



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**FARKLI YAPIDA VE KALINLIKTAKİ RESTORATİF
MATERYALLERİN VE FARKLI REZİN ESASLI
YAPIŞTIRMA SİMANLARININ POLİMERİZASYON
DERECELERİNE ETKİLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Meryem DORMEN

**PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Pelin ÖZKAN**

**ANKARA
2025**

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI YAPIDA VE KALINLIKTA RESTORATİF
MATERYALLERİN VE FARKLI REZİN ESASLI YAPIŞTIRMA
SİMANLARININ POLİMERİZASYON DERECELERİNE
ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Meryem DORMEN

**PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Pelin ÖZKAN**

**ANKARA
2025**

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Farklı Yapıda ve Kalınlıkta Restoratif Materyallerin ve Farklı Rezin Esaslı Yapıştırma Simanlarının Polimerizasyon Derecelerine Etkilerinin Karşılaştırılması” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Meryem DORMEN

Tarih: .../.../2025

İmza:

KABUL ve ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalında

Meryem DORMEN tarafından hazırlanan

“FARKLI YAPIDA VE KALINLIKTAKİ RESTORATİF MATERYALLERİN VE FARKLI
REZİN ESASLI YAPIŞTIRMA SİMANLARININ POLİMERİZASYON DERECELERİNE
ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından
DOKTORA TEZİ olarak OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile kabul/ret edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: / / 2025

İmza

.....
..... Üniversitesi

İmza

.....
..... Üniversitesi

İmza

.....
..... Üniversitesi

İmza

.....
..... Üniversitesi

İmza

.....
..... Üniversitesi

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fügen AKTAN
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Farklı Yapıda ve Kalınlıkta Restoratif Materyallerin ve Farklı Rezin Esaslı Yapıştırma Simanlarının Polimerizasyon Derecelerine Etkilerinin Karşılaştırılması

Günümüzde protetik diş hekimliğinde yaşanan en çarpıcı gelişmelerden biri, dijital teknolojilerin klinik uygulamalara entegre edilmesiyle birlikte materyallerde gözlemlenen yapısal ve fonksiyonel ilerlemelerdir. Bu iki alanın eş zamanlı evrimi, klinik süreçleri dönüştürerek geleneksel yöntemlerin ötesine geçilmesini mümkün kılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) sistemleri, restoratif materyallerin yüksek doğrulukta, öngörülebilir ve tekrarlanabilir şekilde işlenmesine olanak tanıyarak, hem tedavi süresini kısaltmış hem de biyouyumluluğu ve estetik kalitesi yüksek restorasyonların elde edilmesini sağlamıştır. Bu sistemlerin temelini oluşturan eklemeli ve eksiltmeli üretim teknikleri ise, kullanılan materyalin fiziksel özelliklerine bağlı olarak avantajlar ve sınırlamalar taşıyan iki ayrı üretim yaklaşımını temsil etmektedir. Bu teknolojik gelişmelerle birlikte, tam seramik materyallere olan ilgi artmış ve özellikle estetik beklentiler doğrultusunda lityum disilikat cam seramikler (LDCS) ve hibrit seramikler öne çıkmıştır. LDCS materyaller, yüksek kristal içeriği sayesinde yüksek mekanik dayanım ve ışık geçirgenliği sunarken; GC Initial LiSi gibi ürünler, bu yapının optimize edilmesiyle estetik açıdan ideal restoratif seçenekler sunar. Öte yandan, Cerasmart 270 gibi hibrit seramik bloklar ise rezin matris içine gömülü nano seramik dolgu yapısıyla hem mekanik dayanıklılık hem de hızlı işlenebilirlik sağlamaktadır. CAD/CAM restorasyonlarının başarısı yalnızca materyal seçimiyle sınırlı kalmayıp, simantasyon protokollerinin doğruluğu ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, dual polimerize kompozit rezin simanlar sıklıkla tercih edilmekte ve bu simanların klinik performansı, uygulama sırasında ulaşılan polimerizasyon dönüşüm yüzdesi (PDY) ile yakından bağlantılıdır. PDY; monomerlerin polimere dönüşüm etkinliğini yansıtan kritik bir parametre olup, simanın mekanik dayanımı, renk stabilitesi, biyouyumluluğu ve bağlanma gücü gibi birçok klinik özelliğini belirlemektedir. PDY değerini etkileyen faktörler arasında; ışık cihazının gücü ve spektral aralığı, restorasyon kalınlığı ve ışık geçirgenliği, siman formülasyonundaki fotobaslatıcı türü ve ortam sıcaklığı yer almaktadır. Özellikle dual polimerizasyon sistemlerinde, ışığın sınırlı olduğu alanlarda kimyasal aktivasyon yeterli olmayabileceğinden, ışık uygulama işleminin dikkatli belirlenmesi gereklidir. Restorasyon kenarlarında fazla simanın kolay temizlenebilmesi amacıyla uygulanan ön ışık uygulamaları klinik olarak yaygınlaşmıştır; ancak bu uygulamaların nihai PDY üzerindeki etkileri literatürde yeterince açıklığa kavuşmamıştır. Çalışmada, iki farklı kalınlıkta hazırlanmış iki CAD/CAM restoratif materyal (Initial LiSi, GC ve Cerasmart 270, GC) ile iki farklı dual polimerize rezin simanın (G-CEM LinkForce ve Bisco Duo-Link Universal), farklı ışık uygulamaları altında gösterdiği polimerizasyon dönüşüm yüzdesi (PDY) performansı ile bu durumun dolaylı olarak bağlanma dayanımı üzerindeki etkileri değerlendirildi. Polimerizasyon dönüşüm derecesi FTIR spektroskopisi ile ölçüldü, bağlanma performansı ise Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanımı (MMBD) testleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, restoratif materyal ve siman etkileşimlerinin ışık polimerizasyon protokollerine bağlı olarak nasıl değiştiğini ve klinik başarı açısından en uygun simantasyon yaklaşımının belirlenmesini sağlamaktır. PDY için 1 mm ve 2 mm kalınlığında seramik örnekler hazırlandı; simanlara “Standart Işık (SI)” grubunda 20 saniye kesintisiz ışık, “Ön Işık (Öİ)” grubunda ise 3 saniye ışık uygulamasından sonra 27 saniye karanlık dönem ve ardından 20 saniye ışık uygulanmıştır. Polimerizasyon yoğunluğu MARC Resin Calibrator ile ölçüldü, FTIR spektroskopisi (Perkin Elmer) ile 0–15 dakika arası spektral ölçümler alınarak PDY hesaplandı. MMBD için seramik yüzeyler %4,5 HF ile aşındırılıp primer uygulanarak yapıştırıldı; hazırlanan 14x12x6 mm³ örnekler 1x1x6 mm³ çubuklara dönüştürüldü. Tüm çubuklar distile suda oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra Universal Test Cihazı’nda (LR30K Plus) 1 mm/dk hızla test edildi; maksimum yük bağlanma alanına bölünerek MPa cinsinden dayanım değeri hesaplandı. İstatistiksel analiz SPSS 22 ile yapıldı, normal dağılım Shapiro-Wilk testiyle, grup karşılaştırmaları ise Mann-Whitney U ve Kruskal-Wallis testleriyle değerlendirildi (p<0.05). Bulgular, LinkForce simanın ön ışık uygulamasını takiben polimerizasyon oranlarında anlamlı artış sağladığını, Duo-Link için ise ışık uygulama farklılığının belirgin bir fark yaratmadığını gösterdi. Cerasmart 270 materyali, Lisi Initial’a kıyasla her iki testte de daha yüksek PDY ve MMBD değerleri sunmuştur. Özellikle LinkForce ile Cerasmart 270

kombinasyonu, hem PDY hem de MMBD açısından en yüksek sonuçları üretti. LiSi Initial materyali, özellikle 2 mm kalınlıkta ve standart ışık altında, en düşük PDY ve bağlanma değerlerini vermiştir. Sonuçlar, ışık uygulama yönteminin, polimerizasyon dönüşüm yüzdesi ve bağlanma dayanımı üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu; buna karşın restoratif materyalin türü, kalınlığı ve siman kompozisyonunun, polimerizasyon etkinliği ve bağlanma başarısı üzerinde belirleyici rol oynadığını gösterdi. Bu bulgular, ön ışık protokolünün klinik açıdan işlem kolaylığı sağlarken polimerizasyon etkinliğini olumsuz etkilemediğini gösterir. Restoratif materyalin ışık geçirgenliği, özellikle 2 mm kalınlıktaki restorasyonlarda PDY'yi önemli ölçüde etkilerken; Lisi Initial seramiğin düşük ışık geçirgenliği, polimerizasyon etkinliğini sınırlar. Ayrıca, simanların kimyasal yapısı ve başlatıcı sistemleri de polimerizasyon üzerinde materyalden bağımsız etkiler oluşturmuştur. LinkForce simanı, yüksek dolgu içeriği ve amin içermeyen yapısı sayesinde yüksek PDY sunarken, viskozitesi nedeniyle bağlanma başarısında sınırlamalar gözlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, klinik uygulamalarda materyal kalınlığı, ışık geçirgenliği ve siman özellikleri birlikte değerlendirilerek; kısa süreli ön ışık protokolü klinisyen tercihi göre güvenle uygulanabilir, ancak üretici firmanın önerdiği sürede nihai polimerizasyonun ihmal edilmemesi gereklidir.

Anahtar Sözcükler: CAD/CAM, Dual Polimerizasyon Resin Simanlar, Makaslama Bağlanma Dayanımı, Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi, Ön Işık Uygulama,

SUMMARY

Comparing Degree of Conversion with Different Restorative Materials, Thicknesses and Different Resin-based Bonding Cements

One of the most striking advancements in contemporary prosthetic dentistry is the structural and functional evolution of materials driven by the integration of digital technologies into clinical practice. The simultaneous development of these two domains has transformed clinical workflows, surpassing traditional approaches. Computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) systems enable restorative materials to be processed with high precision, predictability, and reproducibility; shortening treatment time while achieving restorations with high biocompatibility and aesthetic quality. The additive and subtractive manufacturing methods that underpin these systems represent two distinct fabrication approaches, each with advantages and limitations depending on the physical properties of the material used. Alongside these technological developments, interest in ceramic materials has grown, especially with the rising demand for aesthetics. Lithium disilicate glass ceramics (LDGCs) and hybrid ceramics have become prominent. LDGCs offer high mechanical strength and translucency due to their high crystalline content. Products such as GC Initial LiSi provide optimized structures, making them ideal aesthetic restorative options. On the other hand, hybrid ceramics like Cerasmart 270 consist of nanoceramic fillers embedded in a resin matrix, offering both mechanical durability and ease of processing. The success of CAD/CAM restorations depends not only on material selection but also on the accuracy of the cementation protocol. In this context, dual cure resin composite cements are frequently used, and their clinical performance is closely linked to the degree of conversion (DC). DC is a critical parameter reflecting the efficiency of monomer to polymer conversion and determines many clinical properties of the cement, such as mechanical strength, color stability, biocompatibility, and bond strength. Factors affecting DC include the power and spectral output of the light curing unit, the thickness and translucency of the restoration, the type of photoinitiator in the cement formulation, and ambient temperature. In dual cure systems, chemical activation alone may be insufficient in areas with limited light transmission; thus, the light curing protocol must be carefully selected. “Tack cure”, applied to facilitate the removal of excess cement at restoration margins, have become common in clinical practice. However, their final effect on DC remains unclear in the literature. In this study, DC and bond strength were evaluated under different light-curing protocols using two CAD/CAM restorative materials of different thicknesses (Initial LiSi, GC and Cerasmart 270, GC) and two dual cure resin cements (G-CEM LinkForce and Bisco Duo-Link Universal). The DC was measured with FTIR spectroscopy, and bond performance was assessed using the Modified Micro Shear Bond Strength (MMSBS) test. The study aimed to investigate how restorative material and cement interactions vary depending on light curing protocols and to determine the most appropriate cementation approach for clinical success. For DC evaluation, ceramic samples were prepared in 1 mm and 2 mm thicknesses. The “Standard Light” (SL) group received 20 seconds of continuous light, while the “Tack Cure” (TC) group received 3 seconds of initial light exposure followed by a 27 second dark interval and then 20 seconds of final curing. Light intensity was measured using a MARC Resin Calibrator, and FTIR spectral data were collected from 0 to 15 minutes to calculate DC. For MMSBS test, ceramic surfaces were etched with 4.5% HF and primed before bonding. The bonded specimens (14x12x6 mm³) were sectioned into 1x1x6 mm³ sticks. All sticks were stored in distilled water at room temperature for 24 hours and then tested using a Universal Testing Machine (LR30K Plus) at a crosshead speed of 1 mm/min; the maximum load was divided by the bonding area to calculate bond strength in MPa. Statistical analysis was performed using SPSS 22. Normality was tested via the Shapiro-Wilk test, and group comparisons were evaluated using Mann-Whitney U and Kruskal-Wallis tests ($p < 0.05$). The results showed that LinkForce cement exhibited a significant increase in polymerization when tack cure was applied, while Duo-Link demonstrated no notable difference between light protocols. Cerasmart 270 yielded higher DC and MMSBS values than LiSi Initial in both tests. Notably, the combination of LinkForce and Cerasmart 270 produced the highest results in terms of both parameters. Conversely, LiSi Initial, especially at 2 mm thickness under standard light conditions, presented the lowest DC and bond strength values. These findings indicate that while light curing protocols had limited impact on

polymerization and bonding outcomes, the type and thickness of the restorative material and the cement composition played a decisive role in these parameters. The findings support that tack cure protocols can be safely applied based on clinician preference, as they do not compromise polymerization efficacy. However, the light transmittance of the restorative material, particularly in 2 mm thick restorations, significantly affects DC. The lower light transmittance of LiSi Initial limits polymerization efficiency. Additionally, the chemical composition and initiator systems of the cements independently influenced polymerization. LinkForce, with its high filler content and amine-free composition, showed superior DC but some limitations in bond strength due to its viscosity. Based on the data obtained, clinical applications should consider restoration thickness, translucency, and cement properties collectively; although tack cure is clinically convenient, light cure must be completed as recommended by the manufacturer.

Keywords: CAD/CAM, Degree of Conversion, Dual Cure Resin Cements, Shear Bond Strength, Tack Cure,



İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
Özet	iv
Summary	vi
İçindekiler	viii
Önsöz	x
Simgeler ve Kısaltmalar	xii
Şekiller	xiii
Çizelgeler	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli Üretim Sistemleri	1
1.1.1. Bilgisayar Destekli Üretim Yöntemleri	2
1.1.1.1. Eklemeli Yöntem	2
1.1.1.2. Eksiltmeli Yöntem	3
1.2. CAD/CAM Tekniğiyle Kullanılan Restoratif Materyaller	3
1.2.1. Cam Seramik Materyaller	4
1.2.1.1. Lityum Disilikat Cam Seramik Materyaller	6
1.2.1.1.1. GC Initial LiSi Cam Matriks Seramik	7
1.2.2. Rezin Esaslı Seramik Materyaller	8
1.2.2.1. Cerasmart 270 Hibrit Nanoseramik	9
1.3. CAD/CAM Tekniği ile Elde Edilen Restorasyonlar ile Kullanılan Simanlar	10
1.3.1. Rezin Esaslı Simanlar	10
1.3.1.1. Kompozit Rezin Esaslı Yapıştırma Simanları	12
1.4. Cam Seramiklerde ve Hibrit Seramiklerde Yüzey Hazırlığı ve Simantasyon Protokolleri	13
1.4.1. Rezin Yapıştırma Simanlarında Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi	14
1.4.1.1. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesini Etkileyen Faktörler	14
1.4.1.2. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesinin Etkilediği Parametreler	16
1.4.1.3. Polimerizasyon Dönüşüm Derecesi Ölçme Yöntemleri	18
1.4.1.3.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi	18
1.4.1.3.2. Bağlanma Dayanımı Testleri	20
1.5. Işık Cihazları	21
1.5.1. Kuvars-Tungsten Halojen	21
1.5.2. Plazma Ark Işık Cihazı	21
1.5.3. Işık Yayan Diyotlar	21
1.6. Simantasyon İşleminde Periodontal Sağlığı Korumak	22
1.7. Araştırmanın Amacı ve Hipotezleri	23
2. GEREÇ VE YÖNTEM	24
2.1. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi	24
2.1.1. İstatiksel Analiz	24
2.1.2. Kullanılan Güç Analizi	24
2.1.2.1. Yöntem	25
2.1.2.2. Sonuçlar	25
2.1.3. CAD/CAM Restoratif Blok Materyallerinin Hazırlanması	26
2.1.4. Kompozit Rezin Yapıştırma Simanlarına Işık ile Polimerizasyon Uygulama Yöntemine Göre Gruplara Ayrılması	26
2.1.5. Örneklerin Hazırlanmasında Kullanılan Işık Cihazı	26
2.1.6. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi Ölçümü	27
2.1.7. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi (PDY) Test Sonuçlarının İstatiksel Analiz Yöntemi	29
2.2. Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılık (MMBD) Testi	30
2.2.1. Cam Matriks Seramik Blok (Initial LiSi) ve Hibrit Nanoseramik Blok Restoratif Materyallerin Su Soğutma Altında Elmas Keski Yardımıyla İlk Kesimi	30

2.2.2. Gruplara Göre Aynı Seramik Blok Restoratif Materyallerin Birbirlerine Bağlanması	30
2.2.3. Oluşturulan 14 x 12 x 6 mm ³ Örneklerin Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılık Testine Uygun Halde İkinci Kesimi	31
2.2.4. Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılık (MMBD) Test İşleminin Uygulanması	32
2.2.5. Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılık (MMBD) Test Sonuçlarının İstatiksel Analiz Yöntemi	33
3. BULGULAR	34
3.1. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdeleri (PDY) ile İlgili Sonuçlar	34
3.2. Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılığı Testi ile İlgili Sonuçlar	46
4. TARTIŞMA	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	81



ÖNSÖZ

Tez sürecim boyunca yalnızca akademik bilgi ve rehberliğiyle değil, aynı zamanda manevi desteğiyle de yolumu aydınlatan; karşılaştığım her zorlukta sabırla yanımda olarak, yüreklendirici sözleri ve bana olan inancıyla bu süreci yalnızca bir akademik çalışma değil, aynı zamanda kişisel bir gelişim yolculuğuna dönüştüren çok kıymetli danışmanım Sayın Prof. Dr. Pelin ÖZKAN'a,

Tez çalışmamın başından itibaren bilgi ve deneyimiyle her zaman yanımda olan, çalışmamı Finlandiya, Turku Klinik Biyomalzeme Merkezi (TCBC)'nde yapmama yardımcı olan ve bana yol gösteren Sayın Prof. Dr. Sadullah ÜÇTAŞLI'ya,

Tez izleme sürecimde yer alarak katkı sunan, zaman ayırıp sürece değerli destekleriyle eşlik eden sayın Doç. Dr. Hatice Elif Lamia SAĞESEN'e,

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hakan Terzioğlu başta olmak üzere tüm öğretim üyelerine, akademik ve idari personele,

Asistanlık sürecimin ilk dönemlerinden itibaren her adımda yanımda olan, destekleriyle bu süreci benim için kolaylaştıran sevgili meslektaşlarım Dr. Dt. İlayda TUNÇBİLEK ve Dr. Dt. İrem BÜYÜKATEŞ'e,

Birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum, enerjisiyle ve katkılarıyla bu sürece renk katan Ezgisu SARIAL'a,

Hayatımın her anında koşulsuz sevgileri, sabırları ve fedakârlıklarıyla en büyük gücüm olan, ne zaman tökezlesem elimden tutan, her başarımda en az benim kadar gururlanan canım annem Narin TÜRKLER ve babam Haldun DORMEN'e,

Ortaokul yıllarında hayatıma giren, o günden bu yana tüm başarılarımı, mutluluklarımı ve heyecanlarımı ilk günkü samimiyetle paylaşan canım arkadaşım Eysan Çetinsoy'a,

Lisans yıllarından bu yana, her zorlukta omuz omuza verip birbirimize destek olmaktan hiç vazgeçmediğimiz; varlığıyla güç veren yol arkadaşım Eda Uğurlu'ya,

Ankara'nın bana kazandırdığı en kıymetli insanlardan biri olan, beni sabırla dinleyip içtenlikle destek olan, sözleriyle bana her zaman huzur veren Aysuda Gürsoy'a,

Tüm bu zorlu süreç boyunca sabrıyla, anlayışıyla ve sevgisiyle yanımda olan; güçlü kalmakta zorlandığım dönemlerde bana inanan, hayallerime ortak olup kalbimi cesaretle dolduran Mehmet Üstüner'e ve bu süreçte bana destek olan herkese tüm kalbimle teşekkür ederim.



SİMGELER ve KISALTMALAR

10- MDP	10-Metakriloksidekildihidrojen Fosfat
3B.	3 Boyutlu
4-META	4-Metakriloksietil Trimellitat Anhidrit
Al ₂ O ₃ ,	Alüminyum Trioksit
B ₂ O ₃ ,	Diboron Trioksit
BaO	Baryum Monoksit
Bis-EMA	Etilen Oksit ile Modifiye Edilmiş Bisfenol A Dimetakrilat
Bis-GMA	Bisfenol A Glisidil Metakrilat
CAD/CAM	<i>Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing</i> Bilgisayar Destekli Tasarım / Bilgisayar Destekli Üretim
CaO,	Kalsiyum Monoksit
CQ	Kamforkinon
HT	<i>High Translucency</i> Yüksek Yarı Sayamlık
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MgO	Magnezyum Monoksit
Mm	Milimetre
MMBD	Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılığı
mPA	MegaPaskal
MPa·m ^{0.5} .	MegaPaskal Karekök Metre
P ₂ O ₅	Fosfor Pentaoksit
PAC	<i>Plasma Arc Curing</i>
PDY	Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi
QTH	<i>Quartz Tungsten Halogen</i>
TA	Tersiyer Amin
TEGDMA	Trietilen Glikol Dimetakrilat
TiO ₂	Titanyum Dioksit
TNF-α	Tümör Nekroz Faktör Alfa
UDMA	Üretan Dimetakrilat
ZnO,	Çinko Oksit
ZrO ₂	Zirkonyum Dioksit

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Dental seramik materyallerin sınıflaması	4
Şekil 1.2. Farklı organik monomerlerin kimyasal yapısı, karşılık gelen FTIR spektrumları ve metakrilat pik atamaları	19
Şekil 1.3. Polimerizasyon dönüşüm derecesi hesaplanırken kullanılan formül	19
Şekil 2.1. Güç analizi grafiği	25
Şekil 2.2. Kesim sırasında Secotom-50 cihazındaki ayarlamalar	26
Şekil 2.3. CAD/CAM bloklar ve kesildikten sonraki görüntüleri	26
Şekil 2.4. Secotom-50; stuers kesim cihazı	26
Şekil 2.5. Standart ışık uygulama esnasında marc resin calibrator ile yapılan kalibrasyon testi	27
Şekil 2.6. Ön ışık uyguladıktan sonra standart ışık uygulaması esnasında marc resin calibrator ile yapılan kalibrasyon testi	27
Şekil 2.7. Kullanılan ışık cihazı, elipar S10	27
Şekil 2.8. FTIR cihazı ve test edilen örnek	28
Şekil 2.9. Polimerizasyon dönüşüm yüzdesi test gruplarına ait akış şeması	29
Şekil 2.10. MMBD test gruplarına ait akış şeması	31
Şekil 2.11. Simante edilen iki bloğun Secotom-50'ye yerleştirilme pozisyonu	32
Şekil 2.12. Kesilen bloğun yukardan görünümü	32
Şekil 2.13. Kesilen bloğun sagital düzlemden görünümü	32
Şekil 2.14. Elde edilen çubuğun MMBD değeri test edilirken kurulan düzenek	32
Şekil 2.15. MMBD testinin gerçekleştiği cihaz; LR30K plus, lloyd instruments	33
Şekil 2.16. MMBD değerleri belirlenirken cihazın kullandığı formül	33
Şekil 3.1. Tüm test edilen grupların 15. dakika sonunda direkt okuma tekniği ile elde edilen polimerizasyon dönüşüm yüzdeleri grafiği	35
Şekil 3.2. Tüm test edilen grupların 15. dakika sonunda direkt okuma tekniği ile elde edilen polimerizasyon dönüşüm yüzdeleri grafiği	47

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1. Çalışmada kullanılan iki seramik blok özelliklerinin karşılaştırılması	9
Çizelge 2.1. Polimerizasyon dönüşüm yüzdesi testinde kullanılan dental materyaller, üretici firmalar materyal içerikleri	24
Çizelge 2.2. G*Power analizine göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir	25
Çizelge 2.3. Yapıştırma simanı, indirekt restoratif materyal türü, polimerizasyon modu ve indirekt restoratif materyal kalınlıklarına göre test grupları	29
Çizelge 2.4. Modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı testinde kullanılan dental materyaller, üretici firmalar materyal içerikleri	30
Çizelge 2.5. Siman, seramik türü ve polimerizasyon moduna göre test grupları	31
Çizelge 3.1. Tüm test edilen grupların 15. dakikada direkt okuma tekniği ile ölçülen polimerizasyon dönüşüm yüzdeleri	34
Çizelge 3.2. LinkForce isimli simanın restoratif materyal olmadan direkt standart ışık uygulaması ile ön ışık uygulamasının karşılaştırılması	35
Çizelge 3.3. Duo-Link kompozit rezin simanın simanın restoratif materyal olmadan direkt standart ışık uygulaması ile ön ışık uygulamasının karşılaştırılması	35
Çizelge 3.4. Standart ışık uygulama işleminin, restoratif materyal olmadığı zaman LinkForce ve Duo-Link kompozit rezin simanlarda karşılaştırılması	36
Çizelge 3.5. Ön ışık sonrası standart ışık uygulama işleminin, restoratif materyal olmadığı zaman LinkForce ve Duo-Link kompozit rezin simanlarda karşılaştırılması	36
Çizelge 3.6. LinkForce kompozit rezin simanın restoratif materyal olmadan standart ışık uygulama ve 1 mm kalınlığında iki farklı restoratif materyal ile iki farklı ışık uygulamasının karşılaştırılması	37
Çizelge 3.7. LinkForce kompozit rezin simana restoratif materyal olmadan standart ışık uygulama ve 2 mm kalınlığında iki farklı restoratif materyal ile iki farklı ışık uygulamalarının karşılaştırılması	37
Çizelge 3.8. Duo-Link kompozit rezin simana restoratif materyal olmadan standart ışık uygulama ve 1 mm kalınlığında iki farklı restoratif materyal ile iki farklı ışık uygulamalarının karşılaştırılması	38
Çizelge 3.9. Duo-Link kompozit rezin simana restoratif materyal olmadan standart ışık uygulama ve 2 mm kalınlığında iki farklı restoratif materyal ile iki farklı ışık uygulamalarının karşılaştırılması	39
Çizelge 3.10. Farklı kalınlıklardaki Cerasmart 270 üzerinden standart ışık uygulandığı zaman, LinkForce kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması	39
Çizelge 3.11. Farklı kalınlıklardaki Cerasmart 270 üzerinden ön ışık uygulandığı zaman, Linkforce kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması	40
Çizelge 3.12. Farklı kalınlıklardaki Initial LiSi üzerinden standart ışık uygulandığı zaman, LinkForce kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması	40
Çizelge 3.13. Farklı kalınlıklardaki Initial LiSi üzerinden ön ışık uygulandığı zaman, LinkForce kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması	41
Çizelge 3.14. Farklı kalınlıklardaki Cerasmart 270 üzerinden standart ışık uygulandığı zaman, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması	41
Çizelge 3.15. Farklı kalınlıklardaki Cerasmart 270 üzerinden ön ışık uygulandığı zaman, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması	41
Çizelge 3.16. Farklı kalınlıklardaki Initial LiSi üzerinden standart ışık uygulandığı zaman, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması	42
Çizelge 3.17. Farklı kalınlıklardaki Lisi Initial üzerinden ön ışık uygulandığı zaman, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması	42

Çizelge 3.18. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması	42
Çizelge 3.19. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması	43
Çizelge 3.20. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması	43
Çizelge 3.21. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması	43
Çizelge 3.22. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması	43
Çizelge 3.23. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması	44
Çizelge 3.24. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması	44
Çizelge 3.25. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması	44
Çizelge 3.26. Standart ışık ve ön ışık uygulaması uygulaması ile simante edilen 1x1x6 mm ³ boyutunda çubuk şeklinde test örneklerinin ortalama modifiye makaslama bağlanma dayanıklılık değerleri	46
Çizelge 3.27. Farklı ışık uygulama işlemiyle Linkforce rezin siman kullanılarak birbirlerine bağlanan Cerasmart 270 test örneklerinin karşılaştırılması	47
Çizelge 3.28. Farklı ışık uygulama işlemiyle LinkForce rezin siman kullanılarak birbirlerine bağlanan LiSi Initial test örneklerinin karşılaştırılması	47
Çizelge 3.29. Farklı ışık uygulama işlemiyle Duo-Link rezin siman kullanılarak birbirlerine bağlanan Cerasmart 270 test örneklerinin karşılaştırılması	48
Çizelge 3.30. Farklı ışık uygulama işlemiyle Duo-Link rezin siman kullanılarak birbirlerine bağlanan LiSi Initial test örneklerinin karşılaştırılması	48
Çizelge 3.31. Standart ışık uygulama işlemiyle LinkForce kompozit rezin siman kullanılarak birbirine bağlanan iki farklı restoratif materyalin karşılaştırılması	48
Çizelge 3.32. Standart ışık uygulama işlemiyle Duo-Link kompozit rezin siman kullanılarak birbirine bağlanan iki farklı restoratif materyalin karşılaştırılması	49
Çizelge 3.33. Ön ışık uygulama işlemiyle Linkforce kompozit rezin siman kullanılarak birbirine bağlanan iki farklı restoratif materyalin karşılaştırılması	49
Çizelge 3.34. Ön ışık uygulama işlemiyle Duo-Link kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan iki farklı restoratif materyalin karşılaştırılması	49
Çizelge 3.35. Standart ışık uygulama işlemiyle iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan cerasmart 270'in karşılaştırılması	50
Çizelge 3.36. Standart ışık uygulama işlemiyle iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan Lisi Initial restoratif materyalin MMBD değeri karşılaştırılması	50
Çizelge 3.37. Ön uygulama işlemiyle iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan Cerasmart 270 restoratif materyalin MMBD değeri karşılaştırılması	50
Çizelge 3.38. Ön uygulama işlemiyle iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan Lisi Initial restoratif materyalin MMBD değeri karşılaştırılması	51
Çizelge 3.39. Ön ışık uygulama işleminde farklı kompozit rezin siman ve farklı restoratif materyalin MMBD değerlerinin karşılaştırılması	51
Çizelge 3.40. Standart ışık uygulama işleminde farklı kompozit rezin siman ve farklı restoratif materyalin MMBD değerlerinin karşılaştırılması	51
Çizelge 3.41. Ön ışık ışık uygulama işleminde farklı kompozit rezin siman ve farklı restoratif materyalin MMBD değerlerinin karşılaştırılması	52
Çizelge 3.42. Standart ışık uygulama işleminde farklı kompozit rezin siman ve farklı restoratif materyalin MMBD değerlerinin karşılaştırılması	52
Çizelge 3.43. Polimerizasyon derecesi ve modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı değerlerinin karşılaştırılması	53
Çizelge 3.44. PDY ve MMBD değerlerinin görsel korolasyonu	54
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan materyallerin doldurucu türleri ve yüzdeleri	58

1. GİRİŞ

Diş hekimliğinde, bir yandan dijital teknolojilerin kullanılmaya başlanması, diğer yandan da uygun mekanik ve estetik özelliklere sahip materyallerin evrimleşmesinin sinerjik etkisi, protetik diş hekimliğinde köklü bir değişime yol açmıştır (Marchesi vd., 2021). Bu dönüşümün temelini, dijital iş akışıyla entegre çalışan ileri teknoloji üretim sistemleri ve bu sistemlerin desteklediği gelişmiş materyal seçenekleri oluşturur. Dijital iş akışı ve üretim bileşenleri, yüksek doğruluk ve hassasiyet, öngörülebilirlik, tekrarlanabilirlik, maliyet etkinliği ve genellikle geleneksel olarak üretilen materyalleri aşan fiziksel, optik, biyolojik özelliklere sahip çok çeşitli restoratif ve protetik malzemeler sağlar (Blatz ve Conejo, 2019; Ling vd., 2021). Buradaki dijital iş akışından kastedilen, günümüz diş hekimliği kliniklerinde yaygın olarak kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) teknolojileridir (Fu vd., 2020). Diş hekimleri ve laboratuvarlar bu teknolojiyi çeşitli şekillerde kullanabilirler.

Klinisyenler kendi bilgisayar destekli tasarımını ve üretim işlemlerini gerçekleştirebilir ya da dijital bir görüntü oluşturup bunu restoratif materyallerin üretimi için bir laboratuvara gönderebilirler. Laboratuvarlar dijital bir ölçü aldığı anda, bu bilgiyi bir model oluşturmak için kullanabilir ve bu model daha sonra geleneksel üretim için olduğu gibi kullanılabilir ya da dijital üretim için yeniden taranabilir (Suganna vd., 2022). Bu dijital dönüşüm süreciyle paralel olarak, tam seramik restorasyonlara olan ilgi de giderek artmıştır. Özellikle metal içermeyen restorasyonların hem klinisyenler hem de hastalar tarafından daha estetik bulunması, bu materyalleri popüler hale getirmiştir. Estetik beklentilerin öne çıkışı, yalnızca ilk kez yapılan protetik uygulamalarda değil, aynı zamanda mevcut metal destekli seramik restorasyonların yenilenmesi durumlarında da tam seramik materyallere olan eğilimi güçlendirdi (Chaffi vd., 2025).

1.1. Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) Sistemleri

CAD/CAM sistemleri ilk olarak 1950 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri'nin savunma sanayii kapsamında uçak ve otomotiv üretimi amacıyla geliştirilmiştir. Bu teknolojilerin diş hekimliğinde uygulanması ise yaklaşık otuz yıl sonra,

Francois Duret'in dayanak dişin optik ölçümünü ve sayısal kontrollü bir frezeleme makinesini içeren bir dental CAD/CAM cihazı geliştirmesiyle mümkün olmuştur (Blatz ve Conejo, 2019).

Dental restorasyonların üretimi için bilgisayarlı sistemlerin evrimi, seramik materyaller için yeni mikro yapıların geliştirilmesiyle ilişkili olarak, diş hekimleri ve teknisyenler için klinik iş akışında ve hastalara sunulan tedavi seçeneklerinde önemli bir değişikliğe neden olmuştur (Silva vd., 2017). İlk CAD/CAM sistemleri yalnızca inley, onley ve tek kron üretimiyle sınırlıyken, günümüzde CAD/CAM teknolojilerinin, frezeleme cihazlarının ve diğer yardımcı sistemlerin çeşitliliği sayesinde, implant dayanakları ve restorasyonlara, hatta kısmi ya da tamamen dişsiz hastalar için sabit ve hareketli protezlere kadar çok geniş bir yelpazede diş restorasyonları üretilebilmektedir (Blatz ve Conejo, 2019). Taramadan hemen sonra dijital ölçüleri görselleştirmek ve analiz edebilmek, klinik iş akışının en önemli avantajlarından biridir (Blatz ve Conejo, 2019).

1.1.1. Bilgisayar Destekli Üretim Yöntemleri

1.1.1.1. Eklemeli Yöntem

Eklemeli üretim, ürünün istenen şeklini elde etmek için 3B (3 Boyutlu) model verilerinden malzemenin katman katman eklendiği olan bir üretim teknolojisidir (Jayawardane vd., 2023). Eklemeli üretim teknolojisi, Seçici Lazer Ergitme (*Selective Laser Melting, SLM*) ve Dijital Işık İşleme (*Digital Light Processing, DLP*) gibi teknikler içerir (Thakur vd., 2023). Bu teknik, ölçü kaşıkları, gece plaklarının, cerrahi rehberlerin, geçici ve geçiş protezlerinin (Blatz ve Conejo, 2019), elde edilmesinde kullanılan modellerin, kaidelerin, metal iskeletlerin, oklüzal splintlerin, cerrahi rehberlerin ve son zamanlarda dental seramik restorasyonların üretiminde kullanılmaktadır (Al Hamad vd., 2022). Farklı restorasyonların aynı anda üretilebilmesi, artık tozun yeniden kullanılabilmesi ve böylece malzeme israfının önlenmesi (Thakur vd., 2023), karmaşık geometrileri üretilebilme kolaylığı (Al Hamad vd., 2022) gibi avantajların yanı sıra, daha kısa teslim sürelerine izin vererek 'Tam Zamanında' (*Just-In-Time, JIT*) üretimi mümkün kılar (Jayawardane vd., 2023). Yöntemin dezavantajları arasında üretilen materyalde porozite, distorsiyon, delaminasyon ve bilyeleşme fenomeni yer alır (Thakur vd., 2023).

1.1.1.2. Eksiltmeli Yöntem

Diş hekimliğinde dijital üretim tekniğinde ilk yaklaşım olan eksiltmeli üretim (Bedia ve Sibel, 2024), elmas döner aletler gibi kesme cihazları kullanılarak malzeme bloklarından fazla hammaddenin kazınmasıyla, istenen şekil ve boyutta ürünlerin oluşturulmasını sağlayan bir üretim yöntemidir. Bu süreçte sabitleyici aparatlar kullanılırken, bilgisayar kontrollü sistemler tüm adımları yöneterek nesnenin hedeflenen geometrisine ulaşılmasını sağlar (Jayawardane vd., 2023; Thakur vd., 2023). Bu sistemde, seramik, metal, polimer gibi farklı endüstriyel olarak hazırlanmış blok materyaller kullanılabildiğinden, eksiltmeli üretim ile elde edilen restorasyonlar biyouyumlu ve yüksek kalitelidirler. Aynı zamanda yüksek yüzey çözünürlüğü ve pürüzsüzlük sağlayarak gözeneksiz, homojen restorasyonlar üretebilirler (Bedia ve Sibel, 2024a).

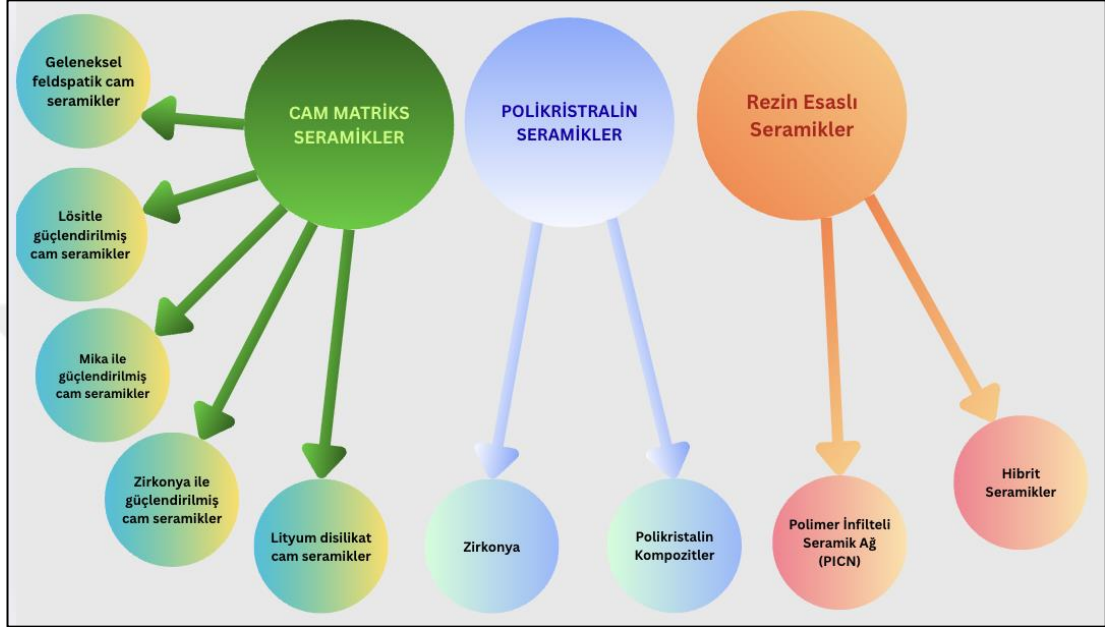
Dezavantajları ise kazıma sırasında kullanılan frezlerin zamanla körelmesi ve belirli aralıklarla değiştirilmesi gerekliliğidir. Bu durum ek bir bakım maliyeti oluşturarak üretimin verimliliğini azaltır (Aral ve Keskin, t.y.). Bununla birlikte, kullanılan frezlerin çapı ve erişim yolları sınırlı olduğundan, kompleks biçimli veya iç yapısal detayları fazla olan restorasyonları üretmek güç olabilir. Frez ucunun ulaşamadığı girintiler eksiltmeli üretimde tam olarak elde edilemeyebilir (Bedia ve Sibel, 2024; Jun vd., 2025).

1.2. CAD/CAM Tekniğiyle Kullanılan Restoratif Materyaller

CAD/CAM teknolojisinin gelişimi, tek randevuda yüksek kaliteli restorasyonların verimli bir şekilde üretilmesini sağlayarak diş hekimliği uygulamalarında devrim yaratmıştır. Hasta başı CAD/CAM materyallerinin ana kategorileri arasında tam seramikler ve akrilik rezinler yer almaktadır (İlle vd., 2025). Tam seramik restorasyonlar akrilik rezinlere kıyasla, mükemmel estetik, yüksek renk stabilitesi, aşınma direnci ve biyouyumluluk özellikleriyle tercih edilir (M Mohammed vd., 2022). Dental seramikler şu şekilde sınıflandırılabilir

1. Camsı fazına kıyasla daha düşük miktarda mineral yüküne sahip olan, viskozite ve termal genleşmeden sorumlu olan ve böylece daha fazla estetik ve yarı saydamlık sağlayan cam matriks seramikler,
2. Yüksek miktarda kristalin faza sahip olan ve camsı olanlara kıyasla yüksek basınç dayanımı gibi daha iyi mekanik özellikler sağlayan polikristalin seramikler,

3. Daha iyi stres dağılımına izin vererek tatmin edici estetikle ilişkili çiğneme güçlüklerine dayanmak için yeterli sertlik sağlamak amacıyla geliştirilen rezin esaslı seramikler (Beltrami vd., 2024; Benalcázar-Jalkh vd., 2023; Mahrous vd., 2023).



Şekil 1.1. Dental seramik materyallerin sınıflaması

1.2.1. Cam Seramik Materyaller

Cam seramikler, kristalin ve camsı fazların birbirine nüfuz eden bir yapı oluşturduğu, yüksek estetik, yarı saydamlık ve mekanik dayanım özellikleri sergileyen dental materyallerdir. Bu mikro yapı, camsı matris içinde çökeltilen kristal fazlar sayesinde elde edilir. Dental cam seramikler genellikle silikat esaslı cam sistemlerinden üretilir. Yapılarında alkali ve toprak alkali metal oksitler gibi cam değiştiricilerin yanı sıra Al_2O_3 , B_2O_3 , ZnO , CaO , MgO ve BaO gibi cam ara bileşenleri ile P_2O_5 , ZrO_2 ve TiO_2 gibi çekirdekleştirici ajanlar yer alır. Üretimleri, kontrollü iki aşamalı çekirdeklenme ve kristalleşme süreçlerine dayanır. Bu süreç, camsı matris içerisinde küçük kristallerin çökmesini sağlayarak malzemenin optik ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirir (Cattell vd., 2006; Turgut, 2020; C.-C. Yang vd., 2020).

Bu materyallerin eğilme dayanımı yaklaşık 100–500 MPa, kırılma dayanımı ise 1.0–5.0 MPa·m^{0.5} aralığındadır (Jiang et al., 2024). Cam seramikler yüksek elastik modülleri nedeniyle

iyi mekanik ve estetik özellikler sunmalarına rağmen kırılındırlar ve frezeleme sırasında ufalanmaya yatkın olabilirler (Ling et al., 2021). Materyalin yapısına eklenen kristal fazlar arasındaki iş birliği de fonksiyonel ve estetik özellikleri dengeleme etkisi yaratabilir. Farklı cam seramiklerin mikroyapısı çekirdeklenme, kristalleşme ve çeşitli ana camsı fazların seçimi kontrol edilerek, yani faz bileşimine ve ısıtma işlem sürecine bağlı olarak değiştirilebilir (Jiang vd., 2024).

Günümüzde kullanılan başlıca cam seramik materyallerin sınıflandırılması:

Geleneksel CAD/CAM feldspatik cam seramikler: Yüksek saydamlık sunar fakat kırılma dayanımı düşüktür (Jiang vd., 2024). Bu gruptaki seramiklere örnek olarak CEREC Blocks (Dentsply Sirona, Milford, DE, USA) verilebilir (Gomes vd., 2023).

Lösitle güçlendirilmiş cam seramikler: Camsı matris içinde dağıtılmış tetragonal lösit (KAlSi_2O) kristalleri içerir. Lösit kristalleri, camsı matrisle uyumlu ısıtma genleşme katsayısıyla mekanik dayanımı artırır ve yarı saydamlılığına katkıda bulunduğu için estetik olarak başarılıdır (Zhang & Kelly, 2017), fakat dayanıklılığı yaklaşık 150–160 MPa gibi değerlerle orta düzeydedir (Jiang vd., 2024). IPS Empress CAD (Ivoclar-Vivadent) bu tür bloklara örnektir (Teichmann vd., 2017).

Mika ile güçlendirilmiş cam seramikler: Mika kristalleri sayesinde işlenebilirliği yüksektir (Saraswati & Raoot, 1992), ancak mekanik dayanımı düşüktür. Genellikle sadece adeziv veneer, anterior kronlar ve posterior inleyler olarak kullanılır (Jiang vd., 2024). Mika ile güçlendirilen seramiklere ticari bir örnek olarak Dicor (Corning Inc, Dentsply Sirona) verilebilir (Munoz vd., 2025; Villalobos-Tinoco vd., 2025).

Zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramikler: Zirkonya ile güçlendirilmiş lityum silikat cam seramikler, geleneksel cam seramiklerde olduğu gibi üstün optik özellikler sunmakta, CAD/CAM sistemleri ile işlenebilmekte ve camsı matris ile ince kristal yapı sayesinde yüksek yüzey parlaklığı sağlamaktadır. Bu özellikleri sayesinde, estetik açıdan zorlu klinik vakalarda lityum disilikat esaslı cam seramiklere etkili bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Yaklaşık %8–12 oranında zirkonya içeren Vita Suprinity PC (Vita Zahnfabrik) gibi materyaller bu tür cam seramiklere örnektir. Gelişmiş mekanik özelliklerine rağmen, bu materyallerin işlenebilirliği düşüktür ve frezeleme sırasında kenar çatlakları ve soyulma gibi yüzey hasarları gözlemlenmektedir (Jiang vd., 2024).

Lityum disilikat cam seramikler: %65–70 oranında $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ kristalleri içerir (Elsherbini vd., 2025). Yüksek çekme dayanımı (350–440 MPa) ve estetik özellikler sunar (Jiang vd., 2024). IPS e.max hem CAD/CAM hem presleme teknikleri ile uygulanabilir (Teichmann et al., 2017).

1.2.1.1. Lityum Disilikat Cam Seramik (LDCS) Materyaller

Lityum disilikat ($\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) seramikler, modern restoratif diş hekimliğinde estetik arayışlarla mekanik güvenilirliği bir arada sunan başlıca materyaller arasında yer alır (Munoz vd., 2025; Villalobos-Tinoco vd., 2025). Bu malzemenin doygun kristal yapısı sayesinde sağlanan yüksek eğilme dayanımı ($\approx 350\text{--}400$ MPa) ve kırılma direnci, doğal mine benzeri parlaklık ve şeffaflıkla birleşerek; tek diş kronları, laminate veneer, inley/onley gibi estetik restorasyonlardan, anterior bölgede üç üyeli küçük köprüler gibi daha fazla yük taşıyan protetik uygulamalara kadar uzanan geniş bir endikasyon yelpazesinde başarıyla kullanılmasına olanak tanır (Jiang vd., 2024; Rexhepi vd., 2023). Estetik başarısının temelinde ise, yüksek kristal içeriğine rağmen LS_2 kristalleri ile camsı matris arasındaki düşük kırılma indeksi farkının sağladığı üstün ışık geçirgenliği yer alır (Jiang vd., 2024). İlaveten, in vitro çalışmalar lityum disilikatın diş eti hücreleriyle uyumlu olduğunu göstermiş; fibroblast kültürlerinde düşük düzeyde inflamasyon ($\text{TNF-}\alpha$) yanıtı saptanarak biyouyumluluğu desteklenmiştir (Jung vd., 2021).

LDCS'lerin anterior bölgede yüksek estetik gereksinimlerin karşılanmasındaki etkinliği literatürde net bir şekilde ortaya konmuştur. Ancak posterior bölgede artan oklüzal kuvvetler nedeniyle, endikasyon belirlenirken dikkatli olunması gerekir. Özellikle arka bölge köprü restorasyonlarında lityum disilikatın kullanımı, çatlak oluşumu ve kırılma riskinin artması nedeniyle önerilmez. Bu tür durumlarda, zirkonya gibi daha yüksek mekanik dayanım sunan alternatif materyallerin tercih edilmesi uygun görülür. Chafii vd. (2025)'nin gerçekleştirdiği sistematik derlemede, lityum disilikat materyallerin özellikle endokron restorasyonlarında, gerilim birikiminin daha az olduğu molar dışı bölgelerde, yani premolarlarda daha başarılı sonuçlar verdiği vurgulanmıştır (Chafii vd., 2025). Buna karşın, köprü restorasyonlarında yaygın olarak tercih edilmediği ve bunun başlıca nedeninin sınırlı gerilme ve kesme mukavemeti ile buna bağlı olarak oluşan restorasyon kırıkları olduğu belirtilmiştir. Pieger vd (2014), anterior bölgedeki uygulamalar için dikkatli vaka seçimiyle kullanımını önermekle birlikte, posterior köprü protezlerinin %68'inde katastrofik kırıkların meydana geldiğini bildirmiştir (Pieger vd., 2014). Ayrıca Rathmann vd (2017)'nin on yıllık takip çalışmasında,

altyapı destekli uygulamalarda en sık görülen komplikasyonun chipping ve yapı ayrılması olduğu; ancak zirkonya altyapı ile kombine edildiğinde monolitik restorasyonlara kıyasla daha iyi kırılma dayanımı sağlandığı ifade edilmiştir (Rathmann vd., 2017). Tüm bu bulgular, lityum disilikat cam seramiklerin yüksek mekanik dayanım ve estetik niteliklerini ortaya koymakta olup, uzun dönem klinik veriler de bu durumu desteklemektedir. Örneğin, laminate restorasyonlara ilişkin klinik çalışmalarda, on yıl sonunda %96–97 oranında sağkalım bildirilmiş ve feldspatik ya da l s t takviyeli seramiklere kıyasla daha d    k teknik komplikasyon oranları bildirilmi  tir (Chafii vd., 2025; Klein vd., 2025).

LDCS'ler yapısında üretilen Initial LiSi Press, 12  m boyutundaki e  eksenli b    k kristal yapısıyla dikkat çeker ve literatürde, kırılma dayanımı (K_{Ic}) değerlerinin beklenenden y  ksek olduğu g  sterilir. Bu durum, özellikle en-boy oranına bağlı olarak gelişen çatlak dallanması ve çatlak k  r  lenmesi gibi sertleştirme mekanizmalarının etkisini ortaya koymaktadır.

Öte yandan, çalışmada kullanılan Initial LiSi Block gibi  r  nler y  ksek kristal içeriğine sahip olmalarına rağmen yalnızca nanokristaller içermekte ve bu nedenle kırılma dayanımı ideal seviyeye ula mamaktadır (Jiang vd., 2024). Ayrıca, Initial™ LiSi Block materyalinde 'virgilit' olarak sınıflandırılmayan, kuvars benzeri bir fazın varlığı da rapor edilmi  tir (Hurle vd., 2022). Bu fazların cam seramik üzerindeki etkileri,  r  n n spesifik mikroyapısı bağlamında değerlendirilmelidir.

1.2.1.1.1. GC Initial LiSi Cam Matriks Seramik

GC Initial LiSi, lityum disilikat esaslı cam seramik bloktur. İçeriğinde yaklaşık %55–80 silika cam fazı, %10–30 lityum oksit ve çeşitli oksit katkıları bulunur (Vichi vd., 2023) Y  ksek orandaki lityum disilikat kristalleri (~70 vol%) cam matriks içinde dağılarak malzemeye g  c kazandırırken yarı saydam bir g  r  n m verir (Dikici vd., 2025). Genel olarak seramiklerde kristal faz miktarı arttıkça opaklık artar, cam fazı y  ksek oldukça ise ışık iletimi artar. Nitekim lityum disilikat gibi kristalce zengin seramikler ise biraz daha opak olma eğilimindedir (Dikici vd., 2025). Buna rağmen Initial LiSi gibi lityum disilikat cam seramikler, kristal boyutu ve kırılma indeksi uyumu optimize edilerek estetik açıdan yeterli bir yarı saydamlık sunar. Işık geçirgenliğini etkileyen faktörler arasında malzemenin rengi, y  zey p  r  zl     , porozite oranı ve kristal fazın tipi ile hacmi önemli yer tutar (Carneiro vd., 2023).

Sonuç olarak GC LiSi, içerdği kristaller nedeniyle tam şeffaf olmasa da, diş mine-dentin yapısını taklit edecek düzeyde ışık geçirgenliği sağlayabilmektedir (Laborie vd., 2024)

1.2.2. Rezin Esaslı Seramik Materyaller

Rezin Esaslı Seramik Materyaller; Rezin matriks polimer infiltre ağı sahip seramik materyaller (*Polymer infiltrated ceramic network, PICN*) ve hibrit seramikler olarak 2 alt gruba ayrılır (Blatz ve Conejo, 2019). Hibrit ve PICN arasındaki en önemli fark, önerilen yapıştırma yöntemidir. Hibrit seramiğin seramik yapısı, ideal olarak 60 saniye boyunca hidroflorik (HF) asitle aşındırma ve silan uygulaması gerektirir. Buna karşılık, PICN ise asitle aşındırılmamalı ve alüminyum oksit hava partikülü aşındırması ile ön işleme tabi tutulmalı ve ardından silanlanmalıdır (Blatz ve Conejo, 2019). Son yıllarda, kompozit teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde rezin bazlı kompozitler önemli ölçüde geliştirilmiş ve inley, onley, veneer, kron ve köprü gibi indirekt restorasyonların üretimi için CAD/CAM sistemlerine genişletilmiştir (Ling vd., 2021). Bu materyallerin ışıkla sertleşen restoratiflerle ağız içi onarımın kolay olması ve kompozit rezin restoratif materyallere benzer şekilde sadece cila uygulanarak, fırınlama gerektirmeden kullanılabilmesi hızlı bir üretim sağladığı için avantajlar arasındadır (Marchesi vd., 2021). CAD/CAM sistemleri için ilk rezin kompozit blok 2000 yılında piyasaya sürülen Paradigm MZ100 (3M ESPE, ABD) olmuştur. Paradigm MZ100 bloğu 3MTM Z100TM direkt rezin kompozit esas alınarak yapılmıştır ve ağırlıkça %85 oranında ultra ince zirkonya-silika seramik dolgu maddeleri içermektedir (3M Paradigm, 2008). Eğilme dayanımı, eğilme modülü, kompresif dayanım ve çapsal çekme dayanımının sırasıyla 146 MPa, 12,7 GPa, 524 MPa ve 114 MPa olduğu bildirilmiştir (3M Paradigm, 2008). Daha sonra 3M ESPE, %80 oranında silika ve zirkonya içeren nanomer ve nanoküme dolgu partiküllerinin özel bir rezin matrisiyle kimyasal olarak bağlandığı, yüksek mukavemet, aşınma direnci ve cilalama özelliği sağlayan ısıl işlem görmüş rezin nano seramik materyal olan Lava Ultimate'i geliştirmiştir (3M ESPE Internal Data, 2015). Eğilme dayanımı (204 MPa) Paradigm MZ100'e kıyasla önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Lava Ultimate bloğuna benzer şekilde, GC (GC Corporation, Japonya) Cerasmart'ı yüksek oranda çapraz bağlı reçine matrisinde ağırlıkça %75 nano seramik partikülleri içeren hibrit bir seramik blok olarak pazarlamıştır. 231 MPa gibi yüksek bir eğilme dayanımı göstermiştir. Bu yeni kompozit blok malzemeler bileşim ve sertleşme koşulları bakımından farklı olsalar da, aslında geleneksel dolgu-rezin karışımı kompozit tekniği ile üretilmişlerdir. VITA (VITA Zahnfabrik, Almanya) CAD/CAM restorasyonları için gerçek bir hibrit seramik olan Vita Enamic'i PICN teknolojisini tanıtarak piyasaya sürmüştür. Önce ağırlıkça %86 gözenekli bir seramik ağ oluşturuldu ve ardından

polimerik rezinler tarafından infiltre edildi, bu da dolgu yükleme kapasitesini artırmak için yeni bir yol sağladı. Vita Enamic, dolgu maddeleri ve polimerik rezinlerin karıştırılmasıyla elde edilen kompozit blok malzemelere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek elastikiyet modülü (30 ± 2 GPa) ve sertlik (2,5 GPa) sergiler. Cam-seramiklerle karşılaştırıldığında, CAD/CAM kompozit bloklar kolaylıkla üretilebilir ve onarılabilir, daha iyi işlenebilirliğe sahiptir ve dolayısıyla marjinal talaşlanma eğilimi daha düşüktür (Ling vd., 2021).

1.2.2.1. Cerasmart 270 Hibrit Nanoseramik

GC Cerasmart 270, CAD/CAM için geliştirilmiş hibrit seramik (nano-seramik rezin) bloklardandır. Yapısal olarak bir polimer matriks içinde dağılmış nano-seramik dolgulardan oluşur; yaklaşık %71 oranında silika ve baryum camı nanopartikül dolgu, geri kalan kısım Bis-MEPP, UDMA ve DMA gibi rezin monomerlerinden ibarettir (Carneiro vd., 2023). Bu yüksek dolgu içerikli rezin kompozit blok, hem seramik hem kompozit özellikleri gösterir. Cerasmart 270'in mikro yapısındaki nanoseramik doldurucular, üretim aşamasında tam bir silan kaplama ile matrikse bağlanmıştır, bu sayede reçine ve dolgu arasındaki kırılma indisi farkı minimize edilerek yüksek bir yarı saydamlık elde edilir. Nitekim benzer hibrit bloklarla karşılaştırıldığında Cerasmart'ın alumina gibi opaklaştırıcı dolgu oranının daha düşük olması, daha yüksek ışık geçirgenliği ile sonuçlanmaktadır. Cerasmart 270 çapraz bağlı rezin matriksine gömülü çok daha az opak faz içerir ve böylece daha saydamdır (Dikici vd., 2025).

Çizelge 1.1. Çalışmada kullanılan iki seramik blok özelliklerinin karşılaştırılması

Materyal/İçerik	Lityum Disilikat ve Zirkonya ile güçlendirilmiş Lityum Disilikat	Hibrit Seramik
Mikroyapı	Cam matriks + Kristalin	Reçine matrikste seramik nanopartiküller, polimer ilave edilmiş seramik ağ
Optik Özellikler	İyi	İyi
Bağlanabilme Özelliği	Mükemmel	Mükemmel
Avantaj	Uzun süreli klinik çalışma mevcudiyeti, estetik, mekanik dayanım, geniş renk yelpazesi, translusens	Hızlı kazıma, Direkt kompozit ile tamir edilebilme, mekanik özellikler
Dezavantaj	Konvansiyonel seramiklere kıyasla daha az klinik çalışma	Optik özellikler
Endikasyonlar	Veneer, inley, onley, overley, kron, anterior veya posterior köprü, implantüstü kron	Veneer, inley, onlay, overley, tam kron (Lava Ultimate dışında)

(Marchesi vd., 2021)

Restoratif materyallerin değerlendirilmesinde yalnızca malzemenin kendine özgü mekanik özellikleri değil, aynı zamanda tamamlanmış restorasyonun fonksiyonel performansı da dikkate alınmalıdır. Bu bağlamda, restorasyon ile diş dokusu arasındaki bağlanma dayanımı ön plana çıkmaktadır; bu da materyalin adeziv özellikleriyle doğrudan ilişkilidir (Jiang vd., 2024). Seramik veneerlerin diş yapısına retansiyonu için rezin simanlar kullanılır (M Mohammed vd., 2022). Seramik restorasyonların rezin simanlar aracılığıyla diş yapısına yapıştırılması, diş-seramik arayüzünün mekanik özelliklerini belirgin biçimde iyileştirmektedir (Jiang vd., 2024).

1.3. CAD/CAM Tekniği ile Elde Edilen Restorasyonlar ile Kullanılan Simanlar

1.3.1. Rezin Esaslı Simanlar

1950'lerden itibaren geliştirilen rezin bazlı simanlar, estetik restorasyon taleplerinin artmasına bağlı daha çok kullanılmaya başlandı (Leung vd., 2022). Rezin simanlar, restorasyon ile diş arasında güçlü ve kalıcı bir adezyon, üstün mekanik dayanım, renk uyumu ve düşük çözünürlük gibi özellikleri nedeniyle indirekt restorasyonların simantasyon işleminde yaygın olarak kullanılan polimerik malzemelerdir (Maia vd., 2021; Maletin vd., 2023). Rezin esaslı simanların klinik endikasyonları oldukça geniştir. En sık porselen kron ve köprü, laminate veneer, inley/onley restorasyonların adeziv simantasyon işlemiminde tercih edilirler. Ayrıca endodontik tedavi görmüş dişlerde fiber post restorasyonların ve ortodontik apareylerin adeziv simantasyon işleminde dişe yapıştırılmasında yaygın şekilde kullanılırlar (Leung vd., 2022; Maletin vd., 2023). Diş yüzeyine uygulanan ön işleme göre rezin simanlar; total-etch sistemiyle (*etch-and-rinse*), kendinden asitleme sistemiyle (*self-etch*) kullanılan ve ayrıca bağlayıcı ajan gerektirmeyen kendinden adeziv (*self-adhesive*) olarak (Abraham vd., 2023), polimerizasyon moduna göre ise kendiliğinden polimerize (*self-cure*), ışıkla polimerize (*light-cure*) ve dual polimerize (*dual-cure*) sistemler şeklinde sınıflandırılabilir (Mazzitelli vd., 2022). Total-Etch (Asitle ve yıka, Etch-and-Rinse) simanlar, klasik 3 aşamalı adeziv sistemleri temel alır. Diş yüzeyine fosforik asit uygulanarak smear tabakası tamamen kaldırılır, ardından primer ve bağlayıcı ajan ayrı ayrı uygulanır. Bu sistemler güçlü mikromekanik tutuculuk sağlar ve özellikle mine dokusuyla kuvvetli bağlanma elde etmek için tercih edilir. Self-Etch sistemlerde ise asidik monomer içeren primer doğrudan diş yüzeyine uygulanır ve ayrı bir asitleme adımı gerekmez. Bu sistemler dentin ile daha uyumludur çünkü kollajen yapısını aşırı demineralize etmeden bağlanma sağlar. Ancak, mine üzerindeki asit etkinliği total-etch'e kıyasla düşüktür, bu nedenle, yalnızca mineye kısa süreli fosforik asit uygulanarak

(*Selective Enamel Etching, SEE*), bağlanma gücünün artırılması önerilir (Cadenaro vd., 2023). Kendinden adeziv rezin simanlar ise, dış yüzeyine herhangi bir ön işlem (fosforik asit uygulaması veya bağlayıcı ajan kullanımı) gerektirmeden doğrudan uygulanabilir. Bu materyaller, uygulama adımlarını azaltarak klinik işlemleri basitleştirmek amacıyla geliştirilmiştir (Maravic vd., 2025). 10-metakriloiloksidetil dihidrojen fosfat (10-MDP), 4-metakriloksietil trimellitat anhidrit (4-META) veya fosforik esterler gibi kimyasal bağlanma için fonksiyonel monomerler içerir. Bu asidik monomerler smear tabakası yapısını kısmen demineralize etme yeteneğine sahiptir (Santos vd., 2024). Kullanım kolaylığına odaklanan bu sistemler, çok adımlı sistemlere kıyasla daha düşük bağ dayanımı gösterebilir. Ancak bazı ürünlerde, üretici tarafından önerilen uygun bir “universal adhesive” ile birlikte kullanıldığında yapışma performansı artırılabilir (Cadenaro vd., 2023).

Işıkla polimerize simanlar, genellikle ışığın rahatça ulaşabildiği, ince kalınlık ve açık renk restoratif materyallerin kullanıldığı durumlarda tercih edilir. Sadece kimyasal polimerize olan simanlar ise ışığın erişmekte zorlanacağı restorasyonların altında, daha sınırlı kullanım alanına sahiptir (Maravic vd., 2025). Dual polimerize rezin simanlar, hem ışık (*light-cure*) hem de kimyasal (*self-cure*) yolla polimerize olabilen sistemlerdir (Heboyan vd., 2023) ve kalın seramik restorasyonlar altında güvenilir polimerizasyon sağlarlar (Ganjkar, 2017; Maia vd., 2021). Bu sistemler genellikle kamforkinon gibi fotobaşlatıcılarla birlikte (Heboyan vd., 2023), kimyasal aktivasyon için gerekli baz ve katalizörlerde sırasıyla tersiyer amin ve benzoil peroksit dayanan bir redoks mekanizması yoluyla ilerler (Faria-e-Silva & Pfeifer, 2020). Bununla birlikte, kimyasal polimerizasyon bileşenlerinin zamanla oksidasyona uğraması, bu materyallerin renk stabilitesini olumsuz etkileyebilir ve bu durum özellikle estetik bölgelerde klinik açıdan dikkat gerektirir (Hardan vd., 2024).

Dual polimerize simanların, Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi (*Degree of Conversion*) materyalin yapısına bağlıdır; başka bir deyişle, bazı sistemler diğerlerine göre ışık aktivasyonuna daha fazla duyarlıdır (Ganjkar, 2017). Hem ışık hem de kimyasal polimerizasyon sağlansa da, ışığın yetersiz olduğu durumlarda kimyasal aktivasyonun tek başına yeterli olmayabileceği, yalnızca kimyasal polimerize edilen dual polimerize simanlarda %10–25 gibi düşük PDY değerleri gözlenebilir (David-Pérez vd., 2022). Bu nedenle, ışık geçirgenliğinin sınırlı olduğu klinik durumlarda, dual polimerize simanların hem kimyasal hem de ışıkla polimerizasyon sağlayan yapıları, klinik başarının sürdürülebilmesi açısından önem taşır. Dual polimerize simanların endikasyonları arasında, kron, köprü, post-kor ve

implant üstü protezler dahil olmak üzere zirkonya gibi ışık geçirgenliği düşük materyallerin altında yaygın klinik kullanım alanına sahiptir (Heboyan vd., 2023).

1.3.1.1. Kompozit Rezin Esaslı Yapıştırma Simanları

Kompozit rezin yapıştırma simanları, indirekt restorasyonların simantasyonunda yaygın olarak kullanılan, organik rezin matriks içinde silan kaplı inorganik dolgu partikülleri içeren malzemelerdir. Bu simanlar, koloidal silika, iterbiyum veya baryum camı gibi silanize inorganik dolgu maddeleri ile birlikte Bis-GMA, TEGDMA, Bis-EMA ve UDMA gibi monomerleri içerir (Santos vd., 2024). Doldurucu tipi (örneğin; cam, silika, zirkonya, baryum camı vs.) ve oranı simanın viskozitesini, ışık geçirgenliğini ve mekanik dayanımını belirler. Bu özellikler, özellikle seramik veneerlerin simantasyonunda önemli avantajlar sağlar; düşük çözünürlük, yarı saydamlık, akışkanlık ve elastikiyet gibi klinik olarak arzu edilen niteliklere sahiptirler (Santos vd., 2024). Aynı zamanda, bu materyaller marjinal mikrosızıntıyı azaltarak endodontik veya periodontal komplikasyonlar ya da ikincil çürük gelişimi riskini de düşürebilir (Alovisi vd., 2018).

Kompozit rezin siman kullanılırken, simantasyon başarısını etkileyen dört ana değişken grup tanımlanmıştır:

- ışık cihazının özellikleri
- operatörün uygulama tekniği
- restorasyonun özellikleri
- kullanılan dental rezin kompozitin enerji gereksinimleri (Hasanain & Nassar, 2021).

Tüm bu faktörler, polimerizasyon dönüşüm yüzdesini (PDY), mikrosertlik ve bağlanma dayanımı gibi kritik özellikleri doğrudan etkileyebilir (Santos vd., 2024). Seramik bir indirekt restorasyonun uygulanması her zaman ağız boşluğunda simantasyon gerektirir. Yeterli mekanik ve adeziv özelliklere ulaşmak ve dolayısıyla uzun ömürlü bir restorasyon sağlamak için, rezin simanın uygun nihai polimerizasyon derecesine ulaşması gereklidir (De Souza vd., 2015).

1.4. Cam Seramiklerde ve Hibrit Seramiklerde Yüzey Hazırlığı ve Simantasyon Protokolleri

CAD/CAM restorasyonların uzun vadeli başarısı büyük ölçüde simantasyon sırasında uygulanan işlemlerin doğruluğuna bağlıdır. Bu doğrultuda, kullanılan materyalin yapısal özelliklerine uygun şekilde belirlenen yüzey hazırlığı ve yapıştırma adımları, restorasyonun dayanıklılığı açısından kritik öneme sahiptir. Kompozit rezin siman materyallerin hibrit ve cam seramik restorasyon iç yüzeyleri ile etkileşimini artırmak amacıyla, mikromekanik ve kimyasal bağlanmayı hedefleyen çeşitli yüzey hazırlık protokolleri geliştirilmiştir. Cam seramik restorasyon iç yüzeyinin pürüzlendirme işleminde, en yaygın uygulamalardan biri, %5 veya %10'luk hidroflorik asit (HF) uygulamasıdır. Bu işlem, cam seramik restorasyon iç yüzey mikroyapısında mikroporoziteler oluşturur ve böylece öngörülebilir ve güvenilir pürüzlü yüzey elde edilmesini sağlar. Buna ek olarak, hava partiküllü aşındırma (air abrasion), alüminyum oksit püskürtme, lazerle yüzey şartlandırma ve silika kaplı partiküllerle yapılan tribokimyasal işlemler gibi alternatif pürüzlendirme yöntemleri de mevcuttur (Beltrami vd., 2024).

Hidroflorik asit uygulaması, mikromekanik tutuculuk sağlarken, silan uygulaması, seramik yüzeyi ile rezin siman arasında kimyasal adezyon sağlar. Silan, özellikle cam seramik restorasyon iç yüzeyinde hidroksil gruplarıyla reaksiyona girerek kovalent siloksan bağları oluşturur (Hu vd., 2016). Bu bağlayıcı madde, inorganik cam seramik yüzeyi ile organik rezin siman arasında çift reaktivite göstererek adezyonu önemli ölçüde artırır. Silan uygulanmasından sonra ara yüzeyde üç farklı yapı gözlemlenebilir: fiziksel olarak emilen dış katman, hidrolize edilebilir orta katman ve yüksek derecede çapraz bağlı, hidrolitik olarak dayanıklı iç katman. Bu iç katman, stabilite ve bağlanma gücü açısından en kritik bölgeyi oluşturur (Alhomuod vd., 2023).

Özellikle lityum disilikat seramik (LDCS) gibi silika bazlı cam seramiklerde, HF ile kısa süreli pürüzlendirme (örneğin %5 HF ile 20 saniye) sonrasında silan uygulaması, uzun süreli bağlanma dayanımını artırmada etkili bulunmuştur. Donmez vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, %5 HF'nin 30 saniyelik uygulamasının hibrit seramik yüzeyinde istenen değişikliği sağladığı gösterilmiştir (Donmez vd., 2020). Motevasselian vd. (2019), Campos vd. (2016) ve El-Damanhoury vd. (2021) gibi araştırmacılar da HF uygulamasının bağlanma gücünü artırdığı yönündeki bulgulara katılmaktadır (Campos vd., 2016; El-Damanhoury vd., 2021; Motevasselian vd., 2019). Bununla birlikte, Avram vd. (2022) gibi bazı yazarlar, HF

süresi ve konsantrasyonunun mikroyapıyı anlamlı derecede değiştirmedini öne sürerek protokolda esneklik olduğunu belirtmiştir (Avram vd., 2022). Ancak genel olarak, %5 HF ile 60 saniyelik aşındırma işlemi, hibrit seramiklerde karakterizasyon tabakasının oluşumu ve bağlayıcı madde ile etkili kenetlenme açısından en uygun yöntem olarak kabul edilmektedir (Beltrami vd., 2024).

Simantasyonun başarısı yalnızca yüzey işlemlerine bağlı kalmamakta; aynı zamanda ışık cihazının teknik özellikleri, operatörün uygulama tekniği, restoratif materyalin optik ve fiziksel özellikleri ile kullanılan rezin simanın polimerizasyon için ihtiyaç duyduğu enerji gibi dört temel değişken grubundan da önemli ölçüde etkilenmektedir (Hasanain & Nassar, 2021). Tüm bu faktörler, polimerizasyon dönüşüm derecesi, mikrosertlik ve bağlanma dayanımı gibi kritik özellikleri doğrudan etkileyebilir (Santos vd., 2024). Bu nedenle, uzun ömürlü ve başarılı bir restorasyon elde edilebilmesi için, rezin simanın yeterli PDY'ye ulaşması gereklidir (De Souza vd., 2015).

1.4.1. Rezin Yapıştırma Simanlarında Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi (PDY)

Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi (*Degree of Conversion*), diş hekimliğinde kullanılan kompozit rezinlerin polimerleşme sırasında monomer yapıdaki karbon-karbon çift bağlarının ($C=C$) ne kadarının tekli bağlara ($C-C$) dönüştüğünü yüzdelik olarak ifade eder (Yokesh, 2017). Polimerizasyonun etkinliğini nicel olarak ölçen en önemli parametrelerden biri olan polimerizasyon dönüşüm yüzdesi (Lopes vd., 2015), %55–75 aralığındadır (Tanthanuch & Kukiattrakoon, 2018).

1.4.1.1. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesini Etkileyen Faktörler

Işık kaynağı ve ışık uygulama şartları: Işık polimerize veya dual polimerize simanlarda, ışığın özellikleri kritiktir. Işık cihazının türü, dalga boyu spektrumu ve ışık şiddeti PDY üzerinde belirleyici rol oynar. Bununla birlikte, ışık gücü (irradiance değeri) ve maruz bırakma süresi arttıkça polimerizasyonun daha ileri düzeyde gerçekleştiği bilinmektedir. Örneğin, polimerizasyon süresini uzatmak veya ışık cihaz ucunu restorasyona daha yakın tutmak, simanın daha fazla ışık absorbe ederek PDY'yi arttırmasına yardımcı olur. Bu nedenle, uygun dalga boyuna, yeterli ışık şiddetine, doğru mesafeye ve süreye sahip doğru bir ışık uygulama protokolü, başarılı polimerizasyon için esastır (Pereira et al., 2021).

Restorasyon Kalınlığı, Renk ve Yarı Saydamlık: Siman, indirekt restorasyon altında uygulandığından, restoratif materyalin kalınlığı 1,5–2 mm'yi aştığında veya opaklığının yüksek olduğu durumlarda, geçen ışık miktarı belirgin şekilde azalır ve alttaki simanın polimerizasyonu zorlaşır (Lopes vd., 2015; Pereira vd., 2021).

Fotobaşlatıcı Sistemler: Rezin simanların PDY'si, formülasyonda kullanılan fotobaşlatıcıların tipi, konsantrasyonu ve bu başlatıcıların ışık kaynaklarıyla uyumu gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilenir. Işıkla polimerize edilen simanlarda en yaygın kullanılan fotobaşlatıcı kamforokinon (CQ)'dur. CQ, yaklaşık 470 nm dalga boyundaki mavi ışığı absorbe ederek serbest radikal üretir ve polimerizasyonu başlatır. Son yıllarda ise farklı dalga boylarında aktive olabilen ve daha yüksek reaktiviteye sahip germanium bazlı Ivocerin gibi yeni nesil fotobaşlatıcılar da kullanılmaya başlanmıştır. Ivocerin, 390–445 nm aralığında ışığı absorbe eder ve yaklaşık 418 nm'de maksimum emilim gösterir. Bu gelişmiş başlatıcı sistemleri, ışıkla daha verimli etkileşime girerek benzer simanlara kıyasla yaklaşık %87 gibi daha yüksek PDY'ye ulaşılmasını sağlamaktadır (Andreucci vd., 2023; Ivoclar Vivadent, 2019). Fotobaşlatıcı sistemin uygun dalga boyuna iyi eşleşmesi, ışık enerjisinin daha etkin kullanılmasına ve dolayısıyla polimerizasyonun daha başarılı gerçekleşmesine olanak tanır. Öte yandan, dual polimerize resin simanlarda yalnızca ışıkla değil, aynı zamanda kimyasal olarak aktive olan benzoil peroksit/amin sistemi, özellikle ışığın ulaşamadığı derin bölgelerde polimerizasyonu kimyasal yolla başlatarak PDY'yi artırabilir. Ancak bazı araştırmalar, yetersiz ışık koşullarında ışık ve kimyasal başlatma mekanizmalarının birbirini olumsuz etkileyebileceğini öne sürmektedir (Carek vd., 2022). Bu nedenle, formülasyonda başlatıcı sistemlerinin doğru dengelenmesi büyük önem taşır.

Cihaz ve Ortam Sıcaklığı: Polimerizasyon tepkimesi ekzotermik olduğu gibi sıcaklıkla da hızlanır. Klinik olarak oda veya diş yüzeyi ısısı ile çok değişken olmasa da, ortam sıcaklığının artmasının polimerizasyon dönüşüm yüzdesini bir miktar yükselttiğini rapor etmiştir (AlShaafi, 2016).

Rezinin kompozisyonu: Bis-GMA ve UDMA gibi, viskoz monomerler polimerizasyon dönüşüm yüzdesini azaltma eğilimindeyken, TEGDMA ve HEMA gibi düşük viskoziteli monomerler eklemek zincir hareketliliğini artırarak polimerizasyon dönüşümünü geliştirir (Maletin vd., 2022, 2023). Örneğin Bis-GMA bazlı resinlerde, artan TEGDMA içeriği, daha yüksek moleküler hareketliliği nedeniyle dönüşümü önemli ölçüde iyileştirir. Tersine, Bis-GMA/UDMA bakımından zengin formülasyonlar genellikle daha düşük başlangıç PDY'si

sergiler ve daha fazla reaksiyona girmemiş monomer bırakır (Maletin vd., 2022). İnorganik dolgu maddesinin miktarı ve opaklığı, ışık penetrasyonunu ve polimer viskozitesini etkileyerek PDY'yi etkiler. Yüksek dolgu maddesi varlığı, polimer ağının erken vitrifikasyonuna neden olarak daha düşük bir başlangıç PDY'si ve daha büyük bir polimerizasyon sonrası PDY'si sağlar. Dual polimerize simanlar hem foto hem de redoks başlatmaya dayanır. Spesifik başlatıcı kimyası polimerizasyonu önemli ölçüde etkileyebilir (Carek vd., 2022).

1.4.1.2. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesinin Etkilediği Parametreler

Mekanik Özellikler: PDY, rezin simanın mikrosertliği, basma/çekme dayanımı, eğilme direnci ve elastik modülü gibi mekanik parametreleri doğrudan etkiler (Lopes vd., 2015). Polimer ağı içerisindeki bağlanma derecesi yüksek olduğunda materyalin sertliği ve dayanımı artar. Örneğin, PDY yükseldikçe simanın Vickers veya Knoop mikrosertlik değerleri paralel olarak artış gösterir (Pereira vd., 2021).

Biyouyumluluk ve Artık Monomer: Tam olarak polimerize olmamış rezin simanlarda, reaktif kalmış monomerler ve oligomerler yapısal boşluklarda hapsolür ve zamanla ortama salınabilir. PDY'nin düşük olması, artık monomer miktarının yüksek olduğunu gösterir (Carek vd., 2022). Bu artık monomerler canlı dokular için potansiyel olarak toksik veya iritan etki gösterebilir (Lopes vd., 2015). Nitekim, yetersiz polimerizasyon sonucu salınan monomer ve oligomerlerin pulpada irritasyona ve uzun vadede geri dönüşümsüz pulpite (*irreversible pulpitis*) yol açabileceği bildirilmiştir (Lopes vd., 2015). Ayrıca bazı monomer bileşenlerinin alerjenik potansiyele sahip olduğu bilinmektedir; PDY arttıkça bu monomerlerin polimer içinde hapsolme olasılığı artar ve salınımları azalır, dolayısıyla materyalin biyouyumluluğu iyileşir (Carek vd., 2022). Yüksek PDY'li simanlar, daha biyoinert (çevre dokularla reaksiyona girmeyen bir yapı) bir polimer yapı oluşturduğundan, çevre dokular için daha güvenli kabul edilir.

Bağlanma dayanımı ve Klinik Uzun Ömür: Resin simanlarla yapılan adeziv simantasyon işlemleri, mekanik, mikromekanik ve kimyasal bağlanma mekanizmalarının birleşimiyle sağlanan kompleks bir adezyon sürecine dayanır (Z. Li vd., 2024). Bu bağlanma performansı doğrudan simanın polimerizasyon derecesiyle ilişkilidir. Düşük PDY'ye sahip simanlar, özellikle dentin ve mine gibi diş dokularıyla yeterli mikromekanik ve kimyasal bağ oluşturmakta yetersiz kalabilir ve zamanla bağ dayanımında azalma meydana geldiği

bildirilmektedir (Lopes vd., 2015). Özellikle polimerizasyonun tam olarak sağlanamadığı marjinal bölgelerde oluşan boşlukların sekonder çürük riskini artırabileceği belirtilmektedir (Duman vd., 2024; Lopes vd., 2015). Literatürde dual polimerize rezin simanların daha yüksek PDY değerleri ve dentinle daha güçlü bağ dayanımı sunduğu, dolayısıyla dual polimerizasyon modunun klinik açıdan avantajlı olduğu raporlanmaktadır (David-Pérez vd., 2022). Sonuç olarak, PDY'nin maksimize edilmesi, restorasyonun uzun ömürlü olması ve marjinal sızıntının önlenmesi açısından kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Ancak geleneksel kompozit rezin simantasyon tekniklerinin uygulama açısından karmaşıklığı, operatör kaynaklı hatalara açık olması nedeniyle bağlanma başarısını olumsuz etkileyebilir. Bu durum, uygulamanın klinisyenin teknik becerisine duyarlı olduğunu göstermektedir (Flávio Reginato vd., 2022).

Çözünürlük ve Su Emilimi: Polimer ağ yapısının ne kadar yüksek oranda çapraz bağlandığı ve polimerizasyonunun ne ölçüde tamamlandığı, malzemenin su emilimi ve çözünürlüğü üzerinde doğrudan etkilidir. Düşük PDY, polimer matrisinde daha fazla boşluk, hidrofilik uçlar ve bağlanmamış monomerler bırakır; bu da suyun materyalin içerisine kolayca nüfuz etmesine neden olur (Gonçalves vd., 2008).

Bunun sonucunda su emilimi ve ağız ortamında materyalin çözünürlüğü artar. Artan su emilimi, rezin simanın şişmesine ve mekanik özelliklerinin zamanla bozulmasına yol açabilir. ISO 4049 standardına göre dental rezin simanların belirli bir su emilimi ve çözünürlük sınırı bulunmakta olup, literatürde düşük PDY'ye sahip simanların bu sınırları daha fazla aştığı ve daha yüksek çözünürlük sergilediği bildirilmektedir (Furuse vd., 2011; Müller vd., 2017). Dolayısıyla, yüksek PDY yalnızca fiziksel dayanıklılığı değil, aynı zamanda boyutsal stabiliteyi ve ağız içi sıvılara karşı direnci artırarak materyalin klinik performansını olumlu etkilemektedir. Öte yandan, basitleştirilmiş adeziv protokoller uygulama kolaylığı ve daha az teknik hassasiyet sunsa da, genellikle daha yüksek su geçirgenliğine sahiptirler ve depolama süresi sonrasında bağlanma dayanımında azalma gösterebilmektedirler. Bununla birlikte, 2 ya da 3 aşamalı geleneksel sistemlerin aksine, hidrofobik monomer tabakası içeren bu basitleştirilmiş sistemler daha düşük su geçirgenliği sağlayabilir (Flávio Reginato vd., 2022).

Renk Stabilitesi: PDY, yalnızca rezin simanların mekanik özelliklerini değil, aynı zamanda estetik parametrelerini de etkileyebilmektedir. Özellikle, yeterli düzeyde polimerize olmamış simanlarda kalabilecek artık çift bağlar veya ayrışmamış fotobaşlatıcılar, zamanla renk değişimlerine ve sararmaya neden olabilir. Örneğin, kamforokinon içeren simanlar başlangıçta sarımsı bir ton sergileyebilir; ancak polimerizasyon ilerledikçe bu sarı rengin

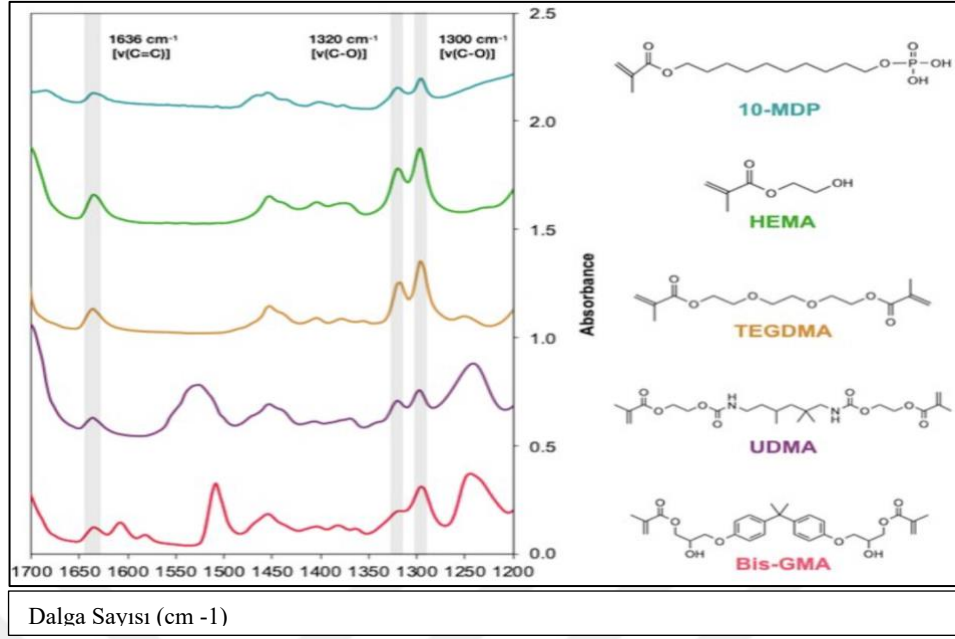
azaldığı gözlemlenmektedir. Yeni nesil fotobaşlatıcı sistemlerden biri olan Ivocerin, yalnızca yüksek PDY sağlamakla kalmaz, aynı zamanda uzun dönem renk stabilitesine de olumlu katkıda bulunmaktadır (Andreucci vd., 2023).

1.4.1.3. Polimerizasyon Dönüşüm Derecesi Ölçme Yöntemleri

Kompozit rezinlerin PDY değerini belirlemek üzere spektroskopik analizler ve indirekt test yöntemleri kullanılır. Direkt yöntemler, malzemedeki kimyasal bağ dönüşümünü doğrudan ölçen tekniklerdir; örneğin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (*FTIR*), Raman spektroskopisi, Fourier Dönüşümlü Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (FT-NIR), Elektron Spin Rezonansı (*Electron Spin Resonance, ESR*)/Elektron Paramanyetik Rezonans (*Electron Paramagnetic Resonance, EPR*), Foto-Diferansiyel Taramalı Kalometri (Foto-DSC) (Habib & Zhu, 2018) gibi yöntemler polimerleşme öncesi-sonrası çift bağları doğrudan tespit eder (Rueggeberg & Caughman, 1993; Yokesh, 2017). İndirekt yöntemler ise polimerizasyon sonucu ortaya çıkan mekanik veya fiziksel değişimleri ölçerek PDY hakkında çıkarım yapar (Yılmaz Atalı vd., 2022). Bu yöntemlere örnekler ise, Vickers veya Knoop Mikrosertlik Testleri (Maia vd., 2021; Tichy vd., 2020), Bağlanma Dayanımı Testleri (Tichy vd., 2020) ve Polimerizasyon Derinliği (ISO 4049 Kazıma Yöntemi)'dir (Yokesh, 2017).

1.4.1.3.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Çalışmada kullanılan FTIR spektroskopisi, kompozit rezinlerdeki C=C bağlarının polimerleşme sırasında azalmasını doğrudan ölçmede en yaygın ve güvenilir yöntemlerden biridir (C. C. Almeida & Mothé, 2009; Marovic vd., 2013; Yokesh, 2017). FTIR temel olarak organik moleküllerin karakteristik *kızılötesi absorpsiyon* bantlarını analiz eder. Kompozit rezinlerin polimerleşmeden önce ve polimerleştikten sonraki FTIR spektrumları alınarak, polimerizasyona katılan çift bağ yüzdesi hesaplanır (Yokesh, 2017). Cihaz özellikle iki önemli bağa odaklanır; alifatik çift bağ, polimerleşme sırasında azalır ve cihazda bir “tepe” olarak görülürken, aromatik çift bağ ise polimerizasyon sırasında değişmez, sabit kalır. Bu bağ ölçümlerde referans amacıyla kullanılır.



Şekil 1.2. Farklı organik monomerlerin kimyasal yapısı, karşılık gelen FTIR spektrumları ve metakrilat pik atamaları (Delgado & Young, 2021)

$$PDY = \left[1 - \frac{\left(\frac{1634 \text{ cm}^{-1}}{1608 \text{ cm}^{-1} \text{ veya } 1592 \text{ cm}^{-1}} \right)_{\text{polimerizasyon sonrası}}}{\left(\frac{1634 \text{ cm}^{-1}}{1608 \text{ cm}^{-1} \text{ veya } 1592 \text{ cm}^{-1}} \right)_{\text{polimerizasyon öncesi}}} \right] \times 100$$

Şekil 1.3. Polimerizasyon dönüşüm derecesi hesaplanırken kullanılan formül (Yılmaz Atalı vd., 2022)

Yukarıda verilen formül ile, alifatik pik oranının ne kadar azaldığı yüzdesel olarak hesaplanır. FTIR ile PDY ölçümünde transmisyon veya yansıma (*Attenuated Total Reflection, ATR*) modları kullanılabilir. Transmisyon FTIR için genellikle örnekler ince bir film halinde hazırlanır veya tablet üzerine yayılır; polimerize numuneler ise öğütülüp toz haline getirilerek IR ışını geçirecek şekilde ince dağıtılır (Yılmaz Atalı vd., 2022). ATR tekniğinde ise örnek yüzeyi doğrudan bir kristal üzerine temas ettirilerek spektrum alınır; bu yöntem numune hazırlığını kolaylaştırır, ancak ışın birkaç mikron penetrasyon yaptığından, ölçüm yüzey katmanına özgüdür. FTIR analizlerinde polimerize olmuş kalın numunelerin ölçümü için genellikle toz haline getirme veya ince dilimler elde etme gereği, yönteminin zaman alıcı bir yönü ortaya koymaktadır. ATR-FTIR ile yüzey ölçümü yapılırsa bile, bir restorasyonun derin iç kısımlarındaki polimerizasyon derecesini FTIR ile ölçmek için o bölgenin ulaşılabilir küçük numunelere ayrılması gerekir. Bu nedenle FTIR analizleri genellikle laboratuvar araştırmalarında ve malzeme geliştirme çalışmalarında tercih edilir; klinik ortamda veya hızlı

kalite kontrol amaçlı rutin bir yöntem değildir. Yeni tip cihazlarda hızlı tarama ile gerçek zamanlı FTIR ölçümü yapmak dahi mümkündür; örneğin, bir rezin örneği ışıqla polimerize edilirken FTIR cihazı saniyede bir spektrum alarak polimerizasyon kinetiğini izleyebilir (W. Li vd., 2015). FTIR yönteminin avantajları arasında, doğrudan kimyasal bağ dönüşümünü ölçmesi nedeniyle son derece doğru ve spesifik sonuçlar vermesi, kantitatif PDY değeri sağlaması (Ucuncu vd., 2024) ve literatürde standart bir referans yöntem olarak kabul görmüş olmasıdır (Yokesh, 2017). Ayrıca, FTIR ile elde edilen sonuçlar diferansiyel taramalı kalorimetri (Differential Scanning Calorimetry, DSC) gibi diğer analitik tekniklerle de uyumlu bulundu (Ucuncu vd., 2024). Bununla birlikte FTIR cihazlarının yüksek maliyeti, laboratuvar ortamı gerektirmesi ve özellikle transmisyon modu kullanıldığında zahmetli numune hazırlığı gibi dezavantajları vardır.

1.4.1.3.2. Bağlanma Dayanımı Testleri

Bağlanma dayanımı testleri, kompozit rezinlerin dış sert dokularına veya başka bir yüzeye yapışma gücünü ölçerek, polimerizasyon kalitesi ve hakkında dolaylı bilgi sağlar. Özellikle makaslama bağlanma dayanımı (*shear bond strength, SBS*) ve mikro gerilme bağlanma dayanımı (*microtensile bond strength, μ TBS*) testleri, adeziv dış hekimliğinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu testlerde tipik olarak bir kompozit rezin veya adeziv rezin, insan diş minesine ya da dentinine uygulanıp polimerize edilir; ardından özel bir cihazla yapıştırılan rezin, kayma kuvveti veya çekme kuvveti ile koparılır. Elde edilen kopma dayanımı rezin ile diş dokusu arasındaki bağlanmanın kuvvetini yansıtır. Polimerizasyon dönüşüm yüzdesi, bu kuvveti etkileyen önemli faktörlerden biridir. Yeterince polimerize olmamış bir adeziv tabakası, bağ oluşturma kapasitesi düşük bir polimer ağ oluşturacağından, dentine bağlanma dayanıklılığı da düşük olur. Literatürdeki çalışmalar, polimerizasyon derecesi yüksek adezivlerin uzun dönemli bağ dayanımını korumada üstün olduğunu ortaya koyar (M Mohammed vd., 2022; Novais vd., 2017; Tichy vd., 2020). Kompozit rezinlerin kendi fiziksel özellikleri de PDY ile doğrudan ilişkilidir (Ghavami-Lahiji vd., 2018; Marovic vd., 2013). Ancak bağlanma dayanımı veya eğilme dayanımı gibi test sonuçlarının, PDY dışında dolgu içeriği (Oliveira vd., 2020), kullanılan materyaller, polimerizasyonun gerçekleştirilme yöntemi, polimerizasyondan sonra geçen süre gibi, birçok faktörden etkilenebileceği unutulmamalıdır. Yani aynı PDY değerine sahip örnekler bile, farklı polimerizasyon koşulları altında elde edilen mekanik özellikler değişiklik gösterebilir (Carek vd., 2022). Dolayısıyla doğrudan bir PDY ölçümü sağlamasalar da, bu mekanik testler sonuç odaklı bir performans değerlendirmesi sundukları için önemli kabul edilir.

1.5. Işık Cihazları

Diş hekimliğinde ışığa duyarlı restoratif materyallerin polimerize olması, uygun dalga boyundaki görünür mavi ışık enerjisi uygulanmasıyla gerçekleşir (Watts, 2023). Bu materyallerden biri olan rezin esaslı materyallerin başarılı polimerizasyonu için ışık cihazlarının etkinliği büyük önem taşımaktadır (Almeida vd., 2021). Bu amaçla geliştirilen taşınabilir ışık cihazları, restorasyon bölgesine yoğun mavi ışık uygulayarak bu materyallerin hızlıca polimerize olmasını sağlar (Watts, 2023). Kuvars-Tungsten Halojen (QTH), Plazma Ark Işık Cihazı (PAC) ve Işık Yayan Diyotlar (LED) gibi ışık cihazı teknolojileri modern restoratif diş hekimliğinde kompozit bazlı restorasyonların güvenilir ve etkin şekilde uygulanabilmesinde kritik öneme sahiptir (Hasanain & Nassar, 2021; Watts, 2023).

1.5.1. Kuvars-Tungsten Halojen

QTH cihazlar, diş kliniklerinde kullanılan ilk görünür ışık kaynakları olup, geniş spektrumlu ışık emisyonları sayesinde çeşitli fotobaşlatıcıları aktive edebilir. Tungsten filaman içeren bu cihazlar, halojen gazla doldurulmuş bir ampul yapısına sahiptir. El tipi tasarımları ve yönlendirilebilir ışık kılavuzları sayesinde ağız içi erişim kolaylığı sağlarken, düşük radyant güçleri nedeniyle 2 mm kalınlığındaki kompozitlerin polimerizasyonu için 30–60 saniyelik maruziyet süresi gerektirir. Bununla birlikte, aşırı ısı üretimi, gürültülü soğutma fanları ve şebeke elektriğine bağımlılık gibi dezavantajlar taşır (Hasanain & Nassar, 2021).

1.5.2. Plazma Ark Işık Cihazı (PAC)

PAC ışık cihazları, ksenon gazı içeren iki tungsten çubuğun oluşturduğu yapılarıyla geniş elektromanyetik spektrumda radyasyon yayarak piyasadaki tüm fotobaşlatıcıları aktive edebilir. Ancak, yüksek radyasyon seviyeleri nedeniyle yoğun filtreleme gerektirirler. Verimli olmalarına rağmen, büyük boyutları, gürültülü çalışmaları, pille çalışmama ve yüksek maliyet gibi dezavantajları nedeniyle klinik kullanımları azalmıştır (Hasanain & Nassar, 2021).

1.5.3. Işık Yayan Diyotlar (LED)

LED'ler 1990'ların sonunda geliştirilmiştir. QTH üniteleri ile karşılaştırıldığında, LED'lerin çeşitli avantajları vardır. QTH ampuller yaklaşık 30-50 saat dayanırken LED diyotlar binlerce saat dayanabilirler. Bu cihazlar, 2000–6000 mW/cm² gibi yüksek ışık

şiddetleriyle kısa sürede polimerizasyon sağlamayı hedefler. Literatürde, yüksek ışık şiddeti ile çalışan cihazların bazı avantajlar sunduğu; örneğin daha kısa sürede benzer derecede polimerizasyon sağladığı bildirilmiştir. Ancak, yüksek şiddetli ışığın dentin-pulpa kompleksinde sıcaklık artışına neden olabileceği ve bunun biyolojik dokular üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği de vurgulanmaktadır. Ayrıca, kısa süreli ama çok yüksek şiddetteki uygulamaların derin polimerizasyon ve mekanik dayanım açısından her zaman yeterli olmayabileceği gösterilmiştir. Bu nedenle, yüksek güçlü LED cihazlarının kullanımında ışık şiddeti ile süre arasındaki denge dikkatle değerlendirilmelidir (R. Almeida vd., 2021). Şimdiye kadar üç nesil LED geliştirilmiştir. İlk nesil LED'ler birkaç düşük güçlü LED içeriyordu. Bu ışık cihazları düşük bir çıkışa sahipti ve CQ/TA bazlı kompozitlerin o sırada mevcut olan QTH ile karşılaştırılabilir bir şekilde aktive edilebilmesi için uzun süre maruz kalmaları gerekiyordu. Birinci nesil LED'ler dental rezin kompozitleri QTH kadar iyi polimerize edemedi. İkinci nesil LED'ler, ilk nesilden daha yüksek bir ışık çıkışı sağlayan tek bir yüksek güçlü LED kullandı. Bununla birlikte, spektral çıkış hala birinci nesil LED'lerinkine benzer şekilde QTH'ninkinden daha dardı. Hem birinci hem de ikinci nesil LED'ler tek dalga boyu (*monowave*) LED'ler olarak da bilinir, çünkü 420 nm'nin üzerinde bir dalga boyuna sahip yalnızca tek bir ışık rengi (mavi) yayarlar. Son olarak, üçüncü nesil LED'ler, LED'lerin bir kombinasyonunun dahil edilmesi nedeniyle daha geniş bir spektral çıkışa sahiptir. Bu nesil, birden fazla renk veya dalga boyu aralığında ışık yaydıkları için çok dalgalı LED'ler olarak da adlandırılır (Hasanain & Nassar, 2021).

1.6. Simantasyon İşleminde Periodontal Sağlığı Korumak

Klinik restoratif işlemlerde, dolaylı restorasyonların kenarlarında biriken fazla simanın uzaklaştırılması ve temizlenmesi önemlidir; çünkü bu fazlalıklar periodontal sağlığı olumsuz etkileyebilir (Stegall vd., 2017). Geleneksel simanların aksine adeziv simantasyonda, restorasyon kenarlarında dual polimerize bir simanın ışıkla tamamen polimerize edildikten sonra artık simanın uzaklaştırılması zorlayıcıdır. Bu nedenle, restorasyon yerleştirildikten sonra simanın kısmen ya da ön ışık ile polimerize edilmesi önerilmektedir; böylece tam polimerize işlemi öncesinde fazla materyal kolayca temizlenebilir. Bu amaçla aralıklı ışıkla polimerizasyon (*Intermittent light-curing, ITL*) ve gecikmeli ışıkla polimerizasyon (*Delayed Curing, DL*) olmak üzere iki önerilen polimerizasyon yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerde sırasıyla 2–3 saniyelik kısa bir ışık uygulaması (*tack cure*) ya da 2–3 dakikalık kendiliğinden polimerize olma süresi tanınarak restorasyon kenarındaki fazla siman temizlenir. Ardından, tam polimerizasyonu sağlamak için üretici firmanın önerdiği gibi 20–40 saniye veya daha uzun

sürekli bir ışık uygulaması gerçekleştirilir. Işıkla polimerizasyon, rezin bazlı simanların polimerizasyonunu başlatmakta daha etkili olsa da, yüksek opaklığa sahip ya da kalın restorasyonlarda, ışığın simana ulaşmadığı durumlarda kimyasal polimerizasyon kullanılır (Yang vd., 2020). Kendiliğinden polimerize bir materyal kullanılıyorsa, simanın kendi kendine polimerize olmasına izin verilir (Stegall vd., 2017).

1.7. Araştırmanın Amacı ve Hipotezleri

Klinik uygulamalarda restorasyon kenarlarında fazla simanın uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak ve periodontal dokuların sağlığını korumak amacıyla uygulanan bu kontrollü polimerizasyon stratejilerinin, dual polimerize kompozit rezin simanların polimerizasyon dönüşüm derecesi üzerindeki etkilerine ilişkin literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu durum, uygulanan ön ışık prosedürlerinin simanın nihai polimerizasyon seviyesini nasıl etkilediği ve bunun sonucunda oluşabilecek olası mekanik etkiler hakkında önemli bir bilgi eksikliğine işaret etmektedir. Çalışma, söz konusu simanların polimerizasyon dönüşüm derecelerinin farklı ışık uygulama protokollerinden nasıl etkilendiğini değerlendirmeyi amaçlandı. Ayrıca, elde edilen dönüşüm derecelerinin dolaylı olarak bağlanma dayanıklılığı üzerindeki potansiyel etkileri de araştırıldı.

Bu bağlamda tezin sıfır hipotezleri (H_0) şunlardır;

H_{01} :

İki farklı indirekt restoratif materyal ve iki farklı dual polimerize kompozit rezin siman kullanılarak yapılan uygulamalarda, ön ışığı takiben standart ışık uygulaması veya yalnızca standart ışık uygulaması arasında Polimerizasyon Dönüşüm Derecesi değerleri arasında fark yoktur.

H_{02} :

İki farklı indirekt restoratif materyal ve iki farklı dual polimerize kompozit rezin siman kullanılarak yapılan uygulamalarda, ön ışığı takiben standart ışık uygulaması veya yalnızca standart ışık uygulaması arasında Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılığı değerleri arasında fark yoktur.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında yer alan tüm seramik kesimi, simantasyon, polimerizasyon ve mekanik test işlemleri Turku Klinik Biyomalzeme Merkezi (Turku Clinical Biomaterials Centre, TCBC), laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.1. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi

Çizelge 2.1. Polimerizasyon dönüşüm yüzdesi testinde kullanılan dental materyaller, üretici firmalar materyal içerikleri

MATERYAL	ÜRETİCİ FİRMA	İÇERİK	ÜRETİM NUMARASI
CAD/CAM Hibrit Blok Cerasmart 270, A3 HT	GC	Bis-MEPP, UDMA, DMA, Silika (20 nm), baryum cam (300 nm) (%71 ağırlıkça)	2011161
CAD/CAM Cam Matriks Blok Initial LiSi A3 HT	GC	Feldspatik cam seramik; Silika (25 µm) Al ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O, Li ₂ O, pigmentler ve opaklaştırıcı metal oksitler	2110061
LinkForce	GC	Bis-GMA, Bis-MEPP, UDMA, dimetakrilat, baryum cam (300 nm), başlatıcılar, pigmentler	2112231
Duo - Link	BISCO INC.	Bis-GMA(5-30%), trietilenglikol dimetakrilat, UDMA, trietilenglikol dimetakrilat(5-20%), cam dolgu maddesi (50-80%)	2200003422

UDMA = Üretan dimetakrilat, Bis-MEPP = Bisfenol A dimetakrilat fosfat, DMA = Dimetakrilat

2.1.1. İstatiksel Analiz

Tabloda verilen materyallerden firma önerileri doğrultusunda örnek hazırlanması ve örnek boyutları tespiti için aşağıdaki uygulamalar yapılmıştır.

2.1.2. Kullanılan Güç Analizi

Bu çalışma, 20 bağımsız grubun karşılaştırılacağı tek yönlü varyans analizi (ANOVA: Fixed effects, omnibus, one-way) için gerekli minimum örneklem büyüklüğünü belirlemeyi amaçlar. Varsayılan etki büyüklüğü (Cohen'in f değeri) 0.55 olarak kabul edilmiştir.

2.1.2.1. Yöntem

Gerekli örneklem büyüklüğü, G*Power 3.1.9.7 yazılımı kullanılarak önceden (a priori) hesaplanmıştır. Analiz parametreleri aşağıdaki gibidir:

Test türü: F testleri – ANOVA (sabit etkiler, tek yönlü, genel fark testi)

Etki büyüklüğü (Effect size f): 0.55 → büyük etki düzeyi (Cohen, 1988)

Anlamlılık düzeyi (α): 0.05

Güç ($1 - \beta$): 0.80

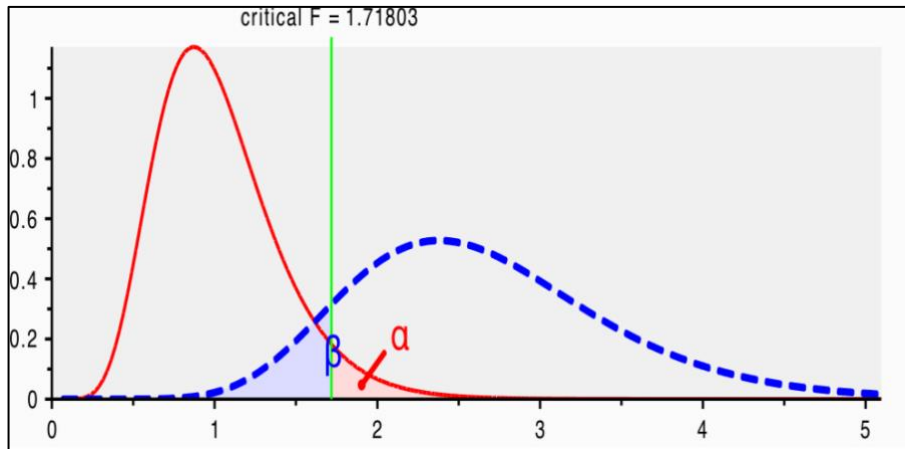
Grup sayısı: 20

2.1.2.2. Sonuçlar

Çizelge 2.2. G*Power analizine göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir

Parametre	Değer
Toplam örneklem sayısı (N)	100
Grup başına örneklem (n)	5
Gerçekleşen güç	0.896
Kritik F değeri	1.718
Serbestlik derecesi (df ₁ , df ₂)	19, 80
Noncentrality parametresi (λ)	30.25

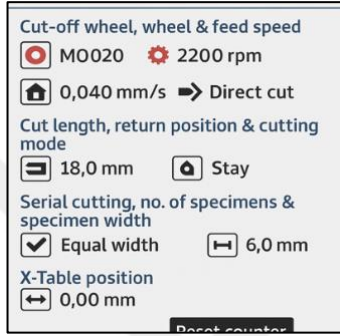
Etki büyüklüğü 0.55 gibi büyük bir düzeyde alındığında, grup sayısının yüksek olmasına rağmen ($k = 20$), toplam 100 örneklemle %89,6 güç elde edilmiştir. Bu durum, gözlenen farkların istatistiksel olarak belirlenmesi açısından güçlü bir analiz ortamı sağlar.



Şekil 2.1. Güç analizi grafiği

2.1.3. CAD/CAM Restoratif Blok Materyallerinin Hazırlanması

12 mm x 14 mm x 18 mm boyutlarında cam matriks seramik CAD/CAM restoratif blok (Initial LiSi, GC) ve hibrit seramik CAD/CAM restoratif blok (Cerasmart 270, GC) materyallerinden su soğutma altında elmas keski (Secotom-50; Struers) yardımıyla 20 adet 1 mm kalınlığında (1 x 14 x 18) ve 20 adet 2 mm kalınlığında (2 x 14 x 18) olmak üzere toplam 40 test örneği elde edildi.



Şekil 2.2. Kesim sırasında Secotom-50 cihazındaki ayarlamalar



Şekil 2.3. CAD/CAM bloklar ve kesildikten sonraki görünümleri



Şekil 2.4. Secotom-50; struers kesim cihazı

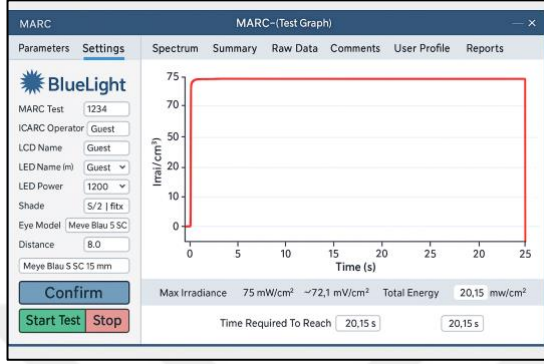
2.1.4. Kompozit Rezın Yapıştırma Simanlarına Işık ile Polimerizasyon Uygulama Yöntemine Göre Gruplara Ayrılması

Kompozit rezın yapıştırma simanlara ışık uygulama yöntemine göre test grupları ön ışık uygulaması ve standart ışık uygulaması olmak üzere ikiye ayrıldı. Şekil 2.4’ de 20 farklı test grubu gösterildi. 20 saniye boyunca devamlı ışık uygulanan gruplar “Standart Işık, (SI)”, 3 saniye ışık uygulamasının ardından 27 saniye ışık uygulanmadan geçen süreden sonra 30. saniyede tekrar 20 saniye ışık uygulanmış olan gruplara da “Ön Işık Uygulaması, (Öİ)” olarak isimlendirildi.

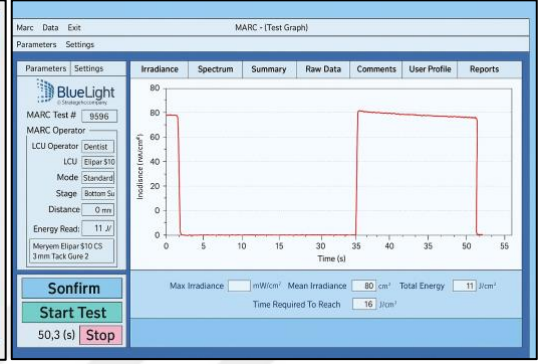
2.1.5. Örneklerin Hazırlanmasında Kullanılan Işık Cihazı

Örnekler hazırlanırken kompozit rezın yapıştırma siman materyallerinin ışık ile polimerizasyonu sırasında yüksek ışık gücüne sahip tek dalga (monowave) LED ışık cihazı (Elipar S10, 3M ESPE) kullanıldı (Şekil 2.6). Uygulanan ışık yoğunluk miktarının ölçülmesi amacıyla rezın kalibratörü (MARC™ System, Bluelight Analytics Inc., Halifax, NS, Canada)

ile ışık cihazının yoğunluğu hem 20 saniye standart ışık uygulaması (SI) için, hem de 3 saniye ön ışık uygulamasını takiben 20 saniye standart ışık uygulaması (Öİ) yöntemleri için ışık cihazının yoğunluğu tespit edildi. Işık yoğunluğu her yeni test grubu başlangıcında ölçüldü. SI ve Öİ için bilgisayarda beliren grafikler sırasıyla Şekil 2.6 ve 2.7’de gösterildi.



Şekil 2.5. Standart ışık uygulama esnasında marc resin calibrator ile yapılan kalibrasyon testi



Şekil 2.6. Ön ışık uyguladıktan sonra standart ışık uygulaması esnasında marc resin calibrator ile yapılan kalibrasyon testi



Şekil 2.7. Kullanılan ışık cihazı, elipar S10

2.1.6. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi Ölçümü

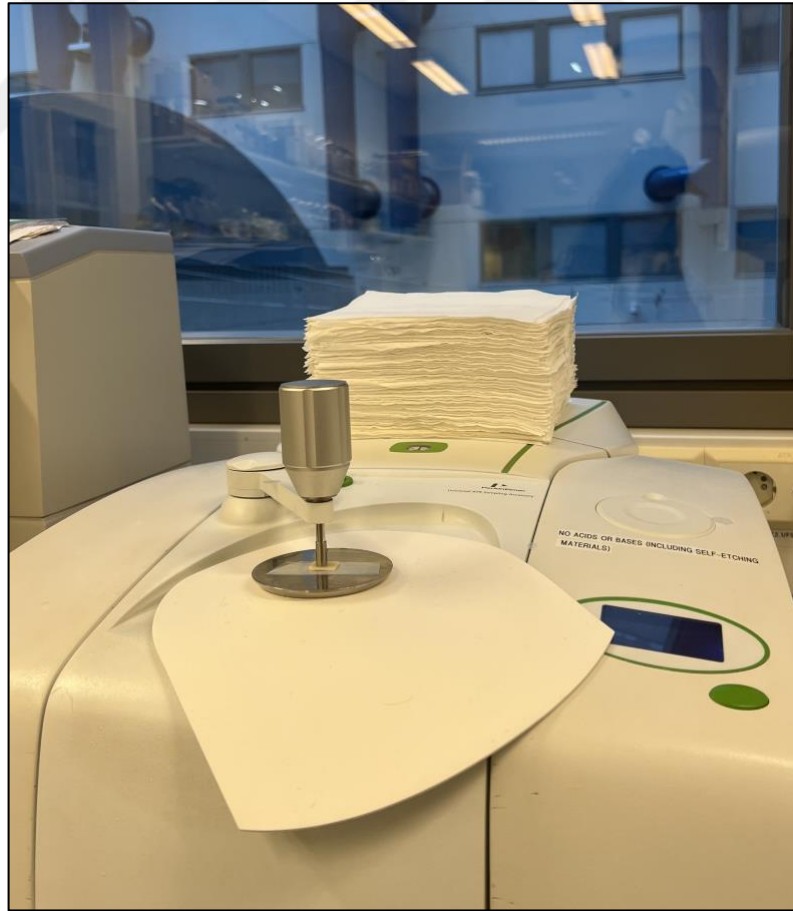
Perkin Elmer FTIR Spektrometresi her ölçüm seansından önce kalibre edildi. 20 adet test grubunun her biri için n =5 olarak belirlendi.

Standart ışık uygulaması grupları için; siman karıştırıldıktan sonra spektrometreye yerleştirildi ve cihazın ölçüm noktasına eşit derecede yayılımını sağlamak için her iki yanına

0,1 mm kalınlığında lameller sabıtlendi. Her örnek önce ışıık uygulamadan (*uncure mode*), ardından ışıık uygulandıktan sonra 3 dakika arayla 15 dakika boyunca FTIR cihazıyla tarandı.

Ön ışıık grupları için; simanın baz ve katalist kısmı 1:1 oranında karıştırıldıktan sonra karılarak spektrometreye yerleştirildi ve cihazın ölçüm noktasına eşit derecede yayılımını sağlamak için her iki yanına 0,1 mm kalınlığında lameller sabıtlendi. Her örnek önce ışıık uygulamadan (*uncure mode*), daha sonra 3 saniye ışıık uygulama sonunda tarama tuşuna basıldı ve aynı anda kronometre başlatıldı. 30. saniyede hem 20 saniye ışıık hem de 20 saniye süren spektrometre taraması başlatıldı. Tarama 3 dakikaya kadar 30 saniye aralıklarla ve 3 dakikadan sonra 15 dakikaya kadar 3 dakika aralıklarla gerçekleştirildi. Örneklere FTIR spektroskopisi uygulandı ve FTIR spektrumları kullanılarak her örnek için soğurma eğrileri çizildi.

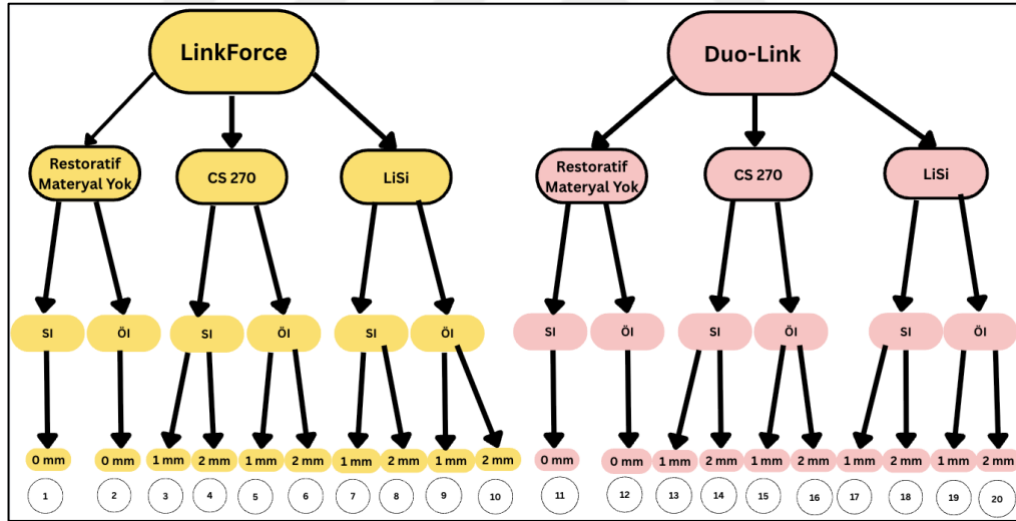
Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi, Spectrum adlı yazılım kullanılarak polimerize olmamış ve nihai polimerizasyona ulaşmış numuneler için absorbans piklerinin oranına göre hesaplanmıştır.



Şekil 2.8. FTIR cihazı ve test edilen örnek

Çizelge 2.3. Yapıştırma simanı, indirekt restoratif materyal türü, polimerizasyon modu ve indirekt restoratif materyal kalınlıklarına göre test grupları

Linkforce	Grup 1	Restoratif materyal yok	Standart ışık uygulaması	0 mm
	Grup 2	Restoratif materyal yok	Ön ışık uygulaması	0 mm
	Grup 3	Cerasmart 270	Standart ışık uygulaması	1 mm
	Grup 4	Cerasmart 270	Standart ışık uygulaması	2 mm
	Grup 5	Cerasmart 270	Ön ışık uygulaması	1 mm
	Grup 6	Cerasmart 279	Ön ışık uygulaması	2 mm
	Grup 7	İnitial LiSi	Standart ışık uygulaması	1 mm
	Grup 8	İnitial LiSi	Standart ışık uygulaması	2 mm
	Grup 9	İnitial LiSi	Ön ışık uygulaması	1 mm
	Grup 10	İnitial LiSi	Ön ışık uygulaması	2 mm
Duo-link	Grup 11	Seramik yok	Standart ışık uygulaması	0 mm
	Grup 12	Seramik yok	Ön ışık uygulaması	0 mm
	Grup 13	Cerasmart 270	Standart ışık uygulaması	1 mm
	Grup 14	Cerasmart 270	Ön ışık uygulaması	2 mm
	Grup 15	Cerasmart 270	Standart ışık uygulaması	1 mm
	Grup 16	Cerasmart 270	Ön ışık uygulaması	2 mm
	Grup 17	İnitial LiSi	Standart ışık uygulaması	1 mm
	Grup 18	İnitial LiSi	Ön ışık uygulaması	2 mm
	Grup 19	İnitial LiSi	Standart ışık uygulaması	1 mm
	Grup 20	İnitial LiSi	Ön ışık uygulaması	2 mm



Şekil 2.9. Polimerizasyon dönüşüm yüzdesi test gruplarına ait akış şeması

2.1.7. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi (PDY) Test Sonuçlarının İstatistiksel Analiz Yöntemi

Tez çalışmasında elde edilen veriler SPSS 22 paket programı aracılığı ile analiz edilmiştir. Verilerin normallik testi olarak Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. İki gruplu karşılaştırmalarda Mann-Whitney U testi, üç ve daha fazla gruplu karşılaştırmalarda ise Kruskal-Wallis H testi kullanılmıştır.

Anlamlılık seviyesi olarak 0,05 kullanılmış olup, $p < 0,05$ olması durumunda anlamlı farklılığın olduğu, $p > 0,05$ olması durumunda ise anlamlı farklılığın olmadığı belirtilmiştir.

2.2. Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılık (MMBD) Testi

Çizelge 2.4. Modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı testinde kullanılan dental materyaller, üretici firmalar materyal içerikleri

Materyal	Üretici Firma	İçerik	Üretim Numarası
Cerasmart 270, A3 HT	GC	Bis-MEPP, UDMA, DMA, Silika (20 nm), baryum cam (300 nm) (%71 ağırlıkça)	2011161
Initial LiSi	GC	Feldspatik cam seramik; Silika (25 μ m) Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , Li_2O , pigmentler ve opaklaştırıcı metal oksitler	2110061
LinkForce	GC	Bis-GMA, Bis-MEPP, UDMA, dimetakrilat, baryum cam (300 nm), başlatıcılar, pigmentler	2112231
Duo - Link Universal	BISCO INC.	Bis-GMA(5-30%), trietilenglikol dimetakrilat, UDMA, trietilenglikol dimetakrilat(5-20%), cam dolgu maddesi (50-80%)	22000034 22
Hidroflorik Asit	Ivoclar Vivadent	%4.5 Hidroflorik Asit	Z06V1H
G-Multi Primer	GC	Etil alkol (%90-100), fosforik asit ester monomeri (%1-5), DMA (%1-5)	2501074

UDMA = Üretan dimetakrilat, Bis-MEPP = Bisfenol A dimetakrilat fosfat, DMA = Dimetakrilat

2.2.1. Cam Matriks Seramik Blok (Initial LiSi) ve Hibrit Nanoseramik Blok (Cerasmart 270) Restoratif Materyallerin Su Soğutma Altında Elmas Keski Yardımıyla İlk Kesimi

Sekiz adet 2 mm kalınlığında ve sekiz adet 4 mm kalınlığında dikdörtgen (12 mm x 14 mm x 18 mm) örnek, 2 farklı CAD-CAM bloğundan (CERASMART 270, GC Corp, HT A3 ve INITIAL LISI (GC Corp; A3 HT) su soğutma altında elmas keski (Secotom-50; Struers) yardımıyla kesici kullanılarak hazırlandı. Örneklerin kalınlığı ± 0.04 hassasiyetle dijital kumpaslar (Diesella, ABD) kullanılarak iki kez kontrol edildi.

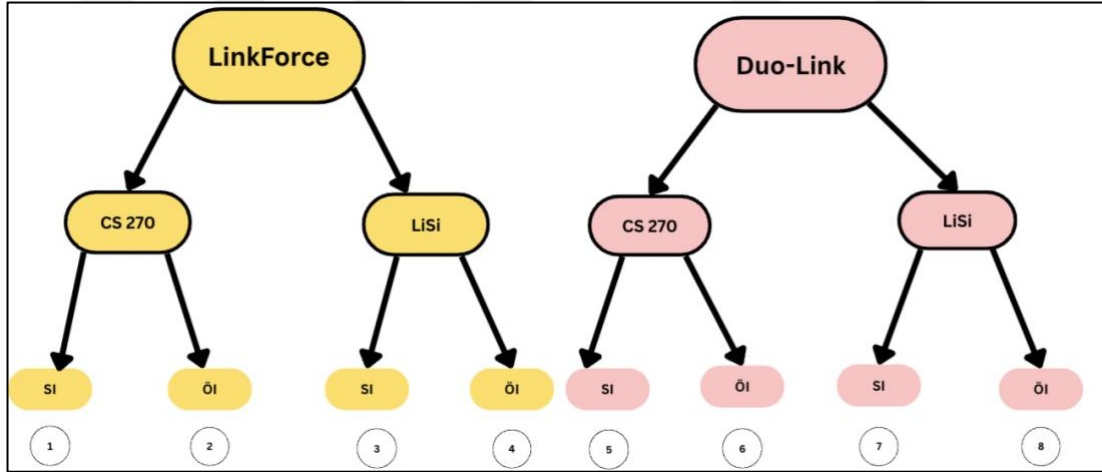
2.2.2. Gruplara Göre Aynı Seramik Blok Restoratif Materyallerin Birbirlerine Bağlanması

14x12x2 mm³ dikdörtgen örnekler 14x12x4 mm³ dikdörtgen örnekler üzerine G-Multi Primer uygulanıp kurutulduktan sonra test gruplarına göre iki farklı dual polimerize kompozit rezin siman kullanılarak yapıştırıldı. Restoratif materyalin yüzeyi, üretici talimatlarında önerildiği gibi Initial LiSi, GC Corp. için 20 saniye, Cerasmart 270, GC Corp. için 1 dakika süreyle %4,5 hidroflorik asit (IPS seramik asidi, Ivoclar Vivadent AG) uygulaması ile pürüzlendirildi. Hidroflorik asit 20

saniye boyunca su ile yıkandı ve hava ile kurutuldu. Simanlar karıştırılarak 2 mm ile 4 mm kalınlığındaki seramik yüzeylere uygulandı ve SI grupları için örneklerin üstünden örtüşen pozisyonlarda 20 saniye ışık uygulandı (Elipar S10, 3M ESPE). ÖI grupları için, aynı yüzey hazırlama işleminden sonra, siman karıştırıldı ve her bir restoratif blok materyalinin (14 x 12 x 2mm³ ve 14 x 12 x 4 mm³) yüzeylerine uygulandı, örneklerin üstünden örtüşen pozisyonlarda 3 saniye ışık uygulandı, 27 saniye beklendi ve daha sonra aynı pozisyonlarda 20 saniye standart ışık uygulandı. Bu şekilde 14x12x6 mm³ boyutlarında 4 tanesi Ön Işık Uygulamalı (ÖI) ve 4 tanesi Standart Işık Uygulamalı (SI) gruplarından oluşan 8 yeni örnek elde edildi (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. Siman, seramik türü ve polimerizasyon moduna göre test grupları

Işınlama Modu	Grup Sayısı	Kompozit Rezin Siman	Simantasyon	Seramik Blok Restoratif Materyal
Standart Işık Uygulanan Grup	1	Duo-Link	+	Initial LiSi
	2	Duo-Link	+	Cerasmart 270
	3	Linkforce	+	Initial LiSi
	4	Linkforce	+	Cerasmart 270
Ön Işık Uygulamasını Takiben Standart Işık Uygulanan Grup	5	Duo-Link	+	Initial LiSi
	6	Duo-Link	+	Cerasmart 270
	7	Linkforce	+	Initial LiSi
	8	Linkforce	+	Cerasmart 270

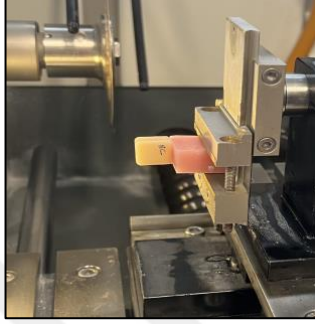


Şekil 2.10. MMBD test gruplarına ait akış şeması

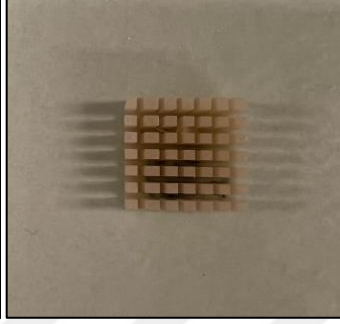
2.2.3. Oluşturulan 14 x 12 x 6 mm³ Örneklerin Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılık Testine Uygun Halde İkinci Kesimi

Hazırlanan her blok önceden hazırlanmış olan su soğutmalı keski cihazına sabitlenebilmesi için dikdörtgen akrilik kalıp ile güçlü bir yapıştırıcı ile yapıştırıldı. Akrilik kısım, cihazın tutucu

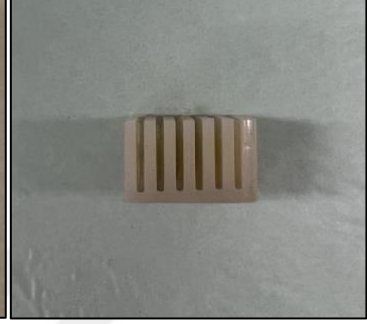
kısmına yerleştirildi ve su soğutma altında elmas keski (Secotom-50; Struers) ile $1 \times 1 \times 6 \text{ mm}^3$ çubuklar elde edilmek üzere kesildi (Şekil 2.9. ve 2.10.). Su soğutmalı zımparalama ve parlatma makinesi (Metkon) kullanılarak zımpara kağıdı (P180) ile Şekil’de görülen seramik tabanı inceltildi. Çubukları ayırmak için inceltilen taban, bistrüri yardımıyla kesildi ve çubuklar, gruplarına göre ayrılıp oda sıcaklığında ($23 \pm 1 \text{ C}$) en az 24 saat süreyle distile su içinde saklandı.



Şekil 2.11. Simante edilen iki bloğun Secotom-50’ye yerleştirilme pozisyonu



Şekil 2.12. Kesilen bloğun yukardan görünümü



Şekil 2.13. Kesilen bloğun sagital düzlemde görünümü

2.2.4. Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılık (MMBD) Test İşleminin Uygulanması

Modifiye makaslama bağlanma dayanıklılık test tekniğinde test örneklerine makaslama kuvvetinin uygulanabilmesi için Universal Test cihazının (LR30K plus, Lloyd Instruments) alt kısmına test örnekleri, test örneklerine uyum sağlayacak özel tasarlanmış bir ara parça ile sabitlendi.



Şekil 2.14. Elde edilen çubuğun MMBD değeri test edilirken kurulan düzenek

Universal test cihazının alt kısmına özel tasarlanan ara parça ile sabitlenen test örneklerine, test cihazının üst kısmında yer alan silindirik uç, horizontal konumlanmış olan seramik çubuğun ucuna vertikal bir şekilde makaslama bağlanma dayanıklılığının saptanması için 1 mm/dk kuvvet uygulandı. Universal Test cihazına bağlı yazılım olan (Nexygen, Lloyd Instruments) ile başarısızlık anındaki maksimum yük miktarı Newton (N) birimi ile kaydedildi. Bağlanma dayanımındaki, başarısızlıkta maksimum yükün (N) bağlanma alanına (mm²) bölünmesiyle hesaplanmasında kullanıldı. Her gruba ait makaslama bağlanma dayanıklılık değerleri megapaskal (MPa) birimi ile ifade edildi.



Şekil 2.15. MMBD testinin gerçekleştirildiği cihaz; LR30K plus, lloyd instruments

$$\text{Bağlanma Dayanıklılığı (mPA)} = \frac{\text{Kopma Kuvveti (N)}}{\text{Yapıştırılan Yüzey Alanı (mm}^2\text{)}}$$

Şekil 2.16. MMBD değerleri belirlenirken cihazın kullandığı formül

2.2.5. Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılık (MMBD) Test Sonuçlarının İstatiksel Analiz Yöntemi

Tez çalışmasında elde edilen veriler SPSS 22 paket programı aracılığı ile analiz edilmiştir. Verilerin normallik testi olarak Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. İki gruplu karşılaştırmalarda bağımsız gruplarda t testi kullanılmıştır. Anlamlılık seviyesi olarak 0,05 kullanılmış olup, $p < 0,05$ olması durumunda anlamlı farklılığın olduğu, $p > 0,05$ olması durumunda ise anlamlı farklılığın olmadığı belirtilmiştir.

3. BULGULAR

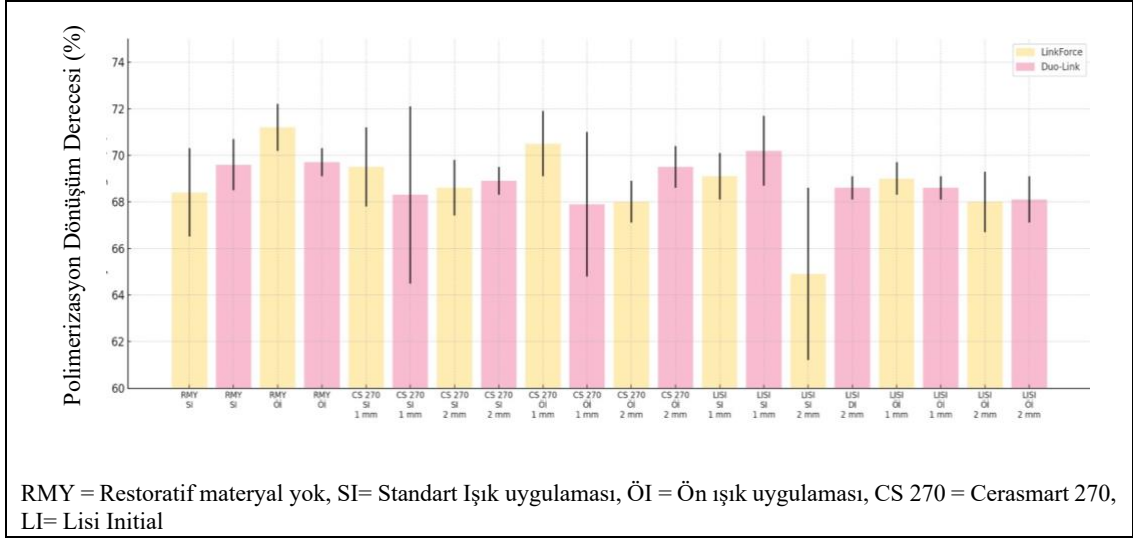
3.1. Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdeleri (PDY) ile İlgili Sonuçlar

2 farklı dual polimerize kompozit rezin siman (Linkforce ve Bisco-Duo), üzerlerine 1 mm ve 2 mm kalınlıklarında kompozit rezin seramik (Cerasmart 270, GC) ve cam matriks seramik (Lisi Initial, GC) restoratif materyal koyularak ve koyulmadan ön ışık ve devamlı ışık uygulaması ile polimerize edildi. 15. dakikada ölçülen polimerizasyon derece yüzdeleri çizelge 3.1’de ve şekil 3.1’de verildi.

Çizelge 3.1. Tüm test edilen grupların 15. dakikada direkt okuma tekniği ile ölçülen polimerizasyon dönüşüm yüzdeleri

			Polimerizasyon Dönüşüm	
			Yüzdeleri	
			ORTALAMA	STANDART SAPMA
LinkForce	Grup 1	RMY - SI	%68,4	± 1,9
	Grup 2	RMY - ÖI	%71,2	± 1,0
	Grup 3	CS 270 - SI - 1 mm	%69,5	±1,7
	Grup 4	CS 270 - SI - 2 mm	%68,6	±1,2
	Grup 5	CS 270 - ÖI - 1 mm	%70,5	±1,4
	Grup 6	CS 270 - ÖI - 2 mm	%68,0	±0,9
	Grup 7	LI - SI - 1 mm	%69,1	±1,0
	Grup 8	LI - SI - 2 mm	%64,9	±3,7
	Grup 9	LI - ÖI - 1 mm	%69,0	±0,7
	Grup 10	LI - ÖI - 2 mm	%68,0	±1,3
Duo - Link	Grup 11	RMY - SI	%69,6	±1,1
	Grup 12	RMY - ÖI	%69,7	±0,6
	Grup 13	CS 270 - SI - 1 mm	%68,3	±3,8
	Grup 14	CS 270 - SI - 2 mm	%68,9	±0,6
	Grup 15	CS 270 - ÖI - 1 mm	%67,9	±3,1
	Grup 16	CS 270 - ÖI - 2 mm	%69,5	±0,9
	Grup 17	LI - SI - 1 mm	%70,2	±1,5
	Grup 18	LI - DI - 2 mm	%68,6	±0,5
	Grup 19	LI - ÖI - 1 mm	%68,6	±0,5
	Grup 20	LI - ÖI - 2 mm	%68,1	±1,0

RMY= Restoratif materyal yok, SI= Standart ışık uygulaması, ÖI= Ön ışık uygulaması, CS 270= Cerasmart 270, LI=Initial LiSi



Şekil 3.1. Tüm test edilen grupların 15. dakika sonunda direkt okuma tekniği ile elde edilen polimerizasyon dönüşüm yüzdeleri grafiği

Çizelge 3.2. LinkForce isimli simanın restoratif materyal olmadan direkt standart ışık uygulaması ile ön ışık uygulamasının karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ortalaması	z	p
1 LF – RMY - SI	5	68,4	69,3	65,7	70,5	1,9	16,00		
2 LF – RMY - ÖI	5	71,2	71,6	69,8	72,5	1,0	39,00	-2,4	0,016
Toplam	10	69,8	70,2	65,7	72,5	2,1			

LF = LinkForce, RMY= İndirekt restoratif materyal yok, SI=Standart Işık Uygulaması, ÖI=Ön Işık Uygulaması

Çalışmamızda test edilen Linkforce kompozit rezin esaslı yapıştırma simanının standart ışık uygulama işlemi (68.4%) ile ön ışık uygulama işlemi takiben 20 saniye ışık uygulaması (71.2%) karşılaştırıldığında polimerizasyon dönüşüm yüzdelerinde istatistiksel anlamlı farklılık tespit edildi. ($p=0,016<0,05$) (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.3. Duo-Link kompozit rezin simanın simanın restoratif materyal olmadan direkt standart ışık uygulaması ile ön ışık uygulamasının karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ortalaması	z	p
11 Duo-Link – RMY - SI	5	69,6	69,4	68,3	70,9	1,1	5,40		
12 Duo-Link – RMY - ÖI	5	69,7	69,9	68,8	70,4	0,6	5,60	-0,104	0,917
Toplam	10	69,7	69,7	68,3	70,9	0,8			

RMY= İndirekt restoratif materyal yok, SI=Standart Işık Uygulaması, ÖI=Ön Işık Uygulaması

Duo-Link kompozit rezin esaslı yapıştırma simanının standart ışık uygulama işlemi (69.6%) ve ön ışık uygulama işlemini takiben 20 saniye ışık uygulama işlemi (69.7%) karşılaştırıldığında birbirleri arasında polimerizasyon dönüşüm yüzdesi istatistiksel anlamlı fark göstermedi. ($p>0,05$) (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.4. Standart ışık uygulama işleminin, restoratif materyal olmadığı zaman LinkForce ve Duo-Link kompozit rezin simanlarda karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ort.	U	p
1 LF – RMY – SI	5	68,4	69,3	65,7	70,5	1,9	4,60	8,0	0,347
11 Duo-Link – RMY – SI	5	69,6	69,4	68,3	70,9	1,1	6,40		
Toplam	10	69,0	69,4	65,7	70,9	1,6			

LF= LinkForce, RMY= İndirekt restoratif materyal yok, SI=Standart Işık Uygulaması

İki farklı, biri LinkForce diğeri Duo-Link dual polimerize kompozit rezin esaslı yapıştırma simanları standart ışık uygulama tekniği ile polimerize edildiğinde 15.dakikada ölçülen polimerizasyon dönüşüm yüzdeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı ($U = 8,0$, $p = 0,347$). Mann–Whitney U testi, iki grubun dağılımlarının birbirine yakın olduğunu gösterdi. Her iki grubun medyan değerleri (69,3% ve 69,4%) oldukça benzerdir. Ayrıca ortalamalar ve varyanslar da birbirine yakın olup, gruplar arasında belirgin bir fark gözlenmedi. Duo-Link grubunun ortalama değeri biraz daha yüksek olsa da, bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.5. Ön ışık sonrası standart ışık uygulama işleminin, restoratif materyal olmadığı zaman LinkForce ve Duo-Link kompozit rezin simanlarda karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ort.	U	p
2 LF – RMY – Öİ	5	71,2	71,6	69,8	72,5	1,0	7,40	3,0	0,047
12 Duo-Link – RMY – Öİ	5	69,7	69,9	68,8	70,4	0,6	3,60		
Toplam	10	70,5	70,2	68,8	72,5	1,1			

LF=Linkforce, RMY= Restoratif materyal yok, Öİ= Ön ışık uygulaması

Mann–Whitney U testi sonuçlarına göre, iki farklı, biri LinkForce diğeri Duo-Link dual polimerize kompozit rezin esaslı yapıştırma simanlarının 3 saniye süren ön ışık uygulamasını takiben 20 saniye standart ışık uygulaması karşılaştırıldığında 15. dakikada ölçülen polimerizasyon dereceleri açısından anlamlı fark bulundu ($U = 3,0$, $p = 0,047$). p değeri < 0.05 olduğu için bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Ortalama ve medyan değerler açısından da LinkForce grubunun Duo-Link grubuna kıyasla daha yüksek polimerizasyon derecesi

sağladığı görülmektedir. Linkforce grubunun polimerisasyon dönüşüm yüzdesi, hem ortalama hem de dağılım açısından daha yüksektir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.6. LinkForce kompozit rezin simanın restoratif materyal olmadan standart ışık uygulama ve 1 mm kalınlığında iki farklı restoratif materyal ile iki farklı ışık uygulamasının karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Kruskal-Wallis H testi		
	n	Mean	Median	Minimum	Maximum	ss	Sıra Ort.	H	p
1 LF – RMY – SI	5	68,4	69,3	65,7	70,5	1,9	10,20	5,77	0,216
3 LF – CS 270 – 1 mm – SI	5	69,5	69,6	66,8	71,4	1,7	14,90		
5 LF – CS 270 – 1 mm – ÖI	5	70,5	70,7	68,6	71,9	1,4	19,10		
7 LF – LiSi – 1 mm – SI	5	69,1	69,2	68,2	70,6	1,0	10,70		
9 LF – LiSi – 1 mm – ÖI	5	69,0	69,2	68,2	69,8	0,7	10,10		
Toplam	25	69,3	69,3	65,7	71,9	1,5			

LF=Linkforce, RMY= Restoratif materyal yok, SI= Standart ışık uygulaması ÖI= Ön ışık uygulaması

- İndirekt restoratif materyal kullanılmadan Linkforce kompozit rezin esaslı yapıştırma simanına uygulanan standart ışık işlemi ve kalınlıkları 1 mm olan iki farklı indirekt restoratif materyalin iki farklı ışık uygulama prosedürü değerlendirildiğinde, gruplar arasında polimerizasyon dönüşüm derece değerleri açısından anlamlı bir farklılık görülmedi ($p=0,216>0,05$).
- 1 mm kalınlığındaki iki farklı indirekt restoratif materyalin kullanılması, standart veya ön ışık uygulaması yapıldığı zaman, birbirleriyle istatistiksel anlamlı polimerizasyon dönüşüm yüzde farkı göstermedi(Çizelge 3.6).

Çizelge 3.7. LinkForce kompozit rezin simana restoratif materyal olmadan standart ışık uygulama ve 2 mm kalınlığında iki farklı restoratif materyal ile iki farklı ışık uygulamalarının karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Kruskal-Wallis H testi		
	n	Mean	Median	Minimum	Maximum	ss	Sıra ort.	H	p
1 LF– RMY- SI	5	68,4	69,3	65,7	70,5	1,9	14,20	9,1	0,058
4 LF – CS 270 – 2 mm -SI	5	68,6	68,0	67,6	70,3	1,2	14,50		
8 LF – CS 270 – 2 mm -ÖI	5	69,5	69,8	68,3	70,4	0,9	19,10		
10 LF – Lisi – 2 mm - SI	5	64,9	66,1	59,0	68,7	3,7	5,50		
LF – Lisi – 2 mm - ÖI	5	68,0	67,8	66,6	69,7	1,2	11,70		
Toplam	25	67,9	68,3	59,0	70,5	2,4			

LF=Linkforce, RMY= Restoratif materyal yok, CS 270= Cerasmart 270, SI= Standart ışık uygulaması ÖI= Ön ışık uygulaması

- İndirekt restoratif materyal kullanılmadan Linkforce kompozit rezin esaslı yapıştırma simanına uygulanan standart ışık ve kalınlıkları 2 mm olan, iki farklı indirekt restorasyon materyalinin farklı ışık uygulama işlemleri değerlendirildiğinde, en yüksek polimerizasyon dönüşüm yüzdesi Cerasmart 270 üzerinden uygulanan ön ışık işlemi (Ort. = 69,5; Sıra Ort. = 19,10), en düşük değer ise (Ort. = 64,9; Sıra Ort. = 5,50) Initial LiSi üzerinden standart ışık uygulaması yapılan grupta tespit edildi. Ancak p değeri anlamlılık sınırına oldukça yakın olup marjinal önemde kabul edilse de, beş farklı grup arasında 15 dakika süre ile ölçülen polimerizasyon dereceleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı $H = 9,1$, $p = 0,058$ ($p > 0,05$). Bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte, özellikle kompozit rezin seramik (Cerasmart 270) materyalinin ve ön ışık yönteminin cam matriks seramiğe (Initial LiSi) kıyasla daha yüksek dönüşüm sağladığı dikkate değerdir. (Çizelge 3.7.)
- Linkforce kompozit rezin simana uygulanan standart ışık, 2 mm kalınlığındaki Cerasmart 270 (Grup 4) ve 2 mm kalınlığında Lisi Initial (Grup 8) üzerinden değerlendirildiğinde, Initial LiSi üzerinden uygulanan grup 8, polimerizasyon dönüşüm yüzdesi olarak anlamlı derecede düşük gözlemlendi. (Çizelge 3.7.)
- Ancak Linkforce kompozit rezin simana uygulanan ön ışık, 2 mm kalınlığındaki Cerasmart 270 (Grup 6) ve 2 mm kalınlığında Initial LiSi (Grup 10) üzerinden değerlendirildiğinde, birbirleri arasında istatistiksel anlamlı bir fark gözlenmedi ($p > 0,05$). (Çizelge 3.7.)

Çizelge 3.8. Duo-Link kompozit rezin simana restoratif materyal olmadan standart ışık uygulama ve 1 mm kalınlığında iki farklı restoratif materyal ile iki farklı ışık uygulamalarının karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ							Kruskall-Wallis H testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ort.	H	p
11 Duo-Link – RMY - SI	5	69,6	69,4	68,3	70,9	1,1	14,70	85,6	0,231
13 Duo-Link- CS 270 – 1 mm - SI	5	68,3	69,3	61,7	71,1	3,8	13,50		
15 Duo-Link – CS 270 – 1 mm - ÖI	5	67,9	69,4	62,4	69,7	3,1	11,20		
17 Duo-Link – LiSi- 1 mm - SI	5	70,2	70,2	68,0	71,8	1,5	18,00		
19 Duo-Link – LiSi – 1 mm - ÖI	5	68,6	68,8	67,9	69,3	0,5	7,60		
Toplam	25	68,9	69,3	61,7	71,8	2,3			

LF=Linkforce, RMY= Restoratif materyal yok, CS 270= Cerasmart 270, SI= Standart ışık uygulaması ÖI= Ön ışık uygulaması

- Dual polimerize kompozit rezin siman Duo-Link, indirekt restoratif materyal yokluğunda standart ışık ile polimerize edilmesi ile, 1 mm kalınlığında, 2 farklı restoratif materyallerin varlığında standart ya da ön ışık uygulama işlemleri arasında 15. dakikada ölçülen dönüşüm yüzdeleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmedi. ($p > 0,05$)

- Duo-Link kompozit rezin simana, 1 mm kalınlığında olan Cerasmart 270 veya Initial LiSi üzerinde standart veya ön ışık uygulaması istatistiksel anlamlı fark göstermedi ($p>0,05$). (Çizelge 3.8)

Çizelge 3.9. Duo-Link kompozit rezin simana restoratif materyal olmadan standart ışık uygulama ve 2 mm kalınlığında iki farklı restoratif materyal ile iki farklı ışık uygulamalarının karşılaştırılması

		15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN						Kruskall-Wallis H testi		
Gruplar		POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ								
		n	Ortalama	Median	Minimum	Maximum	ss	Sıra ort.	H	p
11	Duo-Link – RMY	5	69,6	69,4	68,3	70,9	1,1	18,00	6,7	0,149
14	- SI									
16	Duo-Link – CS	5	68,9	68,7	68,4	70,0	0,6	12,60		
18	270 – 2 mm - SI									
20	Duo-Link – CS	5	69,5	69,8	68,3	70,4	0,9	16,10		
	270 – 2 mm - ÖI									
	Duo-Link – LiSi –	5	68,6	68,8	67,9	69,3	0,5	11,20		
	2 mm - SI									
	Duo-Link – LiSi–	5	68,1	68,6	66,5	68,8	1,0	7,10		
	2mm - ÖI									
	Toplam	25	68,9	68,8	66,5	70,9	1,0			

RMY= Restoratif materyal yok, CS 270= Cerasmart 270, SI= Standart ışık uygulaması ÖI= Ön ışık uygulaması, LiSi= Initial LiSi

- Duo-Link kompozit rezin simanın, indirekt restoratif materyal yokluğunda standart ışık ile polimerize edilmesi ile, 2 mm kalınlığında, 2 farklı restoratif materyallerin varlığında standart ya da ön ışık uygulama işlemleri arasında 15. dakikadaki dönüşüm dereceleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı ($H = 6,7, p = 0,149, p > 0,05$).
- Duo-Link dual polimerize kompozit rezin siman, Cerasmart 270 ve Initial LiSi materyallerinin 1 mm ve 2 mm kalınlıkları üzerinden uygulanan standart ışık ile, ön ışık sonrası uygulanan standart ışık arasında, restoratif materyal ya da kalınlık fark etmeksizin polimerizasyon dönüşüm yüzdeleri istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermedi ($p > 0,05$). (Çizelge 3.8. ve 3.9.)

Çizelge 3.10. Farklı kalınlıklardaki Cerasmart 270 üzerinden standart ışık uygulandığı zaman, LinkForce kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması

		15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON						Mann-Whitney U testi		
Gruplar		DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ								
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ortalaması	z	p
3	LF – CS 270 –	5	69,5	69,6	66,8	71,4	1,7	31,50		
	1 mm - SI									
4	LF – CS 270 –	5	68,6	68,0	67,6	70,3	1,2	23,50	-0,83	0,402
	2 mm - SI									
	Toplam	10	69,1	69,4	66,8	71,4	1,4			

LF=Linkforce, CS 270=Cerasmart 270, SI=Standart ışık uygulaması

LinkForce kompozit rezin simana, 1 milimetre ve 2 milimetre kalınlığında Cerasmart 270 üzerinden standart ışık uygulaması karşılaştırıldığında, polimerizasyon dönüşüm yüzde değerleri açısından birbirleri arasında istatistiksel anlamlı farklılık gözlenmedi ($p>0,05$). (Çizelge 3.10.)

Çizelge 3.11. Farklı kalınlıklardaki Cerasmart 270 üzerinden ön ışık uygulandığı zaman, Linkforce kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ortalaması	z	p
5 LF – CS 270 – 1 mm - ÖI	5	70,5	70,7	68,6	71,9	1,4	33,00		
6 LF – CS – 2 mm - ÖI	5	69,5	69,8	68,3	70,4	0,9	22,00	-1,1	0,311
Toplam	10	70,0	70,0	68,3	71,9	1,3			

LF=Linkforce, LI=Lisi Initial, ÖI=Ön ışık uygulama

LinkForce kompozit rezin simana, 1 milimetre ve 2 milimetre kalınlığında Cerasmart 270 üzerinden ön ışık uygulamasını takiben standart ışık uygulaması karşılaştırıldığında, polimerizasyon dönüşüm yüzdesi değerleri açısından birbirleri arasında istatistiksel anlamlı farklılık gözlenmedi($p>0,05$). (Çizelge 3.11.)

Çizelge 3.12. Farklı kalınlıklardaki Initial LiSi üzerinden standart ışık uygulandığı zaman, LinkForce kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ortalaması	z	p
7 LF – LiSi – 1 mm - SI	5	69,1	69,2	68,2	70,6	1,0	38,00		
8 LF – LiSi – 2 mm - SI	5	64,9	66,1	59,0	68,7	3,7	17,00	-2,19	0,028
Toplam	10	67,0	68,3	59,0	70,6	3,3			

LF=Linkforce, LiSi=Initial LiSi, SI=Standart ışık uygulama

1 mm kalınlığındaki indirekt restoratif materyal Initial LiSi üzerinden LinkForce simana uygulanan standart ışık uygulamasıyla aynı restoratif materyalin 2 mm kalınlığının üzerinden yapılan standart ışık uygulaması arasında istatistiksel anlamlı farklılık gözlemlendi. Kalınlık arttığı zaman nihai polimerizasyon derecesi daha düşük tespit edildi ($p=0,016<0,05$). (Çizelge 3.12)

Çizelge 3.13. Farklı kalınlıklardaki Initial LiSi üzerinden ön ışık uygulandığı zaman, LinkForce kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
							Sıra		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Ortalaması	z	p
9 LF – LiSi – 1 mm - ÖI	5	69,0	69,2	68,2	69,8	0,7	6,80	-1,35	0,175
10 LF – LiSi – 2 mm - ÖI	5	68,0	67,8	66,6	69,7	1,2	4,20		
Toplam	10	68,5	68,4	66,6	69,8	1,0			

LF=Linkforce, LiSi=Initial LiSi, SI=Standart ışık uygulama

Ön ışık uygulanan LinkForce rezin siman, Initial LiSi cam matriks seramik üzerinden uygulandığı zaman, kalınlığın artması polimerizasyon derecesi değerleri açısından istatistiksel anlamlı farklılık göstermedi ($p>0,05$). (Çizelge 3.13.)

Çizelge 3.14. Farklı kalınlıklardaki Cerasmart 270 üzerinden standart ışık uygulandığı zaman, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
							Sıra		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Ortalaması	z	p
13 Duo-Link – CS 270 – 1 mm - SI	5	68,3	69,3	61,7	71,1	3,8	6,60	-1,15	0,249
14 Duo-Link – CS 270 – 2 mm - SI	5	68,9	68,7	68,4	70,0	0,6	4,40		
Toplam	10	68,6	69,0	61,7	71,1	2,6			

CS 270= Cerasmart 270, SI=Standart ışık uygulaması

Çizelge 3.15. Farklı kalınlıklardaki Cerasmart 270 üzerinden ön ışık uygulandığı zaman, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
							Sıra		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Ortalaması	z	p
15 Duo-Link – CS 270 – 1 mm - ÖI	5	67,9	69,4	62,4	69,7	3,1	6,60	-1,15	0,249
16 Duo-Link – CS 270 – 2 mm - ÖI	5	69,5	69,8	68,3	70,4	0,9	4,40		
Toplam	10	68,7	69,4	62,4	70,4	2,3			

CS 270= Cerasmart 270, ÖI=Ön ışık uygulaması

1 mm kalınlığında kompozit rezin restoratif materyal Cerasmart 270 ile aynı restoratif materyalin 2 mm kalınlığı üzerinden uygulanan standart ışık veya ön ışık ardından standart ışık uygulaması, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesinde istatistiksel anlamlı farklılık sunmadı ($p>0,05$). (Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15)

Çizelge 3.16. Farklı kalınlıklardaki Initial LiSi üzerinden standart ışık uygulandığı zaman, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ							Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra		z	p
							Ortalaması			
17 Duo-Link – LiSi – 1 mm - SI	5	70,2	70,2	68,0	71,8	1,5	7,20			
18 Duo-Link – LiSi – 2 mm - SI	5	68,6	68,8	67,9	69,3	0,5	3,80	-1,77	0,076	
Toplam	10	69,4	69,1	67,9	71,8	1,3				

LiSi=Initial LiSi, SI=Standart ışık uygulama

Çizelge 3.17. Farklı kalınlıklardaki Lisi Initial üzerinden ön ışık uygulandığı zaman, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesi karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ							Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra		z	p
							Ortalaması			
19 Duo-Link – LiSi – 1 mm - ÖI	5	68,6	68,8	67,9	69,3	0,5	6,70			
20 Duo-Link – LiSi – 2 mm - ÖI	5	68,1	68,6	66,5	68,8	1,0	4,30	-1,25	0,209	
Toplam	10	68,4	68,7	66,5	69,3	0,8				

LiSi=Initial LiSi, ÖI=Ön ışık uygulama

1 mm kalınlığında cam matris restoratif materyal Initial LiSi ile aynı restoratif materyalin 2 mm kalınlığı üzerinden uygulanan standart ışık veya ön ışık ardından standart ışık uygulaması, Duo-Link kompozit rezin simanın polimerizasyon dönüşüm yüzdesinde istatistiksel anlamlı farklılık göstermedi. ($p>0,05$). (Çizelge 3.16 ve Çizelge 3.17)

Çizelge 3.18. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ							Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra		z	p
							Ortalaması			
3 LF – CS 270 – 1 mm - SI	5	69,5	69,6	66,8	71,4	1,7	6,00			
13 Duo-Link – CS 270 – 1 mm - SI	5	68,3	69,3	61,7	71,1	3,8	5,00	-0,522	0,602	
Toplam	10	68,9	69,5	61,7	71,4	2,8				

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, SI= Standart ışık uygulaması

Çizelge 3.19. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra		
							Ortalaması	z	p
4 LF – CS 270 – 2 mm - SI	5	68,6	68,0	67,6	70,3	1,2	4,80		
14 Duo-Link – CS 270 – 2 mm - SI	5	68,9	68,7	68,4	70,0	0,6	6,20	-0,733	0,463
Toplam	10	68,8	68,7	67,6	70,3	0,9			

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, SI= Standart ışık uygulaması

Çizelge 3.20. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA ÖLÇÜLEN POLİMERİZASYON DÖNÜŞÜM YÜZDELERİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra		
							Ortalaması	z	p
5 LF – CS 270 – 1 mm - ÖI	5	70,5	70,7	68,6	71,9	1,4	7,10		
15 Duo-Link – CS 270 – 1 mm - ÖI	5	67,9	69,4	62,4	69,7	3,1	3,90	-1,68	0,092
Toplam	10	69,2	69,5	62,4	71,9	2,7			

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, ÖI= Ön ışık uygulaması

Çizelge 3.21. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA POLİMERİZASYON DERECEŚİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra		
							Ortalaması	z	p
6 LF – CS 270 – 2 mm - ÖI	5	69,5	69,8	68,3	70,4	0,9	5,50		
16 Duo-Link – CS 270 – 2 mm - ÖI	5	69,5	69,8	68,3	70,4	0,9	5,50	0	1
Toplam	10	69,5	69,8	68,3	70,4	0,9			

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, ÖI= Ön ışık uygulaması

Çizelge 3.22. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması

Gruplar	15. DAKİKADA POLİMERİZASYON DERECEŚİ						Mann-Whitney U testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra		
							Ortalaması	z	p
7 LF – LiSi – 1 mm - SI	5	69,1	69,2	68,2	70,6	1,0	4,40		
17 Duo-Link – LiSi – 1 mm - SI	5	70,2	70,2	68,0	71,8	1,5	6,60	-1,14	0,251
Toplam	10	69,7	69,6	68,0	71,8	1,3			

LF= LinkForce, LiSi= Initial LiSi, SI= Standart ışık uygulaması

Çizelge 3.23. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması

Gruplar		15. DAKİKADA POLİMERİZASYON DERECEŚİ						Mann-Whitney U testi		
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ortalaması	z	p
8	LF – LiSi – 2 mm - SI	5	64,9	66,1	59,0	68,7	3,7	3,40	-2,19	0,028
18	Duo-Link – LiSi 2 mm - SI	5	68,6	68,8	67,9	69,3	0,5	7,60		
Toplam		10	66,8	68,1	59,0	69,3	3,1			

LF= Linkforce, LiSi= Initial LiSi, SI= Standart ışık uygulaması

Çizelge 3.24. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması

Gruplar		15. DAKİKADA POLİMERİZASYON DERECEŚİ						Mann-Whitney U testi		
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ortalaması	z	p
9	LF – LiSi – 1 mm - ÖI	5	69,0	69,2	68,2	69,8	0,7	6,20	-0,736	0,462
19	Duo-Link – LiSi – 1 mm - ÖI	5	68,6	68,8	67,9	69,3	0,5	4,80		
Toplam		10	68,8	68,9	67,9	69,8	0,6			

LF= LinkForce, LiSi= Initial LiSi, ÖI= Ön ışık uygulaması

Çizelge 3.25. Aynı kalınlıkta aynı restoratif materyal üzerinden uygulanan standart ışığın farklı iki kompozit rezin simanın dönüşüm yüzdesinin karşılaştırılması

Gruplar		15. DAKİKADA POLİMERİZASYON DERECEŚİ						Mann-Whitney U testi		
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	Sıra Ortalaması	z	p
10	LF – LiSi – 2 mm – ÖI	5	68,0	67,8	66,6	69,7	1,2	5,20	-0,313	0,754
20	Duo-Link- LiSi – 2 mm - ÖI	5	68,1	68,6	66,5	68,8	1,0	5,80		
Toplam		10	68,0	68,1	66,5	69,7	1,0			

LF= LinkForce, LiSi= Initial LiSi, ÖI= Ön ışık uygulaması

İki farklı kompozit rezin siman (LinkForce ve Duo-Link), kalınlıkları aynı olan 2 farklı indirekt restoratif materyalin üzerinden, aynı ışık uygulama yöntemi (standart ışık uygulaması veya ön ışık uygulaması) ile polimerize edildiği zaman, polimerizasyon dönüşüm yüzde değerlerinin benzer olduğu tespit edildi, birbirleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadı ($p>0.05$) (Çizelge 3.18., 3.19., 3.20., 3.21., 3.22., 3.23., 3.24., 3.25.)

15. dakikada ölçülen Polimerizasyon Dönüşüm Yüzdesi değerlerinin test edildiği gruplar incelendiğinde,

1. Tüm gruplar arasında (Çizelge 3.1)

- En yüksek PDY değeri ($71, \pm 1,0$), indirekt restoratif materyalin olmadığı, dual polimerize olan LinkForce kompozit rezin simana ön ışık uygulamasının ardından devamlı ışınlama uygulanan Grup 2,
- En düşük PDY değeri ($64,9 \pm 3,7$), 2 mm kalınlığındaki cam matriks seramik Lisi Initial üzerinden, dual polimerize olan LinkForce kompozit rezin simana standart ışık uygulanan Grup 8'e aittir.

2. Linkforce kompozit rezin siman, restoratif materyal yokluğunda, yani direkt ışık uygulamasında, ön ışık uygulanan grupta, standart ışık uygulanan grup ile kıyaslandığında 15. dakikada polimerizasyon dönüşüm yüzdesi istatistiksel anlamlı yüksek tespit edilirken, Duo-Link kompozit rezin simana ön ışık uygulanması, standart ışık uygulamasıyla bir fark gözlenmedi.

3. İki farklı kompozit rezin simanın standart ışık uygulamaları ile ön ışık uygulamaları karşılaştırıldığında, standart ışık uygulandığında iki farklı siman arasında fark gözlenmezken, ön ışık uygulaması LinkForce kompozit simanda daha yüksek polimerizasyon dönüşüm yüzde değeri gözlemlendi.

4. Linkforce rezin simana, indirekt restoratif materyal yokluğunda standart ışık ile polimerize edilmesi, veya 2 mm kalınlığına kadar olan Cerasmart 270 ya da Lisi Initial üzerinden, ön veya standart ışık uygulaması yapılması, polimerizasyon dönüşüm yüzdesinde anlamlı değişiklik yaratmadı. Öteki taraftan, indirekt restoratif materyal yokluğunda ancak ön ışık uygulamasını takiben standart ışık uygulanan Linkforce, 1 ve 2 mm olan gruplar ile karşılaştırıldığında, 15. dakikadaki dönüşüm yüzde değeri tüm gruplardan yüksek gözlemlendi.

5. Duo-Link kompozit rezin simanın, indirekt restoratif materyal yokluğunda standart ya da ön ışık ile polimerize edilmesi, veya 2 mm kalınlığa kadar olan Cerasmart 270 ya da Lisi Initial üzerinden iki farklı ışık işleminin kullanılması, polimerizasyon dönüşüm yüzde değerlerinde anlamlı farklılık sunmadı.

6. Linkforce rezin simanın 15. dakikadaki dönüşüm yüzde değerleri incelendiği zaman, Cerasmart 270 ile kullanıldığında kalınlık ve ışık uygulama prosedürünün bir fark yaratmadığı, ancak Lisi Initial ile kullanıldığı zaman sadece ön ışıkla polimerizasyon

uygulandığı zaman seramiğin kalınlık artışının 15. dakikadaki dönüşüm yüzdesine etki etmediği gözlemlendi.

7. Duo-Link rezin simanın, 15. Dakikadaki dönüşüm yüzde değerleri incelendiği zaman, Cerasmart 270 ya da Lisi Initial ile kullanılmasının ve onların 2 mm'ye kadar olan kalınlık değişimlerinin, ön veya standart ışıkla uygulanmasının birbirleri arasında bir fark yaratmadığı gözlemlendi.
8. İki farklı siman, aynı indirekt restoratif materyal ve aynı kalınlık üzerinden aynı yöntemle ışık uygulandığında, yani tüm şartlar aynı sağlandığı zaman, 15. dakikada incelenen polimerizasyon dönüşüm yüzde değerleri benzer bulundu.

3.2. Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılığı (MMBD) Testi ile İlgili

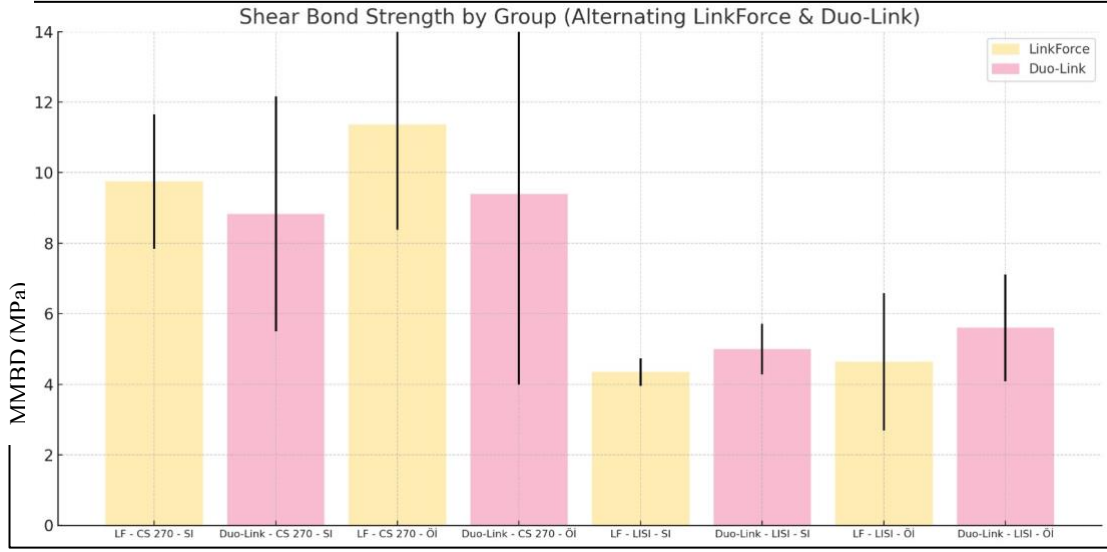
Sonuçlar

Hibrit seramik (Cerasmart 270, GC) ve cam matriks seramik (Initial LiSi, GC) materyallerden 2 mm ve 4 mm kalınlığında 8 adet dikdörtgen olmak üzere toplam 16 test örnekleri hazırlandı. Test örneklerinin birbirine bağlanması için 4 adedi Linkforce, 4 adedi de Duo-Link kompozit rezin siman ile adeziv simantasyon gerçekleştirildi. Bağlanan iki farklı restoratif materyallerin arasında yer alan kompozit rezin yapıştırma simanının polimerizasyonu yarısı standart ışık uygulaması, diğer yarısı da ön ışık uygulaması ile hazırlandı. Hazırlanan 14x12x6 mm³ yeni örnekler, 1x1x6 mm³ boyutlarında çubuk şeklinde kesilmiştir. Modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı, özel tasarlanan tutuculara yerleştirildi, bağlanma dayanıklılık testi 1 mm/dak hız uygulamasıyla gerçekleştirildi. Bağlanma dayanıklılığı, maksimum yük kaydedilerek hesaplandı.

Çizelge 3.26. Standart ışık ve ön ışık uygulaması uygulaması ile simante edilen 1x1x6 mm³ boyutunda çubuk şeklinde test örneklerinin ortalama modifiye makaslama bağlanma dayanıklılık (MMBD) değerleri

	TEST GRUBU	IŞIK UYGULAMA ŞEKLİ	ORTALAMA	STANDART SAPMA
Grup 1	LF - CS 270	SI	9,75	±1,91
Grup 2	LF - CS 270	Öİ	11,37	±2,99
Grup 3	LF - LiSi	SI	4,35	±0,39
Grup 4	LF - LiSi	Öİ	4,64	±1,95
Grup 5	Duo-Link - CS 270	SI	8,83	±3,33
Grup 6	Duo-Link - CS 270	Öİ	9,40	±5,41
Grup 7	Duo-Link - LiSi	SI	5,00	±0,71
Grup 8	Duo-Link - LiSi	Öİ	5,60	±1,51

CS 270=Cerasmart 270, LF=LinkForce, LI=Initial LiSi, SI=Standart ışık uygulaması, Öİ=Ön ışık uygulaması



LF=LinkForce, CS 270=Cerasmart 270, DI=Daimi ışık uygulaması, ÖI=Ön ışık uygulaması

Şekil 3.2. Tüm test edilen grupların 15. dakika sonunda direkt okuma tekniği ile elde edilen polimerizasyon dönüşüm yüzdeleri grafiği

Standart ışık ve ön ışık uygulaması uygulaması ile birbirine bağlanan test örneklerinin 1x1x6 mm³ boyutlarında elde edilen çubuk şeklinde test örneklerinin ortalama modifiye makaslama bağlanma dayanıklılık (MMBD) değerleri grafiği

Çizelge 3.27. Farklı ışık uygulama işlemiyle Linkforce rezin siman kullanılarak birbirlerine bağlanan Cerasmart 270 test örneklerinin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI					t testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
1 LF - CS 270 - SI	15	9,75	9,57	6,93	13,63	1,91	-1,77	0,088
2 LF - CS 270 - ÖI	15	11,37	10,10	8,12	17,50	2,99		
Toplam	30	10,56	9,94	6,93	17,50	2,60		

LF=Linkforce, CS 270=Cerasmart 270, SI=Standart ışık uygulama, ÖI= Ön ışık uygulaması

Çizelge 3.28. Farklı ışık uygulama işlemiyle LinkForce rezin siman kullanılarak birbirlerine bağlanan LiSi Initial test örneklerinin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI					t testi		
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
3 LF - LI - SI	15	4,35	4,39	3,83	4,94	0,39	-573	0,571
4 LF - LI - ÖI	15	4,64	4,00	2,62	9,69	1,95		
Toplam	30	4,49	4,28	2,62	9,69	1,39		

LF=Linkforce, LI=Lisi Initial, SI=Standart ışık uygulama, ÖI= Ön ışık uygulaması

Çizelge 3.29. Farklı ışık uygulama işlemiyle Duo-Link rezin siman kullanılarak birbirlerine bağlanan Cerasmart 270 test örneklerinin karşılaştırılması

MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA									
Gruplar		DAYANAKLILIĞI					t testi		
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
5	Duo-Link – CS 270 - SI	15	8,83	9,55	4,42	14,30	3,33	-0,348	0,731
6	Duo-Link – CS 270 -Öİ	15	9,40	8,78	1,86	16,40	5,41		
Toplam		30	9,11	9,44	1,86	16,40	4,42		
CS 270=Cerasmart 270, SI=Standart ışık uygulama, Öİ= Ön ışık uygulama									

Çizelge 3.30. Farklı ışık uygulama işlemiyle Duo-Link rezin siman kullanılarak birbirlerine bağlanan Initial LiSi test örneklerinin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
7 Duo-Link – LiSi - SI	15	5,00	5,15	3,22	6,27	0,71	-1,393	0,175
8 Duo-Link – LiSi -Öİ	15	5,60	5,17	3,91	8,87	1,51		
Toplam	30	5,30	5,16	3,22	8,87	1,20		

LF=Linkforce, LiSi= Initial LiSi, SI=Standart ışık uygulaması, Öİ= Ön ışık uygulaması

Kompozit rezin siman (LinkForce veya Duo-Link) ve birbirlerine bağlanan indirekt restoratif materyallere (Cerasmart 270 veya Initial LiSi), biri ön ışık uygulama diğeri standart ışık uygulama olan farklılık, modifiye makaslama bağlanma dayanıklılık testinde istatistiksel anlamlılık göstermedi ($p>0.05$). (Çizelge 3.26., 3.27., 3.28., 3.29.)

Çizelge 3.31. Standart ışık uygulama işlemiyle LinkForce kompozit rezin siman kullanılarak birbirine bağlanan iki farklı restoratif materyalin karşılaştırılması

MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI							t testi	
Gruplar	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
1 LF – CS 270 - SI	15	9,75	9,57	6,93	13,63	1,91	10,7	0,0001
3 LF – LiSi - SI	15	4,35	4,39	3,83	4,94	0,39		
Toplam	30	7,05	5,93	3,83	13,63	3,06		
LF=Linkforce, CS 270=Cerasmart 270, LiSi= Initial LiSi, SI=Standart ışık uygulama								

Linkforce dual polimerize kompozit rezin siman ile 2 mm kalınlığında Cerasmart 270 üzerinden standart ışık uygulaması yapılarak birbirine bağlanan kompozit rezin indirekt restoratif materyallere , modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı testi uygulandığı zaman, 2 mm kalınlığındaki Lisi Initial üzerinden aynı ışık uygulama işlemi ile birbirlerine simante edilen cam matriks seramikten istatistiksel anlamlı derecede yüksek tespit edildi. ($p<0,05$).

Çizelge 3.32. Standart ışık uygulama işlemiyle Duo-Link kompozit rezin siman kullanılarak birbirine bağlanan iki farklı restoratif materyalin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
5 Duo-Link – CS 270 - SI	15	8,83	9,55	4,42	14,30	3,33	4,3	0,001
7 Duo-Link – LiSi - SI	15	5,00	5,15	3,22	6,27	0,71		
Toplam	30	6,91	5,55	3,22	14,30	3,06		

CS 270=Cerasmart 270, LiSi= Initial LiSi, SI=Standart ışık uygulama

Duo-Link dual polimerize kompozit rezin yapıştırma simanı ile 2 mm üzerinden standart ışık uygulama işlemi ile birbirine bağlanan iki Cerasmart 270 restoratif materyal, aynı kompozit rezin yapıştırma simanı 2 mm Initial LiSi üzerinden standart ışık ile birbirine simante edilen gruptan, MMBD değerleri açısından istatistiksel anlamlı yüksek bulundu ($p<0,05$).

Çizelge 3.33. Ön ışık uygulama işlemiyle Linkforce kompozit rezin siman kullanılarak birbirine bağlanan iki farklı restoratif materyalin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
2 LF – CS 270 - Öİ	15	11,37	10,10	8,12	17,50	2,99	7,3	0,0001
4 LF – LiSi - Öİ	15	4,64	4,00	2,62	9,69	1,95		
Toplam	30	8,00	8,28	2,62	17,50	4,22		

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, Öİ= Ön ışık uygulaması, LiSi= Initial LiSi

Linkforce dual polimerize kompozit rezin yapıştırma simanı ile 2 mm üzerinden ön ışık uygulaması işlemi ile birbirine bağlanan iki Cerasmart 270 restoratif materyal, aynı kompozit rezin yapıştırma simanı 2 mm Lisi Initial üzerinden ön ışık ile birbirine simante edilen gruptan, MMBD değerleri açısından istatistiksel anlamlı yüksek tespit edildi ($p<0,05$)

Çizelge 3.34. Ön ışık uygulama işlemiyle Duo-Link kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan iki farklı restoratif materyalin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
6 Duo-Link – CS 270 - Öİ	15	9,40	8,78	1,86	16,40	5,41	2,6	0,018
8 Duo-Link – LiSi - Öİ	15	5,60	5,17	3,91	8,87	1,51		
Toplam	30	7,50	5,67	1,86	16,40	4,35		

CS 270= Cerasmart 270, Öİ= Ön ışık uygulaması, LiSi= Initial LiSi

Duo-Link dual polimerize olan kompozit rezin yapıştırma simanı ile 2 milimetre üzerinden ön ışık uygulaması prosedürü ile birbirine bağlanan iki Cerasmart 270 restoratif materyal, aynı

kompozit rezin yapıştırma simanı 2 mm Initial LiSi üzerinden ön ışık ile birbirine bağlanan gruptan, MMBD değerleri açısından istatistiksel anlamlı yüksek bulundu ($p<0,05$).

Çizelge 3.35. Standart ışık uygulama işlemiyle iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan cerasmart 270'in karşılaştırılması

MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI							t testi	
Gruplar	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
1 LF – CS 270 - SI	15	9,75	9,57	6,93	13,63	1,91	0,92	0,364
5 Duo-Link – CS 270 - SI	15	8,83	9,55	4,42	14,30	3,33		
Toplam	30	9,29	9,56	4,42	14,30	2,71		

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, SI= Standart ışık uygulaması

Aynı restoratif materyal kalınlıkları üzerinde aynı restoratif materyal iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak bağlandığında, Linkforce veya Duo-Link kompozit rezin siman kullanılması MMBD değerleri açısından istatistiksel anlamlı fark göstermedi ($p>0,05$).

Çizelge 3.36. Standart ışık uygulama işlemiyle iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan Lisi Initial restoratif materyalin MMBD değeri karşılaştırılması

MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI							t testi	
Gruplar	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
3 LF – LiSi - SI	15	4,35	4,39	3,83	4,94	0,39	-3,7	0,004
7 Duo-Link – LiSi - SI	15	5,00	5,15	3,22	6,27	0,71		
Toplam	30	4,67	4,65	3,22	6,27	0,65		

LF= LinkForce, LiSi= Initial LiSi, SI= Standart ışık uygulaması

2 mm kalınlığında Initial LiSi üzerinden 20 saniyelik standart ışık uygulaması ile Linkforce kompozit rezin siman kullanılarak birbirine bağlanan Grup 3, modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı testinde, aynı ışık prosedürü ve aynı kalınlık üzerinden Duo-Link ile birbirine bağlanan Initial LiSi restoratif materyalden istatistiksel anlamlı derecede düşük değer sergiledi ($p<0,05$).

Çizelge 3.37. Ön uygulama işlemiyle iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan Cerasmart 270 restoratif materyalin MMBD değeri karşılaştırılması

MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI							t testi	
Gruplar	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
2 LF – CS 270 – Öİ	15	11,37	10,10	8,12	17,50	2,99	1,23	0,231
6 Duo-Link – CS 270 - Öİ	15	9,40	8,78	1,86	16,40	5,41		
Toplam	30	10,38	10,02	1,86	17,50	4,41		

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, Öİ= Ön ışık uygulaması

2 mm kalınlığındaki iki Cerasmart 270 restoratif materyali birbirine bağlarken ön ışık uygulamasının ardından, artık simanın temizlendiği 30 saniyelik süreden sonra 20 saniye daha ek standart ışık uygulama işleminin, Linkforce veya Duo-Link ile yapılması arasında istatistiksel anlamlı farklılık tespit edilmedi ($p>0,05$).

Çizelge 3.38. Ön uygulama işlemiyle iki farklı kompozit rezin siman kullanılarak birbirine yapıştırılan Lisi Initial restoratif materyalin MMBD değeri karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
4 LF – LiSi – Öİ	15	4,64	4,00	2,62	9,69	1,95	2,61	0,018
8 Duo-Link – LiSi – Öİ	15	5,60	5,17	3,91	8,87	1,51		
Toplam	30	5,12	4,98	2,62	9,69	1,78		

LF= LinkForce, LiSi= Initial LiSi, Öİ= Ön ışık uygulaması

2 mm kalınlığında Initial LiSi materyalinin üzerinden ön ışık uygulamasını takiben 20 saniyelik standart ışık uygulaması işlemiyle birbirlerine bağlanan iki grup karşılaştırıldığında, Duo-Link ile bağlanan yapılan Initial LiSi test grubu, MMBD testinde anlamlı derecede düşük değer sergiledi ($p<0,05$).

Çizelge 3.39. Ön ışık uygulama işleminde farklı kompozit rezin siman ve farklı restoratif materyalin MMBD değerlerinin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
4 LF – LiSi – Öİ	15	4,64	4,00	2,62	9,69	1,95	-3,2	0,003
6 Duo-Link – CS 270 – Öİ	15	9,40	8,78	1,86	16,40	5,41		
Toplam	30	7,02	5,21	1,86	16,40	4,67		

LF= LinkForce, LiSi= Initial LiSi, Öİ= Ön ışık uygulaması

3 saniye ön ışığın ardından 30 saniye artık siman temizlenip 20 saniye de standart ışık işlemi, 2 mm cam matrisli seramik (Initial LiSi) üzerinden uygulanıp Linkforce ile birbirine bağlanan ve 2 mm kompozit rezin seramik (Cerasmart 270) üzerinden uygulanıp Duo-Link ile birbirine bağlanan grup ile MMBD değerleri açısından karşılaştırıldı. Linkforce ve Initial LiSi grubu, istatistiksel anlamlı derecede düşük tespit edildi ($p<0,05$).

Çizelge 3.40. Standart ışık uygulama işleminde farklı kompozit rezin siman ve farklı restoratif materyalin MMBD değerlerinin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
3 LF – LiSi – SI	15	4,35	4,39	3,83	4,94	0,39	-5,1	0,0001

5 Duo-Link – CS 270 - SI	15	8,83	9,55	4,42	14,30	3,33
Toplam	30	6,59	4,81	3,83	14,30	3,26

LF= LinkForce, LiSi= Initial LiSi, CS 270= Cerasmart 270, SI= Standart ışık uygulaması

Standart ışık uygulama işlemi, Linkforce ile bağlanan Initial LiSi ve Duo-Link ile bağlanan Cerasmart 270 ile karşılaştırıldığında, Linkforce ve Initial LiSi test grubunda istatistiksel anlamlı düşük gözlemlendi ($p<0,05$).

Çizelge 3.41. Ön ışık ışık uygulama işleminde farklı kompozit rezin siman ve farklı restoratif materyalin MMBD değerlerinin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
2 LF – CS 270 - ÖI	15	11,37	10,10	8,12	17,50	2,99	6,66	0,0001
8 Duo-Link – LiSi - ÖI	15	5,60	5,17	3,91	8,87	1,51		
Toplam	30	8,48	8,47	3,91	17,50	3,74		

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, ÖI= Ön ışık uygulaması, LiSi= Initial LiSi

3 saniye ön ışığın ardından 30 saniye artık siman temizlenip 20 saniye de standart ışık uygulaması işlemi, Linkforce ile birbirine simante edilen Cerasmart 270 ve Duo-Link ile birbirlerine simante edilen cam matriks seramik (Initial LiSi) ile modifiye makaslama bağlanma dayanıklılık değerleri bakımından karşılaştırıldı. Duo-Link ile bağlanan Initial LiSi restoratif materyal istatistiksel anlamlı derecede daha düşük gözlemlendi ($p<0,05$).

Çizelge 3.42. Standart ışık uygulama işleminde farklı kompozit rezin siman ve farklı restoratif materyalin MMBD değerlerinin karşılaştırılması

Gruplar	MODİFİYE MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANAKLILIĞI						t testi	
	n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	ss	t	p
1 LF – CS 270 - SI	15	9,75	9,57	6,93	13,63	1,91	9	0,0001
7 Duo-Link – LI - SI	15	5,00	5,15	3,22	6,27	0,71		
Toplam	30	7,37	6,60	3,22	13,63	2,80		

LF= LinkForce, CS 270= Cerasmart 270, SI= Standart ışık uygulaması

Standart ışık uygulaması, Linkforce kullanılarak birbirine bağlanan Cerasmart 270 ile Duo-Link kullanılarak birbirine yapıştırılan Initial LiSi karşılaştırıldığı zaman, Duo-Link ve Initial LiSi grubu modifiye bağlanma makaslama dayanıklılığı istatistiksel anlamlı derecede düşük tespit edildi ($p<0,05$).

Test edilen gruplara ait MMBD değerleri incelendiğinde:

1. Tüm test grupları arasında(Çizelge 3.32):

- En yüksek MMBD değeri ($11,37 \pm 2,99$), ön ışık uygulamasını takiben standart ışık uygulaması ile birbirine bağlanan LinkForce kompozit rezin siman ve Cerasmart 270 restoratif materyali içeren Grup 2,
 - En düşük MMBD değeri ($4,35 \pm 0,39$), standart ışık uygulamasıyla birbirine bağlanan LinkForce kompozit rezin siman ve Lisi Initial restoratif materyali içeren Grup 4 oldu.
2. Simantasyon işlemi sırasında uygulanan ışık prosedürü farklı olsa da, kullanılan materyaller aynı olduğu takdirde MMBD değerleri fark göstermedi.
3. Linkforce ve Duo-Link rezin simanların iki farklı ışık uygulama işlemi kullanılarak Cerasmart 270 ile bağlaması, Initial LiSi restoratif materyali bağlamasından daha güçlü modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı gösterdi.
4. Cerasmart 270 kompozit rezin seramik, standart veya ön ışık uygulama işlemi ile bağlandığı zaman kullanılan simanın LinkForce veya Duo-Link olması modifiye makaslama bağlanma dayanımında belirgin değişiklik yaratmadı.
5. Lisi cam matriks seramik, her iki ışık uygulama prosedürü ile de Duo-Link kompozit rezin siman ile bağlandığında, LinkForce ile bağlanan Initial LiSi gruplarından daha güçsüz modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı gösterdi.

3.3. Polimerizasyon Yüzde Değerlerinin (PYD) Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılığı (MMBD) ile Korolasyonunun Görsel Değerlendirmesi

Çizelge 3.43. Polimerizasyon derecesi ve modifiye makaslama bağlanma dayanıklılığı değerlerinin karşılaştırması

Test Grupları	Test Teknikleri	Ortalamalar	Standart Sapma
LF + CS 270 + SI	PDY	68,6 %	$\pm 1,2$
	MMBD	9,75 MPa	$\pm 1,91$
LF + CS 270 + ÖI	PDY	68,0 %	$\pm 0,9$
	MMBD	11,37 MPa	$\pm 2,99$
LF + LiSi + SI	PDY	64,9 %	$\pm 3,7$
	MMBD	4,35 MPa	$\pm 0,39$
LF + LiSi + ÖI	PDY	68,0 %	$\pm 1,3$
	MMBD	4,64 MPa	$\pm 1,95$
Duo-Link + CS 270 + SI	PDY	68,9 %	$\pm 0,6$
	MMBD	8,83 MPa	$\pm 3,33$
Duo-Link + CS 270 + ÖI	PDY	69,5 %	$\pm 0,9$
	MMBD	9,40 MPa	$\pm 5,41$
Duo-Link + LiSi + SI	PDY	68,6 %	$\pm 0,5$
	MMBD	5,00 MPa	$\pm 0,71$
Duo-Link + LiSi + ÖI	PDY	68,1 %	$\pm 1,0$
	MMBD	5,60 MPa	$\pm 1,51$

LF= LinkForce, LiSi= İnitil LiSi, SI= Standart ışık uygulaması, ÖI= Ön ışık uygulaması, CS 270= Cerasmart 270

- En yüksek PDY değeri 2 mm Cerasmart 270'in üzerinden Duo-Link kompozit rezin simana ön ışık uygulanarak polimerize edildiği grupta (69,5 %),

- En yüksek MMBD değeri Cerasmart 270'in Linkforce kullanılarak birbirine bağlandığı, ön ışık uygulanan grupta (11,37 MPa) tespit edildi.
- En düşük PDY değeri 2 mm Lisi Initial'in üzerinden Linkforce kompozit rezin simana standart ışık uygulanarak polimerize edildiği grupta (64,9%)
- En düşük MMBD değeri Initial LiSi'nin Linkforce kullanılarak birbirine bağlandığı standart ışık uygulanan grupta (4,35 MPa) tespit edilmiştir.

Çizelge 3.44. PDY ve MMBD değerlerinin görsel korolasyonu

PDY Değerlerinin Büyükten Küçüğe Sıralanması	MMBD Değerlerinin Büyükten Küçüğe Sıralanması
Duo-Link + CS 270 + ÖI	LF - CS 270 - ÖI
Duo-Link + CS 270 + SI	LF- CS 270 -SI
LF + CS 270 + SI = Duo-Link + LiSi + SI	Duo-Link - CS 270 - ÖI
Duo-Link + LiSi + ÖI	Duo-Link - CS 270 - SI
Duo-Link + CS 270 + SI	Duo-Link - LiSi - ÖI
LF + CS 270 + ÖI = LF+ LiSi + ÖI	Duo-Link - LiSi - SI
LF + LiSi + SI	LF- LiSi - ÖI
	LF- LiSi- SI

LF= LinkForce, LiSi= İntial LiSi, SI= Standart ışık uygulaması, ÖI= Ön ışık uygulaması, CS 270= Cerasmart 270

4. TARTIŞMA

Işık şiddeti, dalga boyu ve ışık uygulama süresi gibi polimerizasyon paramaterleri yüksek PDY değeri elde etmek için optimize edilebilir (Santos vd., 2024). Çalışmamızda diğer tüm parametreler aynı olmasına rağmen, ışık uygulama süresi değişkendir. Periodontal sağlığı korumak amacıyla kullanılan ön ışık uygulaması, simantasyon sırasında taşan artık simanın rahatlıkla uzaklaştırılmasına olanak tanıyan bir polimerizasyon tekniğidir. İndirekt restoratif materyalin doğru konumlandırılmasından sonra, hekimin uyguladığı genellikle 2-3 saniye kısa süreli ışık ile rezin esaslı yapıştırma siman materyali yarı jel formuna getirilir. Bu sayede, dişeti ceplerine zarar vermeden restorasyon materyalindeki artık simanın uzaklaştırılması sağlanır ve ardından önerilen polimerizasyon süresi tamamlanarak işlem sonlandırılır. Bu teknik, artık materyalin periodontal dokulara gömülmesini engelleyerek kronik inflamasyon riskini azaltmakta ve plak birikimiyle ilişkili doku iritasyonunu önlemektedir (Asmussen & Peutzfeldt, 2003; Maia vd., 2021; Soh & Yap, 2004)

Ancak bu yöntemin birincil polimerizasyonu kesintiye uğratması, simanların PDY'sini olumsuz etkileyebilir. Özellikle kısa ışık uygulaması sonrası geçen bekleme süresi, bazı rezin simanlarda çapraz bağ yoğunluğunu düşürebilir ve polimerleri yumuşamaya karşı daha duyarlı hale getirebilir (Asmussen & Peutzfeldt, 2003; Soh & Yap, 2004). Mikrosertlik ile PDY arasındaki pozitif ilişki (Maia vd., 2021) göz önünde bulundurulduğunda kısa süreli ışık uygulamasının PDY üzerindeki olası etkilerini incelemmesinin anlamlı olacağı öngörüldü, ve bu öngörü, çalışmanın temel hipotezinin şekillenmesinde etkili oldu.

Bu çalışmada, polimerizasyon etkinliğini değerlendirilmesi amacıyla hem doğrudan ölçüm sağlayan FTIR hem de literatürde dolaylı ölçüm olarak geçen bağlanma dayanıklılığı testi (Novais vd., 2017a) kullanıldı ve bu sayede çok yönlü analiz yapıldı.

Literatürde FTIR ile elde edilen PDY değerleri, kompozit rezin yapıştırma simanlarının rezin matrisi ve formülasyonuna bağlı olarak farklılık gösterir. Bis-GMA içermeyen, akışkanlığı yüksek UDMA veya TEGDMA ağırlıklı rezinlerin daha yüksek PDY (%70–76) elde ettiği, viskozitesi yüksek klasik Bis-GMA bazlı rezinlerde ise PDY'nin genellikle daha düşük kaldığı ($\approx$ %50–60) belirtilmiştir. Bu durum, monomer yapılarının reaktivite ve hareketliliğindeki farka bağlanmıştır: Bis-GMA'nın rijit yapısı nedeniyle zincir hareketliliğini kısıtlayarak polimerizasyonu sınırlandırdığı, buna karşın UDMA veya TEGDMA gibi monomerlerin

esneklikle daha yüksek dönüşüm sağlayabildiği bildirilmiştir. İnorganik doldurucu oranı ve parçacık boyutu da FTIR ile ölçülen PDY'yi etkileyebilir; çok yüksek inorganik dolgu içeriği veya opak doldurucular ışık geçirgenliğini azaltarak derin kısımların polimerleşmesini güçleştirir (Yılmaz Atalı vd., 2022).

Her ne kadar ışık uygulama sonrası polimerizasyon 24 saat boyunca devam etse de, literatürde yer alan bulgular, polimerizasyonun büyük çoğunluğunun ışık uygulamasını takip eden ilk 10–15 dakika içerisinde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır (Yan vd., 2010). Rueggeberg ve Caughman (Rueggeberg & Caughman, 1993) dual polimerize rezin simanlar üzerinde yaptıkları çalışmada, ışık uygulamasından sonra ilk 10 ile 15 dakikada arasında gerçekleşen polimerizasyon düzeyinin, 24 saat sonra elde edilen nihai düzeye büyük ölçüde yaklaştığını bildirmiştir. Bu bilgiler ışığında değerlendirildiğinde, çalışmamızda restoratif materyal olmadan yapılan doğrudan ışık uygulamalarına ait 15. dakikada ölçülen PDY değerleri, klinik pratikte erken dönemdeki polimerizasyon başarısını anlamada önemli bir gösterge niteliğindedir.

Restoratif materyal kullanılmadan doğrudan LinkForce dual polimerize kompozit rezin simanına uygulanan standart ve ön ışık işlemleri karşılaştırıldığında, erken dönemde (15. dakika) polimerizasyon dönüşüm yüzdesi (PDY) bakımından, ön ışığın ardından standart ışıkla devam edilen grupta daha yüksek PDY değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.2). Buna karşılık, Duo-Link dual polimerize kompozit rezin simanında aynı koşullarda uygulanan iki farklı ışık protokolü arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (Çizelge 3.3).

İki simanın restoratif materyal yokluğunda yalnızca standart ışıkla polimerize edilen grupları karşılaştırıldığında PDY değerleri benzerlik göstermiştir (Çizelge 3.4.). Ancak ön ışık sonrası standart ışık uygulanan gruplar karşılaştırıldığında, LinkForce, Duo-Link'e kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek PDY değerleri göstermiştir (Çizelge 3.5). Bu farkın mutlak değeri sınırlı olmakla birlikte, her iki materyalin polimerizasyon verimliliğinin klinik olarak karşılaştırılabilir düzeyde olduğu ve benzer performans sergileyebileceği değerlendirilmektedir.

Çalışmamızda kullanılan her iki dual polimerize kompozit rezin siman materyalleri içeriğindeki, doldurucu tipi ve oranı açısından farklılık gösterir. Duo-Link, yaklaşık %60–65 oranında cam esaslı nano boyutlu doldurucu içerirken; LinkForce %70'e varan baryum cam dolduruculu bir formülasyona sahiptir (Bisco, 2025; GC, 2019). Bu farklılıkların, polimerizasyon etkinliği üzerinde belirleyici bir rol oynayabileceği düşünülmektedir. Yüksek doldurucu genellikle

polimerizasyon büzülmesini azaltırken, mekanik özellikleri iyileştirir (Lassila vd., 2024; Lopez vd., 2024). Nitekim Zagreb  niversitesi'nden Par ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, beş farklı dual polimerize rezin simanın farklı polimerizasyon koşulları altındaki PDY gelişimi incelendi. Sonuçlar, özellikle materyalin kompozisyonu ve doldurucu miktarının, PDY üzerinde istatistiksel olarak en güçlü etkiye sahip olduğunu, buna karşın uygulanan polimerizasyon protokolünün ikincil derecede önemli olduğunu gösterdi (Carek vd., 2022). Yani, doldurucu oranı ve rezin formülasyonu, polimerizasyon etkinliğini ışık veya kimyasal polimerizasyon yönteminden daha fazla belirlemektedir. Doldurucu oranı yüksek simanların yapısal olarak daha viskoz olması sebebiyle radikal hareketliliğini azaltıp PDY'yi bir miktar düşürebileceği, ancak aynı zamanda yüksek dolgu sayesinde daha az polimerizasyon büzülmesi sağladığı belirtilmiştir (Kılıç, 2016). Bu  alışma, dolgu miktarının PDY'ye dolaylı etkisini vurgulayarak, materyal seçiminin polimerizasyon başarısı için kritik olduğunu ortaya koymaktadır.

Öte yandan, doldurucu yapısı haricinde polimerizasyon üzerinde etkili bir diğer faktör, kullanılan fotobaşlatıcı sistemdir. Duo-Link geleneksel kamforkinon/üçüncül amin içeren sistem kullanırken, LinkForce amin içermeyen aromatik s lfinat bazlı sistem kullanır. Amin içeren sistemlerde duraklama süresince üçüncül aminlerin okside olması polimerizasyonu sınırlayabilirken, amin içermeyen sistemlerde bu tür kesintilere karşı daha dirençli bir yapı gözlemlenir (Kowalska vd., 2022; Maravi  vd., 2023; Yeow vd., 2018).

Ayrıca, duraklama sırasında yüzeyde meydana gelen oksijen inhibisyonu, radikal üretimini baskılayarak yüzey polimerizasyonunu engelleyebilir. Bu etkinin, Duo-Link'te LinkForce'a göre daha belirgin olduğu düşünülmektedir. Aromaa ve arkadaşları, oksijene maruz kalan örneklerde polimerizasyonun durduğunu ve yüzey sertliğinin düştüğünü göstermiştir (Aromaa & Vallittu, 2018). Bu çerçevede, çalışmamızda 3 saniye  n ışık sonrası verilen 30 saniye duraklama sırasında, LinkForce'un kendiliğinden polimerizasyona devam ettiği ve Duo-Link'e göre daha yüksek dönüşüm yüzdesi elde ettiği görülmüştür. Bu farklılık, sadece doldurucu oranı ile değil, formülasyonun başlatıcı sistemi ve rezin matrisinin reaktivitesiyle de ilişkilendirilebilir (Chen vd., 2016; Santos vd., 2024; Stegall vd., 2017b) Nitekim literatürde, dual polimerize simanların polimerizasyon etkinliğinin, materyal kompozisyonu, doldurucu içeriği, monomer yapısı ve polimerizasyon başlatıcı sistem gibi çok sayıda değişkene bağlı olduğu ve bu faktörlerin sinerjik etkilerle PDY'yi belirlediği vurgulanmaktadır (Carek vd., 2022). Bu bağlamda, Duo-Link'in düşük PDY göstermesi, ışık uygulamasına daha bağımlı olması ve daha az reaktif kimyasal polimerizasyon mekanizmasına sahip olması ile açıklanabilir (M.-J. Kim vd., 2013). Sonuç olarak,  n ışık sonrası LinkForce'un Duo-Link'ten daha yüksek PDY göstermesi; daha yüksek doldurucu

oranı, oksijene dirençli amin içermeyen başlatıcı sistemi, kimyasal polimerizasyon kabiliyeti ve ışık kesintisine karşı daha az duyarlı yapısıyla açıklanabilir. Bu bulgular, ön ışık uygulaması işleminin klinik başarısı için kullanılan siman materyalinin kimyasal yapısının dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Duo-Link'in nano boyutlu partikülleri ışık geçirgenliğini artırarak daha derinlemesine polimerizasyona katkıda bulunurken (Fidalgo-Pereira vd., 2023), LinkForce'un daha iri ve yoğun baryum cam doldurucuları ışık saçılımına neden olabilir. Bu, özellikle sadece ışıkla polimerizasyon uygulandığında PDY'nin başlangıçta düşmesine yol açabilir (Fidalgo-Pereira vd., 2023) Ancak LinkForce'un dual polimerize yapısı ve güçlü kimyasal başlatıcı sistemi sayesinde, ışığın ulaşmadığı alanlarda bile polimerizasyon devam edebilir (GC, 2019; Saati vd., 2021). Bu da, LinkForce ve Duo-Link dual polimerize kompozit rezin yapıştırma simanlarına standart ışık uygulaması yapıldığı zaman aralarında PDY açısından Duo-Link grubun ortalama değeri biraz daha yüksek olsa da farkın klinik olarak önemli olmadığını gösterir (Çizelge 3.4.).

Klinik uygulamalarda kompozit rezin yapıştırma simanları genellikle indirekt restoratif materyallerle birlikte kullanıldığından, iki farklı ışık uygulamasına bağlı PDY değerleri yorumlanırken, kullanılan restoratif materyalin polimerizasyon etkinliği üzerinde oluşturabileceği etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan materyallerin doldurucu türleri ve yüzdeleri

Materyal	Organik İçerik	İnorganik İçerik	İnorganik İçerik Yüzdeliği
Cerasmart 270	BisMEPP	Silika and baryum	75 %
Duo-Link	Bis-GMA,TEGDMA,UDMA	Ytterbiyum florür & Silika oksit	61.9%
Linkforce	Bis-GMA, UDMA,Bis-EMA,DMA	Silanize baryum camı	71.4%
Initial Lisi	Organik içeriği yok	Lityum disilikat kristalleri	65-70%

(Kılıç, 2016)

Mevcut bulgular, 1-2 mm kalınlık aralığında Cerasmart 270'in LiSi gibi lityum disilikat seramiklere kıyasla eşit veya daha yüksek ışık geçirgenliğine sahip olabildiğini göstermektedir (Doğu Kaya vd., 2024) Cerasmart 270'in en belirgin özelliklerinden biri, yüksek ışık geçirgenliğidir. Bu özellik, materyalin mikro yapısındaki küçük nanoparçacık dolgular sayesinde elde edilir. Bu küçük partiküller, ışığın daha az soğurulmasına ve daha fazla geçmesine olanak tanır, bu da yüksek yarı saydamlık değerleriyle sonuçlanır (Mangoush vd., 2021). Bu veriler, Cerasmart 270'in içerik yapısı sayesinde ışığı lityum disilikat seramikten biraz daha fazla

iletebildiğini düşündürmektedir. Cerasmart'ta opaklığa esas olarak rezin matrisine eklenen radyopak baryum cam doldurucular ve az miktarda alumina neden olurken, doldurucu oranı saydamlığı en üst düzeye çıkaracak şekilde optimize edilmiştir (Dikici vd., 2025). GC LiSi'de ise güçlendirme amaçlı yüksek oranda kristal faz bulunması, restoratif materyal sağlamlık verirken bir miktar ışık saçılmasına yol açabilir (Dikici vd., 2025). Ancak her iki materyal de ince kesitlerde doğal diş dokusuna yakın estetik sonuçlar verebilmektedir. Örneğin, 1 mm kalınlığında hem lityum disilikat seramik hem de hibrit seramik blok, minenin yarı saydamlığını taklit edebilecek düzeyde ışık geçirir (Mangoush vd., 2021). Cerasmart 270, benzer hibrit bloklarla kıyaslandığında en yüksek saydamlık değerlerinden birine sahip olup (Aydın vd., 2024), Initial LiSi ise kendi sınıfında (cam-seramikler arasında) translülensi açısından IPS e.max ile benzer performans göstermektedir (Doğu Kaya vd., 2024). Sonuç itibarıyla, GC LiSi ve Cerasmart 270'nin ışık geçirgenlik ve absorpsiyon özellikleri materyal yapılarıyla yakından ilişkilidir.

Her iki restoratif materyal de ince kesitlerde yarı saydamlık sağlarken, kalın kesitlerde ışık geçirgenlikleri azalmakta ve daha fazla ışık absorbe edilmektedir (Mangoush vd., 2021). Güncel in vitro çalışmalar, Duo-Link ve Linkforce kompozit rezin yapıştırma simanlarının PDY'sinin restorasyon kalınlığından etkilendiğini ortaya koymuştur (Carek vd., 2022; Santos vd., 2024). Dual polimerize bir rezin siman, restorasyon üzerinden foto-aktif edildiğinde, ışığın bir kısmı emilir ve bir kısmı restorasyonun yüzeyinde yansıtılırken, simana ulaşan kısım restorasyon boyunca iletilen kısımdır. Bu kısım restorasyonun kalınlığına ve restoratif materyalin opaklık ve renk tonu gibi optik karakteristiklerine bağlı olabilir (Alovisi vd., 2018).

Restoratif materyallerde kalınlık arttıkça, ışık geçirgenliği azalır ve ışık soğrulması artar. Bu genel ilke hem seramik hem de rezin esaslı materyaller için defalarca doğrulanmıştır. 1 mm kalınlığındaki bir restoratif materyal, 2 mm kalınlığa kıyasla daha fazla ışık geçirerek daha yarı saydam bir görünüm sergiler (Carneiro vd., 2023). Örneğin, Doğu Kaya ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, yaklaşık 1.5 mm kalınlığında Cerasmart materyalinin yarı saydamlık değeri (~10.8), aynı kalınlıktaki lityum disilikat bloklara göre daha yüksek bulunmuştur. Benzer şekilde, 2 mm kalınlıkta da Cerasmart (~9.3), e.max (~8.7) ile karşılaştırıldığında daha yüksek yarı saydamlık göstermiştir. Aynı çalışmada, Cerasmart'ın kontrast oranı (CR) değerleri eşdeğer kalınlıklarda e.max'e göre anlamlı derecede daha düşük bulunmuş; bu da Cerasmart'ın daha yüksek optik geçirgenliğe sahip olduğunu göstermektedir. (Doğu Kaya vd., 2024)

Bu durum, özellikle ışıkla sertleşen simanların polimerizasyonunda klinik açıdan kritiktir; zira kalın ve opak restorasyonlar altında yapıştırma siman yüzeyine ışık alımı düşer (Dikici vd.,

2025). LiSi Initial ve Cerasmart 270'in bahsedilen ışık geçirgenlik performansları, içerik farklarından ötürü farklılık gösterir. Doğrudan bu iki ürünü karşılaştıran çok az çalışma bulunmakla birlikte, benzer kategorideki materyaller üzerinden dolaylı bir kıyaslama yapmak mümkündür. Literatürde, IPS e.max CAD lityum disilikat ile Cerasmart hibrit bloğun birlikte incelendiği çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar, rezin bazlı hibrit bloğun belirli kalınlıklarda lityum disilikat seramiğe kıyasla daha yüksek yarısaydamlık sergilediğini göstermiştir (Doğu Kaya vd., 2024).

LinkForce dual polimerize kompozit rezin yapıştırma simanının, yalnızca standart ışıkla ya da ön ışığı takiben standart ışıkla polimerize edilmesi durumlarında; 1 mm kalınlığındaki Initial LiSi veya Cerasmart 270 ile birlikte kullanıldığında elde edilen polimerizasyon dönüşüm yüzdesi (PDY) değerleri arasında anlamlı bir fark saptanmadı (Çizelge 3.6). Ancak restoratif materyal kalınlığının 2 mm'ye yükselmesi durumunda (Çizelge 3.7), Initial LiSi ile uygulanan standart ışık protokolünde elde edilen PDY değeri, diğer dört gruba kıyasla belirgin biçimde düşük bulunmuştur. Bu fark, özellikle aynı kalınlıktaki Cerasmart 270 ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu durumun, artan kalınlıkla birlikte Initial LiSi materyalinin ışığı daha fazla absorbe etmesi ve dolayısıyla alt tabakaya daha az ışık geçirmesi ile ilişkili olabileceği düşünülür. Bununla birlikte, tüm gruplarda elde edilen PDY değerlerinin literatürde bildirilen %50–75 aralığındaki "klinik olarak kabul edilebilir" sınırlar içerisinde yer aldığı gözlenir (Carek vd., 2022; Santos vd., 2024).

Öte yandan, Duo-Link dual polimerize kompozit rezin yapıştırma simanı ile gerçekleştirilen uygulamalarda, restoratif materyalin kalınlığı 1 mm veya 2 mm olduğunda, ön ışık ve standart ışık uygulamaları arasında PDY açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmedi. Beş farklı grup arasında elde edilen PDY değerleri benzer düzeydedir (Çizelge 3.8 ve 3.9). Bu bulgu, Duo-Link simanının polimerizasyon etkinliğinin, restoratif materyalin kalınlığı veya türünden bağımsız olarak daha stabil bir performans sergileyebileceğine işaret etmektedir.

LinkForce simanı ile yapılan uygulamalarda, Cerasmart 270'in kalınlığı 1 mm'den 2 mm'ye yükseldiğinde, her iki ışık protokolü altında da PDY değerleri benzer bulunmuştur (Çizelge 3.10 ve 3.11). Buna karşın, Initial LiSi materyaliyle standart ışık protokolü uygulandığında, 2 mm kalınlığında elde edilen PDY değeri, 1 mm kalınlığa kıyasla daha düşük bulunmuştur. Ancak ön ışık uygulanan gruplar arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır (Çizelge 3.12 ve 3.13). Bu durumun, artan kalınlıkla birlikte LiSi Initial materyalinde ışık soğurulmasının daha belirgin hale gelmesi ve bunun LinkForce simanının ön ışık protokolüne verdiği olumlu yanıtı dengeleyerek

PDY üzerinde net bir artış veya azalma oluşmasını engellemesiyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

“İki farklı indirekt restoratif materyal ve iki farklı dual polimerize kompozit rezin siman kullanılarak yapılan uygulamalarda, ön ışığı takiben standart ışık uygulaması ile yalnızca standart ışık uygulaması arasında PDY açısından anlamlı bir fark olmadığı” yönündeki sıfır hipotezi, çalışmamızda restoratif materyal kullanılarak yapılan tüm deneysel koşullar altında kabul edilmiştir. Hem 1 mm hem de 2 mm kalınlığındaki Cerasmart 270 ve Initial LiSi materyalleriyle yapılan simantasyonlarda, ön ışık uygulamasını takiben gerçekleştirilen standart ışık protokolü ile doğrudan uygulanan standart ışık arasında elde edilen PDY değerleri istatistiksel olarak farklılık göstermedi. Bu durum, özellikle restoratif materyalin varlığı ile ışık geçirgenliğinin belli oranda sınırlanması sonucu, iki protokol arasındaki etkinin dengelediğini düşündürmektedir. Öte yandan, restoratif materyal olmaksızın doğrudan siman yüzeyine uygulanan ışık protokolleri incelendiğinde, LinkForce simana ön ışık uygulamasını takiben gerçekleştirilen standart ışık protokolü ile yalnızca standart ışık uygulaması arasında anlamlı düzeyde PDY farkı saptanmıştır. Bu bulgu doğrultusunda, materyal kullanılmayan koşullar altında sıfır hipotezi LinkForce için reddedilmiş; Duo-Link için ise kabul edilmiştir. Sonuç olarak, restoratif materyal ile birlikte uygulandığında ışık protokollerinin PDY üzerindeki etkisi anlamlı farklılık göstermemekte, ancak restoratif materyal olmaksızın, özellikle LinkForce simanı gibi amin içermeyen sistemlerde ön ışık uygulamasının PDY’yi olumlu yönde etkileyebileceği gözlemlenmektedir.

Polimerizasyon dönüşüm yüzdesi (PDY) testlerinin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Örneğin, Jain ve arkadaşları (Jain vd., 2018) ışık kaynağının örnek yüzeyine 6 mm uzaklıkta konumlandırılmasıyla yapılan PDY ölçümlerinin, klinikte erişimi zor posterior bölgelerdeki restorasyonları taklit etmesi açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşılık, bu çalışmada ışık uygulaması hem restoratif materyal varlığında hem de yokluğunda, örnek yüzeyine doğrudan temas edecek şekilde (0 mm mesafeden) gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, kullanılan ışık uygulama mesafesi, klinik koşulları tam olarak yansıtmayabilir ve bu durum bulguların genellenebilirliğini sınırlayabilir.

Yüksek PDY değerine sahip adeziv sistemler genellikle daha yüksek başlangıç bağlanma dayanımları ve uzun vadede daha iyi bağlanma dayanıklılığı sunduğu çalışmalar olsa da (Drumond vd., 2020; Hass vd., 2013; Lopes vd., 2015; M Mohammed vd., 2022; Tichy vd., 2020), aralarında bir bağlantı olmadığını savunan çalışmalar da mevcuttur (Carneiro vd., 2023; Fouquet vd., 2023; James vd., 2021; Perković vd., 2023). CAD/CAM restorasyonların klinik başarısında,

yalnızca kullanılan materyalin özellikleri ve bu bağlamda elde edilen PDY değeri değil, aynı zamanda bu materyale uygun şekilde uygulanan yüzey hazırlığı ve simantasyon protokollerinin de belirleyici rol oynadığı kabul edilmektedir. Rezin siman ile seramik yüzey arasında kalıcı ve dayanıklı bir bağ elde edilebilmesi için, yüzey ön işlemleriyle birlikte bağlayıcı ajanların kullanımı oldukça önemlidir. Bu ajanlar, özellikle seramik yüzeyin kimyasal yapısını resin esaslı yapıştırma simanlarıyla uyumlu hâle getirerek, ara yüzeydeki adezyonu güçlendirir (Bento vd., 2024). Bu nedenle, materyale özgü adeziv yaklaşımlar, restorasyonun uzun dönem stabilitesi açısından kritik öneme sahiptir.

Silika bazlı cam seramiklerde, yüzeyin %4–5’lik hidroflorik asit ile pürüzlendirilmesini takiben silan uygulanması, resin esaslı yapıştırma siman materyalin bu yüzeye güçlü ve kalıcı şekilde bağlanabilmesi için en yaygın kabul gören ve güvenilir protokol olarak değerlendirilmektedir. Bu çift aşamalı işlem sayesinde, seramik yüzeyde mikromekanik pürüzlenme ve ardından silan aracılığıyla kimyasal bağlanma sağlanarak uzun dönemli stabilite elde edilir (Markus B. Blatz vd., 2023) Benzer şekilde, hibrit seramiklerin bağlanma protokolleri de cam seramiklerle büyük ölçüde örtüşmektedir. İlgili çalışmalar ve üretici talimatlarına göre, hibrit seramik yüzeylerine de öncelikle %5 hidroflorik asit ile pürüzlendirme uygulanması, ardından silan içeren primer uygulaması önerilmektedir (Sebastian Horvath, 2017).

Literatürde yer alan pek çok çalışmada, bu çalışmadan farklı olarak, seramik-rezin siman-dentin kombinasyonları kullanılarak hem polimerizasyon dönüşüm yüzdesi (PDY) hem de bağlanma dayanıklılığı değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar genellikle klinik uygulamaları taklit eden indirekt restorasyon senaryoları temelinde tasarlanmıştır. Öte yandan, yalnızca seramik-seramik arayüzlerine sahip restorasyonlarda, dual polimerize adeziv sistemlerle uygulanan ön ışık ve standart ışık protokollerinin makaslama bağlanma dayanımı üzerindeki etkisini doğrudan araştıran bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle, elde edilen bulgular, benzer materyal ve yöntemlerle yürütülmüş çalışmalar ışığında dolaylı olarak değerlendirilmektedir.

Yüksek PDY değerleri elde edilse dahi, resin simanın uygulandığı yüzeyle kimyasal veya fiziksel uyumsuzluk varlığında bağlanma dayanıklılığı olumsuz etkilenebilir. Literatürde, bazı adeziv sistemlerin, özellikle asidik monomer içeren tek aşamalı sistemlerin, dual polimerize simanların kimyasal aktivatörleriyle etkileşime girerek polimerizasyon sürecini olumsuz etkileyebileceği bildirilmiştir (De Souza vd., 2015). Ancak, çalışmamızda *etch-and-rinse* sistemi tercih edildiğinden, bu tür bir kimyasal etkileşim olasılığı oldukça düşüktür.

Diğer bir faktör rezin simanın viskozitesidir. Çok yüksek olduğu durumlarda, seramik yüzeyin mikro-pürüzlerine yeterince ıslanıp nüfuz etmesini engelleyebilir. Örneğin bir çalışma, içerisindeki silan monomerini kendi bünyesinde barındıran düşük akışkanlığa sahip bir kendinden adeziv simanın, karıştırıldıktan sonra yeterince nem emilimi yapamadığı için seramikle istenen etkileşimi sağlayamadığını göstermiştir. Bu simanda ayrı silan uygulanmadığında bağlanma gücü düştü; araştırmacılar bunu materyalin yüksek viskozitesinin ıslanabilirliği azaltmasına ve entegre silan moleküllerinin seramik yüzeye hareketini kısıtlamasına bağlamışlardır (Thiranukoon vd., 2025). Dolayısıyla, yüzey enerjisi veya kimyası bakımından uyumsuzluklar, siman tam polimerize olsa bile bağlanmayı sınırlandırabilir.

Rezin esaslı yapıştırma simanları polimerize olurken hacim küçülmesine uğrar ve bu büzülme, bağ arayüzünde çekme gerilimi oluşturur. Yüksek PDY genellikle daha fazla monomerin polimere dönüşmesi demek olduğundan, daha fazla polimerizasyon büzülmesi meydana gelir. Oluşan büzülme stresinin şiddeti, rezin esaslı yapıştırma simanının seramik yüzeye tutunma kuvvetini aşarsa arayüzde mikro boşluklar ya da ayrılma (debonding) gerçekleşebilir. Literatürde, rezin içeren simanlarda polimerizasyon geriliminin restorasyon kenar sızdırmazlığını bozarak uzun vadede bağlanma başarısızlığına yol açabildiği vurgulanmıştır (Ling vd., 2024). Seramikler, simanın büzülme hareketine direnç gösterdiğinden, gerilim doğrudan yapışma yüzeyine yansır. Sonuç olarak, simanın PDY'si yüksek olsa bile, oluşan iç gerilimler bağlanma kuvvetini sınırlayan bir faktör haline gelebilir.

Rezin esaslı yapıştırma simanının veya bağlantı yüzeyinin hidrofilik karakteri, uzun vadede bağlanma performansını olumsuz etkileyebilir. Hidrofilik monomerler suyu daha fazla çekerek polimer matrisinde şişme ve plastikleşmeye yol açar; bu da bağlantıda hidrolitik zayıflama oluşturur. Örneğin, kendinden adeziv simanlarla yapılan bir çalışmada, formülasyonda fosfat veya karboksilik asit grubu gibi daha hidrofilik uçlar içeren simanların, daha hidrofobik içerikli simanlara kıyasla su emiliminin yüksek olduğu ve sonuçta bağlanma dayanımının daha düşük kaldığı gösterilmiştir. Aynı çalışmada daha az hidrofilik yapıda simanların su absorpsiyonunun düşük olup bağlanma stabilitesinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Thiranukoon vd., 2025). Çalışmamızda da, bu tür hidrolitik etkilerin değerlendirilmesine imkan tanımak amacıyla, örnekler en az 24 saat boyunca distile suda bekletilmiştir. Kullandığımız iki dual polimerize kompozit rezin siman kendinden adeziv değildir, ancak kullanılan G-Multi Primer, içeriğindeki içeriğindeki fosfat grupları (10-MDP, MDTP) ve hidrofilik monomerlerden dolayı benzer bir etki sunmuş olabilir (Ezgi & Gonca, 2024).

Yine de, silanın seramik ve rezin ara yüzeyindeki kimyasal bağlanmayı destekleyici etkisi, uygulama gerekliliğini sürdürmektedir. Cam seramik ve hibrit seramiklerde güçlü bir bağlantı için genellikle yüzey uygun biçimde pürüzlendirildikten sonra uygun primer veya silan uygulanır. Silika içeren porselenlerde hidroflorik asit pürüzlendirme ve ardından silan kullanımı, rezin ile seramik arasında kimyasal bağ oluşturduğu için bağlanmayı belirgin şekilde artırır (Hass vd., 2013; Tichy vd., 2020). Dolayısıyla, seramik yüzeyin doğru kimyasal ajanla işlem görmemesi halinde rezin simanın yüksek PDY değerleri bile güçlü bir bağa dönüşmeyebilir.

Çalışmamızın ikinci aşamasında gerçekleştirilen Modifiye Makaslama Bağlanma Dayanıklılığı (MMBD) testinde, en yüksek bağlanma dayanımı 11,37 MPa ile ön ışık uygulaması yapılan LinkForce simanı ile bağlanan iki Cerasmart 270 hibrit seramik örneğinde elde edilmiştir. Bu değeri, standart ışık uygulamasıyla polimerize edilen LinkForce simanı ile bağlanan iki Cerasmart 270 seramikten oluşan grup takip etmiştir. En düşük değer ise LiSi Initial'in LinkForce ile birbirine standart ışık ile polimerize edilerek bağlandığı grupta (4,35 mPA) ve onu takiben de aynı materyallerin ön ışık uygulanarak birbirine bağlandığı grupta (4,64 mPA) gözlemlendi. (Çizelge 3.26.)

PDY sonuçları incelendiği zaman, 2 mm kalınlığındaki Cerasmart 270 materyali üzerinden ışık uygulandığında, en yüksek dönüşüm oranı Duo-Link simanın ön ışık uygulandığı grupta gözlemlenmiştir.

Bunu, aynı materyallerle gerçekleştirilen standart ışık uygulaması takip etmiştir. Gruplar arasında bazı farklılıklar bulunsa da PDY değerleri birbirine oldukça yakındır. (Çizelge 3.1.) Bağlanma performansı, restoratif materyalin ışık geçirgenliği, yüzey morfolojisi, kullanılan rezin simanın kimyasal yapısı ve dolgu oranı, adeziv sistemin uyumluluğu, uygulanan ışık protokolü ve polimerizasyon süresinin yeterliliği gibi faktörlerin etkisine bağlıdır.

Literatürde yer alan pek çok çalışmada, bizim çalışmamızdan farklı olarak, seramik-rezin siman-dentin yüzey kombinasyonları kullanılarak hem PDY hem de bağlanma dayanıklılığı değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar, genellikle klinik uygulamalardaki indirekt restorasyonları taklit eden tasarımlar içermektedir.

Çalışmamızda, aynı siman ve restoratif materyal kullanıldığında, standart ışıkla doğrudan veya ön ışık uygulamasını takiben gerçekleştirilen polimerizasyon protokolleri sonucunda elde edilen MMBD değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (Çizelge 3.27,

3.28, 3.29, 3.30). Öte yandan, hem standart ışık hem de ön ışığı takiben standart ışık uygulamalarıyla yapıştırılan Cerasmart 270 ve Initial LiSi restorasyonları karşılaştırıldığında, Initial LiSi'nin, gerek Duo-Link gerekse LinkForce ile kullanıldığında, Cerasmart 270'e kıyasla daha düşük MMBD değerleri sergilediği tespit edildi.(Çizelge 3.31, 3.32, 3.33, 3.34)

Standart ışık uygulanan gruplar karşılaştırıldığında, Cerasmart 270'in her iki kompozit rezin siman ile bağlandığı durumlarda benzer MMBD değerleri elde edilmiştir (Çizelge 3.35). Öte yandan Initial LiSi materyalini bağlayan Duo-Link grubunda, diğer gruplara kıyasla daha düşük MMBD değeri gözlenmiştir (Çizelge 3.36). Aynı grupların PDY değerleri karşılaştırıldığında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Benzer şekilde, ön ışık uygulaması yapılan gruplarda da kullanılan materyal ve siman kombinasyonları benzer sonuçlar vermiştir (Çizelge 3.37 ve 3.38)

MMBD değerlerinin hem ön ışığı takiben standart ışıkla hem de yalnızca standart ışıkla polimerize edildiği durumlarda hangi materyal ve siman kombinasyonunun öne çıktığını değerlendirmek amacıyla, LinkForce ile bağlanan Initial LiSi cam seramik ve Duo-Link ile bağlanan Cerasmart 270 karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, LinkForce–LiSi grubunun istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha düşük PDY değeri sergilediği belirlenmiştir (Çizelge 3.39). Dual polimerize simanlar değiştirildiğinde de, Duo-Link ile bağlanan Initial LiSi grubunda en düşük MMBD değeri elde edilmiştir (Çizelge 3.41.)

Bu farkların olası nedeni, PDY testlerinde de benzer bir eğilim gözlenmiş olup, Initial LiSi materyalinin Cerasmart 270'e kıyasla daha fazla ışığı soğurması ve dolayısıyla altındaki simana daha az ışık iletmesi gösterilebilir. Her ne kadar bu bağlanma dayanıklılığı testinde doğrudan PDY ölçümü yapılmamış olsa da, önceki bulgular doğrultusunda, Initial LiSi ile oluşturulan gruplarda polimerizasyon etkinliğinin (PDY) nispeten daha düşük gerçekleşmiş olabileceği öngörülmektedir. Initial LiSi gibi yüksek kristal içerikli lityum disilikat seramikler, ince taneli ve yüksek kristal yoğunluklu bir yapıya sahiptir. Bu yapıda asitleme ile açığa çıkan cam fazı miktarı görece az olabileceğinden, silan bağlanma yüzeyi kısıtlı kalabilir (Torbiak vd., 2024).

Özetle; literatür Initial LiSi cam seramiğin düşük bağlanma dayanımlarını olası nedenleri yetersiz asit uygulaması veya silanlama protokolleri ile mikromekanik yüzey pürüzlülüğünün ve kimyasal bağlanmanın eksikliği (Lee vd., 2017); dual polimerize simanlara uygun olmayan adeziv seçimleri nedeniyle kimyasal polimerizasyonun engellenmesi (Tay vd., 2003); ve seramiğin ince kristal yapısının bağ yüzeyini sınırlamasıdır.

Buna ek olarak, PDY testinde yüksek ve ideal değerlere sahip olan LinkForce simanın, özellikle Initial LiSi cam seramiği bağladığı gruplarda nispeten düşük bağlanma dayanımı dikkat çekicidir. Kompozit rezin yapıştırma simanlarının doldurucu içeriği ve kimyasal yapıları, PDY'yi etkilediği gibi bağlanma dayanıklılığını da etkiler. Yakın tarihli bir çalışmada, yüksek doldurucu içeriğine sahip rezin esaslı yapıştırma simanlarının kullanıldığı gruplarda adeziv kopma oranlarının arttığı bildirilmiştir (Shokry et al., 2022). Initial LiSi materyalinin belirgin ışık soğurucu özelliğiyle birlikte değerlendirildiğinde, bu kombinasyonda en düşük bağlanma değerlerinin gözlenmiş olması olasıdır. Aynı cam seramik, Duo-Link siman ile kullanıldığında da benzer şekilde düşük bir bağlanma dayanımı (standart ışık uygulaması 5,00 mPA ve ön ışık uygulaması 5,60 mPA) göstermiştir; ancak bu değer LinkForce'tan bir miktar daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgular, gözlenen düşük bağlanma dayanımının esas olarak Initial LiSi seramiğin optik özelliklerinden kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Nitekim LinkForce siman, Cerasmart 270 ile kombine edildiğinde, özellikle ön ışık uygulaması gibi avantajlı bir protokol altında, en yüksek bağlanma değerlerini (11,37 mPA) sunmuştur. Cerasmart 270'in Duo-Link siman ile kombine edildiği gruplarda elde edilen MMBD değerlerinin (standart ışık uygulamasında 8,84 MPa, ön ışık uygulamasında ise 9,40 Mpa) LinkForce ile Cerasmart 270 arasında elde edilen bağlanma dayanımı değerlerine oldukça yakın olması, çalışmamızda kullanılan iki farklı seramiğin, iki farklı dual polimerize rezin simana kıyasla daha belirgin bir etki yarattığını ortaya koymaktadır.

Bir çalışmada, Duo-Link'te MDP olmadığı ve inorganik doldurucu oranı daha düşük olduğu için (%61.9), polimerizasyon sırasında daha fazla büzülme ve bağlanma ara yüzünde daha fazla gerilim olduğu ileri sürülmüştür (Kılıç, 2016).

G-CEM LinkForce'un kompozisyonunda yüksek molekül ağırlıklı monomerler (Bis-GMA) ile UDMA ve Bis-MEPP gibi viskoz monomerler bulunur (GC, 2019). Duo-Link Universal ise hem baz hem de katalizör bileşeninde Bis-GMA yanında daha düşük moleküllü TEGDMA içerir (Shokry vd., 2022). Literatürde UDMA bazlı rezinlerin, aynı oranda Bis-GMA içeren rezinlerden daha yüksek çift bağ dönüşümü ve daha yoğun çapraz bağlı polimer ağ oluşturduğu; buna karşın yüksek Bis-GMA içeriğinin ham molekül kalıntılığıdır (Floyd & Dickens, 2006). Başka bir çalışmada da lityum disilikat seramikler için en önemli bağlanma faktörü siman içerikli Bis-GMA olduğu bulunmuştur (Liu vd., 2025). Bu bulgular ışığında, LinkForce'un ağırlıklı olarak Bis-GMA/UDMA formülasyonu Duo-Link'ten farklı bir polimer ağı sağlar; örneğin Duo-Link'teki TEGDMA hidrofilikliğe izin vererek polimerizasyonu kolaylaştırırken, LinkForce'un hidrofobik bileşenleri daha sert ve az esnek bir polimer ağı oluşturabilir (Floyd & Dickens, 2006; Liu vd.,

2025). Bu durum, LinkForce'un cam seramiğin mikro-porozitelerine nüfuz etme ve etkin kimyasal bağ oluşturma kapasitesini azaltabilir.

LinkForce %62 hacimsel doldurucu içeriği ile yüksek doldurucu oranına sahiptir (GC, 2019). Yüksek dolgu, genellikle simanın sertliğini ve erken çapraz bağlanmayı artırırken, viskoziteyi de yükseltebilir. Aslında LinkForce'un teknik el kitabında optimal akışkanlık sağlanıp sadece 4 µm film kalınlığı elde edildiği bildirilmektedir (GC, 2019) ancak yüksek dolgu oranı uygulamada simanın mikro oyuklara nüfuz yeteneğini bir miktar sınırlayabilir. Duo-Link de yüksek dolguya sahip olmakla birlikte üretici dokümanları özellikle "düşük film kalınlığı" ve "ulaşılabilir yüksek dönüşüm" özelliklerini vurgulamaktadır (Bisco, 2025). Yani her iki siman da ince film kalınlığı sunmaya çalışsa da, LinkForce'un sert, viskoz yapısı mikro uyum üzerinde olumsuz etkili olabilir.

Dual polimerize rezin simanlarda, ışıkla başlatılan polimerizasyonun ardından kimyasal polimerizasyon süreci de devreye girer. Bu durum, başlangıçta PDY değerlerinde gözlenen küçük farklılıkların, 24 saatlik distile suda bekletme sonrası telafi edildiğini düşündürmektedir. Kaymaz ve Nalbant (Kaymaz Aslı & Nalbant Asude D., 2021) tarafından yapılan derleme çalışmasında da, dual polimerize rezin simanlarda ışıkla başlatılan polimerizasyonun ardından kimyasal polimerizasyonun yavaş bir şekilde sürdüğü ve polimerizasyonun 24 saat içinde tamamlandığı belirtilmiştir. Çalışmada şu ifade yer almaktadır: "Işık uygulandıktan sonra, kimyasal polimerizasyon yavaş devam eder ve polimerizasyon 24 saat içinde tamamlanır". Bu bulgular doğrultusunda, çalışmamızda kullanılan simanların da tam polimerizasyonlarını 24 saat içerisinde tamamladığı ve bu sürecin ardından yapılan MMBD (mikro makaslama bağlanma dayanımı) testlerinde, aynı materyaller kullanılıp sadece ışık uygulama işlemi (ön ışık sonrası standart ışık veya sadece standart ışık) farklı olduğu zaman anlamlı fark gözlenmemesi, bu dengeleyici etkiye bağlı olabilir.

Çalışmamızda test edilen ikinci sıfır hipotez, 'iki farklı indirekt restoratif materyal ve iki farklı dual polimerize kompozit rezin siman kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalarda, yalnızca standart ışık ile polimerizasyon ve ön ışığı takiben uygulanan standart ışık arasında elde edilen MMBD değerleri açısından anlamlı bir fark bulunmamaktadır' ifadesi, elde edilen bulgular doğrultusunda kabul edilmiştir. Bu hipotez yalnızca ışık uygulama protokolünün etkisini değerlendirmekte olup, materyal ve siman türleri değiştiğinde MMBD değerlerinde anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, ışık protokolü sabit tutulduğunda, bağlanma dayanıklılığı

üzerinde esas belirleyici değişkenin kullanılan restoratif materyal ve rezin siman kombinasyonu olduğu ifade edilir.

Araştırmaların bulguları bir arada değerlendirildiğinde, kısa süreli ön ışık uygulaması sonrasında uygun bir nihai ışık polimerizasyonu yapılmasının, rezin simanın PDY veya mekanik dayanımını olumsuz etkilemediği anlaşılr ve bu sonuçlar literatür ile uyumludur (Chen vd., 2016; B. Yang vd., 2020). Diğer çalışmalarda kullanılan dual polimerize kompozit rezin yapıştırma simanlarda bu uygulama, polimerizasyon derinliğinde veya Vickers yüzey sertlik testinde hafif iyileşme sağladığını gösterir (Stegall vd., 2017b) ve bu da sertliğin PDY ile ve dolayısıyla mekanik özellikler ile bağlantılı olduğu göz önünde bulundurulduğu zaman, sonuçlarımızı destekler niteliktedir.

Öte yandan, ışıkla polimerizasyonu birkaç dakika geciktirmenin kimyasal polimerizasyonun öncesinde ilerlemesine olanak tanıyarak daha yüksek polimerizasyon derecesi ve daha düşük büzülme stresi sağlayabileceği bildirilmektedir. Bu iki aşamalı polimerizasyon tekniği, restorasyonun tam oturmasına yardımcı olurken (B. Yang vd., 2020), 24 saat sonraki MMBD değerlerinde fark yaratmaz. Farklı siman tipleri arasında küçük farklılıklar olsa da genel eğilim, ön ışık ardından standart ışık uygulamasının güvenli ve etkin olduğudur (Y.-S. Kim vd., 2020; Stegall vd., 2016).

Sonuç olarak, adeziv ve rezin siman uygulamalarında kısa süreli ön ışık tekniği, ardından standart ışık uygulaması ile doğru şekilde uygulandığında polimerizasyon verimini düşürmemekte, aksine işlem kolaylığı sağlarken kabul edilebilir veya eşdeğer bir polimerizasyon düzeyi sunmaktadır. Ancak nihai ışığın yeterli doz ve süreyle uygulanması şarttır; zira polimerizasyon derecesindeki eksiklik, materyalin fiziksel özelliklerini ve uzun dönem klinik başarısını olumsuz etkileyebilir (Aldhafyan vd., 2022; Jang vd., 2017).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında elde edilen verilere göre:

1. Kısa süreli ön ışık uygulaması sonrası gerçekleştirilen standart ışık uygulaması, hem polimerizasyon dönüşüm yüzdesi (PDY) hem de modifiye makaslama bağlanma dayanımı (MMBD) açısından, yalnızca standart ışık uygulamasına kıyasla anlamlı bir farklılık sergilemedi. Bu bulgu, kısa süreli ön ışık uygulama tekniğinin daimi simantasyon aşamasında klinik işlem kolaylığı sağlarken polimerizasyon etkinliğini olumsuz etkilemez. Dolayısıyla ışık uygulama tekniği, klinisyenin tercihinine bağlı olarak güvenli şekilde uygulanabilir.
2. İndirekt restoratif materyallerin, yapılarındaki farklılığa bağlı olarak ışık geçirgenliği, dual polimerize simanların PDY ve bağlanma dayanımı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Özellikle Initial LiSi cam seramiğin Cerasmart 270 hibrit seramik indirekt restoratif materyale kıyasla daha fazla ışık absorbe etmesi, 2 mm kalınlıkta PDY değerlerinin düşmesine neden olur. Bu nedenle, kalın ve opak restorasyon uygulamalarında adeziv simantasyon başarısı için kullanılan materyalin optik özellikleri dikkate alınmalıdır.
3. Rezin esaslı yapıştırma siman materyallerinin kompozisyonu, özellikle doldurucu oranı, başlatıcı sistemi ve monomer yapısı, polimerizasyon etkinliği üzerinde etkilidir. LinkForce dual polimerize kompozit yapıştırma simanı, yüksek doldurucu oranı ve amin içermeyen başlatıcı sistemi sayesinde, özellikle ön ışık uygulama sonrası, PDY açısından daha başarılı sonuçlar sergiledi. Ancak viskozitesinin artması, bazı seramik restoratif materyaller ile bağlanma başarısını sınırlayabilir.
4. Bağlanma dayanımı yalnızca PDY'ye değil; seramik restorasyon iç yüzey hazırlığı, kullanılan bağlayıcı ajan, yapıştırma simanının akışkanlığı ve arayüzde oluşan gerilim gibi çoklu faktörlere bağlıdır. Initial LiSi ile düşük MMBD değerleri, hem seramik yüzeyin sınırlı mikropürüzlülüğü hem de yüksek ışık absorpsiyonu nedeniyle oluşabilecek polimerizasyon eksikliği ile ilişkilidir. Bu durum, simantasyon sürecinde materyale özgü yüzey işlemlerinin önemini vurgular.
5. Klinik uygulamalarda indirekt restorasyonların simantasyon aşamasında kısa süreli ön ışık protokolü tercih edilebilir. Ancak bu tekniğin ardından mutlaka üretici önerilerine uygun sürede ve şiddette polimerizasyon yapılmalı; siman ve seramik kombinasyonları seçilirken optik özellikler, yüzey işlem protokolleri ve materyal viskozitesi birlikte değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abraham, D. A., A. K. A., & Farah TabasumM, M. S. (2023). Exploring Innovations in Resin Cement Technology for Prosthodontic Applications. *International Journal of Innovative Science and Research Technology* (C. 8, Sayı 10). www.ijisrt.com
- Al Hamad, K. Q., Al-Rashdan, B. A., Ayyad, J. Q., Al Omrani, L. M., Sharoh, A. M., Al Nimri, A. M., & Al-Kaff, F. T. (2022). Additive Manufacturing of Dental Ceramics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Prosthodontics* (C. 31, Sayı 8, ss. e67-e86). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jopr.13553>
- Al Hamad, K. Q., Al-Rashdan, B. A., Ayyad, J. Q., Al Omrani, L. M., Sharoh, A. M., Al Nimri, A. M., & Al-Kaff, F. T. (2022). Additive Manufacturing of Dental Ceramics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Prosthodontics* (C. 31, Sayı 8, ss. e67-e86). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jopr.13553>
- Aldhafyan, M., Silikas, N., & Watts, D. C. (2022). Influence of curing modes on conversion and shrinkage of dual-cure resin-cements. *Dental Materials*, 38(1), 194-203. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.12.004>
- Alhomuod, M., Phark, J. H., & Duarte, S. (2023). Bond strength to different CAD/CAM lithium disilicate reinforced ceramics. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(1), 129-137. <https://doi.org/10.1111/jerd.12984>
- Almeida, C. C., & Mothé, C. G. (2009). Characterization of dental composites by thermal analysis, infrared spectroscopy and scanning electron microscopy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 97(2), 585-589. <https://doi.org/10.1007/s10973-009-0359-y>
- Almeida, R., Manarte-Monteiro, P., Domingues, J., Falcão, C., Herrero-Climent, M., Ríos-Carrasco, B., & Lemos, B. F. (2021). High-power led units currently available for dental resin-based materials—a review. *Polymers* (C. 13, Sayı 13). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym13132165>
- Alovisi, M., Scotti, N., Comba, A., Manzon, E., Farina, E., Pasqualini, D., Michelotto Tempesta, R., Breschi, L., & Cadenaro, M. (2018). Influence of polymerization time on properties of dual-curing cements in combination with high translucency monolithic zirconia. *Journal of Prosthodontic Research*, 62(4), 468-472. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2018.06.003>
- AlShaafi, M. M. (2016). Effects of different temperatures and storage time on the degree of conversion and microhardness of resin-based composites. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 17(3), 217-223. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1830>
- Andreucci, A. C., Baroudi, K., Freitas, M. R., Amaral, M., Aguiar, F. B., Zanatta, R. F., & Liporoni, P. C. S. (2023). Color Stability and Degree of Conversion of Light-cured Resin Cements. *The Open Dentistry Journal*, 17(1). <https://doi.org/10.2174/18742106-v17-e230518-2023-19>
- Aral, M., & Keskin, Y. (2024). Diş Hekimliğinde 3 Boyutlu-Eklemeli Üretim: Derleme 3D-Additive Manufacturing in Dentistry: A Review. *Journal of International Dental Sciences*. 10(1), 1-11 <https://doi.org/10.21306/dishekimligi.1402113>

- Aromaa, M. K., & Vallittu, P. K. (2018). Delayed post-curing stage and oxygen inhibition of free-radical polymerization of dimethacrylate resin. *Dental Materials*, 34(9), 1247-1252. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.06.019>
- Asmussen, E., & Peutzfeldt, A. (2003). Two-step curing: influence on conversion and softening of a dental polymer. *Dental Materials*, 19(6), 466-470. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(02\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(02)00091-X)
- Avram, L. T., Galațanu, S.-V., Opreș, C., Pop, C., & Jivănescu, A. (2022). Effect of Different Etching Times with Hydrofluoric Acid on the Bond Strength of CAD/CAM Ceramic Material. *Materials*, 15(20), 7071. <https://doi.org/10.3390/ma15207071>
- Aydin, N., Uslu Kavrama, F., & Kocak, E. F. (2024). Effect of thickness on the translucency of machinable and printable ceramic-glass polymer materials. *Journal of Dentistry*, 147, 105129. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105129>
- Bedia, S., & Sibel, D. (2024). Additive Manufacturing Techniques Used in Prosthetic Treatments. *International Journal of Oral and Dental Health*, 10(1). <https://doi.org/10.23937/2469-5734/1510163>
- Beltrami, ÍM., de Lima, CC., do Nascimento, CT., Gonçalves, JG., Azarias, JS., Bortoleto, AL., Goiato, MC., & dos Santos, DM. (2024). Hybrid Ceramics Cementation Protocols: Scope Review. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e1138-e1150. <https://doi.org/10.4317/jced.61733>
- Benalcázar-Jalkh, E. B., Bergamo, E. T. P., Campos, T. M. B., Coelho, P. G., Sailer, I., Yamaguchi, S., Alves, L. M. M., Witek, L., Tebcherani, S. M., & Bonfante, E. A. (2023). A Narrative Review on Polycrystalline Ceramics for Dental Applications and Proposed Update of a Classification System. *Materials*, 16(24), 7541. <https://doi.org/10.3390/ma16247541>
- Bento, V. A. A., de Souza Rolim, P. A., de Matos, J. R. V., de Araújo Lemos, C. A., Pellizzer, E. P., & Guiotti, A. M. (2024). Does the surface conditioning of glass and hybrid ceramics with self-etching silane present a bond strength similar to that of conventional bonding? Systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Journal of Prosthodontics*. <https://doi.org/10.1111/jopr.13940>
- Bisco. (2025). Duo-Link Universal Luting Cement. <https://www.bisco.com/duolink-universal-resin-luting-cement/>
- Blatz, M. B., & Conejo, J. (2019). The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dental Clinics of North America* (C. 63, Sayı 2, ss. 175-197). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.11.002>
- Bootharaju, M. S., Sinatra, L., & Bakr, O. M. (2016). Distinct metal-exchange pathways of doped Ag25 nanoclusters. *Nanoscale*, 8(39), 17333–17339. <https://doi.org/10.1039/c6nr06353>
- Cadenaro, M., Josic, U., Maravić, T., Mazzitelli, C., Marchesi, G., Mancuso, E., Breschi, L., & Mazzoni, A. (2023). Progress in Dental Adhesive Materials. *Journal of Dental Research*, 102(3), 254-262. <https://doi.org/10.1177/00220345221145673>
- Campos, F., Almeida, C., Rippe, M., de Melo, R., Valandro, L., & Bottino, M. (2016). Resin Bonding to a Hybrid Ceramic: Effects of Surface Treatments and Aging. *Operative Dentistry*, 41(2), 171-178. <https://doi.org/10.2341/15-057-L>

- Carek, A., Dukaric, K., Miler, H., Marovic, D., Tarle, Z., & Par, M. (2022). Post-Cure Development of the Degree of Conversion and Mechanical Properties of Dual-Curing Resin Cements. *Polymers*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/polym14173649>
- Carneiro, Paulart, M. M., Correr, G. M., da Cunha, L. F., Diógenes, A. N., & Gonzaga, C. C. (2023). Translucency parameters of different CAD/CAM ceramics for monolithic restorations. *Ceramica*, 69(391), 248-253. <https://doi.org/10.1590/0366-69132023693913476>
- Cattell, M. J., Chadwick, T. C., Knowles, J. C., Clarke, R. L., & Samarawickrama, D. Y. D. (2006). The nucleation and crystallization of fine grained leucite glass-ceramics for dental applications. *Dental Materials*, 22(10), 925-933. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.10.003>
- Chafii, A., Wahid, H. O., & Tissent, R. (2025). Indication of Glass-Ceramics Enriched with Lithium Disilicates: Systematic Review of the Literature. *European Journal of Dental and Oral Health*, 6(2), 8-19. <https://doi.org/10.24018/ejdent.2025.6.2.350>
- Chen, L., Suh, B. I., Gleave, C., Choi, W. J., Hyun, J., & Nam, J. (2016). Effects of light-, self-, and tack-curing on degree of conversion and physical strength of dual-cure resin cements. *American journal of dentistry*, 29(2), 67-70.
- David-Pérez, M., Ramírez-Suárez, J. P., Latorre-Correa, F., & Agudelo-Suárez, A. A. (2022). Degree of conversion of resin-cements (light-cured/dual-cured) under different thicknesses of vitreous ceramics: systematic review. *Journal of Prosthodontic Research*, 66(3), 385-394. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_20_00090
- De Souza, G. M., Braga, R. R., Cesar, P. F., & Lopes, G. C. (2015). Correlation between clinical performance and degree of conversion of resin cements: A literature review. *Journal of Applied Oral Science*, 23(4), 358-368. <https://doi.org/10.1590/1678-775720140524>
- Delgado, A. H. S., & Young, A. M. (2021). Methacrylate peak determination and selection recommendations using ATR-FTIR to investigate polymerisation of dental methacrylate mixtures. *Plos One*, 16(6), e0252999. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252999>
- Dikici, B., Türkeş Başaran, E., & Can, E. (2025). Does the Type of Resin Luting Material Affect the Bonding of CAD/CAM Materials to Dentin? *Dentistry Journal*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/dj13010041>
- Doğu Kaya, B., Öztürk, S., Şenol, A. A., Kahramanoğlu, E., Yılmaz Atalı, P., & Tarçın, B. (2024). Effect of CAD-CAM block thickness and translucency on the polymerization of luting materials. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05171-z>
- Donmez, M. B., Okutan, Y., & Yucel, M. T. (2020). Effect of prolonged application of single-step self-etching primer and hydrofluoric acid on the surface roughness and shear bond strength of CAD/CAM materials. *European Journal of Oral Sciences*, 128(6), 542-549. <https://doi.org/10.1111/eos.12747>
- Drumond, A. C., Paloco, E. A., Berger, S. B., González, A. H., Carreira, A. J., D'Alpino, P. H., Tonetto, M. R., Souza, L. A., & Guiraldo, R. D. (2020). Effect of two processing techniques used to manufacture lithium disilicate ceramics on the degree of conversion and microshear bond strength of resin cement. *Acta odontologica latinoamericana : AOL*, 33(2), 98.

- Duman, A. N., Cevik, P., & Doğan, A. (2024). The Effect of the Resin Type and Filling Placement Techniques on the Degree of Conversion of Various Resin-Based Composites. *Applied Sciences*, 14(23), 11215. <https://doi.org/10.3390/app142311215>
- El-Damanhoury, H. M., A. Elsahn, N., Sheela, S., & Gaintantzopoulou, M. D. (2021). Adhesive luting to hybrid ceramic and resin composite CAD/CAM Blocks:Er:YAG Laser versus chemical etching and micro-abrasion pretreatment. *Journal of Prosthodontic Research*, 65(2), 225-234. https://doi.org/10.2186/jpr.JPOR_2020_50
- Elsherbini, A., Fathy, S. M., Al-Zordk, W., Özcan, M., & Sakrana, A. A. (2025). Mechanical Performance and Surface Roughness of Lithium Disilicate and Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Ceramics Before and After Exposure to Acidic Challenge. *Dentistry Journal*, 13(3), 117. <https://doi.org/10.3390/dj13030117>
- Ezgi, S., & Gonca, B. K. Z. (2024). 3D-Printed Permanent Resin Crowns on Pre-Molar and Molar Teeth; Two-Year Results of a Prospective Clinical Study. *The International Journal of Prosthodontics*, 1-28. <https://doi.org/10.11607/ijp.9200>
- Faria-e-Silva, A. L., & Pfeifer, C. S. (2020). Development of dual-cured resin cements with long working time, high conversion in absence of light and reduced polymerization stress. *Dental Materials*, 36(10), e293-e301. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.06.005>
- Fidalgo-Pereira, R., Carvalho, Ó., Catarino, S. O., Henriques, B., Torres, O., Braem, A., & Souza, J. C. M. (2023). Effect of inorganic fillers on the light transmission through traditional or flowable resin-matrix composites for restorative dentistry. *Clinical Oral Investigations*, 27(9), 5679-5693. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05189-7>
- Flávio Reginato, V., Boccardi, S. T., Bucco, Y., Feitosa, V. P., Bacchi, A., & Consani, R. L. X. (2022). Bond Strength to Dentine and Degree of Conversion of Adhesive Systems. *European Journal of Dental and Oral Health*, 3(4), 1-6. <https://doi.org/10.24018/ejdent.2022.3.4.206>
- Floyd, C. J. E., & Dickens, S. H. (2006). Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. *Dental Materials*, 22(12), 1143-1149. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.10.009>
- Fouquet, V., Dantagnan, C. A., Abdel-Gawad, S., Dursun, E., Attal, J. P., & François, P. (2023). In vitro shear bond strength over zirconia and titanium alloy and degree of conversion of extraoral compared to intraoral self-adhesive resin cements. *BDJ Open*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41405-023-00178-0>
- Fu, L., Engqvist, H., & Xia, W. (2020). Glass-ceramics in dentistry: A review. *Çinde Materials (C. 13, Sayı 5). MDPI AG*. <https://doi.org/10.3390/ma13051049>
- Furuse, A. Y., Mondelli, J., & Watts, D. C. (2011). Network structures of Bis-GMA/TEGDMA resins differ in DC, shrinkage-strain, hardness and optical properties as a function of reducing agent. *Dental Materials*, 27(5), 497-506. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.02.007>
- Ganjkar, H. (2017). Evaluation of the Effect of Porcelain Laminate Thickness on Degree of Conversion of Light Cure and Dual Cure Resin Cements Using FTIR Evaluation of the Effect of Porcelain Laminate Thickness on Degree of Conversion of Light Cure and Dual Cure resin Cements Using Introduction Advances in dentistry enable more conservative esthetic. *J Dent Shiraz Univ Med Sci (C. 18, Sayı 1)*.

- GC. (2019). G-CEM LinkForce from GC Technical Manual. https://www.gc.dental/europe/sites/europe.gc.dental/files/products/downloads/gcemlinkforce/manual/1/MAN_G-CEM_LinkForce_Technical_Manual_en.pdf
- Ghavami-Lahiji, M., Firouzmanesh, M., Bagheri, H., Jafarzadeh Kashi, T. S., Razazpour, F., & Behroozibakhsh, M. (2018). The effect of thermocycling on the degree of conversion and mechanical properties of a microhybrid dental resin composite. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 43(2). <https://doi.org/10.5395/rde.2018.43.e26>
- Gomes, C., Martins, F., Reis, J. A., Maurício, P. D., & Ramírez-Fernández, M. P. (2023). Color Assessment of Feldspathic Ceramic with Two Different Thicknesses, Using Multiple Polymeric Cements. *Polymers*, 15(2), 397. <https://doi.org/10.3390/polym15020397>
- Gonçalves, L., Filho, J. D. N., Guimarães, J. G. A., Poskus, L. T., & Silva, E. M. (2008). Solubility, salivary sorption and degree of conversion of dimethacrylate-based polymeric matrixes. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 85B(2), 320-325. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30949>
- Habib, E., & Zhu, X. X. (2018). Photo-calorimetry method optimization for the study of light-initiated radical polymerization of dental resins. *Polymer*, 135, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.12.008>
- Hardan, L., Bourgi, R., Hernández-Escamilla, T., Piva, E., Devoto, W., Lukomska-Szymanska, M., & Cuevas-Suárez, C. E. (2024). Color stability of dual-cured and light-cured resin cements: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Journal of Prosthodontics* (C. 33, Sayı 3, ss. 212-220). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jopr.13757>
- Hasanain, F. A., & Nassar, H. M. (2021). Utilizing light cure units: A concise narrative review. İçinde *Polymers* (C. 13, Sayı 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym13101596>
- Hass, V., Dobrovolski, M., Zander-Grande, C., Martins, G. C., Gordillo, L. A. A., Rodrigues Accorinte, M. de L., Gomes, O. M. M., Loguercio, A. D., & Reis, A. (2013). Correlation between degree of conversion, resin–dentin bond strength and nanoleakage of simplified etch-and-rinse adhesives. *Dental Materials*, 29(9), 921-928. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.05.001>
- Heboyan, A., Vardanyan, A., Karobari, M. I., Marya, A., Avagyan, T., Tebyaniyan, H., Mustafa, M., Rokaya, D., & Avetisyan, A. (2023). Dental Luting Cements: An Updated Comprehensive Review. *Molecules* (C. 28, Sayı 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules28041619>
- Hu, M., Weiger, R., & Fischer, J. (2016). Comparison of two test designs for evaluating the shear bond strength of resin composite cements. *Dental Materials*, 32(2), 223-232. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.11.023>
- Hurle, K., Lubauer, J., Belli, R., & Lohbauer, U. (2022). On the assignment of quartz-like LiAlSi₂O₆ - SiO₂ solid solutions in dental lithium silicate glass-ceramics: Virgilite, high quartz, low quartz or stuffed quartz derivatives? *Dental Materials*, 38(9), 1558-1563. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.07.009>
- Ille, C.-E., Jivănescu, A., Pop, D., Stoica, E. T., Flueraș, R., Talpoș-Niculescu, I.-C., Cosoroabă, R. M., Popovici, R.-A., & Olariu, I. (2025). Exploring the Properties and Indications of Chairside CAD/CAM Materials in Restorative Dentistry. *Journal of Functional Biomaterials*, 16(2), 46. <https://doi.org/10.3390/jfb16020046>

- Ivoclar Vivadent. (2019). Special feature Ivocerin ®-a milestone in composite technology. www.ivoclarvivadent.com
- Jain, L., Mehta, D., Meena, N., & Gupta, R. (2018). Influence of light energy density, composite type, composite thickness, and postcuring phase on degree of conversion of bulk-fill composites. *Contemporary Clinical Dentistry*, 9(5), 147. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_169_18
- James, V., Madhana Madhubala, M., Devarajan, S. S., Mahalaxmi, S., & Sathyakumar, S. (2021). Evaluation of Degree of Conversion, Resin-Dentin Bond Strength, and Durability of Polydopamine Incorporated Total Etch Adhesive System. *Frontiers in Dentistry*. <https://doi.org/10.18502/fid.v17i35.5199>
- Jang, Y., Ferracane, J., Pfeifer, C., Park, J., Shin, Y., & Roh, B. (2017). Effect of Insufficient Light Exposure on Polymerization Kinetics of Conventional and Self-adhesive Dual-cure Resin Cements. *Operative Dentistry*, 42(1), E1-E9. <https://doi.org/10.2341/15-278-L>
- Jayawardane, H., Davies, I. J., Gamage, J. R., John, M., & Biswas, W. K. (2023). Sustainability perspectives – a review of additive and subtractive manufacturing. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100015>
- Jiang, Y., Zhang, C., Xu, J., Xu, J., Zhan, X. Q., Ma, N., & Tsai, F. C. (2024). An overview of dental glass–ceramics: From material design to the manufacturing process. *International Journal of Ceramic Engineering and Science* (C. 6, Sayı 4). <https://doi.org/10.1002/ces2.10224>
- Jun, M.-K., Kim, J.-W., & Ku, H.-M. (2025). Three-Dimensional Printing in Dentistry: A Scoping Review of Clinical Applications, Advantages, and Current Limitations. *Oral*, 5(2), 24. <https://doi.org/10.3390/oral5020024>
- Jung, S., Moser, M. M., Kleinheinz, J., & Happe, A. (2021). Biocompatibility of Lithium Disilicate and Zirconium Oxide Ceramics with Different Surface Topographies for Dental Implant Abutments. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14), 7700. <https://doi.org/10.3390/ijms22147700>
- Kaymaz Aslı, & Nalbant Asude D. (2021). Rezin Simanlar ve Kullanım Alanları. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*. 11(1). 71-77 <https://doi.org/10.54617/adoklinikbilimler.927644>
- Kılıç, K. (2016). Effects of Two Luting Agents and Various Specimen Thicknesses on The push-Out Bond Strength of Fibre Posts to Root Canal Dentine. *International Journal of Dentistry and Oral Health*, 2(3). <https://doi.org/10.16966/2378-7090.190>
- Kim, M.-J., Kim, K.-H., Kim, Y.-K., & Kwon, T.-Y. (2013). Degree of conversion of two dual-cured resin cements light-irradiated through zirconia ceramic disks. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 5(4), 464. <https://doi.org/10.4047/jap.2013.5.4.464>
- Kim, Y.-S., Choi, S.-H., Lee, B.-N., Hwang, Y.-C., Hwang, I.-N., Oh, W.-M., Ferracane, J., & Chang, H.-S. (2020). Effect of Tack Cure on Polymerization Shrinkage of Resin-based Luting Cements. *Operative Dentistry*, 45(4), E196-E206. <https://doi.org/10.2341/19-159-L>
- Klein, P., Spitznagel, F. A., Zembic, A., Prott, L. S., Pieralli, S., Bongaerts, B., Metzendorf, M., Langner, R., & Gierthmuehlen, P. C. (2025). Survival and Complication Rates of Feldspathic, Leucite-Reinforced, Lithium Disilicate and Zirconia Ceramic Laminate Veneers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 37(3), 601-619. <https://doi.org/10.1111/jerd.13351>

- Kowalska, A., Sokołowski, J., Szykowska-Jóźwik, M. I., Gozdek, T., Kopacz, K., & Bociong, K. (2022). Can TPO as Photoinitiator Replace “Golden Mean” Camphorquinone and Tertiary Amines in Dental Composites? Testing Experimental Composites Containing Different Concentration of Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphine Oxide. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19), 11594. <https://doi.org/10.3390/ijms231911594>
- Laborie, M., Naveau, A., & Menard, A. (2024). CAD-CAM resin-ceramic material wear: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(5), 812-818. [10.1016/j.prosdent.2022.01.027](https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.01.027)
- Lassila, L., Garoushi, S., Mangoush, E., Vallittu, P. K., & Säilynoja, E. (2024). Assessing the Efficacy of Novel Fiber-Reinforced Dual-Cure Luting Resins. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 16(3). <https://doi.org/10.4317/jced.61396>
- Lee, H.-Y., Han, G.-J., Chang, J., & Son, H.-H. (2017). Bonding of the silane containing multi-mode universal adhesive for lithium disilicate ceramics. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 42(2), 95. <https://doi.org/10.5395/rde.2017.42.2.95>
- Leung, G. K.-H., Wong, A. W.-Y., Chu, C.-H., & Yu, O. Y. (2022). Update on Dental Luting Materials. *Dentistry Journal*, 10(11), 208. <https://doi.org/10.3390/dj10110208>
- Li, Z., Yan, X., Toufani, N., Sano, H., & Fu, J. (2024). Curing modes affects micro-tensile bond strength and durability of dual curing resin cements to dentin. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1511099>
- Ling, L., Chen, Y., & Malyala, R. (2024). Assessment of Degree of Conversion and Volumetric Shrinkage of Novel Self-Adhesive Cement. *Polymers*, 16(5), 581. <https://doi.org/10.3390/polym16050581>
- Ling, L., Ma, Y., & Malyala, R. (2021). A novel CAD/CAM resin composite block with high mechanical properties. *Dental Materials*, 37(7), 1150-1155. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.03.006>
- Liu, J., Tu, S., Wang, M., Chen, D., Chen, C., & Xie, H. (2025). The influence of different factors on the bond strength of lithium disilicate-reinforced glass-ceramics to Resin: a machine learning analysis. *BMC Oral Health*, 25(1), 256. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05590-6>
- Lopes, C. de C. A., Rodrigues, R. B., Silva, A. L. F. e, Simamoto Júnior, P. C., Soares, C. J., & Novais, V. R. (2015). Degree of Conversion and Mechanical Properties of Resin Cements Cured Through Different All-Ceramic Systems. *Brazilian Dental Journal*, 26(5), 484-489. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201300180>
- Lopez, C., Nizami, B., Robles, A., Gummadi, S., & Lawson, N. C. (2024). Correlation between Dental Composite Filler Percentage and Strength, Modulus, Shrinkage Stress, Translucency, Depth of Cure and Radiopacity. *Materials*, 17(16), 3901. <https://doi.org/10.3390/ma17163901>
- M Mohammed, H., J Selivany, B., & A. Suliman, A. (2022). Degree of conversion and bond strength of resin cements through different thicknesses of lithium disilicate ceramic using different curing modes. *Iraq Medical Journal*, 6(4). <https://doi.org/10.22317/imj.v6i4.1213>
- Mahrous, A. I., Salama, A. A., Shabaan, A. A., Abdou, A., & Radwan, M. M. (2023). Color stability of two different resin matrix ceramics: randomized clinical trial. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03364-6>

- Maia, T. P., Henrique Vilhena da Silva, M., Vieira Takeuchi, E., Bemerguy Alves, E., & Martins Silva, C. (2021). Assessment of Degree of Conversion and Knoop Microhardness of Different Resin Cementing Agents. *The Open Dentistry Journal*, 15(1), 612-616. <https://doi.org/10.2174/1874210602115010612>
- Maletin, A., Knežević, M. J., Koprivica, D. Đ., Veljović, T., Puškar, T., Milekić, B., & Ristić, I. (2023). Dental Resin-Based Luting Materials—Review. *Polymers*, 15(20), 4156. <https://doi.org/10.3390/polym15204156>
- Maletin, A., Ristic, I., Veljovic, T., Ramic, B., Puskar, T., Jeremic-Knezevic, M., Djurovic Koprivica, D., Milekic, B., & Vukoje, K. (2022). Influence of Dimethacrylate Monomer on the Polymerization Efficacy of Resin-Based Dental Cements—FTIR Analysis. *Polymers*, 14(2), 247. <https://doi.org/10.3390/polym14020247>
- Mangoush, E., Lassila, L., Vallittu, P. K., & Garoushi, S. (2021). Shear-bond strength and optical properties of short fiber-reinforced CAD/CAM composite blocks. *European Journal of Oral Sciences*, 129(5). <https://doi.org/10.1111/eos.12815>
- Maravić, T., Mazzitelli, C., Mancuso, E., Del Bianco, F., Josić, U., Cadenaro, M., Breschi, L., & Mazzoni, A. (2023). Resin composite cements: Current status and a novel classification proposal. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(7), 1085-1097. <https://doi.org/10.1111/jerd.13036>
- Maravic, T., Mazzitelli, C., Mayer-Santos, E., Mancuso, E., Gracis, S., Breschi, L., & Fuzzi, M. (2025). Current Trends for Cementation in Prosthodontics: Part 1—The Substrate. *Polymers* (C. 17, Sayı 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polym17050566>
- Marchesi, G., Piloni, A. C., Nicolin, V., Turco, G., & Di Lenarda, R. (2021). Chairside cad/cam materials: Current trends of clinical uses. *Biology* (C. 10, Sayı 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biology10111170>
- Marovic, D., Panduric, V., Tarle, Z., Ristic, M., Sariri, K., Demoli, N., Klaric, E., Jankovic, B., & Prskalo, K. (2013). Degree of conversion and microhardness of dental composite resin materials. *Journal of Molecular Structure*, 1044, 299-302. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2012.10.062>
- Mazzitelli, C., Maravic, T., Mancuso, E., Josic, U., Generali, L., Comba, A., Mazzoni, A., & Breschi, L. (2022). Influence of the activation mode on long-term bond strength and endogenous enzymatic activity of dual-cure resin cements. *Clinical Oral Investigations*, 26(2), 1683-1694. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04141-x>
- Motevasselian, F., Amiri, Z., Chiniforush, N., Mirzaei, M., & Thompson, V. (2019). In Vitro Evaluation of the Effect of Different Surface Treatments of a Hybrid Ceramic on the Microtensile Bond Strength to a Luting Resin Cement. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 10(4), 297-303. <https://doi.org/10.15171/jlms.2019.48>
- Munoz, A., Louca, C., & Vichi, A. (2025). Characterization of a Lithium Disilicate CAD/CAM Material with Firing Temperature-Controlled Translucency. *Materials*, 18(7), 1591. <https://doi.org/10.3390/ma18071591>
- Müller, J. A., Rohr, N., & Fischer, J. (2017). Evaluation of ISO 4049: water sorption and water solubility of resin cements. *European Journal of Oral Sciences*, 125(2), 141-150. <https://doi.org/10.1111/eos.12339>

- Novais, V. R., Rapaso, L. H. A., Miranda, R. R. de, Lopes, C. de C. A., Simamoto Junior, P. C., & Soares, C. J. (2017). Degree of conversion and bond strength of resin-cements to feldspathic ceramic using different curing modes. *Journal of Applied Oral Science*, 25(1), 61-68. <https://doi.org/10.1590/1678-77572016-0221>
- Oliveira, A. C. de A., Griza, S., de Moraes, R. R., & Faria-e-Silva, A. L. (2020). Effect of Filler Content and Waiting time Before Light-Curing on Mechanical Properties of Dual-Cured Cement. *Current Dentistry*, 2(1), 45-52. <https://doi.org/10.2174/2542579X01666190924180448>
- Pereira, CB., Magalhães, C., Lages, F., Ferreira, RC., da Silva, E., da Silveira, R., Corrêa, E., Fantini, C., & Moreira, A. (2021). Degree of conversion and microhardness of resin cements photoactivated through glass ceramic. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e1068-e1075. <https://doi.org/10.4317/jced.58630>
- Perković, V., Šimunović Aničić, M., Lughi, V., Pozzan, L., Meštrović, S., & Turco, G. (2023). Correlation of Shear Bond Strength and Degree of Conversion in Conventional and Self-Adhesive Systems Used in Orthodontic Bonding Procedures. *Biomedicines*, 11(5), 1252. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11051252>
- Pieger, S., Salman, A., & Bidra, A. S. (2014). Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(1), 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.01.005>
- Rathmann, F., Bömicke, W., Rammelsberg, P., & Ohlmann, B. (2017). Veneered zirconia inlay-retained fixed dental prostheses: 10-Year results from a prospective clinical study. *Journal of Dentistry*, 64, 68-72. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.06.008>
- Rexhepi, I., Santilli, M., D'Addazio, G., Tafuri, G., Manciocchi, E., Caputi, S., & Sinjari, B. (2023). Clinical Applications and Mechanical Properties of CAD-CAM Materials in Restorative and Prosthetic Dentistry: A Systematic Review. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(8), 431. <https://doi.org/10.3390/jfb14080431>
- Rueggeberg, F. A., & Caughman, W. F. (1993). The influence of light exposure on polymerization of dual-cure resin cements. *Operative dentistry*, 18(2), 48-55.
- Saati, K., Valizadeh, S., Anaraki, S. N., & Moosavi, N. (2021). Effect of aging on color stability of amine-free resin cement through the ceramic laminate veneer. *Dental research journal*, 18, 99. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.330880>
- Santos, M., Fidalgo-Pereira, R., Torres, O., Carvalho, O., Henriques, B., Özcan, M., & Souza, J. C. M. (2024). The impact of inorganic fillers, organic content, and polymerization mode on the degree of conversion of monomers in resin-matrix cements for restorative dentistry: a scoping review. *Clinical Oral Investigations* (C. 28, Sayı 8). <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05829-6>
- Saraswati, V., & Rao, S. (1992). Machinable mica-based glass-ceramic. *Journal Of Materials Science* (C. 27).
- Sebastian Horvath. (2017). Harmonious luting specific to the material: hybrid ceramics versus composites. *Dental Visionist*. <https://www1.dental-visionist.com/en/Harmonious-luting-specific-to-the-material-hybrid-ceramics-versus-composites-642.html?kategorie=1617>

- Shokry, M., Al-Zordk, W., & Ghazy, M. (2022). Retention strength of monolithic zirconia crowns cemented with different primer-cement systems. *BMC Oral Health*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02223-0>
- Silva, L. H. da, Lima, E. de, Miranda, R. B. de P., Favero, S. S., Lohbauer, U., & Cesar, P. F. (2017). Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Brazilian Oral Research*, 31(suppl 1). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0058>
- Soh, M. S., & Yap, A. U. J. (2004). Influence of curing modes on crosslink density in polymer structures. *Journal of Dentistry*, 32(4), 321-326. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.01.012>
- Stegall, D., Tantbirojn, D., Perdigao, J., & Versluis, A. (2016). Does Tack-Curing of Luting Cements Affect the Cure? ? *J Adhes Dent*, 19(3), 239-243. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a38410>
- Suganna, M., Kausher, H., Tarek Ahmed, S., Sultan Alharbi, H., Faraj Alsubaie, B., DS, A., Haleem, S., & Meer Rownaq Ali, A. B. (2022). Contemporary Evidence of CAD-CAM in Dentistry: A Systematic Review. *Cureus*, 14(11), E31686 <https://doi.org/10.7759/cureus.31687>
- Tanthanuch, S., & Kukiattrakoon, B. (2018). Degree of conversion and hardness of resin composite using various light curing units. *Songklanakarin Dent. J* (C. 6, Sayı 2).
- Tay, F. R., Suh, B. I., Pashley, D. H., Prati, C., Chuang, S.-F., & Li, F. (2003). Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and self-cured or dual-cured composites. Part II. Single-bottle, total-etch adhesive. *The journal of adhesive dentistry*, 5(2), 91-105.
- Teichmann, M., Göckler, F., Weber, V., Yildirim, M., Wolfart, S., & Edelhoff, D. (2017). Ten-year survival and complication rates of lithium-disilicate (Empress 2) tooth-supported crowns, implant-supported crowns, and fixed dental prostheses. *Journal of Dentistry*, 56, 65-77. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.10.017>
- Thakur, J., Parlani, S., Shivakumar, S., & Jajoo, K. (2023). Accuracy of marginal fit of an implant-supported framework fabricated by 3D printing versus subtractive manufacturing technique: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry* (C. 129, Sayı 2, ss. 301-309). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.05.010>
- Thiranukoon, P., Klaisiri, A., Sriamporn, T., Swasdison, S., & Thamrongananskul, N. (2025). Does Silane Application Affect Bond Strength Between Self-Adhesive Resin Cements and Feldspathic Porcelain? *Journal of Composites Science*, 9(2), 52. <https://doi.org/10.3390/jcs9020052>
- Tichy, A., Hosaka, K., Abdou, A., Nakajima, M., & Tagami, J. (2020). Degree of Conversion Contributes to Dentin Bonding Durability of Contemporary Universal Adhesives. *Operative Dentistry*, 45(5), 556-566. <https://doi.org/10.2341/19-165-L>
- Torbiak, A., Bebsch, M., Haimeur, A., Fernandes, A. C., Fiuza, C., & França, R. (2024). Enhancing Shear Bond Strength in Lithium Silicate Glass Ceramics: Surface Treatment Optimization for Reseating Protocols. *Crystals*, 14(10), 856. <https://doi.org/10.3390/cryst14100856>
- Turgut, S. (2020). Optical properties of currently used zirconia-based esthetic restorations fabricated with different techniques. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(1), 26-33. <https://doi.org/10.1111/jerd.12533>

- Ucuncu, M. K., Celiksoz, O., Sen, E., Yucel, Y. Y., & Dinc, B. (2024). Investigation of the Degree of Monomer Conversion in Dental Composites through Various Methods: An In Vitro Study. *Applied Sciences*, 14(11), 4406. <https://doi.org/10.3390/app14114406>
- Vichi, A., Zhao, Z., Mutahar, M., Paolone, G., & Louca, C. (2023). Translucency of Lithium-Based Silicate Glass–Ceramics Blocks for CAD/CAM Procedures: A Narrative Review. *Materials* (C. 16, Sayı 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ma16196441>
- Villalobos-Tinoco, J., Floriani, F., Rojas-Rueda, S., Mekled, S., Conner, C., Colvert, S., & Jurado, C. A. (2025). Enhancing Smile Aesthetics and Function with Lithium Disilicate Veneers: A Brief Review and Case Study. *Clinics and Practice*, 15(3), 66. <https://doi.org/10.3390/clinpract15030066>
- Watts, D. C. (2023). Light-curing dental resin-based composites: How it works and how you can make it work. *Frontiers in Dental Medicine* (C. 4). <https://doi.org/10.3389/fdmed.2023.1108316>
- Yan, Y. L., Kim, Y. K., Kim, K. H., & Kwon, T. Y. (2010). Changes in degree of conversion and microhardness of dental resin cements. *Operative Dentistry*, 35(2), 203-210. <https://doi.org/10.2341/09-174-L>
- Yang, B., Huang, Q., Holmes, B., Guo, J., Li, Y., Heo, Y., Chew, H. P., Wang, Y., & Fok, A. (2020). Influence of curing modes on the degree of conversion and mechanical parameters of dual-cured luting agents. *Journal of Prosthodontic Research*, 64(2), 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.06.002>
- Yang, C.-C., Ding, S.-J., Lin, T.-H., & Yan, M. (2020). Mechanical and optical properties evaluation of rapid sintered dental zirconia. *Ceramics International*, 46(17), 26668-26674. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.07.137>
- Yeow, J., Chapman, R., Gormley, A. J., & Boyer, C. (2018). Up in the air: oxygen tolerance in controlled/living radical polymerisation. *Chemical Society reviews*, 47(12), 4357-4387. <https://doi.org/10.1039/c7cs00587c>
- Yılmaz Atalı, P., Doğu Kaya, B., Manav Özen, A., Tarçın, B., Şenol, A. A., Tüter Bayraktar, E., Korkut, B., Bilgin Göçmen, G., Tağtekin, D., & Türkmen, C. (2022). Assessment of Micro-Hardness, Degree of Conversion, and Flexural Strength for Single-Shade Universal Resin Composites. *Polymers*, 14(22), 4987. <https://doi.org/10.3390/polym14224987>
- Yokesh, C. A. (2017). Comparative Evaluation of the Depth of Cure and Degree of Conversion of Two Bulk Fill Flowable Composites. *Journal Of Clinical And Diagnostic Research*. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/28004.10444>
- Zhang, Y., & Kelly, J. R. (2017). Dental Ceramics for Restoration and Metal Veneering. *Dental Clinics of North America*, 61(4), 797-819. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2017.06.005>
- 3M ESPE Internal Data. (2015). Lava Ultimate CAD/CAM Restorative. https://jensendental.com/wp-content/uploads/2015/04/Lava_Ultimate_Technical_Product_Profile.pdf
- 3M Paradigm. (2008). MZ100 Technical Product Profile. <https://media.dentalcompare.com/m/25/Downloads/Paradigm%20MZ100%20Blocks-Technical%20Product%20Profile.pdf>