevgili arkadaşım **Betül CESUR ÇİLOĞLU'na**,*

*Bana böyle güzel bir ismi koymayı tercih ettiği ve tabii ki bundan da öte benim annem olduğu için merhametli annem **Nuray ERCAN'a** ve çocuklarını daima destekleyip yanında olduğunu ve bizlerle gurur duyduğunu her zaman bize hissettiren canım babam **Nuri ERCAN'a**,*

*Çok kardeş olmanın neşesini yaşamamın müsebbipleri; ilk örneklerim, ablalarım **Rukiye ÇETİNKAYA** ve **İklîma Zeynep BAYRAKTAR'a**; akademik camiadaki tavırlarından çokça dersler çıkardığım bir tanecik abim **Muhammed Enes ERCAN'a** ve en sevdiğim küçük kardeşim, bilim insanı adayı “Dümdümüm” **Gülsüm ERCAN'a** maddi manevi destekleri, hep yanımda oldukları ve bunu bana hissettirdikleri için,*

*Sebepsiz sevmek nedir öğreten, geleceklerinin pasparlak olması için dua ettiğim ve hayatıma neşe getiren tatlı yeğenlerim **Ayşe Zehra, Yusuf, Şifa Meryem ve Gülce'ye**,*

*Bu zorlu süreci atlattığım, düşüp düşüp kalkabildiğim ve elimden gelen çabayı gösterebildiğim için **en çok da kendime,***

TEŞEKKÜR EDERİM...



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

JÜRİ ONAYI.....	i
TEZ BİLDİRİMİ.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
RESİMLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xvii
1 GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2 GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Zirkonya Seramikler	3
2.1.1 Zirkonyanın Tarihçesi	3
2.1.2 Zirkonyanın Mikroyapısı	3
2.1.3 Y-TZP Seramikler	6
2.1.3.1 İttriya İçeriğinin Y-TZP Seramiklere Etkileri	6
2.1.3.2 Y-TZP Seramiklerin Mekanik Özelliklerini Etkileyen Faktörler ..	7
2.1.3.3 Güncel Monolitik Y-TZP Seramikler	9
2.1.3.3.1 Monolitik Zirkonya Seramiklerin Genel Özellikleri	9
2.1.3.3.2 Yeni Nesil Monolitik Y-TZP Seramikler	10
2.1.3.3.3 Çok Katmanlı Monolitik Y-TZP Seramikler	13
2.1.3.3.4 Monolitik Zirkonya Restorasyonların Endikasyonları	16
2.1.3.3.5 Monolitik Zirkonya Restorasyonların Avantajları	17
2.1.3.3.6 Monolitik Zirkonya Restorasyonların Dezavantajları	17

2.1.4	Zirkonya Restorasyonlara Uygulanan Yüzey İşlemleri.....	17
2.2	Diş Hekimliğinde Işık ve Renk Kavramı.....	19
2.2.1	Renk Sistemleri	21
2.2.1.1	Munsell Renk Sistemi.....	21
2.2.1.2	Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) XYZ Renk Sistemi.....	24
2.2.1.3	Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) L* a* b* Renk Sistemi.....	25
2.2.2	Cisimlerin Optik Özellikleri	27
2.2.2.1	Translüsensi.....	27
2.2.2.1.1	Translüsensiyi Etkileyen Faktörler	27
2.2.2.2	Opalesans.....	29
2.2.2.3	Floresans.....	29
2.2.2.4	Metamerizm	30
2.2.3	Renk Ölçüm Yöntemleri	30
2.2.3.1	Görsel Ölçüm	30
2.2.3.2	Enstrümental Ölçüm.....	31
2.2.3.2.1	Kolorimetreler.....	32
2.2.3.2.2	Spektroradyometreler	33
2.2.3.2.3	Spektrofotometreler.....	34
2.2.3.2.4	Dijital Kameralar.....	39
2.3	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	40
2.4	X Işını Kırınım (XRD) Analizi	41
3	GEREÇ VE YÖNTEM.....	43
3.1	Seramik Örneklerin Hazırlanması	45
3.2	Örneklerin Sinterizasyonu.....	46

3.3	Deney Gruplarının Ayrılması.....	47
3.4	Örneklerin Renk ve Translüsensi Ölçümleri.....	51
3.5	SEM Görüntülerinin Elde Edilmesi.....	52
3.6	X Işını Kırınımı Analizi.....	53
3.7	İstatistiksel Analiz	54
4	BULGULAR.....	56
4.1	Renk Değişim Değerleri ΔE_{00} Bulguları.....	56
4.2	Translüsensi Parametresi (TP ₀₀) Değerleri Bulguları.....	58
4.3	SEM Görüntü Bulguları	61
4.3.1	Kontrol Grubu SEM görüntüleri	61
4.3.2	Glazür Grubu SEM görüntüleri.....	63
4.3.3	Polisaj Grubu SEM Görüntüleri.....	65
4.4	XRD Analizi Bulguları.....	67
4.4.1	Kontrol Grubu XRD Analizi Bulguları	67
4.4.2	Glazür Grubu XRD Analizi Bulguları.....	68
4.4.3	Polisaj Grubu XRD Analizi Bulguları	70
5	TARTIŞMA.....	73
6	SONUÇ.....	90
7	KAYNAKÇA.....	91
8	ÖZGEÇMİŞ.....	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Çalışmada kullanılan materyaller, üretici firmaları ve kompozisyonları ..	43
Çizelge 3. 2. Çalışmada kullanılan cihazlar, marka adları, üretici firmaları ve kullanıldığı yerler.....	44
Çizelge 3. 3. Çalışmadaki deney gruplarının çizelgesi.....	48
Çizelge 3. 4. Yapılan glazür işlemlerinin fırınlama programları	50
Çizelge 4. 1. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre renk değişimi ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.....	56
Çizelge 4. 2. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre ΔE_{00} ölçümlerinin İki Yönlü ANOVA (Greenhouse-Geisser istatistiği) testi sonuçları.....	57
Çizelge 4. 3. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre TP_{00} ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.....	59
Çizelge 4. 4. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre TP_{00} ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin İki Yönlü Varyans Analizi testi sonuçları	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Çatlak oluşumu ile meydana gelen faz dönüşümü (Butler, 1985; Piconi ve Maccauro, 1999)	5
Şekil 2. 2. Monochromatik X ışını kırınım tekniğinin şematize edilmiş hâli (Cullity ve Stock, 2001)	42
Şekil 4. 1. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre renk değişimi ölçümlerinin dağılımlarına ait çizgi grafiği.....	58
Şekil 4. 2. Materyal ve işlemlere göre TP ₀₀ ortalama ve standart sapma grafiği	60
Şekil 4. 3. SK grubu örneği XRD grafiği	67
Şekil 4. 4. UK grubu örneği XRD grafiği.....	67
Şekil 4. 5. ZK grubu örneği XRD grafiği	68
Şekil 4. 6. SG grubu örneği XRD grafiği	68
Şekil 4. 7. UG grubu örneği XRD grafiği.....	69
Şekil 4. 8. ZG grubu örneği XRD grafiği	69
Şekil 4. 9. SP grubu örneği XRD grafiği	70
Şekil 4. 10. UP grubu örneği XRD grafiği	70
Şekil 4. 11. ZP grubu örneği XRD grafiği.....	71
Şekil 4. 12. ZirCAD MT Multi örneklerin XRD grafiklerinde görülen çatallanma.....	72

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2. 1. Katana UTML bloğun katmanları (Shen ve ark., 2020)	12
Resim 2. 2. Katana STML bloğun katmanları ("STML blok,")	13
Resim 2. 3. Çok katmanlı mukavemet gradyanlı IPS e.max ZirCAD Prime blokların katmanları (Maharishi ve ark., 2024).....	14
Resim 2. 4. IPS e.max ZirCAD MT Multi bloğun katmanları (Machry ve ark., 2022). 15	
Resim 2. 5. Çok katmanlı renk gradyanlı Katana STML blokların katmanları (Maharishi ve ark., 2024)	16
Resim 2. 6. Renk üçlüsü (Abdulsamee ve Nagi, 2020).....	19
Resim 2. 7. Munsell Renk Ağacı (Rus, 2007)	22
Resim 2. 8. Munsell'e göre renk parametreleri (Abdulsamee ve Nagi, 2020).....	22
Resim 2. 9. Munsell renk sistemine göre hue, chroma ve value değerlerinin ilişkisi (Abdulsamee ve Nagi, 2020)	24
Resim 2. 10. CIEL*a*b Renk Uzayı (Rosenstiel ve Johnston, 1988).....	26
Resim 2. 11. Translüsensi (Abdulsamee ve Nagi, 2020)	27
Resim 2. 12. Diş minesinin opalesans özelliği (Vadher ve ark., 2014)	29
Resim 2. 13. Dişin floresans özelliği (Vadher ve ark., 2014).....	30
Resim 2. 14. Kolorimetre örneği ("Kolorimetre ").....	33
Resim 2. 15. Spektroradyometre örneği, SpectraScan PR 670 ("SpectraScan PR 670,")	34
Resim 2. 16. Diod dizili bir spektrofotometrenin çalışma prensibi (Dondelinger, 2011) 35	
Resim 2. 17. Crystal Eye (Olympus, Tokyo, Japan) spektrofotometresi (Odaira ve ark., 2011)	36
Resim 2. 18. SpektroShade Micro (MHT, Niederhasli, Switzerland) spektrofotometresi (Spektrofotometre).....	37
Resim 2. 19. Vita Easyshade spektrofotometresi (Khurana ve ark., 2007).....	38
Resim 2. 20. Vita Easyshade Compact ("Spektrofotometre ").....	39
Resim 2. 21. Quanta marka SEM cihazı (Mohammed ve Abdullah, 2018).....	40
Resim 3. 1. Çalışmada kullanılan STML, UTML ve IPS e.max ZirCAD MT Multi bloklar	45
Resim 3. 2. Çalışmada kullanılan milling cihazı.....	46
Resim 3. 3. Çalışmada kullanılan sinterizasyon fırını.....	47

Resim 3. 4. Örneklerin 1 mm kalınlıklarının elektronik kumpasla ölçülmesi	47
Resim 3. 5. Çalışmada kullanılan örnekler.....	48
Resim 3. 6. Polisaj gruplarında polisaj işlemi için kullanılan diskler	49
Resim 3. 7. Çalışmada Katana marka örnekler için kullanılan glazür patı ("Glazür Patı,")	50
Resim 3. 8. Çalışmada IPS Ivoclar marka örnekler için kullanılan glazür patı ve likidi ("Glazür patı ve likidi,")	50
Resim 3. 9. Çalışmada kullanılan spektrofotometre Vita EasyShade V, VITA Zahnfabrik	51
Resim 3. 10. Siyah, beyaz ve gri arka planda örneklerin renk ve translüsensi ölçümlerinin yapılması	52
Resim 3. 11. Çalışmada kullanılan altın kaplama makinesi.....	53
Resim 3. 12. Çalışmada kullanılan SEM cihazı ve masaüstü bilgisayar sistemi	53
Resim 3. 13. Çalışmada kullanılan XRD cihazı.....	54
Resim 4. 1. SK grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri	61
Resim 4. 2. UK grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri.....	62
Resim 4. 3. ZK grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri	62
Resim 4. 4. SG grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri	63
Resim 4. 5. UG grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri.....	63
Resim 4. 6. ZG grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri	64
Resim 4. 7. SP grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri	65
Resim 4. 8. UP grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri	65
Resim 4. 9. ZP grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri.....	66

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
%	Yüzde
°	Derece
Kısaltma	Açıklama
CAD	Bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design)
CAM	Bilgisayar destekli üretim (Computer Aided Manufacture)
mm	Milimetre
C	Santigrat
µm	Mikrometre
MPa	Megapaskal
GPa	Gigapaskal
PICN	Polimer İnfiltrasyon Edilmiş Feldspatik Seramikler
PMMA	Polimetil metakrilat
PEEK	Polietereterketon
UDMA	Üretan dimetakrilat
MgO	Magnezyum oksit
CaO	Kalsiyum oksit
Y ₂ O ₃	İtriyum oksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
PSZ	Parsiyel Stabilize Zirkonya

TZP	Tetragonal zirkonya polikristalleri
ZrO ₂	Zirkonyum oksit
Y-TZP	İtriyumla stabilize edilmiş tetragonal zirkonya polikristalleri
Mg-PSZ	Magnezyum içerikli parsiyel stabilize zirkonya
t-ZrO ₂	Tetragonal zirkonya fazı
c-ZrO ₂	Kübik zirkonya fazı
m-ZrO ₂	Monoklinik zirkonya fazı
K	Kelvin
ΔE	Renk değişimi değeri
TP	Translüsensi parametresi
CRI	Color Rendering Index
L*	Bir rengin parlaklığı
a*	Bir rengin kırmızımsı-yeşilimsi özelliği
b*	Bir rengin sarımsı-mavimsi özelliği
XYZ	Kırmızı, yeşil ve mavi renklerin tristimulusu
LED	Light-Emitting Diode, Işık Yayan Diyot
RGB	Dijital kameraların kullandığı renk ölçüm yöntemi, Red-Green-Blue
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işını Difraktometresi
θ	Teta açısı
dk	Daki

1 GİRİŞ VE AMAÇ

Zirkonya, üstün mekanik özellikleri sebebiyle oksit seramikler arasında benzersiz bir yere sahiptir. (Denry ve Kelly, 2008) Mekanik özelliklerinin yanı sıra estetik özelliklerinin de iyi olması sebebiyle diş hekimliğinde kullanımı artmıştır. Zirkonyanın altyapı olarak kullanıldığı veneer restorasyonlarda en sık rastlanılan komplikasyonun chipping (zirkonya ile porselen üst yapı arasındaki bağlantının koparak porselenin ufalanması) olduğu ve bunun da restorasyona dahil olan üye sayısı arttıkça arttığı görülmüştür. (Sola-Ruiz ve ark., 2015) Zirkonya altyapılı sabit protetik restorasyonların limitasyonlarının üstesinden gelebilmek için “monolitik zirkonya protezler” piyasaya sunulmuştur. (Marchack ve ark., 2008) Karmaşık protezler artık gelişmiş bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM) teknolojisiyle üretilmektedir. (Huh ve ark., 2018) Üretimdeki çeşitliliklere rağmen, klinisyenin tercihleri ve her klinik vakanın kendine özgü özellikleri nedeniyle CAD-CAM ile hazırlanan zirkonya, klinisyenin bitirme ve polisaj yapmasını gerektirir. (Amaya-Pajares ve ark., 2016) Bu restorasyonlarda simantasyon öncesi kenar uyumlamaları, estetik düzenlemeler, oklüzal ve kontur uyumlamaları genel olarak yapılan klinik uygulamalardır. (Wittneben ve ark., 2009) Bu işlemler sonucunda glazür tabakası uzaklaştırıldığı için, seramik kitlesindeki mikro çatlaklar ve pöröziteler açığa çıkar. Yine bu işlemler seramikte mikro yivler oluşturularak pürüzlü ve düzensiz yüzeylere neden olur. (Al-Wahadni, 2006) Yüzey pürüzlülüğü; mine aşınmasını ve bakteriyel retansiyonu artırabileceğinden, zirkonyanın topografisinin dikkate alınması önemlidir. (Chong ve ark., 2015) Pürüzlü yüzeyler bunlara ek olarak, estetik problemler yaratır ve seramiklerin çiğneme yükleri altındaki dayanım dirençlerinin düşmesine sebep olur. Seramik restorasyonlardaki pürüzlü yüzeylerin oluşturacağı bu gibi olumsuzlukları gidermek yani seramiklerin dayanım dirençlerini artırmak, karşıt dişte aşınmaları azaltmak, yumuşak doku sağlığını korumak için glazür ve polisaj gibi yüzey bitirme işlemlerinin uygulanması bir yerde zorunluluktur. (Olivera ve ark., 2006) Fakat seramik yüzeyinin yeniden

glazürlenmesi ek randevular gerektirmekte ve tekrarlanan fırınlamalar materyalin yapısını etkilemektedir. Polisaj işlemi ise klinisyen tarafından; ağız içinde ve dışında kolaylıkla uygulanabilmektedir. CAD-CAM ile hazırlanmış seramiklerde polisaj işleminin, glazüre üstünlüğünü gösteren bilimsel bir kanıt olmadığını iddia eden çalışmalar mevcuttur. (Canceill ve ark., 2023) Bunlarla birlikte polisaj işleminin glazür işleminden daha etkili olduğunu iddia eden çalışmalar da vardır. (Fasbinder ve Neiva, 2016) Huh ve ark.'nın yaptığı çalışmada ise monolitik zirkonyaya polisaj işlemi yapılmasının hem yüzey pürüzlülüğünü hem de parlaklığını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. (Huh ve ark., 2018)

Bitim aşamasında seramik yüzeylerinin pürüzsüz hale getirilmesi ve bunun da hangi yöntemlerle sağlanacağı önemli bir konudur. Günümüzde farklı seramikler ve çeşitli yüzey bitirme teknikleri uygulanmaktadır.

Çalışmamızın amacı; 3 farklı çok katmanlı monolitik zirkonya seramiğine yapılan glazür ve polisaj işleminin; materyallerin optik özelliklerine ve faz değişimine olan etkisinin incelenmesidir.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 Zirkonya Seramikler

2.1.1 Zirkonyanın Tarihçesi

Zirkon eski çağlardan beri bir mücevher olarak bilinmektedir. Zirkonyum adı Arapça "Zargun" (altın renkli) kelimesinden gelmektedir. Bu kelimenin kökeninde ise Farsça "zar" yani "altın" ve Arapça "gun" yani "renk" kelimeleri vardır. (Piconi ve Maccauro, 1999) Zirkonya, zirkonyumun kristalin bir dioksitidir. Zirkonyum oksit ilk olarak 1969 yılında ortopedik uygulamalar için tıbbi amaçlarla kullanılmıştır. (Helmer ve Driskell, 1969)

Diş hekimliği alanının geliştiği yıllardan beri; metal alerjisi olan hastalar ve estetik sebeplerle diş hekimleri, metal içermeyen ve dişe benzer renkte restorasyonlar üretme amacıyla olmuşlardır. Bu yüzden biyouyumlu dental seramikler, 20. yüzyılın son çeyreğinde ilgi merkezi hâline gelmiştir. (Madfa ve ark., 2014)

2.1.2 Zirkonyanın Mikroyapısı

Zirkonya, temelde 3 fazda bulunabilir; monoklinik faz, kübik faz ve tetragonal faz. Saf zirkonya oda sıcaklığında monoklinik fazda ve 1170°C'ye kadar stabil kalır. Bu sıcaklığın üzerinde, 2370°C'deki erime noktasına kadar tetragonal fazdadır. Erime noktasından sonra ise kübik faza dönüşür. Soğutma sırasında, tetragonal faz 100°C ila 1070°C arasında değişen bir sıcaklıkta tekrar monokliniğe dönüşür. Soğutma sırasında meydana gelen faz dönüşümü, yaklaşık %3-4'lük bir hacim artışıyla sonuçlanır. (Piconi ve Maccauro, 1999) Monoklinik-tetragonal faz geçişi nedeniyle saf zirkonya oldukça nadir kullanılmaktadır. (Borik ve ark., 2014) Bununla birlikte, oda sıcaklığında metastabil kübik florit katı çözeltisi elde etmek için zirkonyaya uygun miktarda MgO, CaO, Y₂O₃ veya nadir toprak metal oksitleri katılarak bu faz geçişinin olumsuz etkisinin ortadan kaldırılabileceğine dair göstergeler vardır. (O.Ruff, 1929)

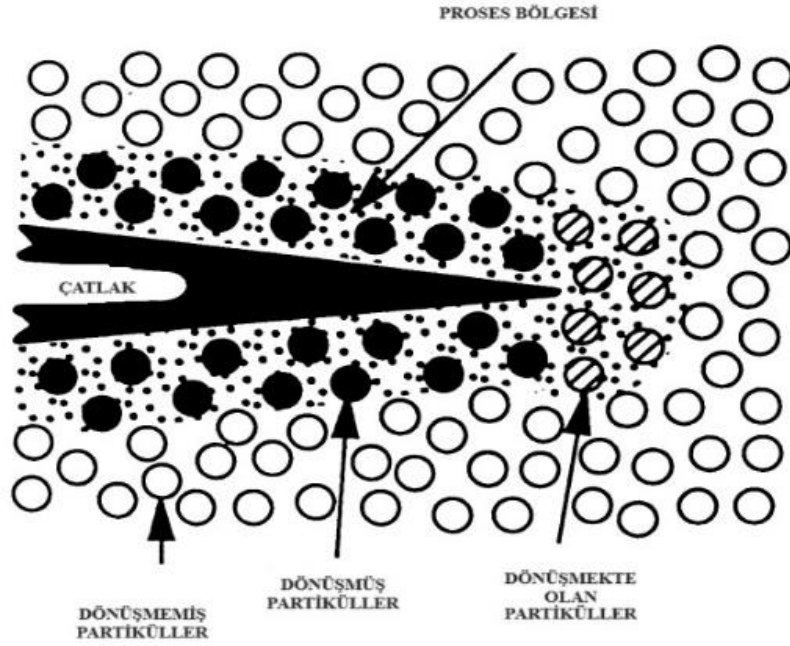
Zirkonyanın CaO, MgO, Y₂O₃ gibi oksitlerle güçlendirilmesi, oldukça stabil bir yapıya erişmesine neden olur ve bu tip zirkonyaya "Parsiyel Stabilize Zirkonya (PSZ)" adı verilir. Bu zirkonya bileşikler majör olarak kübik formdadır. (Heuer ve Hobbs, 1980)

1972 yılında Garvie ve Nicholson PSZ'nin mukavemetinin; monoklinik fazın kübik matriks içinde homojen ve ince bir şekilde dağılmasıyla geliştirildiğini göstermiştir. (Garvie ve Nicholson, 1972)

Zirkonya içinde meydana gelen faz dönüşümü farklı şekillerde tetiklenebilir;

- Termal yaşlanmanın yarattığı streslerle (Chevalier ve ark., 1999)
- Aşındırma prosedürleriyle (T Kosmač ve ark., 1999)
- Kumlamayla (Porter ve Heuer, 1977)

Zirkonyanın bir mühendislik malzemesi olarak kullanımında, zirkonyanın sertlik ve dayanımını en iyi hâle getirebilmek için nasıl bir tetragonal-monoklinik faz dönüşümü olması gerektiği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; kübik matriks içinde dağılmış olan metastabil tetragonal fazın, malzemede meydana gelen bir çatlakla monoklinik faza dönüştüğü gözlemlenmiştir. Faz dönüşümünden kaynaklanan hacim artışıyla oluşan gerilme alanı, çatlağın yayılmasını teşvik eden gerilme alanına karşı hareket eder. Çatlak ilerlemesiyle açığa çıkan enerji hem tetragonal-monoklinik faz dönüşümünde hem de hacim artışından kaynaklanan sıkıştırma gerilmelerinin üstesinden gelmede harcadığı için sertlikte bir artış görülür. (Garvie ve ark., 1990) Buna “dönüşüm sertleşmesi” denir. Çatlak oluşumu ile meydana gelen faz dönüşümü Şekil 2.1.'de şematize edilmiştir.



Şekil 2. 1. Çatlak oluşumu ile meydana gelen faz dönüşümü (Butler, 1985; Piconi ve Maccauro, 1999)

Dönüşüm sertleşmesindeki başlıca doğrudan mekanizma, stres kaynaklı dönüşüm ve muhtemelen buna bağlı meydana gelen çatlak sapmasıdır; en önemli dolaylı mekanizma ise büyük olasılıkla stres kaynaklı mikro çatlama. Stres kaynaklı dönüşüm; parsiyel stabilize edilmiş zirkonya (PSZ), tetragonal zirkonya polikristalleri (TZP) ve ZrO_2 içeren dispersiyonla sertleştirilmiş seramiklerde en önemli sertleştirme mekanizmasıdır. (Claussen ve Heuer, 1991) Eğer oluşan hacim artışı zirkonyanın elastik limitini aşarsa, çatlak ilerlemesi hızlanabilir ve yeni mikro çatlaklar oluşabilir.

Zirkonya materyali içindeki kabul edilebilir maksimum monoklinik faz oranı %25'tir. Bunun üzerindeki değerlerde, istenmeyen tetragonal faz-monoklinik faz dönüşümü meydana gelir. (T Kosmač ve ark., 1999; Turp ve ark., 2013)

Zirkonyanın yüzeyindeki tetragonal tanecikler, matris tarafından sınırlandırılmamıştır. Bu sebeple spontane olarak veya yüzeyin belirli bir derinliğinde meydana gelen kompresif kuvvetleri tetikleyen aşınma süreçleri sonucunda, monoklinik hâle gelebilirler. (Piconi ve Maccauro, 1999; Reed ve Lejus, 1977)

Zirkonya içeren pek çok seramik çeşidi bulunmasına rağmen diş hekimliğinde bunların yalnızca 3'ü kullanılır; itriyumla stabilize edilmiş tetragonal zirkonya polikristalleri (Y-TZP), magnezyum içerikli parsiyel stabilize zirkonya (Mg-PSZ) ve zirkonya ile güçlendirilmiş alümina. (Hannink ve ark., 2000)

Y_2O_3 ile stabilize edilmiş ZrO_2 sistemlerinde, oda sıcaklığında tamamen tetragonal fazda bulunan zirkonya seramikler elde edilebilir. Bunlar “Tetragonal Zirkonya Polikristalleri (TZP)” olarak adlandırılır. (Piconi ve Maccauro, 1999)

2.1.3 Y-TZP Seramikler

İtriyumla stabilize edilmiş tetragonal zirkonya polikristalleri, zirkon içerikli sistemlerin en çok tercih edilenidir. Hem mekanik hem de optik özellikler bakımından diş hekimliğinde son zamanlarda oldukça popüler hâle gelmiştir. CAD-CAM sistemleriyle üretilebiliyor olmaları sebebiyle de metal içermeyen restorasyon gerektiren durumlarda iyi estetiğe sahip bir alternatiftir. (Boudrias, 2005; Guazzato, Albakry, Ringer, ve Swain, 2004)

Bu sistemlerde Y_2O_3 miktarı yaklaşık olarak %3-4 mol kadardır ve tetragonal faz nanometre boyutundaki yüzlerce tanecikten oluşur. (Piconi ve Maccauro, 1999) Materyaldeki tetragonal faz fraksiyonu;

- İtriya içeriğine,
- Taneciklerin boyutuna,
- Matriks tarafından sınırlandırılan konsantrasyona bağlıdır. (Piconi ve Maccauro, 1999)

Tetragonal faz tanecikleri, yarı kararlı yapıdadırlar. İtriya içeriğine bağlı olarak, tetragonal-monoklinik faz dönüşümünün kendiliğinden meydana geldiği spesifik bir tanecik boyutu bulunur. Bu dönüşüm, çok ince tanecik boyutlarında engellenmiş olacaktır. (Theunissen ve ark., 1992) Dolayısıyla tetragonal taneciklerin boyutları inceltilerek sertlik ve mukavemet artırılabilir. (Ersoy ve ark., 2015)

2.1.3.1 İtriya İçeriğinin Y-TZP Seramiklere Etkileri

İtriya içeriğinin, tetragonal zirkonya polikristallerine farklı açılardan, birçok etkisi vardır. Yapılan bir çalışmada (Kulyk ve ark., 2022) itriya içeriğinin %3 molden %8 mole çıkarılmasıyla;

- Daha küçük taneciklerin fraksiyonundaki artış ve daha büyük taneciklerin fraksiyonundaki azalmayı takiben, ortalama tanecik boyutu artmıştır. Aynı zamanda tanecik yapısı daha homojen hâle gelmiştir.
- Yapı içerisindeki porların boyutları 2 kat azalmıştır.
- Tetragonal faz ($t\text{-ZrO}_2$), maksimum konsantrasyonu %4 mol itriya içeriğinde göstermiştir. İtriya içeriğinin %5 mole çıkmasıyla, $t\text{-ZrO}_2$ fraksiyonunda düşüş gözlenmiştir. Buna karşılık, kübik faz ($c\text{-ZrO}_2$) fraksiyonu maksimum değerini %5 mol itriya içeriğinde göstermiştir. İtriya içeriğinin %6-8 mole kadar artmasıyla, ZrO_2 'nin Y_2O_3 içeriğiyle daha derin bir şekilde stabilize olması beklenmesine rağmen, $c\text{-ZrO}_2$ fraksiyonunda bir artış gerçekleşmemiştir.
- Kırılma yüzeylerinde yapılan SEM analizlerine göre artan itriya içeriğiyle beraber kırılmalar daha homojen hâle gelmiştir.
- Mukavemetin itriya içeriğine bağımlılığı, monoklinik faz ($m\text{-ZrO}_2$) fraksiyonundaki değişim ile doğru, $c\text{-ZrO}_2$ fraksiyonundaki değişimle ise ters orantılı olarak değişir. İtriya yüzdesi %3'ten %5'e yükseldikçe, $m\text{-ZrO}_2$ fraksiyonundaki azalma ve $c\text{-ZrO}_2$ fraksiyonundaki artışa bağlı olarak mukavemet azalmıştır.
- Y_2O_3 içeriğindeki artışla birlikte; taneciklerin, porların, kırılma boşluklarının ve yarılmaya yüzeylerinin ortalama boyutları azalmıştır. Mikroyapının daha homojen hâle geldiği görülmüştür.

2.1.3.2 Y-TZP Seramiklerin Mekanik Özelliklerini Etkileyen Faktörler

- Stabilize edici itriyum oksit miktarı: ZrO_2 bileşiğine ilave edilen itriya içeriği faz stabilitesini, mekanik özellikleri ve iyonik iletkenliği önemli ölçüde etkiler. Zirkonya faz fraksiyonlarının Rietveld rafinasyonu ile değerlendirildiği bir çalışmada, % itriya mol ile uyumlu olarak 5 mol itriya içeren zirkonyada ağırlıkça %58,53 kübik faz bulunurken, 3,2 mol itriya içeren zirkonyada ağırlıkça %25,86'ya düşmüştür. Monoklinik faz ise itriya içeriği arttıkça azalan bir eğilim göstermiştir. (Q.-L. Li ve ark., 2022) İtriya içeriğinin artışı ile tetragonal faz miktarı azalır, tanecik boyutu artar, yapının kararlı hâli bozulur.
- Sıcaklık ve nem: Sıcaklık artışı ile zirkonya içerisinde spontane tetragonal-monoklinik faz değişimi meydana gelir. Faz dönüşümü ise hacim artışıyla sonuçlanacağı için materyal içerisinde mikro çatlaklara neden olabilir. Sıcaklığın

200-300 C° aralığında olduğu durumlarda, nemin de varlığıyla spontane faz dönüşümü görülür. Buna “düşük ısı bozunması” adı verilir. Düşük ısı bozunmasının temel özellikleri şu şekildedir (Chevalier ve ark., 1999);

- ✓ En hızlı 200-300 C° aralığında gerçekleşir ve zamana bağlıdır.
- ✓ Su veya su buharı varlığında faz dönüşümü artar.
- ✓ Dönüşüm, materyalin yüzeyinden merkezine doğru meydana gelir.
- ✓ Stabilize edici oksit miktarının artması veya tanecik boyutunun küçülmesi, faz dönüşümüne olan direnci artırır.

Nemin, sıcaklığa eşlik ettiği durumlarda faz dönüşümü oranının arttığı belirtilmiştir. (Luthardt ve ark., 2002; Swab, 1991)

- Tanecik boyutu ve şekli: Genel kabule göre dönüşüm sertleşmesi, zirkonya içerisindeki taneciklerin boyutuna bağlıdır. (Bravo-Leon ve ark., 2002) Tetragonal tanecikler büyüdükçe; faz stabilitesi azalır, stres kaynaklı faz dönüşümü eğilimi artar ve bu da sertleşmenin artmasına neden olur. (Trunec, 2008) Aynı zamanda, düşük ısı bozunması artar. Maksimum sertlik, tetragonal taneciklerin spontane olarak monoklinik faz dönüşümüne uğradığı kritik tanecik boyutuna bağlıdır. (Bravo-Leon ve ark., 2002) Tanecik boyutunun mikrometreden nanometreye geçmesi hâlinde kırılma sertliğinin düştüğü belirlenmiştir. (Cottom ve Mayo, 1996; Eichler ve ark., 2007) Nem varlığında; tetragonal fazdan monoklinik faza geçişi engellemek için, tanecik boyutunun 0,2 µm'den küçük olması önerilmektedir. (Sven Rinke ve Fischer, 2013) Taneciklerin, materyal içinde homojen dağılması ve por sayısının minimum seviyede olması, olası bir kırığın ilerlemesini güçleştireceği için gereklidir.
- Zaman: Polikristal yapıda olan Y-TZP materyali, cam faz içermediği için ağız içi stresler veya tükürük etkisiyle kırılma veya bozulmalar beklenmez. Faz dönüşümüne bağlı görülen dönüşüm sertleşmesi mekanizması sayesinde sertlik artar, çatlaklar ilerlemez. Fakat faz dönüşümü kontrolsüz meydana gelirse, yaşlanma görülebilir. Yaşlanmayla beraber yarı kararlı yapı bozulur, kontrolsüz faz dönüşümü nedeniyle mekanik özellikler olumsuz etkilenir. (Lughi ve Sergio, 2010; Munoz-Saldana ve ark., 2003)

- Materyale uygulanan aşındırma ve yüzey işlemleri: Klinik ortamında yapılan aşındırma ve polisaj işlemleri, Y-TZP seramiklerin mekanik özelliklerine olumsuz etkilerde bulunur. Aşındırma işlemi ile yüzey daha pürüzlü hâle gelir ve pürüzlü yüzeylerin yaşlanmanın olumsuz etkilerinden etkilenme ihtimali daha fazladır. (Khayat ve ark., 2018) Materyalin yüzeyinin ince bir frez ile aşındırılarak uyumlama yapılmasının mukavemeti artırdığını ancak kalın bir frezle (150 µm gridli) aşındırma yapıldığında mukavemetin azaldığını bildiren çalışmalar mevcuttur. (Maksoud ve ark., 1994) Simantasyon işlemi öncesi bağlanmayı artırmak için yapılan kumlama, lazerle pürüzlendirme gibi işlemlerin faz dönüşümünü tetiklediği ve mekanik özellikleri zayıflattığı bildirilmiştir. (Papanagiotou ve ark., 2006) Polisaj işleminin yüzey pürüzlülüğünü azaltması karşıt diş aşınmasını azaltması bakımından faydalı ve gereklidir fakat işlemin, materyalde monoklinik-tetragonal faz dönüşümünü tetikleyecek bir sıcaklığa neden olmaması gerekir.

2.1.3.3 Güncel Monolitik Y-TZP Seramikler

2.1.3.3.1 Monolitik Zirkonya Seramiklerin Genel Özellikleri

Monolitik kelimesinin kökeni Yunanca “mono” yani “tek” ve “lithis” yani “taş” kelimelerine dayanmaktadır. Terminolojik açıdan düşünüldüğünde “tek parça, tek ünite, tek bir materyalden meydana gelen” anlamındadır.

Saf zirkonya, oldukça opak olup rutin dental uygulamalarda tek başına kullanılmaya uygun değildir. Genellikle feldspatik seramiklerle beraber, bu materyallere altyapı materyali olarak tercih edilmektedir. Fakat klinik çalışmalar; 3 ila 5 yıllık takip süresinden sonra, Y-TZP altyapının sağlam kalmasına rağmen, veneerlenmiş seramik tabakasının değişen derecelerde chipping gösterdiğini ortaya koymuştur. (Raigrodski ve ark., 2006; Tinschert ve ark., 2008) Başka bir çalışmada, Y-TZP altyapılı veneerlenmiş kuronların değerlendirildiği toplam 31 klinik çalışmanın 15'inde, 2 ila 8 yıl arasında %10'dan fazla oranda chipping rapor edilmiştir. (Koenig ve ark., 2013) Chipping sorununun temel sebeplerinden birisi altyapı materyali ile veneer materyallerinin mekanik özellikleri arasındaki farklılıklardır. (de Lima ve ark., 2015) Kullanılan veneer materyalinin kırılma dayanımı yaklaşık 1 MPa kadarken; Y-TZP altyapının kırılma dayanımı, dönüşüm sertleşmesi nedeniyle 10 MPa'ya kadar ulaşabilmektedir. (G. Wang ve ark., 2014) Veneer

materyalinin zirkonya altyapıya bir fırça yardımıyla uygulandığı geleneksel üretim sistemlerinde, uygulanan seramik katmanının içinde büyük pörözitelerin kalıyor olması da bir başka chipping sebebi olarak görülebilir. (Scherrer ve ark., 2007) Chipping görülme sıklığını etkileyen bir diğer faktör de restorasyonun sinterleme fırınında soğutulması sırasında oluşan termal streştir. (Lenz ve ark., 2002; Tholey ve ark., 2011) Özellikle posterior bölgede yeterince altyapıyla desteklenmeyen veneerlenmiş porselenlerde de sıklıkla chipping görülür.

Tüm bu problemleri elimine etmek için, CAD-CAM sistemleriyle üretimin de gelişmesiyle beraber monolitik zirkonyalar piyasaya sunulmuştur. Chipping ihtimalinin azalmasının yanı sıra zirkonya materyalinin daha az kalınlıkta daha iyi mekanik özellikler göstermesi de büyük bir avantaj olarak görülmektedir. (Malkondu ve ark., 2016) Bu durum aynı zamanda daha az diş preparasyonu anlamına geldiği için diş dokusunun korunması demektir. (Güth ve ark., 2019)

Karşıt diş aşınması açısından düşünüldüğünde, yapılan çalışmalarda polisaj yapılmış monolitik zirkonya kuronların; glazürlenmiş monolitik zirkonya kuronlara ve polisaj yapılmış zirkonya altyapılı veneer kuronlara kıyasla daha az aşınmaya neden olduğu bildirilmiştir. (Malkondu ve ark., 2016)

2.1.3.3.2 Yeni Nesil Monolitik Y-TZP Seramikler

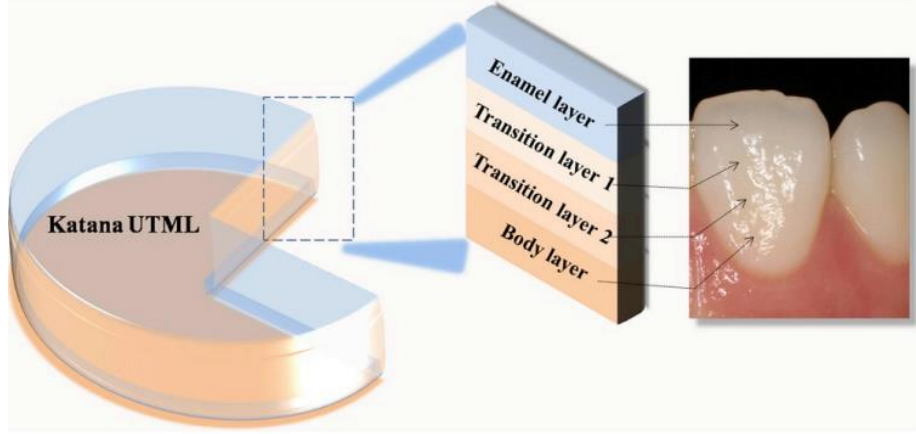
Monolitik Y-TZP seramikler, itriya içeriğine göre sınıflandırılır. Materyal üzerine yapılan çalışmalar arttıkça itriya ve alümina içerikleri, sinterleme dereceleri değiştirilerek mekanik ve optik özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

1.Nesil Y-TZP Seramikler: %3 mol itriya ile stabilize edilmiştir. %85-90 oranında tetragonal faz içerir. 1 GPa'dan daha yüksek mukavemete sahiptir ve ağırlıkça %0,25 alümina (Al_2O_3) içermektedir. (Malallah ve Hasan, 2023) Materyal oldukça opaktır çünkü tetragonal polikristalinler çift kırılma özelliği göstererek opasiteye neden olur. (Alqutaibi ve ark., 2022) Kübik faz ise kristal yapı boyunca ışığı tüm yönlere eşit iletir ve izotropik optik davranış gösterir. Böylece daha büyük miktarda ışık geçirgenliği sağlar. (M.-M. Manziuc ve ark., 2019) İlerleyen nesillerde kübik faz oranı artırılmaya çalışılıp translüsensi özelliği geliştirilmiştir.

2.Nesil Y-TZP Seramikler: Ağırlıkça %4-6 Y_2O_3 içermektedir. % 3 mol itriya ile stabilize edilmiştir. İkinci nesilde alümina içeriği ağırlıkça %0,25'ten %0,05'e düşürülerek materyalin ışık geçirgenliği artırılmıştır. Fakat alümina içeriğinin azaltılması ile materyaldeki tetragonal fazın stabilizasyonu azalmış, böylece materyal düşük ısı bozunmasına daha yatkın hâle gelmiştir. (Malallah ve Hasan, 2023) Bu nesil, posterior bölgede monolitik olarak kullanıma uygundur fakat anterior bölge için estetiği hâlâ yeterli değildir. (Tong ve ark., 2016) Katana HT (Kuraray Noritake), IPS e.max ZirCAD LT ve MO (Ivoclar Vivadent), Zenostar MO (Wieland Dental) bu gruba örnek gösterilebilir.

3.Nesil Y-TZP Seramikler: Ağırlıkça ortalama %7-8 Y_2O_3 içermektedir. %5 mol itriya ile stabilize edilmiş olan bu nesilde, kübik faz oranı %50'ye kadar ulaşmıştır. (F. Zhang ve ark., 2016) Kübik faz izotropiktir, bu da tane sınırlarındaki ışık saçılma miktarını azaltır. Bu nedenle kübik zirkonya daha şeffaf görünür. Stabilize kübik zirkonya oda sıcaklığında değişmediğinden, düşük ısı bozunmasına veya dönüşüm sertleşmesine uğramaz. Yani mekanik nitelikleri azalır ancak zamanla değişmez. (Malallah ve Hasan, 2023) Aynı zamanda tetragonal faz azalmış olacağından mekanik dayanım neredeyse 3 Y-TZP'nin yarısı kadar olmuştur. (Ban, 2020) Bu sebeple anterior bölgede kullanıma daha uygundur. (Yu Zhang ve Brian R Lawn, 2018) Cercon XT (Dentsply Sirona), Katana UT/UTML (Kuraray Noritake) Lava Esthetic (3M ESPE) bu gruba örnek gösterilebilir.

Katana UTML bloklar, 557 MPa değerinde mukavemete ve %43 ışık geçirgenliğine sahip olan materyallerdir. Katmanları arasında mukavemet farklılığı bulunmamaktadır. İtriya içeriğindeki artışla uyumlu olarak kübik faz oranı fazladır ve tanecik boyutu da bununla orantılı olarak artış göstermiştir. (N. Kolakarnprasert ve ark., 2019) Üreticinin önerilerine göre, 3 veya daha fazla üyeli restorasyonlar için kullanımı uygun değildir. Aynı zamanda yeterli dayanımı sağlayabilmesi için minimum 0,8 mm kalınlıkta olması gerektiği belirtilmiştir. Posterior tek diş restorasyonlar için 1mm, anterior tek diş restorasyonlar içinse 0,8 mm kalınlıkta kullanılmaları önerilmektedir. (Shamseddine ve Majzoub, 2017)



Resim 2. 1. Katana UTML bloğun katmanları (Shen ve ark., 2020)

4. Nesil Y-TZP Seramikler: 2. Ve 3. Nesil arasındaki bir itriya içeriğine sahip olan bu nesilde materyal %4 mol itriya ile stabilize edilmiştir. Ağırlıkça %6-7 Y_2O_3 içermektedir. Kübik faz oranı %65'e kadar gelmiştir. Mukavemeti 0,6-1 GPa arasında değişmektedir. (Yu Zhang ve Brian R Lawn, 2018) IPS e.max ZirCAD MT (Ivoclar Vivadent), Katana ST/STML (Kuraray Noritake), Zenostar MT (Wieland Dental) bu gruba örnek gösterilebilir.

Katana STML bloklar, 748 MPa mukavemete ve %38 değerinde ışık geçirgenliğine sahiptir. İtriya içeriğinde bir önceki nesle göre azalma olmuş ve buna bağlı olarak tanecik boyutu ve kübik faz oranı da azalmıştır. (N. Kolakarnprasert ve ark., 2019) Üreticinin

önerileri; anterior bölgede 0,8 mm, posterior bölgede 1 mm kalınlıkta kullanılması yönündedir. 3 üyeli köprü yapımına uygundur.



Resim 2. 2. Katana STML bloğun katmanları ("STML blok,")

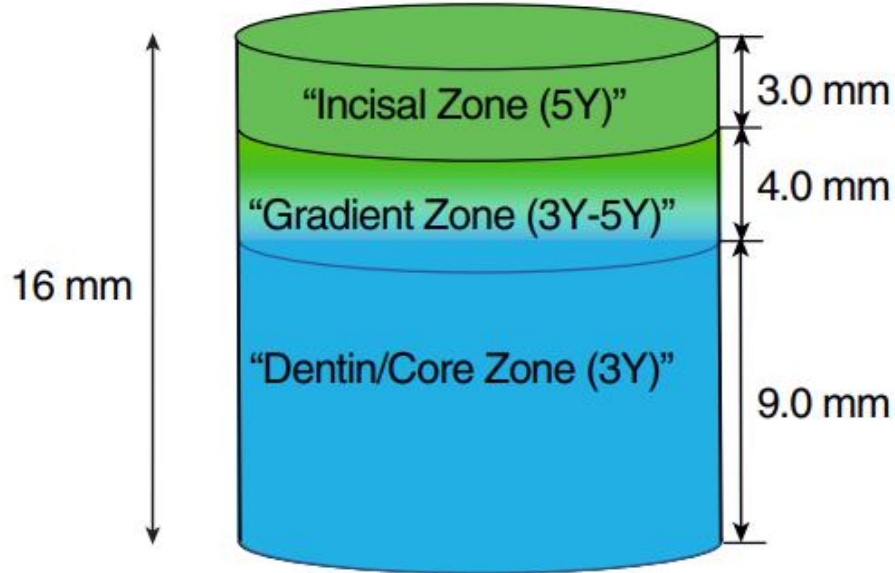
2.1.3.3.3 Çok Katmanlı Monolitik Y-TZP Seramikler

Monolitik zirkonya restorasyonlarda katmanlı porselen görünümünü taklit eden, iki ila yedi veya daha fazla renk katmanına sahip, translüsensi veya mukavemet gradyanlı, çok katmanlı zirkonya disk şeklinde üretilen materyallerdir. Çok katmanlı zirkonya seramikler, monolitik zirkonya restorasyonların renginin iyileştirilmesi için bir çözüm olarak tanıtılmıştır. (Askari ve ark., 2018; R. W. K. Li ve ark., 2014; Ueda ve ark., 2015) Her iki zirkonya neslinin avantajlarını birleştirmek amacıyla üretilmiştir. Temelde 5 Y-TZP'nin estetik, 3 Y-TZP'nin mekanik özelliklerinin kullanılması amaçlanmıştır. Geleneksel monochromatik zirkonyaya kıyasla daha estetiklerdir. (Malallah ve Hasan, 2023) Optik özelliklerin iyileştirilmesi adına, daha fazla kübik faz içerirler. (Almohammed ve ark., 2022) Bu materyalle, sinterlemeden hemen sonra da üstün estetik özelliklere sahip monolitik restorasyonlar elde edilebilir. (Sulaiman ve ark., 2015)

Çok katmanlı seramikler temelde 2 gruba ayrılabilir; polichromatik, renk gradyanlı, bütün katmanlarda aynı itriya içeriğine ve faz oranlarına sahip olan zirkonyalar ve polichromatik, mukavemet gradyanlı, katmanları arasındaki itriya içeriğinin ve faz oranının farklı olduğu zirkonyalar. (Ban, 2021) Örneğin renk gradyanlı 3 Y-TZP seramiklerde translüsensi düşük fakat mukavemet yüksektir. 4 ve 5 Y-TZP gruplarında

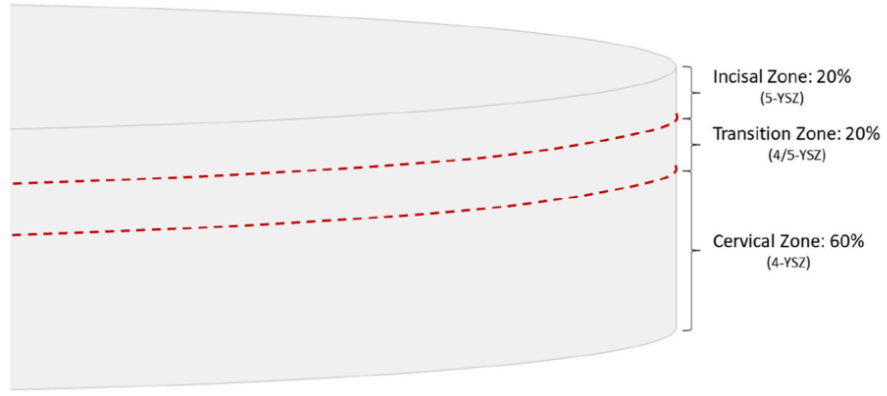
ise translüsensi yüksekken mukavemet düşüktür. (Too ve ark., 2021) Renk gradyanlı seramiklerde translüsensi-mukavemet arasındaki ilişki istenilen düzeyde olmadığı için mukavemet gradyanlı seramiklerin üretilmesi önerilmiştir. (Michailova ve ark., 2020)

Mukavemet gradyanlı çok katmanlı seramikler, farklı zirkonya nesillerinin birleştirilmesiyle üretilir. İnsizal/oklüzal katman translüsensi değeri yüksek olan 4 veya 5 Y-TZP zirkonyadan üretilirken; servikal katman mukavemeti yüksek olan 3 Y-TZP zirkonyadan üretilir. (Inokoshi ve ark., 2023) IPS e.max ZirCAD MT Multi, IPS e.max ZirCAD Prime blokları mukavemet gradyanlı çok katmanlı monolitik zirkonya seramiklere birer örnektir.



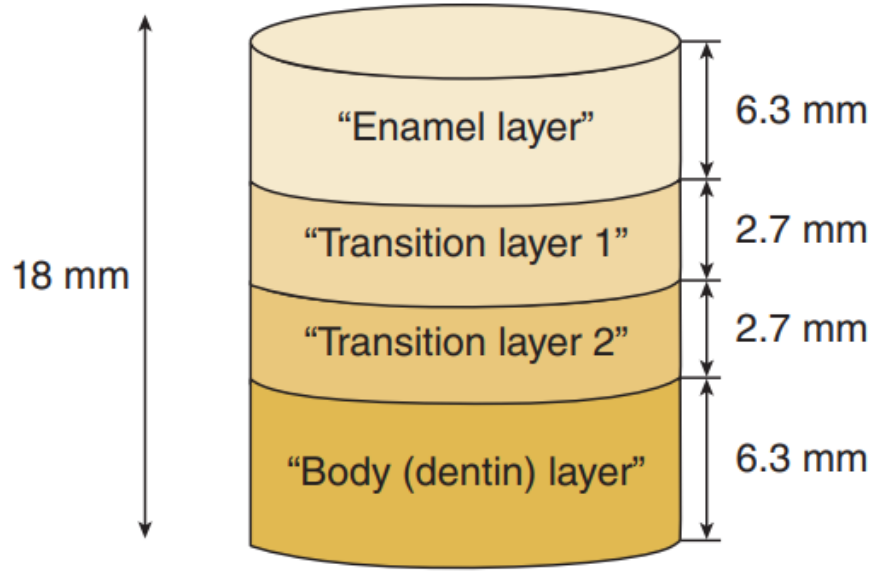
Resim 2. 3. Çok katmanlı mukavemet gradyanlı IPS e.max ZirCAD Prime blokların katmanları (Maharishi ve ark., 2024)

IPS e.max ZirCAD MT Multi; mukavemet gradyanlı çok katmanlı monolitik zirkonya bloklara örnektir. Katmanları arasındaki itriya içeriğinin farklı olması, materyalin farklı katmanlarda farklı mukavemet ve translüsensi değerlerine sahip olmasını sağlamıştır. Bu durum, özellikle de pontiklerde meydana gelebilecek kırıkları etkilemesi bakımından önemlidir. (Rosentritt ve ark., 2022) Üretici, kullanımının 3 üyeli köprülerle sınırlandırılmasını önermektedir.



Resim 2. 4. IPS e.max ZirCAD MT Multi bloğun katmanları (Machry ve ark., 2022)

Renk gradyanlı çok katmanlı Y-TZP seramiklerde; itriya içeriği değiştirilmeden, yalnızca pigmentasyonla renk gradyanı sağlandığı için mine ve dentin katmanları arasında mukavemet farkı oluşmaz. (Kaizer ve ark., 2020; Nantawan Kolakarnprasert ve ark., 2019) Diskler önceden sinterlenmiş olup, farklı derecelerde saydamlık ve renk yoğunluğuna sahip dört farklı katmandan oluşur: dış mine katmanı, iki adet geçiş katmanı ve bir iç gövde katmanı. Translüsensi derecesi dış katmandan iç katmana doğru azalırken, renk yoğunluğu artar. (Bruhnke ve ark., 2022) Katana UTML, Katana HTML, Katana STML bloklar renk gradyanlı çok katmanlı monolitik zirkonya seramiklere birer örnektir.



Resim 2. 5. Çok katmanlı renk gradyanlı Katana STML blokların katmanları (Maharishi ve ark., 2024)

Mukavemet gradyanlı ve renk gradyanlı iki farklı zirkonya seramiğin incelendiği bir çalışmada; farklı katmanlar arasındaki arayüzlerde, keskin sınırlar olmadan kademeli bir geçiş olduğu ve bu geçişlerin; mukavemet testi yapıldığında en zayıf bağlantıyı oluşturmayacak kadar güçlü oldukları belirtilmiştir. (Inokoshi ve ark., 2023)

Çok katmanlı monolitik zirkonyanın sağ kalım oranlarının 0,3-2,1 yıllık takip süreleri boyunca %91 ila %100 arasında değiştiği bildirilmiştir. (Leitão ve ark., 2022) Veneerleme gerektirmeden iyi bir estetik sağlamanın yanında chipping ve debonding ihtimâlini de minimize etmektedir. (C.-M. Kang ve ark., 2020; N. Kolakarnprasert ve ark., 2019)

2.1.3.3.4 Monolitik Zirkonya Restorasyonların Endikasyonları

- Zirkonyanın altyapı materyali olarak kullanılıp üzerine veneerleme yapıldığı bütün durumlar
- Anterior köprüler
- Full mouth sabit restorasyonlar
- İnlayler, onlayler ve endokuronlar
- Oklüzal mesafenin yetersiz olduğu durumlar
- İmplant üstü kuron ve köprülerde kullanılabilir. (Moscovitch, 2015)

2.1.3.3.5 Monolitik Zirkonya Restorasyonların Avantajları

- Biyouyumlu olması
- Minimal kalınlıkta üstün mekanik özellikler sergileyebilmesi nedeniyle diş preparasyonunu azaltmaya imkân tanınması
- Daha az ve homojen dağılmış alümina içeriği sayesinde daha iyi translüsensi (Sakka ve ark., 2001)
- Veneerlenmeye ihtiyaç duymadığı için chipping ihtimalini minimize etmesi
- Mekanik özelliklerinin iyi olması sebebiyle düşük interoklüzal mesafede bile dayanıklı olması
- Karşıt diş aşınmasının feldspatik seramiklere göre daha az olması
- Yüksek ısıya dayanıklı olması ve ağız içi ortamda boyutsal stabilitesinin iyi olması
- Mukavemetinin geleneksel zirkonyadan daha iyi olması (Tong ve ark., 2016)
- İntraoral ve ekstraoral uyumlama işlemlerinin yapılabilmesi

2.1.3.3.6 Monolitik Zirkonya Restorasyonların Dezavantajları

- Düşük ısı bozunmasına uğraması ve bu durumda açığa çıkan monolitik fazın, materyalin mekanik özelliklerini bozması
- Maliyetinin yüksek olması
- Tamirinin zor olması
- Lityum disilikatlara kıyasla translüsensi özelliklerinin düşük olması
- Materyal hakkındaki uzun dönemli çalışmaların yetersiz olması

2.1.4 Zirkonya Restorasyonlara Uygulanan Yüzey İşlemleri

Monolitik zirkonyanın yüzeyi ağız florası ve doğal antagonist diş ile doğrudan temas halindedir ve tükürük bileşimi, parafonksiyonlar ve hasta alışkanlıkları gibi klinik faktörler materyali etkiler. (Metzler ve ark., 1999) İdeal şartlar altında zirkonya restorasyonlarda aşındırma yapmaktan ve kontur oluşturmaktan uzak durulması gerekir. Çünkü bunlar yüzey pürüzlülüğüne yol açar ve bu da plak birikimi, karşıt dişte aşınma, periodontal sağlığın bozulması gibi olumsuz durumlarla yakından ilişkilidir. (Hmaidouch ve ark., 2014; Rashid, 2014) Fakat pek çok restorasyonda aksiyal, oklüzal uyumlamalar yapmak genellikle zorunludur. 3 noktalı bükme testi kullanılarak yapılan bir çalışmada,

zirkonyanın yüzey pürüzlülüğü ve dayanıklılığı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir negatif korelasyon bulunmuştur. (Hjerpe ve ark., 2016)

Polisaj işlemi, yüzey kusurlarını azaltarak materyalin mukavemetine katkıda bulunabilir. (Manicone ve ark., 2007; Papanagiotou ve ark., 2006) Polisaj işlemi sonucunda bir miktar ısı açığa çıkar. Bu ısı, monoklinik-tetragonal faz dönüşümü sınırının üzerinde meydana gelirse, mekanik performans üzerinde olumsuz bir sonuç gözlemlenebilir.

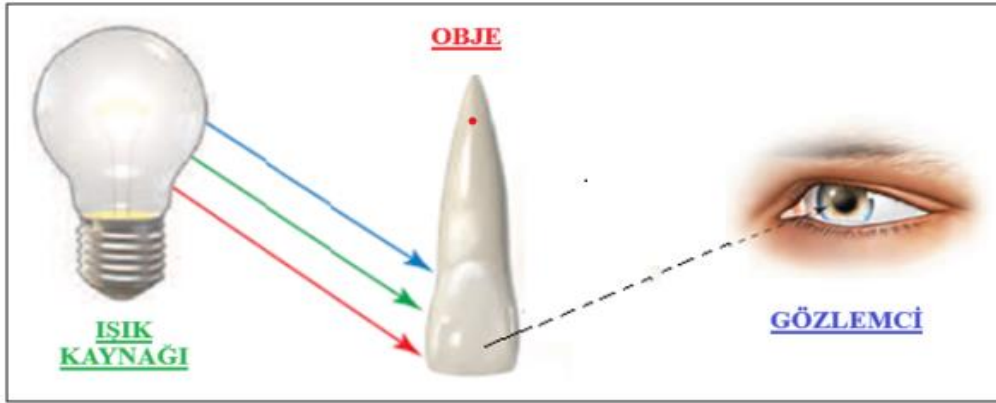
Yapılan çalışmalarda aşındırma işlemlerinin Y-TZP seramiklerin, mukavemeti ve kırılma sertliğinde artış ve aynı zamanda restorasyonların güvenilirliğinde azalma ile sonuçlanan çelişkili sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. (Doremus, 1992; Guazzato, Albakry, Quach, ve Swain, 2004; Swain, 1985)

2.2 Diş Hekimliğinde Işık ve Renk Kavramı

Işık, elektromanyetik spektrumun insan gözü tarafından algılanabilen kısmında yayılan elektromanyetik radyasyondur. İnsan gözü, 400-700 nm dalga boylarına sahip küçük bir elektromanyetik alandaki ışıkları algılayabilir. (Ubassy, 1993)

Renkler, elektromanyetik enerjinin farklı dalga boylarını veya salınımlarını temsil eden ışık dalgalarından kaynaklanır. Görünür ışık spektrumu kesintisiz olarak kırmızıdan mor/menekşe rengine doğru yayılmaktadır. (Fondriest, 2003) Görülebilir dalga boyundaki ışıkta çeşitli miktarda ışık yayan kaynaklar, cismin renginin algılanmasını sağlar. (Ubassy, 1993) Renk, ışık enerjisinin fiziksel olarak bir obje ile karşılaşması ve bu olayın da bir gözlemci tarafından algılanması ile oluşur. (Eroğlu ve ark., 2007)

Rengin algılanması temel olarak 3 öğeye bağlıdır. (Fondriest, 2003)



Resim 2. 6. Renk üçlüsü (Abdulsamee ve Nagi, 2020)

- I. Işık Kaynağı: Rengin algılanmasındaki en önemli faktörün ışık kaynağı olduğu düşünülmektedir. Temelde ışık kaynakları 3'e ayrılabilir; doğal, floresan ve akkor. Floresan ışık kaynakları, mavi ve yeşil renkleri güçlendirirken, akkor ışık kaynakları sarı ve kırmızı renkleri güçlendirir, mavi rengi ise zayıflatır. (Eroğlu ve ark., 2007) Gün ortasında görülen doğal ışık, ideal ışık kaynağı olarak belirtilmektedir. Günün bu zamanındaki ışık ise mevsimden ve aydan etkilenebilmektedir. Bu sebeple doğal olmayan renk kaynaklarının kullanımı gerekli görülmektedir. (Agrawal ve Kapoor, 2013) Doğal ışık kaynaklarının kullanılmadığı durumlarda, gündüz ışık kaynakları olarak bilinen ışık kaynaklarının kullanımı önerilmektedir. Renk sıcaklıkları 5.000° ile 6.500° K

arasında olan düzeltilmiş floresan ışık kaynakları iyi bir seçimdir. (Vadher ve ark., 2014)

- II.** **Obje:** Renk, nesnenin gelen ışığı absorbe etmesi veya yansıtmasına bağlı olarak değişen fiziksel bir özelliktir. Objelerden bazıları aldıkları ışığın tamamını yansıtırken, diğerleri ışığı neredeyse tamamen emer. (Overheim, 1982) Gözlemcinin gözüne yansıyan baskın dalga boyu, algılanan renk olmaktadır. (Vadher ve ark., 2014)
- III.** **Gözlemci:** Renk algısı büyük oranda gözlemcinin psikolojisine bağlıdır. İnsan beyinde renk algılayan pigmentlerden biri primer olarak mavi ışığı, biri yeşili ve biri de kırmızıyı algılar. Üç tip reseptör konisinden gelen uyarıların, gözden beyindeki daha yüksek görsel merkezlere iletilmeden önce bir şekilde kodlanmış bir sinyalde birleştirildiği düşünülmektedir. (Fondriest, 2003) Normal renk görüşüne sahip gözlemcilerin renkleri algılamasındaki farklılıklar, fotosensörlerin bir karışımına sahip olan fovea centralis çevresindeki alanın sorumluluğundadır. (Abdulsamee ve Nagi, 2020)

Rengin algılanmasındaki değişiklikler, normal fonksiyona sahip koni reseptörlerinin fizyolojik etkilerinden kaynaklanır. Işık retinadan uzaklaştırıldığında ortaya çıkan yayılma etkisi; reseptörlerin kısa bir süre daha aktif olmaya devam etmesi ve beyne sinyal göndermesi, klinisyeni yaygın olarak etkileyen bir ardıl görüntü (after image) örneğidir. (A. Pensler, 1998) Gözler, aynı anda maruz kaldığı farklı renkteki iki bitişik obje arasında ileri geri hareket edecek ve her biri için görülen renk, iki rengin bir kombinasyonu olacaktır. Klinisyenin bir renk kılavuzunu bir dişe yakın tutarken saniyeler içinde karar vermesi önemlidir, çünkü ikisi hemen giderek daha benzer görünmeye başlayacaktır. (Preston ve ark., 1978)

Koni reseptörlerinin yorulması, negatif bir ardıl görüntüye yol açar. Objelerin etrafında dolaşan gözlerdeki kırmızı reseptörler yorulurken, mavi ve yeşil reseptörler taze kalır ve tam olarak uyarılabilir. Örneğin eğer değerlendirilen dişin yanında kırmızı ruj kalırsa diş, çok mavi-yeşil algılanır. Negatif ardıl görüntüden kaçınmak için, Kulzer'in küçük ağız içi gri kartonu, Pensler kalkanları gibi nötr gri arka planlarla gözlere bir mola verilmeli veya %18 yansıtıcı achromatik gri kartlar arka plan olarak kullanılmalıdır. (A. Pensler, 1998) Mavi arka planların kullanılması önerilmez çünkü bunlar ardıl görüntülere neden olur ve algıyı, tamamlayıcı renk olan turuncuya yönlendirir. (Abdulsamee ve Nagi,

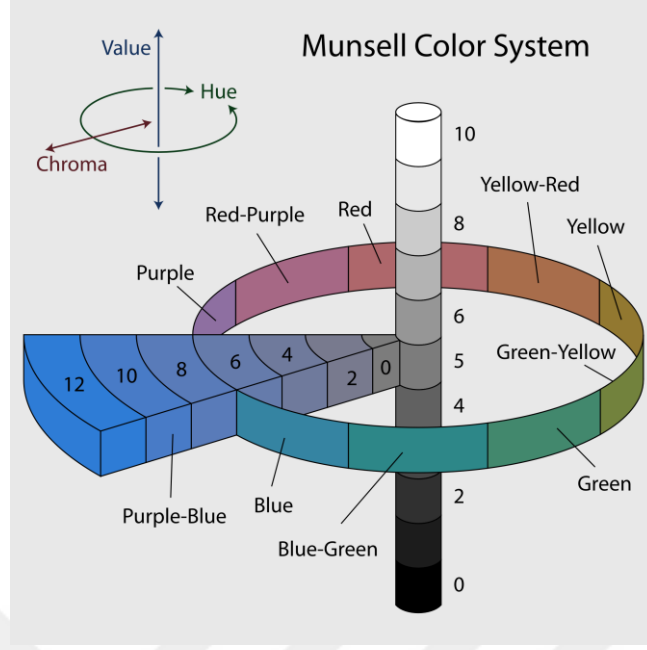
2020) Ton ve chromanın fotoğrafik değeriendirilmesi için mükemmel bir arka plan %18 yansıtıcı gri karttır. (A. V. Pensler, 1983)

2.2.1 Renk Sistemleri

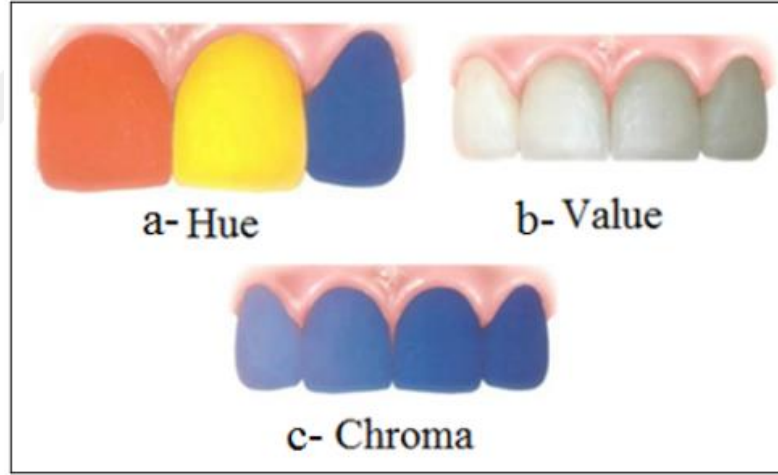
Diş hekimliğinde estetiğinin artan önemiyle beraber, uygun renk seçimi de hasta memnuniyeti ve mesleki tatmin için son derecede gerekli hâle gelmiştir. Rengin, gözlemciye bağılı olması ise renk konusunda objektif bir iletişim aracına ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur. 1611 yılında Sigried Forsius tarafından, rengin üç boyutlu olduğı tanımlanmıştır. Günümüzde bu özelliğı açıklamak için geliştirilen birçok sistem ve yaklaşım bulunmaktadır. (Sproull, 1973)

2.2.1.1 Munsell Renk Sistemi

Amerikalı ressam Albert Henry Munsell tarafından geliştirilmiş olan bu sistem; geçmişte ve günümüzde, renk ölçümü için diş hekimliği de dahil olmak üzere pek çok alanda yaygın olarak kullanılmıştır. (Cochrane, 2014) Bu sistemde renk “hue”, “chroma” ve “value” terimleriyle açıklanmaktadır. (Fondriest, 2003) (Jahangiri ve ark., 2002; O'Brien, 2002)



Resim 2. 7. Munsell Renk Ağacı (Rus, 2007)

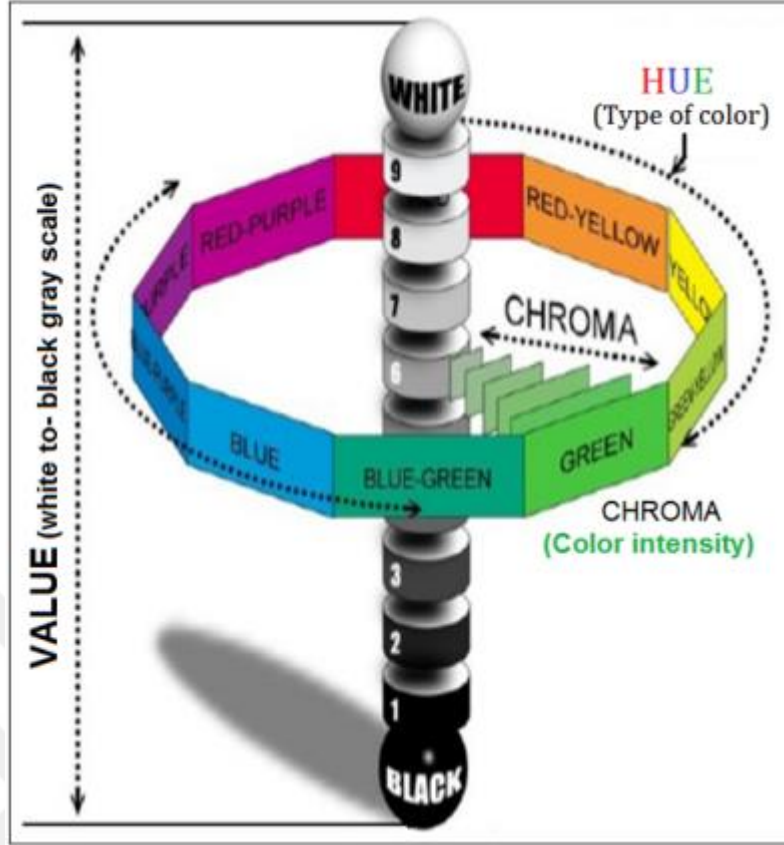


Resim 2. 8. Munsell'e göre renk parametreleri (Abdulsamee ve Nagi, 2020)

- Hue: Ton, tonalite anlamına gelir. Bir nesnenin rengidir. Ton doğrudan gözlenen ışık radyasyonunun dalga boyu ile ilgilidir. Örneğin menekşe, çivit mavisi, kırmızı, yeşil, mavi, sarı gibi. (Vadher ve ark., 2014) Munsell'in ifadesine göre "Bir renk ailesini diğerinden, örneğin kırmızıyı sarıdan, yeşili maviden veya mordan ayırt etmemizi sağlayan niteliktir. Dalga boylarının toplamının fizyolojik ve psikolojik bir yorumudur." (Jouhar ve ark., 2022) Vita Classic markasının yaygın olarak kullanılan renk tonu kılavuzunda A (kırmızımsı kahverengi), B

(turuncu sarı), C (yeşilimsi gri) veya D (pembemsi gri) ile gösterilir. (Lo Giudice ve ark., 2020)

- Value: Rengin, saf siyah ve saf beyaz arasındaki parlaklık değeridir. (SARIKAYA ve GÜLER, 2009) Objeden yansıyan ışık miktarına bağlıdır. Munsell; value kavramını, beyazdan siyaha gri bir ölçek olarak tanımlamıştır. Parlak objeler, daha düşük gri miktarına sahiptir. Value değeri düşük objeler ise daha büyük gri miktarına sahiptir ve daha koyu görünür. Bir karonun parlaklığı genellikle iki şekilde artırılır; daha açık porselen kullanılarak (chroma düşürülerek) veya yüzeyin yansıtıcılığı artırılarak. (Vadher ve ark., 2014) Farklı tonlardaki objelerin, aynı sayıda foton yansıtması ve dolayısıyla aynı parlaklığa veya değere (value) sahip olması mümkündür. Yaygın bir örnek, siyah beyaz bir fotoğrafta yeşil bir objeyi mavi bir objeden ayırmaya çalışırken yaşanan zorluktur. İki obje aynı miktarda ışık enerjisi yansıtır ve bu nedenle fotoğrafta aynı görünür. (Wee, 2006)
- Chroma: Renk tonunun doygunluğu, yoğunluğu veya gücüdür. (Vadher ve ark., 2014) Bir bardak suya kırmızı boya döküldüğü hayal edildiğinde, daha fazla kırmızı boya eklendikçe suyun renk yoğunluğu yani “chroma”sı artar fakat renk hâlâ aynı tondaki kırmızıdır. Chroma arttıkça, value azalır.



Resim 2. 9. Munsell renk sistemine göre hue, chroma ve value değerlerinin ilişkisi
(Abdulsamee ve Nagi, 2020)

Munsell renk skalası, kalitatif özellik taşıyıcı ve kliniklerde yaygın olarak kullanılır.
(Doğan ve Yüzüğüllü, 2011)

2.2.1.2 Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) XYZ Renk Sistemi

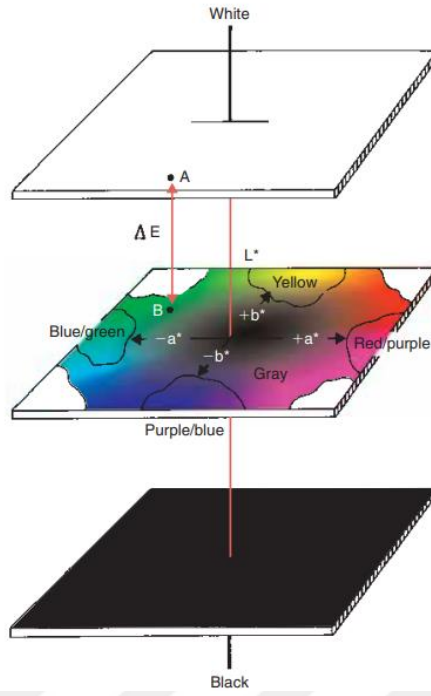
Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından, 1931 yılında tanımlanan bir sistemdir. Trichromasinin yani seçilen 3 farklı dalga boyunun uygun bir karışımı kullanılarak herhangi başka bir rengin eşleştirilebilmesinin temel prensiplerine göre geliştirilmiştir. (Burkinshaw, 2004) Bu sisteme göre bütün renkler X(kırmızı), Y(yeşil) ve Z(mavi)'nin bir karışımı sonucu ortaya çıkmıştır. (Paravina ve Powers, 2004; Seghi ve ark., 1986) XYZ değerleri, belirli bir renge insan görüşünün verdiği tepkiyi temsil eden tristimulus değerleridir. (l'Éclairage, 1931) Bir CIE yoğunluk diyagramı aynı zamanda kesin rengi tanımlamak için kullanılır. (Kahramanoğlu ve Özkan, 2013)

2.2.1.3 Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) L* a* b* Renk Sistemi

1976 yılında, CIE tarafından oluşturulan bu sistem; dünya çapında neredeyse sadece diş hekimliği alanındaki çalışmalarda kullanılmaktadır. (Okubo ve ark., 1998; S Rinke ve ark., 1996) Bu sistemin gücü, Munsell sisteminin aksine, renk uzayı boyunca belirlenen eşit mesafeler (renk farklılıkları veya ΔE), insan renk algısında da yaklaşık olarak tek tip adımları temsil ettiğinden ve renk ölçümlerinin yorumlanmasını geliştirdiğinden, klinik yorumlamada kullanılmaya imkân vermesidir. Bu, örneğin porselen bir kuronla doğal diş arasındaki kabul edilebilir renk farkının tanımlanabileceği anlamına gelir. (Wee, 2006)

L*; “lightness” anlamındadır. Renk uzayındaki vertikal eksendir. Rengin achromatik özelliğini tanımlar. Mükemmel siyah rengin L değeri 0 iken, mükemmel beyazın L değeri 100'dür. (Agrawal ve Kapoor, 2013) a* ve b* değerleri ise rengin chromatik özelliklerini belirtir, renk uzayındaki yatay eksenlerdir. a* ekseni; kırmızılık (pozitif a*) veya yeşillik (negatif a*); b* ekseni ise sarılık (pozitif b*) veya mavilik (negatif b*) olarak rengin yoğunluk (chroma) koordinatlarını belirler. (Guler ve ark., 2005; Mulla ve Weiner, 1991) CIEL*a*b sistemiyle, ultraviyole ışığa maruz kalmanın bir getirisi olarak meydana gelen L*, a* ve b* değerlerindeki değişim hesaplanabilir. Bu da total renk değişiminin belirlenmesinde kullanılır. (Joiner, 2004; Knispel, 1991; Saraç ve ark., 2006) Total renk değişimi için kullanılan formül şu şekildedir;

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$



Resim 2. 10. CIEL*a*b Renk Uzayı (Rosenstiel ve Johnston, 1988)

2001 yılında, CIE tarafından CIEL*a*b* formülünün daha geliştirilmiş bir versiyonu olan CIEDE2000 formülü oluşturulmuştur. (Luo ve ark., 2001) Bu formül eskisinden daha iyidir fakat kullanımı daha karmaşıktır. (S. J. Chu ve ark., 2010; Sharma ve ark., 2005) Bu formül şu şekildedir;

$$\Delta E_{00} = [(\Delta L'/K_L S_L)^2 + (\Delta C'/K_C S_C)^2 + (\Delta H'/K_H S_H)^2 + R_T(\Delta C'/K_C S_C)(\Delta H'/K_H S_H)]^{1/2}$$

$\Delta C'$ ve $\Delta H'$ chroma ve hue değerleri arasındaki farkı gösterirken; S_L , S_C ve S_H değerleri sırasıyla açıklık, chroma ve hue bileşikleri için renk farkı ayarlamasını düzenleyen ağırlıklandırma fonksiyonlarıdır. R_T , mavi bölgedeki chroma ve hue değerleri farklılıkları arasındaki etkileşimi hesaba katan bir fonksiyondur. (Ghinea ve ark., 2010) K_L , K_C ve K_H değerleri ise formülde; aydınlatma ve görüntüleme koşullarının etkisini yansıtmak için kullanılan parametrik faktörlerdir. CIE; K_L , K_C ve K_H parametrik faktörlerinin değerlerinin, endüstriyel uygulamaları temsil eden referans deney koşulları altında 1.0 olması gerektiğini belirtmiştir. (Bureau, 1995.)

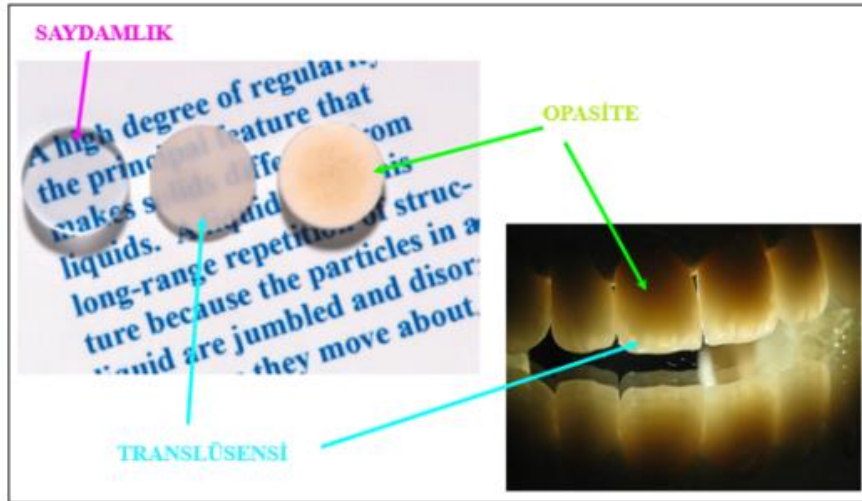
Renk biliminde renk farklılığının yorumlanabilmesi için 2 önemli kavram bulunur; algılanabilirlik eşiği ve kabul edilebilirlik eşiği. Gözlemcilerin %50'sinin algılayabileceği en küçük algılanabilir renk farklılığı değeri "algılanabilirlik eşiği"ni tanımlar.

Gözlemcilerin %50'sinin klinik olarak kabul edilebilir bulduğu renk farklılığı değeri ise “kabul edilebilirlik eşiği”ni tanımlar. CIEL*a*b* formülüne göre algılanabilirlik eşiği için $\Delta E_{a^*b^*}$ değeri 1,2 iken klinik kabul edilebilirlik eşiği için $\Delta E_{a^*b^*}$ değeri 2,7 olarak bulunmuştur. CIEDE2000 formülüne göre ise algılanabilirlik eşiği için ΔE_{00} değeri 0,8; klinik kabul edilebilirlik eşiği için ΔE_{00} değeri ise 1,8 olarak belirtilmiştir. (Paravina ve ark., 2015)

2.2.2 Cisimlerin Optik Özellikleri

2.2.2.1 Translüsensi

Materyalin ışık geçirgenliğidir. “Yarı şeffaflık” olarak tanımlanabilir. Dental seramiklerde, doğal dişlerin bütün görsel özellikleri taklit edilmeye çalışılır. Doğal dişler, saydam ile opak arasında bir yere koyabileceğimiz bu “translüsente” özelliğe sahiptirler. (Vadher ve ark., 2014) Genel olarak, translüsensi arttıkça value düşer çünkü gelen ışık materyal içinde dağılır ve materyalden daha az ışık yansır. (Fondriest, 2003)



Resim 2. 11. Translüsensi (Abdulsamee ve Nagi, 2020)

2.2.2.1.1 Translüsensiyi Etkileyen Faktörler

Diş minesinin translüsensi özelliği; ışığın geliş açısı, yüzey dokusu ve parlaklığı, dalga boyu ve dehidrasyon seviyesine göre farklılık gösterir. (Vadher ve ark., 2014)

Seramik restorasyonlarda, translüsensi özelliği büyük oranda ışığın spektral özelliğine bağlıdır. (Harianawala ve ark., 2014; Tong ve ark., 2016) Felspatik seramikler içindeki camsı nonkristalin yapı daha translüsens gözükürken kristalin yapı daha opak

gözükür. (Şencan ve Yanıkoğlu, 2021) Translüsensiyi kristal yapı dışında etkileyen faktörler de vardır. Bunlar partikül büyüklüğü, partikül yoğunluğu, pörözite, refraktiv index gibi durumlardır. (Giordano ve McLaren, 2010)

Monolitik zirkonya restorasyonlarda, translüsensiyi etkileyen pek çok faktör vardır. Üretim sürecinde ZrO_2 parçacıkları, tanecik boyutunu azaltmak için öğütülür ve yeşil zirkonya gövdesinin kompaksitesini artırmak için bir bağlayıcı ile karıştırılır. (Nakamura ve ark., 2016; Sarıdag ve ark., 2013) Bu özel süreç, zirkonyanın ışık geçirgenliğini artırır, daha düşük ve daha doğal bir value kazanmasını sağlar. (Kurtulmus-Yılmaz ve Ulusoy, 2014; Sulaiman ve ark., 2015; Tong ve ark., 2016; Vichi ve ark., 2016)

Genel bir kural olarak bir materyalin tanecik boyutu, gelen ışığın dalga boyuna ne kadar yakınsa ışığın saçılma miktarı o kadar çok olacaktır. (Subaşı ve ark., 2018) Yaklaşık 0,1 μm 'den daha küçük boyutlarda partiküller içeren materyaller, görünür ışık dalga boyuna maruz kaldıklarında; büyük partiküller içerenlere göre daha az yansıma ve absorpsiyon nedeniyle daha az opak, daha translüsens görünürler. (Y. Zhang, 2014)

Materyal içerisindeki porlar da translüsensi üzerinde etkilidir. Porların büyüklüğü arttıkça önemli ölçüde saçılma olur ve ışık iletimi azalır, translüsensi düşer. (De Souza ve ark., 2008; Vichi ve ark., 2016)

Materyale kontrollü fırınlama yapıldığında içerisinde oksijen boşlukları meydana gelir. (Heffernan ve ark., 2002; S. Zhang ve ark., 2018) Bu boşluklar, saçılma merkez olarak görev yaptıklarından ışık saçılmasını etkilerler. (Pekkan ve ark., 2020)

Zirkonya içerisinde yer alan oksit yapıdaki katkı maddeleri, taneciklerin sınırı üzerinde kontrol yapan mühendislik araçları gibi davranırlar. (Samodurova ve ark., 2015; Y. Zhang, 2014) Monolitik zirkonya materyallerde, katkı maddesi olarak genellikle ağırlıkça %0,25 alümina kullanılmaktadır. Yeni nesil monolitik zirkonyalarda, bu oran azaltılıp materyalin translüsensi özelliği artırılmaya çalışılmıştır. (Pekkan ve ark., 2020) Alümina miktarı aynı zamanda hidrotermal stabilite ve mekanik özelliklerinin korunabilmesi için de önemlidir.

İtriya içeriğinin %3 molden %5-8 mole çıkartılması, materyalin opasitesinin azalmasını, translüsensi özelliğinin artmasını sağlar. (Y. Zhang, 2014)

Monoklinik fazın kendisi, bir defekt gibi davranıp materyalin translüsensiliğini azaltabilir. (Fathy ve ark., 2015) Kübik faz ise izotropik kırılma indeksine sahip olduğu için translüsensi üzerinde pozitif bir etkide bulunur. Tetragonal faz, iyi çift kırınım gösterir. Zirkonya içerisindeki tetragonal faz oranı artırılarak iyi bir translüsensi elde edebilmek mümkündür fakat aynı anda mekanik özellikleri de koruyabilmek için tanecik boyutu azaltılmalıdır.

Sinterleme sıcaklığı ve süresi de monolitik zirkonyaların translüsensi özelliğini etkileyen faktörlerdendir. Sinterleme esnasında, tutma zamanının artmasıyla tanecik boyutu artar ve bu da translüsensiyi artırır. (Vichi ve ark., 2016)

2.2.2.2 Opalesans

Opalesans, bir malzemenin kendisinden ışık yansıtıldığında bir renk, ışık içinden geçirildiğinde ise başka bir renk olarak görünmesi olgusudur. (Sundar V, 1999) Doğal bir opal, transillüminasyonlu ışığı kırılma yoluyla bileşen spektrumuna ayıran sulu bir disilikattır. Opaller ve mine, aydınlatıldığında kırmızı ışığı transillümine eder ve mavi ışığı bünyesinde dağıtır; böylece mine renksiz olmasına rağmen mavimsi görünür. (Ten Bosch ve Coops, 1995; WINTER, 1993) Minenin opalesan etkileri dişi aydınlatır ve ona optik derinlik ve canlılık kazandırır. (Garber ve ark., 2000)



Resim 2. 12. Diş minesinin opalesans özelliği (Vadher ve ark., 2014)

2.2.2.3 Floresans

Floresans, tanım olarak ışığın bir madde tarafından absorbe edilmesi ve aynı anda spontane olarak daha uzun bir dalga boyunda yayılmasıdır. (Abdulsamee ve Nagi, 2020) Doğal bir dişte, organik molekül miktarının fazla olması nedeniyle öncelikle dentinde

meydana gelir. (Orban, 1944; Overheim, 1982) Floresan bir madde; aldığından daha fazla görünür ışık yayar, bu da floresan olmayan bir maddeden daha parlak görünmesini sağlar. (McLAREN, 1997; Nassau, 1997; Sensi ve ark., 2007) Normal dişler, dentinin mineden üç kat daha fazla floresan vermesine neden olan triptofan gibi amino asitler içeren dentin sayesinde oto-floresan özelliğe sahiptir. (Monsénégo ve ark., 1993) Seramik kuronlara; floresans özelliği artırmak, renk bozukluklarını engellemek ve chroma değerini azaltmak için floresan tozlar eklenir. (Fondriest, 2003)



Resim 2. 13. Dişin floresans özelliği (Vadher ve ark., 2014)

2.2.2.4 Metamerizm

Metamerizm; bir ışık kaynağı altında belirlenmiş bir cismin renginin, diğer bir ışık kaynağı altında başka bir renk olarak görünmesi fenomenidir. (Anusavice, 1996) (Knispel, 1991; Watts ve Addy, 2001) Opak bir nesnenin rengi, üzerinden yansıyan dalga boylarının toplamıdır. Seramikler; spektrumun bir bölümünde, mine ile aynı şekilde yüzeyinden ışık yansıtabilir ancak farklı aydınlatma altında daha önce aynı görünen bu iki materyal, farklı görünebilir. (Vadher ve ark., 2014) Eşleştirecek iki malzemenin kıvrımları ne kadar yakın olursa, renk eşleşmesi o kadar başarılı olacaktır. (Sproull, 1974) İdeal olarak hem diş hekimi hem de laboratuvar teknisyeni dengeli tam spektrumlu aydınlatma koşullarına sahip olmalıdır. (Fondriest, 2003)

2.2.3 Renk Ölçüm Yöntemleri

2.2.3.1 Görsel Ölçüm

En sık kullanılan yöntem, diş renginin, sabit diş rengi skalaları ile karşılaştırılması yöntemidir. (Van der Burgt ve ark., 1990) Görsel ölçüm, renk belirlenmesinde sıklıkla

kullanılmasına rağmen genellikle güvenilir olmayan ve tutarsız sonuçlar vermektedir. (Okubo ve ark., 1998; Wee, 2006) Bu yöntemde; diş ve skala aynı ışık altında, aynı gözlemci tarafından subjektif olarak değerlendirilir. Renk tespit süresi çok kısa ve maliyeti çok düşüktür. (Müdüroğlu ve ark., 2018) Işık ve gözlemci gibi etkenlere bağlı olmasının ve metamerizm gibi handikaplarının yanında şu dezavantajları da bulunur (Kurt ve ark., 2016):

- Renk skalaları, bütün doğal diş renklerini kapsamaz.
- Elde edilen sonuçları CIE renk sistemine dönüştürmek mümkün değildir.

Görsel ölçüm, gözlemcinin rengi algılamasına bağlı olarak yapılır. Renk algılamasını etkileyen faktörler şunlardır (S. J. Chu, 2004);

- ✓ Işık şiddeti
- ✓ Gözlemci kaynaklı faktörler
 - Yaş
 - Cinsiyet
 - Renk körlüğü
 - Duygusal durum
 - Beslenme, ilaçlar

Renk ölçümü için ideal ışık kaynağı, 5500°K renk ısısına sahip olmalıdır. (Kurt ve ark., 2016) CRI; belirli bir ışık kaynağının, spesifik standart ışık kaynağıyla kıyaslandığında hangi seviyede renk sunabildiğini belirten indekstir. 0-100 arasında derecelendirilme yapıldığında, renk ölçümünde CRI değeri 90'ın üstünde olan ışık kaynağı kullanılmalıdır. (Wee, 2006)

2.2.3.2 Enstrümental Ölçüm

Renk ölçümünde enstrümanların kullanımı, standardizasyon sağlanması açısından önemlidir. Güncel renk ölçüm cihazları 4 kategori altında toplanabilir. (Paravina ve Powers, 2004)

- Kolorimetreler
- Spektrometreler
- Spektrofotometreler
- Dijital kameralar

Bunların bir kısmı renk ölçümü yaparken SM (spot measurement) yöntemini, bir kısmı ise CTM (complete tooth measurement) yöntemini kullanır. (Müdüroğlu ve ark., 2018) SM, yöntemini kullanan cihazlarda dişin renk tespiti için farklı farklı noktalardan ölçüm yapmak gerekir. CTM yönteminde ise tek ölçümle dişin renk haritası çıkartılabilir. (Doğan ve Yüzügüllü, 2011)

2.2.3.2.1 Kolorimetreler

Kolorimetreler; rengi, standart aydınlatma koşulları ve görme açısı altında sadece tristimulus değerlerini analiz ederek ölçer. Cihaz içerisindeki neredeyse insan gözü hassasiyetinde filtrelenmiş üçlü sensör; ışığı objeden alır ve CIE standartlarına göre belirlenmiş XYZ tristimulusunu baz alarak renk verilerine dönüştürür. (Korifi ve ark., 2013)

Bu cihazlar düz yüzeylerde ölçüm yapmak için tasarlanmıştır. Ancak dişler çoğunlukla düz yüzeye sahip değildirler. (Müdüroğlu ve ark., 2018) Translüsens materyallerin renk ölçümünde ışığın kırılarak dağılması nedeniyle problemler yaşanabilir. (Miara ve ark., 1998) Filtrelerinin çabuk eskimesi ve spektral yansıtmayı kaydetmiyor oluşu sebebiyle, spektrofotometrelerden daha az güvenilir olduğu belirtilmiştir. (Kim-Pusateri ve ark., 2009)

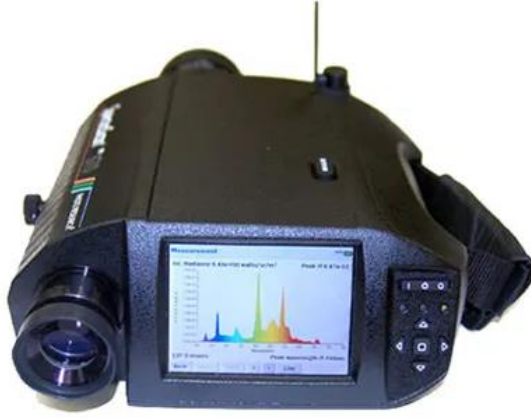
Diş hekimliğinde renk ölçümü için tasarlanan ilk kolorimetre, “Chromascan” (Sterngold, Stamford, Conn) isimli cihazdır ancak ölçüm başarısı yetersiz görülmüştür. (Brewer ve ark., 2004; Goodkind ve ark., 1985) ShadeEye NCC, Shade Eye Ex, ShadeRite Dental Vision System cihazları diğer kolorimetrelere örnek olarak gösterilebilir.



Resim 2. 14. Kolorimetre örneği ("Kolorimetre ")

2.2.3.2.2 Spektrometreler

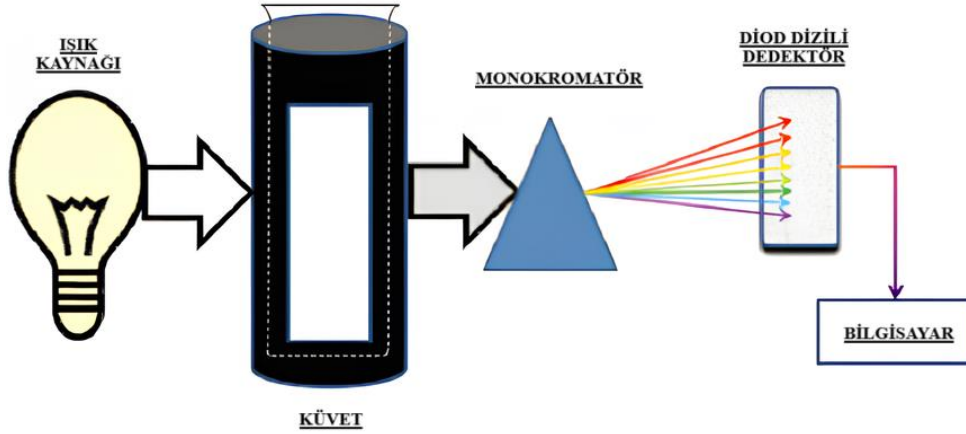
Spektrometreler, parlaklık (irradiance) ve ışınım (radiance) gibi radyometrik değerlerin ölçümü için tasarlanmıştır. Renkleri, saydamlığı yansıtarak veya yayılan ışığı projektör yardımıyla beyaz ekrana ileterek ölçer. (Schmitter ve ark., 2008) Spektrometrik ölçüm yöntemleri temelde cisimlerin; renk, doku, parlaklık ve görünüş gibi özelliklerini veren kimyasal yapısından kaynaklanan kendine özgü ışınım değerlerinin bulunmasına dayanmaktadır. (Turgut ve Bağış, 2012) Görsel yolla renk belirlenirken oluşturulan standart gözlem koşullarında, materyale değmeden hem kendisi hem de yüzeyi parlak olan cisimlerin renk ölçümlerinin yapılabilmesi bu cihazların en büyük avantajıdır. (Park ve ark., 2006) Aynı zamanda, spektrometre ile rengi ölçülen objenin arasında açıklık bulunmadığı için objeden yansıyan ışığın cihaza tam olarak geri dönememesi (edge loss) problemi ortadan kalkmıştır. (Keyf ve ark., 2009) Çalışmalarda, dış renginin veya seramik kor yapıların translüsensi değerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. (Brewer ve ark., 2004; Swepston JH, 1994) CS-1000A, CS 1000S, CS1000T modelleri ve SpectraScan PR 670 ve Spectra duo PR 680 tipleri bilimsel araştırmalarda kullanılan spektrometrelere örnektir. (Doğan ve Yüzügüllü, 2011)



Resim 2. 15. Spektroyadyometre 6rneği, SpectraScan PR 670 ("SpectraScan PR 670,")

2.2.3.2.3 Spektrofotometreler

Yüzey renklerinin ölçülmesinde en çok kullanılan cihazlardır. (Kurt ve ark., 2016) İçerisinde bir monochromatör, dedektör ve ışık kaynağı bulunur. (Paravina ve Powers, 2004; Turgut ve Bağış, 2012) Dedektör; ışığı, analiz edilebilecek sinyaller elde edebilmek için dönüştürür. (S. J. Chu ve ark., 2010) Çalışma prensipleri; objeden yansıyan ışığın, beyaz bir yüzeyden yansıyan ışığa oranının ölçülmesi işlemine dayanmaktadır. Cihazın içinde; beyaz ışığı 10-20 nm dalga boyları arasında bir spektruma ayıran prizma bulunmaktadır. (Wee ve ark., 2000)



Resim 2. 16. Diod dizili bir spektrofotometrenin çalışma prensibi (Dondelinger, 2011)

Kolorimetrelerden farklı olarak metamerizmi algılayabilme özellikleri bulunur. Farklı ışık kaynakları altında farklı sonuçlar verebildiği için daha çok bilimsel araştırmalarda, kalite kontrolünde ve rengin tanımlanmasında kullanılır. (S. J. Chu, 2004; Turgut ve Bağış, 2012)

Birçok spektrofotometre genellikle nokta ölçümü yapar. Ancak son dönemde tüm dış yüzeyinin ölçümünü yapan laminar tipte spektrofotometreler geliştirilmiştir.

Piyasada kaliteli ve yüksek güvenilirlikte pek çok spektrofotometre bulunmaktadır. Crystal Eye (Olympus, Tokyo, Japan) geleneksel spektrofotometrelerin faydalarını dijital fotoğrafçılıkla birleştiren güncel bir spektrofotometredir. Farklı ışık altında ve farklı gözlemciler tarafından kullanıldığında bile tutarlı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. (Witkowski ve ark., 2012)



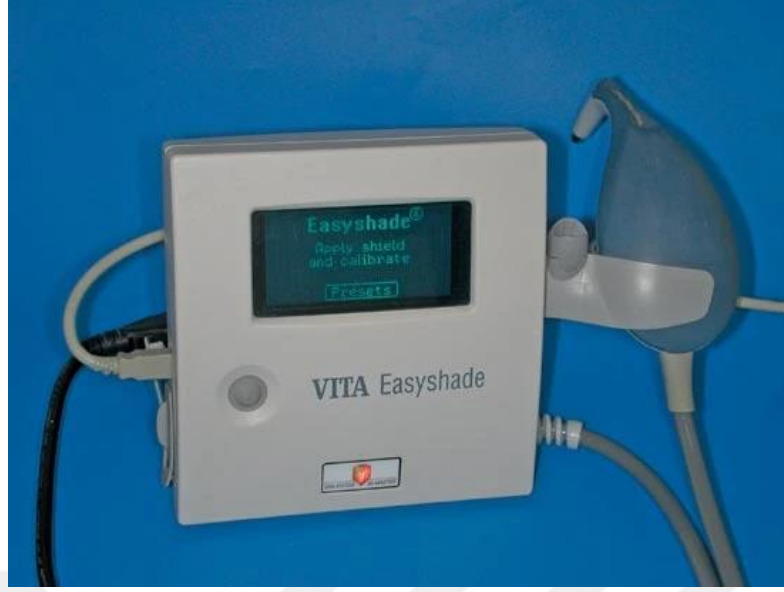
Resim 2. 17. Crystal Eye (Olympus, Tokyo, Japan) spektrofotometresi (Odaira ve ark., 2011)

SpektoShade Micro (MHT, Niederhasli, Switzerland) bir görüntüleme spektrofotometresidir. Bir dijital kamera ve LED spektrofotometre kombinasyonudur. (Müdüroğlu ve ark., 2018) Bu cihazda, renk değerlerine etki eden speküler yansımayı elimine etmek için polarize filtreler kullanılır ve bu filtrelerle elde edilen polarize görüntüler; daha sonra renk analizi ve hesaplamalarda kullanılabilir veya cihazın datasında bulunan skalalarla karşılaştırılabilir. (Kurt ve ark., 2016) Cihazın yazılımı, renk haritası çıkarabilmektedir. (Vichi ve ark., 2011) Cihaz, CTM ölçüm yapmaktadır. Birinci ve ikinci ölçüm dizisi arasında iyi bir uyum olarak yorumlanabilecek 0,80'lik bir Kappa değeri sağlamıştır. Tekrarlanabilirliğinin yüksek olduğu belirtilmiştir. (Khurana ve ark., 2007)



Resim 2. 18. SpektroShade Micro (MHT, Niederhasli, Switzerland) spektrofotometresi
(Spektrofotometre)

Vita Easyshade (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany); 2002 yılında kullanıma girmiştir. Fiberoptik kabloyla ana üniteye bağlanan bir el aparatından oluşur. Ölçüm işlemi sırasında diş; ışığı ana üniteye bulunan halojen lambadan diş yüzeyine yönlendiren probun periferiyle aydınlatılmaktadır. El aparatında ışık kaynağını görüntüleyen ve dişin iç kısmında yayılan ışığı ölçen çok sayıda spektrometre bulunmaktadır. Çeşitli filtre ve fotodiyotların kombinasyonu probun merkezinde yerleşmiş fiberlerle yüzeyden dönen ışığı alır. Bu donanıyla yayılan ışığın spektral yansıması 25 nm'lik aralıkta ölçülmektedir. Ölçüme başlamadan önce ölçüm modu (diş, restorasyon veya renk skalası) seçilmelidir. (Kurt ve ark., 2016) Cihaz ölçüm sonucunu, Vitapan Classical ve Toothguide 3D-Master skalalarına göre vermektedir. (O'Brien, 2002)



Resim 2. 19. Vita Easyshade spektrofotometresi (Khurana ve ark., 2007)

2009 yılında piyasaya sürülen Vita Easyshade Compact; daha gelişmiş bir versiyondur. Kablosuz, küçük, taşınabilir, uygun fiyatlı, pilli ve temaslı tiptedir. Hedef bölgenin aydınlatmasını LED ışık kullanarak yaptığı için ölçümlerin ortam koşulları ve aydınlatmadan etkilenmeyeceği iddia edilmiştir. Güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği yüksek bir cihazdır. (Brewer ve ark., 2004; Dozić ve ark., 2007; Yuan ve ark., 2012)



Resim 2. 20. Vita Easyshade Compact ("Spektrofotometre ")

2.2.3.2.4 Dijital Kameralar

Elektronik renk ölçümünün en basit formudur. Dijital kameraların diş hekimliğinde doğru rengi belirlemek için kullanımı, herhangi bir kraniyofasiyal protez için renk taklit etme sürecinde oldukça avantajlıdır. (Wee ve ark., 2002) Materyalin polichromatik rengini, formunu, dokusunu ve algılanan saydamlığını yakalama imkânı sağlar. (S. Chu ve Tarnow, 2001; Zyman ve Etienne, 2002) RGB (red-green-blue) cihazları olarak da anılır. Çalışma prensibi; klinikte alınan fotoğrafın, bilgisayarda analiz edilmesine dayanır. (Turgut ve Bağış, 2012) Dijital kameralar renk sinyallerini kırmızı, yeşil ve mavi sinyaller şeklinde alır. Sensörler, CIE'nin standart gözlemcisi ile aynı spektral hassasiyete sahip olmadığı için kameradaki RGB değerleri CIE'nin XYZ değerleriyle uyuşmaz. Bu yüzden, ölçüm yapılırken RGB değerleri CIE'nin XYZ değerlerine çevrilmelidir. Bu işleme "kamera karakterizasyonu" adı verilmektedir. (Paravina ve Powers, 2004) Alınan fotoğraflardan renk belirlenmesi, fotoğrafın kalitesinden etkilenir. Kameranın tipi, ışık ayarları, ortamın aydınlatması, rengi ölçülen dişin pozisyonu gibi faktörler de görüntünün kalitesini etkilemektedir.

En büyük avantajı, tek bir noktanın değil tüm objenin renk görünümünün elde edilebilmesidir. (Lath ve ark., 2007) Hekim-laboratuvar iletişimde standardizasyon sağlanabilmesi de önemli bir avantajdır.

ClearMatch (Smart Technology, Hood River, OR), Windows platformlu bir bilgisayar ve dijital kamera gerektiren bir yazılım sistemidir. Dijital renk sinyalini düzgün bir şekilde kalibre etmek için, her fotoğrafa bir siyah beyaz standart ve bir gölge sekmesi eklenmelidir. (Shajahan ve ark., 2019)

2.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Yüzey morfolojilerini analiz etmekte kullanılan yöntemlerden biridir. Nanometre düzeyinden mikrometre düzeyine kadar inceleme yapılabilmesine imkân tanır. (Mohammed ve Abdullah, 2018) 300.000 kat büyütme yapabilen bu mikroskoplar, 1962 yılında yayımlanan makalelerle beraber dış hekimliği alanında kalitatif ve kantitatif pek çok araştırmada kullanılmıştır. (Stewart ve Boyde, 1962) Bir elektron mikroskobunun temel yapısında; bir elektron tabancası, anot, elektromanyetik lens, tarama bobinleri, numune tutucu ve dedektörler (SE, BSD, EDS ve daha fazlası) bulunur. (Syed, 2017) Yüksek enerjili bir elektron demeti, örneği taramak için elektron tabancası tarafından örnek yüzeyine yollanır; bu elektron demeti örneğe çarpar ve sonuçta SE, BSD, EDS gibi bir dedektör tarafından toplanan sinyaller meydana gelir. (Saghiri ve ark., 2012) Toplanan sinyaller sayesinde, örnek yüzeyinin morfolojik ve topografik özellikleri elde edilir. Dedektörlerde toplanan elektron sayısı ne kadar fazla olursa görüntü o kadar parlak; ne kadar az olursa görüntü o kadar karanlık olur. (Dérand ve Derand, 2000; Seitavuopio, 2006)



Resim 2. 21. Quanta marka SEM cihazı (Mohammed ve Abdullah, 2018)

SEM analizinde en iyi sonuçları alabilmek için örneğin 100 nm'den daha kalın olmaması gerekmektedir. (Syed, 2017) Aynı zamanda örneklerin incelenebilmesi için elektriksel iletken olmaları gerekir. Bu sebeple iletken olmayan inceleme materyalleri; alüminyum, altın, karbon, gümüş gibi elementlerle kaplanarak iletken hâle getirilir. (Leslie ve Mitchell, 2007)

2.4 X Işını Kırınım (XRD) Analizi

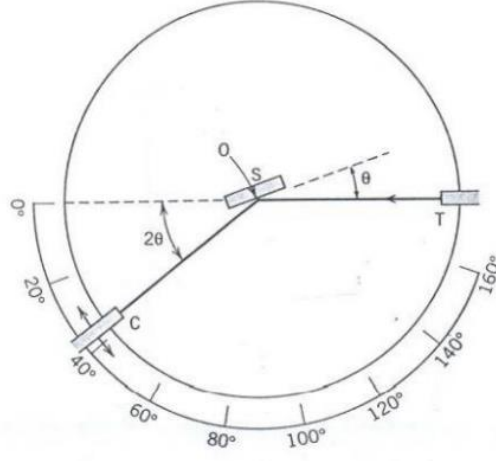
X-ışını kırınım analizi; incelenen materyalin kristalografik yapısını anlayabilmek için X-ray ışınları ve materyalin mikro yapısı arasındaki etkileşimi kullanan ve incelenen materyale zarar vermeyen bir analizdir. (Bunaciu ve ark., 2015; Smith ve Barrett, 1947) Materyal üzerine düşen X-ray ışınlarının farklı geometrik varyasyonlar içeren periyodik yapılara çarpması sonucu bir kırınım meydana gelir. Materyal içindeki her bir kristal faz, X ışınları ile etkileştiğinde kendi yapısına özgü bir X-ışını kırınım deseni oluşur ve bu kırınım desenleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. (Ateş, 2018)

XRD analizinin temel araştırma konuları şunlardır (Ermrich ve Opper, 2013):

- Saf maddelerin ve çeşitli karışımların kalitatif ve kantitatif faz analizleri
- Sıcaklık, nem veya uygulanan basınç gibi diğer ortam dışı değişkenlerin etkisinin analizi
- Polikristalin materyallerdeki kristalit boyutu, tercih edilen yönelim etkileri ve rezidüel stres gibi özellikler dahil olmak üzere materyalin mikroyapısının analizi

Diş hekimliğinde kullanılan materyallerin kristal fazlarının tanımlanması ve karakterize edilmesi için özellikle kullanışlıdır. (Artioli, 2000) Y-TZP seramikler, polikristalin yapıdadır. XRD analizi yardımıyla; materyalin mekanik özelliklerini direkt etkileyen monoklinik, tetragonal ve kübik fazlar detaylı olarak incelenebilir ve elde edilen veriler fabrikasyon aşamalarında kullanılabilir.

İnce taneciklerden meydana gelen polikristalin yapıları için daha çok monochromatik X radyasyonu ile kırınım tekniği kullanılır. (Samuel ve ark., 1989)



Şekil 2. 2. Monochromatik X ışını kırınım tekniğinin şematize edilmiş hâli (Cullity ve Stock, 2001)

Bir difraktometrenin çalışma prensibi Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. S ile simgelenen örnek, O eksenini etrafında dönebilmektedir. Monochromatik X ışını T noktasından gönderilir ve örneğe çarpar. Bu çarpma sonucu örnekten yayılan ışınların yoğunluğu, C noktasında bulunan bir alıcı tarafından belirlenir. Alıcı, O merkezi etrafında hareket edecek şekilde yerleştirilmiştir ve örneğin rotasyonu ile birlikte 2θ açısını koruyarak, sabit hızla hareket etmektedir. Bu alıcı, θ açısıyla örnek yüzeyine gelip 2θ açısıyla yansıyan X ışınlarının yoğunluğunu kaydeder. 2θ açısına “difraksiyon açısı” adı verilir. (Cullity ve Stock, 2001)

3 GEREÇ VE YÖNTEM

Bu in vitro çalışma Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Laboratuvarı ve Fakülte Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Çalışmada, 3 farklı katmanlı monolitik zirkonya seramiğine uygulanan glazür ve polisaj işleminin; materyallerin optik özelliklerine ve faz değişimine olan etkisi incelendi.

Çizelge 3. 1. Çalışmada kullanılan materyaller, üretici firmaları ve kompozisyonları

MARKA ADI	ÜRETİCİ FİRMA	KOMPOZİSYON
Katana Zirconia UTML	Kuraray Noritake, Okayama, Japonya	%87-92 ZrO ₂ +HfO ₂ %8-11 Y ₂ O ₃ %0-2 diğer oksitler
Katana Zirconia STML	Kuraray Noritake, Okayama, Japonya	% 88-93 ZrO ₂ +HfO ₂ %7-10 Y ₂ O ₃ %0-2 diğer oksitler
IPS e-max ZirCAD MT Multi	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	%86,0–93,5 ZrO ₂ %6,5–8,0 Y ₂ O ₃ %5,0 ≤ HfO ₂ %1 ≤ Al ₂ O ₃ %0-1 diğer oksitler
CERABIEN ZR FC Paste Stain	Kuraray Europe GmbH, Germany	Gliserol Potasyum Aluminosilikat Camı 1,3-butandiol Pigmentler
IPS Ivocolor Glaze Paste FLUO	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Alkali Aluminosilikat Camı Solvent
IPS Ivocolor Mixing Liquid Allround	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	1,3-butandiol

Çizelge 3. 2. Çalışmada kullanılan cihazlar, marka adları, üretici firmaları ve kullanıldığı yerler

CİHAZ İSMİ	MARKA ADI ve ÜRETİCİ FİRMA	KULLANILDIĞI YER
Seramik polisaj diski	Jiffy Universal Jiffy Universal System, EVA Ernst Vetter GmbH, Keltern, Almanya	Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi A.B.D. Kliniği
Renk ve translüensi ölçüm cihazı	Easy Shade EasyShade V; VITA Zahnfabrik	Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı
Seramik fırını	Ivoclar Programat p310; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı
Sinterizasyon fırını	Protherm PLF 110/6, Protherm Furnaces, Ankara, Türkiye	Bal Dent Diş Protez Laboratuvarı, Konya, Türkiye
SEM Cihazı	Prox, Phenom	Uşak Üniversitesi Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi
Altın kaplama cihazı	Sputter Coeter 108 AUTO, Cressington, Watford, UK	Uşak Üniversitesi Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi
X Işını Difraktometresi	Miniflex, Rigaku	Uşak Üniversitesi Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi

3.1 Seramik Örneklerin Hazırlanması

Çalışmamızda kullanılacak örnekler Katana Super Translucent Multi Layered Zirconia (Kuraray Noritake, Tokyo, Japan), Katana Ultra Translucent Multi Layered Zirconia (Kuraray Noritake, Tokyo, Japan), IPS e.max ZirCAD MT Multi (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) bloklarından hazırlandı.



Resim 3. 1. Çalışmada kullanılan STML, UTML ve IPS e.max ZirCAD MT Multi bloklar

20x98.5 mm ebatlarındaki IPS e.max ZirCAD MT Multi A1 bloklardan, sinterleme sonrası büzülme miktarı hesaba katılarak 1,8 mm kalınlığında ve 10 mm çapında disk şeklinde 30 adet; 14x98.5 mm ebatlarındaki Katana Super Translucent Multi Layered Zirconia (Kuraray Noritake, Tokyo, Japan) A1 ve Katana Ultra Translucent Multi Layered Zirconia (Kuraray Noritake, Tokyo, Japan) A1 bloklarından; İSO 6872 standartları doğrultusunda 1,8 mm kalınlığında ve 10 mm çapında disk şeklinde 30'ar adet olmak üzere toplam 60 adet örnek üretici firmaların önerileri doğrultusunda DGSHAPE DWX-52Di (Roland DG Corporation of Hamamatsu, Japan) milling cihazında hazırlandı.



Resim 3. 2. Çalışmada kullanılan milling cihazı

3.2 Örneklerin Sinterizasyonu

Zirkonya örneklerin sinterizasyon sonrası %20 oranında büzölmeye uğradığı göz önünde bulunduruldu. Dilimlenen örneklerden IPS e.max ZirCAD MT Multi örnekler, porselen fırınında 1500°C’de 7 saat 20 dk boyunca üretici firmanın talimatları doğrultusunda maksimum kırılma dayanımı elde etmek amacıyla Protherm Furnaces (Ankara, Türkiye) sinter fırını kullanılarak sinterizasyon işlemine tabi tutuldu. Katana örnekler, son boyutları 10x1 mm olacak şekilde, 1550°C’de 7 saat boyunca Protherm Furnaces (Ankara, Türkiye) sinter fırını kullanılarak sinterizasyon işlemine tabi tutuldu.



Resim 3. 3. Çalışmada kullanılan sinterizasyon fırını

Sinterleme sonrası örneklerin oda sıcaklığında soğuması beklendi. Örnekler; standardizasyonu sağlamak ve yüzeyin pürüzsüz olduğundan emin olmak amacıyla 15 saniye boyunca akan su altında 400, 600 ve 800 grit silisyum karbür kağıtları (Atlas Brand, İstanbul, Türkiye) ile düzeltildi. Örnek kalınlıkları dijital kumpas ile ölçülerek kontrol edildi.



Resim 3. 4. Örneklerin 1 mm kalınlıklarının elektronik kumpasla ölçülmesi

3.3 Deney Gruplarının Ayrılması

3 farklı seramik çeşidinden elde edilen 60 adet örnek, kimyasal yapılarına göre 3 alt gruba ayrıldı (Katana UTML, Katana STML ve IPS e.max ZirCAD MT Multi). Hazırlanan örnekler, Resim 3.5’de gösterildi.



Resim 3. 5. Çalışmada kullanılan örnekler

Her bir seramik grubu da n=10 olacak şekilde; polisaj grubu ve glazür grubu olmak üzere rastgele 3 farklı alt gruba ayrıldı. Deney grupları Çizelge 3.3.'de gösterildi.

Çizelge 3. 3. Çalışmadaki deney gruplarının çizelgesi

UYGULANAN İŞLEM	MATERYAL		
	STML	UTML	ZİRCAD MT MULTI
KONTROL	SK	UK	ZK
POLİSAJ	SP	UP	ZP
GLAZÜR	SG	UG	ZG

Yapılan yüzey işlemine göre 3 alt grup şu şekilde belirlendi:

1-Kontrol Grubu: Bu gruptaki örneklere herhangi bir polisaj ve glazür işlemi uygulanmadı.

2-Polisaj Grubu: Bu gruptaki örneklere çalışma için seçilen seramik polisaj kiti (Jiffy Universal System, Ultradent, 505 West Ultradent Drive, South Jordan) ile iki aşamalı olarak, standardizasyonu sağlamak amacıyla aynı araştırmacı tarafından, mikromotor (Kavo Dental GmbH, Biberch, Almanya) ile polisaj yapıldı. Polisaj işlemi için ilk olarak 4236 Jiffy Universal HP Medium frezi, daha sonra 4237 Universal HP Wheel Fine final frezi (7000-10000) dk-1 devirde kullanıldı.



Resim 3. 6. Polisaj gruplarında polisaj işlemi için kullanılan diskler

Polisaj işlemi ileri geri süpürme hareketi şeklinde 30 saniye boyunca aynı yönde gerçekleştirildikten sonra, örnekler 90° döndürülerek önceki aşındırma yönüne dik olacak şekilde 30 saniye devam edildi. Hem ön polisaj frezinde hem de final frezinde aynı prosedür takip edilerek, her bir örneğe toplamda 120 saniye polisaj işlemi uygulandı. Kullanılan polisaj frezi, her beş örneğin polisajı yapıldıktan sonra değiştirildi. Örnekler, polisaj işleminden sonra hava-su spreyi ile yıkanıp kurulandı.

3-Glazür Grubu: Bu grupta yer alan Katana örneklere CERABIEN ZR FC Paste Stain Clear Glaze patıyla glazür işlemi uygulandı. ZirCAD MT Multi örneklere ise IPS Ivocolor Glaze Paste FLUO patı ve likidi uygun oranlarda karıştırılarak ince ve homojen bir katman hâlinde, üretici firmaların önerileri doğrultusunda uygulandı. Glazür fırını olarak Fakülte Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Ivoclar Programat p310 kullanıldı. Her bir glazür patı için uygulanan fırınlama programları Çizelge 3.4.'de gösterildi.

Çizelge 3. 4. Yapılan glazür işlemlerinin fırınlama programları

FIRIN ÖZELLİKLERİ	CERABIEN ZR FC Paste Stain Clear Glaze	IPS Ivocolor Glaze Paste Fluo
Kuruma Süresi	5 dakika	1 dakika
Vakum-1	600 °C	450 °C
Vakum-2	750 °C	709 °C
Ateşleme Sıcaklığı	910 °C	710 °C
Soğuma Süresi	4 dakika	-



Resim 3. 7. Çalışmada Katana marka örnekler için kullanılan glazür patı ("Glazür Patı,")



Resim 3. 8. Çalışmada IPS Ivoclar marka örnekler için kullanılan glazür patı ve likidi ("Glazür patı ve likidi,")

3.4 Örneklerin Renk ve Translüsensi Ölçümleri

Kontrol grubundaki her bir örneğin CIEL*a*b* renk koordinatları herhangi bir yüzey bitirme işlemi yapılmadan; polisaj ve glazür grubundaki örneklerin CIEL*a*b* renk koordinatları ise yüzey bitirme işlemleri tamamlandıktan önce ve sonra, yüksek tekrarlanabilirlik değeri gösterdiği bilinen bir spektrofotometre (EasyShade V; VITA Zahnfabrik) kullanılarak ölçüldü.



Resim 3. 9. Çalışmada kullanılan spektrofotometre Vita EasyShade V, VITA Zahnfabrik

Her örneğin renk değerinin ölçümünden önce spektrofotometre, üreticinin yönergelerine göre kalibre edildi. Cihazın kalibrasyonu, üretici firmanın talimatlarına göre, her ölçümden sonra kalibrasyon bloğuna yerleştirilip, ölçüm butonuna bir kez basılarak sağlandı. Ölçümler için cihazın ucu, üretici firmanın talimatları doğrultusunda, deney örneğinin orta 1/3'lük bölgesine tamamen temas edecek şekilde konumlandırıldı. Bütün ölçümler günün aynı saatlerinde, aynı ışık altında ve aynı araştırmacı tarafından gerçekleştirildi.

Her örneğin test yüzeyi; standart beyaz ve siyah arka planlar kullanılarak translüsensi açısından ve gri arka plan kullanılarak renk açısından değerlendirildi. Örneklerin translüsensi parametresi (TP_{00}) ve renk değişimi (ΔE_{00}) CIEDE2000 formülü kullanılarak hesaplandı. Renk ölçümlerine ilişkin fotoğraflar Resim 3.10.'da verildi.



Resim 3. 10. Siyah, beyaz ve gri arka planda örneklerin renk ve translüensi ölçümlerinin yapılması

Ölçümler her örnek için 3 kez tekrarlandı. Bütün ölçümler aynı araştırmacı tarafından gerçekleştirildi. ΔE_{00} ve TP_{00} değerleri CIEDE2000 formülüne uygun şekilde;

$$\Delta E_{00} = [(\Delta L'/K_L S_L)^2 + (\Delta C'/K_C S_C)^2 + (\Delta H'/K_H S_H)^2 + R_T(\Delta C'/K_C S_C)(\Delta H'/K_H S_H)]^{1/2}$$

$$TP_{00} = (L_b - L_w / K_L S_L)^2 + (C_b - C_w / K_C S_C)^2 + (H_b - H_w / K_H S_H)^2 + R_t[(C_b - C_w / K_C S_C)(H_b - H_w / K_H S_H)]^{1/2}$$

formülleri kullanılarak ayrı ayrı hesaplandı. Formüldeki K_L , K_C ve K_H değerleri; çalışma koşullarındaki varyasyonlar için kullanılan parametrik faktörlerdir. Çalışmamızda bu parametrik faktörler, araştırmalarda önerilen şekilde “1” olarak belirlendi. (Pecho ve ark., 2017; Salas ve ark., 2018)

3.5 SEM Görüntülerinin Elde Edilmesi

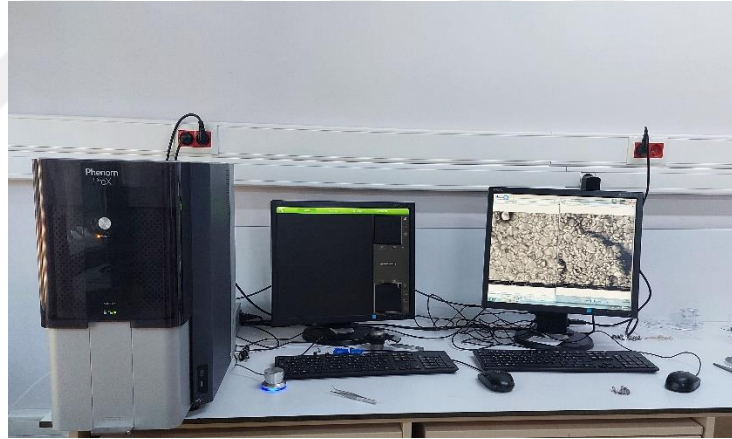
Her gruptan rastgele birer örneğe Uşak Üniversitesi Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde taramalı elektron mikroskobu analizi yapıldı.

Taramalı elektron mikroskobunda incelenmesi için her bir gruptan rastgele seçilen 9 adet örnek, iletkenliğin sağlanabilmesi adına Cressington Sputter Coater makinesiyle 10 nm kalınlığında olacak şekilde altın tozuyla kaplandı.



Resim 3. 11. Çalışmada kullanılan altın kaplama makinesi

Daha sonra her bir örnek Phenom marka Prox Model masaüstü SEM cihazı ile x1000 ve x5000 büyütme altında incelendi.



Resim 3. 12. Çalışmada kullanılan SEM cihazı ve masaüstü bilgisayar sistemi

3.6 X Işını Kırınımı Analizi

Her bir gruptan rastgele seçilen 9 örnek X ışını difraktometresi ile incelendi. Analiz Uşak Üniversitesi Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirildi. Rastgele seçilen örneklerle Rigaku marka Miniflex model XRD cihazı kullanılarak XRD analizi yapıldı.



Resim 3. 13. Çalışmada kullanılan XRD cihazı

3.7 İstatistiksel Analiz

ΔE_{00} ölçümlerinin veri analizleri IBM SPSS 25 programında gerçekleştirildi. Verilerin çok değişkenli normal dağılımına uyum gösterip göstermediği Shapiro Wilk testi ile kontrol edildi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama, standart sapma, medyan, minimum ve maksimum olarak sunuldu. Farklı materyal ve yüzey bitirme işlemlerinin ΔE_{00} üzerine olan etkisinin incelenmesi için İki Yönlü Tekrarlı Ölçümler ANOVA (Greenhouse-Geisser İstatistiği) testi yapıldı. İki yönlü faktöriyel ANOVA'nın varsayımı olan varyansların homojenliği Levene testi ile incelendi. Farkı yaratan grup ya da grupların ortaya çıkartılması için Post Hoc Bonferroni testleri kullanıldı. İstatistiksel olarak anlamlılık düzeyi " $p < 0,05$ " olarak belirlendi.

TP_{00} ölçümlerinin veri analizleri IBM SPSS V23 programında gerçekleştirildi. Verilerin çok değişkenli normal dağılımına uygunluk gösterip göstermediği Shapiro Wilk testi ile incelendi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama ve standart sapma olarak sunuldu. Materyal tipleri ve yüzey bitirme işlemlerine göre TP_{00} ölçümlerinin karşılaştırılmasında İki Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) testi uygulandı. Varyans homojenliği Levene testi

ile kontrol edildi. Çoklu grup karşılaştırmaları Bonferroni testi ile incelendi. İstatistiksel olarak anlamlılık düzeyi “ $p<0,05$ ” olarak belirlendi.



4 BULGULAR

4.1 Renk Değişim Değerleri ΔE_{00} Bulguları

Materyal tipleri ve yüzey bitirme işlemlerine göre renk değişimi ölçümlerinin karşılaştırılmasında İki Yönlü ANOVA (Greenhouse-Geisser istatistiği) testi yapılmıştır.

Çizelge 4. 1. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre renk değişimi ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

ΔE_{00}	STML		UTML		ZİRCAD MT MULTİ	
	Min.- Maks.	Ort. \pm S.S.(M.)	Min.- Maks.	Ort. \pm S.S.(M.)	Min.- Maks.	Ort. \pm S.S.(M.)
Glazür	1,15-3,8	2,5 \pm 0,85(2,49)	1,76-3,92	2,84 \pm 0,77(2,73)	1,2-2,46	1,8 \pm 0,41(1,8)
Polisaj	0,67-2,07	1,36 \pm 0,46(1,38)	0,44-2,01	1,03 \pm 0,43(1,06)	0,16-1,48	0,95 \pm 0,49(0,92)

Ort.: Ortalama, S.S.: Standart sapma, Min.-Maks.: Minimum-Maksimum, M.: Medyan

Yapılan istatistiksel analizin sonuçlarına göre; SG, UG ve ZG gruplarında meydana gelen renk değişiminin SP, UP ve ZP gruplarında meydana gelen değişimden daha fazla olduğu görülmüştür. En düşük ortalama ΔE_{00} değeri ZP grubunda izlenirken (0,92), en yüksek ortalama ΔE_{00} değeri UG grubunda (2,73) bulunmuştur. Literatürde CIEDE2000 formülüne göre algılanabilirlik eşiği için ΔE_{00} değeri 0,8; klinik kabul edilebilirlik eşiği için ΔE_{00} değeri ise 1,8 olarak belirtilmiştir. (Paravina ve ark., 2015) Çalışmamızda bu değerler referans alınmıştır. Polisaj işlemi SP, UP ve ZP gruplarında klinik olarak kabul edilebilir renk değişimlerine yol açarken; glazür işlemi SG, UG ve ZG gruplarında klinik kabul edilebilirlik eşiğini aşan değerlerde renk değişimine neden olmuştur.

Farklı yüzey bitirme işlemleri uygulanan farklı zirkonya materyallerinden elde edilen ΔE_{00} ölçüm sonuçları, iki yönlü ANOVA (Greenhouse-Geisser istatistiği) testi ile karşılaştırılmıştır. İki yönlü ANOVA testi sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre ΔE_{00} ölçümlerinin İki Yönlü ANOVA (Greenhouse-Geisser istatistiği) testi sonuçları

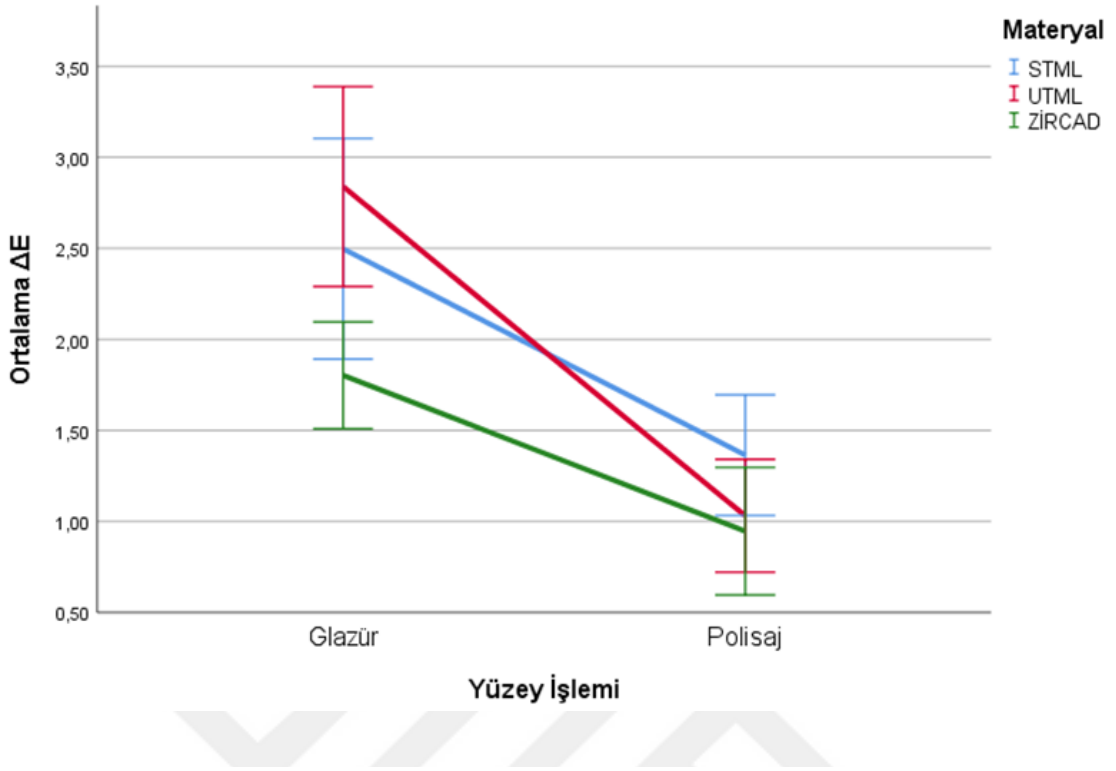
	Tip 3 Toplam Kareler	SD	Kareler Ortalaması	F	p
Düzeltilmiş model	30,598	5	6,120	17,340	<0,001*
Sabit	183,107	1	183,107	518,840	<0,001*
Materyal tipi	4,161	2	2,080	5,895	0,005*
Yüzey bitirme işlemi	24,038	1	24,038	68,112	<0,001*
Materyal tipi*Yüzey bitirme işlemi	2,399	2	1,200	3,399	0,041*
Hata	19,057	54	0,353		
Toplam	232,762	60			
Düzeltilmiş Toplam	49,655	59			

F=gruplar arası varyans/grup içi varyans değeri, p= 0,041 *p<0,05

İki yönlü ANOVA (Greenhouse-Geisser istatistiği) testi analizi sonucunda materyal tipi ile yüzey bitirme işlemleri etkileşiminin, istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur (p=0,041, p<0,05). İki yönlü ANOVA (Greenhouse-Geisser istatistiği) testi sonucunda belirlenen bu farkı yaratan grup ya da grupların ortaya çıkartılması adına; yüzey bitirme işlemleri ve materyal tipleri için Post Hoc Bonferroni testleri kullanılmıştır.

Yüzey bitirme işlemleri için yapılan Bonferroni testlerine göre ΔE_{00} ölçümlerinde; SG grubu ile SP grubu arasında (p<0,001), UG grubu ile UP grubu arasında (p<0,001) ve ZG grubu ile ZP grubu arasında (p=0,002) istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu görülmüştür (p<0,05). Glazür ölçümlerinin polisaj ölçümlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Materyal tipleri için yapılan Bonferroni testlerine göre, glazür işleminin sonucunda meydana gelen ΔE_{00} değerlerinde; ZG grubu ile SG ve UG grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar elde edilmiştir (p=0,035 ve p=0,001, p<0,05). SG ve UG gruplarının renk değişim ölçümlerinin, ZG grubunun renk değişim ölçümlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. SG ve UG grupları arasında glazür sonrası renk değişimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (p>0,05). Polisaj işlemi ile materyal tiplerinin etkileşimi değerlendirildiğinde; SP, UP ve ZP gruplarının ΔE_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir (p>0,05).



Şekil 4. 1. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre renk değişimi ölçümlerinin dağılımlarına ait çizgi grafiği

4.2 Translüsensi Parametresi (TP₀₀) Değerleri Bulguları

Materyal tipleri ve yüzey bitirme işlemlerine göre TP₀₀ ölçümlerinin karşılaştırılmasında İki Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) testi uygulanmıştır. Normal dağılım varsayımı Shapiro Wilk testi ile, varyans homojenliği Levene testi ile kontrol edilmiştir. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre TP₀₀ ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ortalama ve standart sapma değerleriyle Çizelge 4.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre TP₀₀ ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

YÜZEY BİTİRME İŞLEMİ	MATERYAL			TOPLAM Ort.±S.S
	STML	UTML	ZirCAD MT Multi	
	Ort.±S.S.	Ort.±S.S	Ort.±S.S	
Kontrol	8,73 ± 0,12	9,05 ± 0,35	8,99 ± 0,34	8,92 ± 0,32 ^a
Glazür	8,55 ± 0,32	8,4 ± 0,15	8,74 ± 0,26	8,56 ± 0,28 ^b
Polisaj	8,98 ± 0,69	9,08 ± 0,42	9,49 ± 0,38	9,18 ± 0,54 ^c
TOPLAM	8,75 ± 0,46 ^a	8,84 ± 0,45 ^{ab}	9,07 ± 0,45 ^b	

Ort.: Ortalama, S.S: Standart Sapma, ^{a-c} Aynı harfe sahip materyal/işlem arasında fark yoktur

Tanımlayıcı istatistiklerin değerlendirilmesine göre en yüksek ortalama TP₀₀ değeri ZP grubunda görülürken, en düşük ortalama TP₀₀ değeri UG grubunda görülmüştür. Bütün materyal gruplarında; glazür işleminin TP₀₀ değerini azalttığı, polisaj işleminin ise artırdığı belirlenmiştir.

Farklı yüzey bitirme işlemleri uygulanan farklı zirkonya materyallerinden elde edilen TP₀₀ ölçüm sonuçları, İki Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) testi ile karşılaştırılmıştır. İki yönlü varyans analizi testi analizi sonuçları Çizelge 4.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemlerine göre TP₀₀ ölçümlerinin karşılaştırılmasına ilişkin İki Yönlü Varyans Analizi testi sonuçları

	Test İstatistiği*	p	η^2
Materyal tipi	5,994	0,004	0,129
Yüzey bitirme işlemi	21,267	<0,001	0,344
Materyal tipi*Yüzey bitirme işlemi	1,827	0,132	0,083

*İki yönlü varyans analizi; η^2 : Kısmi Eta Kare

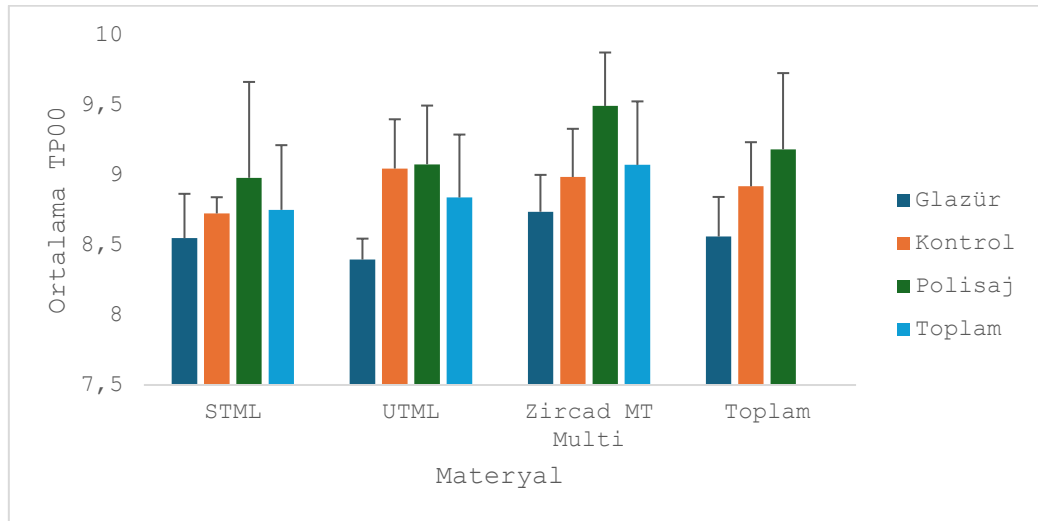
Yapılan istatistiksel analizlerin değerlendirilmesi sonucunda; materyal tiplerine göre ortalama TP₀₀ değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p=0,004). STML materyalinde ortalama değer 8,75 iken, UTML materyalinde 8,84 ve ZirCAD MT Multi materyalinde de 9,07 olarak elde edilmiştir. STML ile ZirCAD MT Multi arasında anlamlı fark var bulunmuştur. Yüzey bitirme işlemlerine göre ortalama TP₀₀ değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p<0,001). Kontrol grubunda ortalama TP₀₀ değeri 8,92 iken, glazür grubunda 8,56 ve polisaj grubunda 9,18 olarak elde

edilmiştir. Tüm işlem gruplarının toplam ortalama TP_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak fark vardır. En düşük ortalama TP_{00} değerleri glazür grubunda iken en yüksek ortalama TP_{00} değerleri polisaj grubunda elde edilmiştir. Materyal tipi ve yüzey bitirme işlemleri etkileşimlerine göre ortalama TP_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p=0,132$). Gruplar arası çoklu karşılaştırmalar için Bonferroni testi yapılmıştır.

Yüzey bitirme işlemleri için yapılan Bonferroni testlerinin sonuçlarına göre; SK, SG ve SP gruplarının ortalama TP_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur. Benzer şekilde UK, UG ve UP gruplarının ortalama TP_{00} değerleri arasında ve ZK, ZG ve ZP gruplarının ortalama TP_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Materyal tipleri için yapılan Bonferroni testlerinin sonuçlarına göre; SK, UK ve ZK grupları arasında; SG, UG ve ZG grupları arasında ve SP, UP ve ZP grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark elde edilmemiştir.

TP_{00} değerleri üzerinde en fazla etkisi olan faktörün; 0,344 Kısmi Eta Kare değeri ile yüzey bitirme işlemi olduğu belirlenmiştir.

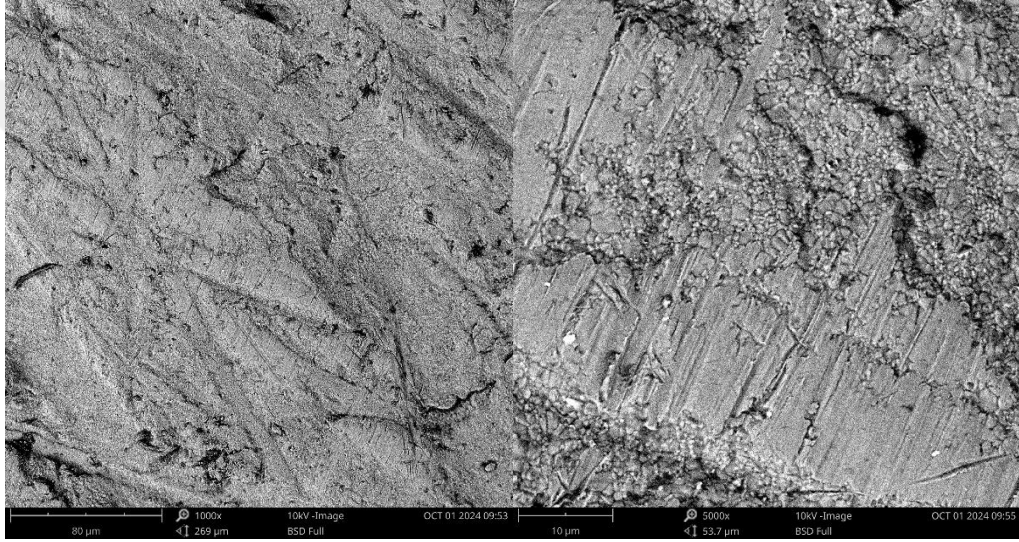


Şekil 4. 2. Materyal ve işlemlere göre TP_{00} ortalama ve standart sapma grafiği

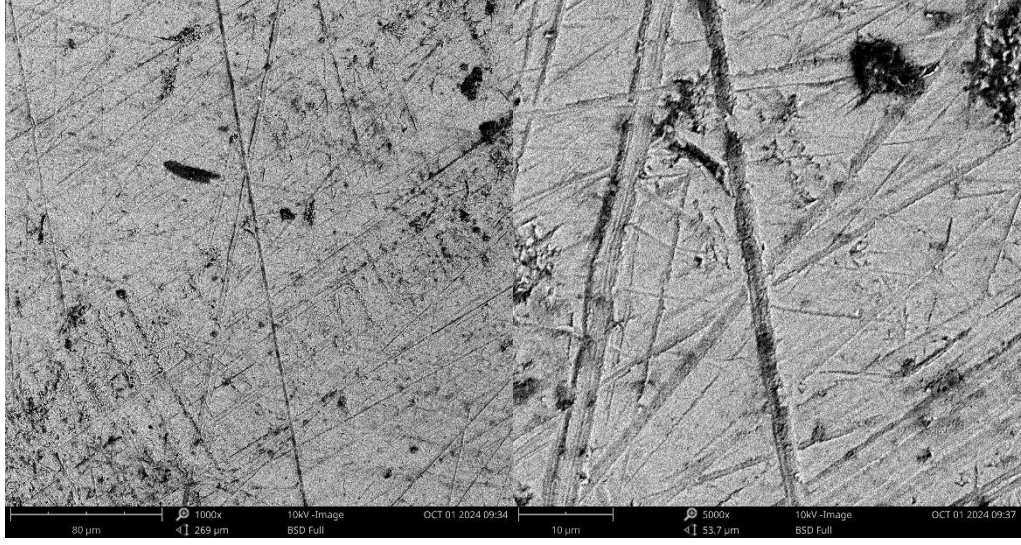
4.3 SEM Görüntü Bulguları

Çalışmada kullanılan monolitik zirkonya örneklerine yapılan polisaj ve glazür işlemleri sonucunda meydana gelen yüzey değişimlerini incelemek için her gruptan 1'er örnek taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. SEM analizi; Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde, Phenom Marka Prox Model masaüstü SEM cihazı ile yapılmıştır.

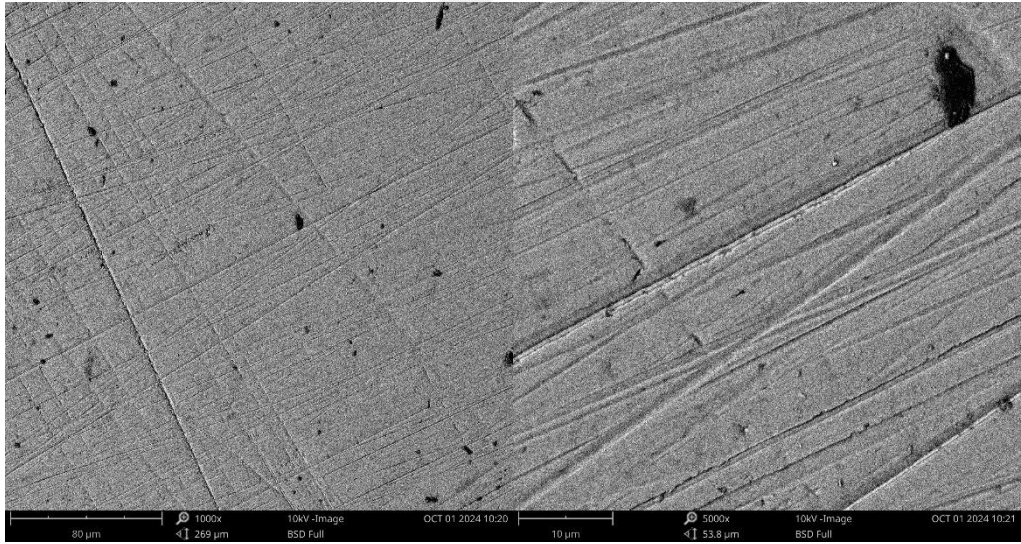
4.3.1 Kontrol Grubu SEM görüntüleri



Resim 4. 1. SK grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri



Resim 4. 2. UK grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri

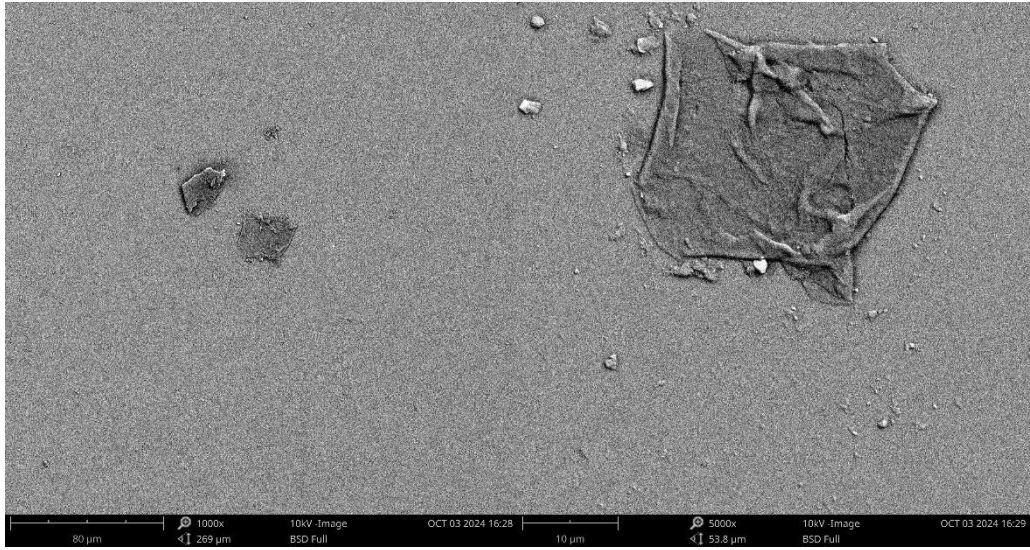


Resim 4. 3. ZK grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri

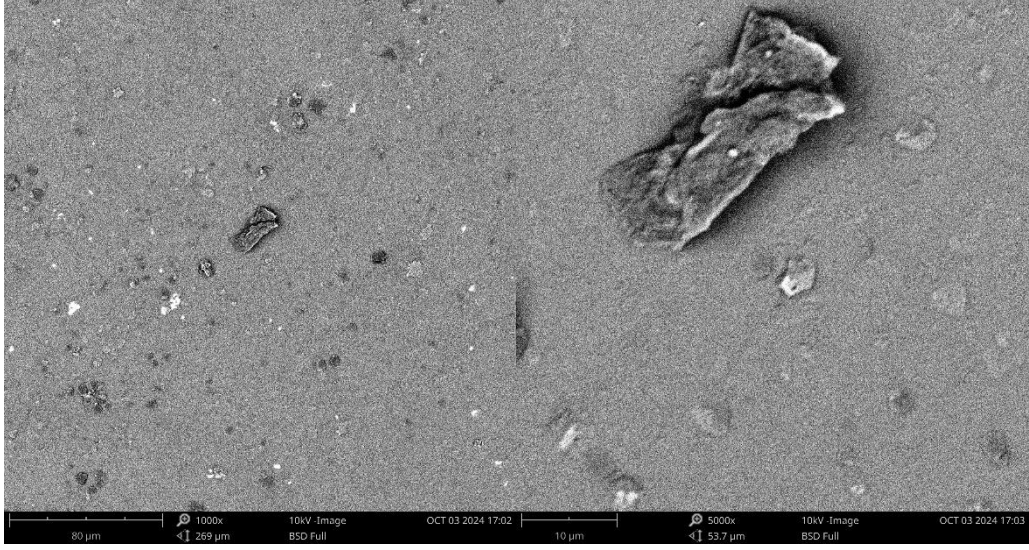
4.3.2 Glazür Grubu SEM görüntüleri



Resim 4. 4. SG grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri

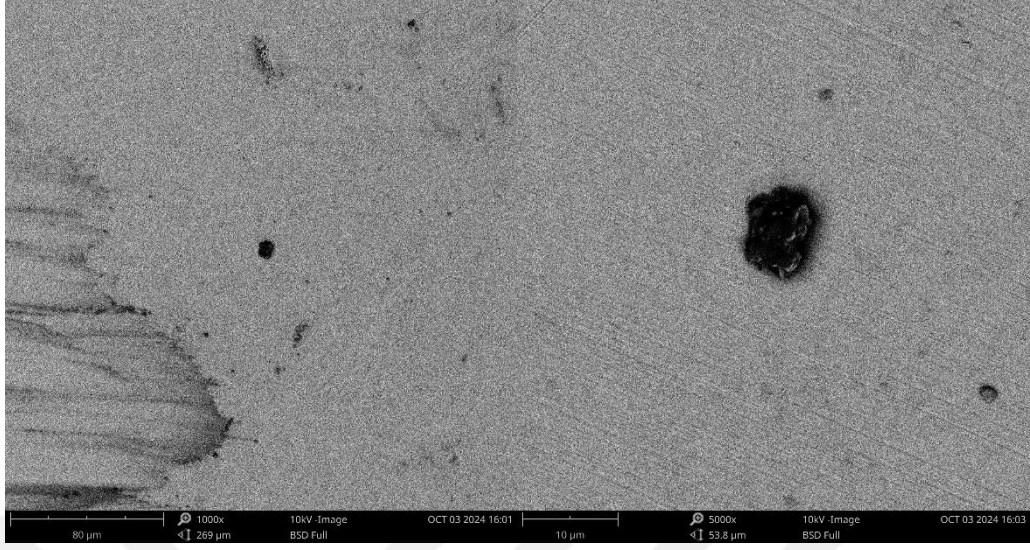


Resim 4. 5. UG grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri

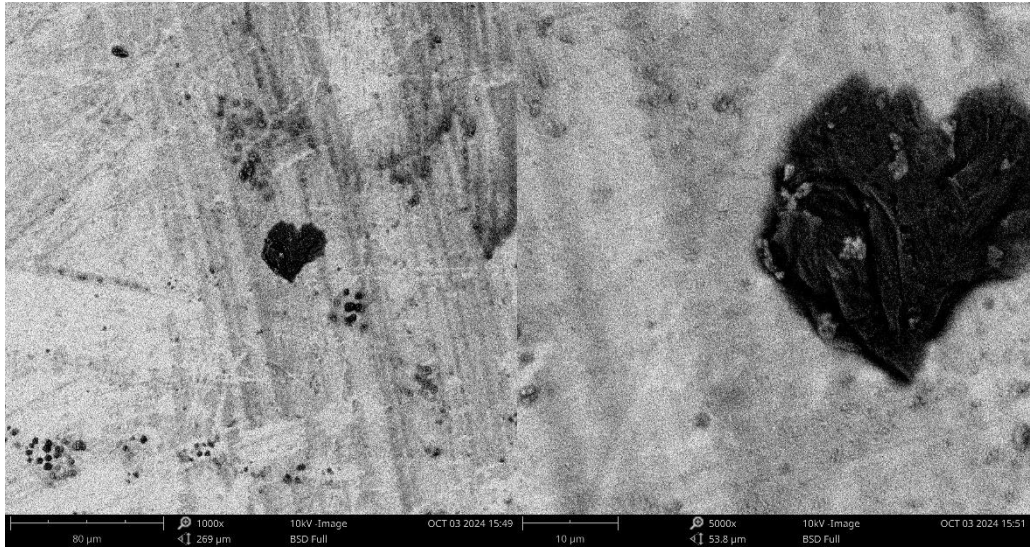


Resim 4. 6. ZG grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri

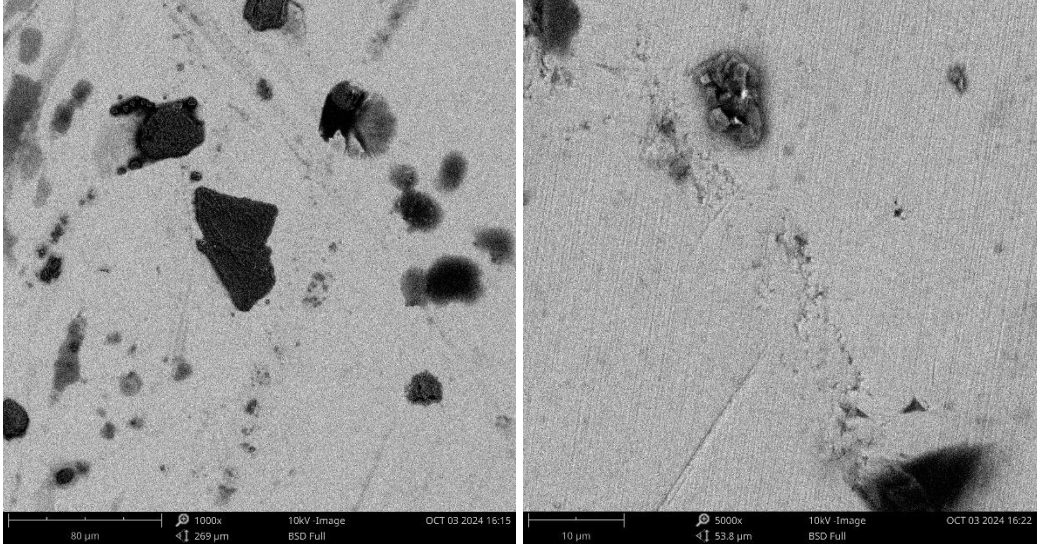
4.3.3 Polisaj Grubu SEM Görüntüleri



Resim 4. 7. SP grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri



Resim 4. 8. UP grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri

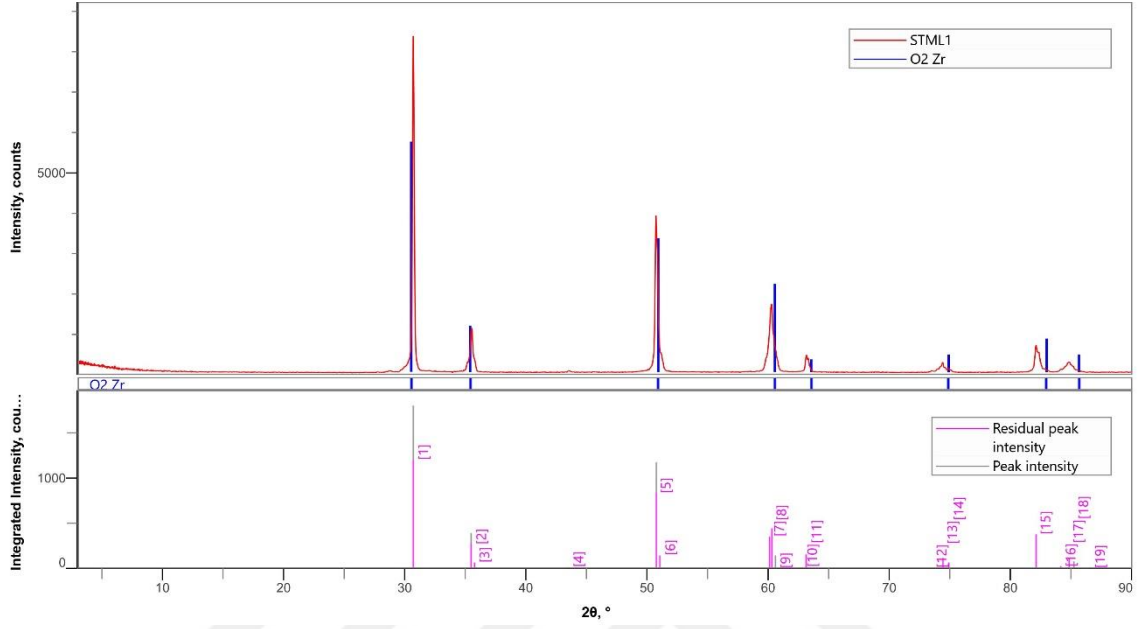


Resim 4. 9. ZP grubu örneği x1000 ve x5000 büyütme altındaki SEM görüntüleri

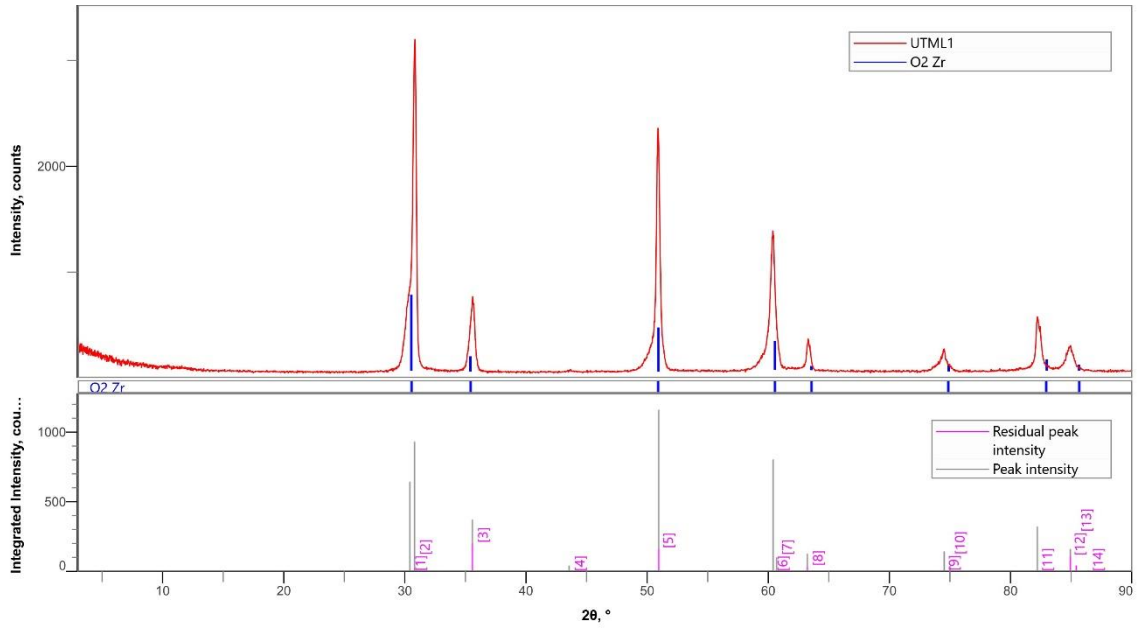
İncelenen SEM görüntüleri neticesinde hem polisaj hem de glazür işleminin kontrol grubuna göre daha düzgün bir yüzey oluşturduğu görülmüştür. Glazür işleminin kontrol grubunda yer alan dikey ve yatay çizikleri polisaja kıyasla daha pürüzsüz hâle getirdiği fakat iki işlemin de örnek yüzeylerindeki olukları, çukurları ve çizikleri tamamen yok etmediği gözlenmiştir. Yapılan yüzey bitirme işlemlerinin, örnek yüzeylerinde herhangi bir topografik değişime neden olmadığı belirlenmiştir.

4.4 XRD Analizi Bulguları

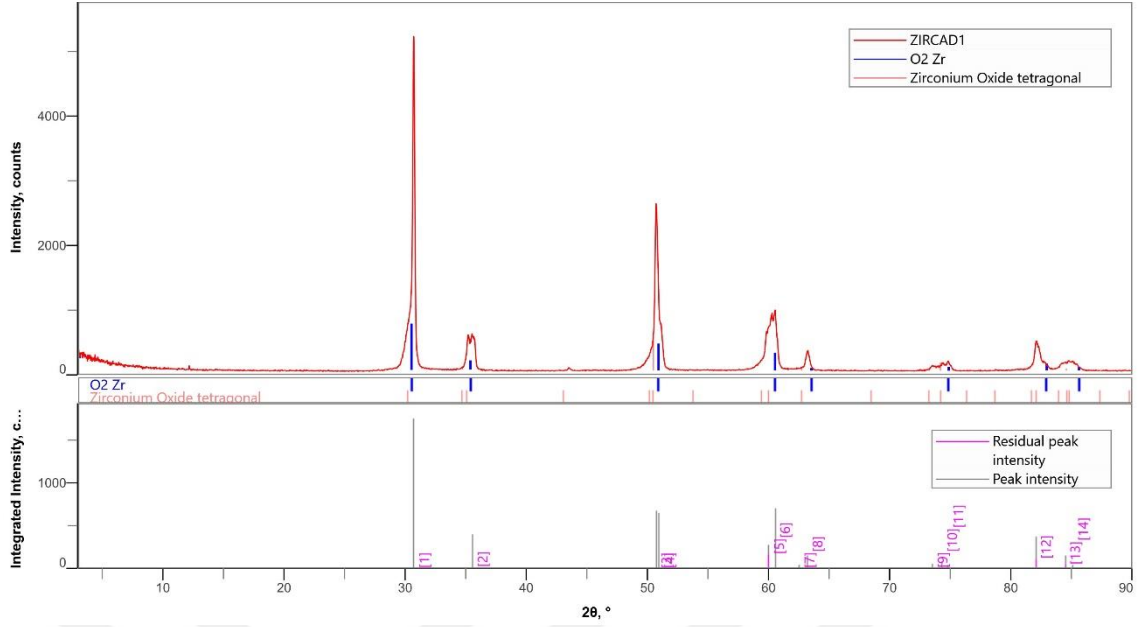
4.4.1 Kontrol Grubu XRD Analizi Bulguları



Şekil 4. 3. SK grubu örneği XRD grafiği

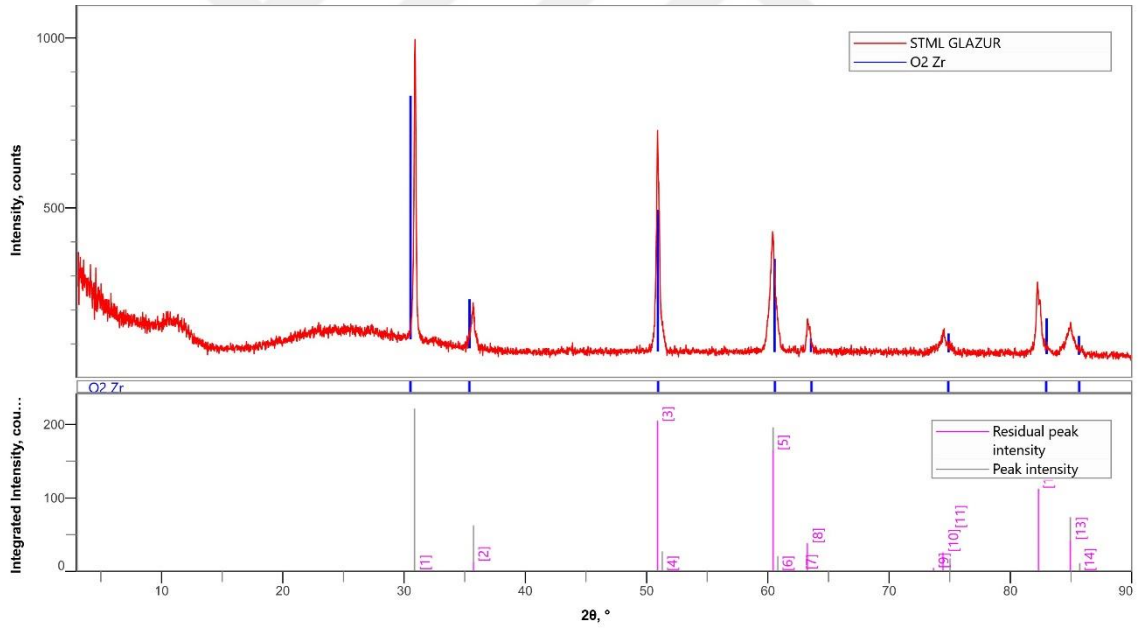


Şekil 4. 4. UK grubu örneği XRD grafiği

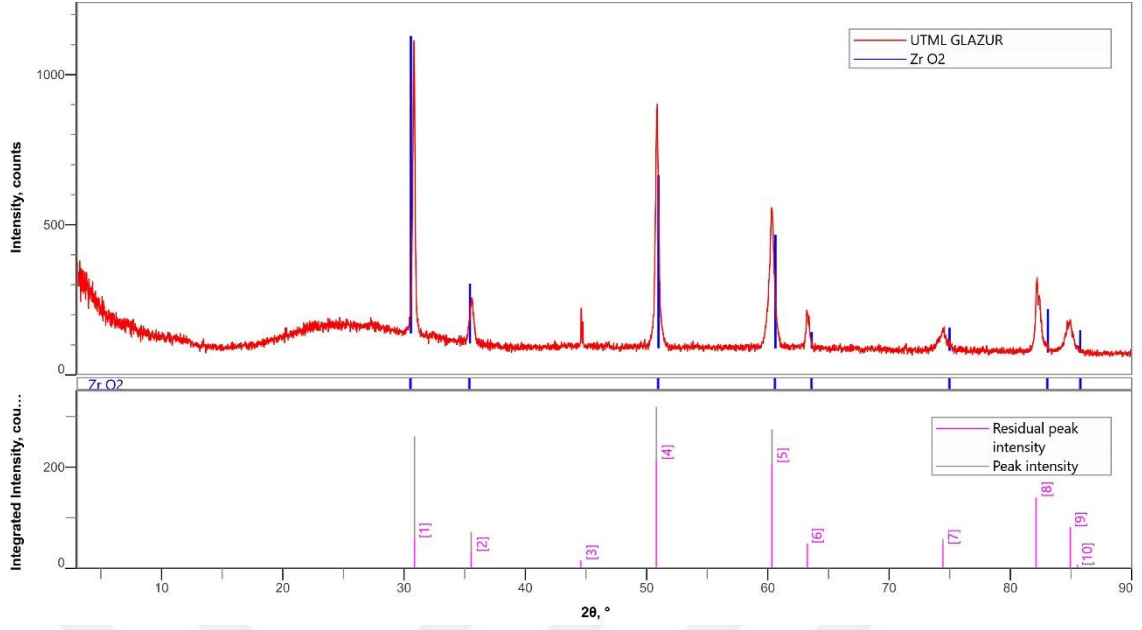


Şekil 4. 5. ZK grubu örneği XRD grafiği

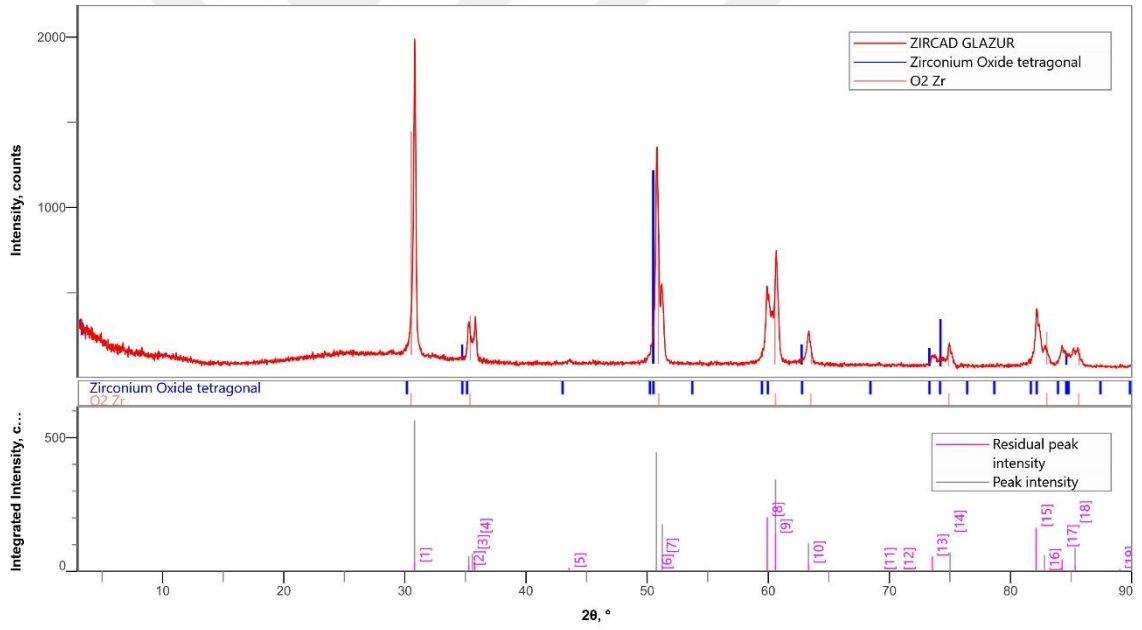
4.4.2 Glazür Grubu XRD Analizi Bulguları



Şekil 4. 6. SG grubu örneği XRD grafiği

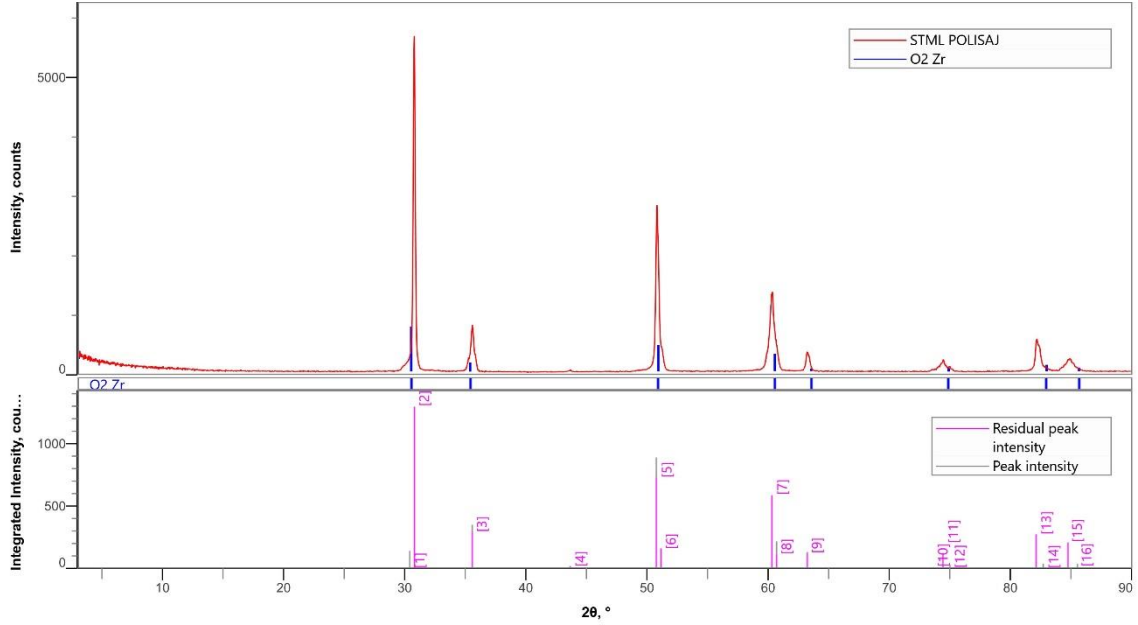


Şekil 4. 7. UG grubu örneği XRD grafiği

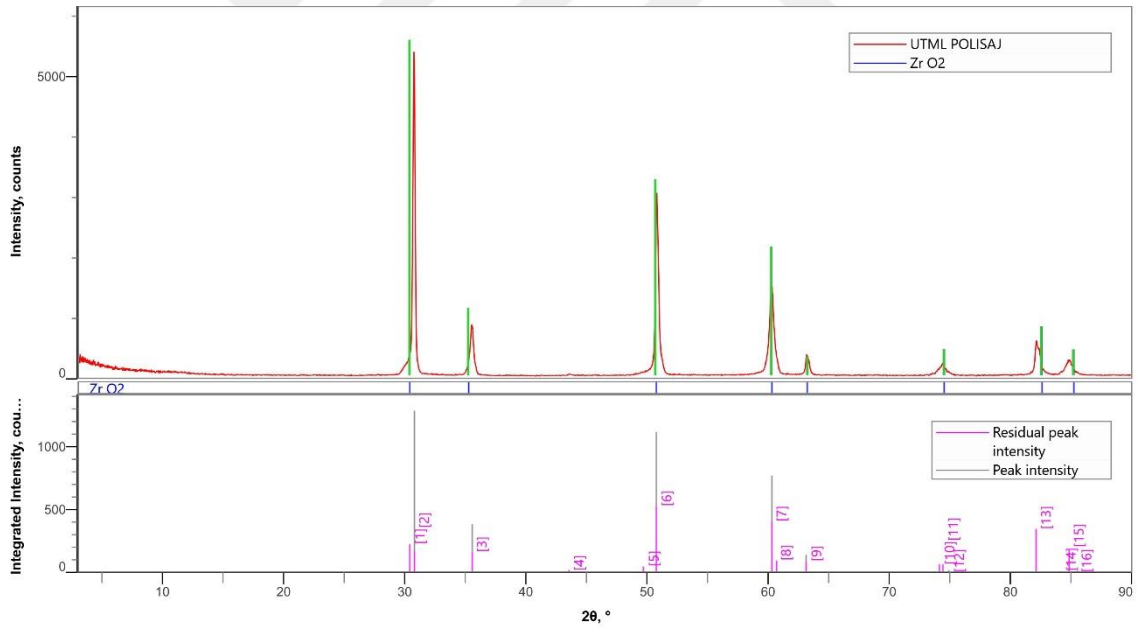


Şekil 4. 8. ZG grubu örneği XRD grafiği

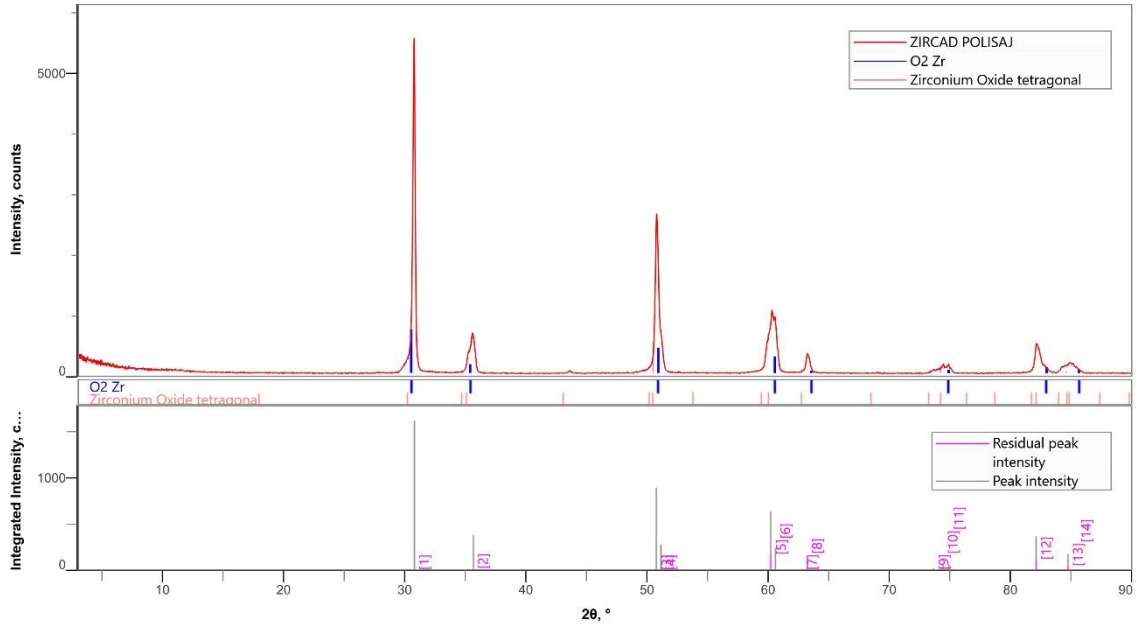
4.4.3 Polisaj Grubu XRD Analizi Bulguları



Şekil 4. 9. SP grubu örneği XRD grafiği

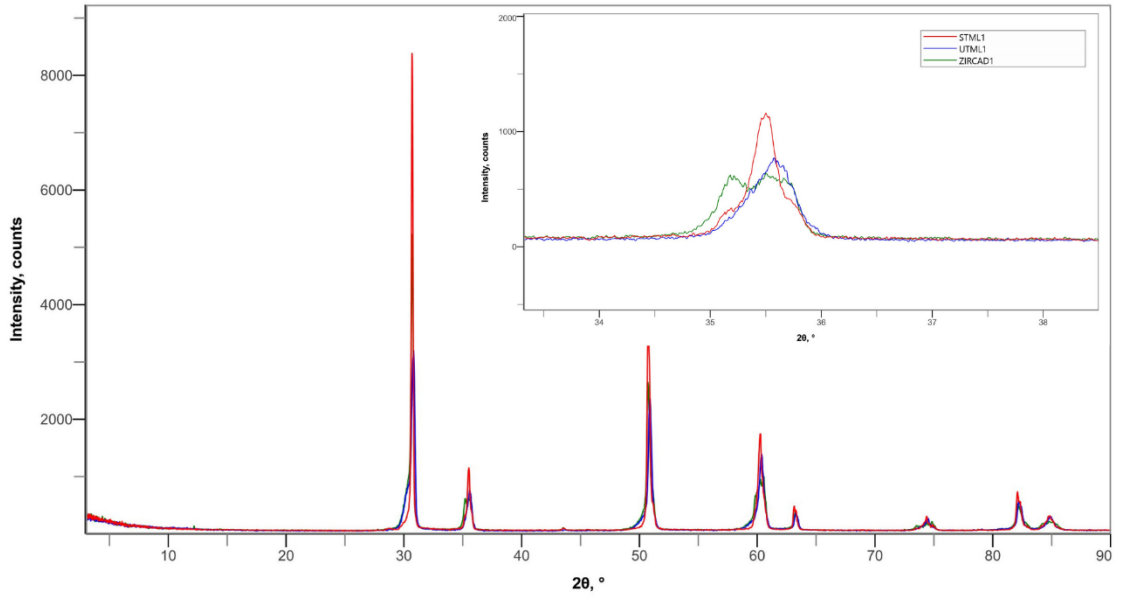


Şekil 4. 10. UP grubu örneği XRD grafiği



Şekil 4. 11. ZP grubu örneği XRD grafiği

Yapılan XRD analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda; polisaj ve glazür grubundaki tüm örneklerin pik ve grafik değerlerinin, kontrol grubu ile benzer olduğu; kontrol grubundaki her örneğin pik ve grafik değerlerinin de difraktometrenin veri tabanında bulunan kübik zirkonyaya ait XRD analiz değerleriyle benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Analiz yapılan örneklerin hiçbirinde monoklinik faz piki izlenmemiştir. Örneklerde tetragonal-monoklinik faz dönüşümünü düşündüren herhangi bir bulgu gözlenmemiştir. ZK, ZP ve ZG gruplarının XRD analizlerinde; grafiğin pik değerlerinde çatallanma görülmüştür. SG, UG ve ZG gruplarında; yayvan bir pik görünümü izlenmiştir.



Şekil 4. 12. ZirCAD MT Multi örneklerin XRD grafiklerinde görülen çatallanma

5 TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı itriyum oranlarına sahip 3 farklı çok katmanlı monolitik zirkonya materyaline uygulanan polisaj ve glazür işlemlerinin; materyalin optik özelliklerine ve faz değişimine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmamızın H_0 hipotezi “polisaj ve glazür işlemlerinin çok katmanlı monolitik zirkonya seramiklerin optik özelliklerini etkilemeyeceği ve faz değişimine sebep olmayacağı” şeklinde belirlenmiştir. Çalışmamız sonucunda polisaj ve glazür işlemlerinin, çok katmanlı monolitik zirkonya seramiklerin optik özelliklerini etkilediği fakat materyallerde faz değişimine neden olmadığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre SP ile SG ($p<0,001$), UP ile UG ($p<0,001$), ZG ile ZP ($p=0,002$) gruplarının ΔE_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur. Glazür ölçümlerinin polisaj ölçümlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. ZG grubunda glazür işleminden sonra meydana gelen renk değişimi ile SG ve UG gruplarında glazür işlemi sonrası meydana gelen renk değişimi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar elde edilmiştir ($p=0,035$ ve $p=0,001$, $p<0,05$). SG ve UG gruplarının renk değişim ölçümlerinin, ZG grubunun renk değişim ölçümlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yapılan glazür ve polisaj işlemleri, örneklerin TP_{00} değerlerine istatistiksel olarak anlamlı etkide bulunmamıştır ($p<0,05$). Polisaj işlemi sonucunda elde edilen ortalama TP_{00} değerleri kontrol grubundan yüksek bulunmuştur. Glazür işlemi sonucunda elde edilen ortalama TP_{00} değerleri ise kontrol grubundan daha düşük bulunmuştur. XRD analizleri değerlendirildiğinde, yapılan yüzey işlemleri sonrasında örneklerde faz değişimi meydana geldiğini düşündüren bir bulguya rastlanmamıştır. Çalışmamızın H_0 hipotezi kısmen kabul edilmiştir.

Diş hekimliğinde estetik beklentinin artışıyla; üreticiler metal içermeyen, translüsensi değeri yüksek ve aynı zamanda da güçlü materyaller üzerinde çalışmaya yoğunlaşmışlardır. (Awad ve ark., 2015) Yaklaşık 25 yıl önce piyasaya sürülen itriyumla stabilize zirkonyalar, biyouyumlu ve yüksek dayanımlı oldukları için dikkat çekmiş fakat opasiteleri yüksek olduğu için daha çok altyapı materyali olarak kullanılmışlardır. (Baldissara ve ark., 2010) Zirkonyanın altyapı olarak tercih edildiği durumlarda, veneerleme yapılan seramiklerde en sık görülen komplikasyon chipping olayıdır. Y-TZP üzerine yapılan araştırmalarla, materyalin translüsensi özelliği geliştirilmeye çalışılmış; CAD-CAM sistemleriyle üretilebilen ve veneerlemeye ihtiyaç duyulmayan “monolitik zirkonyalar” piyasaya sürülmüştür. Monolitik zirkonya restorasyonların;

- Yüksek mukavemete sahip olma
- Diş preparasyonunun daha konservatif olması
- Antagonist diş aşınmasını en aza indirme
- Tatmin edici estetik sonuçlar verme
- Chipping ihtimalini ortadan kaldırma
- Daha az laboratuvar işlemi ve klinik randevusu gerektirme gibi avantajları bulunur. (Albashaireh ve ark., 2010; Christensen ve BruxZir, 2014; Griffin, 2013)

Birinci nesil Y-TZP seramikler; %3 mol itriya içermektedir. Oldukça opaktır ve daha çok altyapı materyali olarak kullanılır.

İkinci nesil Y-TZP seramiklerde itriya içeriği mol olarak aynı kalsa da alümine içeriği %0,25'ten %0,05'e düşürülmüş ve materyalin translüsensi özelliği artırılmıştır. Alümina içeriğinin azaltılması tetragonal faz stabilizasyonunu da azalttığı için materyal düşük ısı bozunmasına daha yatkın hâle gelmiştir. (Malallah ve Hasan, 2023) Katana HT (Kuraray Noritake) ve IPS e.max ZirCAD LT ve MO (Ivoclar Vivadent) blokları bu nesle örnektir.

Üçüncü nesil Y-TZP seramiklerde itriya içeriği %5 moldür. Ağırlıkça %7-8 Y_2O_3 içermektedir ve kübik faz oranı %50'ye kadar ulaşmıştır. (F. Zhang ve ark., 2016) Kübik faz materyalin daha translüsens görünmesini sağlar. Daha translüsens bir materyal elde edilmiş olsa da tetragonal fazın azalmış olmasından dolayı mekanik özellikler olumsuz etkilenmiştir. Çalışmamızda da kullanılmış olan Katana UT/UTML (Kuraray Noritake) bloğu bu gruba dahildir.

Dördüncü nesil Y-TZP seramiklerde itriya içeriği ikinci ve üçüncü nesil arasındadır. %4 mol itriya ile stabilize edilmiş olan bu nesil, ağırlıkça %6-7 Y_2O_3 içermektedir. Kübik faz oranı %65'e kadar gelmiştir. Mukavemeti 0,6-1 GPa arasında değişmektedir. (Y. Zhang ve Lawn, 2018) Çalışmamızda da kullanılmış olan IPS e.max ZirCAD MT Multi (Ivoclar Vivadent) ve Katana ST/STML (Kuraray Noritake) blokları bu gruba örnek olarak gösterilebilir.

Son zamanlarda, dental restorasyonların estetik özelliklerini daha da iyileştirmek için çok katmanlı zirkonya sistemleri geliştirilmiştir. Çok katmanlı zirkonya tasarımı, doğal dişlerde gözlemlenen gölge gradyanını taklit etmeyi amaçlamaktadır. Bir kurunun

insizal alanı en translüsent bölümüdür, dişeti bölgesine doğru renk ve opaklık artar. (Nantawan Kolakarnprasert ve ark., 2019) Çok katmanlı monolitik zirkonya bloklarında da doğal dişlere benzer şekilde şekilde translüsensi ve renk geçişi elde edilmeye çalışılmıştır. Bu blokların önemli avantajlarından biri de doğal dişe benzeyen bir gölge gradyanı için gereken fırınlama sayısını azaltması olasılığıdır. (Alves ve ark., 2021) Çok katmanlı monolitik zirkonyalarda renk/gölge gradyanı; pigment ilaveleriyle ve farklı katmanlarda farklı oranda itriya kullanılmasıyla elde edilebilmektedir. Çalışmamızda kullanılan UTML ve STML bloklar renk gradyanlı; IPS e.max ZirCAD MT Multi bloklar ise mukavemet gradyanlı çok katmanlı bloklara örnek olarak gösterilebilir. Çok katmanlı monolitik zirkonya materyaller hem estetik hem de mukavemet bakımından umut vaat etmeleriyle klinik kullanımda popülerite kazanmışlardır. Bu bilgilere dayanarak çalışmamızda UTML, STML ve IPS e.max ZirCAD MT Multi bloklar araştırma konusu olarak belirlenmiştir.

Farklı cam-seramik ve zirkonya türlerinin translüsensi derecelerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, materyaller arasında kalınlığın farklı seviyelerde azalmasıyla translüsensi değerinde bir artış bulunmuş ve bu iki faktör arasında bir ilişki olduğu düşünülmüştür. (F. Wang ve ark., 2013) 2 farklı monolitik zirkonya seramiği ile yapılan bir başka çalışmada farklı kalınlıklarda örnekler hazırlanmış ve optik özellikler incelenmiştir. TP₀₀ ölçümleri sonucunda materyal kalınlığının etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ($p < 0.001$). (Varzandeh ve ark., 2024) Abdelbary ve ark.'ları, monolitik zirkonya materyallerinde kalınlık 0.8 mm' den büyük olduğunda, yaşlandırma ve yüzey işlemlerinin TP değerini değiştirmediğini, 0.5 mm kalınlığında ise önemli ölçüde değiştiğini saptamıştır. (Abdelbary ve ark., 2016) Yapılan bir başka çalışmada, zirkonya restorasyonun prepare edilmiş diş rengini maskelemek için en az 1 mm kalınlıkta olması gerektiği belirtilmiştir. (Tabatabaian ve ark., 2019) Zirkonya restorasyonların maskeleme özelliği kazanabilmeleri için gereken minimum kalınlığın 0,93-0,94 mm ve 0,945 mm olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur. (F. Chu ve ark., 2004; Suputtamongkol ve ark., 2013) Çalışmamızda; gereken restorasyon kalınlıklarını ve standardizasyonu sağlayabilmek adına bütün örnekler 1 mm kalınlıkta üretilmiştir ve polisaj işlemleri sonucunda TP değerleri istatistiksel olarak anlamlı miktarda değişmemiştir.

Seramik yüzeylerin pürüzsüz bir yapıya sahip olması; restorasyonların estetik, biyolojik ve mekanik açıdan üstün özellikler göstermesi bakımından kritik bir rol oynar.

(M.-J. Kim ve ark., 2012) Pürüzsüz yüzeyler ışığın homojen bir şekilde yansımaları sağlarken, pürüzlü yüzeylerde ışığın dağılımı yansıtılarak seramik restorasyonların optik algılamasında farklılıklara neden olur. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü; restorasyonun estetik görünümü ve ışık geçirgenliği özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir. Farklı yüzey bitim işlemleri sayesinde porselen, doğal diş minesine oldukça yakın estetik özellikler kazanırken, kırılma kırılganlığı da azalmaktadır. (F. Chu ve ark., 2000; Wright ve ark., 2004) Pürüzlü restoratif yüzeyler, lekelenmelere karşı daha hassas bir yapı sergilemektedir ve bu durum, restoratif materyallerin uzun ömürlü kullanımı açısından kritik bir klinik faktör olarak değerlendirilmektedir. (Sarıkaya ve Hayran, 2018) Bir materyale ait translüsen si değeri de estetik beklentinin yüksek olduğu vakalarda malzeme seçiminde kritik öneme sahiptir. (Arif ve ark., 2019) Yüzey bitirme işlemleri, seramik yüzeyler üzerinde yüzey topografyasını ve ışık saçılımını etkileyebilecek mekanik bir etkiye sahiptir. (Akar ve ark., 2014) Birçok çalışma çeşitli yüzey bitirme işlemlerinin materyallerin optik özelliklerini etkilediğini ortaya koymuştur. (Akar ve ark., 2014; M. M. Manziuc ve ark., 2019; Sarıkaya ve Hayran, 2018) Restorasyon yüzeyinin düz veya pürüzlü olması, materyalin L* değerini değiştirerek parlaklığını etkilemektedir. (Awad ve ark., 2015) Monolitik zirkonya materyallerinin estetik ve fonksiyonel özelliklerini artırmak amacıyla polisaj ve glazür işlemlerinin uygulanması, doğal diş yapısına benzer ışık yansıtma özelliklerine sahip pürüzsüz ve parlak yüzeyler elde etmek açısından kritik bir öneme sahiptir.

Manziuc ve ark.'larının gerçekleştirdiği bir çalışmada, 4-Y TZP içeren zirkonyalara uygulanan glazür işleminin translüsen si, renk ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada glazür işlemi sonrası translüsen si özelliğinin anlamlı bir değişim göstermediği ancak renk değişiminin istatistiksel ve klinik olarak fark edilebilir olduğu tespit edilmiştir. (M. M. Manziuc ve ark., 2019) Yine Manziuc ve ark. 2021 yılında yaptıkları çalışmada; glazür işleminin farklı monolitik zirkonya seramiklerde önemli derecede renk farklılığına yol açtığını ve materyalin maskeleme özelliğini artırdığını belirtmişlerdir. (Manziuc ve ark., 2021) Ayrıca, Sınmazışık ve ark.'larının yaptığı bir araştırmada zirkonya destekli tam seramik restorasyonların final renginin, korvener kalınlığı ve glazür işlemi tarafından nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bu çalışmada kalınlığın renge etkisinin olmadığı ancak glazür işleminin algılanabilir renk farkına neden olduğu rapor edilmiştir. (Sınmazışık ve ark., 2014) Benzer şekilde, bizim çalışmamızda

da glazür işlemleri uygulanan örneklerdeki renk değişim değerleri, polisaj işlemleri uygulanan örneklerle kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

İntraoral polisaj sistemleri; uyumlama işlemleri sonrası tekrar glazür gereksinimini ve karşıt diş aşınmasını ortadan kaldırmak veya minimize etmek için piyasaya sürülmüştür. Ek olarak polisaj işlemleri yüzey kusurlarını gidermekte ve optik özellikleri de olumlu etkilemektedir. (Caglar ve ark., 2018; Preis ve ark., 2011) Polisaj işlemleriyle de glazür işlemleri gibi pürüzsüz yüzeyler elde edilebilir. (Al-Wahadni ve Martin, 1999; Haywood ve ark., 1988; Saraç ve ark., 2006) Fakat polisaj işlemleri; polisaj sistemi, polisajın uygulandığı materyal ve hangi basınçla uygulandığı, kullanılan cihazın rotasyon hızı ve polisaj işlemleri esnasında su soğutmasının var olup olmaması gibi faktörlerden etkilenmektedir. (Akar ve ark., 2014; Haywood ve ark., 1988; Monaco ve ark., 2014; Sarac ve ark., 2006) Polisaj işlemlerinin final aşamasında polisaj patı kullanılmasıyla; glazürlenmiş yüzeylere kıyasla daha pürüzsüz bir yüzey elde edildiğini belirten çalışmalar mevcuttur. (Akar ve ark., 2014; Al-Wahadni ve Martin, 1999; Sarac ve ark., 2006) Martínez-Gomis ve ark.'ları ise yaptıkları çalışmada 4 farklı polisaj tekniği ve polisaj patının seramiklerin yüzey dokusuna olan etkisini incelemişler ve polisaj patının kullanılmasının yüzey pürüzlülüğünü azaltmada önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. (Martínez-Gomis ve ark., 2003) Çalışmamızda polisaj işlemleri esnasında polisaj patı kullanılmamıştır. Soliman ve ark.'ları yaptıkları çalışmada 4 farklı polisaj sisteminin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemiş ve Jiffy Natural Universal System polisaj kiti ile en düşük yüzey pürüzlülük değerini elde etmişlerdir. (Soliman ve ark., 2020) Bertoldo ve ark.'larının yaptıkları çalışmada, iki farklı polisaj sisteminin yüzey pürüzlülüğüne ve renklenmeye olan etkisi incelenmiş ve Jiffy System polisaj kiti ile daha düşük yüzey pürüzlülüğü dolayısıyla da daha az renklenme elde edilmiştir. (dos Santos Bertoldo ve ark., 2011) Bu bilgiler ışığında çalışmamızda, her materyalden polisaj grubu için seçilen örneklerle seramik polisaj kiti (Jiffy Universal System, Ultradent, 505 West Ultradent Drive, South Jordan) ile iki aşamalı olarak, standardizasyonu sağlamak amacıyla aynı araştırmacı tarafından polisaj yapılmıştır.

Kim ve ark. yaptıkları çalışmada; polisaj ve glazür işlemlerinin monolitik zirkonya seramiklerin final rengi üzerine olan etkisini incelemişler ve parlaklıkta azalma, kırmızımsı ve sarımsı tonlarda artış gözlemlemişlerdir. (H.-K. Kim ve ark., 2013)

Çalışmamızda her marka için üreticinin önerdiği glazür patı ve fırınlama değerleri kullanılarak örneklere glazür işlemi uygulanmış ve renk farklılığı ölçülmüştür.

Diş hekimliğinde renk ve translüsensi ölçümü için kullanılan farklı cihazlar bulunmaktadır. Spektrofotometreler; yüzey renk ölçümleri için en çok kullanılan cihazlardır. Çalışmamızda kullanılan Vita EasyShade V (VITA Zahnfabrik) spektrofotometresi; kablosuz, küçük, taşınabilir, uygun fiyatlı, pilli ve temaslı tiptedir. Hedef bölgenin aydınlatmasını LED ışık kullanarak yaptığı için ölçümlerin ortam koşulları ve aydınlatmadan etkilenmeyeceği iddia edilmiştir. Kim-Pusateri ve ark.'ları yaptıkları çalışmada; Vita Easyshade cihazının, Spectroshade (Spektrofotometre), ShadeVision ve ShadeScan (dijital kameralar) cihazlarına kıyasla en kesin sonuç veren cihaz olduğunu belirtmişlerdir. (Kim-Pusateri ve ark., 2009) Bir başka çalışmada Vita Easyshade ile Shadepilot spektrofotometreleri karşılaştırılmış ve Vita Easyshade cihazının daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. (Kalantari ve ark., 2017) Bu veriler ışığında çalışmamızda örneklerin CIEL*a*b* renk koordinatlarının elde edilmesi için Vita Easyshade V cihazı tercih edilmiştir.

CIE'nin belirlediği renk koordinatlarında L* değeri parlaklığı, a* ve b* değerleri ise rengin chromatik özelliklerini göstermektedir. Diş hekimliğinde renk ile ilgili araştırmalarda CIEL*a*b* formülü sıklıkla kullanılmış olsa da CIE, 2001 yılında CIEL*a*b* formülündeki hataları minimize edebilmek için CIEDE2000 formülünü geliştirmiştir. (Herrera ve ark., 2010) Salas ve ark., CIEDE2000 ΔE_{00} formülünün, algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerinin değerlendirilmesi için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. (Salas ve ark., 2018) Ghinea ve ark., CIEDE 2000 formülünün, CIEL*a*b* formülüne kıyasla iyileştirilmiş olduğunu bildirmişlerdir. (Ghinea ve ark., 2010) Bu bilgilere dayanarak çalışmamızda renk değişimi ve translüsensi parametrelerinin hesaplanmasında CIEDE2000 formülü kullanılmıştır. ΔE_{00} ve TP_{00} değerlerinin hesaplanması için çalışmada kullanılan formüller aşağıdaki gibidir;

$$\Delta E_{00} = [(\Delta L'/K_L S_L)^2 + (\Delta C'/K_C S_C)^2 + (\Delta H'/K_H S_H)^2 + R_T(\Delta C'/K_C S_C)(\Delta H'/K_H S_H)]^{1/2}$$

$$TP_{00} = (L_b - L_w / K_L S_L)^2 + (C_b - C_w / K_C S_C)^2 + (H_b - H_w / K_H S_H)^2 + R_t[(C_b - C_w / K_C S_C)(H_b - H_w / K_H S_H)]^{1/2}$$

Formüldeki K_L , K_C ve K_H değerleri; çalışma koşullarındaki varyasyonlar için kullanılan parametrik faktörlerdir. Çalışmamızda parametrik faktörler, araştırmalarda önerilen şekilde “1” olarak belirlenmiştir. (Pecho ve ark., 2017; Salas ve ark., 2018)

Dental materyallerin estetik başarısı, ağız içerisindeki dişlerle uyumluluğu ve renk stabilitesinin devamlılığına sıkı bir şekilde bağlıdır. Restorasyonların hastalar tarafından beğenilmemesinin en önemli nedeni, bu restorasyonlarda meydana gelen renk değişimleridir. (Topcu ve ark., 2009) Diş hekimliğinde, renk değişiminin algılanabilirliği ve klinik kabul edilebilirliği üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. (del Mar Perez ve ark., 2011; Paravina ve ark., 2015; Paravina ve ark., 2019) CIEDE2000 formülündeki renk eşleşmeleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Paravina ve diğerleri, klinik olarak algılanabilir eşik değerini (perceptibility threshold, PT) gözlemcilerin %50'si tarafından fark edilebilir renk değişim değeri olarak tanımlamıştır; bu değer için ΔE_{00} eşik değeri 0,8 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, klinik olarak kabul edilebilir eşik değeri (acceptability threshold, AT) de gözlemcilerin %50'si tarafından kabul edilebilir renk değişim değeri olarak tanımlanmakta olup, bu değer için ΔE_{00} eşik değeri 1,8 olarak belirlenmiştir. (Paravina ve ark., 2015) Renk değişimi klinik olarak kabul edilebilir seviyenin üzerinde olan restorasyonlar, başarısız kabul edilmekte ve yenilenmeleri gerekebilmektedir. (Pires-de ve ark., 2009) Bu tez çalışmasında; $\Delta E_{00} > 0,8$ değerleri gözle algılanabilir renk değişimi, $\Delta E_{00} > 1,8$ değerleri ise klinik olarak kabul edilemeyen renk değişimleri olarak değerlendirilmiştir. Çalışmamızda; glazür ve polisaj işlemi sonucunda bütün gruplarda algılanabilir renk değişimi meydana gelmiştir ($\Delta E_{00} > 0,8$). Glazür uygulanan gruplarda klinik kabul edilebilir renk değişim eşikini aşan değerlerde renk değişimi olduğu belirlenmiştir ($\Delta E_{00} > 1,8$). Glazür işleminin, bütün materyal gruplarında polisaja kıyasla daha fazla renk değişimine neden olduğu ve bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. (STML için $p < 0,001$, UTML için $p < 0,001$, ZirCAD MT Multi için $p = 0,002$, $p < 0,05$) Glazür işlemi yapılan gruplar kendi içinde değerlendirildiğinde; ZG grubunda, SG ve UG gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha az renk değişimi görülmüştür ($p = 0,035$ ve $p = 0,001$, $p < 0,05$).

Fiorin ve ark. (Fiorin ve ark., 2024), 2024 yılında yaptıkları çalışmada; önceden renklendirilmiş 5 Y-TZP bloklardan elde edilen 1,5 mm kalınlıktaki kuronlara renklendirme, glazür ve polisaj işlemleri uygulayıp restorasyonların sağ kalım oranlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; yapılan işlemlerin, restorasyonun sağ kalım oranını

olumsuz etkilemediği görülmüştür. Silva ve ark. (da Silva ve ark., 2022), 5 Y-TZP seramikten elde edilen örneklerle; renklendirici, glazür, renklendirici sonrası glazür, polisaj ve renklendirici sonrası polisaj işlemleri uygulamış, daha sonra da yaşlandırma işlemi uygulamışlar ve materyalin mekanik ve optik özelliklerini incelemişlerdir. Bütün yüzey bitirme prosedürleri; örneklerde CIEDE2000 formülüne göre kabul edilen referans aralığında algılanabilir renk değişimine neden olurken ($\Delta E_{00} > 0,8$), TP_{00} değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkide bulunmamıştır ($p = 0,069$, $p > 0,05$). Bütün deney gruplarında uygulanan yüzey bitirme prosedürleri, faz değişimine neden olmuştur. Yapılan bir başka çalışmada monolitik zirkonya materyalinden hazırlanan örneklerle polisaj, glazür ve glazür sonrası polisaj işlemleri uygulanıp örneklerin optik özellikleri incelenmiştir. Yapılan yüzey bitirme işlemleri, örneklerde algılanabilir renk değişimine neden olmamıştır. Bu çalışmada, araştırmacılar renk değişimi için CIEL*a*b* formülünü kullanmış ve bu formül için kabul edilen “ $\Delta E > 2,6$ ” değerini algılanabilir renk değişimi eşiği olarak referans almıştır. (Akan ve Talha, 2015)

Kurt ve ark.’nın monolitik zirkonya ve monolitik lityum disilikat seramiklerle yaptıkları çalışmada; örnekler 3 farklı gruba ayrılıp glazür, polisaj ve polisaj sonrası elmas içerikli polisaj patı uygulanmış, ardından da yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; zirkonya örneklerde meydana gelen renk değişimi, klinik kabul edilebilir eşik değerini aşmıştır. Çalışmacılar renk değişiminin hesaplanması için CIEL*a*b* formülünü kullanmış ve bu formül için kabul edilen $\Delta E = 3,8$ değerini klinik kabul edilebilirlik eşiği olarak esas almışlardır. Zirkonyanın rengindeki bu değişim; monolitik zirkonya yüzeyinin ağız içinde su, tükürük vb. sıvılarıyla direkt temasıyla, yüzey kristallerinde görülen düşük ısı bozunması sonucunda monoklinik faz taneciklerinin genişleyip materyal içinde mikro kırıklara neden olması ve bunun da yüzey pürüzlülüğünü artırıp renk stabilitesini bozması şeklinde açıklanmıştır. Zirkonya grupları arasındaki maksimum renk değişimi polisaj grubunda görülmüştür. Yapılan yüzey işlemlerinin, yaşlandırma sonrası sebep oldukları translüsensi değişimleri arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir. (Kurt ve Bal, 2019) Çalışmamızda; CIEDE2000 formülüne göre maksimum ΔE_{00} değeri UG grubunda görülmüştür ($\Delta E_{00} = 2,73$). Bütün materyal gruplarında glazür işlemi, polisaja kıyasla daha fazla renk değişimine neden olmuştur.

Spektral yansımının değerlendirilmesinde translüsensi parametresi ve kontrast oranı (CR) yöntemleri kullanılmaktadır. Materyallerin translüsensisinin değerlendirilmesinde sıklıkla translüsensi parametresi (TP) tercih edilmektedir. Johnston ve ark.'ları, TP'yi spektral yansımaya tek bir parametreyle değerlendiren bir yöntem olarak tanıtmış ve CR yöntemine göre daha basit bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir. (Johnston ve ark., 1995) CR değerlendirmeleri 0-1 aralığında gerçekleştirilirken, TP değerleri 0-100 aralığında olup daha hassas bir değerlendirme sunmaktadır. (Della Bona ve ark., 2014) Bu nedenle, bu tez çalışmasında da translüsensi parametresi referans alınmıştır.

TP için yüksek değerler, materyalin daha fazla ışık geçirgenliğine sahip olduğunu göstermektedir. Materyal tamamen opak olduğunda, translüsensi parametresinin değeri sıfırdır. Doğal dişlerin renk ve translüsensi özellikleri, hastadan hastaya ve hatta dişten dişe farklılık göstermektedir. Restorasyonun klinik başarısı için, materyallerin sadece renk özelliklerinin değil, aynı zamanda translüsensi özelliklerinin de doğal dişlere benzer olması gerekmektedir. (Yu ve Lee, 2008) Literatürde, 1 mm kalınlığındaki insan dentin dokusuna ait ortalama translüsensi değerinin 16.4, mine dokusuna ait ortalama translüsensi değerinin ise 18.7 olduğu belirtilmiştir. (Yu ve ark., 2009) Bizim çalışmamızda en yüksek ortalama TP₀₀ değerleri ZP grubu ölçümlerinde elde edilmiştir. Bu değer 9,49 olup, insan dentin ve mine dokusundan daha az bulunmuştur.

Çalışmamızın sonuçlarına göre; polisaj işlemi sonrası elde edilen TP₀₀ değerleri kontrol grubundan yüksekken, glazür işlemi sonrası elde edilen TP₀₀ değerleri kontrol grubundan daha düşük bulunmuştur. Bütün materyal tipleri kendi içinde değerlendirildiğinde kontrol, polisaj ve glazür grubu örneklerinin ortalama TP₀₀ değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Monolitik, çok katmanlı, önceden renklendirilmiş zirkonya seramikler; polichromatiktir ve katmanlarıyla uyumlu şekilde renk ve translüsensi gradyanına sahiptirler. (Salem ve Asaad, 2019; Tuncel ve ark., 2013) 2015 yılında piyasaya sürülen Katana UTML, STML ve ML bloklar; çok katmanlı monolitik seramiklere ilk örnekler olup araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmüşlerdir. (Harada ve ark., 2016; Ueda ve ark., 2015) Bu seramikler; katmanlar arasında mukavemet farklılığı olmaksızın, yalnızca pigmentasyonla doğal dişlere benzer bir renk gradyanı gösterirler. (Kaizer ve ark., 2020)

Kolakarnprasert ve ark.'nın (N. Kolakarnprasert ve ark., 2019), itriya içeriği birbirinden farklı olan bu 3 blokla yaptıkları çalışmada; UTML ve STML bloklarından elde edilen örnekler arasında translüsensi bakımından anlamlı bir fark bulunmadığı, ML bloktan elde edilen örneklerin en düşük translüsensi değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır ($p>0,16$, $p>0,05$). Bu durum UTML ve STML blokların; itriya içeriğinin, tanecik boyutunun ve kübik faz oranının fazla olması ile açıklanabilir. (Y. Zhang ve B. R. Lawn, 2018) Kim ve ark.'ları, itriyum oksit içeriğindeki farklılıklar nedeniyle çeşitli zirkonya türlerinin farklı yarı saydamlık özelliklerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. (H.-K. Kim ve ark., 2016) İtiryum oksit içeriğindeki artış, çift kırılma özelliği göstermeyen kübik faz miktarını artırarak yarı saydamlığı artırmaktadır. Zhang ve ark.'ları yaptıkları çalışmada farklı itriyum içeriğine sahip zirkonyaları yüksek translüent lityum disilikat ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, en yüksek translüsensi değerinin lityum disilikat örneklerinde tespit edildiği, zirkonyalarda ise itriyum içeriği arttıkça elde edilen translüsensi değerinin de arttığı bulunmuştur. (F. Zhang ve ark., 2019) Çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre UTML ve STML materyallerinin kontrol grubu TP₀₀ ölçümleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). İki materyalin itriyum içerikleri farklı olmasına rağmen böyle bir sonuç elde edilmesinin, materyallerin içerdiği renk pigmentlerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Materyallerin çok katmanlı olmaları nedeniyle mine ve dentin tabakaları arasındaki pigment bileşimi farklıdır ve bu; translüsensi değerinde önemli bir farklılığa neden olmamıştır.

Cho ve Seol (Cho ve Seol, 2022), yaptıkları çalışmada; Katana STML ve IPS e.max ZirCAD MT Multi bloklarından elde ettikleri örneklerin optik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, iki seramik grubunun katmanları arasında; ortalama geçirgenlik ve kontrast değeri değerlendirildiğinde IPS e.max ZirCAD MT Multi grubu daha translüsens görünse de geçiş 1 tabakası haricinde anlamlı bir fark bulunamamıştır. Katana STML'deki translüsensi gradyanı sadece pigmentasyon gradyanından kaynaklanırken; IPS e.max ZirCAD MT Multi grubunda katmanlar arasındaki itriya içeriğinin farklı olması ve pigmentasyon gradyanı, translüsensi gradyanını sağlamıştır. Çalışmamızda benzer şekilde SK ile ZK gruplarının ortalama TP₀₀ değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmamakla beraber ZK grubunun ortalama TP₀₀ değerleri SK grubundan daha yüksek bulunmuştur ($p>0,05$).

Maharishi ve ark., yaptıkları çalışmada renk gradyanlı STML bloklar ile mukavemet gradyanlı IPS e.max ZirCAD Prime bloklardan katman şeklinde örnekler hazırlayıp bunların mekanik ve optik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre, iki grupta da katmanlar arasında farklı ışık geçirgenlikleri gözlemlenmiş ve bunlar çıplak gözle algılanabilir düzeyde olmuştur. İki materyal de belirli bir renkte seçilmiş olsa da STML örneklerin daha chromatik olduğu belirtilmiştir. (Maharishi ve ark., 2024) Bu durumun STML materyalinin gölge gradyanının renk pigmentleriyle sağlanmış olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Michailova ve ark.; iki farklı çok katmanlı monolitik zirkonya ve bir lityum disilikat seramikle yaptıkları çalışmada, bu materyallerin mukavemet ve translüsensi özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada çok katmanlı seramik olarak; biri katmanları arasında itriya içeriğinin farklı olduğu IPS e.max ZirCAD Prime ve diğeri de renk gradyanının, itriya içeriğindeki farklılıkla değil pigmentasyonlarla sağlandığı Katana STML diski kullanılmıştır. Çalışmaya göre ZirCAD Prime grubunun mine tabakasında ışık geçirgenliği, STML grubundan daha yüksek bulunmuştur. STML seramikler 4 mol itriya içerirken, IPS e.max ZirCAD Prime seramiklerin katmanlarındaki itriya içeriği 3 ve 5 mol olarak değişmektedir. Elde edilen sonucun, bu katmanlardaki itriya içeriğine bağlı olduğu düşünülebilir. Aynı zamanda iki materyaldeki mine katmanının kalınlığının farklı olmasının bu durumu etkilediği düşünülmektedir. (Michailova ve ark., 2020) Çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre ZK ve SK gruplarının ortalama TP_{00} değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$). ZK grubunun ortalama TP_{00} değerleri, SK grubunun ortalama TP_{00} değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu sonucun sebebinin STML materyalinin %4 mol, ZirCAD MT Multi materyalinin ise katmanlar arasında değişecek şekilde %4-5 mol itriya içermesiyle ilgili olabileceği düşünülmüştür.

Abdulmajeed ve ark., 2024 yılında yaptıkları çalışmada Katana markasına ait HT, STML ve UTML bloklarından hazırlanan 1,2 mm kalınlıkta örneklere aşındırma ve polisaj işlemi uygulayıp, optik özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre iki işlem de örneklerin TP_{00} değerlerine istatistiksel olarak anlamlı etkide bulunmamıştır ($p=0,91$). 3 materyal arasında en yüksek translüsensi değerleri UTML grubunda elde edilmiştir. (Abdulmajeed ve ark., 2024) Çalışmamızda, Abdulmajeed ve ark.'larının çalışmasına benzer şekilde SP, UP ve ZP gruplarının TP_{00} değerleri, yapılan polisaj

işleminde istatistiksel olarak anlamlı etkilenmemiştir ($p>0,05$). UP grubunun ortalama TP_{00} değerleri SP grubundan daha yüksek bulunmuştur.

Toma ve ark., 1 tanesi STML blok olmak üzere 3 farklı çok katmanlı monolitik zirkonya materyali kullanarak yaptıkları çalışmada; örneklere polisaj ve glazür işlemi uygulamışlar ve optik özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; polisaj ve glazür işlemleri, zirkonyanın optik özelliklerini etkilemektedir. Polisaj yapılmış örneklerin translüsensi değeri, glazür yapılmış örneklerden daha yüksektir. En düşük ortalama TP_{00} değeri STML grubunun servikal katman ölçümlerindedir. (Toma ve ark., 2023). Bizim çalışmamızda ise en düşük TP_{00} değeri, UG grubunda elde edilmiştir. Bu farklılığın sebebinin; Toma ve ark.'larının yüzey bitirme işlemleri sonrasında yaşlandırma prosedürü uygulamış olması ve ölçümlerin örneklerin farklı katmanlarından yapılmış olması olabileceği düşünülmektedir. Toma ve ark.'nın çalışmasında; polisaj grubundan elde edilen TP_{00} değerleri, glazür grubundan elde edilen TP_{00} değerlerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Bizim çalışmamızda ise polisaj grubu ortalama TP_{00} değerleri glazür grubundan yüksek olsa da aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$).

Jamali ve ark. yaptıkları çalışmada; aynı üretici tarafından üretilmiş fakat farklı translüsensi değerine sahip 3 zirkonya materyalinden elde ettikleri örneklere farklı prosedürlerde aşındırma, polisaj ve glazür işlemi uygulayıp translüsensi parametrelerini incelemişlerdir. Sonuçta aşındırma işleminin; zirkonyanın yüzey pürüzlülüğünü artırdığı ve polisajın da azalttığı görülmüştür. Yeniden glazür işlemi; polisaja göre daha pürüzsüz bir yüzey oluşturmamış ancak translüsensi değerini artırmıştır. (Jamali ve ark., 2024) Çalışmamızda, glazür işlemiyle SG, UG ve ZG gruplarında elde edilen ortalama TP_{00} değerlerinin kontrol grubu örneklerine kıyasla daha az olduğu fakat bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır ($p<0,05$). İki çalışma arasında TP_{00} değeri bakımından görülen bu farklılığın; Jamali ve ark.'nın çalışmalarında yeniden glazür işlemi yapmış olmasından ve örnek kalınlıklarının farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Y-TZP seramikler; zirkonyanın, faz stabilizasyonunu sağlamak üzere itriya ilave edilmiş hâli olup, tetragonal fazdadırlar. Metastabil tetragonal faz, zirkonya materyalinin oda sıcaklığında kütle hâlinde kalabilmesine de imkân tanımaktadır. Tetragonal faz;

mekanik bir stresle karşı karşıya kaldığında monoklinik faza dönüşür. Faz dönüşümü nedeniyle meydana gelen hacim genişlemesi de kırığın ilerlemesini engeller. Bu olay “dönüşüm sertleşmesi” olarak adlandırılır. (Garvie ve ark., 1990) Zirkonyaya sertlik kazandıran bu faz dönüşümü kontrolsüz gerçekleşirse materyalin yaşlanmasına veya düşük ısı bozunmasına neden olur. (Guazzato ve ark., 2005; Tomaž Kosmač ve ark., 2008) Zirkonya materyalindeki faz değişimlerini incelemek için pek çok farklı yöntem bulunmaktadır. X ışını kırınım (XRD) analizi, zirkonyanın kristalografik değişimlerinin araştırılması için en sık kullanılan yöntemlerden birisidir. (Chevalier ve ark., 2007; Lughi ve Sergo, 2010) Çalışmamızda; bütün deney gruplarından rastgele seçilen 1'er örneğe kristalografik yapılarının incelenmesi için XRD analizi yapılmıştır. Yapılan XRD analizleri sonucunda tetragonal-monoklinik faz dönüşümünü düşündüren bir bulguya rastlanmamıştır. Kontrol grubu da dahil olmak üzere bütün grupların pik değerleri ve grafikleri, difraktometrenin veri tabanında bulunan kübik zirkonya grafikleriyle örtüşmüştür. SG, UG ve ZG gruplarında; glazür patlarının içeriğindeki camdan kaynaklandığı düşünülen amorf kristal yapı nedeniyle yayvan bir pik görünümü izlenmiştir. ZS, ZG ve ZP gruplarının pik görünümünde çatallanma izlenmiştir. Bu çatallanmanın; ZirCAD materyalinin katmanları arasındaki itriya içeriğinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Taramalı elektron mikroskopları; materyallerin morfolojilerini, nanometre düzeyinden mikrometre düzeyine kadar incelemeye imkân tanıyan cihazlardır. Çalışmamızda; yapılan polisaj ve glazür işlemleri sonrası materyallerin morfoloji ve topografilerinde meydana gelebilecek değişimleri araştırabilmek adına her deney grubundan rastgele seçilen 1'er örneğe uygulanan işlem öncesi ve sonrasında SEM analizi yapılmıştır. Çalışmamızda yapılan SEM analizlerine göre; yüzey bitirme işlemi uygulanmış olan örneklerin, uygulanmamış olan örneklere kıyasla daha düzgün bir yüzeye sahip olduğu belirlenmiştir. Glazür ve polisaj işlemleri, örneklerin yüzey topografisinde değişime yol açmamıştır. Hem glazür hem de polisaj işleminin materyalin yüzey düzgünlüğünü artırdığı, glazür sonucunda polisaja kıyasla daha düzgün yüzeyler elde edildiği görülmüştür. Örneklerin yüzeyinde bulunun derin çizik, oluk ve çukurlar silikleşmiş olsa da tamamıyla giderilememiştir.

Zirkonya materyaline uygulanan intraoral polisaj işleminin materyale etkisini araştıran bir çalışmada 1,6 mm kalınlıkta ve bar şeklinde örnekler hazırlanıp aşındırma

sonrası polisaj işlemi uygulanmıştır. SEM analizi sonucunda aşındırma işleminin belirgin yüzey düzensizliklerine sebep olduğu ve ardından yapılan polisaj işlemi ile daha pürüzsüz bir yüzey elde edildiği görülmüştür. Örneklere mukavemet testi uygulanmış ve polisajlanmış örneklerin kırılmaya karşı direncinin kontrol grubundan daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (Janagaraj ve ark., 2024) Bu durumun; zirkonyanın mukavemeti ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ters orantıdan kaynaklandığını ve materyal içindeki streslerin çoğunlukla gerilim bölgesinde yoğunlaştığını düşünen araştırmacılar mevcuttur. (Flury ve ark., 2010; S.-H. Kang ve ark., 2013)

Özer ve ark. zirkonya seramiklerle yaptıkları çalışmada, iki farklı kalınlıkta örnekler hazırlamış ve bu örneklere alüminyum oksit tozuyla kumlama ve aşındırma sonrası polisaj işlemi uygulayıp örnekleri XRD ve SEM analizine tabi tutmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre; grupların monoklinik faz oranları %9,2 ile %13,2 arasında değişmekte olup kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu belirlenmiştir. Aşındırma sonrası polisaj grubunda monoklinik fazda azalma olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebinin; aşındırma işlemi esnasında açığa çıkan fazla ısıdan kaynaklanan ters tetragonal-monoklinik faz dönüşümü olabileceği öne sürülmüştür. (Swain ve Hannink, 1989) XRD analizi, monoklinik faz hacminin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu göstermesine rağmen, kumlama yapılmış örneklerin SEM görüntüleri ile kontrol ve aşındırma sonrası polisaj örneklerinin görüntüleri arasında belirgin bir fark gözlenmiştir. Kontrol ve aşındırma sonrası polisaj gruplarında delaminasyonlu alanlar ve ayrılmış tanecikler görülmüştür. Kumlama örneklerinin yüzeyleri keskin tanecikler ve çıkıntılar ile pürüzlü olmasına rağmen, herhangi bir çatlak veya hasarlı alan gözlenmemiştir. (Özer ve ark., 2018)

Hammoudeh ve ark.'ları çalışmalarında, yüksek translüsenansiye sahip zirkonya materyalinden örnekler hazırlayıp farklı protokollere uyarak farklı yüzey bitirme işlemleri uygulamışlardır. Yapılan XRD analizleri sonucunda kontrol grubu da dahil olmak üzere bütün gruplarda monoklinik faz piki görülmüştür. (Hammoudeh ve ark., 2024) Pereira ve ark.'larının çalışmasında ise Katana STML, UTML ve ML materyallerinden $1,2\pm 0,2$ mm kalınlıkta örnekler hazırlanıp yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre STML ve UTML materyallerinde monoklinik faz piki izlenmemiştir. Bu durum, STML ve UTML materyallerinin stabilizatör oranının ML'ye göre fazla olmasına bağlanmıştır. (Pereira ve ark., 2018) Zucuni ve ark.'larının

IPS e.max ZirCAD MT Multi materyalinden 0,8 mm kalınlıkta örnekler hazırlayıp bu örneklere aşındırma, polisaj ve glazür işlemleri uyguladıkları çalışmanın sonuçlarına göre; polisaj ve glazür işlemleri, aşındırma işlemi sonrası oluşan yüzey pürüzlerini gidermiştir. Yapılan yüzey bitirme işlemleri tetragonal-monoklinik faz dönüşümüne neden olmamıştır. (Zucuni ve ark., 2020)

Zirkonya restorasyonlarda yapılan klinik uyumlama işlemleri sonrasında, düzensiz ve pürüzlü yapının giderilmesi için yeniden glazür veya polisaj işlemi uygulanmalıdır. Glazür işlemi ile düzensizlikler ve yüzey pürüzlülükleri giderilir ve materyal, soğutma işlemi sırasında oluşan basınç stresi ile güçlendirilmiş olur. Fakat yeniden glazür işlemi; birden fazla klinik randevusu ve ekstra fırınlama işlemi anlamına gelir ki bu da zirkonya yüzeyinde katastropik etkiye ve ters faz dönüşümüne neden olabilir. (Aravind ve ark., 2013; Çağlar ve ark., 2018; Fairhurst ve ark., 1992; Rosentritt ve ark., 2012) İntraoral ve extraoral polisaj sistemleri ise, ekstra fırınlama gereksinimi ve klinik ziyaretleri olmaksızın yüzey kusurlarını azaltabilir. Öztürk ve ark. yaptıkları çalışmada; zirkonya materyalinden 1,2 mm kalınlıkta örnekler hazırlayıp bunlara aşındırma, aşındırma sonrası polisaj, aşındırma sonrası glazür, aşındırma sonrası glazür ardından da polisaj işlemleri uygulamışlardır. Materyallere yapılan XRD analizi sonucunda, bitirme ve aşındırma işlemleri ortalama monoklinik faz miktarını artırmış olsa da bu değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). En yüksek monoklinik faz oranı aşındırma grubunda bulunmuştur. Yapılan SEM analizine göre, aşındırma işlemi sonrası polisaj işlemi ile kısmen pürüzsüz bir yüzey oluşturulmuş olsa da derin oluklar ve çizikler giderilememiştir. (Ozturk ve ark., 2022) Vila-Nova ve ark.'ları, 4 mol itriya içeren monolitik zirkonya materyaliyle yaptıkları çalışmada; hazırladıkları örneklere farklı yüzey bitirme prosedürleri uygulamışlardır. Yapılan SEM analizine göre, en yüksek pürüzsüzlük değeri polisaj işlemi sonrası elde edilmiştir. (Vila-Nova ve ark., 2020) Çağlar ve ark., yaptıkları çalışmada 3 mm kalınlıktaki monolitik zirkonya örneklere aşındırma işlemi yapıp, 3 farklı polisaj kitiyle polisaj işlemi uygulamışlar ve örnekleri XRD ve SEM analizleriyle değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; polisaj ve aşındırma işlemleri materyalde tetragonal-monoklinik faz dönüşümüne neden olmamıştır. SEM analizine göre aşındırma ve polisaj işlemleri, kullanılan polisaj kitinden bağımsız olarak yüzey topografisini değiştirmiştir. (Çağlar ve ark., 2018) Bassir ve ark., 2017 yılında yaptıkları çalışmada; 2 mm kalınlıkta bar şeklinde zirkonya örnekler hazırlayıp bunlara

aşındırma ve çeşitli yüzey bitirme işlemleri uygulamışlardır. Yapılan SEM analizlerine göre en az engebeli yüzey, glazür işlemi sonrasında izlenmiştir. En yüksek monoklinik faz değeri aşındırma ve aşındırma sonrası polisaj gruplarında görülmüştür. 2 farklı polisaj kitinin kullanıldığı polisaj gruplarında bu işlemin, materyalde faz değişimine neden olduğu fakat glazür işleminin faz değişimine neden olmadığı belirlenmiştir. (Mohammadi-Bassir ve ark., 2017).

2024 yılında yapılan bir çalışmada 2 farklı zirkonya materyaline 2 farklı polisaj prosedürü uygulanıp materyalin mekanik özellikleri incelenmiştir. SEM analizi sonrası yapılan değerlendirmede aşındırma sonrasında yapılan polisaj işlemiyle daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir. (Phatphutthitham ve ark., 2024) Dokuzlu ve Subaşı; çalışmalarında monoklinik zirkonya örneklerin sinterleme hızlarını değiştirip polisaj, glazür, aşındırma sonrası polisaj ve aşındırma sonrası glazür işlemleri uygulamışlardır. Yapılan SEM analizine göre glazür ve aşındırma sonrası glazür gruplarında yüzey girintileri izlenmemiş ve bu grupların daha pürüzsüz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (Dokuzlu ve Subaşı, 2024)

2024 yılında yapılan bir başka çalışmada 5 Y-TZP seramikten elde edilen örneklerin bir kısmına geleneksel glazür, bir kısmına ise borosilikat içerikli bir glazür uygulanıp kontrol grubuyla beraber mekanik ve optik özellikleri incelenmiştir. Yapılan XRD analizi sonucunda, 2 grubun da difraksiyon paternleri zirkonyanın tetragonal ve kübik faz paternleriyle uyumlu olmuştur. Monoklinik faz yalnızca borosilikatla glazür yapılan grupta gözlemlenmiştir. Bu durum, borosilikatla glazür işlemi yapmanın tetragonal-monoklinik faz dönüşümüne sebep olduğunu düşündürmüştür. (da Silva Rodrigues ve ark., 2024) Çalışmamızda, XRD analizi grafiklerinin değerlendirilmesi sonucunda bütün gruplarda grafik değerlerinin, difraktometrenin veri tabanında yer alan kübik zirkonya grafikleriyle uyumlu olduğu görülmüştür ve monoklinik faz piki izlenmemiştir. Glazür yapılan gruplarda; glazür patlarının içeriğindeki camdan kaynaklandığı düşünülen amorf kristal yapı nedeniyle yayvan bir pik görünümü izlenmiştir. ZS, ZG ve ZP gruplarının pik görünümünde çatallanma izlenmiştir. Bu çatallanmanın; ZirCAD MT Multi materyalinin katmanları arasındaki itriya içeriğinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; piyasadaki çok katmanlı monolitik zirkonya materyallerin başta itriya içerikleri olmak üzere; mukavemetleri, estetik özellikleri, kristal yapıları ve pigment içerikleri farklılık göstermektedir. Zirkonya restorasyonlar için yapılan uyumlama işlemleri sonrası yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için polisaj veya glazür işlemi uygulamak zorunludur. Farklı materyallere uygulanan farklı polisaj ve glazür prosedürlerinin, optik özellikleri etkileyeceği unutulmamalı ve yüzey bitirme işlemi tercihinde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmanın limitasyonları;

- Çalışmada tek çeşit polisaj kiti kullanılması,
- Çalışmanın in-vitro ortamda yapılmış olması,
- Örnek sayısının yetersiz olması,
- Polisaj ve glazür işlemleri öncesinde aşındırma yapılmamış olması
- Farklı katmanlardan farklı renk ölçümlerinin yapılmamış olması, şeklinde belirlenmiştir.

6 SONUÇ

Bu çalışmada 3 farklı çok katmanlı monolitik zirkonya seramiğe uygulanan polisaj ve glazür işlemlerinin, materyallerin optik özelliklerine ve faz dönüşümüne olan etkisi araştırılmıştır. Bu in-vitro çalışmanın yürütüldüğü deneysel koşullar ve çalışmanın limitasyonları dahilinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Polisaj işlemi; UTML, STML ve ZirCAD MT Multi materyallerinde istatistiksel olarak anlamlı olmamakla beraber, ortalama translüsensi değerini artırmıştır. Polisaj sonrası maksimum translüsensi değeri ZirCAD MT Multi materyalinde görülmüştür.
2. Polisaj işlemiyle meydana gelen ortalama renk değişimi değerlerinin, glazür işlemiyle meydana gelen ortalama renk değişimi değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür.
3. Polisaj işlemi ile meydana gelen renk değişimi değerleri incelendiğinde STML, UTML ve ZirCAD MT Multi gruplarının renk değişimi değerleri arasında anlamlı bir fark görülmemiştir.
4. Glazür işlemi; UTML, STML ve ZirCAD MT Multi materyallerinde istatistiksel olarak anlamlı olmamakla beraber, ortalama translüsensi değerini düşürmüştür.
5. Glazür işlemi sonucunda meydana gelen renk değişimi değerleri incelendiğinde STML ve UTML gruplarında, ZirCAD MT Multi materyaline kıyasla daha fazla renk değişimi olduğu belirlenmiştir.
6. Yapılan SEM analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda, glazür işleminin polisaj işlemine göre daha pürüzsüz bir yüzey oluşturduğu görülmüştür. Her iki yüzey bitirme işlemi de yüzey topografisinde herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır.
7. XRD analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda, yapılan yüzey bitirme işlemlerinin materyallerde tetragonal-monoklinik faz dönüşümüne neden olduğunu düşündüren bir bulguya rastlanmamıştır.

7 KAYNAKÇA

- Abdelbary, O, Wahsh, M, Sherif, A, & Salah, T. (2016). Effect of accelerated aging on translucency of monolithic zirconia. *Future Dental Journal*, 2(2), 65-69.
- Abdulmajeed, Awab, Sulaiman, Taiseer A, Suliman, Abdulhaq A, Abdulmajeed, Aous A, & Närhi, Timo O. (2024). Surface roughness and optical characteristics evaluations after chairside adjustment of different zirconia types. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
- Abdulsamee, Nagy, & Nagi, Passant. (2020). Contemporary Understanding of Colors in Aesthetic Dentistry: Review. *EC Dental Science*, 19(2), 1-18.
- Agrawal, Vineet, & Kapoor, Sonali. (2013). Color and shade management in esthetic dentistry. *Univers Res J Dent*, 3(3), 120-127.
- Akan, Ender, & Talha, Meşe Ibrahim. (2015). Does surface finishing method can alter the colour of monolithic zirconia restoration? *Balkan Journal of Dental Medicine*, 19(3), 128-131.
- Akar, Gülcan Coşkun, Pekkan, Gürel, Çal, Ebru, Eskitaşçıoğlu, Gürcan, & Özcan, Mutlu. (2014). Effects of surface-finishing protocols on the roughness, color change, and translucency of different ceramic systems. *The Journal of prosthetic dentistry*, 112(2), 314-321.
- Al-Wahadni, A. (2006). An in vitro investigation into the surface roughness of 2 glazed, unglazed, and refinished ceramic materials. *Quintessence Int*, 37(4), 311-317.
- Al-Wahadni, AM, & Martin, DM. (1999). An in vitro investigation into the wear effects of glazed, unglazed and refinished dental porcelain on an opposing material. *Journal of oral rehabilitation*, 26(6), 538-546.
- Albashaireh, Zakereyya SM, Ghazal, Muhamad, & Kern, Matthias. (2010). Two-body wear of different ceramic materials opposed to zirconia ceramic. *The Journal of prosthetic dentistry*, 104(2), 105-113.
- Almohammed, Saleh N, Alshorman, Belal, & Abu-Naba'a, Layla A. (2022). Optical Properties of Five Esthetic Ceramic Materials Used for Monolithic Restorations: A Comparative In Vitro Study. *Ceramics*, 5(4), 961-980.
- Alqutaibi, Ahmed Yaseen, Ghulam, Omar, Krsoum, Majid, Binmahmoud, Suhail, Taher, Hasan, Elmalky, Wael, & Zafar, Muhammad Sohail. (2022). Revolution of current dental zirconia: A comprehensive review. *Molecules*, 27(5), 1699.
- Alves, Manuel FRP, Abreu, Lais G, Klippel, Gesinete GP, Santos, Claudinei, & Strecker, Kurt. (2021). Mechanical properties and translucency of a multi-layered zirconia with color gradient for dental applications. *Ceramics International*, 47(1), 301-309.
- Amaya-Pajares, S. P., Ritter, A. V., Vera Resendiz, C., Henson, B. R., Culp, L., & Donovan, T. E. (2016). Effect of Finishing and Polishing on the Surface Roughness of Four Ceramic Materials after Occlusal Adjustment. *J Esthet Restor Dent*, 28(6), 382-396. doi:10.1111/jerd.12222
- Anusavice, KJ. (1996). In *Science of Dental Materials*. (10 ed.). Philadelphia, .
- Aravind, Prasad, Razak, P Abdul, Francis, PG, Issac, Johnson K, Shanoj, RP, & Sasikumar, TP. (2013). Comparative evaluation of the efficiency of four ceramic finishing systems. *Journal of international oral health: JIOH*, 5(5), 59.
- Arif, Rabia, Yilmaz, Burak, & Johnston, William M. (2019). In vitro color stainability and relative translucency of CAD-CAM restorative materials used for laminate veneers and complete crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*, 122(2), 160-166.
- Artioli, Gilberto. (2000). Inorganic compounds and minerals studied using X-ray diffraction. In *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (Vol. 2, pp. 924-933): Academic Press.

- Askari, Ehsan, Flores, Paulo, & Silva, Filipe. (2018). A particle swarm-based algorithm for optimization of multi-layered and graded dental ceramics. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 77, 461-469.
- Ateş, Mehmet. (2018). Nanoparçacıkların ölçme ve inceleme teknikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 63-69.
- Awad, Daniel, Stawarczyk, Bogna, Liebermann, Anja, & Ilie, Nicoleta. (2015). Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. *The Journal of prosthetic dentistry*, 113(6), 534-540.
- Baldissara, Paolo, Llukacej, Altin, Ciocca, Leonardo, Valandro, Felipe L, & Scotti, Roberto. (2010). Translucency of zirconia copings made with different CAD/CAM systems. *The Journal of prosthetic dentistry*, 104(1), 6-12.
- Ban, Seiji. (2020). Chemical durability of high translucent dental zirconia. *Dental materials journal*, 39(1), 12-23.
- Ban, Seiji. (2021). Classification and properties of dental zirconia as implant fixtures and superstructures. *Materials*, 14(17), 4879.
- Borik, MA, Bublik, VT, Kulebyakin, AV, Lomonova, EE, Milovich, FO, Myzina, VA, . . . Tabachkova, N Yu. (2014). Phase composition, structure and mechanical properties of PSZ (partially stabilized zirconia) crystals as a function of stabilizing impurity content. *Journal of alloys and compounds*, 586, S231-S235.
- Boudrias, P. (2005). The yttrium tetragonal zirconia polycrystals (Y-TZP) infrastructure: The new chapter in the search for a metal framework replacement. *J Dent Québec*, 42, 172-176.
- Bravo-Leon, Alfonso, Morikawa, Yuichiro, Kawahara, Masanori, & Mayo, Merrilea J. (2002). Fracture toughness of nanocrystalline tetragonal zirconia with low yttria content. *Acta Materialia*, 50(18), 4555-4562.
- Brewer, Jane D, Wee, Alvin, & Seghi, Robert. (2004). Advances in color matching. *Dental Clinics*, 48(2), 341-358.
- Bruhnke, Maria, Awwad, Yasmin, Müller, Wolf-Dieter, Beuer, Florian, & Schmidt, Franziska. (2022). Mechanical properties of new generations of monolithic, multi-layered zirconia. *Materials*, 16(1), 276.
- Bunaciu, Andrei A, UdrişTioiu, Elena Gabriela, & Aboul-Enein, Hassan Y. (2015). X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical reviews in analytical chemistry*, 45(4), 289-299.
- Bureau, CIE Central. (1995.). CIE technical report: industrial color-difference evaluation. . In (Vol. CIE pub no 116.).
- Burkinshaw, SM. (2004). Colour in relation to dentistry. Fundamentals of colour science. *British Dental Journal*, 196(1), 33-41.
- Butler, EP. (1985). Transformation-toughened zirconia ceramics. *Materials Science and Technology*, 1(6), 417-432.
- Caglar, Ipek, Ates, Sabit Melih, & Duymus, Zeynep Yesil. (2018). The effect of various polishing systems on surface roughness and phase transformation of monolithic zirconia. *The journal of advanced prosthodontics*, 10(2), 132-137.
- Canceill, T., Lacroux, J., Bataille, C., Delrieu, J., Nasr, K., Diemer, F., & Esclassan, R. (2023). Impact of Finishing and Polishing Procedures on CAD/CAM In Vitro Milled Ceramics Surfaces: A Systematic Review. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 31(4), 321-331. doi:10.1922/EJPRD_2520Canceill11
- Chevalier, Jérôme, Cales, Bernard, & Drouin, Jean Michel. (1999). Low-temperature aging of Y-TZP ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, 82(8), 2150-2154.

- Chevalier, Jérôme, Gremillard, Laurent, & Deville, Sylvain. (2007). Low-temperature degradation of zirconia and implications for biomedical implants. *Annu. Rev. Mater. Res.*, 37(1), 1-32.
- Cho, Mi-Hyang, & Seol, Hyo-Joung. (2022). Optical properties, microstructure, and phase fraction of multi-layered monolithic zirconia with and without yttria-gradient. *Materials*, 16(1), 41.
- Chong, B. J., Thangavel, A. K., Rolton, S. B., Guazzato, M., & Klineberg, I. J. (2015). Clinical and laboratory surface finishing procedures for zirconia on opposing human enamel wear: A laboratory study. *J Mech Behav Biomed Mater*, 50, 93-103. doi:10.1016/j.jmbbm.2015.06.007
- Christensen, G, & BruxZir, J. (2014). Milled e. maxCAD: Superior clinical performance at 3+ years. *Clin. Rep*, 7, 1-3.
- Chu, Frederick, Frankel, Nicholas, & Smales, Roger J. (2000). Surface roughness and flexural strength of self-glazed, polished, and reglazed In-Ceram/Vitadur Alpha porcelain laminates. *International Journal of prosthodontics*, 13(1).
- Chu, Frederick, Sham, Arthur SK, Luk, Henry WK, Andersson, Bernt, Chai, John, & Chow, Tak W. (2004). Threshold contrast ratio and masking ability of porcelain veneers with high-density alumina cores. *International Journal of prosthodontics*, 17(1).
- Chu, SJ, & Tarnow, DP. (2001). Digital shade analysis and verification: a case report and discussion. *Practical procedures & aesthetic dentistry: PPAD*, 13(2), 129-136; quiz 138.
- Chu, Stephen J. (2004). Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry. (*No Title*).
- Chu, Stephen J, Trushkowsky, Richard D, & Paravina, Rade D. (2010). Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of dentistry*, 38, e2-e16.
- Claussen, N, & Heuer, AH. (1991). Transformation toughening. In *Concise Encyclopedia of Advanced Ceramic Materials* (pp. 494-497): Elsevier.
- Cochrane, Sally. (2014). The Munsell Color System: A scientific compromise from the world of art. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 47, 26-41.
- Cottom, BA, & Mayo, MJ. (1996). Fracture toughness of nanocrystalline ZrO₂-3mol% Y₂O₃ determined by Vickers indentation. *Scripta materialia*, 34(5).
- Cullity, BD, & Stock, SR. (2001). Elements of x-ray diffraction, Prentice Hall. *Upper Saddle River, NJ*, 388.
- da Silva, Allan Oliveira, Fiorin, Lívia, Faria, Adriana Claudia Lapria, Ribeiro, Ricardo Faria, & Rodrigues, Renata Cristina Silveira. (2022). Translucency and mechanical behavior of partially stabilized monolithic zirconia after staining, finishing procedures and artificial aging. *Scientific Reports*, 12(1), 16094.
- da Silva Rodrigues, Camila, da Silva, Ana Carolina, Sabino, Clarice Ferreira, de Melo, Renata Marques, & Campos, Tiago Moreira Bastos. (2024). Borosilicate glass as a surface finishing alternative for improving the mechanical properties of third-generation zirconia. *Dental materials*, 40(3), 477-483.
- de Lima, Erick, Meira, Josete Barbosa Cruz, Özcan, Mutlu, & Cesar, Paulo Francisco. (2015). Chipping of veneering ceramics in zirconium dioxide fixed dental prosthesis. *Current Oral Health Reports*, 2, 169-173.
- De Souza, Roger A, Pietrowski, Martha J, Anselmi-Tamburini, Umberto, Kim, Sangtae, Munir, Zuhair A, & Martin, Manfred. (2008). Oxygen diffusion in nanocrystalline yttria-stabilized zirconia: the effect of grain boundaries. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 10(15), 2067-2072.
- del Mar Perez, María, Ghinea, Razvan, Herrera, Luis Javier, Ionescu, Ana Maria, Pomares, Héctor, Pulgar, Rosa, & Paravina, Rade D. (2011). Dental ceramics: a CIEDE2000

- acceptability thresholds for lightness, chroma and hue differences. *Journal of dentistry*, 39, e37-e44.
- Della Bona, Alvaro, Nogueira, Audrea D, & Pecho, Oscar E. (2014). Optical properties of CAD–CAM ceramic systems. *Journal of dentistry*, 42(9), 1202-1209.
- Denry, I., & Kelly, J. R. (2008). State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*, 24(3), 299-307. doi:10.1016/j.dental.2007.05.007
- Dérand, Per, & Derand, Tore. (2000). Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *International Journal of prosthodontics*, 13(2).
- Doğan, Dt Ayşegül, & Yüzügüllü, Bulem. (2011). Renk seçiminde güncel teknolojik gelişmeler. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2011(4), 65-72.
- Dokuzlu, Seren Nur, & Subaşı, Meryem Gülce. (2024). Effect of sintering programs and surface treatments on monolithic zirconia. *The journal of advanced prosthodontics*, 16(1), 25.
- Dondelinger, Robert M. (2011). Spectrophotometers. *Biomedical Instrumentation & Technology*, 45(2), 139-143.
- Doremus, RH. (1992). Bioceramics [--review]. *Journal of Materials Science*, 27(2), 285-297.
- dos Santos Bertoldo, Carlos Eduardo, Miranda, Diogo Azevedo, Souza-Junior, Eduardo José, Aguiar, FH, Lima, DANL, & Lovadino, José Roberto. (2011). Evaluation of surface roughness and color stability of direct resin composites after different polishing protocols. *Int J Dent Clin*, 3(3), 4-7.
- Dozić, Alma, Kleverlaan, Cornelis J, El-Zohairy, Ahmed, Feilzer, Albert J, & Khashayar, Ghazal. (2007). Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *Journal of Prosthodontics*, 16(2), 93-100.
- Eichler, Jens, Rödel, Jürgen, Eisele, Ulrich, & Hoffman, Mark. (2007). Effect of grain size on mechanical properties of submicrometer 3Y-TZP: fracture strength and hydrothermal degradation. *Journal of the American Ceramic Society*, 90(9), 2830-2836.
- Ermrich, Martin, & Opper, Detlef. (2013). XRD for the analyst. *Getting acquainted with the principles. Second. Panalytical*.
- Eroğlu, Erdal, Küçükeşmen, H Cenker, & Uluhan, Burcu. (2007). SD Ü. diş hekimliği fakültesi protetik diş tedavisi kliniğine müracaat eden hastaların diş rengi dağılımının saptanması. *Medical Journal of Süleyman Demirel University*, 14(2).
- Ersoy, Nuri Murat, Aydoğdu, Hasan Murat, Değirmenci, Beyza Ünalın, Çökük, Neslihan, & Sevimay, Müjde. (2015). The effects of sintering temperature and duration on the flexural strength and grain size of zirconia. *Acta biomaterialia odontologica Scandinavica*, 1(2-4), 43-50.
- Fairhurst, CW, Lockwood, PE, Ringle, RD, & Thompson, WO. (1992). The effect of glaze on porcelain strength. *Dental materials*, 8(3), 203-207.
- Fasbinder, D. J., & Neiva, G. F. (2016). Surface Evaluation of Polishing Techniques for New Resilient CAD/CAM Restorative Materials. *J Esthet Restor Dent*, 28(1), 56-66. doi:10.1111/jerd.12174
- Fathy, Salma M, El-Fallal, Abeer A, El-Negoly, Salwa A, & El Bedawy, Abu Baker. (2015). Translucency of monolithic and core zirconia after hydrothermal aging. *Acta biomaterialia odontologica Scandinavica*, 1(2-4), 86-92.
- Fiorin, Livia, Poole, Stephanie Francoi, Oliveira, Paulo Eduardo Barros Souza, Faria, Adriana Claudia Lapria, Ribeiro, Ricardo Faria, & Rodrigues, Renata Cristina Silveira. (2024). Effect of Staining, Glazing and Polishing on the Survival Probability of Monolithic Zirconia Crowns. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
- Flury, Simon, Lussi, Adrian, & Zimmerli, Brigitte. (2010). Performance of different polishing techniques for direct CAD/CAM ceramic restorations. *Operative dentistry*, 35(4), 470-481.

- Fondriest, James. (2003). Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *International journal of Periodontics and restorative dentistry*, 23(5), 467-480.
- Garber, David A, Adar, Pinhas, Goldstein, Ronald E, & Salama, Henry. (2000). The Quest for the All-Ceramic Restoration. *Quintessence of Dental Technology (QDT)*, 23.
- Garvie, Ronald C, Hannink, RH, & Pascoe, RT. (1990). Ceramic steel? In *Sintering Key Papers* (pp. 253-257): Springer.
- Garvie, Ronald C, & Nicholson, Patrick S. (1972). Structure and thermomechanical properties of partially stabilized zirconia in the CaO-ZrO₂ system. *Journal of the American Ceramic Society*, 55(3), 152-157.
- Ghinea, Razvan, Pérez, María M, Herrera, Luis J, Rivas, María José, Yebra, Ana, & Paravina, Rade D. (2010). Color difference thresholds in dental ceramics. *Journal of dentistry*, 38, e57-e64.
- Giordano, Russell, & McLaren, Edward A. (2010). Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (15488578)*, 31(9).
- Glazür Pati. Retrieved from https://www.e-turkuazdental.com/urun/czr-fc-clear-glaze-5gr?srsltid=AfmBOogphyzD9fybBHn8OG6LRr63z9vVnVM9_5zk6EMTgYqKGDV8sQkN
- Glazür pati ve likidi. Retrieved from https://www.ivoclar.com/en_us/shop/p/allceramics
- Goodkind, Richard J, Keenan, Kathleen M, & Schwabacher, William B. (1985). A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth. *The Journal of prosthetic dentistry*, 53(1), 105-109.
- Griffin, JDJ. (2013). Combining monolithic zirconia crowns, digital impressioning, and regenerative cement for a predictable restorative alternative to PFM. *Compendium*, 34(3).
- Guazzato, Massimiliano, Albakry, Mohammad, Quach, Linda, & Swain, Michael Vincent. (2004). Influence of grinding, sandblasting, polishing and heat treatment on the flexural strength of a glass-infiltrated alumina-reinforced dental ceramic. *Biomaterials*, 25(11), 2153-2160.
- Guazzato, Massimiliano, Albakry, Mohammad, Ringer, Simon P, & Swain, Michael V. (2004). Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dental materials*, 20(5), 449-456.
- Guazzato, Massimiliano, Quach, Linda, Albakry, Mohammad, & Swain, Michael V. (2005). Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *Journal of dentistry*, 33(1), 9-18.
- Guler, Ahmet Umut, Kurt, Safak, & Kulunk, Tolga. (2005). Effects of various finishing procedures on the staining of provisional restorative materials. *The Journal of prosthetic dentistry*, 93(5), 453-458.
- Güth, Jan-Frederik, Stawarczyk, Bogna, Edelhoff, Daniel, & Liebermann, Anja. (2019). Zirconia and its novel compositions: What do clinicians need to know? *Quintessence international*, 50(7).
- Hammoudeh, Hanin, Carracho, Luis, Beard, Charles, & Razzoog, Michael. (2024). Effect of different surface and heat treatments on the surface roughness, crystallography, and phase composition of high translucency zirconia for monolithic restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 131(1), 164. e161-164. e111.
- Hannink, Richard HJ, Kelly, Patrick M, & Muddle, Barry C. (2000). Transformation toughening in zirconia-containing ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, 83(3), 461-487.
- Harada, Kosuke, Raigrodski, Ariel J, Chung, Kwok-Hung, Flinn, Brian D, Dogan, Sami, & Mancl, Lloyd A. (2016). A comparative evaluation of the translucency of zirconias and lithium disilicate for monolithic restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 116(2), 257-263.

- Harianawala, Husain Hatim, Kheur, Mohit Gurunath, Apte, Sanjay Krishnaji, Kale, Bharat Bhanudas, Sethi, Tania Sanjeev, & Kheur, Supriya Mohit. (2014). Comparative analysis of transmittance for different types of commercially available zirconia and lithium disilicate materials. *The journal of advanced prosthodontics*, 6(6), 456-461.
- Haywood, Van Benjamine, Heymann, HO, Kusy, RP, Whitley, JQ, & Andreaus, SB. (1988). Polishing porcelain veneers: an SEM and specular reflectance analysis. *Dental materials*, 4(3), 116-121.
- Heffernan, Michael J, Aquilino, Steven A, Diaz-Arnold, Ana M, Haselton, Debra R, Stanford, Clark M, & Vargas, Marcos A. (2002). Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: core materials. *The Journal of prosthetic dentistry*, 88(1), 4-9.
- Helmer, JD, & Driskell, TD. (1969). *Research on bioceramics*. Paper presented at the Symposium on use of Ceramics as Surgical Implants.
- Herrera, Luis J, Pulgar, Rosa, Santana, Janiley, Cardona, Juan C, Guillén, Alberto, Rojas, Ignacio, & Pérez, María del Mar. (2010). Prediction of color change after tooth bleaching using fuzzy logic for Vita Classical shades identification. *Applied Optics*, 49(3), 422-429.
- Heuer, Arthur Harold, & Hobbs, LW. (1980). Advances in Ceramics. Vol. 3. Science and Technology of Zirconia. *Cleveland, Ohio, 16-18 June 1980*, 1981.
- Hjerpe, Jenni, Närhi, Timo O, Vallittu, Pekka K, & Lassila, Lippo VJ. (2016). Surface roughness and the flexural and bend strength of zirconia after different surface treatments. *The Journal of prosthetic dentistry*, 116(4), 577-583.
- Hmaidouch, Rim, Müller, Wolf-Dieter, Lauer, Hans-Christoph, & Weigl, Paul. (2014). Surface roughness of zirconia for full-contour crowns after clinically simulated grinding and polishing. *International journal of oral science*, 6(4), 241-246.
- Huh, Y. H., Yang, E. C., Park, C. J., & Cho, L. R. (2018). In vitro evaluation of the polishing effect and optical properties of monolithic zirconia. *J Prosthet Dent*, 119(6), 994-999. doi:10.1016/j.prosdent.2017.06.015
- Inokoshi, Masanao, Liu, Hengyi, Yoshihara, Kumiko, Yamamoto, Mao, Tonprasong, Watcharapong, Benino, Yasuhiko, . . . Zhang, Fei. (2023). Layer characteristics in strength-gradient multilayered yttria-stabilized zirconia. *Dental materials*, 39(4), 430-441.
- Jahangiri, Leila, Reinhardt, Suzanne B, Mehra, Rita V, & Matheson, Pamela B. (2002). Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 87(2), 149-152.
- Jamali, Maryam, Ezoji, Fariba, Esmaeili, Behnaz, & Khafri, Soraya. (2024). Comparative effects of glazing versus polishing on mechanical, optical, and surface properties of zirconia ceramics with different translucencies. *Clinical and Experimental Dental Research*, 10(3), e884.
- Janagaraj, Vyshnavi Devi, Shivasubramanian, Lakshmi, Sekar, Vigneswaran, & Hariharan, Annapoorni. (2024). Influence of Finishing and Polishing Procedures on the Surface Characteristics and Flexural Strength of Monolithic Zirconia: An In Vitro Study. *World*, 15(1), 20.
- Johnston, William M, Ma, Tsun, & Kienle, Beth H. (1995). Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *International Journal of prosthodontics*, 8(1).
- Joiner, Andrew. (2004). Tooth colour: a review of the literature. *Journal of dentistry*, 32, 3-12.
- Jouhar, Rizwan, Ahmed, Muhammad Adeel, & Khurshid, Zohaib. (2022). An overview of shade selection in clinical dentistry. *Applied Sciences*, 12(14), 6841.
- Kahramanoğlu, Erkut, & Özkan, Yasemin Kulak. (2013). Diş hekimliğinde estetik ve renk. *Cumhuriyet Dental Journal*, 16(4), 339-347.

- Kaizer, Marina R, Kolakarnprasert, Nantawan, Rodrigues, Camila, Chai, Herzl, & Zhang, Yu. (2020). Probing the interfacial strength of novel multi-layer zirconias. *Dental materials*, 36(1), 60-67.
- Kalantari, Mohammad Hassan, Ghoraihsian, Seyed Ahmad, & Mohaghegh, Mina. (2017). Evaluation of accuracy of shade selection using two spectrophotometer systems: Vita Easyshade and Degudent Shadepilot. *European journal of dentistry*, 11(02), 196-200.
- Kang, Chien-Ming, Peng, Tzu-Yu, & Shimoe, Saiji. (2020). Color accuracy of different types of monolithic multilayer precolored zirconia ceramics. *The Journal of prosthetic dentistry*, 124(6), 789. e781-789. e787.
- Kang, Suk-Ho, Chang, Juhea, & Son, Ho-Hyun. (2013). Flexural strength and microstructure of two lithium disilicate glass ceramics for CAD/CAM restoration in the dental clinic. *Restorative dentistry & endodontics*, 38(3), 134-140.
- Keyf, Filiz, Uzun, Gülay, & Altunsoy, Sema. (2009). Diş hekimliğinde renk seçimi. *Hacettepe Diş hekimliği Fakültesi Dergisi*, 33.
- Khayat, Waad, Chebib, Najla, Finkelman, Matthew, Khayat, Samer, & Ali, Ala. (2018). Effect of grinding and polishing on roughness and strength of zirconia. *The Journal of prosthetic dentistry*, 119(4), 626-631.
- Khurana, R, Tredwin, CJ, Weisbloom, M, & Moles, DR. (2007). A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *British Dental Journal*, 203(12), 675-680.
- Kim-Pusateri, Seungyeon, Brewer, Jane D, Davis, Elaine L, & Wee, Alvin G. (2009). Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *The Journal of prosthetic dentistry*, 101(3), 193-199.
- Kim, Hee-Kyung, Kim, Sung-Hun, Lee, Jai-Bong, & Ha, Seung-Ryong. (2016). Effects of surface treatments on the translucency, opalescence, and surface texture of dental monolithic zirconia ceramics. *The Journal of prosthetic dentistry*, 115(6), 773-779.
- Kim, Hee-Kyung, Kim, Sung-Hun, Lee, Jai-Bong, Han, Jung-Suk, & Yeo, In-Sung. (2013). Effect of polishing and glazing on the color and spectral distribution of monolithic zirconia. *The journal of advanced prosthodontics*, 5(3), 296-304.
- Kim, Mi-Jin, Oh, Sun-Hee, Kim, Ji-Hwan, Ju, Sung-Won, Seo, Deog-Gyu, Jun, Sang-Ho, . . . Ryu, Jae-Jun. (2012). Wear evaluation of the human enamel opposing different Y-TZP dental ceramics and other porcelains. *Journal of dentistry*, 40(11), 979-988.
- Knispel, Gottfried. (1991). Factors affecting the process of color matching restorative materials to natural teeth. *Quintessence international*, 22(7).
- Koenig, Vinciane, Vanheusden, Alain J, Le Goff, Stéphane O, & Mainjot, Amélie K. (2013). Clinical risk factors related to failures with zirconia-based restorations: an up to 9-year retrospective study. *Journal of dentistry*, 41(12), 1164-1174.
- Kolakarnprasert, N., Kaizer, M. R., Kim, D. K., & Zhang, Y. (2019). New multi-layered zirconias: Composition, microstructure and translucency. *Dent Mater*, 35(5), 797-806. doi:10.1016/j.dental.2019.02.017
- Kolakarnprasert, Nantawan, Kaizer, Marina R, Kim, Do Kyung, & Zhang, Yu. (2019). New multi-layered zirconias: Composition, microstructure and translucency. *Dental materials*, 35(5), 797-806.
- Kolorimetre Retrieved from Retrieved from <https://yahoo.aleado.com/lot?auctionID=e294443140>
- Korifi, Rabia, Le Dréau, Yveline, Antinelli, Jean-Francois, Valls, Robert, & Dupuy, Nathalie. (2013). CIEL* a* b* color space predictive models for colorimetry devices—Analysis of perfume quality. *Talanta*, 104, 58-66.

- Kosmač, T, Oblak, Cedomir, Jevnikar, Peter, Funduk, N, & Marion, Ljubo. (1999). The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dental materials*, 15(6), 426-433.
- Kosmač, Tomaž, Oblak, Čedomir, & Marion, Ljubo. (2008). The effects of dental grinding and sandblasting on ageing and fatigue behavior of dental zirconia (Y-TZP) ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(5), 1085-1090.
- Kulyk, Volodymyr, Duriagina, Zoia, Kostryzhev, Andrii, Vasyliv, Bogdan, Vavrukh, Valentyna, & Marenych, Olexandra. (2022). The effect of yttria content on microstructure, strength, and fracture behavior of yttria-stabilized zirconia. *Materials*, 15(15), 5212.
- Kurt, Meral, & Bal, Bilge Turhan. (2019). Effects of accelerated artificial aging on the translucency and color stability of monolithic ceramics with different surface treatments. *The Journal of prosthetic dentistry*, 121(4), 712. e711-712. e718.
- Kurt, Meral, TURHAN BAL, Bilge, & Bal, Cenkhan. (2016). Güncel Renk Ölçüm Yöntemleri: Sistematik Derleme. *Turkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 22(2).
- Kurtulmus-Yilmaz, Sevcan, & Ulusoy, Mutahhar. (2014). Comparison of the translucency of shaded zirconia all-ceramic systems. *The journal of advanced prosthodontics*, 6(5), 415-422.
- l'Éclairage, Commission Internationale de. (1931). Commission internationale de l'éclairage proceedings. In: Cambridge University Press Cambridge.
- Lath, DL, Wildgoose, DG, Guan, YH, Lilley, TH, Smith, RN, & Brook, AH. (2007). A digital image analysis system for the assessment of tooth whiteness compared to visual shade matching. *The Journal of clinical dentistry*, 18(1), 17-20.
- Leitão, Celina Inês Miranda Brito, de Oliveira Fernandes, Gustavo Vicentis, Azevedo, Luís Pedro Pereira, Araújo, Filipe Miguel, Donato, Helena, & Correia, André Ricardo Maia. (2022). Clinical performance of monolithic CAD/CAM tooth-supported zirconia restorations: systematic review and meta-analysis. *Journal of prosthodontic research*, 66(3), 374-384.
- Lenz, J, Thies, M, Schweizerhof, Karl, & Rong, Q. (2002). Thermal stresses in ceramometallic crowns: firing in layers. *Chinese Journal of Dental Research*, 5, 5-24.
- Leslie, Stephen A, & Mitchell, John C. (2007). Removing gold coating from SEM samples. *palaeontology*, 50(6), 1459-1461.
- Li, Qiu-Lan, Jiang, Ying-Yu, Wei, Ya-Ru, Swain, Michael V, Yao, Mian-Feng, Li, Da-Sheng, . . . Wang, Xiao-Dong. (2022). The influence of yttria content on the microstructure, phase stability and mechanical properties of dental zirconia. *Ceramics International*, 48(4), 5361-5368.
- Li, Raymond Wai Kim, Chow, Tak Wah, & Matinlinna, Jukka Pekka. (2014). Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *Journal of prosthodontic research*, 58(4), 208-216.
- Lo Giudice, Roberto, Lipari, Frank, Puleio, Francesco, Alibrandi, Angela, Lo Giudice, Fabrizio, Tamà, Cristina, . . . Lo Giudice, Giuseppe. (2020). Spectrophotometric evaluation of enamel color variation using infiltration resin treatment of white spot lesions at one year follow-up. *Dentistry Journal*, 8(2), 35.
- Lughi, Vanni, & Sergio, Valter. (2010). Low temperature degradation-aging-of zirconia: A critical review of the relevant aspects in dentistry. *Dental materials*, 26(8), 807-820.
- Luo, M. R., Cui, G., & Rigg, B. (2001). The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Research and Application*, 26(5), 340-350. doi:10.1002/col.1049
- Luthardt, RG, Holzhueter, M, Sandkuhl, O, Herold, V, Schnapp, JD, Kuhlisch, E, & Walter, M. (2002). Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. *Journal of dental research*, 81(7), 487-491.

- Machry, Renan Vaz, Dapieve, Kiara Serafini, Cadore-Rodrigues, Ana Carolina, Werner, Arie, de Jager, Niek, Pereira, Gabriel Kalil Rocha, . . . Kleverlaan, Cornelis Johannes. (2022). Mechanical characterization of a multi-layered zirconia: Flexural strength, hardness, and fracture toughness of the different layers. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 135, 105455.
- Madfa, Ahmed A, Al-Sanabani, Fadhel A, Al-Qudami, Nasser H, Al-Sanabani, Jabr S, & Amran, Abdullah G. (2014). Use of zirconia in dentistry: An overview. *The Open Biomaterials Journal*, 5(1).
- Maharishi, Anvita, McLaren, Edward A, & White, Shane N. (2024). Color-and strength-graded zirconia: Strength, light transmission, and composition. *The Journal of prosthetic dentistry*.
- Maksoud, TMA, Morgan, JE, Fox, TG, & Scott, JA. (1994). Grinding of ceramics: the effect on their strength properties. *Journal of materials processing technology*, 43(1), 65-75.
- Malallah, Ali Dahee, & Hasan, Nadia Hameed. (2023). Classification and Generations of Dental Zirconia. In *Zirconia-New Advances, Structure, Fabrication and Applications*: IntechOpen.
- Malkondu, Özlem, Tinastepe, Neslihan, Akan, Ender, & Kazazoğlu, Ender. (2016). An overview of monolithic zirconia in dentistry. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(4), 644-652.
- Manicone, Paolo Francesco, Iommetti, Pierfrancesco Rossi, & Raffaelli, Luca. (2007). An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *Journal of dentistry*, 35(11), 819-826.
- Manziuc, Manuela-Maria, Gasparik, Cristina, Negucioiu, Marius, Constantiniuc, Mariana, Burde, Alexandru, Vlas, Ioana, & Ducea, Diana. (2019). Optical properties of translucent zirconia: A review of the literature. *The EuroBiotech Journal*, 3(1), 45-51.
- Manziuc, Manuela-Maria, Gasparik, Cristina, Burde, Alexandru V, Colosi, Horațiu A, Negucioiu, Marius, & Ducea, Diana. (2019). Effect of glazing on translucency, color, and surface roughness of monolithic zirconia materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(5), 478-485.
- Manziuc, Manuela Maria, Gasparik, Cristina, Burde, Alexandru Victor, & Ducea, Diana. (2021). Color and masking properties of translucent monolithic zirconia before and after glazing. *Journal of prosthodontic research*, 65(3), 303-310.
- Marchack, B. W., Futatsuki, Y., Marchack, C. B., & White, S. N. (2008). Customization of milled zirconia copings for all-ceramic crowns: a clinical report. *J Prosthet Dent*, 99(3), 169-173. doi:10.1016/S0022-3913(08)00028-0
- Martínez-Gomis, Jordi, Bizar, Josep, Anglada, Josep Maria, Samsó, Jordi, & Peraire, Maria. (2003). Comparative evaluation of four finishing systems on one ceramic surface. *International Journal of prosthodontics*, 16(1).
- McLAREN, EDWARD A. (1997). Luminescent veneers. *Journal of esthetic dentistry*, 9(1), 3-12.
- Metzler, Kurt T, Woody, Ronald D, Miller III, Amp W, & Miller, Barbara H. (1999). In vitro investigation of the wear of human enamel by dental porcelain. *The Journal of prosthetic dentistry*, 81(3), 356-364.
- Miara, Paul, Touati, Bernard, Nathanson, Dan, & Giordano, Russell. (1998). *Esthetic dentistry and ceramic restorations*: CRC Press.
- Michailova, Marianna, Elsayed, Adham, Fabel, Gertrud, Edelhoff, Daniel, Zylla, Isabel-Maria, & Stawarczyk, Bogna. (2020). Comparison between novel strength-gradient and color-gradient multilayered zirconia using conventional and high-speed sintering. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 111, 103977.
- Mohammadi-Bassir, Mahshid, Babasafari, Mansoure, Rezvani, Mohammad Bagher, & Jamshidian, Mahdieh. (2017). Effect of coarse grinding, overglazing, and 2 polishing

- systems on the flexural strength, surface roughness, and phase transformation of yttrium-stabilized tetragonal zirconia. *The Journal of prosthetic dentistry*, 118(5), 658-665.
- Mohammed, Azad, & Abdullah, Avin. (2018). *Scanning electron microscopy (SEM): A review*. Paper presented at the Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania.
- Monaco, Carlo, Arena, Antonio, & Özcan, Mutlu. (2014). Effect of prophylactic polishing pastes on roughness and translucency of lithium disilicate ceramic. *International journal of periodontics & restorative dentistry*, 34(1).
- Monsénégo, Gérard, Burdairon, Gérald, & Clerjaud, Bernard. (1993). Fluorescence of dental porcelain. *The Journal of prosthetic dentistry*, 69(1), 106-113.
- Moscovitch, Michael. (2015). Consecutive case series of monolithic and minimally veneered zirconia restorations on teeth and implants: up to 68 months. *International journal of periodontics & restorative dentistry*, 35(3).
- Mulla, FA, & Weiner, S. (1991). Effects of temperature on color stability of porcelain stains. *The Journal of prosthetic dentistry*, 65(4), 507-512.
- Munoz-Saldana, J, Balmori-Ramirez, Heberto, Jaramillo-Vigueras, David, Iga, T, & Schneider, GA. (2003). Mechanical properties and low-temperature aging of tetragonal zirconia polycrystals processed by hot isostatic pressing. *Journal of materials research*, 18, 2415-2426.
- Müdüroğlu, Ruhsan, Kıvrak, Tuğba Çongara, & Nalçacı, Adil. (2018). Renk Belirlenmesinde Kullanılan Yöntem ve Cihazlar. *Cumhuriyet Dental Journal*, 21(1), 61-69.
- Nakamura, Takashi, Nakano, Yoshiro, Usami, Hirofumi, Wakabayashi, Kazumichi, Ohnishi, Hiroshi, Sekino, Tohru, & Yatani, Hirofumi. (2016). Translucency and low-temperature degradation of silica-doped zirconia: A pilot study. *Dental materials journal*, 35(4), 571-577.
- Nassau, Kurt. (1997). *Color for science, art and technology*: Elsevier.
- O'Brien, William J. (2002). *Dental materials and their selection* (Vol. 10): Quintessence Chicago.
- O.Ruff, F.Ebert, Z.Anorg,. (1929). *Allg.Chem* 180, 19-41.
- Odaira, Chikayuki, Itoh, Sozo, & Ishibashi, Kanji. (2011). Clinical evaluation of a dental color analysis system: the Crystaleye Spectrophotometer®. *Journal of prosthodontic research*, 55(4), 199-205.
- Okubo, Scott R, Kanawati, Ali, Richards, Mark W, & Childressd, Steve. (1998). Evaluation of visual and instrument shade matching. *The Journal of prosthetic dentistry*, 80(6), 642-648.
- Olivera, A. B., Matson, E., & Marques, M. M. (2006). The effect of glazed and polished ceramics on human enamel wear. *Int J Prosthodont*, 19(6), 547-548.
- Orban, Balint Joseph. (1944). *Oral histology and embryology*. (No Title).
- Overheim, Daniel (1982). *Light and Color*. John Wiley and Sons.
- Ozer, Fusun, Naden, Andrew, Turp, Volkan, Mante, Francis, Sen, Deniz, & Blatz, Markus B. (2018). Effect of thickness and surface modifications on flexural strength of monolithic zirconia. *The Journal of prosthetic dentistry*, 119(6), 987-993.
- Ozturk, Isil, Caglar, Ipek, & Duymus, Zeynep Yesil. (2022). The effect of adjustment and finishing procedure on roughness, strength, and phase transformation of monolithic zirconia. *Clinical oral investigations*, 26(7), 4761-4768. doi:10.1007/s00784-022-04440-x
- Papanagiotou, Harry P, Morgano, Steven M, Giordano, Russell A, & Pober, Richard. (2006). In vitro evaluation of low-temperature aging effects and finishing procedures on the flexural strength and structural stability of Y-TZP dental ceramics. *The Journal of prosthetic dentistry*, 96(3), 154-164.

- Paravina, Rade D, Ghinea, Razvan, Herrera, Luis J, Bona, Alvaro D, Igiel, Christopher, Linninger, Mercedes, . . . Mar Perez, Maria del. (2015). Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27, S1-S9.
- Paravina, Rade D, Pérez, Maria M, & Ghinea, Razvan. (2019). Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(2), 103-112.
- Paravina, Rade D, & Powers, John M. (2004). Esthetic color training in dentistry. (No Title).
- Park, Ji-Hoon, Lee, Yong-Keun, & Lim, Bum-Soon. (2006). Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. *The Journal of prosthetic dentistry*, 96(6), 402-411.
- Pecho, Oscar E, Ghinea, Razvan, Perez, Maria M, & Della Bona, Alvaro. (2017). Influence of gender on visual shade matching in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 29(2), E15-E23.
- Pekkan, Gürel, Pekkan, Keriman, Bayindir, Banu Çukurluöz, Özcan, Mutlu, & Karasu, Bekir. (2020). Factors affecting the translucency of monolithic zirconia ceramics: A review from materials science perspective. *Dental materials journal*, 39(1), 1-8.
- Pensler, Alvin V. (1983). Photography in the Dental Practice (II). *Quintessence international*, 14(8).
- Pensler, AV. (1998). Shade selection: problems and solutions. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)*, 19(4), 387-390, 392.
- Pereira, Gabriel KR, Guilardi, Luís F, Dapieve, Kiara S, Kleverlaan, Cornelis J, Rippe, Marilia P, & Valandro, Luiz Felipe. (2018). Mechanical reliability, fatigue strength and survival analysis of new polycrystalline translucent zirconia ceramics for monolithic restorations. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 85, 57-65.
- Phatphutthitham, Chatnarong, Niyatiwatchanchai, Boondarick, Rujiraprasert, Phakvalunch, Tagami, Junji, Osathanon, Thanaphum, Srijunbarl, Anucharte, . . . Nantanapiboon, Dusit. (2024). Effect of Grinding and Polishing Protocols on Surface Roughness, Flexural Strength, and Phase Transformation of High-Translucent 5 mol% Yttria-Partially Stabilized Zirconia. *European journal of dentistry*.
- Piconi, Corrado, & Maccauro, G. (1999). Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*, 20(1), 1-25.
- Pires-de, Fernanda de Carvalho Panzeri, Casemiro, Luciana Assirati, Garcia, Lucas da Fonseca Roberti, & Cruvinel, Diogo Rodrigues. (2009). Color stability of dental ceramics submitted to artificial accelerated aging after repeated firings. *The Journal of prosthetic dentistry*, 101(1), 13-18.
- Porter, D L, & Heuer, AH. (1977). Mechanisms of toughening partially stabilized zirconia (PSZ). *J. Am. Ceram. Soc.:(United States)*, 60.
- Preis, Verena, Behr, Michael, Kolbeck, Carola, Hahnel, Sebastian, Handel, Gerhard, & Rosentritt, Martin. (2011). Wear performance of substructure ceramics and veneering porcelains. *Dental materials*, 27(8), 796-804.
- Preston, Jack D, Ward, Leo C, & Bobrick, Mitchell. (1978). Light and lighting in the dental office. *Dental Clinics of North America*, 22(3), 431-451.
- Raigrodski, Ariel J, Chiche, Gerard J, Potiket, Narong, Hochstedler, JL, Mohamed, Shawky E, Billiot, Susan, & Mercante, Donald E. (2006). The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: A prospective clinical pilot study. *The Journal of prosthetic dentistry*, 96(4), 237-244.
- Rashid, Haroon. (2014). The effect of surface roughness on ceramics used in dentistry: A review of literature. *European journal of dentistry*, 8(04), 571-579.
- Reed, James S, & Lejus, Anne-Marie. (1977). Affect of grinding and polishing on near-surface phase transformations in zirconia. *Materials Research Bulletin*, 12(10), 949-954.

- Rinke, S, Hüls, A, & Kettler, MJ. (1996). Colorimetric analysis as a means of quality control for dental ceramic materials. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 4(3), 105-110.
- Rinke, Sven, & Fischer, Carsten. (2013). Range of indications for translucent zirconia modifications: clinical and technical aspects. *Quintessence international*, 44(8).
- Rosenstiel, Stephen F, & Johnston, William M. (1988). The effects of manipulative variables on the color of ceramic metal restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 60(3), 297-303.
- Rosentritt, Martin, Preis, Verena, Behr, Michael, Hahnel, Sebastian, Handel, Gerhard, & Kolbeck, Carola. (2012). Two-body wear of dental porcelain and substructure oxide ceramics. *Clinical oral investigations*, 16, 935-943.
- Rosentritt, Martin, Preis, Verena, Schmid, Alois, & Strasser, Thomas. (2022). Multilayer zirconia: Influence of positioning within blank and sintering conditions on the in vitro performance of 3-unit fixed partial dentures. *The Journal of prosthetic dentistry*, 127(1), 141-145.
- Rus, Jacob. (2007). In.
- Saghiri, Mohammad Ali, Asgar, Kamal, Lotfi, Mehrdad, Karamifar, Kasra, Saghiri, Ali Mohammad, Neelakantan, Prasanna, . . . Sheibaninia, Ahmad. (2012). Back-scattered and secondary electron images of scanning electron microscopy in dentistry: a new method for surface analysis. *Acta Odontologica Scandinavica*, 70(6), 603-609.
- Sakka, Y, Suzuki, TS, Morita, K, Nakano, K, & Hiraga, K. (2001). Colloidal processing and superplastic properties of zirconia-and alumina-based nanocomposites. *Scripta materialia*, 44(8-9), 2075-2078.
- Salas, Marianne, Lucena, Cristina, Herrera, Luis Javier, Yebra, Ana, Della Bona, Alvaro, & Pérez, María M. (2018). Translucency thresholds for dental materials. *Dental materials*, 34(8), 1168-1174.
- Salem, Shereen Kotb, & Asaad, Rasha Sayed. (2019). Effect of nanoparticles modified glass ionomer cement on the colour and shear bond strength of lithium disilicate ceramic. *Egyptian Dental Journal*, 65(1-January (Fixed Prosthodontics, Dental Materials, Conservative Dentistry & Endodontics)), 813-824.
- Samodurova, Anastasia, Kocjan, Andraž, Swain, Michael V, & Kosmač, Tomaž. (2015). The combined effect of alumina and silica co-doping on the ageing resistance of 3Y-TZP bioceramics. *Acta biomaterialia*, 11, 477-487.
- Samuel, Robert, Chandrasekar, Srinivasan, Farris, Thomas N, & Licht, Robert H. (1989). Effect of residual stresses on the fracture of ground ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, 72(10), 1960-1966.
- Sarac, Duygu, Sarac, Y Sinasi, Yuzbasioglu, Emir, & Bal, Seda. (2006). The effects of porcelain polishing systems on the color and surface texture of feldspathic porcelain. *The Journal of prosthetic dentistry*, 96(2), 122-128.
- Saraç, Şinasi, Saraç, Duygu, & Yüzbaşıoğlu, Emir. (2006). Üç farklı renk skalasının renk farklılıkları yönünden kolorimetrik olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 23(2), 85-90.
- Saridag, Serkan, Tak, Onjen, & Alniacik, Gamze. (2013). Basic properties and types of zirconia: An overview. *World Journal of Stomatology*, 2(3), 40-47.
- SARIKAYA, Işıl, & GÜLER, Ahmet Umut. (2009). Diş hekimliği uygulamalarında renk kavramı. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 15(2), 118-129.
- Sarıkaya, Işıl, & Hayran, Yeliz. (2018). Effects of polishing on color stability and surface roughness of CAD-CAM ceramics. *Meandros Medical and Dental Journal*, 19(2), 153.

- Scherrer, Susanne S, Quinn, Janet B, Quinn, George D, & Wiskott, HW Anselm. (2007). Fractographic ceramic failure analysis using the replica technique. *Dental materials*, 23(11), 1397-1404.
- Schmitter, Marc, Mussotter, Katrin, & Hassel, Alexander J. (2008). Interexaminer reliability in the clinical measurement of L* C* h* values using a laminar spectrophotometer. *International Journal of prosthodontics*, 21(5).
- Seghi, Robert R, Johnston, William Michael, & O'brien, WJ. (1986). Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *The Journal of prosthetic dentistry*, 56(1), 35-40.
- Seitavuopio, Paulus. (2006). The roughness and imaging characterisation of different pharmaceutical surfaces.
- Sensi, Luis Guilherme, De Oliveira Araujo, Fabiano, Marson, Fabiano Carlos, & Monteiro Jr, Sylvio. (2007). REPRODUCING OPALESCENT AND COUNTER-OPALESCEMENT EFFECTS WITH DIRECT RESIN COMPOSITES. *Quintessence of Dental Technology (QDT)*, 30.
- Shajahan, PA, Raghavan, Rohit, & Kunjumon, Neena. (2019). The Perfect Match: Recent Advances in Shade Matching. *Int J Dent Med Sci Res*, 3, 9-14.
- Shamseddine, Loubna, & Majzoub, Zeina. (2017). Relative Translucency of a Multilayered Ultratranslucent Zirconia Material. *The journal of contemporary dental practice*, 18(12), 1099-1106.
- Sharma, Gaurav, Wu, Wencheng, & Dalal, Edul N. (2005). The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 30(1), 21-30.
- Shen, Jiadi, Xie, Haifeng, Wu, Xinyi, Yang, Jiaxue, Liao, Mengyuan, & Chen, Chen. (2020). Evaluation of the effect of low-temperature degradation on the translucency and mechanical properties of ultra-transparent 5Y-TZP ceramics. *Ceramics International*, 46(1), 553-559.
- Sinmazisik, G., Demirbas, B., & Tarcin, B. (2014). Influence of dentin and core porcelain thickness on the color of fully sintered zirconia ceramic restorations. *J Prosthet Dent*, 111(2), 142-149. doi:10.1016/j.prosdent.2013.09.016
- Smith, Charles S, & Barrett, Richard L. (1947). Apparatus and Techniques for Practical Chemical Identification by X-Ray Diffraction. *Journal of Applied Physics*, 18(2), 177-191.
- Sola-Ruiz, M. F., Agustin-Panadero, R., Fons-Font, A., & Labaig-Rueda, C. (2015). A prospective evaluation of zirconia anterior partial fixed dental prostheses: Clinical results after seven years. *J Prosthet Dent*, 113(6), 578-584. doi:10.1016/j.prosdent.2014.12.015
- Soliman, Youssef Alaa, Mahmoud, Elsayed Moustafa, Gepreel, Mohammed A, & Afifi, Rania Reda. (2020). Surface Roughness of Nanohybrid Composites with Different Monomers after Finishing and Polishing with Different Polishing Systems. *Key Engineering Materials*, 835, 41-49.
- SpectraScan PR 670. Retrieved from <https://www.jadaktech.com/product/spectrascan-pr-670/>
- Spektrofotometre Retrieved from <https://www2.vitanorthamerica.com/wp-content/uploads/2012/07/VITA-Easyshade-Compact.jpg>
- Spektrofotometre. Retrieved from <https://spectroshade.us/products/spectroshade-micro-digital?variant=30872332364>
- Sproull, Robert C. (1973). Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. *The Journal of prosthetic dentistry*, 29(4), 416-424.
- Sproull, Robert C. (1974). Color matching in dentistry. Part III. Color control. *The Journal of prosthetic dentistry*, 31(2), 146-154.

- Stewart, ADG, & Boyde, A. (1962). Ion etching of dental tissues in a scanning electron microscope. *Nature*, 196(4849), 81-82.
- STML blok. Retrieved from <https://www.kuraraynoritake.eu/en/katana-zirconia-stml-content>
- Subaşı, Meryem Gülce, Alp, Gülce, Johnston, William M, & Yilmaz, Burak. (2018). Effect of thickness on optical properties of monolithic CAD-CAM ceramics. *Journal of dentistry*, 71, 38-42.
- Sulaiman, Taiseer A, Abdulmajeed, Aous A, Donovan, Terrence E, Vallittu, Pekka K, Närhi, Timo O, & Lassila, Lippo V. (2015). The effect of staining and vacuum sintering on optical and mechanical properties of partially and fully stabilized monolithic zirconia. *Dental materials journal*, 34(5), 605-610.
- Sundar V, Amber PL (1999). Opals in nature. *Dent Technol*, 16:15–17.
- Suputtamongkol, Kallaya, Tulapornchai, Chantana, Mamani, Jatuphol, Kamchatphai, Wannaporn, & Thongpun, Noparat. (2013). Effect of the shades of background substructures on the overall color of zirconia-based all-ceramic crowns. *The journal of advanced prosthodontics*, 5(3), 319-325.
- Swab, Jeffrey J. (1991). Low temperature degradation of Y-TZP materials. *Journal of Materials Science*, 26, 6706-6714.
- Swain, Michael V. (1985). Limitation of maximum strength of zirconia-toughened ceramics by transformation toughening increment. *Journal of the American Ceramic Society*, 68(4), C-97-C-99.
- Swain, Michael V, & Hannink, Richard HJ. (1989). Metastability of the martensitic transformation in a 12 mol% ceria-zirconia alloy: II, grinding studies. *Journal of the American Ceramic Society*, 72(8), 1358-1364.
- Sweptston JH, Miller AW. . (1994). Esthetic matching. *J Prosthet Dent* 54, 623-624.
- Syed, Jamaluddin. (2017). Scanning Electron Microscopy in Oral Research. *Journal of the Pakistan Dental Association*, 26(4).
- Şencan, Beyza Betül, & Yanıkoğlu, Nuran. (2021). LAMİNE VENEER RESTORASYONLARDA BAŞARIYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2021, 1-1.
- Tabatabaian, Farhad, Dalirani, Sara, & Namdari, Mahshid. (2019). Effect of thickness of zirconia ceramic on its masking ability: an in vitro study. *Journal of Prosthodontics*, 28(6), 666-671.
- Ten Bosch, JJ, & Coops, JC. (1995). Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *Journal of dental research*, 74(1), 374-380.
- Theunissen, GSAM, Bouma, JS, Winnubst, AJA, & Burggraaf, AJ. (1992). Mechanical properties of ultra-fine grained zirconia ceramics. *Journal of Materials Science*, 27, 4429-4438.
- Tholey, Michael J, Swain, Michael V, & Thiel, Norbert. (2011). Thermal gradients and residual stresses in veneered Y-TZP frameworks. *Dental materials*, 27(11), 1102-1110.
- Tinschert, Joachim, Schulze, Karen A, Natt, Gerd, Latzke, Peter, Heussen, Nicole, & Spiekermann, Hubertus. (2008). Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3-year results. *International Journal of prosthodontics*, 21(3).
- Toma, Flavia Roxana, Porojan, Sorin Daniel, Vasiliu, Roxana Diana, & Porojan, Liliana. (2023). The effect of polishing, glazing, and aging on optical characteristics of multi-layered dental zirconia with different degrees of translucency. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(2), 68.
- Tong, Hui, Tanaka, Carina B, Kaizer, Marina R, & Zhang, Yu. (2016). Characterization of three commercial Y-TZP ceramics produced for their high-translucency, high-strength and high-surface area. *Ceramics International*, 42(1), 1077-1085.

- Too, Thaw Di Cho, Inokoshi, Masanao, Nozaki, Kosuke, Shimizubata, Makoto, Nakai, Hiroto, Liu, Hengyi, & Minakuchi, Shunsuke. (2021). Influence of sintering conditions on translucency, biaxial flexural strength, microstructure, and low-temperature degradation of highly translucent dental zirconia. *Dental materials journal*, 40(6), 1320-1328.
- Topcu, Fulya Toksoy, Sahinkesen, Gunes, Yamanel, Kivanc, Erdemir, Ugur, Oktay, Elif Aybala, & Ersahan, Seyda. (2009). Influence of different drinks on the colour stability of dental resin composites. *European journal of dentistry*, 3(01), 50-56.
- Trunec, Martin. (2008). Effect of grain size on mechanical properties of 3Y-TZP ceramics. *Ceramics–Silikáty*, 52(3), 165-171.
- Tuncel, Ilkin, Eroglu, Erdal, Sari, Tugrul, & Usumez, Aslihan. (2013). The effect of coloring liquids on the translucency of zirconia framework. *The journal of advanced prosthodontics*, 5(4), 448-451.
- Turgut, Sedanur, & Bağış, B. (2012). Diş hekimliğinde renk ve renk ölçüm yöntemleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 5, 65-75.
- Turp, Volkan, Sen, Deniz, Tuncelli, B, Goller, G, & Özcan, M. (2013). Evaluation of air-particle abrasion of Y-TZP with different particles using microstructural analysis. *Australian dental journal*, 58(2), 183-191.
- Ubassy, Gérald. (1993). Shape and color: the key to successful ceramic restorations. (No Title).
- Ueda, Kazuhiko, Gueth, Jan-Frederik, Erdelt, Kurt, Stimmelmayer, Michael, Kappert, Heinrich, & Beuer, Florian. (2015). Light transmittance by a multi-coloured zirconia material. *Dental materials journal*, 34(3), 310-314.
- Vadher, Rakesh, Parmar, Girish, Kanodia, Shikha, Chaudhary, Akashi, Kaur, Manjit, & Savadhariya, Toral. (2014). Basics of color in dentistry: A review. *IOSR J Dent Med Sci*, 13(9), 78-85.
- Van der Burgt, TP, Ten Bosch, JJ, Borsboom, PCF, & Kortsmid, WJPM. (1990). A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *The Journal of prosthetic dentistry*, 63(2), 155-162.
- Varzandeh, Rambod, Foulad, Armin, Kolivand, Soodabeh, & Zamanian, Amirhosein. (2024). Effect of Thickness of High-Translucent and Super-Translucent Monolithic Zirconia Restorations on their Translucency Parameter, Color, Internal, Marginal, and Occlusal Adaptation: Comparison between Two Types of Zirconia Restorations. *Regeneration, Reconstruction & Restoration (Triple R)*, 9. doi:10.22037/rrr.v9.45105
- Vichi, Alessandro, Louca, Chris, Corciolani, Gabriele, & Ferrari, Marco. (2011). Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. *Dental materials*, 27(1), 97-108.
- Vichi, Alessandro, Sedda, Maurizio, Fabian Fonzar, Riccardo, Carrabba, Michele, & Ferrari, Marco. (2016). Comparison of contrast ratio, translucency parameter, and flexural strength of traditional and “augmented translucency” zirconia for CEREC CAD/CAM system. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 28, S32-S39.
- Vila-Nova, Taciana Emília Leite, de Carvalho, Isabelle Helena Gurgel, Moura, Dayanne Monielle Duarte, Batista, André Ulisses Dantas, Zhang, Yu, Paskocimas, Carlos Alberto, . . . e Souza, Rodrigo Othávio de Assunção. (2020). Effect of finishing/polishing techniques and low temperature degradation on the surface topography, phase transformation and flexural strength of ultra-translucent ZrO₂ ceramic. *Dental materials*, 36(4), e126-e139.
- Wang, Fu, Takahashi, Hidekazu, & Iwasaki, Naohiko. (2013). Translucency of dental ceramics with different thicknesses. *The Journal of prosthetic dentistry*, 110(1), 14-20.
- Wang, Gaoqi, Zhang, Song, Bian, Cuirong, & Kong, Hui. (2014). Fracture mechanics analyses of ceramic/veneer interface under mixed-mode loading. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 39, 119-128.

- Watts, AM, & Addy, M. (2001). Tooth discolouration and staining: a review of the literature. *British Dental Journal*, 190(6).
- Wee, Alvin G. (2006). Description of color, color replication process and esthetics. *Contemporary fixed prosthodontics. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. 4th ed. St. Louis: Mosby*, 710-712.
- Wee, Alvin G, Monaghan, Peter, & Johnston, William M. (2002). Variation in color between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain. *The Journal of prosthetic dentistry*, 87(6), 657-666.
- Wee, Alvin G, Rang, Edith Y, Johnston, William M, & Seghi, Robert R. (2000). Evaluating porcelain color match of different porcelain shade-matching systems. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 12(5), 271-280.
- WINTER, ROBERT. (1993). Visualizing the natural dentition. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 5(3), 103-118.
- Witkowski, Siegbert, Yajima, Nao-Daniel, Wolkewitz, Martin, & Strub, Jorge R. (2012). Reliability of shade selection using an intraoral spectrophotometer. *Clinical oral investigations*, 16, 945-949.
- Wittneben, J. G., Wright, R. F., Weber, H. P., & Gallucci, G. O. (2009). A systematic review of the clinical performance of CAD/CAM single-tooth restorations. *Int J Prosthodont*, 22(5), 466-471.
- Wright, Michael D, Masri, Radi, Driscoll, Carl F, Romberg, Elaine, Thompson, Geoffrey A, & Runyan, Dennis A. (2004). Comparison of three systems for the polishing of an ultra-low fusing dental porcelain. *The Journal of prosthetic dentistry*, 92(5), 486-490.
- Yu, Bin, Ahn, Jin-Soo, & Lee, Yong-Keun. (2009). Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. *Acta Odontologica Scandinavica*, 67(1), 57-64.
- Yu, Bin, & Lee, Yong-Keun. (2008). Influence of color parameters of resin composites on their translucency. *Dental materials*, 24(9), 1236-1242.
- Yuan, Kun, Sun, Xiang, Wang, Fu, Wang, Hui, & Chen, Ji-hua. (2012). In vitro and in vivo evaluations of three computer-aided shade matching instruments. *Operative dentistry*, 37(3), 219-227.
- Zhang, Fei, Inokoshi, Masanao, Batuk, Maria, Hadermann, Joke, Naert, Ignace, Van Meerbeek, Bart, & Vleugels, Jef. (2016). Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dental materials*, 32(12), e327-e337.
- Zhang, Fei, Reveron, Helen, Spies, Benedikt C, Van Meerbeek, Bart, & Chevalier, Jérôme. (2019). Trade-off between fracture resistance and translucency of zirconia and lithium-disilicate glass ceramics for monolithic restorations. *Acta biomaterialia*, 91, 24-34.
- Zhang, Shenli, Sha, Haoyan, Castro, Ricardo HR, & Faller, Roland. (2018). Atomistic modeling of La 3+ doping segregation effect on nanocrystalline yttria-stabilized zirconia. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 20(19), 13215-13223.
- Zhang, Y., & Lawn, B. R. (2018). Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res*, 97(2), 140-147. doi:10.1177/0022034517737483
- Zhang, Yu. (2014). Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dental materials*, 30(10), 1195-1203.
- Zhang, Yu, & Lawn, Brian R. (2018). Novel zirconia materials in dentistry. *Journal of dental research*, 97(2), 140-147.
- Zucuni, Camila Pauleski, Pereira, Gabriel Kalil Rocha, & Valandro, Luiz Felipe. (2020). Grinding, polishing and glazing of the occlusal surface do not affect the load-bearing capacity under fatigue and survival rates of bonded monolithic fully-stabilized zirconia simplified restorations. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 103, 103528.

Zyman, Pascal, & Etienne, Jean-Marc. (2002). Recording and communicating shade with digital photography: concepts and considerations. *Practical procedures & aesthetic dentistry: PPAD*, 14(1), 49, 51, 53 passim-49, 51, 53 passim.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Fatma Şehide ERCAN

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Diş Hekimliği Fakültesi	2018
Lise	Aksaray Fen Lisesi	2012

Mesleki Denevim

Yıl	Yer	Görev
2021-2024	Uşak Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Ayşegül Üçdal, Fatma Şehide Ercan, Bengisu Yıldırım (2022); Kronik Bruksizmi Olan Hastanın Monolitik Zirkonyum Restorasyonlarla Rehabilitasyonu (Özet Bildiri/Poster Sunumu)

Fatma Şehide Ercan¹, Bengisu Yıldırım¹, Mehmet Ali Güngör¹, Cansu Gül Koca², Metehan Yılmaz¹, İmplant Destekli Mandibuler Overdenture Protezlerin Marjinal Kemik Kaybının Değerlendirilmesi: Retrospektif Çalışma, (Özet Bildiri/Sözlü Sunum), Türk Diş Hekimleri Birliği 27. Uluslararası Diş Hekimliği Kongresi

Üçdal, Ayşegül, Yıldırım, Bengisu, Ercan, Fatma Şehide, & Güngör, Mehmet Ali (2024). İmplant Üstü Protezlerde Oklüzyon. Aydın Dental Journal, 10(1), 57-6