



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIZ GARGARALARININ AĞIZ DUŞU İLE UYGULANMASININ
NANOHİBRİT KOMPOZİTLERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ VE RENK
DEĞİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

ELİFCAN ÇAKIR HEPŞEN
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
PROF. DR. CAFER TÜRKMEN
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ DOKTORA PROGRAMI

İSTANBUL- 2025



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIZ GARGARALARININ AĞIZ DUŞU İLE UYGULANMASININ
NANOHİBRİT KOMPOZİTLERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ VE RENK
DEĞİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

ELİFCAN ÇAKIR HEPŞEN
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
PROF. DR. CAFER TÜRKMEN
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ DOKTORA PROGRAMI

İSTANBUL- 2025

BEYAN

Bu tezin kendi çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar hiçbir aşamasında etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları kaynaklar listesine aldığımı, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Dt. Elifcan Çakır Hepşen

TEŞEKKÜR

Doktora sürecim boyunca bilgi birikimini benimle cömertçe paylaşan, tez sürecimde her konuda desteğini hissettiren ve üzerimde büyük emeği olan kıymetli tez danışmanım sayın *Prof. Dr. Cafer Türkmen'e*,

Akademik hayatım boyunca engin bilgisini her zaman yol gösterici bir rehberlikle aktaran, zorlandığım zamanlarda beni motive eden, desteğini her zaman hissettiğim değerli hocam sayın *Prof. Dr. Pınar Yılmaz Atalı'ya*,

Tez sürecimde bütün sorularımı içtenlikle cevaplayan, bilgisini benimle paylaşan, desteğini üzerimde hissettiğim değerli hocam *Prof. Dr. Bilge Tarçın'a*,

Lisans eğitimimden itibaren tanımaktan büyük mutluluk duyduğum, güler yüzü ve hoşgörüsüyle çalışmamda bana destek olan çok değerli hocam *Prof. Dr. Funda Yanıkoğlu'na*,

Tez çalışmamın her aşamasında istişare edebilme fırsatı bulduğum ve birlikte çalışmayı bir şans olarak gördüğüm değerli arkadaşım *Dr. Öğr. Üyesi Elif Alkan'a*,

Doktora sürecim boyunca bütün bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren, akademik olarak gelişmemi sağlayan Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalında görevli çok kıymetli hocalarım *Prof. Dr. Dilek Tağtekin, Doç. Dr. Bora Korkut, Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Tüter Bayraktar, Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Aslı Şenol'a*,

Doktora eğitimim vesilesiyle tanıdığım için çok şanslı hissettiğim bu süreçte benim için kardeş olan sevgili eş kıdemlerim, *Dr. Dt. Selinsu Öztürk, Dt. Ezgi Altuntaş, Dt. Cansu Merve Karaltı, Dt. Seda Nur Yıldız'a* ve bölümdeki tüm asistan arkadaşlarıma,

Tez çalışmamı destekleyen Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na,

Bu günlere gelmemde, tez sürecimde ve tüm eğitim hayatım boyunca destekçim olan annem *Neşe Çakır'a*, babam *Raif Çakır'a* ve hep yanımda olan canım kardeşim *Dt. Özge Çakır'a*,

Bu zorlu süreci benimle birlikte yaşayan, bana güç veren sevgili eşim *Erman Hepşen'e*

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından '*Ağız Gargaralarının Ağız Duşu ile Uygulanmasının Nanohibrit Kompozitlerin Yüzey Özellikleri ve Renk Değişimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi*' başlıklı ve *TDK-2024-11323* numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR LİSTESİ.....	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
TABLO LİSTESİ.....	v
1. ÖZET.....	1
2. SUMMARY	2
3. GİRİŞ ve AMAÇ.....	3
4. GENEL BİLGİLER.....	5
4.1. Resin Kompozitler	5
4.1.1. Günümüzde resin kompozitlerin kullanım alanı	6
4.1.2. Resin kompozit yapısında yer alan bileşenler	7
4.1.2.1. Organik matriks.....	8
4.1.2.2. İnorganik faz.....	10
4.1.2.3. Ara faz.....	11
4.1.2.4. Polimerizasyon inhibitörleri.....	12
4.1.2.5. Ultraviyole stabilizatörleri.....	13
4.1.2.6. Pigmentler.....	13
4.1.3. Resin kompozitlerin sınıflaması.....	13
4.1.3.1. İnorganik partikül boyutuna göre sınıflama	13
4.1.3.1.1. Megafil kompozitler.....	14
4.1.3.1.2. Makrofil kompozitler	14
4.1.3.1.3. Midifil kompozitler.....	14
4.1.3.1.4. Minifil kompozitler.....	14
4.1.3.1.5. Mikrofil kompozitler.....	14
4.1.3.1.6. Hibrit kompozitler.....	15
4.1.3.1.7. Nanofil kompozitler	15
4.1.3.2. İnorganik partikül tipine göre sınıflama.....	16
4.1.3.3. Polimerizasyon yöntemine göre sınıflama	16
4.1.3.3.1. Kimyasal yolla polimerize olan kompozitler.....	16
4.1.3.3.2. Işık ile polimerize olan kompozitler.....	17
4.1.3.3.3. Isı ile polimerize olan kompozitler.....	17
4.1.3.3.4. Hem kimyasal yolla hem de ışıkla polimerize olan kompozitler.....	17

4.1.3.4. Restoratif uygulama alanına göre sınıflama.....	17
4.1.3.5. Viskozitelerine göre sınıflama.....	18
4.1.3.5.1. Kondanse edilebilen kompozitler.....	18
4.1.3.5.2. Akıcı kompozitler.....	18
4.1.3.6. Fonksiyonel yeteneklerine göre sınıflama.....	19
4.1.3.6.1. Ormoserler.....	19
4.1.3.6.2. Giomerler.....	19
4.1.3.6.3. Siloranlar.....	20
4.1.3.6.4. Fiberle güçlendirilmiş kompozitler.....	20
4.1.3.6.5. Self-adeziv kompozitler.....	20
4.1.3.6.6. Bulk-fill kompozitler.....	21
4.1.3.6.7. Biyoaktif rezin kompozitler.....	22
4.1.3.1.8. Kompomerler.....	22
4.1.3.1.9. Tek renkli rezin kompozitler.....	23
4.1.4. Resin kompozitlerin polimerizasyonu.....	23
4.1.4.1. Polimerizasyonun dönüşüm derecesi (Konversiyon).....	24
4.1.4.2. Polimerizasyon teknikleri.....	25
4.1.4.3. Polimerizasyon büzülmesi.....	25
4.1.4.4. Polimerizasyonda kullanılan ışık kaynakları.....	26
4.1.4.4.1. Halojen ışık kaynakları.....	26
4.1.4.4.2. LED ışık kaynakları.....	27
4.1.4.4.3. Plazma ark ışık kaynakları.....	28
4.1.4.4.4. Argon lazer ışık kaynakları.....	28
4.1.5. Resin kompozitlerde bitim ve cila işlemleri.....	28
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü.....	29
4.2.1. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.....	30
4.2.1.1. Profilometreler.....	31
4.2.1.1.1. Optik profilometreler.....	31
4.2.1.1.2. Mekanik profilometreler.....	31
4.2.1.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	32
4.3. Renk.....	32
4.3.1. Renk sistemleri.....	33

4.3.1.1.1. Munsell renk sistemi.....	33
4.3.1.1.2. CIE Lab renk sistemi.....	34
4.3.2. Renk ölçüm teknikleri.....	35
4.3.2.1.1. Görsel teknik.....	35
4.3.2.1.2. Enstrümantal teknik.....	36
4.3.2.1.3. Kolorimetre.....	36
4.3.2.1.4. Spektrofotometre.....	36
4.3.2.1.5. Dijital kameralar.....	37
4.4. Ağız Gargaraları.....	37
4.4.1. Klorheksidin.....	38
4.4.2. Fenol bileşikleri.....	38
4.4.3. Kuarterner amonyum bileşikleri.....	38
4.4.4. Bitkisel özler.....	38
4.4.5. Triklosanlar.....	39
4.4.6. Florid içeren gargaralar.....	39
4.4.7. Alkol içeren gargaralar.....	39
4.4.8. Okside edici ajanlar.....	39
4.5. Ağız Duşu.....	40
5. GEREÇ ve YÖNTEM.....	42
5.1. Rezin Kompozit Materyallerin Belirlenmesi.....	42
5.2. Ağız Gargaralarının Belirlenmesi.....	43
5.3. Örneklerin Hazırlanması.....	44
5.3.1. Örneklerin gruplandırılması.....	44
5.4. Kullanılan Cihazlar.....	45
5.5. Renklendirme Prosedürü.....	46
5.6. Gargara Uygulanması.....	46
5.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	47
5.8. Renk Ölçümü.....	48
5.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Görüntüleme.....	48
5.10. İstatistiksel Analiz.....	50
6. BULGULAR.....	51
6.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	51
6.2. Renk Değişiminin Değerlendirilmesi.....	57

6.3. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi.....	67
7. TARTIŞMA VE SONUÇ	70
8. KAYNAKÇA.....	88
9. ÖZGEÇMİŞ.....	105
10. BİLİMSEL FAALİYETLER.....	106



KISALTMALAR LİSTESİ

%: yüzde

µm: Mikrometre

a*: Kırmızı Yeşil renk koordinatı

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

ADA: Amerikan Diş Hekimleri Birliği

AFM: Atomik Kuvvet Mikroskobu

Au: Altın

b*: Sarı Mavi renk koordinatı

BHT: Butillenmiş Hidroksitoluen

Bis-EMA: Bisfenol A etoksile dimetakrilat Bis-GMA: Bisfenol A glisidil metakrilat

CIE: Commission International l'Éclairage

CHX: Klorheksidin

CP: Colgate Plax Aktif Kömür Gargarası

CQ: Kamforokinon

CW: Crest 3D White Gargarası

DO: Charisma Diamond One kompoziti

DPSS: Diode Pumped Solid State

DW: Distilled Water

EDT: Yüksek vakum dedektörü

g: Gram

GPDM: Gliserofosforik asit dimetakrilat

HEMA: Hidroksil Metskrlat

ISO: International Organization for Standardization

KC: CIEDE2000 formülünde kontrastı ifade eder

KH: CIEDE2000 formülünde tonu ifade eder

KL: CIEDE2000 formülünde aydınlatmayı ifade eder

kV: Kilovolt, elektriksel gerilim birimi

L*: CIE Lab sistemi renk değeri koordinatı

LED: Light Emitting Diode

LF: Listerine Gargarası

m: Metre
ml: Mililitre mm: Milimetre
mW/cm²: Santimetrekaire başına milliwatt, ışık şiddeti birimi
nm: Nanometre
OID: Oral Irrigation Device
Pa: Pascal
Pd: Paladyum
PEG-40: Polietilen Glikol 40 PEG-60: Polietilen Glikol 60 PMMA: Polimetilmetakrilat
Ra: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
Rmax: Maksimum pürüzlülük derinliği
Rz: Ortalama maksimum yükseklik s: Saniye
SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu
SP: Sensodyne Promine Gargarası
SPSS: Statistical Package for Social Sciences SS: Standart Sapma
T₀: Başlangıç zamanı
T₁: Kahve ile renklendirme sonrası
T₂: Gargara uygulamaları sonrası
TCD-DI-HEA: bis-akriloloksimetiltrisikldekan
TEGDMA: Trietilen Glikol Dimetakrilat UDMA: Üretan Dimetakrilat
UV: Ultraviyole
VU: Vittra APS Unique kompoziti
 ΔE : Renk değişimi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Bis-GMA kimyasal yapısı (Tiu ve ark., 2021).....	8
Şekil 2. UDMA kimyasal yapısı (Tiu ve ark., 2021).....	9
Şekil 3. TEGDMA kimyasal yapısı (Nalçacı ve Ulusoy, 2004).....	10
Şekil 4. Bis-EMA kimyasal yapısı (Hatamleh ve Furuse, 2024).....	10
Şekil 5. TCD-DI-HEA kimyasal yapısı (Šimková ve ark., 2020).....	10
Şekil 6. Silanizasyon (Pratap ve ark., 2019).....	11
Şekil 7. Munsell Renk Sistemi (Barutçigil, 2010).....	33
Şekil 8. CIE Lab Renk Sistemi (Barutçigil, 2010).....	34
Şekil 9. CIEDE2000 formülü.....	35
Şekil 10. Çalışma akış şeması.....	42
Şekil 11. Örneklerin hazırlanması.....	44
Şekil 12. Örneklerin bitim ve cila işlemleri.....	44
Şekil 13. Örneklerin renklendirilmesi.....	46
Şekil 14. Çalışmada kullanılan gargaralar.....	47
Şekil 15. Örneklerle doğrudan gargara uygulanması.....	47
Şekil 16. Ağız duşu uygulaması.....	47
Şekil 17. Taramalı Elektron Mikroskobu EVO MA10 (Carl Zeiss, Almanya).....	49
Şekil 18. Numune kaplama.....	49
Şekil 19. Grup ve solüsyona göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	53
Şekil 20: Kompozitlerin zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri.....	55

Şekil 21. Kompozit türü ve solüsyon türüne göre pürüzlülük değerleri.....	56
Şekil. 22: Grupların solüsyonlara göre pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 23. Kompozit türüne göre ortalama $\Delta E1$ değerleri.....	58
Şekil 24. Gruba göre ortalama $\Delta E2$ değerleri.....	59
Şekil 25. Kompozit türüne göre ortalama $\Delta E2$ değerleri.....	60
Şekil 26. Gargara solüsyonuna göre ortalama $\Delta E2$ değerleri.....	60
Şekil 27. Grup ve kompozit etkileşimine göre ortalama $\Delta E2$ değerleri.....	61
Şekil 28. Grup ve gargara solüsyonu etkileşimine göre ortalama $\Delta E2$ değerleri.....	61
Şekil 29. Kompozit türüne göre ortalama $\Delta E3$ değerleri.....	63
Şekil 30. Gargara türüne göre ortalama $\Delta E3$ değerleri.....	65
Şekil 31. Grup ve kompozit etkileşimine göre ortalama $\Delta E3$ değerleri.....	65
Şekil 32. Grup ve gargara solüsyonu etkileşimine göre ortalama $\Delta E3$ değerleri.....	66
Şekil 33. Vittra APS Unique SEM görüntüleri.....	68
Şekil 34. Charisma Diamond One SEM görüntüleri.....	69

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Çalışmada kullanılan rezin kompozitler ve içerikleri.....	43
Tablo 2. Çalışmada kullanılan gargaralar ve içerikleri.....	43
Tablo 3. Çalışma gruplarının kompozit, gargara ve uygulama yöntemine göre dağılımı.....	45
Tablo 3. Grup, solüsyon ve kompozite göre pürüzlülük (başlangıç) değerlerinin karşılaştırması	51
Tablo 4. Grup, solüsyon ve kompozite göre pürüzlülük (kahve sonrası) değerlerinin karşılaştırması	51
Tablo 5. Grup, solüsyon ve kompozite göre pürüzlülük (gargara sonrası) değerlerinin karşılaştırması	52
Tablo 6. Kompozit, grup-solüsyon ve zamana göre pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Tablo 7. Kompozit, grup-solüsyon ve zamana göre pürüzlülük değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri.....	54
Tablo 8. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E1$ değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri.....	57
Tablo 9. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E2$ değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri.....	58
Tablo 10. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E2$ değerlerinin karşılaştırılması.....	59
Tablo 11. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E3$ değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri.....	62
Tablo 12. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E3$ değerlerinin karşılaştırılması.....	62

1. ÖZET

Tezin başlığı : Ağız Gargaralarının Ağız Duşu ile Uygulanmasının Nanohibrit Kompozitlerin Yüzey Özellikleri ve Renk Değişimine Etkisinin Değerlendirilmesi

Öğrencinin Adı Soyadı : Elifcan Çakır Hepşen

Danışmanın Adı Soyadı : Prof. Dr. Cafer Türkmen

Programın Adı : Restoratif Diş Tedavisi Doktora Programı

Amaç: Bu tez çalışmasının amacı, çeşitli ağız gargaralarının ağız duşu ile ve ağız duşu kullanılmaksızın uygulanmasının nanohibrit ve monokromatik rezinlerin yüzey pürüzlülüğü ve renk stabilitesine olan etkilerinin *in vitro* olarak karşılaştırılarak değerlendirilmesidir.

Gereç ve Yöntem: Bu *in vitro* çalışmada iki farklı monokromatik nanohibrit kompozit kullanıldı: Charisma Diamond One ve Vittra APS Unique. Her bir kompozitten 100'er adet olmak üzere toplam 200 disk şeklinde örnek (8 mm çap, 2 mm kalınlık) hazırlandı. Örnekler, 5 farklı gargara (Colgate Plax Aktif Kömür, Crest 3D White, Sensodyne Promine, Listerine Fresh Burst, distile su) ve 2 uygulama yöntemine (doğrudan ve ağız duşu) göre 10 gruba ayrıldı (n=10). Tüm örnekler önce kahve solüsyonunda renklendirildikten sonra, gargaralar uygulandı. Bu uygulamalar, bir yıllık klinik kullanımı taklit edecek şekilde planlandı.

Renk ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapıldı, SEM görüntüleri alındı. Verilerin istatistiksel analizi yapıldı.

Bulgular: İstatistiksel analizler, ağız gargaralarının ağız duşuyla uygulanmasının renklendirilmiş nanohibrit kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü ve renk değişimi değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturmadı ($p>0,05$).

Sonuç: Bu çalışma, ağız gargaralarının doğrudan ve ağız duşu ile uygulanmasının, renklendirilmiş nanohibrit monokromatik rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü ve renk değişimi üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktadır. Test edilen materyallerin yüzey pürüzlülüğü klinik olarak kabul edilebilir değer aralığındayken, renk değişiminin bu değer üzerinde olduğu belirlendi. Ağız duşunun her iki parametre üzerinde de istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığı saptandı.

Anahtar Kelimeler: Ağız duşu, ağız gargarası, renk değişimi, nanohibrit kompozit, yüzey pürüzlülüğü

2. SUMMARY

Title of Thesis: Investigation of the Effect of Applying Mouthwashes with Oral Irrigators on the Surface Properties and Color Change of Nanohybrid Composites

Student Name, Surname: Elifcan Çakır Hepşen

Supervisor Name : Prof. Dr. Cafer Türkmen

Program Name : Restorative Dentistry PhD Program

Objective: The aim of this thesis is to evaluate and compare in vitro the effects of various mouthwashes, applied with and without the use of an oral irrigator, on the surface roughness and color stability of nanohybrid and single-shade resin composites.

Materials and Methods: In this in vitro study, two different single-shade nanohybrid resin composites were used: Charisma Diamond One and Vittra APS Unique. A total of 200 disk-shaped specimens (8 mm in diameter, 2 mm in thickness) were prepared, with 100 specimens from each composite. The samples were divided into 10 groups (n=10) based on 5 different mouthwashes (Colgate Plax Charcoal, Crest 3D White, Sensodyne Pronamel, Listerine Fresh Burst, and distilled water) and 2 application methods (direct immersion and oral irrigator). After being stained in a coffee solution, the mouthwash treatments were applied. These procedures were designed to simulate one year of clinical use. Color stability and surface roughness measurements were performed, and SEM images were obtained. The data were analyzed statistically.

Results: Statistical analyses revealed that the application of mouthwashes via oral irrigator did not cause a statistically significant difference in the surface roughness and color change values of the stained nanohybrid composites ($p > 0.05$).

Conclusion: This study comparatively evaluates the effects of mouthwashes applied directly and via oral irrigator on the surface roughness and color change of stained single-shade nanohybrid resin composites. While the surface roughness values of the tested materials remained within clinically acceptable limits, the observed color changes exceeded this threshold. The use of an oral irrigator did not result in a statistically significant difference in either parameter.

Keywords: Oral irrigator, mouthwashes, color change, nanohybrid composite, surface roughness

3. GİRİŞ ve AMAÇ

Günümüzde dental uygulamalarda estetik beklentilerin artması, diş hekimliğinde yalnızca fonksiyonel yeterliliği değil, aynı zamanda doğal dokuların birebir taklit edilmesini ve uzun dönem biyolojik uyumu hedefleyen restoratif yaklaşımları da ön plana çıkarmaktadır. Modern diş hekimliğinin temel prensiplerinden biri, mümkün olan en az doku kaybıyla, biyouyumlu ve doğal görünümle bütünleşen restorasyonlar oluşturmaktır (Ferracane, 2011).

Bu kapsamda 1970’li yıllardan beri gelişmekte olan rezin kompozit materyaller, minimal invaziv uygulamalara olanak tanınmaları, estetik performansları ve klinik uygulama kolaylıkları sayesinde restoratif tedavilerde yaygın olarak tercih edilmektedir (Hervás-García ve ark., 2006). Özellikle nanohibrit yapıya sahip kompozit sistemler, gelişmiş doldurucu teknolojileriyle yüksek mekanik dayanıklılığın yanı sıra üstün cilalanabilirlik ve renk stabilitesi sunarak anterior restorasyonlarda önemli bir yer edinmiştir (Da Silva ve ark., 2024). Bununla birlikte, renk adaptasyonu açısından tek renkli kompozitler, çevre diş dokularına dinamik şekilde uyum sağlayabilme potansiyelleri ile estetik uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Lucena ve ark., 2021). Anterior bölgede kullanılan bu materyallerin, klinik başarılarının sürdürülebilirliği; yüzey düzgünlüğü, renk stabilitesi ve biyofilm birikimine direnç gibi faktörlerle yakından ilişkilidir.

Restoratif materyallerin yüzey özellikleri hem yeme ve içme alışkanlıklarından hem de ağız hijyeninde kullanılan ürünlerin kimyasal içerikleri ve uygulama yöntemlerinden etkilenebilmektedir (Hamdy ve ark., 2023). Yeme ve içme alışkanlıkları, özellikle kahve, çay, kırmızı şarap gibi pigment açısından zengin içeceklerin sık tüketimi, kompozit restorasyon yüzeylerinde dışsal renklenmeye neden olabilmektedir. Bu tür içeceklerin içeriğindeki kromojenik bileşikler, özellikle parlaklığını ve yüzey bütünlüğünü kaybetmiş restoratif materyallere tutunarak kalıcı renk değişikliklerine yol açmaktadır (Yazdi ve ark., 2019). Kompozitlerin renk stabilitesini etkileyen bu dışsal etkenler, uzun vadede restorasyonların estetik bütünlüğünü bozmakta ve yeniden cilalama veya değiştirme ihtiyacını artırmaktadır. Bu bağlamda, ağız bakım ürünleri arasında yer alan ağız gargaraları yalnızca antimikrobiyal amaçla değil, aynı zamanda dışsal kaynaklı renklenmelerin giderilmesi veya önlenmesi amacıyla da kullanılabilir. Günlük ağız bakımında kullanılan ağız gargaralarının, kompozit yüzeylerde mikroyapısal değişimlere neden olarak renklenme, yüzey pürüzlülüğü artışı ve dolayısıyla plak birikimine zemin hazırlayabileceği bildirilmektedir (Heintze ve ark.,

2011). Diğ er yandan, son yıllarda kullanımı yaygınlaş an ağız duşu sistemleri, ağız bakımında özellikle interdental alanların temizliğinde, ortodontik tedavi gören bireylerde ve sabit protetik restorasyonların çevresindeki hijyenin sağlanmasında sıklıkla tercih edilmektedir (Wiesm ller ve ark., 2023). Bu sistemler su veya ağız gargaraları ile kullanılabilmekte olup sıvıyı basınçla yönlendirerek farklı uygulama karakteristikleri göstermekte ve sıvının restoratif yüzeylerle etkileşimini doğrudan etkilemektedir. (Ren ve ark., 2023).

Literatürde ağız duşu aracılığıyla uygulanan gargaraların restoratif materyaller üzerindeki etkilerine ilişkin veriler oldukça sınırlıdır. Bu bağlamda gerçekleştirilen bu in vitro çalışmada, iki farklı tek renkli nanohibrit kompozit materyalin (Charisma Diamond One, Kulzer; Vittra APS Unique, FGM) kahve ile renklendirildikten sonra, dört farklı ağız gargarası (Listerine Fresh Burst, Sensodyne Pronamel, Colgate Plax Active Charcoal, Crest 3D White) ve distile suyun hem doğrudan hem de ağız duşu ile uygulanması sonrası meydana gelen yüzey pürüzlülüğü ve renk değişimleri karşılaştırmalı olarak incelendi. Çalışmada, günlük ağız bakım ürünlerinin uygulanma yöntemlerine bağlı olarak restoratif materyallerde oluşabilecek fiziksel ve estetik değişimleri açıklamaya katkı sağlanması ve klinisyenlerin materyal seçimi ve hasta eğitimi konularında daha bilinçli kararlar almasına olanak tanınması amaçlandı.

Bu çalışmanın sıfır hipotezleri aşağıda belirtildiği gibidir:

1. Nanohibrit monokromatik kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında fark yoktur.
2. Nanohibrit monokromatik kompozitlerin renk stabilitesi arasında fark yoktur.
3. Farklı ağız gargaralarının renklendirilmiş nanohibrit monokromatik kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi yoktur.
4. Farklı ağız gargaralarının renklendirilmiş nanohibrit monokromatik kompozitlerin renk değişimi üzerine etkisi yoktur.
5. Ağız gargaralarının ağız duşuyla uygulanmasının renklendirilmiş nanohibrit monokromatik kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi yoktur.
6. Ağız gargaralarının ağız duşuyla uygulanmasının renklendirilmiş nanohibrit monokromatik kompozitlerin renk değişimi üzerine etkisi yoktur.

4. GENEL BİLGİLER

Restoratif diş hekimliği, çeşitli etiyolojik faktörlere bağlı olarak dişlerde meydana gelen madde kayıplarının telafi edilmesini, diş yapısının bütünlüğünün korunmasını ve oral fonksiyonun sürekliliğinin sağlanmasını amaçlayan önemli bir disiplindir (Meyers ve Hallet, 2019). Bununla birlikte, yalnızca kayıp dokunun onarılması değil, aynı zamanda mevcut sağlıklı dokuların korunması ve bireyin yaşam boyu fonksiyonel, estetik ve biyolojik gereksinimlerinin karşılanması da restoratif uygulamaların temel hedefleri arasında yer almaktadır. Günümüzde bireylerin estetik beklentilerinin artmasıyla birlikte, doğal diş yapısını taklit eden materyallerin geliştirilmesi ve restorasyonların çevre dokularla yüksek uyum göstermesi, restoratif yaklaşımların başarısını belirleyen başlıca unsurlar haline gelmiştir (Islam ve ark., 2022).

4.1. Rezin Kompozitler

Günümüzde rezin kompozitler, diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, estetik beklentilerin artışı ve amalgam kullanımına yönelik endişeler, kompozit materyallerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli iyileştirmelere gidilmesini sağlamıştır. Bu gelişmelerle beraber, minimal invaziv diş hekimliği ilkelerine uygunlukları ve estetik avantajları nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan restoratif materyaller haline gelmiştir (Dionysopoulos ve Gerasimidou, 2021).

Kompozit materyallerin gelişim süreci, 1843 yılında akrilik asit ve 1865 yılında metakrilik asitin keşfedilmesiyle başlamıştır (Staehle ve Sekundo, 2021). 1930 yılından itibaren metakrilat esaslı rezinler, ısı ile sertleştirilen sistemler olarak hareketli protez kaidelerinde kullanılmaya başlanmıştır (Pratap ve ark., 2019).

Rezin kompozit materyallerin geliştirilmesinden önce estetik restorasyonlar yalnızca anterior bölgeyle sınırlı olup, bu amaçla önce silikat simanlar, ardından 1950'li yıllarda polimetakrilat (PMMA) esaslı sistemler kullanılmıştır. Bu materyallerin, yüksek büzülme, diş adezyon eksikliği, termal genleşme uyumsuzluğu ve pulpa irritasyonu gibi önemli dezavantajlarının aşılması amacıyla inorganik doldurucu katkıları denenmiş, ancak sınırlı başarı sağlanabilmiştir (Ferracane, 2024).

1955 yılında Buonocore tarafından geliştirilen mine yüzeyini pürüzlendirme yöntemi, adeziv diş hekimliğinin temelini oluşturan yaklaşımlardan biridir (Buonocore, 1955). 1956 yılında Bowen, metil metakrilat rezinlerin dezavantajlarını gidermek amacıyla Bisfenol-A- glisidil

dimetakrilat (Bis-GMA) adlı yeni bir monomer sentezlemiş (Bowen, 1956) ve 1962 yılında bu yapı patentlenmiştir (Roberson ve ark., 2006).

1970’li yıllardan itibaren elektromanyetik ışınlam ile polimerize edilebilen kompozit materyaller geliştirilmiş ve böylece karıştırma ihtiyacı ile ilişkili uygulama zorlukları ortadan kaldırılmıştır. İlk aşamada kullanılan ultraviyole ışık kaynakları (365 nm), sınırlı polimerizasyon derinliği ve potansiyel yan etkileri nedeniyle zamanla terk edilerek, günümüzde hâlâ geliştirilmeye devam eden görünür ışık kaynaklarının (427–491 nm) kullanımına geçilmiştir (Hervás-García ve ark., 2006). 1980’li yıllarda, özellikle posterior dişlerin restorasyonunda kullanılmak üzere ilk özel kompozit materyaller geliştirilmiştir. Aynı dönemin ortalarında, farklı boyutlarda doldurucu partiküller içeren ve “hibrit kompozit” olarak adlandırılan yeni materyaller tanıtılmıştır. Devam eden yıllarda, bu partiküllerin boyutları 0,6–0,7 mikrona kadar küçültülerek mikrohibrit kompozitler geliştirilmiştir. Bu kompozitlerin daha homojen partikül yapısı sayesinde fiziksel dayanıklılıkları artmış, uygulama kolaylığı ve cilalanabilirlikleri belirgin ölçüde iyileştirilmiştir (Hickel ve ark., 1998).

1998 yılında, geleneksel kompozitlerde bulunan metakrilat bazlı monomerler yerine, polimerize olan organik grupların kullanıldığı "ormoser" adı verilen farklı bir kompozit materyal kullanılmaya başlanmıştır (Dayangaç, 2000). Nanoteknolojinin kompozit materyallere entegrasyonu, bu alandaki en güncel gelişmelerden biridir. Bu sayede geliştirilen nanofil ve nanohibrit yapıları kompozitler, farklı partikül boyutlarının bir arada kullanılmasıyla yapı özelliklerinde önemli iyileşmeler sunmaktadır. Özellikle nanohibrit kompozitler, nano partiküllerin submikron doldurucularla birlikte kullanılması sayesinde matriste daha homojen bir dağılım sağlayarak mekanik, kimyasal ve optik özelliklerin daha dengeli olmasına katkı sağlamaktadır (Hong ve ark., 2020).

4.1.1. Günümüzde rezin kompozitlerin kullanım alanı

Restoratif diş hekimliğinde hem estetik hem de biyouyumluluk açısından artan klinik beklentiler, kullanılan materyallerin sürekli olarak geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Özellikle cıva içeriği nedeniyle tartışmalı hale gelen geleneksel amalgam dolgulara alternatif olarak geliştirilen kompozit rezin materyaller, estetik üstünlükleri, dokularla uyumlu yapıları ve minimal invaziv uygulamalara olanak tanımları sayesinde günümüzde en yaygın tercih edilen restoratif materyallerden biri olmuştur (Dionysopoulos ve Gerasimidou, 2021). "Kompozit" terimi, birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip birden fazla bileşenin belirli bir yapı içerisinde birleştirilmesiyle oluşan karma sistemleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Diş

hekimliğinde kullanılan kompozit materyaller ise, genellikle bir organik matris ve inorganik dolduruculardan oluşan, üç boyutlu yapıda homojen dağılım gösteren restoratif sistemlerdir. Literatürde bu materyaller farklı kaynaklarda kompozit dolgular, rezin kompozitler ya da rezin esaslı kompozitler gibi terimlerle de ifade edilmektedir (Williems ve ark., 1993; Altun, 2005).

İlk dönemlerde toz ve likit formda kullanılan rezin materyaller, zamanla iki pat şeklinde sunulan sistemlere evrilmiştir. Bu patların karıştırılmasıyla, birkaç dakika içerisinde gerçekleşen oto-polimerizasyon sağlanmaktaydı. Kompozit uygulamalarında devrim niteliğindeki en önemli gelişme ise, ışıkla polimerizasyon teknolojisinin kullanılmaya başlanması olmuştur (Altun, 2005; Ferracane, 2024).

Kompozit rezin materyallerinde elde edilen teknolojik ilerlemeler, yalnızca estetik beklentileri karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda klinik açıdan kabul edilebilir fiziksel özelliklerin sağlanmasına da katkı sunmuştur. Bu materyaller; seramik restorasyonlara göre daha düşük maliyetli olmaları, civa içermemeleri, düşük termal iletkenlik göstermeleri, adeziv sistemlerle diş dokularına kimyasal bağ kurabilmeleri ve sağlıklı dokuya minimum müdahale gerektirmeleri gibi avantajlar sayesinde ön plana çıkmaktadır. Tüm bu özellikler göz önüne alındığında, kompozit rezinler günümüzde estetik restorasyon uygulamalarında en sık tercih edilen materyallerden biri haline gelmiştir (Altun, 2005; Ferracane, 2011).

4.1.2. Rezin kompozit yapısında yer alan bileşenler

Kompozit materyaller, kimyasal açıdan farklı özelliklere sahip ve birbirinde çözünmeyen en az iki maddenin bir araya gelmesiyle oluşturulan sistemlerdir. Diş hekimliğinde kullanılan rezin kompozitler ise temel olarak üç ana bileşenden oluşmaktadır (Altun, 2005);

Organik Polimer Matriks Fazı (Taşıyıcı Faz)

İnorganik Faz (Dağılan Faz)

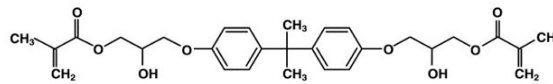
Ara Faz (Bağlayıcı Ajan)

Bunların yanı sıra, kompozit formülasyonlarında polimerizasyon sürecini başlatan inisiyator-aktivator sistemleri, reaksiyonun istenmeyen şekilde ilerlemesini engelleyen inhibitörler, ışık ve renk stabilitesini artırmaya yönelik ultraviyole engelleyiciler ile estetik uyumu sağlayan renk pigmentleri gibi yardımcı bileşenler de bulunmaktadır (Hervás-García ve ark., 2006).

4.1.2.1. Organik matriks

Organik matriks fazı, rezin kompozit materyalin kompozit materyalin polimerizasyon davranışı, viskozitesi, mekanik performansı, optik özelliklerini ve dolayısıyla klinik performansını doğrudan etkileyen temel bir bileşendir. Bu faz, başta monomerler ve komonomerler olmak üzere; polimerizasyon başlatıcıları, inhibitörler, ultraviyole stabilizatörleri ve renk pigmentleri gibi yardımcı maddeleri içermektedir (Craig ve Powers, 2002; William, 2009).

Diş hekimliğinde kullanılan ilk rezin bazlı materyaller, metil metakrilat esaslıydı. Ancak yüksek polimerizasyon büzülmesi, aşırı termal genleşme, renk değişimi ve pulpa dokusuna zarar verme gibi önemli dezavantajları nedeniyle zamanla yerini daha gelişmiş sistemlere bırakmıştır (Peutzfeldt, 1997). Bu doğrultuda, 1962 yılında Bowen tarafından geliştirilen bisfenol A glisidil metakrilat (Bis-GMA) esaslı monomerler, düşük büzülme oranı, daha hızlı sertleşme, yüksek mekanik dayanım ve estetik başarı gibi avantajları sayesinde restoratif diş hekimliğinde yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Zimmerli ve ark., 2010). Bis-GMA, yüksek viskoziteye sahip olması ve yapısında bulunan iki fenil grubunun molekülün yapısal rijiditesini arttırması nedeniyle mükemmel mekanik dayanıklılık sağlar; ancak akışkanlığının düşük olması, renk stabilitesinin tam sağlanamaması nedeniyle kompozit içerisine seyreltici monomerlerin eklenmesine ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur (William, 2009; Zimmerli ve ark., 2010).

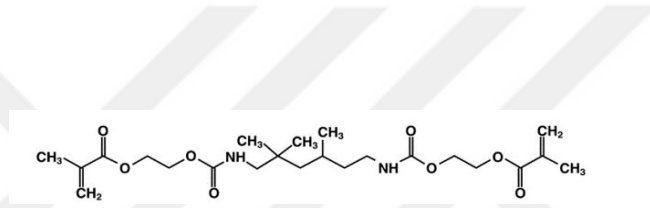


Şekil 1. Bis-GMA kimyasal yapısı (Tiu ve ark., 2021)

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kompozit rezin materyallerinin büyük bir kısmı, monomer bileşeni olarak bisfenol A glisidil metakrilat (Bis-GMA) ve renk değişimine karşı daha dirençli yapısıyla bilinen, aynı zamanda geliştirilmiş adezyon özellikleri sunan üretan dimetakrilat (UDMA) içermektedir (Uluakay ve ark. 2011). Üretan dimetakrilat (UDMA) monomerinin polimer matris içerisinde kullanılma amacı, Bis-GMA ile benzerlik göstermektedir. Üretan grupları, Bis-GMA'nın ikincil hidroksil gruplarıyla izosiyanatların reaksiyona girmesiyle sentezlenerek daha az hidrofilik bir monomer yapısının oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Görgen ve Güler, 2015). Yapılan çalışmalar, UDMA'nın kompozit reçinelere eklenmesinin

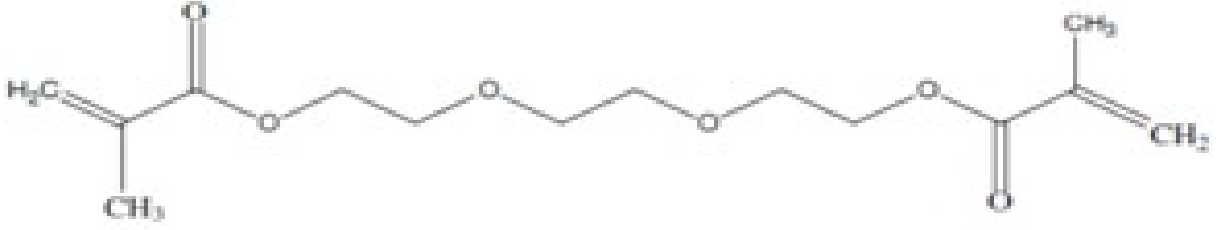
adezyon kapasitesini artırdığını, ağız ortamındaki renk değişikliklerine karşı daha dirençli bir yapı sağladığını ve materyalin aşınma dayanımı ile sertlik özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir (Peutzfeldt, 1997).

Moleküler ağırlık açısından Bis-GMA ile benzerlik gösteren UDMA, buna rağmen daha düşük viskoziteye sahiptir. UDMA molekül yapısında yer alan eter bağları, Bis-GMA'daki iki büyük aromatik halkaya kıyasla daha fazla rotasyona izin vererek molekülün esnekliğini artırmaktadır. Bu yapısal esneklik, UDMA'nın özellikle adeziv sistemlerde tercih edilen bir monomer olmasını sağlamaktadır (Barszczewska-Rybarek ve ark., 2020). Bununla beraber, Bis-GMA ile karşılaştırıldığında, UDMA'nın biraz daha düşük bir moleküler ağırlığa sahip olması, polimerizasyon süreci sırasında bir miktar daha yüksek büzülme oranına neden olmaktadır (Watts, 1992).

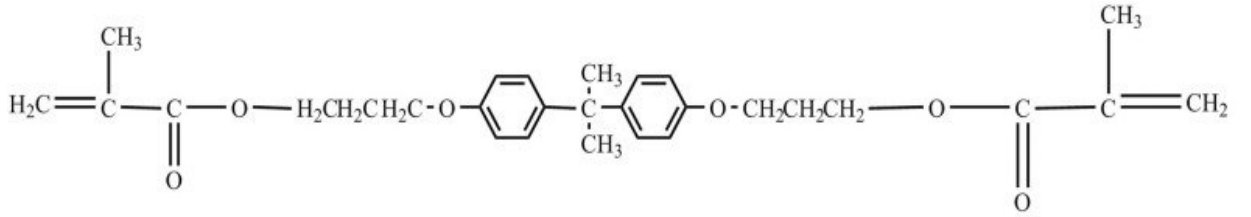


Şekil 2. UDMA kimyasal yapısı (Tiu ve ark., 2021)

Kompozit rezinlerde viskoziteyi azaltmak ve inorganik partiküllerin matrikse entegrasyonunu kolaylaştırmak amacıyla düşük moleküler ağırlıklı triethyleneglycol dimethacrylate (TEGDMA) monomeri kullanılmaktadır. TEGDMA, düşük viskozitesi sayesinde uygulama kolaylığı sağlarken, molekül yapısındaki yüksek çift bağ yoğunluğu nedeniyle polimerizasyon sırasında büzülmeyi artırabilmektedir (Ellakwa ve ark., 2007). Ayrıca hidrofilik karakteri, çevresel nem koşullarına karşı materyalin hassasiyetini etkileyebilir. Bu nedenlerle, günümüzde bazı kompozit sistemlerinde TEGDMA oranı azaltılarak, UDMA ve Bisphenol A ethoxylated dimethacrylate (Bis-EMA) gibi alternatif monomerler ile daha dengeli bir yapı hedeflenmektedir (Barszczewska-Rybarek ve ark., 2020; Chen, 2010). Bis-EMA, yapısal olarak Bis-GMA'ya benzerlik gösterse de, daha düşük viskoziteye sahip olması sayesinde ekstra bir seyreltici monomer kullanım ihtiyacını azaltmaktadır. Kompozit içerisindeki temel rolü, mekanik dayanıklılığı artırmak, polimerizasyon büzülmesini azaltmak ve materyalin viskozite dengesini optimize etmektir (Pratap et al., 2019).

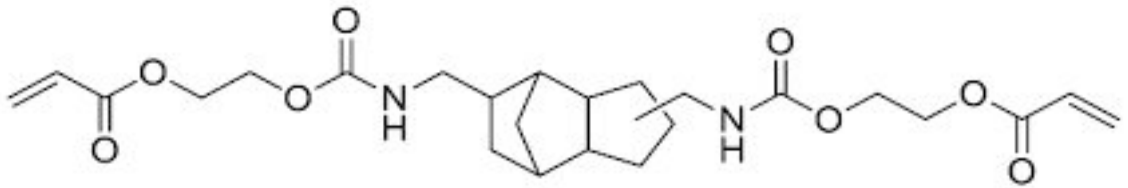


Şekil 3. TEGDMA kimyasal yapısı (Nalçacı ve Ulusoy, 2004)



Şekil 4. Bis-EMA kimyasal yapısı (Hatamleh ve Furuse, 2024)

Bis-[akriloiloksimetil] trisiklodekan (TCD-DI-HEA) monomeri, düşük polimerizasyon büzülmesi hedefiyle geliştirilmiş alternatif bir monomerdır. TCD-DI-HEA'nın, düşük polimerizasyon büzülmesi ile düşük viskozite özelliklerini bir arada sunabildiği bildirilmektedir (Marchesi ve ark., 2010). Nanohibrit bir kompozit olan Charisma Diamond One (Kulzer, Almanya), bu monomeri formülasyonunda bulundurmaktadır.



Şekil 5. TCD-DI-HEA kimyasal yapısı (Šimková ve ark., 2020)

4.1.2.2. İnorganik faz

Kompozit rezin materyallerde, organik matriksin mekanik özelliklerini desteklemek amacıyla farklı yapı, boyut ve bileşimde inorganik doldurucu partiküller kullanılmaktadır. Bu doldurucular; cam partikülleri, kuvars, lityum ve alüminyum silikatlar, borosilikat cam,

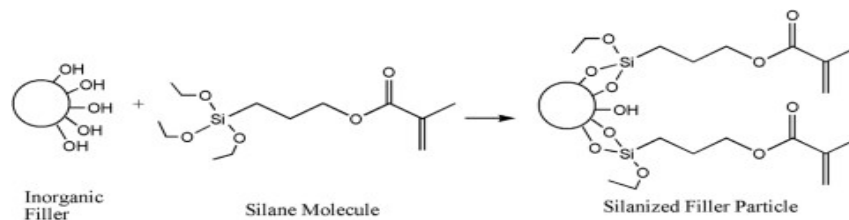
yitriyum camı, baryum alüminyum silikat ve hidroksiapatit gibi bileşenleri içermektedir. Ayrıca stronsiyum, baryum, çinko ve zirkonyum gibi ağır metal oksitlerin eklenmesiyle radyoopaklık özellikleri sağlanmaktadır (Chen ve ark., 2011).

İnorganik partiküller, kompozitlerin mekanik dayanıklılığını artırmakla birlikte polimerizasyon büzülmesini, termal genleşmeyi ve su emilimini azaltmaktadır (Chen ve ark., 2011). Küçük boyutlu partiküllerin kullanımı sayesinde materyallerin cilalanabilirliği artmış, yüzey pürüzlülüğü ve mikrosızıntı oranı azalmıştır. Özellikle, boyutu 0,01–1 µm arasında değişen küçük partiküller, daha pürüzsüz yüzeyler oluşturarak estetik stabiliteyi ve ağız hijyenini desteklemektedir (Rastelli ve ark., 2012; Fujita ve ark., 2011).

Doldurucu oranının artırılması, kompozitlerin fiziksel özelliklerini geliştirmiştir; ancak partikül boyutu küçüldükçe yüzey alanının artması, karışımın akıcılığını azaltabilmektedir. Bu nedenle, farklı büyüklüklerde partiküllerin karıştırılmasıyla optimal akıcılık ve mekanik performans sağlanmaktadır. Günümüzde geliştirilen kompozitlerde, ilk üretilen materyallere kıyasla daha yüksek doldurucu içerikleri ve daha küçük partikül boyutları kullanılmakta, böylece restorasyonların aşınma direnci, estetik bütünlüğü ve uzun dönem klinik başarısı artırılmaktadır (Liu ve ark., 2021; Sakaguchi ve Powers, 2012).

4.1.2.3. Ara faz

Rezin kompozit materyallerde, organik ve inorganik fazlar arasında güçlü bir kimyasal bağ oluşturulması, fiziksel özelliklerin iyileştirilmesi ve yapısal bütünlüğün korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlanma, genellikle silisyum bazlı bileşikler olan silan ara bağlayıcıları aracılığıyla sağlanır (Schneider ve ark., 2011). Modern kompozit sistemlerinde, inorganik doldurucu partiküller, özellikle silika esaslılar, üretim aşamasında silan ajanları ile kaplanarak yüzeyde çift fonksiyonlu bir moleküler katman oluşturulmaktadır. Bu katmanın bir ucu silika partiküllerinin yüzeyindeki hidroksil gruplarına, diğer ucu ise organik polimer zincirlerine kovalent bağlar ile tutunur (Ikejima ve ark., 2003).



Şekil 6. Silanizasyon (Pratap ve ark., 2019)

Silan bağlayıcılar sayesinde, kompozitlerde rezin-partikül ara yüzü boyunca su geçişi engellenerek hidrolitik stabilite sağlanmakta; böylece çözünürlük ve su emilimi azaltılarak materyalin mekanik ve fiziksel dayanıklılığı artırılmaktadır. Bu nedenle günümüzde üretilen birçok kompozit rezinde, yüksek performanslı silika esaslı doldurucular kullanılmaktadır (Uluakay ve ark., 2011).

Rezin kompozitlerde monomerlerin kimyasal bağlar oluşturarak uzun zincirler veya ağ yapıları meydana getirmesi sürecine polimerizasyon denir. Bu süreç; aktivasyon, başlatma, ilerleme ve sonlandırma olmak üzere dört temel aşamada gerçekleşir. Aktivasyon aşamasında serbest radikaller oluşur, başlatma aşamasında bu radikaller monomerlerle etkileşime girerek polimer zincirinin oluşumunu başlatır. İlerleme evresinde zincire yeni monomerlerin katılmasıyla polimer ağı büyürken, sonlandırma aşamasında reaksiyon tamamlanır (Santini ve ark., 2013).

Kompozitlerin polimerizasyonu, kimyasal reaksiyonlarla veya ışık enerjisi yardımıyla gerçekleştirilebilir. Kimyasal olarak sertleşen kompozitlerde başlatıcı olarak dibenzolperoksit ve hızlandırıcı olarak aromatik yapıda bir tersiyer amin (N,N-bis(2-hidroksietil)-p-toludin) kullanılır. Bu bileşenlerin reaksiyonu sonucunda serbest radikaller oluşarak polimerizasyon süreci başlatılır (AlShaafi, 2017).

Işıkla polimerize olan kompozitlerde ise, 450–500 nm dalga boyundaki mavi ışığı absorbe eden başlatıcı sistemler tercih edilir. Bu amaçla en sık kullanılan foto-aktivatör kamforokinondur. Işığın etkisiyle uyarılan kamforokinon, aminlerle reaksiyona girerek serbest radikaller oluşturur ve polimerizasyonu başlatır. Bu tür materyallerde kamforokinon genellikle %0,2 ile %1 oranında formülasyona dahil edilmektedir (Cramer ve ark., 2011).

Başlatıcı ve hızlandırıcı sistemlerin etkinliği, polimerizasyonun verimliliği ve kompozit rezinin fiziksel özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir (Ilie ve Hickel, 2011).

4.1.2.4. Polimerizasyon inhibitörleri

Rezin kompozitlerin içeriğinde bulunan inhibitörler, polimerizasyon sürecini kontrol altında tutmak ve materyalin raf ömrünü uzatmak amacıyla kullanılan bileşenlerdir. Bu maddeler, serbest radikal polimerizasyonunu yavaşlatarak, istenmeyen erken sertleşmeyi önler ve materyalin işlenebilirliğini artırır (Sturdevant ve ark., 1995). Yaygın olarak kullanılan inhibitörler arasında butillenmiş hidroksitoluen (BHT) ve hidrokinon türevleri bulunur. BHT, düşük konsantrasyonlarda kullanıldığında, kompozitin mekanik özelliklerini etkilemeden polimerizasyon hızını düzenler. Ancak, yüksek konsantrasyonlarda kullanımı, polimerizasyon

derecesini azaltabilir ve materyalin sertleşme süresini uzatabilir (Braga ve Ferracane, 2002). Bu nedenle, inhibitörlerin optimal düzeyde kullanılması, kompozit rezinlerin performansı ve dayanıklılığı açısından kritik öneme sahiptir (Cramer ve ark., 2011; Ilie ve Hickel, 2011).

4.1.2.5. Ultraviyole stabilizatörleri

Kompozit rezin materyallerde, polimerizasyon sonrasında meydana gelen artık ürünlerin ultraviyole (UV) ışığıyla etkileşime girerek renk değişimine neden olmasını önlemek amacıyla UV stabilizatörleri kullanılır. Bu stabilizatörler, elektromanyetik radyasyonu absorbe ederek renk stabilitesini artırır ve UV ışınlarını engeller. Özellikle 2-hidroksi-4-metoksi benzofenon, diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan bir UV stabilizatörüdür (Talib, 1993). Bu bileşik, UV ışınlarını absorbe ederek kompozit materyallerin renk değişimini minimize eder ve uzun vadeli estetik özelliklerini korur. Ancak, bu stabilizatörlerin zamanla kendilerinin de renk değişimine yol açabileceğini bildirilmiştir (Talib, 1993; Sakaguchi ve Powers, 2012).

4.1.2.6. Pigmentler

Kompozit rezinlerde pigmentler, restorasyonun doğal diş rengine uyum sağlaması ve estetik görünümün korunması amacıyla kullanılır. Bu amaçla, toksik etkisi bulunmayan demir, titanyum ve alüminyum oksit gibi inorganik pigmentler tercih edilir (Hickel ve ark., 1998). Bu pigmentler, sadece istenilen renk tonunu elde etmeye yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda zamanla oluşabilecek renk değişimlerini de minimize ederek restorasyonun uzun ömürlü estetik stabilitesini desteklemek amacıyla kullanılır (Craig ve Powers, 2002).

4.1.3. Resin kompozitlerin sınıflaması

Günümüzde resin esaslı kompozit materyaller, içerik ve performans özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmada başlıca dikkate alınan unsurlar arasında kompozitin inorganik doldurucu partikül boyutu, partikül tipi ve bileşimi, polimerizasyon yöntemi, restoratif uygulama alanı, viskozite düzeyi ve materyalin fonksiyonel yeteneği yer almaktadır (Francois ve ark., 2025; Korkut ve ark., 2023).

4.1.3.1. İnorganik partikül boyutuna göre sınıflama

Resin kompozitlerin sınıflandırılmasında en yaygın kullanılan sistemlerden biri, inorganik doldurucu partiküllerin ortalama boyutunu esas alır (Dayangaç, 2000). Bu sistem ilk olarak Lutz ve Phillips tarafından 1983 yılında önerilmiş; makrofil, mikrofil, hibrit ve modern hibrit kompozitler olarak sınıflandırılmıştır. 1994 yılında Bayne ve arkadaşları bu sınıflamaya

megafil ve nanofil kompozitleri de eklemiştir.

4.1.3.1.1. Megafil kompozitler

Doldurucu partikül büyüklüğü 50-100 µm büyüklüğündedir. Megafil kompozitler, yüksek mekanik dayanıklılıkları ve aşınma dirençleri sayesinde, özellikle çiğneme kuvvetlerinin yoğun olarak etkili olduğu posterior bölgelerdeki restorasyonlarda önerilen materyaller arasında yer almaktadır (Dayangaç, 2000).

4.1.3.1.2. Makrofil kompozitler

Doldurucu partikül büyüklüğü 10–100 µm aralığındadır. Makrofil kompozitler, çiğneme kuvvetlerine karşı düşük direnç gösterdiğinden, posterior dişlerde kullanımı önerilmemektedir (Dayangaç, 2000).

4.1.3.1.3. Midifil kompozitler

Partikül büyüklüğü 1-10 µm arasındadır. Makrofil kompozitlere göre daha iyi cilalanabilme amacıyla geliştirilmiştir. Makrofil ve midifil kompozitler geleneksel kompozitler olarak da adlandırılmış olup, benzer mekanik özellikler gösterdiklerinden dolayı posterior dişlerde kullanımı önerilmemektedir (Dayangaç, 2000).

4.1.3.1.4. Minifil kompozitler

Doldurucu partiküller, genellikle 0,1–1 µm boyut aralığındadır ve makrofil kompozitlerle kıyaslandığında daha yüksek oranda polimer matrikse entegre edilmiştir. Bu küçük ve yoğun partikül yapısı, yüzeyin daha düzgün olmasına katkı sağlarken, aynı zamanda materyalin aşınma direncinin daha fazla olmasına olanak sağlar (Robberson ve ark., 2011).

4.1.3.1.5. Mikrofil kompozitler

Mikrofil rezin kompozitler, yaklaşık 0.01–0.1 µm boyutunda doldurucu partiküller içeren, estetik başarısı daha yüksek olan restoratif materyallerdir. Küçük partikül boyutları sayesinde oldukça düzgün bir yüzey elde edilirken, cilalanabilirlikleri de üst düzeydedir. Bu özellikleri sayesinde mikrofil kompozitler özellikle anterior bölgede kullanımı uygun materyallerdir (Dayangaç, 2000).

Bu kompozitler, homojen ve heterojen olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Homojen mikrofil kompozitlerde yalnızca mikrodoldurucu partiküller bulunurken, heterojen yapılarda bu

partiküllere ek olarak prepolimerize doldurucular da kullanılır. Bu prepolimerize partiküller, önceden sertleştirilmiş ve öğütülmüş yapıları sayesinde materyal ile daha iyi kimyasal bağlantı sağlamaktadır (Li ve ark., 1985). Ancak düşük mekanik dayanımları nedeniyle yüksek çiğneme kuvvetine maruz kalan posterior bölgelerde önerilmezler (Önal, 2004).

4.1.3.1.6. Hibrit kompozitler

Hibrit kompozit rezinler, farklı boyutlardaki doldurucu partiküllerin bir arada kullanılmasıyla oluşturulmuş, hem estetik hem de mekanik açıdan geliştirilmiş restoratif materyallerdir (Dayangaç, 2000). Bu kompozitlerde, genellikle 0,1–3 µm aralığında partikül boyutları bulunur ve toplam doldurucu oranı ağırlıkça %70–85'e ulaşır. Makrofil kompozitlere kıyasla daha küçük partiküller içerirken, mikrofillere göre daha fazla doldurucu barındırırlar (Lutz ve Philips, 1983).

Hibrit kompozitlerin türü, içeriğinde baskın olan partikül boyutuna göre adlandırılır: mikropartiküller fazlaysa "mikrohibrit" (0.04-1 µm boyutlarında ince partiküller (%65- 70) ve 0.04-0.2 µm boyutlarında %5-15 oranında çok ince partiküller), nanopartiküller ağırlıktaysa "nanohibrit" (Nanometre boyutunda doldurucu partiküller (0,005–0,01 m) ile geleneksel tipteki doldurucu partiküllerin kombinasyonu) olarak tanımlanır (Uluakay ve ark., 2011). Bu çeşitlendirme sayesinde, hem cilalanabilirlik hem de aşınma direnci artırılmıştır. Kolloidal silika ve ağır metaller içeren cam partiküller gibi inorganik dolgular, organik matris içerisine homojen biçimde dağıtılarak daha düzgün yüzey özellikleri sağlanmıştır. Yüksek mekanik dayanım ve düşük polimerizasyon büzülmesi gibi avantajları sayesinde hibrit kompozitler hem anterior hem de posterior bölgelerde kullanılabilir (Robberson ve ark., 2011).

4.1.3.1.7. Nanofil kompozitler

Nanofil kompozitler, 0,005–0,01 µm boyutlarında inorganik doldurucu partiküller içeren ve nanoteknolojinin diş hekimliğine entegrasyonu ile geliştirilen yeni nesil kompozit materyallerdir (Bayne ve ark., 1994). Bu materyallerin inorganik bileşenlerini, tekil silika partikülleri (nanomerler) ve bu partiküllerin kümelenmiş hali olan nanoclusterler oluşturur (Hervás-García ve ark., 2006). Doldurucu oranının artması, polimer matriks hacmini azaltarak polimerizasyon büzülmesini ve su emilimini düşürürken; renk stabilitesini ve aşınma direncini artırır. Yüzey pürüzlülüğü açısından mikrofil kompozitlere, mekanik dayanım açısından ise hibrit kompozitlere benzer özellikler gösterirler (Jaramillo-Cartagena ve ark., 2021). Ancak, küçük partikül boyutu geniş bir temas yüzeyi oluşturduğundan bağlanma kuvveti artarken,

daha fazla silan ajanına ihtiyaç duyulur. Silan uygulamasındaki yetersizlikler bağlanma performansını olumsuz etkileyebilir. Klinik çalışmalarda, posterior bölgelerde nanofil kompozitlerin hibritlerle benzer aşınma performansı gösterdiği belirtilmiştir (Uluakay ve ark., 2011).

4.1.3.2. İnorganik partikül tipine göre sınıflama

Bir diğer yaygın sınıflandırma sistemi, kompozit rezinlerde kullanılan inorganik doldurucuların türüne veya bileşimine dayanmaktadır (Randolph ve ark., 2016). Yalnızca doldurucu partikül boyutuna göre yapılan sınıflandırmalar; partikülün tipi, morfolojisi, kimyasal bileşimi, geometrisi gibi özgül özellikleri yeterince yansıtmayabilir. Örneğin, her nanohibrit kompozit benzer özellikler göstermeyebilir ve bu durum sınıflandırmada belirsizlik yaratabilir (Kim ve ark., 2002). Bu nedenle bazı araştırmacılar, rezin kompozitleri inorganik fazın bileşimine göre nanoseramik, nanozirkonya, nanocluster veya küresel partiküller içerenler şeklinde ayırmayı önermiştir (Korkut ve ark., 2023). Ayrıca, bazı kompozitlerde polimerizasyon büzülmesini azaltmak ve daha iyi cilalanabilirlik sağlamak amacıyla önceden polimerize edilmiş prepolimerize partiküller de yapıya eklenmiştir (Li ve ark., 1985; Korkut ve ark., 2023).

4.1.3.3. Polimerizasyon yöntemine göre sınıflama

Kompozitlerde sertleşme, polimerizasyon sürecinin başlamasıyla gerçekleşir. Organik fazda bulunan başlatıcı bileşen, kimyasal ya da fiziksel aktivasyonla enerjisi yüksek serbest radikaller oluşturarak monomerlerin çift bağlarıyla reaksiyona girer ve polimer zincirlerinin oluşmasını sağlar. Bu başlatıcıların aktive edilmesini sağlayan aktivatörler, kullanılan polimerizasyon yöntemine göre farklılık gösterir (Önal, 2004).

4.1.3.3.1. Kimyasal yolla polimerize olan kompozitler

Kimyasal olarak sertleşen kompozit rezinler, otopolimerizan (Self-Cured) sistemler olarak da adlandırılır ve iki bileşenli (pat-pat veya toz-likit) formda sunulurlar. Bu sistemlerde polimerizasyon süreci, başlatıcı olarak kullanılan benzoil peroksit ile aktivatör görevindeki tersiyer aminlerin etkileşimi sonucunda başlar. Karışım sonrası oluşan serbest radikaller, monomerlerin zincirleme reaksiyona girerek polimer ağını oluşturmaya neden olur (Kwon ve ark., 2012). Ancak bu kompozitlerde polimerizasyon sırasında oluşan hacim küçülmesi genellikle merkez yönünde olduğundan, kenar bölgelerde stres birikimi ve uyumsuzluk riski taşır. Ayrıca, yapılarında bulunan tersiyer aminlerin zamanla okside olarak renk değişimlerine neden olabileceği bilinmektedir. Bu renklenmeler, ultraviyole ışık maruziyeti ve ağız içi nemle

hızlanabilir (Dayangaç, 2000; Sakaguchi ve Powers, 2012). Klinik kullanım açısından bakıldığında; kısa çalışma süresi, uzun polimerizasyon zamanı ve karıştırma aşamasında hava kabarcığı oluşumu gibi dezavantajlar, bu materyallerin sınırlı kullanım alanına sahip olmasına neden olmuştur. Günümüzde daha çok kor yapımında veya rezin esaslı simanlar olarak kullanılmaktadır (Watts ve Silikas, 2005).

4.1.3.3.2. Işık ile polimerize olan kompozitler

Işıkla sertleşen kompozitler (Light-Cured), polimerizasyonun başlatılması için ultraviyole (UV) ya da görünür ışık kaynakları kullanan sistemlerdir. Bu kaynaklar arasında halojen lambalar, lazer sistemleri, plazma ark ışık kaynakları ve LED (Light Emitting Diode) cihazlar yer alır. Klinik uygulamalarda en sık tercih edilen sistemler ise halojen ve LED tabanlı ışık cihazlarıdır (Puckett ve ark., 2007). Günümüzde yaygın olarak kullanılan ışıkla polimerize olan rezin kompozitler, 410–500 nm dalga boyu aralığında mavi ışık yayan cihazlarla sertleştirilir. Bu sistemlerde, kamforokinon (CQ) ve amin kompleksinden oluşan bir başlatıcı sistemi bulunur (Santini ve Felix, 2013).

4.1.3.3.3. Isı ile polimerize olan kompozitler

Isı ile sertleşen kompozit rezinler (Heat-Cured), ağız dışında uygulanan ısı kütleme yöntemiyle polimerize edilmekte olup bu yöntem, çift bağların daha etkin şekilde açılmasını sağlayarak materyalde kalan artık monomer miktarını azaltmaktadır. Artık monomerin azalması sayesinde, kompozit rezinin mekanik özelliklerinde belirgin iyileşmeler sağlanmakta ve materyalin uzun ömürlü klinik performansı artırılmaktadır (Zhou ve ark., 2019).

4.1.3.3.4. Hem kimyasal yolla hem de ışıkla polimerize olan kompozitler

Hem kimyasal hem de ışıkla sertleşme mekanizmalarını bir arada kullanan dual-cure sistemler de bulunmaktadır. Bu tür kompozit rezinlerde polimerizasyon, görünür ışığa maruz bırakıldığında başlatılır; ancak ışığın ulaşamadığı alanlarda reaksiyon, zamanla kimyasal olarak yavaş şekilde devam eder. Işıkla ve kimyasal yolla sertleşme mekanizmalarını birlikte içermeleri sayesinde, özellikle endodontik postların simantasyonu ve kor yapımında kullanılmaktadırlar. (Zhou ve ark., 2019; Hervás-García ve ark., 2006)

4.1.3.4. Restoratif uygulama alanına göre sınıflama

Seçilen restoratif işleme bağlı olarak, kompozit rezin materyalleri direkt ve indirekt olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Direkt kompozitler, restorasyonun klinikte doğrudan

uygulanarak tabakalar halinde yerleştirildiği işlemlerde tercih edilirken; indirekt kompozitler ise genellikle laboratuvar ortamında önceden kürlenmekte ve daha sonra ağıza simante edilmektedir (Korkut ve ark., 2023).

4.1.3.5. Viskozitelerine göre sınıflama

Rezin kompozitler, klinik kullanımda uygulama kolaylığı, şekillendirme kabiliyeti ve kaviteye adaptasyon gibi özellikleri üzerinde doğrudan etkili olan akışkanlık seviyelerine (viskozitelerine) göre de sınıflandırılmaktadır (Önal, 2004; Altun, 2005).

4.1.3.5.1. Kondanse edilebilen kompozitler

1990'ların sonlarında geliştirilen bu kompozit materyaller, yoğunluk ve kullanım özellikleri bakımından amalgama benzerlik göstermektedir (Dayangaç, 2000). Hibrit kompozitlerle karşılaştırıldığında daha yüksek oranda ve daha yoğun dağılıma sahip inorganik partiküller içerirler; bu durum, viskozitelerinin artmasına yol açar. Bu nedenle, yüksek viskoziteli bu kompozit rezinlerin özellikle arka bölgelerdeki restorasyonlar için tercih edilmesi önerilmektedir (Cobb ve ark., 2000).

Kondanse edilebilir (packable) kompozitler, geleneksel kompozitlere kıyasla daha sert, daha az yapışkan ve klinisyenler için şekillendirilmesi daha kolay bir yapıya sahiptir. Bu kompozitler, el aletiyle itildiğinde veya sıkıştırıldığında iyi proksimal temas noktaları oluşturabilme kapasitesine sahiptir. Ancak bazı araştırmalar, mekanik ve fiziksel özellikleri açısından bu materyallerin geleneksel kompozitlere belirgin bir üstünlük sağlamadığını göstermektedir. Bu nedenle, uzun dönemli klinik performanslarını değerlendiren çalışmalara hâlâ ihtiyaç duyulmaktadır (Zhou ve ark., 2019).

4.1.3.5.2. Akıcı kompozitler

Akıcı kompozitler, diş hekimliğinde ilk kez 1996 yılında kullanılmaya başlanmasından bu yana büyük ilgi görmüştür. Bu materyaller, konvansiyonel kompozitlerin dolgu yükünün %50–70'ten hacimce %37–53'e düşürülmesiyle elde edilmiştir (Dayangaç, 2000). Düşük viskoziteleri sayesinde enjektör yardımıyla kavitedeki küçük çatlak ve köşelere kolayca ulaşarak uygulama sürecini basitleştirir ve işlemi hızlandırır. Ancak, azalan dolgu miktarı nedeniyle bu kompozitlerin polimerizasyon büzülmesi genellikle geleneksel kompozitlere kıyasla daha fazladır (Türk ve ark., 2024).

İlk nesil akıcı kompozitler, düşük elastikiyet modülü ve sınırlı dolgu içeriği nedeniyle yalnızca

kavite astarı ve fissür örtücü olarak kullanılmıştır. Ancak zamanla rezin matriks ve dolgu sistemi geliştikçe, bu materyaller daha geniş bir kullanım alanına kavuşmuştur. Son yıllarda ise, akışkan ve konvansiyonel kompozitlerin avantajlarını birleştirmek amacıyla yüksek oranda doldurulmuş ($\geq$ %70 hacim) akışkan kompozitler geliştirilmiş ve hem anterior hem de posterior restorasyonlar için konvansiyonel pasta tipi kompozitlere alternatif olarak sunulmuştur (Korkut ve ark., 2023). Günümüzde, ortodontik braket ve lingual retainer yapıştırıcısı, anterior kırıkların geçici onarımı, amalgam kenar onarımı, porselen veya kompozit restorasyonların marjin tamiri, fiber post simantasyonu, devital diş beyazlatmalarında koruyucu bariyer oluşturulması gibi alanların dışında; koruyucu rezin restorasyonları, minimal invaziv sınıf II restorasyonlar ve sınıf V abfraksiyon lezyonlarında da tercih edilmektedir (Fidan ve Dereli, 2021; Zhou ve ark., 2019)). Yine de, düşük dolgu oranı ve sınırlı fiziksel dayanıklılık nedeniyle akıcı kompozitlerin sadece düşük stres taşıyan bölgelerde kullanılması önerilir; özellikle oklüzal yüzeyler gibi yüksek çiğneme kuvvetlerine maruz kalan posterior restorasyonlarda tercih edilmez. Yapılan çalışmalar, bu materyallerin konvansiyonel kompozitlere kıyasla daha düşük mekanik dayanıklılık ve aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir (Baroudi ve Rodrigues, 2015).

4.1.3.6. Fonksiyonel yeteneklerine göre sınıflama

Geleneksel sınıflandırmalara ek olarak, piyasada özgün özellikler taşıyan çeşitli rezin bazlı kompozit materyaller bulunmaktadır.

4.1.3.6.1. Ormoserler

Ormoserler, adını "organik modifiye seramik" teriminin ilk hecelerinden alan ve kompozit rezinlerdeki geleneksel yapıya alternatif olarak geliştirilen materyallerdir (Dayangaç, 2011). Bu materyallerde, organik matriksin temel bileşeni olarak metakrilat polisiloksan kullanılırken, dimetakrilat monomer oranı azaltılmıştır. Böylece, alerjik reaksiyon riski düşürülmüş ve biyouyumluluk artırılmıştır. Yapısal olarak, aşınma direnci yüksek ve polimerizasyon büzülmesi düşük olacak şekilde tasarlanmışlardır. Ormoserler, sahip oldukları bu özellikler sayesinde çürük oluşumunu engellemeye yardımcı olabilecek potansiyele sahiptir (Ilie ve Hickel, 2011; Abreu ve ark., 2022). Doldurucu oranı geleneksel kompozitlere göre daha düşük olmasına rağmen, bazı çalışmalarda hibrit kompozitlerle benzer düzeyde polimerizasyon büzülmesi ve daha düşük aşınma değeri sergiledikleri bildirilmiştir (Ilie Hickel, 2011).

4.1.3.6.2. Giomerler

Giomerler, kompozit rezinlerin estetik, cilalanabilirlik ve biyouyumluluk gibi avantajlarını,

cam iyonomer simanların flor salınımı ve flor yeniden yüklenebilme özellikleriyle birleştiren hibrit restoratif materyallerdir (Dayangaç, 2011). İçeriklerindeki flor salan pre-reaksiyonlu cam dolgular sayesinde, özellikle asitlere karşı dirençli bir yüzey oluşturarak bakteri adezyonunu azaltır ve dental plak oluşumuna karşı koruyucu bir bariyer sağlarlar (Xu ve ark., 2003). Bu özellikleri sayesinde, kök çürükleri, servikal lezyonlar, sınıf V restorasyonlar ve süt dişi uygulamaları gibi düşük stresli bölgelerde kullanım için uygundur. Ayrıca, yapılan çalışmalarda giomerlerin marjinal adaptasyon ve yüzey düzgünlüğü açısından rezin modifiye cam iyonomer simanlarla benzer performans gösterdiği bildirilmiştir (Neto ve ark., 2022).

4.1.3.6.3. Siloranlar

Siloran bazlı kompozit rezinler, geleneksel metakrilat bazlı sistemlerde karşılaşılan polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla geliştirilmiş hibrit monomer sistemleridir. Yapılarında bulunan ve materyalin ismini aldığı siloksan ve oksiran bileşenlerinin katyonik halka açılım reaksiyonu göstermesi sayesinde, sertleşme sırasında meydana gelen hacimsel değişim minimize edilir (Ilie ve Hickel, 2011). Bu mekanizma sayesinde büzülmeye bağlı streslerde önemli ölçüde azalma sağlanır. Ayrıca, siloran kompozitlerin hidrofobik yapısı biyolojik sıvılara karşı daha dirençli olmalarını sağlar ve biyouyumlu özellikleriyle dikkat çeker. Ancak sınırlı renk seçenekleri, daha düşük translusensi ve uzun dönem estetik stabilite açısından bazı kısıtlamaları bulunmaktadır. Bu nedenle, siloranlar genellikle posterior bölgelerde kullanım için önerilmektedir (Dayangaç, 2011; Schmidt ve ark., 2015).

4.1.3.6.4. Fiberle güçlendirilmiş kompozitler

Fiberle güçlendirilmiş kompozit rezinler, farklı türde fiberlerin kompozit yapı içerisine entegre edilmesiyle elde edilen ve mekanik dayanımı artırılmış restoratif materyallerdir (Sakaguchi ve Powers, 2012). Bu malzemeler, geleneksel kompozit rezinlere kıyasla daha yüksek kırılma dayanımı sunar ve polimerizasyon sırasında oluşan büzülme stresini azaltarak mikrosızıntıyı minimize eder (Garoushi ve ark., 2015). Özellikle posterior bölgelerdeki yüksek çiğneme kuvvetlerine maruz kalan alanlar için uygundur. Ayrıca splintleme işlemleri ve madde kaybı fazla olan endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonlarında da tercih edilmektedir (Yılmaz ve Emiroğlu, 2025).

4.1.3.6.5. Self-adeziv kompozitler

Self adeziv rezin kompozitler, diş yüzeyine doğrudan bağlanabilen, akışkan formda ve yapısında adeziv monomerler içeren materyallerdir. Özellikle küçük sınıf I ve sınıf V

kavitelerde, servikal lezyonların restorasyonunda ve porselen tamirlerinde kullanılırlar. Bu kompozitlerin yapısında gliserofosfatdimetakrilat (GPDM), hidroksietil metakrilat (HEMA), metakriloyloksietil dihidrojen fosfat (10-MDP) ve 4-metakriloksietil trimellitit (4-META) gibi yüzey pürüzlendirme ve adeziv özelliği sağlayan fonksiyonel monomerler yer alır (Ferracane, 2011). Ancak, geleneksel sistemlerle kıyaslandığında dentinle bağlanma güçlerinin daha düşük olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle bazı çalışmalar, uygulama öncesi dentin yüzeyinin mekanik olarak hazırlanmasının bağlanma değerlerini artırabileceğini göstermiştir (Altunsoy ve ark., 2015). Yüzey düzgünlüğü, parlaklık ve su emilimi açısından da geleneksel rezinlere kıyasla bazı sınırlılıklar gözlemlenmiştir (Wei ve ark., 2011). Bu materyallerin uzun dönem klinik başarısına yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Ferracane, 2011).

4.1.3.6.6. Bulk-fill kompozitler

Geleneksel rezin kompozitlerin posterior bölgelerde sıklıkla uygulanması sonucunda kullanım kolaylığı beklentisi de ortaya çıkmıştır. Üretici firmalar işlemi hızlandırmak ve teknik duyarlılığı azaltmak amacıyla, tek seferde ya da kalın katmanlar hâlinde yerleştirilebilen bulk fill kompozit rezin materyallerini geliştirmiştir. Bu materyallerin çoğu 4–10 mm arasında değişen inkrement kalınlıklarıyla pazarlanmakta ve daha az tabaka ile restorasyon yapımına olanak sağlamaktadır (Garcia ve ark., 2014).

Bulk fill kompozitler, geliştirilmiş translusent yapıları ve farklı fotoaktif başlatıcı sistemleri sayesinde daha derin tabakalarda bile yeterli polimerizasyon elde edebilmektedir. Geleneksel inkremental tekniklere göre daha kısa sürede uygulanmaları, hekimin iş yükünü azaltmakta ve klinik kullanım açısından avantaj sağlamaktadır (Aydın ve ark., 2019). Bununla birlikte, bu yeni sistemlerde kullanılan hidroksil içermeyen Bis-GMA türevleri, alifatik ve aromatik ürean dimetakrilatlar veya dallanmış metakrilatlar gibi modifiye monomer yapıları polimerizasyon büzülme stresini %70'e varan oranlarda azaltabilmektedir (Chesterman ve ark., 2017).

Bu materyallerin daha düşük elastik modülleri ve artan rezin oranı, polimerizasyon sırasında oluşan iç stresi azaltırken, dişe uygulanan bağ arayüzünde oluşabilecek mikrosızıntı, sekonder çürük ya da kenar çatlakları riskini de düşürmektedir. Ancak polimerizasyon büzülmesine bağlı oluşabilecek bu komplikasyonları önlemek için C-faktör (kavite şekli ve bağ yüzeyi oranı) dikkate alınmalıdır (Chesterman ve ark., 2017).

Düşük viskoziteli bulk-fill kompozitler, daha az doldurucu içeriğine sahip oldukları için genellikle astar (liner) materyali olarak ya da küçük hacimli restorasyonlarda kullanılır.

Mekanik dayanıklılıkları sınırlı olduğundan, bu materyallerin üstünün yaklaşık 2 mm kalınlığında geleneksel veya yüksek viskoziteli bir kompozit ile kaplanması gereklidir. Buna karşın, yüksek viskoziteli bulk-fill kompozitler daha fazla inorganik doldurucu içerir ve bu sayede mekanik özellikleri gelişmiş olup, aşınma dirençleri daha yüksektir (Heck ve ark., 2018).

4.1.3.6.7. Biyoaktif rezin kompozitler

Rezin bazlı kompozitler, yaygın kullanımına rağmen sekonder çürükler nedeniyle başarısızlığa uğrayabilmektedir. Özellikle yüksek çürük riskine sahip bireylerde, asidik bakterilerin neden olduğu mineral kaybı ve bağlanma yüzeyindeki bozulmalar restorasyon ömrünü kısaltır. Ayrıca bu materyaller ağız ortamında zamanla biyolojik olarak parçalanmaya uğrar (Melo ve ark., 2023).

Bu sorunları önlemeye yönelik geliştirilen biyoaktif kompozitler, sadece eksik dokuyu tamamlamakla kalmayıp aynı zamanda çürük oluşumunu önleyici terapötik özellikler de sunar. Antibakteriyel etki, remineralizasyon, asit nötralizasyonu ve pulpa dostu yapı gibi fonksiyonel avantajlara sahiptirler (Zhang ve ark., 2017). Bu biyoaktivite, genellikle inorganik fosfat çözeltileriyle temas ettiğinde apatite bağlanmayı destekleyen özel yüzey katmanlarının oluşumu ile sağlanır. Ayrıca, kompozit reçinelerin içine silanize edilmemiş biyoaktif cam partiküller eklenerek bu etkinin güçlendirilmesi hedeflenmiştir (Khvostenko ve ark., 2016).

Ancak bu materyallerin geliştirilmesinde partikül kümelenmesi, renk stabilitesi, hidrolize duyarlılık gibi teknik zorluklarla karşılaşılabilir. Tüm bu sınırlamalara rağmen, biyoaktif kompozitler uzun vadeli klinik başarı ve koruyucu diş hekimliği açısından umut vaat etmektedir (Zhang ve ark., 2017).

4.1.3.1.8. Kompomerler

Kompomerler, cam iyonomer siman ve rezin kompozitlerin temel bileşenlerini bir araya getiren, estetik görünümleri ve flor salınımı özellikleri ile öne çıkan restoratif materyallerdir. Flor salınımı sayesinde çevre dokularda asidik ataklara karşı koruyucu bir tampon etkisi sağlayarak sekonder çürük gelişimini azaltma potansiyeline sahiptirler (Dayangaç, 2011). Cam iyonomer simanlara göre daha az flor salımı yapmalarına rağmen, rezin bazlı yapıları sayesinde daha iyi estetik, adezyon ve mekanik özellikler sunarlar. Tek adımlı adeziv sistemle uygulanabilmeleri ve aşındırma işleminin sınırlı olması, özellikle çocuk hastalarda tedavi süresini kısaltarak uygulama kolaylığı sağlar (Andaş ve ark., 2023).

4.1.3.1.9. Tek renkli rezin kompozitler

Diş restorasyonlarında estetik başarının sağlanabilmesi için kompozit rezin materyalinin doğal diş dokusuyla renk uyumu göstermesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla uzun yıllar boyunca farklı tonlarda mine ve dentin kompozitlerinin birlikte kullanıldığı tabakalama teknikleri tercih edilmiştir. Ancak bu yöntemler yüksek klinik deneyim gerektirirken, tedavi süresini uzatmakta ve renk seçiminde teknik zorluklar yaratmaktadır. Üstelik her hasta için gereken tüm renk tonlarının klinikte her zaman bulunması mümkün değildir (Fidan ve ark., 2023).

Bu sınırlamaları aşmak amacıyla geliştirilen tek renkli (one-shade veya single-shade) kompozit rezinler, çevre diş yapısının rengini “bukalemun etkisi” adı verilen optik adaptasyon yoluyla taklit edebilme yeteneğine sahiptir. Bu materyaller, yalnızca bir renk tonu ile farklı diş tonlarına uyum sağlayarak hem klinik süreçleri kolaylaştırmakta hem de işlem süresini azaltmaktadır. Bu kompozitler, pigment eklenmeden, ışık dalga boylarının kırılması yoluyla çevre dokularla uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Duzyol ve ark., 2024).

Tek renkli kompozitlerin optik özellikleri, özellikle translusensi, kontrast oranı ve renk stabilitesi açısından değerlendirilmiştir. Klinik ve laboratuvar çalışmalar, bu materyallerin birçok diş tonuyla başarılı uyum sağladığını gösterse de, bazı çalışmalar sınırlı renk eşleşmeleri ya da zayıf estetik sonuçlar da bildirmiştir. Bu nedenle literatürde farklı sonuçlar yer almaktadır (Cruz da Silva ve ark., 2023).

4.1.4. Resin kompozitlerin polimerizasyonu

Polimerler, monomer adı verilen basit yapı taşlarının kimyasal bağlarla bir araya gelmesiyle oluşan, uzun zincirli ve yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polimerizasyon süreci, bu monomerlerin düzenli şekilde birleşerek fonksiyonel ve mekanik özellikleri gelişmiş polimer yapılar oluşturmasını sağlar ve bu da dental materyallerin klinik başarısını doğrudan etkiler (Görgen ve Güler, 2015).

Resin kompozitlerde polimerizasyon süreci, genellikle metakrilat bazlı monomerlerin serbest radikal ekleme polimerizasyonu yoluyla polimer haline gelmesiyle gerçekleşir. Bu mekanizma dört ana aşamadan oluşur: aktivasyon, başlatma, yayılma ve sonlandırma (Ritter ve ark., 2018).

İlk olarak, serbest radikallerin oluşması için enerji kaynağına ihtiyaç duyulur. Bu enerji ısı, ışık ya da kimyasal maddeler yoluyla sağlanabilir. Aktivasyon sonucunda ortaya çıkan serbest radikaller, polimerizasyon sürecini başlatır. Başlangıçta bu serbest radikal, monomerdeki çift

bağa saldırarak onu kırar ve yeni bir radikal oluşturur. Bu olay, zincir reaksiyonunun başlamasını sağlar. Yayılma aşamasında oluşan reaktif uç, diğer monomer molekülleriyle etkileşerek ardışık şekilde bağlanır. Bu süreç, her yeni monomerin eklenmesiyle polimer zincirinin uzamasına neden olur. Monomerlerin art arda eklenmesiyle uzun zincirli polimerler meydana gelir. Zincir uzadıkça ortam viskoz hale gelir ve moleküllerin hareket kabiliyeti azalır. Bu da reaksiyon hızının düşmesine ve zincir uzamasının yavaşlamasına neden olur. Reaksiyonun son aşaması olan sonlandırmada, iki aktif radikalın birbiriyle birleşerek yeni bir kovalent bağ oluşturmalarıyla zincir büyümesi durur. Böylece polimerizasyon tamamlanmış olur (Kwon ve ark., 2012).

Polimer zincirlerinin yapısal özellikleri, yani çapraz bağlanma yoğunluğu, materyalin fiziksel dayanıklılığını doğrudan etkiler. Çapraz bağlar ne kadar fazlaysa, ortaya çıkan polimer o kadar sert, dayanıklı ve termal olarak stabil hale gelir. Kullanılan ışık kaynağının tipi ya da uygulama şekli, polimerde oluşan çapraz bağlanma miktarını etkileyerek materyalin son özelliklerinde belirleyici olabilir (Santini ve ark., 2013).

4.1.4.1. Polimerizasyonun dönüşüm derecesi (Konversiyon)

Polimerizasyon dönüşüm oranı, metakrilat bazlı kompozit rezinlerde çift bağ ($C=C$) içeren monomerlerin ne kadarının reaksiyona girerek polimer yapıya dönüştüğünü yüzde olarak ifade eder. Bu oran, kompozitin mekanik dayanımı, çözünürlüğü, boyutsal stabilitesi, renk değişimi ve biyouyumluluğu gibi pek çok özelliğini doğrudan etkiler. Dolayısıyla, özellikle ışıkla sertleşen doğrudan restorasyonlarda dönüşüm oranı, tedavi başarısının belirlenmesinde kritik bir parametredir (Krämer ve ark., 2008).

Polimerizasyon derecesi, önemli bir parametre olmakla birlikte, polimer yapılarının tam karakterizasyonunu sağlamaz. Bu ölçüm, sadece ortalama bir değeri yansıtır ve yüksek ya da düşük polimerizasyonun yerel farklılıklarını dikkate almaz. Aynı miktarda artık çift bağ içeren ancak homojen olmayan şekilde polimerize olmuş bölgeler ile daha düzgün polimerize olmuş yapılar, benzer dönüşüm değerleri gösterebilir. Ayrıca, doğrusal yapı bakımından farklılık gösteren ve dolayısıyla çapraz bağ yoğunluğu değişken olan polimerler de benzer polimerizasyon derecelerine sahip olabilir (Soh ve Yap, 2004).

Dönüşüm oranı, kompozit rezinlerin fiziksel ve mekanik performansını doğrudan etkileyen temel bir parametre olduğundan, yetersiz yani düşük dönüşüm derecesi; düşük mekanik dayanım, artmış mikrosızıntı riski, geçirgenliğin yükselmesi ve artık monomerlerin serbest

kalması gibi klinik açıdan olumsuz sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, restoratif materyallerin uzun vadeli başarısı açısından dönüşüm oranının optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır (Görge ve Güler, 2015).

4.1.4.2. Polimerizasyon teknikleri

Araştırmacılar, polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla polimerizasyon hızının yavaşlatılması gerektiğini belirtmiş ve bu doğrultuda, başlangıçta düşük ışık şiddetiyle kürlemeye başlayan soft-start (yavaş başlama) polimerizasyon tekniklerinin kullanılmasını önermişlerdir (Yap ve ark., 2002). Bu teknik, kürleme süresi, mekanik özellikler, bağlanma kuvveti ve büzülme stresinin azaltılması arasında en iyi dengeyi sağlayan yöntem olarak öne çıkmaktadır (Naveed ve Kishorakumar, 2021). Sabit ışık şiddetinin devamlı uygulanması haricinde dört farklı yöntem vardır.

Kademeli güç artışı gösteren ışık uygulama (Step-curing) tekniğinde, polimerizasyon işlemi düşük yoğunlukta ışıkla başlatılır ve hemen ardından daha yüksek yoğunlukta ışık uygulanarak süreç tamamlanır. Bu sayede polimerizasyon büzülmesi ve içsel stresler azaltılmaya çalışılır. Düzenli artan güçte ışık uygulama (Ramped-curing, exponential) tekniğinde ise ışık şiddeti başlangıçta düşük olup zamanla giderek artar; böylece kompozitin daha yavaş sertleşmesi sağlanarak büzülme streslerinin azaltılması hedeflenir. Ara verilmiş kademeli ışık (Pulse-delay) tekniğinde kısa süreli düşük şiddette ışık uygulanır, ardından bir bekleme süresi geçirilerek yüksek yoğunlukta ışıkla polimerizasyon tamamlanır. İlk uygulamada büzülme meydana gelirken, ikinci uygulama ile polimerizasyon tamamlanır. Aralıklı ışık uygulama (Intermittent) tekniğinde ise ışık bir saniyelik döngülerde yarım saniye açık, yarım saniye kapalı olacak şekilde uygulanır; bu teknik de yüksek güçte ancak aralıklı ışık vererek büzülme streslerini azaltmayı amaçlar (Bektaş ve ark., 2006).

4.1.4.3. Polimerizasyon büzülmesi

Rezin kompozitlerde en önemli sorunlardan biri, monomerlerin polimerleşme sırasında hacimsel olarak %1.5 ile %3 arasında büzülmeye uğramasıdır. Bu büzülme, diş-restorasyon ara yüzeyinde stres oluşumuna yol açarak bağlanma başarısızlıklarına neden olabilir. Bunun sonucunda mikrosızıntı, post-operatif hassasiyet, renk değişimi ve sekonder çürük gibi klinik problemler gelişebilir (Uluakay ve ark., 2011).

Polimerizasyon büzülmesi, resin kompozitlerin organik ve inorganik içerikleriyle doğrudan ilişkilidir. Akışkan kompozitler, daha fazla akıcılık elde etmek amacıyla genellikle daha yüksek

oranda organik matriks içerir. Bu nedenle, hibrit kompozitlere kıyasla daha fazla büzülme gösterirler (Garcia ve ark., 2014). Bu sorunları en aza indirmek amacıyla, kompozit üreticileri, %80'in üzerinde ağırlıkça doldurucu içeriğine sahip kompozit materyaller geliştirmek ve kompozitlerin rezin matriks yapısının kimyasal olarak modifiye edilmesi gibi yaklaşımlar geliştirmiştir (Garcia ve ark., 2014; Condon ve Ferracane, 2000)). Rezin kompozitlerin formülasyonu dışında, polimerizasyona bağlı faktörler ve ışık cihazlarına bağlı faktörler de polimerizasyon büzülmesini etkilemektedir (Krämer ve ark., 2008).

4.1.4.4. Polimerizasyonda kullanılan ışık kaynakları

Günümüzde kompozit rezinlerin sertleştirilmesinde kullanılan başlıca polimerizasyon kaynakları; halojen lambalar, ışık yayan diyotlar (LED), plazma ark lambaları ve argon lazerleri olmak üzere dört ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bu ışık kaynakları, polimerizasyonu başlatmak için gerekli enerjiyi sağlayarak rezin materyalin sertleşmesini mümkün kılmaktadır (Martin, 1998).

4.1.4.4.1. Halojen ışık kaynakları

Kuartz-tungsten-halojen (KTH) ışık kaynakları, yüksek ısı ile akkor hale gelen lambalar aracılığıyla 380-520 nm dalga boyları aralığında mavi ışık üretir (Caughman ve Reuggeberg, 2002).

KTH ışıklarının diş dokusuna ve kompozit materyale zarar verebilecek istenmeyen elektromanyetik radyasyonu iletmesini önlemek için çeşitli optik filtre sistemleri kullanılmaktadır. Ampulün arkasında yer alan gümüş kaplamalı parabolik reflektör, ışığı yönlendirirken dikroik filtre görevi görerek kızılötesi ışığın bir kısmının geçmesine ve öne yansıtılmasına engel olur. Ardından, görünür ışığın kısa dalga boyları, kalan kızılötesi bileşenleri elimine eden bir kızılötesi filtreye yönlendirilir. Bu filtreleme işlemi sayesinde yalnızca polimerizasyon için gerekli spektrum dış yüzeyine ulaşır (Soh ve ark., 2003; Hofmann ve ark., 2002).

Halojen ışık kaynakları uzun yıllardır diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bazı dezavantajları nedeniyle bu sistemlerin etkinliği sorgulanmaya başlanmıştır. Özellikle halojen lambaların sınırlı ömrü, reflektör ve filtrelerin zamanla etkinliğini yitirmesi, kullanım süresine bağlı olarak ışık şiddetinin azalması ve yüksek ısı üretimi gibi olumsuzluklar dikkat çekmektedir. Bu nedenlerle son yıllarda daha güvenilir, enerji verimliliği yüksek ve uzun ömürlü alternatif ışık kaynaklarına yönelik araştırmalar artmıştır (Bektaş ve ark., 2006).

4.1.4.4.2. LED ışık kaynakları

Kuartz-tungsten-halojen ışık kaynaklarının sahip olduğu bazı dezavantajları gidermek amacıyla geliştirilen LED (Light Emitting Diode) ışık kaynakları, günümüzde diş hekimliğinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Stahl ve ark., 2000). Bu sistemler, elektron geçişini sağlayan iki farklı yarı iletken tabakadan oluşur ve yaklaşık 455–486 nm dalga boyu aralığında mavi ışık yayarlar. Bu dalga boyu aralığı, kompozit rezinlerde yaygın olarak bulunan başlatıcı ajan kamforokinonun (CQ) etkinleşmesi için gereken enerjiyi sağlar. Bu sayede LED ışık kaynakları, kompozit materyallerin başarılı şekilde polimerize olmasına olanak tanır (Soh ve ark., 2003).

LED ışık kaynaklarının en önemli avantajlarından biri, ışık üretimi sırasında ısı açığa çıkarmamalarıdır. Bu özellik, uygulandıkları yüzeylerde minimum sıcaklık artışı oluşmasına neden olur ve pulpal dokular açısından daha güvenli bir ortam sağlar. Ayrıca yalnızca ihtiyaç duyulan dar dalga boyunda ışık yaydıkları için, halojen lambalarda olduğu gibi spektrum filtreleme işlemine gerek kalmaz. Bu yönüyle LED'ler filtre gerektirmeyen tek ışık kaynağıdır. Fan içermemeleri, sessiz çalışmaları, kompakt ve taşınabilir olmaları da klinik kullanım açısından büyük avantaj sağlar (Soh ve ark., 2003; Hofmann ve ark., 2002).

LED sistemleri, uzun ömürlü yapıları ve sabit ışık şiddeti sunmalarıyla da dikkat çeker. Ancak dar enerji spektrumuna sahip olmaları, en önemli sınırlılıklarından biridir. Bu durum, LED ışık kaynaklarının yalnızca kamforokinon içeren başlatıcı sistemlerde etkili olmasına neden olurken; daha kısa dalga boylarında aktive olan başlatıcı ajanlar içeren bazı yeni nesil kompozit ve adeziv sistemlerin yeterli düzeyde polimerize edilememesiyle sonuçlanabilir (Price ve ark., 2003).

Zamanla LED teknolojisi geliştirilmiş ve bu cihazların ilk nesilleri yerini daha güçlü, daha etkili ikinci nesil LED sistemlerine bırakmıştır. İlk jenerasyon LED'ler düşük ışık şiddeti (400 mW/cm²'nin altında) sunduklarından dolayı, kompozit polimerizasyonu için gereken süre 40 saniye ya da daha uzun olabilmekte ve halojen ışık kaynaklarına göre yetersiz performans gösterebilmekteydi. Günümüzde kullanılan ikinci nesil LED sistemleri ise 600–1000 mW/cm² aralığında daha yüksek ışık şiddeti sunar ve 390–490 nm gibi daha geniş bir dalga boyu spektrumuna sahiptir. Bu gelişmeler sayesinde daha kısa sürede (genellikle 20 saniyenin altında) daha etkili bir polimerizasyon sağlanabilmektedir. Geniş spektrumlu bu yeni nesil LED sistemleri, farklı başlatıcı ajanlar içeren kompozit materyallerde de etkin sonuçlar verebilmektedir (Santos ve ark., 2004; Price ve ark., 2003).

4.1.4.4.3. Plazma ark ışık kaynakları

Plazma ark ışık kaynakları, enerji üretimi için xenon lambaları kullanır ve 380–500 nm dalga boyu aralığında yoğun ışık yayarlar. Bu sistemler, yaklaşık 2500 mW/cm²'ye kadar ulaşabilen yüksek ışık gücüyle, kompozit rezinlerin polimerizasyon süresini önemli ölçüde kısaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Aynı zamanda daha etkili bir polimerizasyon sağlamayı hedefler. Ancak bazı çalışmalarda, bu kadar kısa sürede gerçekleşen polimerizasyonun, kompozit materyallerin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebileceği bildirilmiştir (Ilie ve ark., 2005; Şener ve ark., 2005). Bu nedenle, plazma ark ışık kaynaklarının klinik kullanımı dikkatli değerlendirilmelidir.

4.1.4.4.4. Argon lazer ışık kaynakları

Lazerler, diş hekimliğinde çeşitli uygulamalarda uzun süredir kullanılmaktadır. Kompozit rezinlerin polimerizasyonunda ise özellikle argon lazer sistemleri tercih edilmektedir. Bu sistemler, kamforokinonu aktive edebilen tek lazer türü olarak öne çıkar (Çelik ve Özel, 2008). Argon lazerler 400–500 nm dalga boyu aralığında ışık yayarlar ve kısa uygulama süreleri ile dikkat çekerler (Vargas ve ark., 1998). Yapılan araştırmalar, lazer ile polimerize edilen kompozit rezinlerde sıkışma-gerilme direnci, elastisite modülü ve aşınma direncinin arttığını göstermiştir (Perry ve ark., 2000). Argon lazerlerin dar bir ışık spektrumu bulunmakla birlikte, daha küçük boyutlu, ekonomik ve etkili bir alternatif olarak DPSS (diode pumped solid state) lazerlerin argon lazerlerin yerini alabileceği öngörülmektedir (Kwon ve ark., 2007).

4.1.5. Rezin kompozitlerde bitim ve cila işlemleri

Restoratif diş tedavisi uygulamalarında rezin kompozit materyallerin kullanımı sırasında, bitirme ve cila işlemleri, restorasyonun uzun dönem estetik ve fonksiyonel başarısını belirleyen önemli aşamalar arasında yer alır. Pürüzsüz yüzeyler, mikrobiyal dental plak birikimini azaltarak gingival doku irritasyonu riskini düşürür, renklenme ve sekonder çürük oluşumu gibi istenmeyen komplikasyonların önüne geçer. Dilin, yüzey pürüzlülüğündeki 0,3 mikrometrelik farklılıkları algılayabilmesi, yüzey düzgünlüğünün sağlanmasının hasta konforu açısından da önemini göstermektedir. Yüzeyi iyi cilalanmış kompozit restorasyonlar, aşınma direnci ve mikrosertlik gibi mekanik özelliklerde artış sağlarken, yüzey porozitesini ve renk emilimini azaltarak estetik kalitenin artmasına katkı sağlar (Korkut, 2021).

Bitirme işlemi, tamamlanan restorasyonun genel konturlarının ve fazlalıklarının uzaklaştırılması, anatomik formun oklüzyona uygun hale getirilmesi işlemidir. Primer

morfoloji ve embrasürler bu aşamada düzenlenir. Cila işlemi ise oluşturulan anatomiye bozmadan yüzeyin pürüzsüz hale getirilmesi ve parlatılmasıdır. Kompozit rezinlerin yüzey pürüzlülüğü, materyalin tipi ve özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte, başarılı bir bitirme ve cila protokolüyle bu durum minimize edilebilir (Bansal ve ark., 2019).

Bu işlemlerde kullanılan materyaller arasında tungsten karbid frezler yer alır ve bu frezler 4 ila 30 arasında değişen bıçak sayısına sahiptir. Kalın konturların ve fazla materyalin uzaklaştırılmasında etkilidirler. Elmas frezler, anatomik şekillendirme ve detaylı kontur oluşturma işlemlerinde kullanılır. Alüminyum oksit ya da elmas partikülü emdirilmiş cila lastikleri, cilalama aşamasında tercih edilirken farklı aşındırıcılık düzeylerine sahiptir. Cila diskleri, özellikle anterior bölgelerde estetik sonuçlar için kullanılırken spiraller, farklı yönlerde dönen yapısıyla erişimi zor yüzeylerde etkilidir. Parlatma amacıyla mikropartikül içeren parlatıcı pastalar, keçeler veya yumuşak fırçalarla uygulanabilir. Ayrıca, proksimal bölgeler için zımpara şeritleri kullanılarak konturların hassasiyetle şekillendirilmesi sağlanır (Kemaloglu ve ark., 2017; Ölmez ve Kisbet, 2013).

Tüm bu işlemler sırasında kullanılan materyallerin aşındırıcılık dereceleri, formu ve uygulanan kompozit materyalin özellikleri dikkate alınarak uygun teknikle seçilmesi, restorasyonun başarısı açısından büyük önem taşır.

4.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Rezin kompozit restorasyonların estetik başarısı; yüzey pürüzlülüğü, parlaklık, renk stabilitesi ve kenar sızdırmazlığı gibi yüzey özelliklerine doğrudan bağlıdır. Bitirme ve polisaj işlemleri, bu yüzey özelliklerinin sağlanmasında kritik rol oynar. Pürüzlü yüzeyler, plak birikimini artırarak renklenme, sekonder çürük ve gingival iritasyon gibi komplikasyonlara yol açabilir (Scheibe ve ark., 2009). Yapılan çalışmalarda, bakteriyel tutunma için kritik yüzey pürüzlülüğü sınırı Ra 0,2 µm olarak belirlenmiştir (Jefferies, 2007). Bunların yanında, restorasyonun yüzey pürüzlülüğü yalnızca biyolojik ve estetik açıdan değil, hastanın konforu bakımından da önemlidir. Literatürde, yüzeyde bulunan 0,3 µm büyüklüğündeki pürüzlü alanların bile dil tarafından hissedilebildiği gösterilmiştir. Bu durum, restorasyon sonrası hasta memnuniyetini doğrudan etkileyebilecek bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Korkut, 2021).

Yüzey kalitesini etkileyen temel faktörler arasında kompozitin içeriğinde bulunan monomer tipi, doldurucu partikül şekli ve boyutu ile polimerizasyon derecesi yer alır. Daha düzgün yüzeyler elde edebilmek amacıyla partikül boyutlarının küçültülmesi ve doldurucu miktarının

artırılması hedeflenmektedir (Jung ve ark., 2007). Nanoteknoloji, 1-100 nm boyutlarındaki fonksiyonel materyallerin ve yapıların üretimini kapsamaktadır. İçeriğinde kullanılan inorganik doldurucuları nano boyutlarda olan rezin kompozitler nanokompozitler olarak adlandırılır. Yapılarındaki partiküllerin küçüklüğü sayesinde, nanokompozitler iyi polisajlanabilir ve daha düzgün, parlak yüzeyler elde edilmesine olanak tanır (Barakah ve Taher, 2014).

Rezin kompozitlerde estetik ve fonksiyonel başarının sağlanmasında, materyal içeriği kadar bitirme ve polisaj işlemleri de önemlidir. Bitirme, restorasyonun anatomik formunun şekillendirilmesidir; polisaj ise bu işlem sonrası oluşan yüzey düzensizliklerini gidererek pürüzsüzlük sağlar. Bu amaçla karbid ve elmas frezler, alüminyum oksit partiküllü diskler, zımparalar ve polisaj patları kullanılır. Alüminyum oksit içeren çok aşamalı disklerle oldukça düzgün yüzeyler elde edildiği gösterilmiştir. Yeni geliştirilen sistemlerde hem yüzey kalitesinin artırılması hem de işlem adımlarının azaltılması hedeflenmiştir. Mikro elmas partiküllü aşındırıcı lastikler ve silikon karbid içeren fırçalar gibi tek aşamalı sistemler, bu süreci kolaylaştırmak için üretilmiştir (Jefferies, 2007; Biçer ve ark., 2017). Bütün bunlara dayanarak, yalnızca uygun kompozit seçimi değil, etkili bir bitirme ve polisaj protokolü de restorasyonun hem estetik hem fonksiyonel başarısı açısından büyük önem taşır.

4.2.1. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Yüzey pürüzlülüğü, restoratif materyalin yalnızca dokunsal hissini değil; aynı zamanda ışığı yansıtma şekli, parlaklığı ve translusentliğini etkileyerek estetik performansını doğrudan belirleyen önemli bir özelliktir (Filiz ve ark., 2023). Bu nedenle, rezin restorasyonların estetik başarısını değerlendirmek için yüzey pürüzlülüğü analizleri büyük önem taşır. Özellikle pürüzlü yüzeyler ışığı düzensiz yansıtarak mat bir görünüm yaratabilirken, düzgün yüzeyler ışığı daha homojen yansıtarak daha parlak ve doğal bir görünüm sunar (Değirmenci ve ark., 2016).

Restoratif materyallerin yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek amacıyla hem kantitatif hem de kalitatif analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Mekanik (kontakt uçlu) ve optik profilometre, taramalı elektron mikroskobu (SEM), lazer temassız profilometre, atomik kuvvet mikroskobu bu yöntemlerdendir (Yanikoglu ve Sakarya, 2020). En sık başvuru alan yöntemlerden biri mekanik profilometredir; bu cihaz belirli bir yüzey alanını tarayarak Ra değeri olarak bilinen ortalama pürüzlülük değerini verir. Bununla birlikte, profilometre yalnızca sınırlı bir alanı ölçtüğünden, tüm yüzeyin karakterizasyonu için yetersiz kalabilir (Filiz ve ark., 2023). Bu nedenle taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi nitel analiz yöntemleriyle desteklenmesi

önerilir. SEM, yüzey morfolojisinin detaylı görüntülenmesini sağlar (Hosoda ve ark., 1990). Ayrıca atomik kuvvet mikroskobu (AFM) gibi yeni nesil temassız teknolojiler de, nanometre düzeyinde yüzey topografyasını üç boyutlu olarak değerlendirme imkanı sunar (Rodriguez ve ark., 2009). Bu yöntemlerin birlikte kullanılması, materyalin yüzey özelliklerinin daha doğru ve kapsamlı şekilde analiz edilmesini sağlar.

4.2.1.1. Profilometreler

Mekanik ve optik profilometreler, yüzey pürüzlülüğünün kantitatif olarak ölçülmesine olanak sağlar (Yanikoglu ve Sakarya, 2020).

4.2.1.1.1. Optik profilometreler

Yüzey topografyası üç boyutludur ve bu nedenle yüzeyin doğal yapısı optik profilometreler ile ortaya konabilir. Optik profilometreler, yüzeye mekanik temas olmaksızın optik ışınlar aracılığıyla tarama yaparak üç boyutlu ölçümler gerçekleştiren cihazlardır (Yanikoglu ve Sakarya, 2020).

Düz bir dalga, tamamen absorbsiyon göstermeyen düz bir yüzeye çarptığında yansiyarak düz bir dalga olarak yayılır. Ancak yüzeydeki komşu noktalar aynı yükseklikte değilse, düz dalga içinde yerel faz kaymaları meydana gelir ve bu durum, ışığın aynasal yansıma dışında yönlere dağılmasıyla gözlenir. Yüzey çok pürüzlüyse, ışık tüm yönlere eşit şekilde dağılır ve yüzey topografyasını temsil etme yetisi kaybolur. Bu nedenle, bu yöntem yalnızca oldukça düzgün yüzeylerde anlamlı sonuçlar verir. Cihaz, iç referans ile yüzey noktaları arasındaki mesafeyi ölçerek çalışır ve optik bileşenlerin özellikleri sayesinde yaklaşık 100 mikrometre karelik bir alanda birkaç nanometre düzeyinde çözünürlük sağlar (Joniot ve ark., 2006).

4.2.1.1.2. Mekanik profilometreler

Mekanik (kontakt) profilometreler, yüzeyi elmas uçlu bir prob aracılığıyla temas ederek tarayan ve iki boyutlu ölçümler yapan cihazlardır. Sensör, X eksenini boyunca ilerlerken dikey eksenindeki yükseklik farklılıklarını cihazın hareket sistemine referansla hesaplar. Bu nedenle, ölçüm yapılan yüzeyin sensörün Y eksenine paralel olması dikkatle ayarlanmalıdır (Joniot ve ark., 2006). Elmas uçlu sensörler, yüzeyi genellikle 20–50 mikrometre çözünürlükle enine tarar. Tekniğin hassasiyeti yaklaşık 0.01 mikrometre düzeyindedir. Ancak yüzey pürüzlülüğü çok düşük olduğunda, bu yöntem yetersiz kalabilir ve optik ölçüm yöntemlerine ihtiyaç duyulur (Jung ve ark., 2003). Ölçüm değerlerinin yüzeydeki oluklardan etkilenmemesi için farklı

açılardan tekrarlar yapılmalıdır. Mekanik profilometreler hem dijital hem de analog donanım ve yazılımlar aracılığıyla verileri kaydedebilir. Elde edilen ölçüm değerleri arasında, belirli bir mesafede yüzey düzensizliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasını gösteren R_a , aynı mesafede en yüksek ve en derin noktalar arasındaki mesafeyi ifade eden R_{max} ve birbirini takip eden beş maksimum tepe ve çukurun ortalamasını belirten R_z yer alır (Yanikoglu ve Sakarya, 2020).

4.2.1.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), nanometre ile mikrometre ölçeğindeki organik ve inorganik materyallerin yüzey özelliklerini yüksek büyütme oranlarıyla incelemek için kullanılan güçlü bir görüntüleme yöntemidir. Elektron kaynağından çıkan yüksek enerjili elektronlar elektromanyetik merceklerden geçerek numune yüzeyine odaklanır ve burada meydana gelen etkileşimler sayesinde görüntü oluşturulur (Abdullah ve Mohammed, 2019). SEM, yüzeydeki çizik, çatlak ve diğer defektlerin detaylı incelenmesinde yaygın olarak tercih edilir (Yanikoglu ve Sakarya, 2020).

Bu yöntemin en dikkat çekici avantajlarından biri yüksek odak derinliği sunmasıdır; bu sayede yüzeyin farklı noktaları aynı anda net şekilde görüntülenebilir. Bununla birlikte üç boyutlu yüzey yapısını doğrudan yansıtamaması, vakum ortamı gerektirmesi ve numunenin kaplama gibi bir ön işleminden geçirilme zorunluluğu gibi bazı sınırlamaları da vardır (Filiz ve ark., 2023). Ancak gelişen mikroişlemci ve bilgisayar teknolojileriyle desteklenen SEM sistemleri, verilerin hızlı ve ayrıntılı bir şekilde toplanmasını ve analiz edilmesini mümkün kılarak araştırmalarda büyük kolaylık sağlamaktadır (Bansal, 2019).

4.3. Renk

Renk, ışık enerjisinin bir nesneyle etkileşime girerek gözlemcide oluşturduğu psikofiziksel bir algıdır. Bu algı, ışık kaynağının yaydığı dalga boyları ve nesnenin bu ışığı yansıtma ya da emme biçimiyle şekillenir (Torres ve Zanatta, 2020). İnsan gözü 380 ila 760 nanometre arasındaki dalga boylarına duyarlıdır ve yaklaşık 10 milyon farklı rengi ayırt edebilir (Paravina ve Powers, 2004). Bir nesnenin rengi, üzerine düşen çok bileşenli (genellikle beyaz) ışığın belli dalga boylarını yansıtması ve diğerlerini emmesiyle belirlenir (Brook ve ark., 2007).

Renk algısı için bir ışık kaynağı, bir nesne ve bir gözlemci gerekir (Burkinshaw, 2004). Işık, nesneye çarparak belirli dalga boylarını yansıtır; bu yansıyan ışık, gözün retina tabakasındaki fotoreseptörleri uyarır ve sinir iletileriyle beyne iletilerek görsel kortekste renk olarak algılanır.

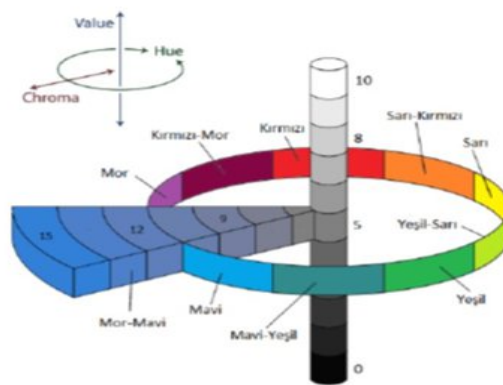
Bu süreçte bireysel farklılıklar, göz yorgunluğu ya da adaptasyon gibi faktörler nedeniyle her birey renkleri farklı şekilde algılayabilir (Brewer ve ark., 2004). Bu durum, özellikle geniş renk yelpazesine sahip doğal dişlerin restoratif materyallerle uyumlandırılmasında, doğru renk seçimini oldukça önemli hale getirir.

4.3.1. Renk sistemleri

Diş hekimliğinde doğru ve anlaşılır bir renk algısı sağlamak, estetik restorasyonların başarısı açısından büyük önem taşır. Diş yapısı genellikle birden fazla renk tonunu barındırdığı için, ideal bir renk eşlemesi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu nedenle, renklerin daha doğru tanımlanabilmesi ve uygun restoratif renk seçiminin yapılabilmesi amacıyla bazı renk sistemleri geliştirilmiştir. Munsell ve CIE renk sistemleri, diş hekimliğinde en sık kullanılan ve kabul gören sistemler arasında yer almaktadır (Köroğlu ve ark., 2021).

4.3.1.1.1. Munsell renk sistemi

Diş hekimliğinde estetik açıdan başarılı bir restorasyonun temelinde doğru renk seçimi yer alır ve bu süreci sistematik hale getirmek amacıyla çeşitli renk sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler arasında, dünya genelinde tanınırlığı, tutarlılığı ve kullanım kolaylığı nedeniyle en çok benimsenenlerden biri Munsell renk sistemidir (Vadher ve ark., 2014). Prof. Albert H. Munsell tarafından 20. yüzyılın başlarında geliştirilen bu sistem, rengi üç temel boyutta tanımlar: ton (hue), açıklık (value) ve doygunluk (chroma) (Köroğlu ve ark., 2021).



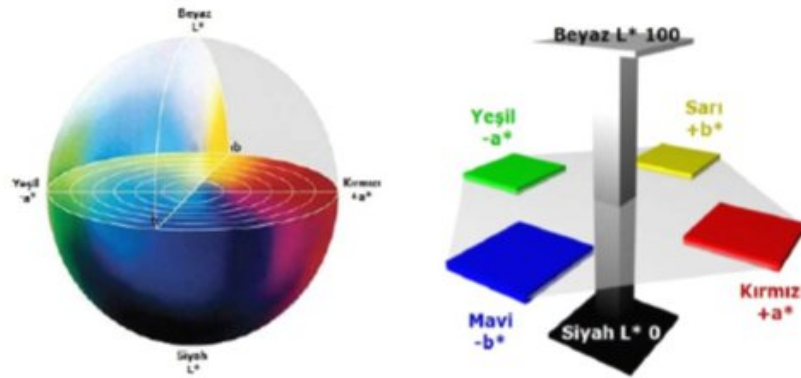
Şekil 7. Munsell Renk Sistemi (Barutçigil, 2010)

Ton (hue), bir rengin karakteristik niteliğidir ve kırmızı, sarı, mavi gibi renklerin isimlendirilmesini ifade eder. Diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan Vita Classic renk skalasında tonlar A, B, C ve D harfleri ile temsil edilir. Doygunluk (chroma), bir rengin

yoğunluğunu veya canlılığını tanımlar; Vita skalasında artan sayısal değerler artan doygunluğu gösterir. Açıklık (value) ise bir rengin açık ya da koyu oluşunu, yani ışık yansıtma düzeyini ifade eder ve Munsell sisteminde siyah-beyaz gri skalasıyla temsil edilir. Renk değerinin azalması, doygunluğun artmasıyla sonuçlandığından, bu iki parametre ters orantılıdır. Bu üç boyutun dengeli değerlendirilmesi, restoratif materyalin doğal diş dokusuyla uyum içinde görünmesini sağlayan estetik bir sonuç için kritik öneme sahiptir (Köroğlu ve ark., 2021).

4.3.1.1.2. CIE Lab renk sistemi

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de l'Éclairage – CIE), 1931 yılında renkleri ölçmek ve tanımlamak amacıyla ilk enstrümantal renk ölçüm sistemlerinden biri olan CIE XYZ modelini tanıtmıştır (Paravina ve ark., 2015). Bu model, insan görsel algısına dayalı olarak geliştirilen ilk renk uzaylarından biri olup, renklerin karşılaştırmalı algılanabilirliğine göre yapılandırılmıştır. 1976 yılında bu sistem temel alınarak daha gelişmiş ve görsel olarak daha uniform (eşit algılanabilir) bir renk uzayı olan CIELAB modeli tanıtılmıştır (İbraheem ve ark., 2012). CIELAB sistemi, renk farklarını nicel olarak değerlendirmeye olanak sağlayan üç boyutlu bir renk uzayıdır (Vadher ve ark., 2014).



Şekil 8. CIE Lab Renk Sistemi (Barutçigil, 2010)

Bu modelde L* eksen, bir nesnenin açıklık-koyuluk derecesini (ışıklılık) belirtirken; a* eksen, yeşilden kırmızıya, b* eksen ise maviden sarıya uzanan renk skalasını temsil eder. L* değeri 0 ile 100 arasında değişir ve 0 tamamen siyah, 100 ise tamamen beyazı ifade eder. a* ve b* değerleri ise pozitif ya da negatif yönlerde artarak daha yoğun veya doygun renkleri tanımlar. Doğal diş renklerinde a* ve b* değerleri genellikle sıfıra yakın olup, renk doygunluğu arttıkça bu değerler de artar (Köroğlu ve ark., 2021). CIELAB sisteminin önemli avantajlarından biri, renk farklarının sayısal olarak ifade edilebilmesi ve bu farkların klinik olarak algılanabilirliğe

karşılık gelen birimler üzerinden değerlendirilebilmesidir (Vadher ve ark., 2014). Bu nedenle sistem, diş hekimliğinde renk araştırmaları için yaygın olarak kullanılmakta olup, daha gelişmiş bir formülü olan CIEDE2000 de günümüzde sıklıkla tercih edilen bir varyant haline gelmiştir. Bu formül, özellikle diş hekimliği gibi klinik alanlarda renk farklılıklarının insan gözüne daha yakın biçimde ölçülmesini sağlar. CIEDE2000, CIELAB sistemini temel alarak, özellikle düşük doygunlukta (nötr) renklerde daha doğru sonuçlar verir ve renk tonu ile doygunluk etkileşimini hesaba katan bir rotasyon terimi (RT) içerir (Şekil 9). Formülde yer alan parametrik faktörler (KL, KC, KH), sırasıyla aydınlatma, kontrast ve ton farklılıklarının etkisini dengeleyerek farklı görme koşullarına göre hesaplamaların uyarlanmasını sağlar. Bu sayede, gözle algılanabilen (algılanabilirlik) ve kabul edilebilir (klinik olarak fark edilmeyen) renk farkları arasında daha sağlam bir ilişki kurulabilir. CIEDE2000 formülü, dental restorasyonlardaki renk uyumunun değerlendirilmesinde güvenilir ve klinik olarak anlamlı sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur (Paravina ve ark., 2015; Gómez-Polo ve ark., 2016).

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)}$$

Şekil 9. CIEDE2000 formülü

4.3.2. Renk ölçüm teknikleri

Renk eşleştirme için iki temel teknik vardır: biri görsel teknik olup renk skalası (shade guide) kullanılarak yapılır, diğeri ise renk ölçüm cihazlarıyla gerçekleştirilen enstrümantal teknik. Görsel teknik gözlemcinin algısına dayanırken, enstrümantal teknik daha objektif ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlar (Joiner, 2004).

4.3.2.1.1. Görsel teknik

Bu yöntem, restoratif materyalin doğal dişle en uyumlu renginin belirlenebilmesi için, çeşitli renk örneklerinin bir renk tonu skalasından seçilerek doğrudan görsel olarak karşılaştırılmasına dayanır (Paravina ve ark., 2015).

Diş hekimliğinde renk seçimi için en yaygın kullanılan renk skalaları Vita Klasik ve Vita 3D-Master'dır (Brewer ve ark., 2004).

Vita Klasik skalası, A1'den D4'e kadar 16 renk tonunu içerir ve yıllardır estetik restorasyonlarda

altın standart olarak kabul edilmektedir. Bu skala, dört ana gruba ayrılır: A grubu kırmızımsı-kahverengi, B grubu kırmızımsı-sarı, C grubu gri, D grubu ise kırmızımsı-gri tonlardadır. Her grup içinde, artan sayı değerleri artan chroma (renk yoğunluğu) ve azalan value (parlaklık) anlamına gelir (Paravina ve Powers, 2004).

Vita 3D-Master skalası ise doğal dişlerin renk yapısına göre daha sistematik olarak tasarlanmıştır. Bu sistemde renkler üç boyutta değerlendirilir: value (parlaklık), hue (renk tonu) ve chroma (doymunluk). Skala, sayı-harf-sayı şeklinde işaretlenmiştir. İlk sayı 0-5 arası value'yu, ortadaki harf (L, M, R) hue'yu, son sayı ise 1-3 arası chroma derecesini gösterir. Bu sayede daha detaylı ve sistemli bir renk seçimi yapılmasına olanak tanır (Paravina, 2018).

4.3.2.1.2. Enstrümantal teknik

Cihazlarla yapılan renk ölçüm yöntemleri, görsel yöntemlere kıyasla daha objektif, hızlı ve sayısal verilerle ifade edilebilir olması bakımından önemli avantajlar sunar. Günümüzde renk ölçümü amacıyla kolorimetreler, spektrofotometreler, dijital kamera sistemleri ve diğer görüntüleme teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar, insan gözünün öznel değerlendirmesinden bağımsız olarak, renk farklılıklarını hassas biçimde ölçme olanağı sağlar (Okubo ve ark., 1998).

4.3.2.1.3. Kolorimetre

Kolorimetreler, standart bir renk kalibrasyonuna dayanarak nesnelerin renk verilerini analiz eden cihazlardır. İnsan gözünün algıladığı mavi, kırmızı ve yeşil renk bileşenlerine göre ölçüm yapar ve bu renkleri filtreleyen özel optik sistemlerle donatılmıştır. Genellikle ölçümelerini CIE Lab ya da X, Y, Z tristimulus değerleri cinsinden sunar ve bu değerler farklı objeler arasında karşılaştırma yapılmasına olanak tanır. Kolorimetreler in vivo ve in vitro şartlarda doğal dişlerin renk ölçümünde kolay tekrarlanabilirlik gösterir. Ancak düz yüzeyler için optimize edildiklerinden, translusent yapıya sahip diş minesinden yansıyan ışığın etkisiyle yanlış sonuçlar verebilirler (Brook ve ark., 2007; Tung ve ark., 2002).

4.3.2.1.4. Spektrofotometre

Spektrofotometreler, bir nesnenin yüzeyinden 380–780 nm arasındaki görünür ışık spektrumu boyunca 1–25 nm aralıklarla yansıtılan veya iletilen ışık enerjisini ölçen cihazlardır (Ivan ve Rade, 2009). Diş hekimliğinde renk eşleştirmede en doğru sonuçları veren cihazlardan biri olarak kabul edilirler. Spektrofotometreler, ışık kaynağı, detektör, ışığı ayıran sistem, sinyali

analiz edilebilir hale getiren dönüştürücü ve optik ölçüm sisteminden oluşur (Chu ve ark., 2010). Günümüzde çeşitli ağız içi spektrofotometre cihazları bulunmaktadır. Örneğin, Vita Easyshade Compact (Vita Zahnfabrik, Almanya) taşınabilir, pille çalışan ve doğrudan temasla çalışan ekonomik bir spektrofotometredir ve VITAPAN 3D-Master ile VITAPAN Klasik renk skalalarıyla uyumlu renk ölçümü yapar. SpectroShade (MHT Optic Research, İsviçre) ve Crystaleye (Olympus, Japonya) ise spektrofotometrik analiz yapan dijital görüntüleme sistemleridir (Köroğlu ve ark., 2021).

4.3.2.1.5. Dijital kameralar

Dijital görüntüleme sistemleri, temassız çalışan ve ışığı algılayan milyonlarca ışığa duyarlı öge içeren şarjlı cihazlardır. Bu sistemler, üç ana renkteki ışığı algılar ve sonuçları CIE Lab ya da kırmızı, yeşil, mavi değerleri şeklinde sunar. Spektrofotometrelere kıyasla daha doğru ve tekrarlanabilir ölçümler yapabildikleri gösterilmiştir. Ayrıca yalnızca belirli bir noktayı değil tüm diş yüzeyini değerlendirme imkânı sunarak dişin renk geçişlerini, yüzey yapısını, translusensliğini ve çevre dokularla olan ilişkisini detaylı bir şekilde analiz etme avantajı sağlar. Bu da teknisyene restorasyonun birebir uyumlu şekilde hazırlanmasında önemli katkı sunar (Brewer ve ark., 2004; Brook ve ark., 2007).

4.4. Ağız Gargaraları

Antibakteriyel ağız gargaraları, diş hekimliğinde koruyucu, tedavi edici ve cerrahi işlemlere yardımcı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Temel amaçları; yiyecek artıkları ve dental plağı uzaklaştırarak diş ve diş eti sağlığını desteklemek, cerrahi girişimler sonrasında gelişebilecek enfeksiyonları önlemek, mantar enfeksiyonları, ağız kuruluğu ve mukozal lezyonların tedavisinde destek sağlamak, ortodontik ve protetik uygulamalarda enfeksiyon riskini azaltmak ve günlük ağız bakımını tamamlamaktır (Külekçi ve ark., 1999).

Ağız gargaraları, kimyasal ve antimikrobiyal özelliklerine göre kozmetik ve terapötik olmak üzere iki gruba ayrılır. Kozmetik gargaralar yalnızca geçici süreyle ağız kokusunu maskeleyerek rahatlama sağlar. Terapötik gargaralar ise klinik olarak etkinliği kanıtlanmış aktif maddeler içerir. Amerikan Diş Hekimliği Birliği'ne göre terapötik etkili bileşenler arasında setilpiridinyum klorür, klorheksidin, esansiyel yağlar (ökaliptol, mentol, metil salisilat, timol) ve florür yer alır. Bu maddeler diş plağı, diş eti hastalıkları ve çürükleri önlemede etkilidir (Brooks ve ark., 2020).

4.4.1. Klorheksidin

Klorheksidin, dört klorofenil halkası ve iki biguanid grubunun hekzametilen bir köprüyle bağlanmasından oluşan simetrik yapıli sentetik bir antiseptiktir. İki pozitif yüklü iyonik merkez içermesi, birçok anyonla güçlü etkileşim göstermesine ve bu durumun etkinliği, güvenliği ve yan etkileri üzerinde belirleyici olmasına neden olur. Klorheksidin piyasada diglukonat, asetat ve hidroklorür tuzları şeklinde bulunmaktadır. Klorheksidin, geniş spektrumlu bir antimikrobiyal ajandır (Parashar, 2015).

Klorheksidin kullanımıyla birlikte tat duyusunda değişiklik, ağız mukozasında erozyon, dişlerde, mukozada ve mevcut restorasyon yüzeylerinde renkleşme gibi çeşitli yan etkiler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle kullanım süresi sınırlıdır (Aktaş ve Giray, 2010).

4.4.2. Fenol bileşikleri

Fenol türevleri olan timol, ökaliptol ve mentol içeren esansiyel yağ bazlı gargaralar, bakteriyel hücre duvarını yıkarak veya enzimlerini inhibe ederek geniş spektrumlu antimikrobiyal etki gösterir. Anti-inflamatuvar, antioksidan ve prostaglandin inhibitörü özellikleri de bulunan bu ajanlar, gingivitis ve ağız kokusunun azaltılmasında etkilidir. Minimal yan etkilere sahip olup dünya çapında uzun süredir kullanılmaktadırlar (Sharma ve ark., 2004).

4.4.3. Kuarterner amonyum bileşikleri

Kuarterner amonyum bileşikleri olan setilpiridinyum klorür ve benzalkonyum klorür, bakterisid etkilerini bakteri hücre zarına bağlanarak zarın geçirgenliğini artırmak ve hücre içeriğinin sızıntısına neden olmak yoluyla gösterirler. Katyonik yapıları sayesinde bakteriyel membranla etkileşime geçerek hücre bütünlüğünü bozarlar. Ancak, monokatyonik yapılarından ötürü oral mukozaya hızlı desorbe olmaları ve sınırlı bağlanma bölgeleri nedeniyle klorheksidine kıyasla daha düşük plak önleyici etkiye sahiptirler (Head ve ark., 2004).

4.4.4. Bitkisel özler

Ağız gargaraları ve diğ er ağız hijyen ürünlerinde, antienflamatuvar ve antibakteriyel etkileri nedeniyle çeşitli bitkisel özler yer almaktadır. Bu özlerden en yaygın kullanılanı, “Sanguinaria canadensis” bitkisinden elde edilen sanguinarin alkaloididir. Ticari ürünlerde genellikle yaklaşık %0,01 oranında bulunur (Mandel, 1994).

4.4.5. Triklosanlar

Triklosan, bis-fenil yapısında, geniş spektrumlu antibakteriyel etkisi olan ve genellikle diş macunlarında kullanılan bir bileşiktir. Katyonik yapısı sayesinde dişlerde boyamaya neden olmadan antimikrobiyal etki gösterir. Gargaraların içeriğinde çinko ile birlikte kullanıldığında orta düzeyde plak birikimini azaltıcı etki sağlayabilir. Ancak, oral mukozaya bağlanma kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle, klorheksidin kadar etkili olmadığı bildirilmiştir (Mandel, 1994; Welk ve ark., 2005).

4.4.6. Florid içeren gargaralar

Floridler, ağız sağlığını korumada yaygın olarak kullanılan bileşenlerdir. Amin florür ve kalay florür gibi florid türevleri, plak oluşumunu engellemenin yanı sıra, diş minesinin fluorapatit veya fluor-hidroksiapatit oluşturarak remineralizasyonunu destekler ve mineyi asit saldırılarına karşı daha dirençli hale getirir (Marinho ve ark., 2016). Bu etkileri sayesinde özellikle çürük riski yüksek bireylerde, radyoterapi sonrası ağız kuruluğu yaşayanlarda ve ortodontik tedavi gören hastalarda yararlıdır. Ayrıca florür iyonu, bakterilerin glikolitik enzimlerini inhibe ederek asit üretimini azaltır. Günlük bakımda %0.05'lik sodyum florür içeren gargaralar tercih edilirken, %0.2'lik sodyum florür haftalık kullanım için önerilmektedir (Axelsson, 1993).

4.4.7. Alkol içeren gargaralar

Ağız gargaralarında alkol, genellikle etanol formunda bulunur ve temel olarak antiseptik etki sağlamak, çözeltideki diğer içerikleri çözmek, aktif bileşenleri stabilize etmek ve ürünün raf ömrünü uzatmak amacıyla kullanılır. Amerikan Diş Hekimliği Birliği (ADA), klorheksidin içeren gargaralar için alkol oranını en fazla %11.6 ile sınırlamıştır. Ancak alkolün bazı restoratif materyaller üzerinde olumsuz etkileri olabileceği bildirilmiştir. Özellikle kompozit ve hibrit rezinlerin alkolle temas etmesi, bu materyallerin sertliğinde azalmaya ve ağırlıklarında artışa neden olabilir. Bu durum, alkolün rezin yapılar tarafından emilmesiyle ilişkilendirilmektedir (Penugonda ve ark., 1994).

4.4.8. Okside edici ajanlar

Oksijenleyici ajanlar arasında yer alan hidrojen peroksit, sodyum peroksiborat ve peroksikarbonat, ağız gargaralarında debris yumuşatmak, lekeleri çıkarmak ve anaerobik mikroorganizmaları yok etmek amacıyla kullanılır (Parashar, 2015). Bu maddeler oksijen açığa çıkararak etkilerini gösterir ve güçlü oksitleyici özellikleri sayesinde hem beyazlatıcı etki sağlar

hem de geniş spektrumlu antimikrobiyal ajanlar olarak görev yapar. Hidrojen peroksit, özellikle beyazlatıcı gargaralarda yer alır ve renkli pigmentleri daha kısa zincirli renksiz yapılara dönüştürerek dişlerin rengini açar. Ancak gargara yoluyla uygulandığında diş yüzeyinde kısa süreli temas sağladığı için etkinliği sınırlı olabilir ve uzun süreli kullanımda güvenlik açısından riskler taşıyabilir (Barutçugil ve ark., 2014).

4.5. Ağız Duşu

Son yıllarda ağız duşları (oral irrigatör veya su jeti), hastalar arasında giderek popülerleşmiş ve yardımcı ağız hijyeni aracı olarak daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Su jetiyle temizlik cihazlarının fikri yeni olmamakla birlikte, kişisel kullanım için ticari olarak ilk ağız duşu sistemi 1960’larda geliştirilmiştir (Lobene, 1971). Önceki çalışmalar, ağız duşlarının güvenli olduğunu, bağ dokusu ya da bağlantı epitelinde olumsuz bir etkisinin olmadığını göstermektedir (Jolkovsky ve Lyle, 2015). Ayrıca bu cihazların plak birikimini azaltarak gingivitisin kontrolünde etkili olduğu, diş eti iltihabı belirtilerini azaltmada başarılı sonuçlar sunduğu bildirilmiştir. Bunun dışında, ortodontik aparey, implant, sabit köprü ve kuron kullanan bireylerde oral hijyenin sağlanmasında fayda sağlayan ağız duşları, çeşitli kullanım amaçlarına göre farklı tiplerde üretilmiştir (Lyle, 2011). Günümüzde bazı ticari marka ağız duşları, Amerikan Diş Hekimliği Birliği (ADA) tarafından plak birikiminin azaltılması ve gingivitisin önlenmesi amacıyla kullanılabilecek güvenli ve etkili ürünler olarak onaylanmıştır (Lyle, 2011).

Cihazın etki mekanizması, yüksek basınçlı suyun pulsasyonlu bir şekilde uygulanmasına dayanır. Bu mekanizma, uygulanan bölgedeki bakteriyel biyofilmi uzaklaştırmaya yönelik hidrolik kesme kuvveti oluşturur. Ev tipi kullanımlarda, klinik etkinlik için en az 60 PSI basınç ve dakikada 1200–1400 pulsasyon önerilmektedir (Jahn, 2010). Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile yapılan değerlendirmeler, yalnızca 3 saniyelik bir uygulamanın dahi yüzeydeki biyofilmin %99,9’unu ortadan kaldırabildiğini göstermiştir (Gorur ve ark., 2009).

Ağız duşları, özellikle diş eti problemi yaşayan bireylerde veya fırçalama ve diş ipi kullanımında zorluk çeken hastalarda, günde birkaç kez kullanılabilir. Cihaz suyun yanı sıra antiseptik ve antimikrobiyal ajanlarla da kullanılabilir (Naser-Alavi ve ark., 2022).

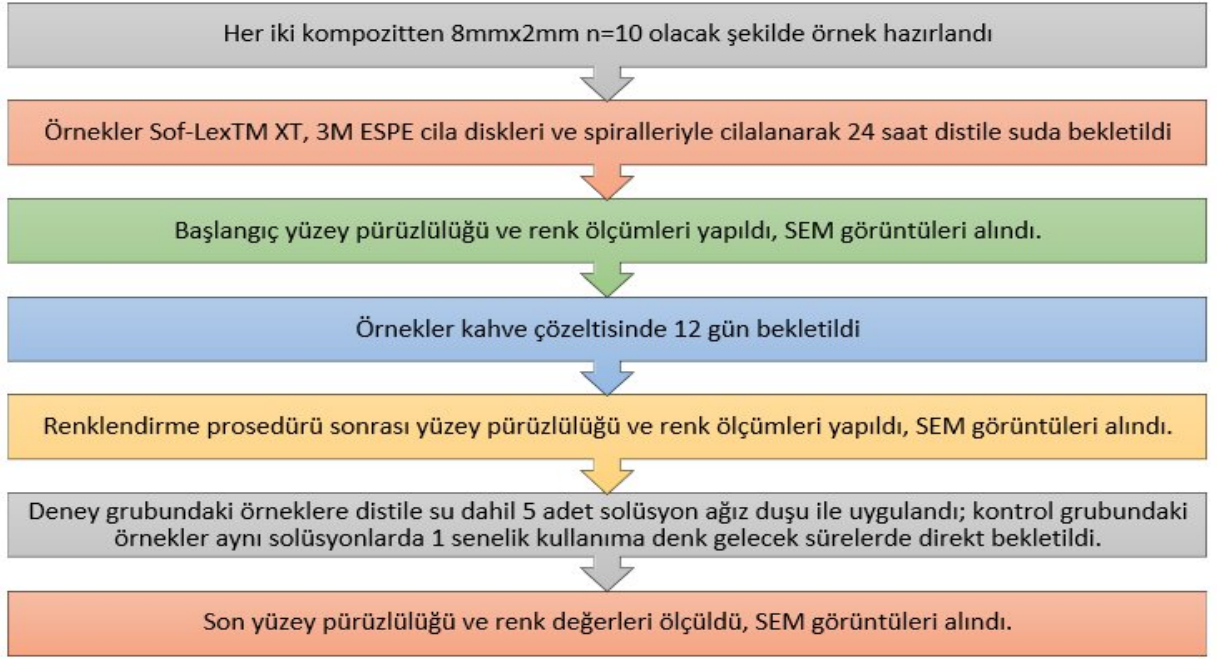
Ancak, mineye göre daha düşük mekanik ve fiziksel dirence sahip, heterojen yapıli kompozit esasli restoratif materyallerin ağız duşu uygulamasından olumsuz etkilenebileceği; bu materyallerde parlaklık kaybı, renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğünde artış gibi estetik

başarısızlıklara yol açabileceği düşünülmektedir (Alharbi ve Farah, 2020). Bununla birlikte, literatürde ağız duşlarının kompozit esaslı restoratif materyallerin renk stabilitesi ve yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendiren güncel çalışmalar oldukça sınırlıdır.



5. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu tez çalışması, Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda yürütülmüştür. Çalışmada, iki farklı nanohibrit tek renkli rezin kompozit materyaline, kahve ile renklendirme prosedürü sonrası, ağız duşu ile ve doğrudan ağız gargarası uygulamasının, kompozitlerin yüzey pürüzlülüğüne ve renk değişimine etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmaya 200 örnek dahil edilmiştir.



Şekil 10. Çalışma akış şeması

5.1. Resin Kompozit Materyallerin Belirlenmesi

Bu çalışmada, ön bölgede kullanım endikasyonu olan iki farklı nanohibrit tek renkli rezin kompozit, monomer ve doldurucu içerikleri ve doldurucu partikül oranları dikkate alınarak belirlendi.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan rezin kompozitler ve içerikleri

Kompozit Materyal	Partikül Tipi	Monomer Kompozisyonu	Doldurucu Kompozisyonu / Boyutu	Dolurucu Oranı % (Ağırlık/Hacim)	Parti Numarası
Charisma Diamond One (DO)	Nanohibrit	UDMA, TCD-DI-HEA, TEGDMA	Boro-floro-aluminosilikat, silika, titanyum dioksit, floresan ve metalik oksitler, organik pigmentler (5–20 µm)	81 / 64	N010209
Vittra APS Unique (VU)	Nanohibrit	UDMA, TEGDMA	Zirkonya ve silika dolgular (200 nm)	82 / 72	230921

TEGDMA, triethylene glycol Di methacrylate; UDMA, urethane dimethacrylate; TCD-DI-HEA, 2-propenoic acid; (octahydro-4,7-methano-1H-indene-5- diyl) bis (methyleneiminocarbonyloxy-2,1-ethanediyl) ester.

5.2. Ağız Gargaralarının Belirlenmesi

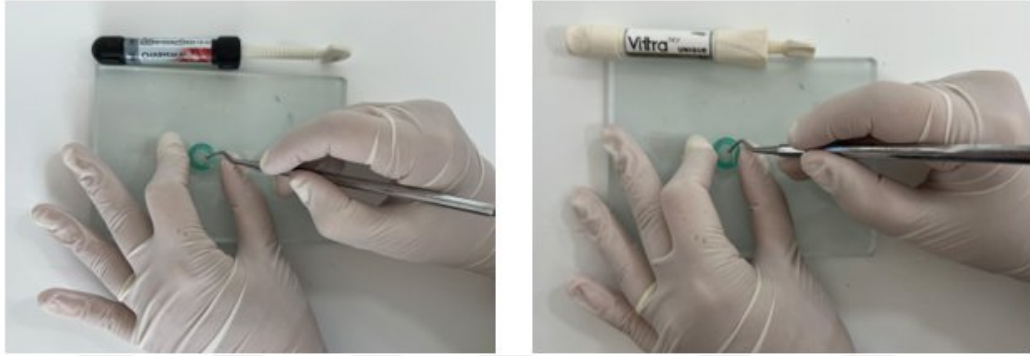
Günlük kullanılabilen ağız gargaraları bu çalışmada kullanılmak üzere, içerikleri dikkate alınarak belirlendi.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan gargaralar ve içerikleri

Ağız Gargarası	İçerikler
Listerine Fresh Burst (LF)	Alkol, mentol, ökaliptol, timol, metil salisilat, benzoik asit, poloksamer 407, sodyum benzoat, sorbitol çözeltisi, su, aroma
Colgate Plax Whitening + Charcoal (CP)	Su, sorbitol, propilen glikol, PEG-40 hidrojenize hint yağı, aroma, sodyum sakkarin, mentol, öjenol, sodyum florür, aktif kömür tozu
Crest 3D White (CW)	Su, gliserin, hidrojen peroksit, propilen glikol, sodyum heksametafosfat, poloksamer 407, sodyum sitrat, aroma, sodyum sakkarin, sitrik asit
Sensodyne Pronamel (SP)	Su, sorbitol, propilen glikol, potasyum nitrat, PEG-60 hidrojenize hint yağı, poloksamer 407, aroma, sodyum florür, sitrik asit, sodyum sakkarin

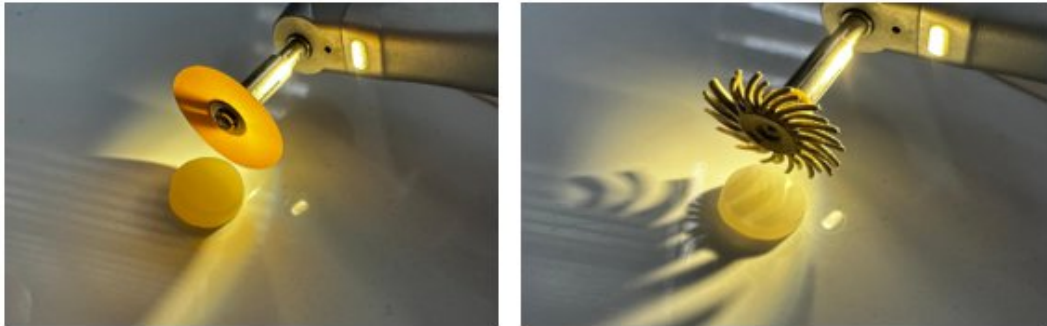
5.3. Örneklerin Hazırlanması

Kompozit disk şeklindeki örnekler, 2 mm kalınlığında ve 8 mm çapında silikon kalıplar kullanılarak hazırlandı. Kalıplara yerleştirilen materyalin altına ve üzerine şeffaf bir bant (Universal strips, Extra Dental, İstanbul, Türkiye) kapatıldı ve cam lam yardımıyla parmak baskısı uygulandı. Yüzeyde hava kabarcığı olmadığından emin olunduktan sonra, polimerizasyon işlemi üretici firmanın talimatlarına uygun şekilde, 1000 mW/cm² ışık şiddetinde çalışan ve dalga boyu 385-515 nm aralığında olan VALO Cordless LED ışık cihazı (Ultradent, ABD) kullanılarak yapıldı. Işık uygulaması hem üst hem de alt yüzeylere 20’şer saniye süreyle dik gelecek şekilde uygulandı.



Şekil 11. Örneklerin hazırlanması

Polimerizasyonun ardından bitim ve cila işlemleri için her örneğe sırasıyla kalın, orta, ince, süper ince grenli SofLex™ XT diskleri (3M ESPE, ABD) uygulandı. Son aşamada, Diamond Polish sistem kiti (SofLex, 3M ESPE, ABD) ile cila işlemi gerçekleştirildi. Örnekler distile su içerisinde, artık monomerlerden arındırılmak üzere 24 saat bekletildi.



Şekil 12. Örneklerin bitim ve cila işlemleri

5.3.1. Örneklerin gruplandırılması

Örnek sayısının belirlenmesinde Power Analizi kullanıldı. G*Power V. 3.1.9.6 programı

kullanılarak, %95 güven (1- α), %95 test gücü (1- β) ve $f=0,401$ etki büyüklüğü ile çalışmaya dahil edilmesi gereken minimum örnek sayısı 160 olarak hesaplandı (Barutcuğil ve ark., 2014). Çalışma için gerekli örneklem sayısı 8 olarak hesaplandı. Parametrik olmayan testler ve çalışmanın dışında kalabilecek örneklerin telafisi amacıyla $n=10$ olarak belirlendi.

Her iki kompozit grubunda 10'ar numuneden, distile su dahil olmak üzere toplam 5 solüsyonun ağız duşu ile (deney grubu) ve doğrudan uygulanacağı (kontrol grubu) iki grup planlanarak toplam 200 örnek hazırlandı. Örnekler rastgele gruplara ayrılarak numaralandırıldı ve sonrasında distile suda saklandı.

Tablo 3. Çalışma gruplarının kompozit, gargara ve uygulama yöntemine göre dağılımı

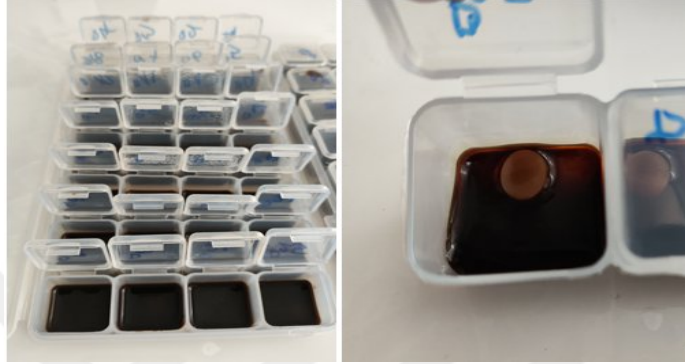
Kompozit İsmi	Grup No.	Deney Grubu (Ağız Duşu ile Uygulama)	Kontrol Grubu (Doğrudan Uygulama)
Charisma Diamond One	1	Colgate Plax	Colgate Plax
	2	Crest 3D White	Crest 3D White
	3	Sensodyne Promine	Sensodyne Promine
	4	Listerine Fresh Burst	Listerine Fresh Burst
	5	Distile Su	Distile Su
Vittra APS Unique	6	Colgate Plax	Colgate Plax
	7	Crest 3D White	Crest 3D White
	8	Sensodyne Promine	Sensodyne Promine
	9	Listerine Fresh Burst	Listerine Fresh Burst
	10	Distile Su	Distile Su

5.4. Kullanılan Cihazlar

Bu çalışmada, Marmara Üniversitesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda bulunan kontakt profilometre (Mitutoyo, Japonya) ve spektrofotometre (Vita Zahnfabrik, Almanya) cihazları ile, Marmara Üniversitesi Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan SEM cihazı kullanıldı.

5.5. Renklendirme Prosedürü

Örnekler, 3 gram Nescafe Klasik (Nestle, İsviçre) kahvesinin 50 mL kaynar suda çözülmesiyle hazırlanan kahve solüsyonunda 12 gün boyunca bekletildi; bu süre bir yıllık kullanımın eşdeğeri olarak kabul edildi (Korkut ve Hacıali, 2020). Solüsyon mikroorganizma kolonizasyonunu önlemek için her gün yenilendi.



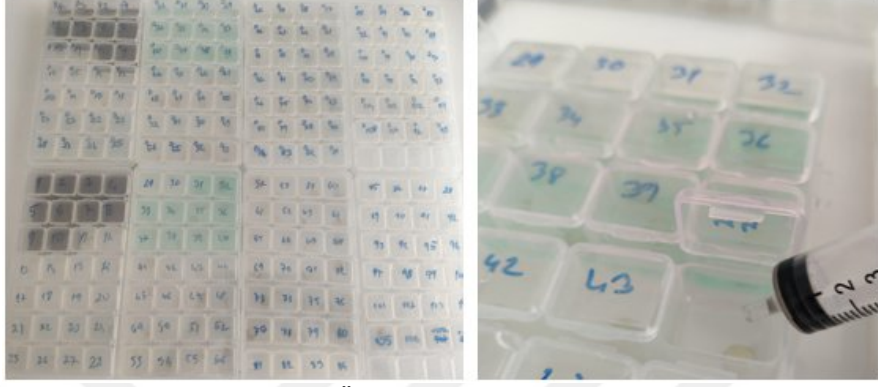
Şekil 13. Örneklerin renklendirilmesi

5.6. Gargara Uygulanması

Ağız gargaralarının doğrudan uygulanacağı gruptaki örnekler ilgili solüsyonlara yerleştirildi ve 12 saat boyunca bekletildi. Bu sürenin, günde iki kez birer dakika gargara kullanımına eşdeğer olduğu bildirilmiştir (Haghi ve ark., 2023). Diğer grupta ise her solüsyon, ağız duşu cihazına ayrı ayrı yerleştirildi ve işlemin uzatılması ve klinik durumu daha iyi simüle edebilmesi amacıyla haftada bir kez, dört hafta boyunca her uygulamada 10 dakika olacak şekilde uygulandı. Bu sürenin, cihazın her yüzeyde günde iki kez üç saniye kullanımıyla eşdeğer olduğu bildirilmiştir (Naser-Alavi ve ark., 2022). Cihazın ucu, üretici talimatlarına uygun şekilde örnek yüzeyine dik olacak biçimde ve 2 mm mesafede sabitlendi. Örnekler, çift taraflı bant kullanılarak plastik bir kabın iç yüzeyine sabitlendi ve cihaz, sabit bir şekilde durması için standına yerleştirilerek örneklerden 2 mm mesafede konumlandırıldı. Cihaz, üretici talimatlarına uygun şekilde orta seviyeye ayarlanarak sabit basınç uygulanması sağlandı. Cihazın sıvı haznesi sürekli olarak ilgili solüsyon ile doldurularak deneyin sonuna kadar kesintisiz kullanım sağlandı. Her örnek uygulamanın ardından 10 saniye süreyle su spreyiyle durulandı ve bir sonraki işlem aşamasına kadar oda sıcaklığında distile su içerisinde saklandı.



Şekil 14. Çalışmada kullanılan gargaralar



Şekil 15. Örneklere doğrudan gargara uygulanması



Şekil 16. Ağız duşu uygulaması

5.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Renklendirme işlemi öncesinde ve sonrasında, örneklerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümler, temaslı bir profilometre (Mitutoyo, Japonya) cihazı kullanılarak her örneğin üç farklı bölgesinden yapıldı ve elde edilen Ra değerleri kaydedildi. Her yeni grup öncesinde, cihazın kalibrasyonu üretici talimatlarına uygun şekilde ve cihazla birlikte gelen kalibrasyon plağı kullanılarak gerçekleştirildi. Kalibrasyonun ardından her örnek, profilometrenin okuyucu ucuyla örnek diski arasındaki temas açısının 90° olmasını sağlayacak

şekilde cihazın standart ölçüm tablasına yerleştirildi. Elmas ucun “cut off” değeri 2,5 mm olarak ayarlandı. Ölçümler sırasında örneklerin merkezde olmasına özen gösterildi. Her örnekten üç ölçüm alındı ve bu ölçümlerin ortalaması hesaplandı.

Deney tamamlandıktan sonra, örneklerin yüzey pürüzlülük ölçümleri aynı koşullar altında tekrar yapıldı ve elde edilen değerler kaydedildi.

5.8. Renk Ölçümü

Kompozit örneklerin renk ölçümleri için VITA Easychade V (VITA Zahnfabrik, Almanya) spektrofotometre cihazı kullanıldı. Cihaz, yaklaşık 5 mm çapında temas tipi bir prob ile donatılmış olup ölçüm esnasında kendi iç ışık kaynağı olan LED teknolojisini kullanarak hedef bölgeyi aydınlatmakta ve ortam ışığından etkilenmeden ölçüm yapılabilmesini sağlamaktadır. Renk ölçüm verileri cihaz tarafından hem Vitapan Classical hem de Toothguide 3D-Master skalalarına göre gösterilmekte; aynı zamanda CIE Lab* renk uzayında sayısal veriler de elde edilmektedir.

Cihazın ölçüm modları arasında üç nokta modu tercih edildi ve her örnekten üç kez ölçüm alınarak elde edilen L^* , a^* , b^* değerlerinin ortalamaları hesaplandı. Ölçümler başlamadan önce cihaz, üretici talimatlarına uygun şekilde kalibre edildi. Tüm renk ölçümleri standardizasyonu sağlamak için, gri arka plan üzerinde ve doğal gün ışığı altında, aynı klinikte, 10-12 saatleri arasında, cihazın ucu numune yüzeyine dik gelecek şekilde yapıldı.

Kompozit örneklerin renk ölçümleri üç aşamada yapıldı: başlangıçta (T_0), kahve solüsyonunda bekletildikten sonra (T_1) ve gargara uygulamalarından sonra (T_2). Ölçüm sonuçlarına göre renk değişimleri CIEDE2000 formülüne göre hesaplandı. Renklerdeki; başlangıç ile renklendirme sonrası ölçümler arasındaki fark ΔE_1 , renklendirme sonrası ile gargara uygulaması sonrası ölçümler arasındaki fark ΔE_2 ve başlangıç ile gargara uygulaması sonrası ölçümler arasındaki fark ΔE_3 olarak tanımlandı ve bu değerler kaydedildi.

5.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Görüntüleme

Bu tez çalışmasında kullanılan analiz yöntemlerinden biri de, yüksek enerjili elektronların küçük bir alan üzerine odaklanarak yüzeyi taraması esasına dayanan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizidir. Bu teknikte, yüzeyden yayılan ikincil elektronlar ile yüzeyin

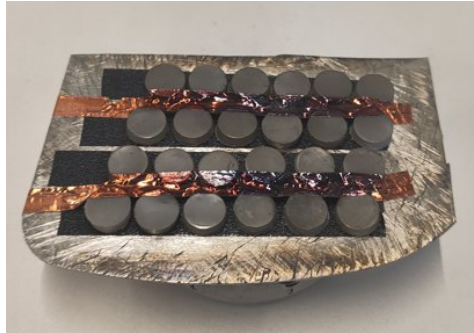
topografik yapısı ve pürüzlülüğü hakkında detaylı görsel bilgi elde edilir (Abdullah ve Mohammed, 2019).

SEM analizleri Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan EVO MA10 model çevresel SEM cihazı (Carl Zeiss, Almanya) ile gerçekleştirilmiştir. Görüntüleme işlemi yüksek vakum modunda (110 Pa), 10,00 kV hızlandırma voltajı ve 3,0 spot değeri kullanılarak, yüksek vakum dedektörü (EDT) aracılığıyla yapılmıştır.



Şekil 17. Taramalı Elektron Mikroskobu

SEM cihazı yalnızca iletken numunelerle çalışabildiğinden, iletken olmayan örneklerde elektron birikimi nedeniyle görüntü kalitesinin düşmesini önlemek amacıyla numune yüzeyine ince bir iletken kaplama yapılması gereklidir. Bu amaçla genellikle karbon, altın veya altın-paladyum alaşımları tercih edilmektedir. Çalışmamızdaki örnekler de altın-paladyum ile kaplanmıştır.



Şekil 18. Numune kaplama

Her iki kompozit materyale ait başlangıç, kahve ile renklendirme sonrası ve gargara uygulamaları sonrası elde edilen örnekler rastgele seçilerek analiz edilmiştir. Tüm örneklerin yüzey görüntüleri sırasıyla x2500, x5000 ve x10000 büyütme oranlarında alınmış, elde edilen görüntüler yüzey morfolojisindeki değişimleri değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

5.10. İstatistiksel Analiz

Araştırma verileri Minitab 14 ve R (R Core Team, v4.2.2) programında WRS2 paketi kullanılarak analiz edildi. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile değerlendirildi. Grup, solüsyon ve kompozite göre normal dağılıma uyan başlangıç ve kahve sonrası pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılmasında genelleştirilmiş lineer modeller yöntemi kullanıldı ve çoklu karşılaştırmalar Bonferroni testi ile yapıldı. Kompozit türü, grup-solüsyon kombinasyonu (5 farklı gargara ve 2 farklı uygulama yöntemi) ve zaman faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve renk değişimi (ΔE) değerleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla üç yönlü robust ANOVA testi uygulandı. Bu analizlerde %5 oranında budanmış ortalamalar kullanıldı. Faktörler arasındaki anlamlı farklılıkların belirlenmesi için Bonferroni düzeltmeli çoklu karşılaştırmalar yapıldı. Analiz sonuçları budanmış ortalama $\pm$ standart hata şeklinde raporlandı. Anlamlılık düzeyi $p < 0,050$ olarak kabul edildi.

6. BULGULAR

6.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Kompozit ana etkisi başlangıç ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,105$). DO kompozitinde başlangıç ortalama Ra değeri 0,161 iken VU kompozitinde ortalama değeri 0,153 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. Grup, solüsyon ve kompozite göre pürüzlülük (başlangıç) değerlerinin karşılaştırması

	F	p	KEK
Grup	5,400	0,021	0,029
Solüsyon	1,050	0,381	0,023
Kompozit	2,660	0,105	0,015
Grup*Solüsyon	0,180	0,951	0,004
Grup*Kompozit	2,840	0,094	0,016
Solüsyon*Kompozit	1,360	0,250	0,029
Grup*Solüsyon*Kompozit	0,940	0,445	0,020

F: Genelleştirilmiş Lineer Modeller Test İstatistiği; KEK: Kısmi Eta Kare

Kompozit ana etkisi kahve sonrası ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,101$). DO kompozitinde kahve etkisi sonrası ortalama Ra değeri 0,238 iken VU kompozitinde ortalama değeri 0,227 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Grup, solüsyon ve kompozite göre pürüzlülük (kahve sonrası) değerlerinin karşılaştırması

	F	p	KEK
Grup	2,530	0,113	0,014
Solüsyon	1,880	0,116	0,040
Kompozit	2,720	0,101	0,015
Grup*Solüsyon	0,400	0,807	0,009
Grup*Kompozit	3,910	0,050	0,021
Solüsyon*Kompozit	3,390	0,011	0,070
Grup*Solüsyon*Kompozit	0,680	0,605	0,015

F: Genelleştirilmiş Lineer Modeller Test İstatistiği; KEK: Kısmi Eta Kare

Grup ana etkisi gargara uygulaması sonrası ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,75$). Deney grubunda gargara sonrası ortalama Ra değeri 0,191 iken kontrol grubunda ortalama değeri 0,193 olarak elde edilmiştir.

Solüsyon ana etkisi gargara sonrası ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,054$). CP solüsyonunda gargara sonrası ortalama Ra değeri 0,177, CW

solüsyonunda 0,191, SP solüsyonunda 0,187, LF solüsyonunda 0,208 iken DW solüsyonunda 0,196 olarak elde edilmiştir.

Kompozit ana etkisi, gargara sonrası ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,001$). DO kompozitinde gargara sonrası ortalama Ra değeri 0,201 iken VU kompozitinde ortalama değeri 0,183 olarak elde edilmiştir.

Grup*Solüsyon etkileşim etkisi gargara sonrası ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,999$).

Grup*Kompozit etkileşim etkisi gargara sonrası ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,882$).

Solüsyon*Kompozit etkileşim etkisi gargara sonrası ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,121$).

Grup*Solüsyon*Kompozit etkileşim etkisi gargara sonrası ortalama Ra değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,999$).

Tablo 5. Grup, solüsyon ve kompozite göre pürüzlülük (gargara sonrası) değerlerinin karşılaştırması

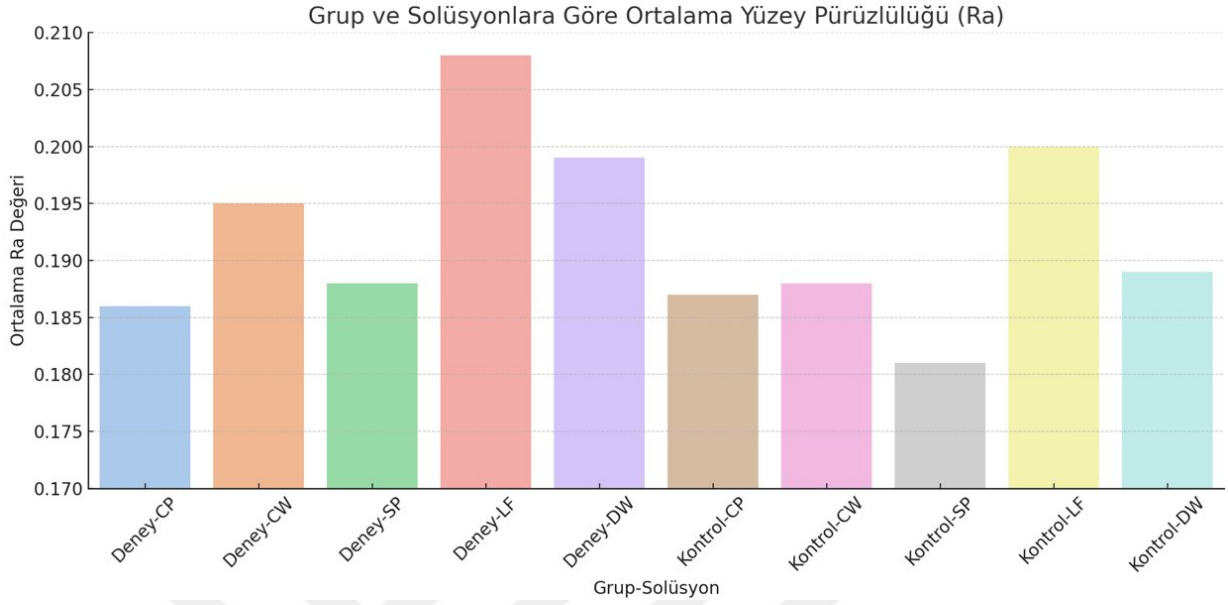
	Q	p
Grup	0,108	0,750
Solüsyon	99324,0	0,054
Kompozit	118777,0	0,001
Grup*Solüsyon	0,033	0,999
Grup*Kompozit	0,022	0,882
Solüsyon*Kompozit	77112,0	0,121
Grup*Solüsyon*Kompozit	0,044	0,999

Q: Robust ANOVA Test İstatistiği

Toplam ortalama değerler incelendiğinde, solüsyon ve zamandan bağımsız olarak, kompozit türünün yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerindeki ana etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Yüzey pürüzlülüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre, DO kompozitine ait ortalama pürüzlülük değeri (0,198), VU kompozitine kıyasla (0,186) daha yüksektir.

Grup-solüsyon ana etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,016$) (Tablo 3); ancak ikili karşılaştırmalarda spesifik solüsyon grupları arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Tüm solüsyonlar arasında en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri LF deney grubunda (0,208),

en düşük ise SP kontrol grubunda (0,181) gözlenmiştir (Tablo 4 ve Şekil 19).



Şekil 19. Grup ve solüsyona göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri

Tablo 6. Kompozit, grup-solüsyon ve zamana göre pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

	Q	P
Kompozit	15,170	<0,001
Grup ve solüsyon	21,900	0,016
Zaman	366,700	0,001
Kompozit*Grup ve solüsyon	30,120	0,002
Kompozit*Zaman	3,280	0,197
Grup ve solüsyon*Zaman	13,320	0,814
Kompozit*Grup ve solüsyon*Zaman	9,200	0,965

* Q: Robust ANOVA Test İstatistiği, P<0,050 anlamlılık düzeyi

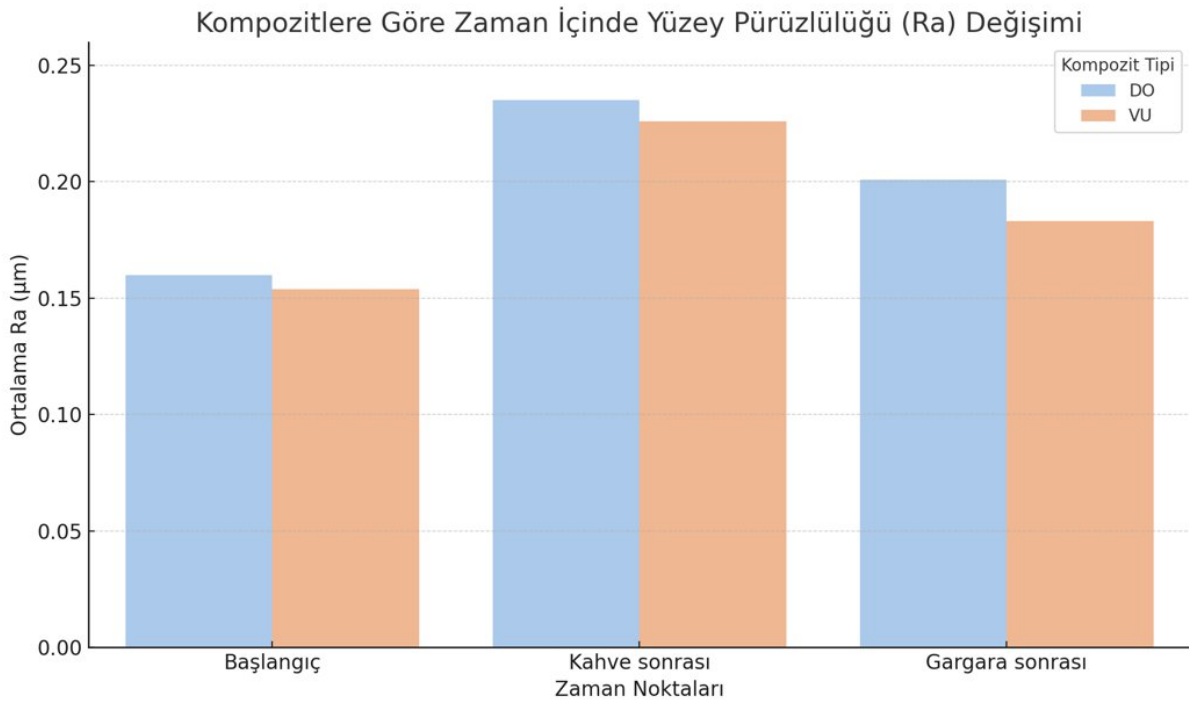
Tablo 7. Kompozit, grup-solüsyon ve zamana göre pürüzlülük değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

Grup ve solüsyon	Zaman	Kompozit		Toplam
		DO	VU	
Deney-CP	T ₀	0,175 ± 0,016	0,144 ± 0,014	0,158 ± 0,008
	T ₁	0,268 ± 0,027	0,195 ± 0,01	0,227 ± 0,015
	T ₂	0,201 ± 0,017	0,158 ± 0,017	0,177 ± 0,01
	Toplam	0,211 ± 0,013	0,167 ± 0,009	0,186 ± 0,007
Deney-CW	T ₀	0,171 ± 0,012	0,168 ± 0,014	0,17 ± 0,008
	T ₁	0,239 ± 0,018	0,227 ± 0,017	0,232 ± 0,012
	T ₂	0,192 ± 0,012	0,186 ± 0,015	0,19 ± 0,009
	Toplam	0,199 ± 0,01	0,193 ± 0,009	0,195 ± 0,006
Deney-SP	T ₀	0,168 ± 0,009	0,142 ± 0,015	0,157 ± 0,008
	T ₁	0,239 ± 0,016	0,212 ± 0,015	0,224 ± 0,01
	T ₂	0,2 ± 0,014	0,171 ± 0,017	0,186 ± 0,011
	Toplam	0,2 ± 0,009	0,175 ± 0,01	0,188 ± 0,007
Deney-LF	T ₀	0,159 ± 0,01	0,172 ± 0,009	0,166 ± 0,006
	T ₁	0,249 ± 0,017	0,262 ± 0,021	0,257 ± 0,013
	T ₂	0,205 ± 0,013	0,208 ± 0,013	0,208 ± 0,008
	Toplam	0,203 ± 0,01	0,214 ± 0,011	0,208 ± 0,008
Deney-DW	T ₀	0,173 ± 0,01	0,148 ± 0,011	0,163 ± 0,007
	T ₁	0,255 ± 0,02	0,232 ± 0,018	0,246 ± 0,012
	T ₂	0,212 ± 0,017	0,181 ± 0,012	0,195 ± 0,01
	Toplam	0,213 ± 0,011	0,187 ± 0,01	0,199 ± 0,007
Kontrol-CP	T ₀	0,162 ± 0,008	0,151 ± 0,007	0,156 ± 0,005
	T ₁	0,257 ± 0,02	0,215 ± 0,01	0,233 ± 0,011
	T ₂	0,199 ± 0,016	0,162 ± 0,013	0,176 ± 0,009
	Toplam	0,204 ± 0,011	0,175 ± 0,008	0,187 ± 0,007
Kontrol-CW	T ₀	0,147 ± 0,007	0,163 ± 0,011	0,155 ± 0,006
	T ₁	0,205 ± 0,009	0,245 ± 0,02	0,223 ± 0,011
	T ₂	0,192 ± 0,011	0,188 ± 0,015	0,191 ± 0,008
	Toplam	0,181 ± 0,007	0,198 ± 0,011	0,188 ± 0,006
Kontrol-SP	T ₀	0,145 ± 0,009	0,143 ± 0,009	0,144 ± 0,006
	T ₁	0,21 ± 0,009	0,212 ± 0,009	0,21 ± 0,006
	T ₂	0,204 ± 0,016	0,175 ± 0,018	0,189 ± 0,012
	Toplam	0,186 ± 0,008	0,176 ± 0,009	0,181 ± 0,006
Kontrol-LF	T ₀	0,158 ± 0,012	0,152 ± 0,009	0,157 ± 0,007
	T ₁	0,239 ± 0,016	0,238 ± 0,018	0,237 ± 0,011
	T ₂	0,207 ± 0,015	0,21 ± 0,014	0,209 ± 0,01
	Toplam	0,202 ± 0,01	0,199 ± 0,011	0,2 ± 0,007
Kontrol-DW	T ₀	0,146 ± 0,011	0,151 ± 0,01	0,149 ± 0,007
	T ₁	0,221 ± 0,014	0,229 ± 0,016	0,223 ± 0,01
	T ₂	0,214 ± 0,017	0,182 ± 0,011	0,196 ± 0,01
	Toplam	0,193 ± 0,01	0,186 ± 0,009	0,189 ± 0,007
Toplam	T ₀	0,16 ± 0,003	0,154 ± 0,003	0,157 ± 0,002 ^c
	T ₁	0,235 ± 0,005	0,226 ± 0,005	0,231 ± 0,004 ^b
	T ₂	0,201 ± 0,004	0,183 ± 0,005	0,192 ± 0,003 ^a
	Toplam	0,198 ± 0,003	0,186 ± 0,003	0,192 ± 0,002

CP: Colgate Plax, CW: Crest 3D White, SP: Sensodyne Promine, LF: Listerine Fresh Burst, T₀: Başlangıç Ra değeri, T₁: Kahve ile renklendirme sonrası Ra değeri, T₂: Gargara uygulaması sonrası Ra değeri, DO: Charisma Diamond One, VU: Vittra APS Unique

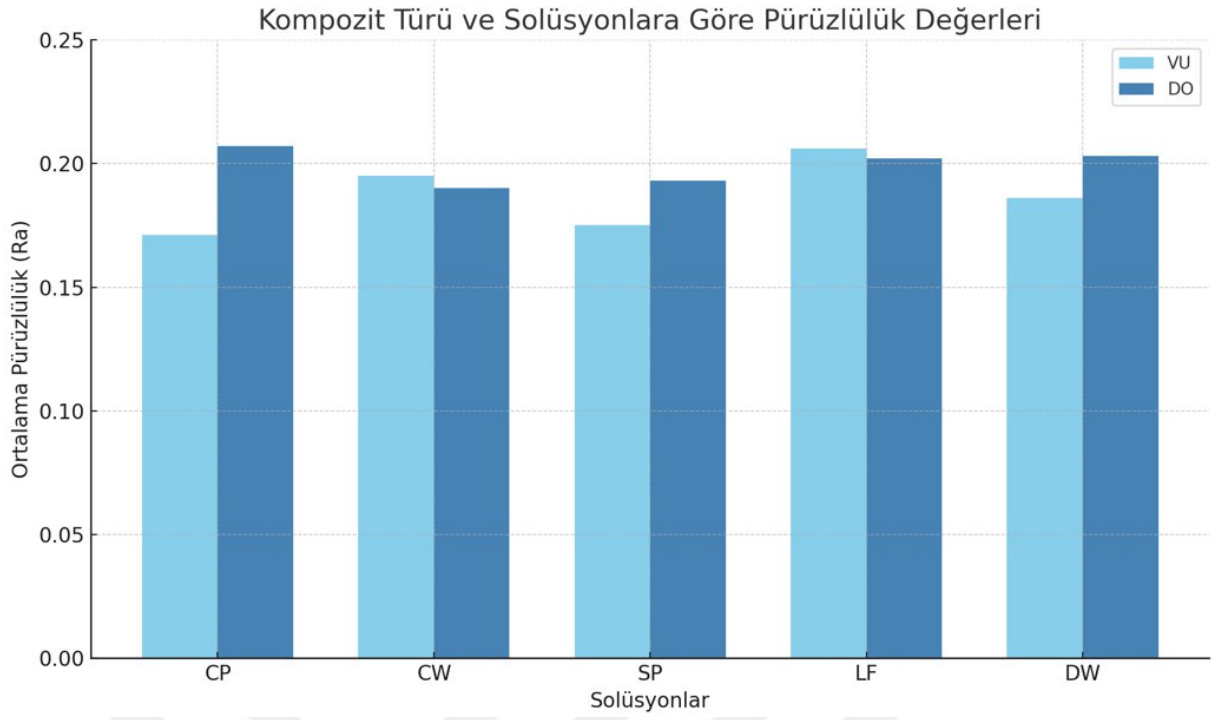
* Budanmış Ortalama $\pm$ Standart Hata; ^{a-c}: Aynı harfe sahip ana etkiler arasında bir fark yoktur; Analiz yöntemi olarak trimmed mean yöntemi kullanılmış ve budama oranı %5 olarak alınmıştır.

Zamanın ana etkisi de anlamlı bulunmuştur ($p=0,001$); ortalama pürüzlülük değerleri başlangıç (t_0 ; 0,157) ile kahve uygulaması sonrası (t_1 ; 0,231) arasında artmış, ardından gargara uygulaması sonrası (t_2 ; 0,192) hafif bir azalma göstermiştir (Şekil 19).



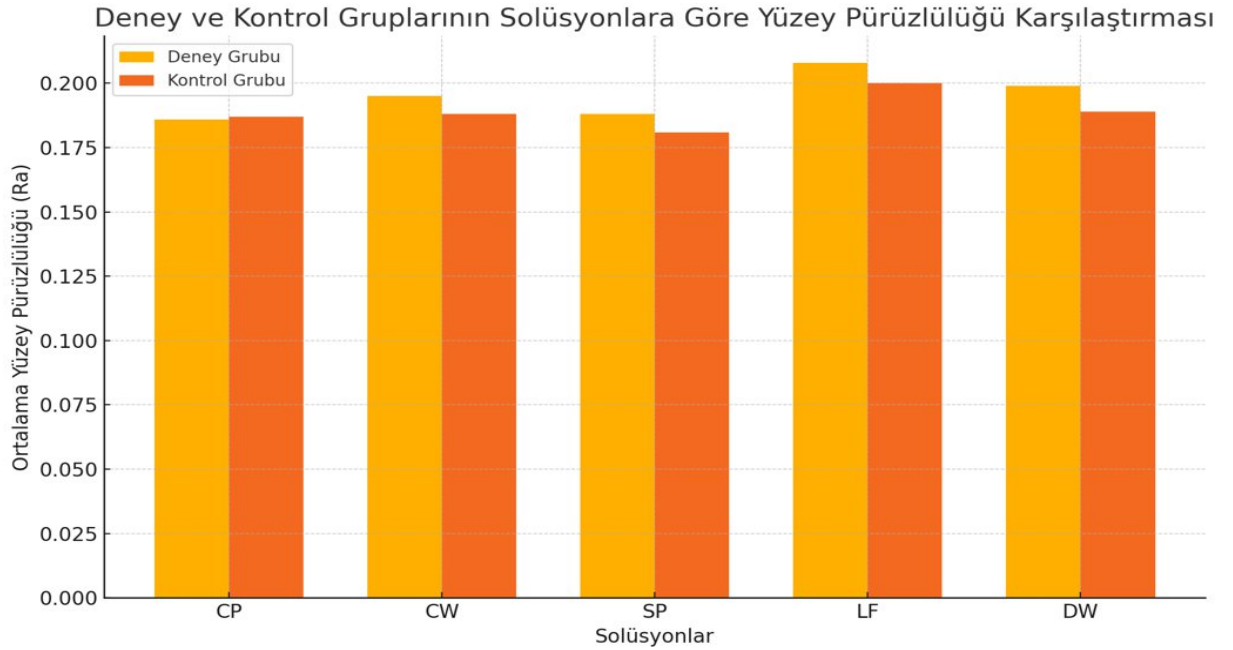
Şekil 20: Kompozitlerin zamana bağlı yüzey pürüzlülüğü değişimleri

Kompozit türü ve grup-solüsyon etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,002$). Kompozit-solüsyon kombinasyonları incelendiğinde, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri VU kompozitinde LF solüsyonu ile gözlenmiştir (ortalama=0,214), en düşük değer ise aynı kompozitte CP solüsyonu ile kaydedilmiştir (ortalama=0,167). Buna karşılık, kompozit-zaman, grup ve solüsyon-zaman ve kompozit-grup ve solüsyon-zaman arasındaki üç yönlü etkileşimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$); bu da bu faktörlerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinde anlamlı farklılıklara yol açmadığını göstermektedir.



Şekil 21. Kompozit türü ve solüsyon türüne göre pürüzlülük değerleri

Bu sonuçlar, kompozit türünün yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, gargaraların türünün ve uygulama yönteminin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur.



Şekil. 22: Grupların solüsyonlara göre pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması

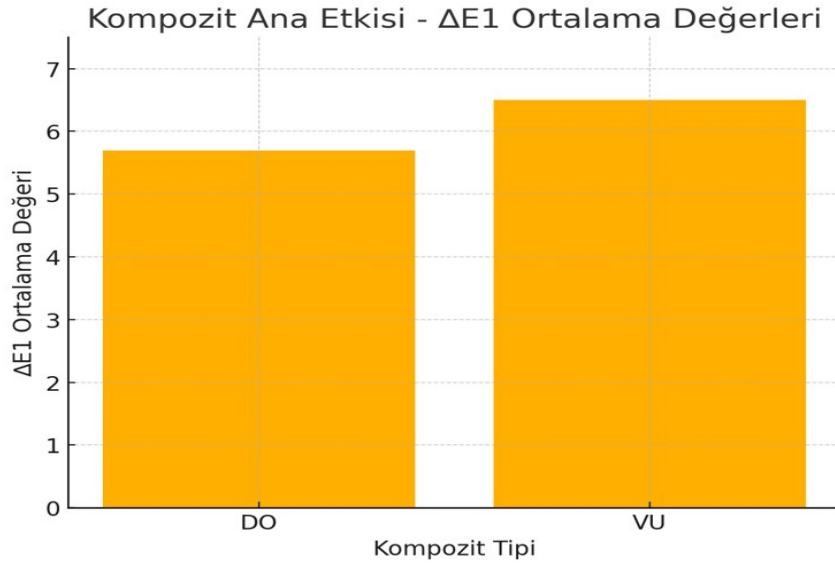
6.2. Renk Değişiminin Değerlendirilmesi

Kompozit örneklerin ölçülen başlangıç renk değerleri ile kahve ile renklendirildikten sonra ölçülen renk değerleri arasındaki fark $\Delta E1$ olarak belirtilmiştir. Kompozit ana etkisi $\Delta E1$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). DO kompozitinde $\Delta E1$ ortalaması 5,69 iken VU kompozitinde ortalama değer 6,5 olarak elde edilmiştir (Tablo 5). VU kompoziti kahve ile daha fazla renklenmiştir.

Tablo 8. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E1$ değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

Kompozit	Solüsyon	Grup		Toplam
		Deney	Kontrol	
DO	CP	6,11 $\pm$ 0,45	5,57 $\pm$ 0,41	5,79 $\pm$ 0,28
	CW	6,81 $\pm$ 0,62	5,81 $\pm$ 0,39	6,26 $\pm$ 0,31
	SP	6,04 $\pm$ 0,56	5,97 $\pm$ 0,4	6 $\pm$ 0,31
	LF	4,55 $\pm$ 0,33	5,5 $\pm$ 0,53	4,96 $\pm$ 0,31
	DW	5,86 $\pm$ 0,53	5,17 $\pm$ 0,38	5,44 $\pm$ 0,3
	Toplam	5,83 $\pm$ 0,24	5,58 $\pm$ 0,18	5,69 $\pm$ 0,15
VU	CP	5,95 $\pm$ 0,25	7,04 $\pm$ 0,82	6,34 $\pm$ 0,33
	CW	7,56 $\pm$ 0,68	5,96 $\pm$ 0,58	6,74 $\pm$ 0,47
	SP	6,05 $\pm$ 0,37	7,47 $\pm$ 0,61	6,7 $\pm$ 0,37
	LF	5,89 $\pm$ 0,51	7,52 $\pm$ 0,5	6,71 $\pm$ 0,4
	DW	6,52 $\pm$ 0,81	5,93 $\pm$ 0,47	6,03 $\pm$ 0,34
	Toplam	6,29 $\pm$ 0,24	6,73 $\pm$ 0,26	6,5 $\pm$ 0,17
Toplam	CP	5,97 $\pm$ 0,22 ^{AB}	6,13 $\pm$ 0,39 ^{AB}	6,05 $\pm$ 0,22
	CW	7,22 $\pm$ 0,44 ^A	5,81 $\pm$ 0,3 ^{AB}	6,5 $\pm$ 0,3
	SP	6,04 $\pm$ 0,3 ^{AB}	6,66 $\pm$ 0,39 ^{AB}	6,34 $\pm$ 0,24
	LF	5,15 $\pm$ 0,33 ^B	6,53 $\pm$ 0,43 ^{AB}	5,83 $\pm$ 0,29
	DW	5,99 $\pm$ 0,37 ^{AB}	5,5 $\pm$ 0,29 ^{AB}	5,73 $\pm$ 0,23
	Toplam	6,05 $\pm$ 0,16	6,12 $\pm$ 0,17	6,09 $\pm$ 0,12

* Budanmış Ortalama $\pm$ Standart Hata; ^{A-B}: Aynı harfe sahip etkileşim grupları arasında bir fark yoktur; Analiz yöntemi olarak trimmed mean yöntemi kullanılmış ve budama oranı %5 olarak alınmıştır.



Şekil 23. Kompozit türüne göre ortalama $\Delta E1$ değerleri

Kahve ile renklendirme sonrası ölçülen renk değerleri ile gargara uygulaması sonrası ölçülen renk değerleri arasındaki fark $\Delta E2$ olarak belirtilmiştir. Grup ana etkisi $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,36$). Deney grubunda $\Delta E2$ ortalaması 3,54 iken kontrol grubunda ortalama değer 3,36 olarak elde edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 9. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E2$ değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

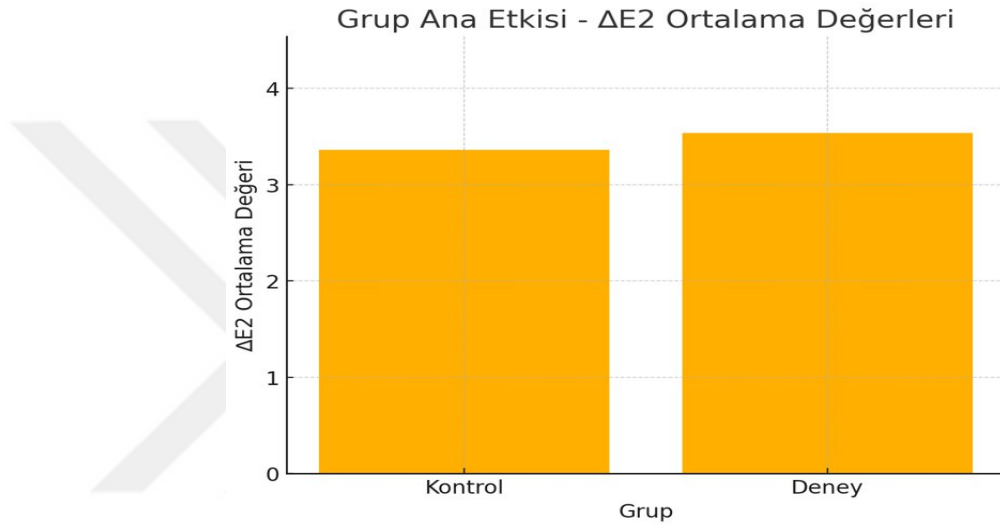
Kompozit	Solüsyon	Grup		Toplam
		Deney	Kontrol	
DO	CP	3,49 ± 0,62	3,15 ± 0,64	3,2 ± 0,4
	CW	6,08 ± 0,29	3,24 ± 0,42	4,7 ± 0,43
	SP	3,89 ± 0,35	3,16 ± 0,57	3,56 ± 0,33
	LF	3,62 ± 0,41	2,9 ± 0,42	3,27 ± 0,28
	DW	2,86 ± 0,3	2,08 ± 0,52	2,47 ± 0,3
	Toplam	3,94 ± 0,24 ^A	2,87 ± 0,22 ^B	3,4 ± 0,17
VU	CP	3,21 ± 0,4	3,93 ± 0,78	3,53 ± 0,4
	CW	5,34 ± 0,71	4,37 ± 0,7	4,83 ± 0,45
	SP	2,91 ± 0,31	4,17 ± 0,81	3,41 ± 0,43
	LF	3 ± 0,48	4,69 ± 0,63	3,85 ± 0,42
	DW	1,87 ± 0,42	2,55 ± 0,56	2,12 ± 0,32
	Toplam	3,15 ± 0,22 ^{AB}	3,91 ± 0,32 ^A	3,52 ± 0,2
Toplam	CP	3,22 ± 0,26 ^A	3,49 ± 0,49 ^A	3,36 ± 0,29 ^a
	CW	5,67 ± 0,35 ^B	3,77 ± 0,4 ^A	4,73 ± 0,29 ^b
	SP	3,37 ± 0,22 ^A	3,58 ± 0,48 ^{AB}	3,45 ± 0,23 ^a
	LF	3,33 ± 0,3 ^A	3,78 ± 0,43 ^{AB}	3,52 ± 0,25 ^a
	DW	2,35 ± 0,27 ^A	2,24 ± 0,35 ^A	2,29 ± 0,22 ^c
	Toplam	3,54 ± 0,16	3,36 ± 0,2	3,45 ± 0,13

* Budanmış Ortalama ± Standart Hata; ^{A-B}: Aynı harfe sahip etkileşim grupları arasında bir fark yoktur; Analiz yöntemi olarak trimmed mean yöntemi kullanılmış ve budama oranı %5 olarak alınmıştır.

Tablo 10. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E2$ değerlerinin karşılaştırılması

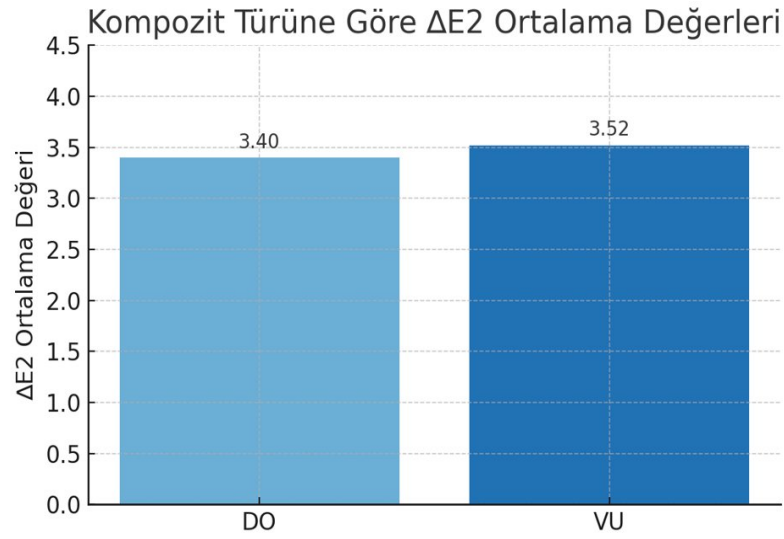
	Q	p
Grup	0,868	0,360
Kompozit	0,510	0,480
Solüsyon	55,931	0,001
Grup*Kompozit	16,304	0,001
Grup*Solüsyon	15,305	0,009
Kompozit*Solüsyon	2,065	0,735
Grup*Kompozit*Solüsyon	1,150	0,891

*Q: Robust ANOVA test istatistiği



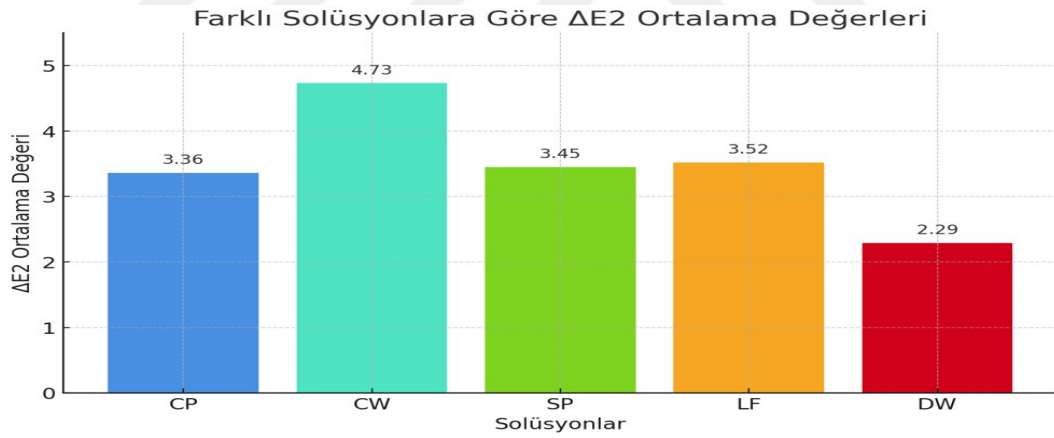
Şekil 24. Gruba göre ortalama $\Delta E2$ değerleri

Kompozit ana etkisi $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,48$). DO kompozitinde $\Delta E2$ ortalaması 3,4 iken VU kompozitinde ortalama değer 3,52 olarak elde edilmiştir.



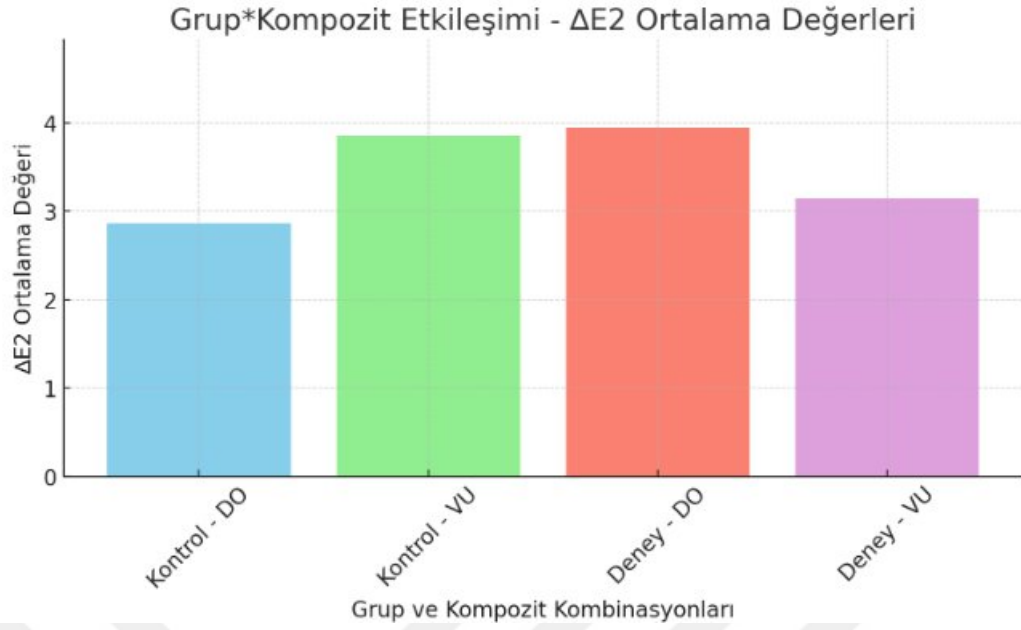
Şekil 25. Kompozit türüne göre ortalama $\Delta E2$ değerleri

Solüsyon ana etkisi $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,001$). En yüksekten düşüğe; CW solüsyonunda ortalama değer 4,73, LF solüsyonunda ortalama değer 3,52, SP solüsyonunda ortalama değer 3,45, CP solüsyonunda $\Delta E2$ ortalaması 3,36 iken DW solüsyonunda ortalama değer 2,29 olarak elde edilmiştir.



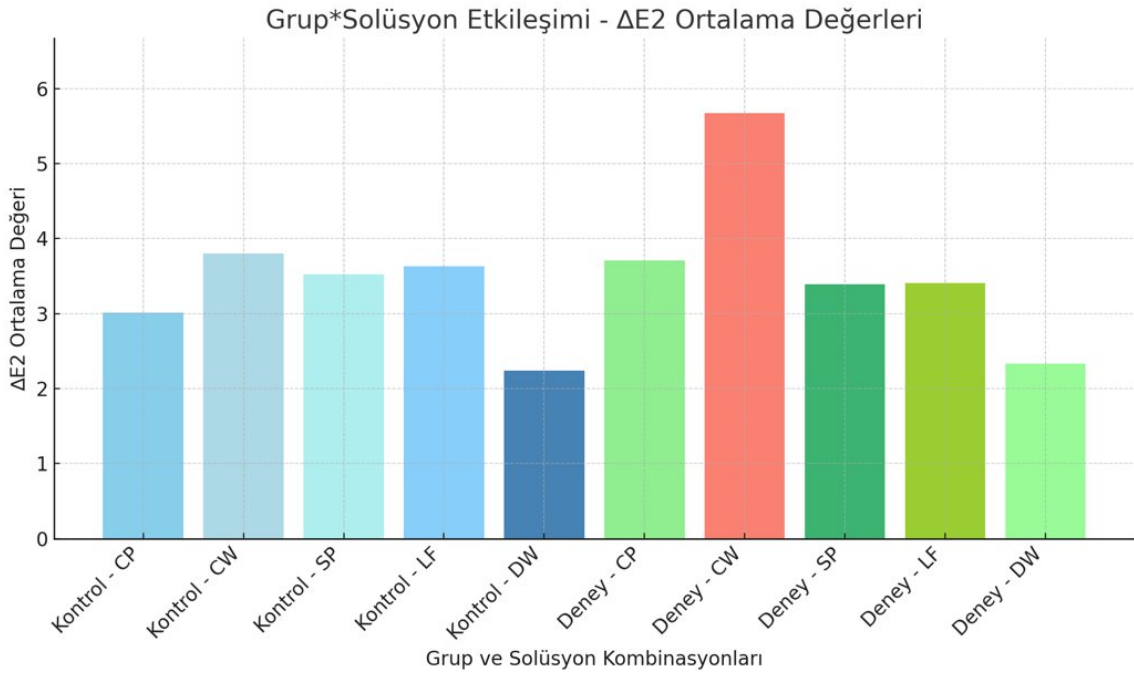
Şekil 26. Gargara solüsyonuna göre ortalama $\Delta E2$ değerleri

Grup*Kompozit etkileşimi $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,001$). Burada en yüksek $\Delta E2$ ortalama değeri 3,94 ile deney grubunda DO kompozitinde elde edilmişken en düşük değer 2,87 ile kontrol grubunda DO kompozitinde elde edilmiştir.



Şekil 27. Grup ve kompozit etkileşimine göre ortalama $\Delta E2$ değerleri

Grup*Solüsyon etkileşimi $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,009$). Burada en yüksek $\Delta E2$ ortalaması 5,67 ile deney grubunda CW solüsyonunda elde edilmişken en düşük ortalama değer 2,24 ile kontrol grubunda DW kompozitinde elde edilmiştir.



Şekil 28. Grup ve gargara solüsyonu etkileşimine göre ortalama $\Delta E2$ değerleri

Kompozit*Solüsyon etkileşimi $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı

bulunmamıştır ($p=0,735$). Grup*Kompozit*Solüsyon etkileşimi $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,891$).

Başlangıç renk değerleri ile gargara uygulaması sonrası ölçülen renk değerleri arasındaki fark $\Delta E3$ değerleri olarak belirtilmiştir (Tablo 8). Grup ana etkisi $\Delta E3$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Deney grubunda $\Delta E3$ ortalaması 4,95 iken kontrol grubunda ortalama değer 4,07 olarak elde edilmiştir.

Tablo 11. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E3$ değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

Kompozit	Solüsyon	Grup		Toplam
		Deney	Kontrol	
DO	CP	5,89 $\pm$ 0,29	4,62 $\pm$ 0,26	5,24 $\pm$ 0,24
	CW	5,37 $\pm$ 0,29	3,94 $\pm$ 0,38	4,7 $\pm$ 0,27
	SP	5,76 $\pm$ 0,33	3,53 $\pm$ 0,52	4,72 $\pm$ 0,34
	LF	4,73 $\pm$ 0,21	3,73 $\pm$ 0,44	4,16 $\pm$ 0,24
	DW	6,19 $\pm$ 0,43	3,8 $\pm$ 0,38	4,97 $\pm$ 0,35
	Toplam	5,56 $\pm$ 0,14 ^A	3,94 $\pm$ 0,16 ^B	4,76 $\pm$ 0,13
VU	CP	4,6 $\pm$ 0,23	4,76 $\pm$ 0,4	4,6 $\pm$ 0,17
	CW	3,37 $\pm$ 0,51	3,43 $\pm$ 0,36	3,37 $\pm$ 0,29
	SP	3,67 $\pm$ 0,46	4,42 $\pm$ 0,42	4,02 $\pm$ 0,31
	LF	3,86 $\pm$ 0,31	4,22 $\pm$ 0,38	4,03 $\pm$ 0,24
	DW	6,43 $\pm$ 0,71	4,24 $\pm$ 0,38	5,15 $\pm$ 0,41
	Toplam	4,27 $\pm$ 0,22 ^B	4,19 $\pm$ 0,16 ^B	4,22 $\pm$ 0,13
Toplam	CP	5,23 $\pm$ 0,23 ^{AB}	4,61 $\pm$ 0,17 ^{AC}	4,92 $\pm$ 0,17 ^a
	CW	4,42 $\pm$ 0,38 ^{ABC}	3,66 $\pm$ 0,24 ^C	4,04 $\pm$ 0,23 ^b
	SP	4,71 $\pm$ 0,36 ^{ABC}	4,03 $\pm$ 0,28 ^{AC}	4,37 $\pm$ 0,24 ^{ab}
	LF	4,31 $\pm$ 0,19 ^{AC}	3,9 $\pm$ 0,26 ^C	4,1 $\pm$ 0,16 ^b
	DW	6,17 $\pm$ 0,34 ^B	4,03 $\pm$ 0,23 ^C	5,06 $\pm$ 0,28 ^a
	Toplam	4,95 $\pm$ 0,14	4,07 $\pm$ 0,11	4,49 $\pm$ 0,1

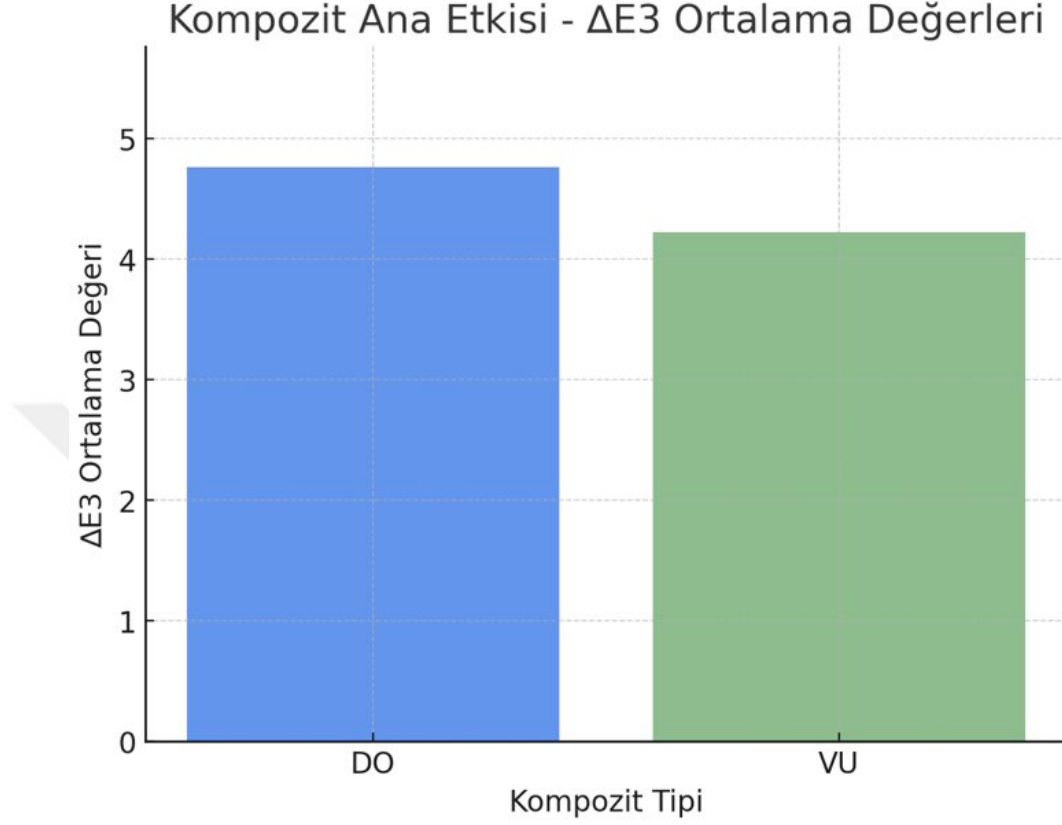
* Budanmış Ortalama $\pm$ Standart Hata; ^{A-B}: Aynı harfe sahip etkileşim grupları arasında bir fark yoktur; Analiz yöntemi olarak trimmed mean yöntemi kullanılmış ve budama oranı %5 olarak alınmıştır.

Tablo 12. Grup, kompozit ve solüsyona göre $\Delta E3$ değerlerinin karşılaştırılması

	Q	p
Grup	32,410	<0,001
Kompozit	7,970	0,006
Solüsyon	33,870	0,001
Grup*Kompozit	21,540	0,001
Grup*Solüsyon	14,380	0,012
Kompozit*Solüsyon	9,310	0,070
Grup*Kompozit*Solüsyon	5,730	0,244

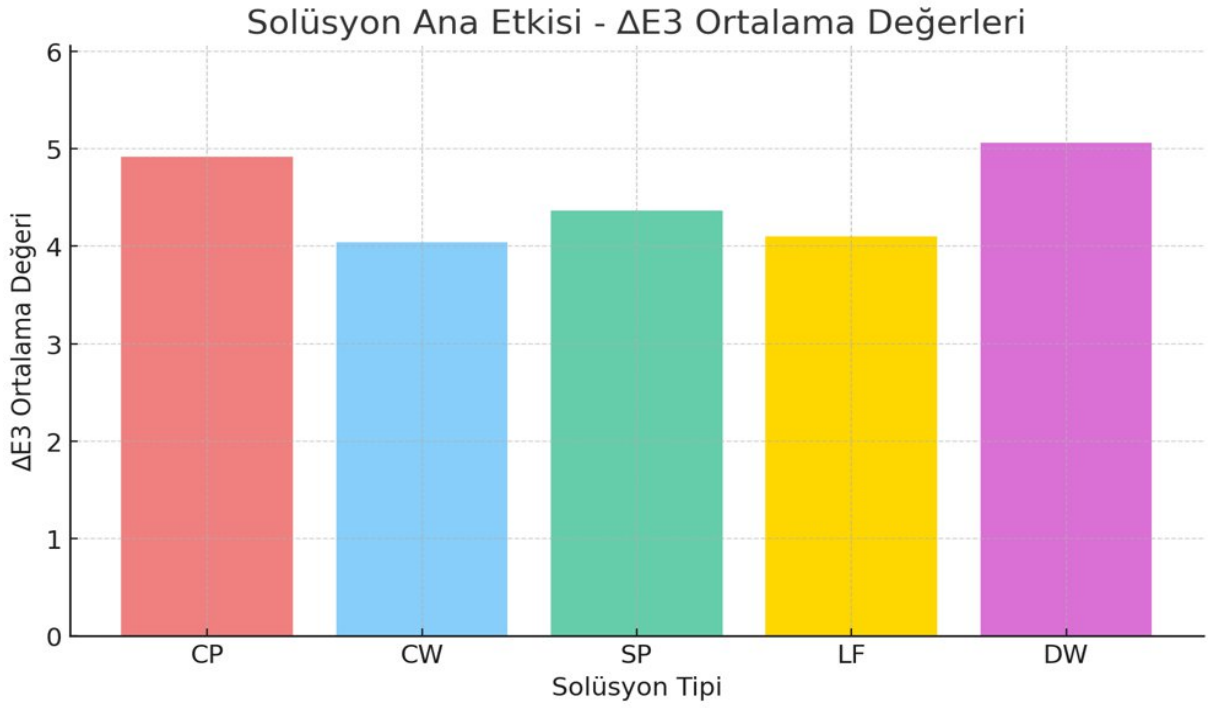
*Q: Robust ANOVA test istatistiği

Kompozit ana etkisi $\Delta E3$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,006$). DO kompozitinde $\Delta E3$ ortalaması 4,76 iken VU kompozitinde ortalama değer 4,22 olarak elde edilmiştir.



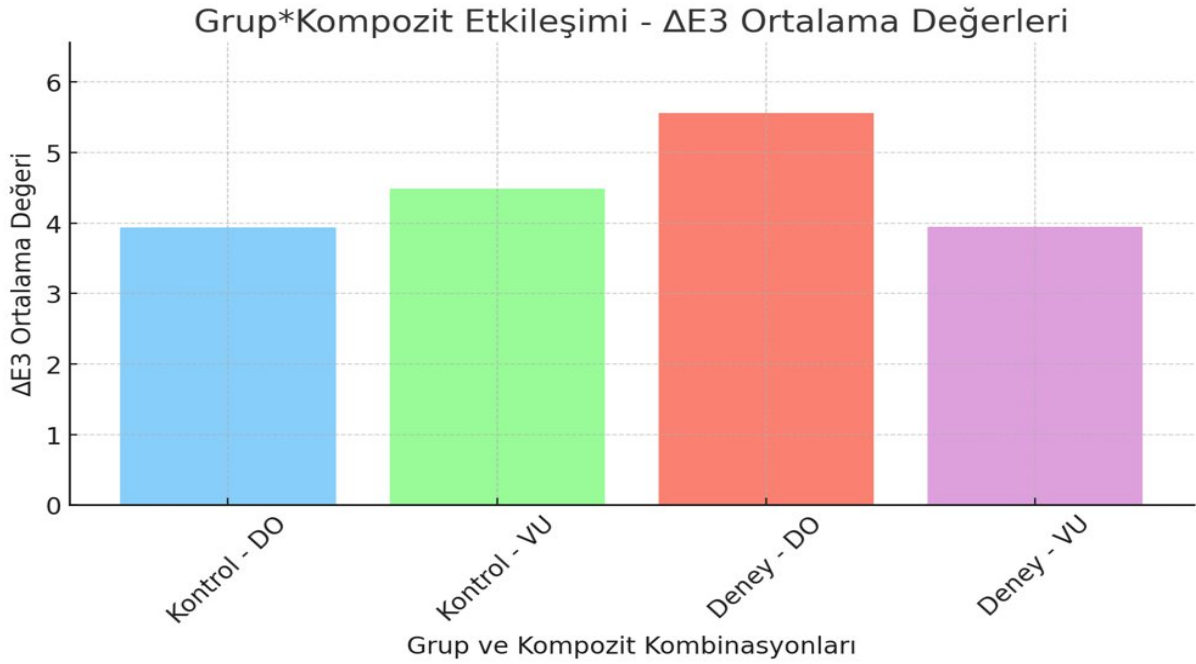
Şekil 29. Kompozit türüne göre ortalama $\Delta E3$ değerleri

Solüsyon ana etkisi $\Delta E3$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,001$). CP solüsyonunda $\Delta E3$ ortalaması 4,92, CW solüsyonunda ortalama değer 4,04, SP solüsyonunda ortalama değer 4,37, LF solüsyonunda ortalama değer 4,1 iken DW solüsyonunda ortalama değer 5,06 olarak elde edilmiştir. Burada en yüksek ortalama değer 5,06 ile DW solüsyonunda elde edilmişken en düşük değer 4,04 ile CW solüsyonunda elde edilmiştir.



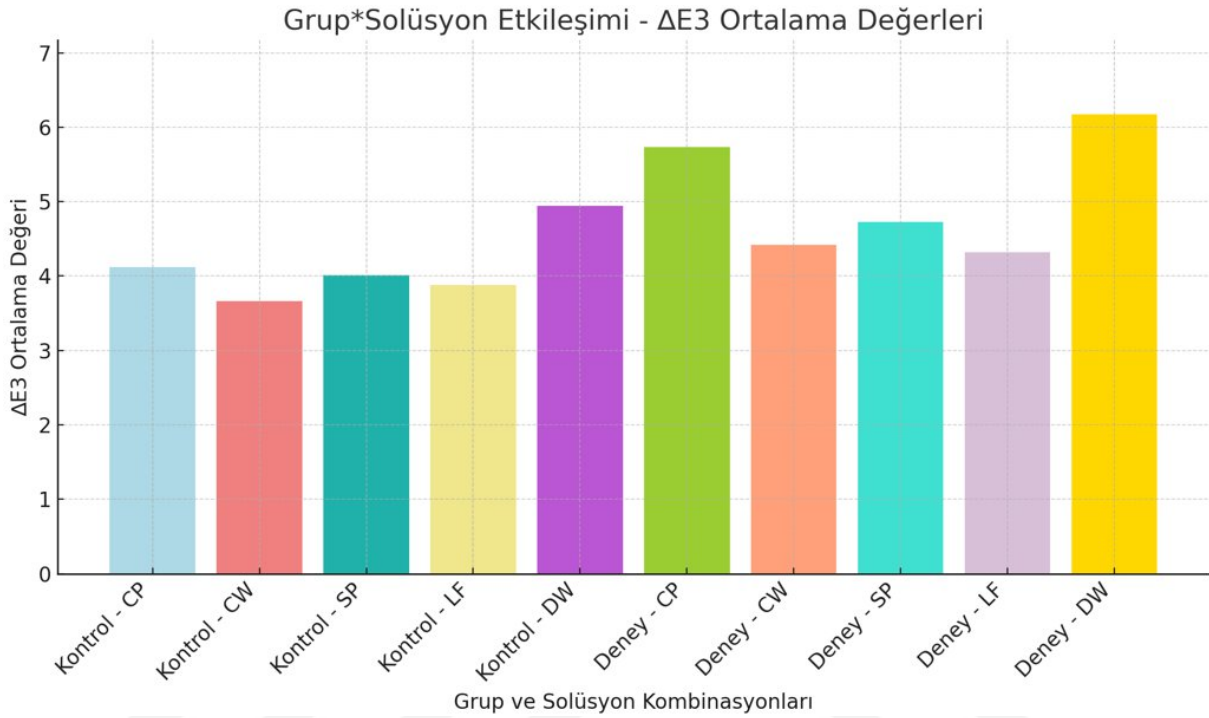
Şekil 30. Gargara türüne göre ortalama $\Delta E3$ değerleri

Grup*Kompozit etkileşimi $\Delta E3$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,001$). Burada en yüksek $\Delta E3$ ortalama değeri 5,56 ile deney grubunda DO kompozitinde elde edilmişken en düşük değer 3,94 ile kontrol grubunda DO kompozitinde elde edilmiştir.



Şekil 31. Grup ve kompozit etkileşimine göre ortalama $\Delta E3$ değerleri

Grup*Solüsyon etkileşimi $\Delta E3$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,012$). Burada en yüksek $\Delta E3$ ortalama değeri 6,17 ile deney grubunda DW solüsyonunda elde edilmişken, en düşük ortalama değer 3,66 ile kontrol grubunda CW solüsyonunda elde edilmiştir.



Şekil 32. Grup ve gargara solüsyonu etkileşimine göre ortalama $\Delta E3$ değerleri

Kompozit*Solüsyon etkileşimi $\Delta E3$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,07$).

Grup*Kompozit*Solüsyon etkileşimi $\Delta E3$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,244$).

Tablo 13. Kompozit, grup-solüsyon ve zamana göre renk değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

Grup ve solüsyon	Zaman	Kompozit		
		DO	VU	Toplam
Deney-CP	ΔE1	6,11 ± 0,45	5,95 ± 0,246	5,97 ± 0,221 ^{AB}
	ΔE2	3,49 ± 0,615	3,21 ± 0,396	3,22 ± 0,263 ^{CDE}
	ΔE3	5,89 ± 0,288	4,6 ± 0,23	5,23 ± 0,229 ^{ABFGHI}
	Toplam	5,15 ± 0,345 ^{AB}	4,62 ± 0,275 ^A	4,88 ± 0,209 ^{ab}
Deney-CW	ΔE1	6,81 ± 0,623	7,56 ± 0,677	7,22 ± 0,436 ^A
	ΔE2	6,08 ± 0,287	5,34 ± 0,711	5,67 ± 0,348 ^{ABFGHI}
	ΔE3	5,37 ± 0,293	3,37 ± 0,51	4,42 ± 0,376 ^{BCFGHIJ}
	Toplam	6,04 ± 0,24 ^B	5,4 ± 0,494 ^{AB}	5,74 ± 0,265 ^a
Deney-SP	ΔE1	6,04 ± 0,561	6,05 ± 0,371	6,04 ± 0,304 ^{ABF}
	ΔE2	3,89 ± 0,352	2,91 ± 0,314	3,37 ± 0,222 ^{CDE}
	ΔE3	5,76 ± 0,33	3,67 ± 0,458	4,71 ± 0,357 ^{BCFGHIJ}
	Toplam	5,23 ± 0,281 ^{AB}	4,19 ± 0,345 ^A	4,71 ± 0,233 ^{ab}
Deney-LF	ΔE1	4,55 ± 0,328	5,89 ± 0,506	5,15 ± 0,325 ^{ABFGHIJ}
	ΔE2	3,62 ± 0,409	3 ± 0,48	3,33 ± 0,296 ^{CDEJ}
	ΔE3	4,73 ± 0,21	3,86 ± 0,307	4,31 ± 0,19 ^{CGHIJ}
	Toplam	4,33 ± 0,187 ^A	4,22 ± 0,331 ^A	4,25 ± 0,16 ^b
Deney-DW	ΔE1	5,86 ± 0,529	6,52 ± 0,809	5,99 ± 0,366 ^{ABFGH}
	ΔE2	2,86 ± 0,3	1,87 ± 0,416	2,35 ± 0,268 ^D
	ΔE3	6,19 ± 0,431	6,43 ± 0,711	6,17 ± 0,341 ^{ABF}
	Toplam	4,97 ± 0,383 ^{AB}	4,85 ± 0,562 ^{AB}	4,88 ± 0,309 ^{ab}
Kontrol-CP	ΔE1	5,57 ± 0,411	7,04 ± 0,817	6,13 ± 0,392 ^{ABFG}
	ΔE2	3,15 ± 0,637	3,93 ± 0,782	3,49 ± 0,487 ^{CDEGHIJ}
	ΔE3	4,62 ± 0,257	4,76 ± 0,4	4,61 ± 0,173 ^{FGHIJ}
	Toplam	4,44 ± 0,309 ^A	5,17 ± 0,416 ^{AB}	4,79 ± 0,255 ^{ab}
Kontrol-CW	ΔE1	5,81 ± 0,391	5,96 ± 0,575	5,81 ± 0,3 ^{ABFGH}
	ΔE2	3,24 ± 0,422	4,37 ± 0,701	3,77 ± 0,398 ^{CDEHIJ}
	ΔE3	3,94 ± 0,375	3,43 ± 0,363	3,66 ± 0,24 ^{CDEJ}
	Toplam	4,32 ± 0,305 ^A	4,55 ± 0,347 ^{AB}	4,42 ± 0,225 ^b
Kontrol-SP	ΔE1	5,97 ± 0,397	7,47 ± 0,613	6,66 ± 0,387 ^{AB}
	ΔE2	3,16 ± 0,572	4,17 ± 0,812	3,58 ± 0,479 ^{CDEGHIJ}
	ΔE3	3,53 ± 0,518	4,42 ± 0,418	4,03 ± 0,275 ^{CEIJ}
	Toplam	4,24 ± 0,371 ^A	5,33 ± 0,453 ^{AB}	4,77 ± 0,285 ^{ab}
Kontrol-LF	ΔE1	5,5 ± 0,531	7,52 ± 0,499	6,53 ± 0,432 ^{ABF}
	ΔE2	2,9 ± 0,417	4,69 ± 0,629	3,78 ± 0,426 ^{CDEGHIJ}
	ΔE3	3,73 ± 0,444	4,22 ± 0,383	3,9 ± 0,258 ^{CDEIJ}
	Toplam	4,01 ± 0,332 ^A	5,49 ± 0,401 ^{AB}	4,73 ± 0,27 ^{ab}
Kontrol-DW	ΔE1	5,17 ± 0,376	5,93 ± 0,473	5,5 ± 0,29 ^{ABFGHI}
	ΔE2	2,08 ± 0,518	2,55 ± 0,563	2,24 ± 0,347 ^{DE}
	ΔE3	3,8 ± 0,375	4,24 ± 0,383	4,03 ± 0,234 ^{CEIJ}
	Toplam	3,66 ± 0,322 ^A	4,23 ± 0,374 ^A	3,94 ± 0,253 ^b
Toplam	ΔE1	5,69 ± 0,145 ^A	6,5 ± 0,172 ^D	6,09 ± 0,116 ^c
	ΔE2	3,4 ± 0,169 ^B	3,52 ± 0,2 ^B	3,45 ± 0,13 ^b
	ΔE3	4,76 ± 0,134 ^C	4,22 ± 0,131 ^E	4,49 ± 0,097 ^a
	Toplam	4,65 ± 0,103	4,77 ± 0,126	4,7 ± 0,081

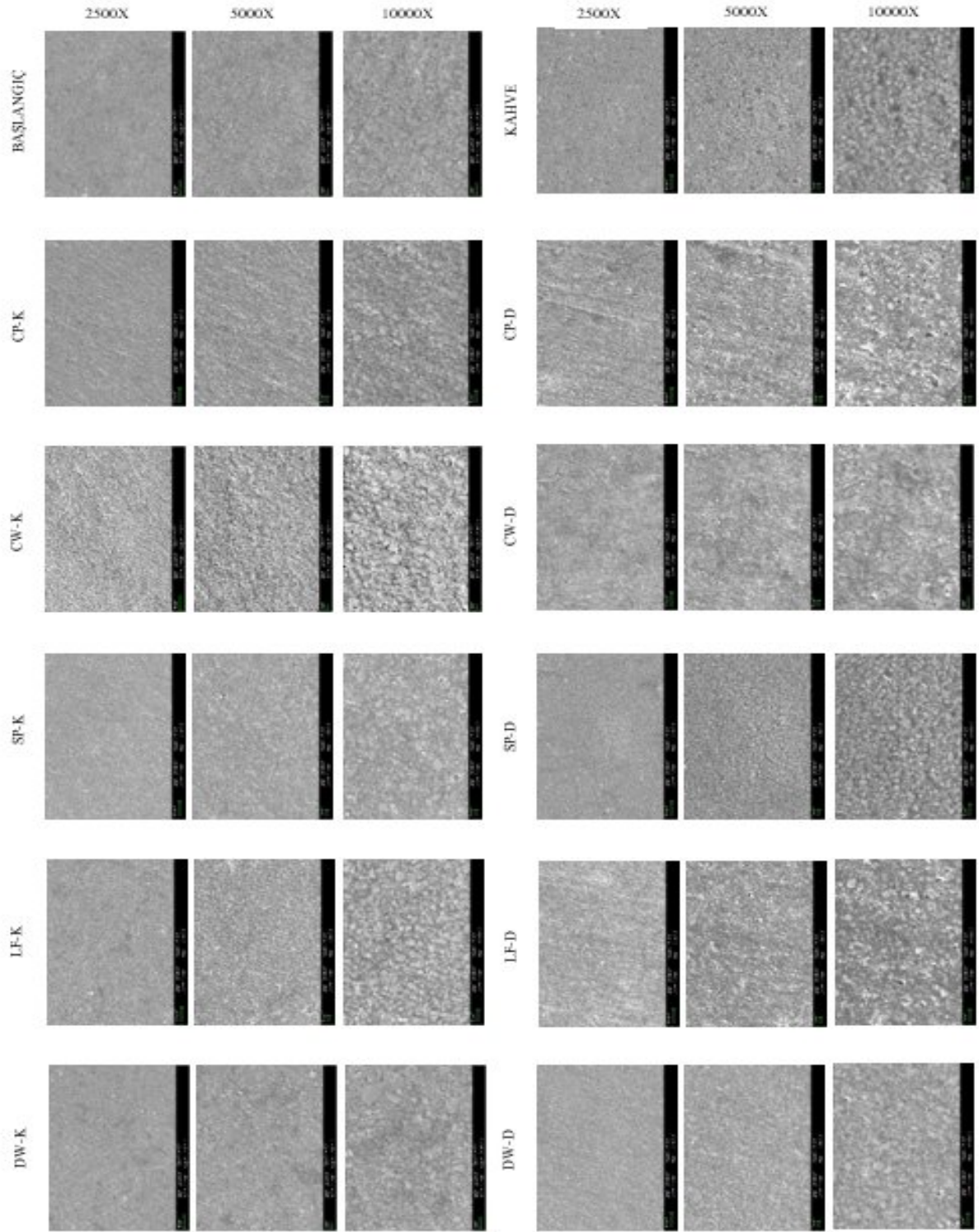
*Budanmış Ortalama ± Standart Hata; ^{a-c}: Aynı harfe sahip ana etkiler arasında bir fark yoktur; ^{A-J}: Aynı harfe sahip etkileşim grupları arasında bir fark yoktur; Analiz yöntemi olarak trimmed mean yöntemi kullanılmış ve budama oranı %5 olarak alınmıştır.

Toplam ΔE1, ΔE2 ve ΔE3 değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur (Tablo 13).

6.3. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi

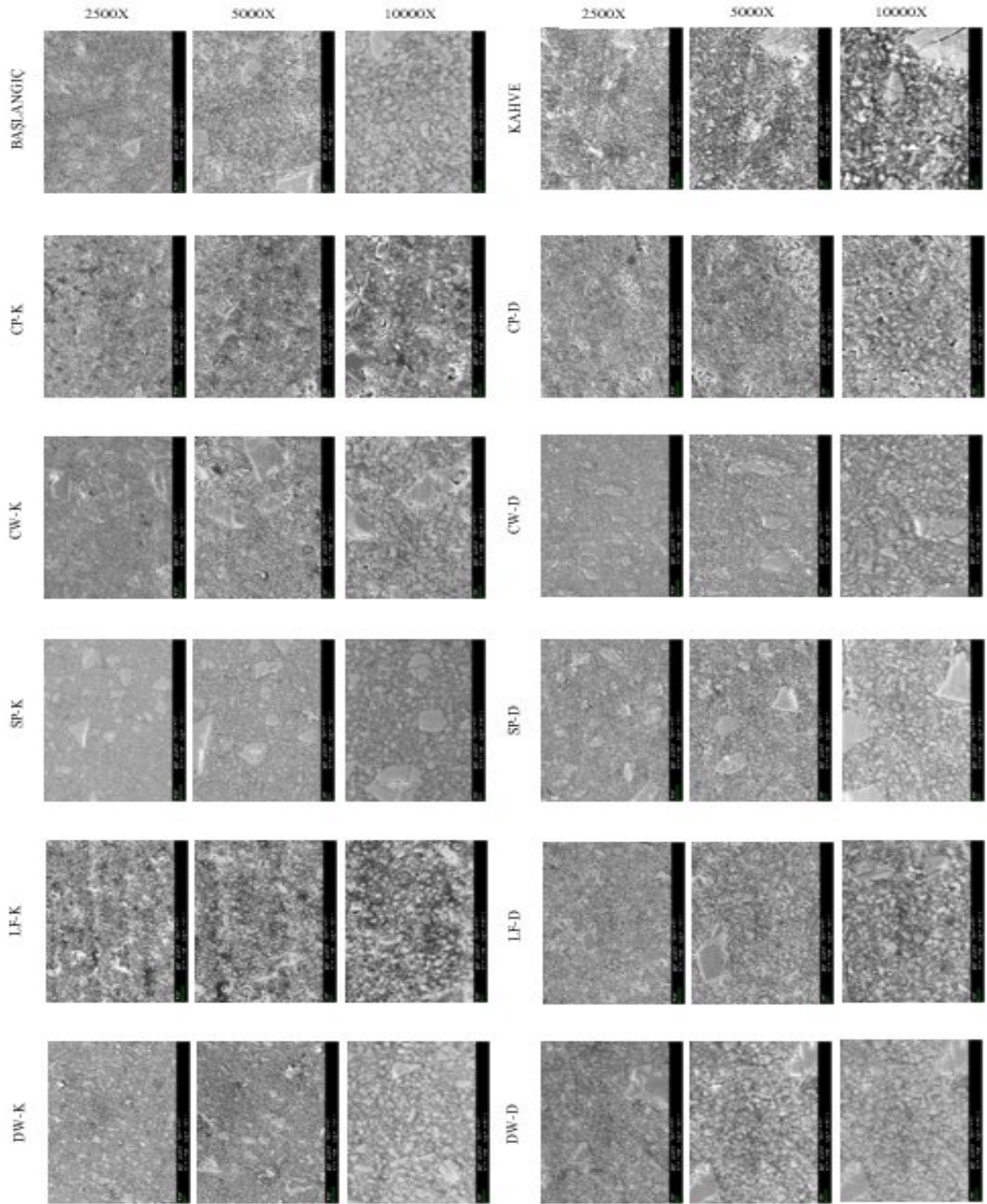
Vitra APS Unique örneklerinin başlangıç SEM görüntülerinde düzgün bir yüzey yapısı izlenirken, kahvede bekletilen örneklerin ve daha sonra gargara prosedürleri uygulanan örneklerin yüzeylerinde çizgisel bozulmalar ve çatlak benzeri deformasyonlar tespit edildi.





Şekil 33. Vittra APS Unique SEM görüntüleri

Charisma Diamond One örneklerinin başlangıç SEM görüntülerinde düzgün bir yüzey yapısı izlenirken, kahvede bekletilen örneklerin ve daha sonra gargara prosedürleri uygulanan örneklerin yüzeylerinde yaygın yüzey çatlakları ve düzensiz partikül kaybı sonucu gözenekli alanlar tespit edildi.



Şekil 34. Charisma Diamond One SEM görüntüleri

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Rezin esaslı kompozit materyaller, polimer matriks içerisinde dağılmış dolgu partiküllerinin birleşik etkisi sayesinde hem mekanik hem de estetik özellikleri bir arada sunarak diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit yapının mekanik dayanımı, aşınma direnci ve optik özellikleri; kullanılan dolgu partiküllerinin tipi, boyutu, şekli ve miktarına bağlı olarak optimize edilebilmektedir. Günümüzde özellikle hem mikro boyutlu hem de nano boyutlu dolgu partiküllerinin bir arada kullanıldığı nanohibrit yapılar ön plana çıkmaktadır. Bu kompleks sistemler, yüklerin mikro yapı içerisinde dengeli bir şekilde dağılmasını sağlayarak çatlak ilerlemesini ve partikül ayrılmasını engeller. Nanohibrit kompozitlerin yüksek baskı ve eğilme direnci, bu yapıların klinik dayanıklılığını artırmaktadır. Ayrıca, yüzey düzgünlüğü ve renklenme direnci açısından da üstün performans sergileyen bu materyaller, doğal diş dokusuna yakın estetik sonuçlar elde edilmesini mümkün kılar (Păstrav ve ark., 2024).

Restoratif tedavilerde estetik açıdan hasta memnuniyetini belirleyen en önemli unsurlardan biri, uygulanan kompozit restorasyonun hem diş yapısıyla hem de komşu dişlerle olan yapısal ve optik uyumudur. Bu estetik uyumun sağlanabilmesi için farklı renk ve opasiteye sahip katmanlı (multilayer) kompozitlerin birlikte kullanılması gerekmektedir. Katmanlı restoratif tedavi prosedürleri, hassas renk belirleme ve ileri düzey klinik deneyim gerektirmektedir. Bu durum tedavi sürecini karmaşıklştırmakta; klinikte geçirilen süreyi ve maliyeti artırmaktadır. Bu zorluklara alternatif olarak geliştirilen tek tonlu (monokromatik) kompozitler, gerekli teknik hassasiyet düzeyini azaltarak tedavi verimliliğini artırmayı ve klinisyen açısından tedavi karmaşıklığını ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Geleneksel yöntemlerde pigmentlere dayalı renk uyumu sağlanırken, monokromatik kompozitler çeşitli diş renklerine uyum sağlayabilen tek bir renk seçeneği sunmaktadır. Üretici firmalar, bu kompozitlerin özgün diş renginden bağımsız olarak komşu dişlerin rengini taklit edebildiğini ve bu özelliğin “bukalemun etkisi” (chameleon effect) olarak tanımlandığını belirtmektedir (Duzyol ve ark., 2024; Fidan ve ark., 2023).

Çalışmamızın bulguları, farklı ağız gargaraları ve uygulama yöntemlerinin (doğrudan daldırma ve ağız duşu), renklendirilmiş nanohibrit rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığını ve bu doğrultuda ilgili hipotezin kabul edildiğini göstermiştir. Buna karşılık, aynı uygulamaların renk değişimi üzerinde anlamlı bir

fark oluşturması beklenmiş olmasına rağmen, elde edilen bulgular bu etkiyi desteklememiş; böylece renk değişimi ile ilgili hipotez reddedilmiştir. Bu *in vitro* alışmada, iki farklı nanohibrit kompozit materyal (Charisma Diamond One ve Vittra APS Unique) kullanılarak hazırlanan örnekler kahve solusyonu ile renklendirildikten sonra, dört farklı ağız gargarası ve distile suya, doğrudan daldırma ve ağız duşu yöntemi ile maruz bırakılmıştır. Uygulamalar sonrasında, yüzey pürüzlülüğü ve renk değişimi değerleri analiz edilmiştir. Restoratif materyallerin yüzey ve optik özelliklerini değerlendirmeye yönelik çalışmalar *in vivo* ya da *in vitro* olarak yürütülebilir. Bu bağlamda, *in vitro* yöntemler düşük maliyet, kontrollü çevresel koşullar ve hızlı sonuç elde etme avantajlarıyla materyal karşılaştırmalarında sıkça tercih edilmektedir (Magni ve ark., 2010).

Literatürde ağız gargaralarının, rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü ve renk stabilitesine etkileri ile ilgili *in vivo* alışmalar, uygulama zorluğu, her hastada eşit şartların sağlanması zorluğu, uzun zaman alması ve maliyetli olmasından dolayı oldukça sınırlıdır (Bağis ve ark., 2011; Gasparri ve ark., 2018). Buna karşın, bu konuda çok sayıda çeşitli *in vitro* alışma mevcuttur (Celik ve ark., 2021; Ebaya ve ark., 2022; Erturk-Avunduk ve ark., 2024). Ağız duşunun rezin kompozitler üzerindeki etkilerini değerlendiren çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda, ağız gargaralarının ağız duşu ile birlikte kullanıldığında rezin kompozitler üzerindeki yüzey özellikleri ve renk değişimi etkileri incelemesi amaçlanmıştır.

Kompozit yüzey pürüzlülüğü, doldurucu partikül boyutu, doldurucu-matriks bağlanma kalitesi ve rezin sertliği gibi içsel faktörlere ek olarak, bitim ve polisaj yöntemi, ağız ortamında maruz kalınan kahve benzeri içecekler (Barutgil, 2010) ve ağız bakım ürünleri gibi dışsal etkenlerden de etkilenebilir (Chowdhury ve ark., 2023; Yılmaz ve Mjdecı, 2021). Ağız hijyeni uygulamaları ve ürünleri, rezin kompozitlerin yüzey özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir. Mekanik yöntemlerin yanı sıra, kimyasal temizlik amacıyla hastalar tarafından yaygın olarak ağız gargaraları da kullanılmaktadır. Bu rnler genellikle antimikrobiyal ajanlar, alkol, aroma vericiler ve bazen beyazlatıcı bileşenler içerir (Parashar, 2015). Ağız hijyeninde etkili olmalarına rağmen bu formülasyonlar restoratif materyallerle etkileşime girebilir. Yapılan araştırmalar, özellikle alkol içeren ya da düşük pH'a sahip bazı gargaraların rezin matriksini yumuşatabileceğini veya doldurucu bağlayıcı ajanlarını çözerek kompozitin sertliğini azaltabileceğini ve yüzey pürüzlülüğünü artırabileceğini göstermektedir (Gehlot ve ark., 2022).

Son yıllarda popülerlik kazanan bir diğer ağız hijyeni yöntemi ağız duşudur. Ağız duşları,

genellikle su veya belirli bir solüsyonu basınçlı bir akış halinde yönlendirerek, özellikle dişler arası ve dişeti altı bölgelerdeki plak ve besin artıklarını uzaklaştırmayı amaçlar. Periodontal sağlık açısından destekleyici bir uygulama olarak etkili bulunmuş ve yapılan çalışmalar, dişeti iltihabı ile kanamanın azaltılmasında olumlu etkiler gösterdiğini ortaya koymuştur (Altalhi ve ark., 2023). Ancak, ağız duşlarının restoratif materyaller üzerindeki etkilerini değerlendiren çalışmalar oldukça sınırlıdır. Diş fırçalama ya da ağız gargalarına kıyasla, ağız duşlarının kompozit yüzeyler üzerindeki etkisini inceleyen çalışma sayısı oldukça azdır. Mevcut çalışmalarda, ağız duşunun rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi; kullanılan solüsyon türü ve uygulama basıncı gibi değişkenler dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Alharbi ve ark., 2020; Naser-Alavi ve ark., 2022; Naser-Alavi ve ark., 2023). Mevcut çalışmalarda, ağız duşu cihazlarının yüksek basınç ayarında kullanılması, rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır (Alharbi ve ark., 2020; Naser-Alavi ve ark., 2022). Çalışmamızda ağız duşu cihazını, üretici firmanın günlük kullanım için önerdiği ayar olan orta, yani 3 seviyesine ayarlayarak kullandık. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan değerlendirmeler, herhangi bir yüzeyde sadece 3 saniyelik bir kullanımın, o yüzeydeki biyofilmlerin %99,9'unu ortadan kaldırdığını göstermiştir (Gorur ve ark., 2009). Çalışmamızda, günde iki kez üçer saniyelik kullanımın bir senelik kullanıma denk gelecek şekilde simüle edilmesiyle, ağız duşu uygulamasını; her örnek günde 10 dakika, haftada bir kez uygulamaya maruz bırakılacak şekilde toplam dört hafta, 40 dakikada gerçekleştirdik.

Kompozit restorasyonların yüzey kalitesi klinik başarı açısından önemlidir. Pürüzsüz bir yüzey, yalnızca estetik (parlaklık ve polisajın korunması) için değil, aynı zamanda, zaman içinde oluşabilecek plak birikimini ve lekelenmeyi en aza indirmek için de tercih edilir (Baurtcugil ve ark., 2014). Artan yüzey pürüzlülüğü, parlaklık kaybına ve renk değişimlerine neden olabilir, ayrıca oral bakterilerin yüzeye tutunmasını kolaylaştırabilir (Gehlot ve ark., 2022).

Yüzey dokusunu nicel olarak değerlendirmek için genellikle yüzey düzensizliklerinin aritmetik ortalamasını ifade eden Ra değerleri kullanılır. Bu değerler genellikle ISO standartlarına uygun olarak profilometre teknikleri ile ölçülür. Temaslı mekanik profilometreler, yüzey topografyasını mikrometre düzeyinde hassas ve tekrarlanabilir şekilde ölçebilmeleri nedeniyle diş hekimliği araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Lucena ve ark., 2021). Bu doğrultuda, çalışmamızda yüzey pürüzlülüğünün nicel olarak değerlendirilmesi amacıyla mekanik profilometre yöntemi kullanılmış; analizlerde yüzey düzensizliğini ifade eden en yaygın ölçüt olan Ra parametresi esas alınmıştır.

Nanohibrit rezin kompozitler, üstün mekanik ve fiziksel özellikleri ile estetik görünüşleri sayesinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu tercih, nanoparçacıkların submikron boyutlardaki dolgularla birleşerek matriks içerisinde daha homojen bir dolgu dağılımı sağlamasından kaynaklanmaktadır (Anwar ve ark., 2024). Nanohibrit kompozitler, hem konvansiyonel hem de nanometrik boyutlu dolgu partikülleri içermeleri sayesinde renk değişimlerine karşı dirençli, estetik açıdan tatmin edici ve yüksek cilalanabilirliğe sahip materyaller olarak öne çıkmaktadır (Kalita ve ark., 2023). Çalışmamızda kullanılan rezin kompozitler de bu doğrultuda belirlenmiştir.

Çalışmamızda kullanılan iki farklı nanohibrit kompozitin, başlangıç, kahve ile renklendirme sonrası ve gargara uygulaması sonunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri arasındaki toplam fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). Yüzey pürüzlülüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre, Charisma Diamond One kompozitine ait ortalama pürüzlülük değeri ($0,198 \mu\text{m}$), Vittra APS Unique kompozitine kıyasla ($0,186 \mu\text{m}$) daha yüksektir. Çalışmanın 1. Hipotezi reddedilmiştir.

Rezin kompozit materyallerin farklı doldurucu partikül türlerine, boyutlarına ve miktarlarına sahip olması ve monomer yapıları yüzey pürüzlülüğünü etkileyen başlıca faktörlerdendir (Bekdaş ve Hubbezoglu, 2025). Rezin kompozitlerde doldurucu partiküllerin yapısal özellikleri restore edilen yüzey alanını etkiler. Doldurucu partikül boyutu arttıkça, cilalama gibi yüzey işlemlerinden sonra dolgu maddelerinde oluşan kopmalar nedeniyle yüzey pürüzlülüğü daha fazla gözlemlenebilir (Alp ve ark., 2022). Bizim çalışmamızda da, daha büyük doldurucu partikülleri içeren Charisma Diamond One kompoziti, bütün zaman dilimlerinde daha yüksek Ra değerleri gösterdi.

Kompozit materyallerin cilalama işlemi sonrası maksimum sahip olması gereken yüzey pürüzlülüğü kritik eşik değeri $0,2 \mu\text{m}$ (Ra) olarak belirtilmiştir (Bollen ve ark., 1997). Çalışmamızda, kompozit örneklerin başlangıç Ra değerleri $0,2 \mu\text{m}$ 'nin altında olacak şekilde cilalandı.

Çalışmamızda, başlangıç Ra değerleri; Charisma Diamond One kompoziti için $0,16 \mu\text{m}$, Vittra APS Unique kompoziti için $0,154 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Kahve ile renklendirilme sonrasında Ra değerleri yükselmiş, gargara uygulamaları sonrasında düşmüştür. Gargara uygulamaları sonrasında elde edilen Ra değerleri başlangıç değerlerine göre yüksek olsa da, her iki kompozit için de kritik değer olan $0,2 \mu\text{m}$ 'nin altındadır.

Restorasyon yüzey kalitesini optimize etmek ve dental biyofilm oluşumunu en aza indirmek amacıyla uygun bir bitirme ve polisaj işlemi uygulanması zorunludur. Günümüzde rezin bazlı kompozit materyaller için çok aşamalı diskler, ince ve süper ince elmas frezler, aşındırıcı diskler ile elmas, silikon veya alüminyum oksit ile emprenye edilmiş yumuşak kauçuk uçlar gibi çeşitli polisaj sistemleri mevcuttur. Bazı sistemler daha basit olup daha az klinik adım gerektirirken, bazıları ise aşındırıcı araçların belirli bir sırayla uygulanmasını gerektiren ve daha fazla zaman alan prosedürler içermektedir (Augusto ve ark., 2022). Bununla birlikte, mikrohibrit ve nanodolgu rezin bazlı kompozitlerde, ya da farklı kompozit matris yapılarında yüzey özelliklerini iyileştirme açısından en etkili yöntemle dair literatürde bir fikir birliği bulunmamaktadır. Çeşitli çalışmalar, farklı polisaj sistemleri, restorasyon bölgesi, materyal tipi ve kullanılan sistemler arasında anlamlı farklar olduğunu göstermektedir (Daud ve ark., 2020; Monterubbiani ve ark., 2021; Tosco ve ark., 2020). Çalışmamızda elde edilen bulgular, kompozit materyalin türü ve cilalama yönteminin yüzey pürüzlülüğü üzerinde oldukça etkili olduğunu desteklemektedir.

Polimerizasyonun tamamlanması ve yüzeyde kalan reaksiyona girmemiş monomerlerin ortamdaki uzaklaştırılması amacıyla, kompozit rezin örneklerinin bir süre distile su içinde bekletilmesi tavsiye edilmektedir (Ferracane & Condon, 1990). Çalışmamızda cila işlemi sonrası örneklerimiz 24 saat boyunca distile suda bekletildi.

Kompozit restorasyonların başarıyla polimerize edilebilmesi için uygun bir ışıkla kürleme cihazının seçimi oldukça kritik bir adımdır. Resin kompozit restorasyonların başarısı ve uzun ömürlülüğü, büyük ölçüde ışıkla kürleme cihazının ürettiği ışığın kalitesine bağlıdır. Bu kaliteyi ifade eden yaygın bir ölçüm değeri “irradiance” (mW/cm^2) olup, belirli bir yüzeye ulaşan ışık miktarını tanımlar. Genel olarak, $300 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 'nin altında kalan irradiance değerleri, dental kompozitlerin yeterli şekilde polimerize edilmesi için uygun görülmemektedir (Nassar ve ark., 2020). Ayrıca, kürleme süresinin uzatılmasının kompozit materyalin dönüşüm derecesini arttırdığı bildirilmektedir (Tsuzuki ve ark., 2020). Çalışmamızda, $1000 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ışık şiddetinde çalışan ve dalga boyu 385-515 nm aralığında olan VALO Cordless LED ışık cihazı (Ultradent, ABD) kullanıldı. Işık uygulaması hem üst hem de alt yüzeylere 20'şer saniye süreyle dik gelecek şekilde uygulandı.

Çay, kahve gibi bazı renkli içecekler, resin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü gibi yüzey özelliklerini olumsuz etkileyerek; plak birikimi, sekonder çürükler ve estetik problemlere neden olabilir (Baghari ve ark., 2005; Choi ve ark., 2005). Daha önce yapılan çalışmalarda, in vitro

ortamda 144 saatlik solüsyonda bekletme süresinin, *in vivo* koşullarda yaklaşık 6 aylık renkli içecek maruziyetine karşılık geldiği bildirilmiştir (Barutçigil ve Yıldız., 2012; Ceci ve ark., 2017; Korkut ve Hacıali, 2020). Bizim çalışmamızda da kahve ile renklendirme prosedürü, bir senelik kullanıma denk gelecek şekilde hesaplanarak 12 gün boyunca 3 gram kahvenin (Nescafe Klasik; Nestle, İsviçre) 50 ml suda çözünmesiyle oluşan kahve çözeltisinde (Korkut ve Hacıali, 2020) bekletildi.

Vejendla ve ark. (2023), universal tek renkli bir kompozitin çay, kahve ve yapay tükürüğe maruz bırakıldıktan sonra yüzey pürüzlülüğündeki değişimi değerlendirmiştir. Bütün sıvılarda yüzey pürüzlülüğünde artış gözlenirken, en yüksek Ra değeri kahve grubunda saptanmıştır. Bu durumun, kompozit rezin matriksinin kimyasal erozyona karşı duyarlılığına bağlanabileceğini ve bu erozyonun, dolgu partiküllerinin hidrolitik olarak bozulmasına ve silan bağlayıcının kimyasal olarak degradasyonuna yol açarak hem yüzey bozulmasına hem de olası renklenmeye neden olabileceği belirtilmiştir.

Bir başka *in vitro* çalışmada, kompozitlerin kahve ve asitli içeceklere maruz kalması sonrası yüzey bozulmaları değerlendirilmiştir. Araştırmada, kahve tüketiminin rezin kompozit matriksinde belirgin bir yüzey bozulmasına ve yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olduğu bildirilmiştir (da Silva ve ark., 2011). Bizim çalışmamızda da, kahveye maruz bırakılan bütün örneklerin Ra değerlerinin arttığı ve kahve uygulamasından sonra her iki kompozitten ölçülen ortalama Ra değerinin 0,231 μm olduğu saptandı.

Kalita ve ark. (2023), üç farklı nanohibrit rezinin klorheksidin içeren bir gargara ve kahve uygulanmasının ardından yüzey pürüzlülüğündeki değişimi araştırdıkları bir çalışmada, bütün materyallerde kahve uygulanan örneklerdeki yüzey pürüzlülüğünün belirgin şekilde daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmamızda da, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde en fazla artışa kahve neden olmuştur.

Rezin kompozit materyaller, ağız gargaraları gibi oral hijyen ürünleriyle temas halindedir. Ağız gargaralarının kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri halen araştırılmakta olan önemli bir konudur. Ağız gargaralarının içerdiği alkol, deterjan, emülgatör ve organik asit gibi bileşenler nedeniyle kompozit yüzeyinde bozulmaya yol açabileceği bildirilmiştir (Demirci ve ark., 2015). Hem alkol içeren hem de alkolsüz ağız gargaraları, kompozit rezinlerle etkileşime girebilecek çeşitli bileşenler içermektedir. Alkol ve esansiyel yağlar içeren gargaralar, rezin matriksin yumuşamasına ve yapısal bozulmasına neden olabilirken; alkolsüz gargaralarda bulunan klorheksidin, florür, asitler ve nem tutucular yüzey

pürüzlülüğünde artışa, mekanik özelliklerde değişime ve rezin yapısında bozulmalara yol açabilmektedir (Yap ve ark., 2003). Resin kompozitlerin yüzey özellikleri ve renk değişimi üzerindeki etkilerini kıyaslayabilmek için, kullandığımız ağız gargaraları; alkol, florür, beyazlatıcı etken maddeler gibi farklı içeriklere sahip olacak şekilde belirlendi. Çalışmamızda, literatüre uygun olarak, doğrudan daldırma yöntemiyle gargara uygulaması yapılan örnekler, günde iki kez (üretici firmaların önerisiyle), birer dakika uygulanarak bir senelik kullanıma denk gelecek şekilde 12 saat boyunca bekletildi (Festuccia ve ark., 2012; Haghi ve ark., 2023).

Bir *in vitro* çalışmada, dört farklı ağız gargarasının iki nanohibrit resin kompozit üzerindeki yüzey pürüzlülüğüne etkisi değerlendirilmiştir. Alkol içeren gargaranın, klorheksidin, septidilpiridinyum klorür içeren ve alkolsüz gargaralar ile distile suya kıyasla yüzey pürüzlülüğünde daha fazla artışa neden olduğu bulunmuştur (Yılmaz ve Müjdecı, 2021).

Yine bir başka çalışmada, diş fırçalama-ağız gargarası döngüsünün nanodolgulu, mikrodolgulu ve mikrohibrit olmak üzere farklı dolgu partikül yapısına sahip üç kompozit materyalin yüzey pürüzlülüğü ve topografisi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (da Silva ve ark., 2014). Elde edilen veriler, alkol içeren gargaraların tüm kompozitlerde yüzey pürüzlülüğünü anlamlı düzeyde artırdığını göstermiştir ($p<0,05$). En yüksek yüzey pürüzlülüğü mikrohibrit kompozitte, özellikle Listerine grubunda gözlemlenmiştir.

Başka bir güncel çalışmada, farklı içeriklere sahip ağız gargaralarının nanohibrit kompozit resin materyallerin yüzey pürüzlülüğü ve mikrosertliği üzerindeki kısa süreli etkileri değerlendirilmiştir (Mallick ve ark., 2024). Yapılan ölçümlerde, alkol içeren gargara grubunda 24 saatlik temas sonrasında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin anlamlı düzeyde arttığı, mikrosertlik değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir ($p<0,05$).

Alkol içeren ve içermeyen ağız gargaralarının iki bulk-fill kompozitin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırıldığı güncel bir çalışmada, 24 saatlik gargaraya maruziyet sonucunda, alkol içeren gargara yüzey pürüzlülüğünü daha fazla arttırmıştır (Ayatollahi ve ark., 2025). Ancak kompozitlerden bir tanesindeki değişim, diğerine göre daha sınırlı kalmıştır. Bu bulgular, kompozitlerin doldurucu yapısı ve matriks içeriğine bağlı olarak gargara etkilerine karşı farklı davranış gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Bizim çalışmamızda da, mevcut çalışmalarla benzer şekilde, gargara uygulaması sonrası en yüksek Ra değeri alkol içeren Listerine Fresh Burst gargarasında bulunmuştur (0,209 μm). Ancak bu fark, istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p=0,054$). Bu bulguya göre, çalışmanın 3.

hipotezi kabul edilmiştir. Alkol içeren gargaraların yüzey pürüzlülüğünü artırma etkisi, dimetakrilat bazlı kompozit rezinlerde etanolün polimer yapı üzerine olan etkisiyle açıklanabilir (Yap ve ark., 2001). Etanol, rezin matriksin içine nüfuz ederek zincir yapısını zayıflatır, şişmeye neden olur ve çapraz bağ yoğunluğunu azaltır (Benetti ve ark., 2011). Ayrıca, dolgu-matriks ara yüzeyinde gerilim oluşturarak dolgu partiküllerinin ayrılmasını kolaylaştırır (Söderholm, 1981). Bunun yanında, alkol içeren gargaralardaki düşük pH'ın rezin matris içindeki dimetakrilat monomerlerin ester gruplarını katalize ederek alkol ve karboksilik asit oluşumuna neden olduğu; bu reaksiyonun ortamın asiditesini daha da artırarak kompozit yapının bozulma sürecini hızlandırabileceği belirtilmiştir (da Silva ve ark., 2014). Bu yapısal değişimler, yüzey pürüzlülüğünde artışa yol açar ve önceki çalışmalarda gözlemlenen bulguları destekler.

Ağız gargaralarının rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerine dair literatürde çelişkili sonuçlar bulunmaktadır. Örneğin, Trauth ve ark. (2012), %6, %8,7 ve %14,5 alkol içeren gargaralar ile alkolsüz gargaraların nanodolgulu bir kompozit üzerinde benzer yüzey pürüzlülüğü değerleri oluşturduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Urbano ve ark. (2014) ise %21,6 gibi yüksek alkol içeriğine sahip gargaraların, polimer matrisin çapraz bağ yapısını bozmadığını, yüzeyde değişim oluşturmadığını ve yüzey pürüzlülüğünü artırmadığını rapor etmiştir. Bu çelişkili bulguların, büyük ölçüde örneklerin ağız gargarasında bekletilme sürelerine bağlı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. Mevcut çalışmada numuneler gargaralarda 12 saat süreyle bekletilmişken; Trauth ve arkadaşları, numunelerini yalnızca günde iki kez 1 dakika boyunca, haftada 5 gün ve 3 hafta boyunca, Urbano ve arkadaşları ise 12 saatte bir 1 dakika süreyle, 30 gün boyunca gargaraya maruz bırakmıştır. Ayrıca, ağız ortamında gargaraların sürekli kalmadığı, ortalama sadece 2 dakika kullanıldığı ve tükürüğün koruyucu etkisi olduğu düşünüldüğünde, klinik kullanımda yüzey pürüzlülüğünde daha az değişim gözlenmesi olasıdır. Bu nedenle, *in vitro* koşulların süresi ve şiddeti, elde edilen sonuçları doğrudan etkileyebilmektedir.

Yeh ve ark. (2011), topikal florür jellerinin nanokompozitlerin yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışmada, florürün rezin kompozit matriksini ve dolgu partiküllerini bozabileceğini bildirmiştir. Başka bir çalışmada, alkol içeren (Listerine) ve florür içeren (Sensodyne Promine) alkolsüz ağız gargaralarının üç farklı kompozit rezin (nanodolgulu, yoğun kıvamlı ve siloran bazlı) üzerindeki yüzey pürüzlülüğü etkisi değerlendirilmiştir (Kadhi, 2016). Çalışma sonuçlarına göre, hem alkol içeren hem de florür içeren alkolsüz gargaralar, kontrol grubuna kıyasla tüm kompozitlerde anlamlı düzeyde yüzey pürüzlülüğü artışına neden olmuştur. Ancak, bu iki gargara arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır.

Ayrıca, aynı solüsyona maruz bırakılan kompozit türleri arasında yüzey pürüzlülüğü bakımından yüksek düzeyde anlamlı farklar gözlemlenmiştir. Burada, gargaraların kompozit türüne göre farklı etkiler gösterebileceği gözlemlenmektedir.

Bir başka çalışmada, çeşitli florür solüsyonlarının dört farklı kompozit üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir (Pires-de-Souza, 2014). Tüm gruplarda yüzey pürüzlülüğü değerlerinin dental biyofilm tutunmasını artırabilecek eşik değer olan 0,2 µm'nin altında kaldığı belirlenmiştir. Çalışmamızda da bununla paralel olarak, sodyum florür içeren Sensodyne Promine ve Colgate Plax Beyazlık+Aktif Kömür gargaralarının oluşturduğu yüzey pürüzlülüğü değişimleri benzerdir. Sensodyne Promine ortalama 0,181 µm, Colgate Plax gargarası ortalama 0,187 µm pürüzlülük değerleri göstermiştir. Bu değerler klinik olarak kabul edebilir değerlerdir.

Beyazlatıcı ağız gargaralarının içerdiği maddelerin, rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğünde değişime neden olabileceği bildirilmiştir (Mutlu ve Tunçdemir, 2020). Barutçugil ve ark., hidrojen peroksit içeren ve içermeyen toplamda 6 beyazlatıcı ağız gargarasının nanofil bir kompozit üzerinde pürüzlülüğe olan etkisini incelemişlerdir. Tüm gruplarda bir artış söz konusu olsa da bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$).

Mevcut bir çalışmada, %35'lik hidrojen peroksitin nanofil kompozit üzerine uygulanması sonucunda yüzey pürüzlülüğünde önemli bir artış olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2011). Bir başka çalışmada, %6,5 hidrojen peroksit içeren bir beyazlatma stripinin, nanofil ve ormoser kompozitler üzerindeki etkisini incelemişlerdir (Gülbüz ve ark., 2013). 21 gün süreyle uygulanan beyazlatma bandının kompozitlerin yüzey pürüzlülüğünü bir miktar artırdığını, ama bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını bildirmişlerdir.

Bir başka çalışmada araştırmacılar, farklı konsantrasyonlarda hidrojen peroksit içeren iki grubun nanofil kompozit rezin üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (de Andrade ve ark., 2011). Çalışma sonucunda, %35 hidrojen peroksit içeren grubun, %16'lık gruba kıyasla yüzey pürüzlülüğünü anlamlı düzeyde artırdığı görülmüştür. Bu çalışma doğrultusunda, düşük konsantrasyonda hidrojen peroksit içeren ağız gargaralarının incelendiği çalışmalar arasındaki farklılıkların, kullanılan ajandaki hidrojen peroksit miktarına bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Yılmaz ve Uygun (2025), yaptıkları bir çalışmada, aktif bileşen içeren beyazlatıcı ağız gargaralarının nanohibrit kompozit rezinlerin yüzey pürüzlülüğü ve Vickers mikrosertliği üzerindeki etkilerini, farklı fırçalama koşulları altında değerlendirmiştir. Aktif karbon içeren

Colgate Plax White+Charcoal grubu, hem fırçalanmış hem de fırçalanmayan örneklerde yüzey pürüzlülüğünde anlamlı artış göstermiştir. Buna karşılık, mikrosertlik değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik saptanmamıştır. Bulgular, aktif karbon içeren gargaraların kimyasal ve mekanik aşındırıcı etkilerle birlikte kompozit yüzeyinde bozulmaya neden olabileceğini; ancak materyalin iç mekanik bütünlüğünün korunduğunu düşündürmektedir.

Başka bir çalışmada, aktif kömür içeren diş macunlarının rezin kompozit restorasyonların yüzey pürüzlülüğü, renk stabilitesi ve marjinal boyanma üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir (Bragança ve ark., 2022). Üç ay süreyle simüle edilmiş fırçalama sonrasında, tüm gruplarda yüzey pürüzlülüğünde artış gözlenmiştir; ancak aktif kömür içeren diş macunları ile kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Çalışmamızda, hidrojen peroksit içeren Crest 3D White gargarasının uygulandığı grubun ortalama Ra değeri 0,188 μm iken; aktif kömür içeren Colgate Plax White+Charcoal gargarasının uygulandığı grubun ortalama Ra değeri 0,187 μm olarak hesaplandı. Beyazlatıcı gargaraların içerdikleri farklı maddelerin, kompozitlerin yüzey pürüzlülüğünü klinik olarak kabul edilebilir sınırlarda etkilemesi, nanohibrit kompozitlerin gelişmiş mekanik ve fiziksel özellikleriyle ilişkilendirilebilir.

Elde edilen SEM görüntüleri, kahve solüsyonunda bekletilen nanohibrit tek renkli rezin kompozitlerin gargara uygulama prosedürlerine maruz kaldıktan sonra yüzey pürüzlülüğündeki değişimleri nitel olarak incelemek için sunulmuştur. Kahve içeceğine ve gargara maruz kalan örneklerde; mikroporoziteler, çatlaklar, yüzeyde parçalanmalar ve doldurucu partiküllerin organik matriksten ayrılması gibi belirgin morfolojik değişimler gözlenmiştir. Kedici Alp ve ark. (2022), universal rezin kompozitlerin gastrik asit maruziyeti sonucunda yüzey özelliklerini inceledikleri bir çalışmada, Charisma Diamond One ve Vittra APS Unique kompozitlerinin benzer yüzey değişimleri gösterdiğini bildirmişlerdir.

Yüzey pürüzlülüğü değişimlerinde olduğu gibi, kompozitlerin renk değişimi çok faktörlü bir durumdur ve hem içsel renklenmelerle hem de dışsal lekelenmelerle ilişkilidir. Kompozit materyalin yapısı ve içerdiği inorganik dolgu partiküllerinin özellikleri, yüzey düzgünlüğü ve dışsal lekelenmeye karşı duyarlılığı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Festuccia ve ark., 2012).

Diş hekimliğinde renk seçimi veya restorasyonun çevre dişlerle uyumunun belirlenmesi, görsel olarak ya da çeşitli cihazlar yardımıyla yapılabilir. Bu çalışmada, insan kaynaklı hataları en aza indirerek daha objektif sonuçlar elde edebilmek amacıyla Vita Easyshade V (Vita Zahnfabrik,

Almanya) spektrofotometresi kullanıldı (Bagheri ve ark., 2005). Renk değişimlerinin analizinde CIE Lab (ΔE_{ab}) ve CIEDE2000 (ΔE_{00}) gibi farklı renk sistemleri kullanılabilmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda, algılanabilirlik ve klinik kabul edilebilirlik düzeylerinin değerlendirilmesinde CIEDE2000 sisteminin CIE Lab'a göre daha üstün olduğu bildirilmiştir (He ve ark., 2020; Paravina ve ark., 2019). Bu nedenle, bu çalışmada renk değişimlerinin değerlendirilmesinde CIEDE2000 (ΔE_{00}) sistemi ve formülü tercih edildi.

Renk değişiminin klinik olarak anlam taşıyıp taşımadığı, ΔE değerlerinin algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik sınırları çerçevesinde değerlendirilmesiyle belirlenmektedir. Literatürde genel kabul gören değerlere göre, ΔE yaklaşık 0,8 olduğunda gözle algılanabilirlik sınırı (perceptibility threshold, PT); ΔE yaklaşık 1,8 olduğunda ise klinik olarak kabul edilebilirlik sınırı (acceptability threshold, AT) olarak tanımlanmaktadır. PT değeri, gözlemcilerin %50'sinin renk farkını fark ettiği eşiği; AT değeri ise bu farkın %50'si tarafından klinik olarak tolere edilebilir bulunduğu eşiği temsil etmektedir (Paravina ve ark., 2019).

Yapılan birçok çalışmada, kompozit rezinlerin özellikle kırmızı şarap, kahve, kola, çay gibi renklendirici solüsyonlara maruz kaldığında renk değişimine yatkın olduğu gösterilmiştir (Vichi ve ark., 2004). Bu durum, kompozit materyalin su emme kapasitesi ve reçine matrisinin hidrofilik yapısıyla doğrudan ilişkilidir; çünkü bu özellikler boyayıcı ajanların yapıya nüfuz etmesini kolaylaştırmakta ve daha fazla renk değişimine yol açmaktadır (Bagheri ve ark., 2005).

Yapılan bir çalışmada, yüzeyleri kola ile pürüzlendirilmiş beş farklı estetik restoratif materyalin (mikrodolgu akışkan kompozit, nanodolgulu kompozit, iki farklı nanohibrit kompozit ve mikrodolgu ormoser esaslı kompozit) kahve ve kırmızı şarap gibi boyayıcı solüsyonlara maruziyet sonrası renk stabilitesi değerlendirilmiştir (Ceci ve ark., 2017). Boyayıcı içecekler, test edilen tüm restoratif materyallerde anlamlı renklenmeye yol açmıştır ($p < 0,05$). Öncelikle kolaya maruz kalmak, kahve veya şarap ile meydana gelen sonraki renklenmeleri artırmış olup, kahve daha yüksek renk değişimine neden olmuştur. En düşük renk değişimi nanohibrit kompozitlerde gözlenmiştir.

Yine bir çalışmada üç farklı nanohibrit kompozit rezinin kahve ve klorheksidin solüsyonlarına maruz kaldıktan sonra yüzey pürüzlülüğü ve renk stabilitesi değerlendirilmiştir (Kalita ve ark., 2023). Tüm kompozitlerde kahveye maruz kalmanın, klorheksidine kıyasla anlamlı düzeyde daha fazla renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğüne yol açtığı bildirilmiştir. Çalışma, kahvenin kompozit rezinlerin yüzey ve estetik özelliklerini olumsuz etkilediğini ve materyal türüne göre bu etkinin farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur.

Bizim çalışmamızda da kahve ile renklendirme sonrası örneklerin $\Delta E1$ değerlerinde anlamlı bir değişiklik görüldü. Çalışmamızda, DO kompozitinde $\Delta E1$ ortalaması 5,69 iken VU kompozitinde ortalama değer 6,5 olarak elde edildi. Bu değerler klinik olarak kabul edilir değerin (1,8) üzerindedir.

Bir çalışmada, kahve ile kısa süreli renklendirme sonrası tek renkli (single-shade) ve çok renkli (multi-shade) universal kompozit rezinlerin renk stabilitesi ve translüsensi özellikleri karşılaştırılmıştır (Özdemir ve ark., 2024). Beş farklı kompozit materyalden (Omnichroma, Vittra APS Unique, Zenchroma, Charisma Diamond One ve Neo Spectra ST) toplam 50 örnek hazırlanmış, örnekler 24 saat boyunca kahvede bekletilmiştir. En yüksek renk değişimi Vittra APS Unique grubunda, en düşük ise Neo Spectra ST grubunda gözlenmiştir. Translüsensi TP_{00} değerleri Vittra kompozitinde daha yüksek bulunmuştur.

Başka bir çalışmada, dört farklı tek renkli universal kompozit rezin materyalin (Omnichroma, Zenchroma, Vittra APS Unique ve Charisma Diamond One) kırmızı renkli bir detoks çözeltisine 21 gün boyunca maruz bırakılmasının renk değişimi (ΔE), yüzey pürüzlülüğü, mikrosertlik ve dönüşüm derecesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir (Nezir ve ark., 2024). 7. günün sonunda, Charisma Diamond One kompozitine göre Vittra APS Unique kompoziti daha çok renklenmiş olup; 21. günün sonunda ise ΔE ve mikrosertlik değeri daha düşük hesaplanmıştır. Vittra kompozitinin Ra değeri, Charisma Diamond One'a göre bütün zaman dilimlerinde daha düşük bulunmuştur.

Duzyol ve ark (2024), yaptıkları bir çalışmada tek renkli kompozitlerin (Omnichroma, Vittra APS Unique, GC A'chord ve Charisma Diamond One) çay, kahve ve kola gibi yaygın içeceklerle 14 gün süreyle temas ettirilmeleri sonrası oluşan renk değişimleri değerlendirmiştir. Renk ölçümleri CIE Lab* sistemiyle spektrofotometre kullanılarak başlangıçta, 24. saatte ve 14. günde yapılmıştır. En fazla renk değişimi çay ve kahve gruplarında, en az değişim ise kontrol grubunda gözlenmiştir. 14. gün sonunda en belirgin renk değişimi Charisma + Kahve grubunda, en az değişim ise Omnichroma + Su grubunda kaydedilmiştir.

Bizim çalışmamızda da benzer şekilde, Vittra APS Unique kompoziti, kahveyle daha çok renklenip (DO kompozitinde $\Delta E1$ ortalaması 5,69 iken VU kompozitinde ortalama değer 6,5 olarak elde edildi), gargara uygulaması sonrası da rengi daha çok açıldı. Ancak kompozit ana etkisi $\Delta E1$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuşken ($p<0,001$), $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p=0,48$). Vittra APS Unique kompozitinin Ra değeri ise daha düşük bulundu. Toplamda, kompozit ana etkisi $\Delta E3$ ortalama

değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulundu. ($p=0,006$). DO kompozitinde $\Delta E3$ ortalaması 4,76 iken VU kompozitinde ortalama değer 4,22 olarak elde edildi. Bu doğrultuda, çalışmanın 2. hipotezi reddedilmiştir. Bu bulguların sonucunda, VU kompoziti pozitif ve negatif yönde daha fazla renk değişimi göstermiş, deney sonucunda başlangıç rengine daha yakın olan grup olmuştur. Aynı zamanda daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri göstermiştir. Vittra APS Unique kompozitinin; daha az yüzey pürüzlülüğü gösterme sebebi, içeriğindeki partiküllerin daha küçük ve homojen olması ile açıklanabilir. Renginin daha çok koyulaşıp aynı zamanda daha çok açılması da yine bu düzenli yapısından dolayı, renklemenin daha çok yüzeyel olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, VU kompozitinin translüsensinin yüksek olmasıyla ve APS (Advanced Polymerization System) yapısının ve düşük kamforokinon içeriğinin, meydana gelen renklemenin kalıcı olmasına direnciyle açıklanabilir.

Rezin kompozitlerin renk stabilitesini etkileyen faktörlerden biri de organik matriks yapısıdır. Rezin matrisinin sıvı emilimi kapasitesi, monomer tiplerine göre belirlenir. Sıvı emilimi ve çözünürlük, resin kompozitlerin renk değişimini etkilemektedir. Bis-GMA monomeri, yapısında bulunan hidroksil grubu nedeniyle hidrofilik özellik gösterir ve bu durum, sıvı ile pigment emilimini artırır. Buna karşın, UDMA ve Bis-EMA gibi monomerler daha hidrofobik yapıdadır ve sıvı geçişine karşı daha dirençlidir. Günümüzde kullanılan tek renkli kompozitlerin çoğunda, Bis-GMA yerine UDMA ve TEGDMA bazlı resin matrisleri tercih edilmekte olup bu sayede su emilimi daha düşük tutulmaktadır. Çalışmamızda kullandığımız Vittra APS Unique, UDMA ve yüksek oranda trifunksiyonel monomer ve az miktarda TEGDMA içermektedir. Bu formülasyon, resin kompozitin daha hidrofobik yapıda olup dış etkenlere daha dirençli olmasına neden olabilir. Charisma Diamond One, TCD bazlı bir matris içermesine rağmen, yapısında Bis-GMA/TEGDMA sistemine benzer moleküllerin bulunması, materyalin daha hidrofilik olmasına ve dış etkenlerden daha fazla etkilenmesine neden olabilir.

Yaygın olarak kullanılan bazı ağız gargaralarının bir nanohibrit resin kompozit üzerindeki renk değişimine ve sonrasında kahve ve kola gibi boyayıcı ajanlara karşı leke tutulumuna etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, örnekler, dört farklı gargara ile distile su (kontrol) gruplarına ayrılmış ve her biri 24 saat bu solüsyonlarda bekletilmiştir (Valizadeh-Haghi ve ark., 2023). Bu aşamada elde edilen $\Delta E1$ değerleri, gargaraların neden olduğu ilk renk değişimini göstermektedir. Daha sonra örnekler alt gruplara ayrılarak 7 gün süreyle kahve, kola veya distile suda bekletilmiş ve toplam renk değişimi (ΔE total) hesaplanarak leke tutulum eğilimleri değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, tüm gargara grupları kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek $\Delta E1$ değerleri göstermiştir; ancak tüm değerler klinik

olarak kabul edilebilir sınırlar içindedir. Kahve tüm gruplarda en fazla, distile su ise en az toplam renk değişimine neden olmuştur ($p<0.001$). $\Delta E1$ değerleri alkol içeriğinden bağımsız olarak tüm gargara gruplarında benzer değerler göstermiştir. Bu bulgu, ağız gargaralarında alkol içeriğinden ziyade, ürünlerin içeriğinde bulunan diğer aktif bileşenlerin ve pH gibi özelliklerin renklenme üzerinde daha etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Bir *in vitro* çalışmada, kahveyle renklendirilmiş farklı yapısal özelliklere sahip üç kompozitin, hidrojen peroksit içeren ve içermeyen beyazlatıcı ağız gargaralarına maruz bırakılmalarının renk değişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir (Bilgili Can ve Özarslan). Başlangıç renk ölçümleri sonrası örnekler 7 gün boyunca kahve solüsyonunda bekletilmiş ve elde edilen $\Delta E001$ değerleri kaydedilmiştir. Ardından örnekler ikiye ayrılarak hidrojen peroksit içeren (Crest 3D White) ve içermeyen (Listerine Advanced White) ağız gargaralarına 24 saat süreyle daldırılmış, ardından $\Delta E002$ değerleri hesaplanmıştır. Her iki beyazlatıcı gargara da iki kompozit grubunda anlamlı renk açılması sağlamıştır. Ancak mikrohürit kompozit grubunda hem kahve hem de gargaralar sonrası klinik olarak kabul edilemeyecek düzeyde ($\Delta E>3,3$) renk değişikliği gözlenmiştir. Gargara türünün materyal üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmamıştır ($p>0,05$).

Mutlu ve Tunçdemir (2020), beyazlatıcı ağız gargarasının kahvede bekletilerek renklendirilen universal bir kompozitin renk değişimine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırdıkları çalışmalarında, kahvede bekletme sonrası kompozit örneklerde klinik olarak kabul edilemeyecek ölçüde bir renk değişimi gözlendiğini bildirmişlerdir ($\Delta E00>2,25$; deney grubu $\Delta E00=3,13\pm0,74$; kontrol grubu $\Delta E00=3,07\pm0,22$). Beyazlatıcı ağız gargarasının $\Delta E00$ değerlerinde istatistiksel bir farklılık oluşturduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Bu çalışmanın sonucunda, beyazlatıcı ağız gargarası, kompozit rezin yüzeyinde belirgin bir pürüzlülük artışına neden olmadan kahve renklemelerinin giderilmesinde etkili olmuştur.

Çalışmamızda, gargara etkisi $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p=0,001$). Bu bulgu, literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Bu doğrultuda, çalışmamızın 4. Hipotezi reddedilmiştir. CP gargarasında $\Delta E2$ ortalaması 3,36, CW gargarasında ortalama değer 4,73, SP gargarasında ortalama değer 3,45, LF gargarasında ortalama değer 3,52 iken DW solüsyonunda ortalama değer 2,29 olarak tespit edildi. Burada en yüksek $\Delta E2$ ortalama değeri 4,73 ile Crest 3D White gargarasında elde edilmişken en düşük $\Delta E2$ ortalama değeri 2,29 ile distile suda elde edildi. Crest 3D White gargarası haricinde, solüsyonlar arasında anlamlı bir fark oluşmadı.

%10 hidrojen peroksit ve %10 karbamid peroksit içeren beyazlatıcı ajanların farklı türde kompozit rezinlerin renk stabilitesi üzerindeki etkisini karşılaştıran bir çalışmada, %10 hidrojen peroksit uygulamasının tüm kompozit rezinlerde gözle görülür renk değişimlerine neden olduğu bildirilmiştir (Canay ve Cehreli). Crest 3D White gargarasının renk değerlerini en fazla iyileştiren solüsyon olmasının nedeni, hidrojen peroksit içeriğiyle ilişkilendirilebilir.

Bir *in vitro* çalışmada, aktif karbon içeren ağız gargaralarının yaşlandırılmış kompozit materyallerde klinik olarak kabul edilemez düzeyde renk değişimlerine neden olduğu bulunmuştur. Ancak çoğu grupta, bu renk değişimi distile suda gözlemlenen değişimden istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı değildir (Keles ve ark., 2024).

Bir başka çalışmada, aktif karbon içeren 5 diş macununun rezin kompozit restorasyonlar üzerindeki yüzey pürüzlülüğü (Ra), renk stabilitesi (ΔE) ve marjinal boyanma etkileri değerlendirilmiştir (Bragança ve ark., 2022). Çoğu aktif karbonlu diş macunu, kompozit rezinlerde klinik olarak kabul edilemez düzeyde renk değişimine neden olmuştur. Bianco Carbon adlı diş macunu, marjinal boyanma açısından kontrol grubuna benzer sonuç vermiş ve diğer karbonlu diş macunlarına göre daha düşük boyanma oluşturmuştur. Vittra kompoziti ile birlikte kullanılan siyah diş macunu, en yüksek marjinal boyanmayı göstermiştir.

Çalışmamızda kullanılan Colgate Plax aktif kömür içerikli gargara, beyazlatıcı sınıfında olmasına rağmen diğer günlük ağız gargaralarıyla benzer renk değişimi gösterdi. Aktif kömür içerikli ürünlerle ilgili daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde, ağız duşlarının rezin kompozitler üzerindeki etkilerini inceleyen mevcut çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Alharbi ve Farah (2020) tarafından gerçekleştirilen bir *in vitro* çalışmada, ağız duşu uygulamasının beş farklı rezin bazlı kompozit materyalin renk stabilitesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Disk şeklinde hazırlanan örnekler üç gruba ayrılarak; yalnızca suda bekletilen kontrol grubu, 50 Psi basınçla su jeti uygulanan grup ve 100 Psi ile su jeti uygulanan grup olarak işlenmiştir. Waterpik® Aquarius® cihazı ile yapılan uygulama, günlük 1 dakikalık kullanımın yaklaşık 5 yıllık simülasyonuna karşılık gelecek şekilde 30 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda, kompozit türü ve uygulanan basınç düzeyine bağlı olmaksızın anlamlı bir renk değişimi gözlenmemiştir ($p>0,05$). Yüzey pürüzlülüğü açısından da genel olarak istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamış; yalnızca küresel dolgu partikülleri içeren iki kompozit, 100 Psi grubunda anlamlı pürüzlülük artışı göstermiştir ($p=0,001$ ve $p=0,006$). Ancak bu artışlar $\approx 0,2$ μm düzeyinde olup, klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Sonuç olarak, bu çalışmanın koşulları altında, su

jeti cihazlarının kompozit restorasyonlar üzerinde renk değişimine veya yüzey hasarına neden olmadan güvenle kullanılabileceği belirlenmiştir.

Bir başka çalışmada, ağız duşu kullanımının monolitik zirkonya ve metal destekli feldspatik porselen materyallerin yüzey özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. 5 Psi ve 10 Psi basınçta uygulanan Waterpik, her iki materyalde de yüzey pürüzlülüğünde anlamlı artış ve yüzey sertliğinde anlamlı azalma oluşturmuştur. Ancak bu değişiklikler, materyallerin klinik başarısını etkileyecek düzeyde bulunmamıştır. Bu çalışmanın sonuçları, günlük ağız duşu kullanımının farklı materyaller üzerinde de güvenle kullanılabileceği fikrini desteklemiştir.

Bunlardan farklı olarak bir başka çalışmada, Waterpik tipi ağız duşu cihazının (OID) su ve %0,5 klorheksidin (CHX) solüsyonlarıyla kullanımının, mikrohibrit (x-tra fil) ve nanohibrit (Tetric N-Ceram Bulk) bulk-fill kompozit rezinlerin yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve topografyası üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir (Naser-Alavi ve ark., 2022). Örnekler üç gruba ayrılmıştır: yalnızca distile suda bekletilen kontrol grubu, OID ile su uygulanan grup ve OID ile CHX uygulanan grup. Sekiz hafta boyunca yapılan uygulama, bir yıllık OID kullanımını simüle etmektedir. Çalışma sonucunda, OID uygulaması yapılan gruplarda kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde yüzey pürüzlülüğü artışı gözlenmiştir ($p<0,001$). Ancak su ve CHX arasında bu etki bakımından anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p=0,615$). Kompozit türünün tek başına veya solüsyonla birlikte yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Waterpik ağız duşunun su veya CHX ile kullanımı hem mikrohibrit hem de nanohibrit bulk-fill kompozitlerin yüzey pürüzlülüğünü ve yüzey topografyasındaki değişimleri artırmaktadır.

Naser-Alavi ve ark. (2024), yaptıkları başka bir çalışmada, farklı basınç seviyelerinde ve farklı solüsyonlarla (su ve %0,05 klorheksidin) kullanılan ağız duşu cihazının (OID), giomer restoratif materyalin yüzey pürüzlülüğü ve topografyası üzerindeki bir yıllık etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, OID ile işlem gören tüm gruplarda yüzey pürüzlülüğü anlamlı şekilde artmıştır ($p<0,001$). 10 numaralı (yüksek basınç) gruplarda gözlenen pürüzlülük artışı, 7 numaralı (düşük basınç) gruplardan daha fazladır ($p<0,001$). Cihazın basıncının yüzey değişimi üzerinde belirgin etkisi olduğu görülmüş; ancak kullanılan solüsyonun türü ve basınçla birlikte olan etkisi anlamlı bulunmamıştır ($p=0,08$ ve $p=0,43$). Bu sonuçlara göre hem su hem de CHX içeren solüsyonlarla kullanılan ağız duşu cihazı, giomer materyallerin yüzey pürüzlülüğünü ve topografya değişikliklerini artırmaktadır. Bu değişimlerin şiddeti büyük ölçüde cihazın uyguladığı basınca bağlıdır.

Bizim çalışmamızda, ağız duşunun etkisi, kompozit tipine bakılmaksızın $\Delta E2$ ortalama değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p=0,36$). Deney grubunda $\Delta E2$ ortalaması 3,54 iken kontrol grubunda ortalama değer 3,36 olarak elde edilmiştir. Yine ağız duşunun etkisi, rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinde anlamlı bir fark oluşturmamıştır ($p=0,750$). Çalışmamızın 5. ve 6. hipotezleri kabul edilmiştir. Ancak deney grubu, Charisma Diamond One rezin kompozitinin renk değişimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturmuştur. Bu farkın, rezin kompozitin TCD-DI-HEA monomeri içeren matriks yapısı, doldurucu yapısı gibi etkenlerle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde Crest 3D White gargarasında, her iki rezin kompozit tipinde de deney grubu, kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde renk değerlerini iyileştirmiştir. Bu bulgu, hidrojen peroksitin rezin kompozitlerin organik matriksleri üzerindeki oksidatif degradasyon etkisini destekler niteliktedir.

Bu araştırma, *in vitro* koşullarda yürütülmüş olup, klinik ortamın karmaşıklığı, bireysel ağız hijyeni alışkanlıkları, tükürük bileşimi, diyet, farklı sıcaklıklarda içecek tüketimi ve restorasyonların intraoral pozisyonu gibi hasta bazlı değişkenler göz önüne alındığında, bu bulguların daha geniş ölçekli, uzun süreli ve gerçek ağız ortamını taklit eden *in vivo* çalışmalarla desteklenmesine ihtiyaç vardır. Ayrıca, renklendirme ve gargara uygulama prosedürlerinde, gerçek yaşamda olduğu gibi aralıklı maruziyet simüle edilememiştir. Bir diğer limitasyon da, diş fırçalama prosedürünün çalışmaya dahil edilmemesidir.

Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Çalışmada kullanılan nanohibrit monokromatik rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmakla birlikte test edilen rezin kompozitler klinik olarak kabul edilebilir değer aralığındadır.
2. Çalışmada kullanılan nanohibrit monokromatik rezin kompozitlerin renk değişimi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulundu, ancak bu değerler klinik olarak kabul edilebilir eşğin üzerindedir.
3. Kahve içeceği, çalışmada kullanılan rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü ve renk değişimi değerleri üzerinde klinik olarak kabul edilemeyecek seviyede etkili oldu.
4. Ağız gargaraları, renklendirilmiş rezin kompozitlerin artmış yüzey pürüzlülüğü değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalmaya neden oldu, ancak gargaralar arasında, yüzey pürüzlülüğü değerlerine etki açısından istatistiksel olarak anlamlı fark oluşmadı.

5. Ağız gargaraları, renklendirilmiş rezin kompozitlerin renk değerlerini istatistiksel olarak anlamlı ölçüde iyileştirdi; ancak başlangıç ölçümlerine kıyasla renk değişimi klinik olarak kabul edilebilir değerin üzerindedir.

6. Farklı ağız gargaraları, istatistiksel olarak anlamlı renk değişimine neden oldu. Hidrojen peroksit içeren ağız gargarası, en yüksek renk değişimine neden oldu. Aktif kömür içeren ağız gargarası, beyazlatıcı olmayan diğer gargaralarla benzer seviyelerde renk değişimi gösterirken, distile su en az renk değişimine neden oldu.

7. Ağız gargaralarının ağız duşuyla uygulanması, kompozit tipi ayırt edilmeksizin, renklendirilmiş rezin kompozitlerin yüzey pürüzlülüğü ve renk değişimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturmadı. Ancak Charisma Diamond One rezin kompozitinin renk değişimi üzerinde ağız duşu istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturarak renkte daha fazla açılmaya neden oldu. Benzer şekilde, her iki kompozit tipinde de hidrojen peroksit içerikli gargaranın ağız duşuyla uygulanması istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturdu.

Bu *in vitro* tez çalışması, özellikle ağız duşu gibi yardımcı hijyen araçlarının ve günlük kullanılan ağız gargaralarının, restoratif materyaller üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirme açısından literatüre katkı sunmakta ve materyal seçimi aşamasında klinisyenlere yol gösterici olmakla birlikte, yalnızca bir rehber niteliğindedir. Gelecekte gerçekleştirilecek *in vivo* araştırmalar sayesinde, hem rezin kompozit materyallerin ağız içi dayanıklılığı daha net şekilde ortaya konabilecek hem de ağız bakım ürünlerinin içeriklerinin materyal biyouyumluluğu ve yüzey özelliklerine etkileri daha güvenilir biçimde değerlendirilebilecektir. Bu doğrultuda elde edilecek veriler hem hekimlerin hem de hastaların daha bilinçli ve etkin tedavi tercihleri yapmasına katkı sağlayacaktır.

8. KAYNAKÇA

- Abdullah, A., & Mohammed, A. (2019). Scanning electron microscopy (SEM): A review. *Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics, Pneumatics, Sealing Elements, Tools, Precision Mechanics, Specific Electronic Equipment & Mechatronics (HERVEX)*, 77–85.
- Abreu, N. M., Sousa, F. B., Dantas, R. V., Leite, P. K., Batista, A. U., & Montenegro, R. V. (2022). Longevity of bulk fill and ormocer composites in permanent posterior teeth: Systematic review and meta-analysis. *American Journal of Dentistry*, 35(2), 89–96.
- Aktaş, A., & Giray, B. (2010). Diş hekimliğinde klorheksidin: Özellikleri ve güncel kullanım alanları [Chlorhexidine rinse in dentistry: Characteristics and actual usage]. *Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi*, 16(1), 51–55.
- Alharbi, M., & Farah, R. (2020). Effect of water-jet flossing on surface roughness and color stability of dental resin-based composites. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 12(2), e169–e177. <https://doi.org/10.4317/jced.56153>
- Alp, C. K., Gündoğdu, C., & Ahışa, C. D. (2022). The Effect of Gastric Acid on the Surface Properties of Different Universal Composites: A SEM Study. *Scanning*, 2022, 9217802. <https://doi.org/10.1155/2022/9217802>
- AlShaafi M. M. (2017). Factors affecting polymerization of resin-based composites: A literature review. *The Saudi dental journal*, 29(2), 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.01.002>
- Altun, C. (2005). Kompozit dolgu materyallerinde son gelişmeler. *Gülhane Tıp Dergisi*, 47(1), 77–82.
- Altunsoy, M., Botsalı, M. S., Sari, T., & Onat, H. (2015). Effect of different surface treatments on the microtensile bond strength of two self-adhesive flowable composites. *Lasers in Medical Science*, 30(6), 1667–1673. <https://doi.org/10.1007/s10103-014-1624-5>
- Andaş, K., Knorst, J. K., Bonifácio, C. C., Kleverlaan, C. J., & Hesse, D. (2023). Compomers for the restorative treatment of dental caries in primary teeth: An umbrella review. *Journal of dentistry*, 138, 104696. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104696>
- Anwar, R. S., Hussein, Y. F., & Riad, M. (2024). Optical behavior and marginal discoloration of a single shade resin composite with a chameleon effect: a randomized controlled clinical trial. *BDJ open*, 10(1), 11. <https://doi.org/10.1038/s41405-024-00184-w>
- Augusto, M. G., de Andrade, G. S., Mathias-Santamaria, I. F., Dal Piva, A. M. d. O., & Tribst, J. P. M. (2022). Comparison of Polishing Systems on the Surface Roughness of Resin Based Composites Containing Different Monomers. *Journal of Composites Science*, 6(5), 146. <https://doi.org/10.3390/jcs6050146>
- Axelsson, P. (1993). Current role of pharmaceuticals in prevention of caries and periodontal disease. *International Dental Journal*, 43(5), 473–482.
- Ayatollahi, S., Davoudi, A., & Momtazi, H. (2025). In vitro comparative effects of alcohol-

- containing and alcohol-free mouthwashes on surface roughness of bulk-fill composite resins. *BMC research notes*, 18(1), 146. <https://doi.org/10.1186/s13104-025-07213-3>
- Aydın, N., Karaoğlanoğlu, S., Oktay, E. A., Toksoy Topçu, F., & Demir, F. (2019). Diş hekimliğinde bulk fill kompozit rezinler. *Selçuk Diş Hekimliği Dergisi*, 6(2), 229–238.
- Bagheri, R., Burrow, M. F., & Tyas, M. (2005). Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *Journal of dentistry*, 33(5), 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.10.018>
- Bagis, B., Baltacıoglu, E., Özcan, M., & Ustaömer, S. (2011). Evaluation of chlorhexidine gluconate mouthrinse-induced staining using a digital colorimeter: An in vivo study. *Quintessence International*, 42(3), 213–223.
- Bansal, K., Gupta, S., Nikhil, V., Jaiswal, S., Jain, A., & Aggarwal, N. (2019). Effect of different finishing and polishing systems on the surface roughness of resin composite and enamel: An in vitro profilometric and scanning electron microscopy study. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, 9(3), 154–158. <https://doi.org/10.4103/ijabmr.IJABMR>
- Barakah, H. M., & Taher, N. M. (2014). Effect of polishing systems on stain susceptibility and surface roughness of nanocomposite resin material. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(3), 625–631. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.01.024>
- Baroudi, K., & Rodrigues, J. C. (2015). Flowable Resin Composites: A Systematic Review and Clinical Considerations. *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR*, 9(6), ZE18–ZE24. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12294.6129>
- Barszczewska-Rybarek, I. M., Chrószcz, M. W., & Chladek, G. (2020). Novel Urethane-Dimethacrylate Monomers and Compositions for Use as Matrices in Dental Restorative Materials. *International journal of molecular sciences*, 21(7), 2644. <https://doi.org/10.3390/ijms21072644>
- Barutçigil, Ç. (2010). *Estetik restoratif materyallerin çeşitli içecekler karşısında renk değişikliklerinin incelenmesi* [Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/55209>
- Barutçigil, Ç., & Yıldız, M. (2012). Intrinsic and extrinsic discoloration of dimethacrylate and silorane based composites. *Journal of Dentistry*, 40(Suppl 1), e57–e63. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.12.017>
- Barutçigil, Ç., Kürklü, D., Barutçigil, K., & Harorlı, O. (2014). Beyazlatıcı ağız gargaralarının kompozit rezinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 24(1), 33–38.
- Bayne, S. C., Heymann, H. O., & Swift, E. J., Jr. (1994). Update on dental composite restorations. *Journal of the American Dental Association*, 125(6), 687–701. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1994.0113>
- Bektaş, Ö. Ö., Siso, Ş. H., & Eren, D. (2006). Işık Kaynakları, Polimerizasyon ve Klinik Uygulamalar. *Int Arch Dent Sci*, 27(2), 117–124. <https://www.eudfd.org/jvi.aspx?pdire=iads&plng=eng&un=EUDFD-74946&look4=#>
- Benetti, A. R., Peutzfeldt, A., Asmussen, E., Pallesen, U., & Franco, E. B. (2011). Influence

- of curing rate on softening in ethanol, degree of conversion, and wear of resin composite. *American journal of dentistry*, 24(2), 115–118.
- Biçer, C. Ö., Öz, F. D., Attar, N., & Korkmaz, Y. (2017). Farklı polisaj sistemlerinin estetik kompozit rezinlerin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri. *Acta Odontologica Turcica*, 34(2), 77–80. <http://dx.doi.org/10.17214/gaziaot.277972>
- Bilgili Can, D., & Özarslan, M. (2022). Effect of whitening mouthwash on color change of discolored bulk-fill composite resins. *Cumhuriyet Dental Journal*, 25(Suppl), 108–113. <https://doi.org/10.7126/cumudj.1032447>
- Bollen, C. M., Lambrechts, P., & Quirynen, M. (1997). Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 13(4), 258–269. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(97\)80038-3](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(97)80038-3)
- Bowen, R. L. (1956). Use of epoxy resins in restorative materials. *Journal of Dental Research*, 35(3), 360–369. <https://doi.org/10.1177/00220345560350030501>
- Braga, R. R., & Ferracane, J. L. (2002). Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. *Journal of dental research*, 81(2), 114–118.
- Bragança, G. F., Ferreira Soares, P. B., Borges, J. S., Fernandes Vilela, A. B., Santos Filho, P. C., & Soares, C. J. (2022). Effects of charcoal toothpaste on the surface roughness, color stability, and marginal staining of resin composites. *Operative Dentistry*, 47(2), 214–224. <https://doi.org/10.2341/20-046-L>
- Brewer, J. D., Wee, A., & Seghi, R. (2004). Advances in color matching. *Dental clinics of North America*, 48(2), v–358. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2004.01.004>
- Brook, A. H., Smith, R. N., & Lath, D. J. (2007). The clinical measurement of tooth colour and stain. *International dental journal*, 57(5), 324–330. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595x.2007.tb00141.x>
- Brooks, J. K., Bashirelahi, N., Hsia, R.-C., & Reynolds, M. A. (2020). Charcoal-based mouthwashes: A literature review. *British Dental Journal*, 228, 290–294.
- Buonocore, M. G. (1955). A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *Journal of Dental Research*, 34(6), 849–853. <https://doi.org/10.1177/00220345550340060801>
- Burkinshaw, S. M. (2004). Colour in relation to dentistry: Fundamentals of colour science. *British Dental Journal*, 196, 33–41.
- Caughman, W. F., & Rueggeberg, F. A. (2002). Shedding new light on composite polymerization. *Operative Dentistry*, 27, 636–638.
- Ceci, M., Viola, M., Rattalino, D., Beltrami, R., Colombo, M., & Poggio, C. (2017). Discoloration of different esthetic restorative materials: A spectrophotometric evaluation. *European journal of dentistry*, 11(2), 149–156. https://doi.org/10.4103/ejd.ejd_313_16
- Ceci, M., Viola, M., Rattalino, D., Beltrami, R., Colombo, M., & Poggio, C. (2017). Discoloration of different esthetic restorative materials: A spectrophotometric evaluation. *European journal of dentistry*, 11(2), 149–156.

characteristics of modern dental resin composites and their

- Chen, L., Yu, Q., Wang, Y., & Li, H. (2011). BisGMA/TEGDMA dental composite containing high aspect-ratio hydroxyapatite nanofibers. *Dental Materials*, 27(12), 1187–1195.
- Chen M. H. (2010). Update on dental nanocomposites. *Journal of dental research*, 89(6), 549–560. <https://doi.org/10.1177/0022034510363765>
- Chesterman, J., Jowett, A., Gallacher, A., & Nixon, P. (2017). Bulk-fill resin-based composite restorative materials: A review. *British Dental Journal*, 222(5), 337–344.
- Choi, M. S., Lee, Y. K., Lim, B. S., Rhee, S. H., & Yang, H. C. (2005). Changes in surface characteristics of dental resin composites after polishing. *Journal of materials science. Materials in medicine*, 16(4), 347–353. <https://doi.org/10.1007/s10856-005-0634-9>
- Chowdhury, D., Mukherjee, S., Maity, I., & Mazumdar, P. (2023). Surface roughness and microhardness evaluation of composite resin restorations subjected to three different polishing systems immediately and after 24 h: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 26(6), 639–645. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_106_23
- Chu, S. J., Trushkowsky, R. D., & Paravina, R. D. (2010). Dental color matching instruments and systems: Review of clinical and research aspects. *Journal of Dentistry*, 38(Suppl 2), e2–e16.
- Cobb, D. S., MacGregor, K. M., Vargas, M. A., & Denehy, G. E. (2000). The physical properties of packable and conventional posterior resin-based composites: A comparison. *Journal of the American Dental Association*, 131(11), 1610–1615.
- Condon, J. R., & Ferracane, J. L. (2000). Assessing the effect of composite formulation on polymerization stress. *Journal of the American Dental Association*, 131(4), 497–503. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2000.0207>
- Craig, R. G., & Powers, J. M. (2002). *Restorative dental materials* (11th ed.). St. Louis, MO: C. V. Mosby.
- Cramer, N. B., Stansbury, J. W., & Bowman, C. N. (2011). Recent advances and developments in composite dental restorative materials. *Journal of dental research*, 90(4), 402–416. <https://doi.org/10.1177/0022034510381263>
- Cruz da Silva, E. T., Charamba Leal, C. F., Miranda, S. B., Evangelista Santos, M., Saeger Meireles, S., Maciel de Andrade, A. K., & Japiassú Resende Montes, M. A. (2023). Evaluation of single-shade composite resin color matching on extracted human teeth. *TheScientificWorldJournal*, 2023, 4376545. <https://doi.org/10.1155/2023/4376545>
- Çelik, Ç., & Özel, Y. (2008). Rezin restoratif materyallerin polimerizasyonunda kullanılan ışık kaynakları. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 2(2), 109–115.
- da Silva, E. M., de Sá Rodrigues, C. U., Dias, D. A., da Silva, S., Amaral, C. M., & Guimarães, J. G. (2014). Effect of toothbrushing-mouthrinse-cycling on surface roughness and topography of nanofilled, microfilled, and microhybrid resin

- composites. *Operative dentistry*, 39(5), 521–529. <https://doi.org/10.2341/13-199-L>
- da Silva, G. P. W., Mesquita, V. U., & Pontes, D. G. (2024). Effect of mouthwashes on the color stability of a nanohybrid composite resin. *General dentistry*, 72(5), 38–41.
- da Silva, M. A., Fardin, A. B., de Vasconcellos, R. C., Santos, L.deM., Tonholo, J., da Silva, J. G., Jr, & dos Reis, J. I. (2011). Analysis of roughness and surface hardness of a dental composite using atomic force microscopy and microhardness testing. *Microscopy and microanalysis : the official journal of Microscopy Society of America, Microbeam Analysis Society, Microscopical Society of Canada*, 17(3), 446–451. <https://doi.org/10.1017/S1431927611000250>
- Daud, A., Adams, A. J., Shawkat, A., Gray, G., Wilson, N. H. F., Lynch, C. D., & Blum, I. R. (2020). Effects of toothbrushing on surface characteristics of microhybrid and nanofilled resin composites following different finishing and polishing procedures. *Journal of dentistry*, 99, 103376. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103376>
- Dayangaç, B. (2011). *Kompozit restorasyonlar* (1st ed., pp. 81–96). İstanbul: Quintessence Yayıncılık.
- Dayangaç, B. (2000). *Kompozit rezin restorasyonlar*. Ankara: Güneş Kitabevi Ltd.
- de Andrade, I. C., Basting, R. T., Lima-Arsati, Y. B., & Arsati, F. (2011). Surface roughness evaluation and shade changes of a nanofilled resin composite after bleaching and immersion in staining solutions. *American Journal of Dentistry*, 24(4), 245–249.
- Değirmenci, K., & Büyükdere, A. K. (2016). İn vitro yöntemlerle tam seramiklerin yüzey pürüzlülüğü ve translusensinin değerlendirilmesi: Derleme. *Uluslararası Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi*, 1, 13–18.
- Demirci, M., Tuncer, S., Öztaş, E., Tekçe, N., & Uysal, Ö. (2015). A 4-year clinical evaluation of direct composite build-ups for space closure after orthodontic treatment. *Clinical oral investigations*, 19(9), 2187–2199. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1458-8>
- Dionysopoulos, D., & Gerasimidou, O. (2021). Wear of contemporary dental composite resin restorations: a literature review. *Restorative dentistry & endodontics*, 46(2), e18. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e18>
- Duzyol, M., Duzyol, E., & Çarıkçıoğlu, B. (2024). Assessing one-shade composite resin color stability in response to everyday drinks. *BMC oral health*, 24(1), 821. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04612-z>
- Ebaya, M. M., Ali, A. I., El-Haliem, H. A., & Mahmoud, S. H. (2022). Color stability and surface roughness of ormocer- versus methacrylate-based single shade composite in anterior restoration. *BMC oral health*, 22(1), 430. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02423-8>
- Ellakwa, A., Cho, N., & Lee, I. B. (2007). The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 23(10), 1229–1235. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.11.004>
- Erturk-Avunduk, A. T., Delikan, E., Cengiz-Yanardag, E., & Karakaya, I. (2024). Effect of

- whitening concepts on surface roughness and optical characteristics of resin-based composites: An AFM study. *Microscopy research and technique*, 87(2), 214–228. <https://doi.org/10.1002/jemt.24424>
- Ferracane J. L. (2011). Resin composite--state of the art. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 27(1), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020>
- Ferracane J. L. (2024). A Historical Perspective on Dental Composite Restorative Materials. *Journal of functional biomaterials*, 15(7), 173. <https://doi.org/10.3390/jfb15070173>
- Ferracane, J. L., & Condon, J. R. (1990). Rate of elution of leachable components from composite. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 6(4), 282–287. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(05\)80012-0](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(05)80012-0)
- Festuccia, M. S., Garcia, L. F., Cruvinel, D. R., & Pires-De-Souza, F. C. (2012). Color stability, surface roughness and microhardness of composites submitted to mouthrinsing action. *Journal of Applied Oral Science*, 20(2), 200–205. <https://doi.org/10.1590/s1678-77572012000200013>
- Fidan, M., Karaaslan, G., & Kutlu, İ. (2023). Tek renk üniversal rezin kompozitler. *Journal of Dentistry Faculty of Uşak University*, 2(1), 20–29.
- Filiz, H., Ertürk Avunduk, A. T., & Cengiz Yanardağ, E. (2023). Diş hekimliğinde yüzey pürüzlülüğü araştırma yöntemleri: Derleme makalesi. *Journal of Dentistry Faculty of Uşak University*, 2(2), 28–35.
- Francois, P., Izart, M., Fasham, T., Smail, Y., Jannot, M., Le Goff, S., Beres, F., Troizier-Cheyne, M., Bergman, S., Moussally, C., Abdel-Gawad, S., Dursun, E., Ceinos, R., Caussin, E., & Attal, J.-P. (2025). Proposal of a Modular Classification System for Direct Dental Resin Composites Based on Clinical Applications. *Polymers*, 17(5), 564. <https://doi.org/10.3390/polym17050564>
- Fujita, K., Ikemi, T., & Nishiyama, N. (2011). Effects of particle size of silica filler on polymerization conversion in a light-curing resin composite. *Dental Materials*, 27(11), 1079–1085.
- Garcia, D., Yaman, P., Dennison, J., & Neiva, G. F. (2014). Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Operative Dentistry*, 39(4), 441–448.
- Garoushi, S. K., Hatem, M., Lassila, L. V. J., & Vallittu, P. K. (2015). The effect of short fiber composite base on microleakage and load-bearing capacity of posterior restorations. *Acta Biomaterialia Odontologica Scandinavica*, 1(1), 6–12.
- Gasparri, F., Schemehorn, B. R., & Zanardi, A. (2018). Efficacy of Teeth Whitening with a Mouthwash: In Vitro and In Vivo Approaches. *The Journal of clinical dentistry*, 29(1), 13–17.
- Gehlot, P. M., Sudeep, P., Manjunath, V., Annapoorna, B. M., Prasada, L. K., & Nandlal, B. (2022). Influence of Various Desensitizing Mouthrinses and Simulated Toothbrushing on Surface Roughness and Microhardness of Tetric N-Ceram Bulk-Fill Resin Composite: An In Vitro Study and Scanning Electron Microscope Analysis.

European Journal of Dentistry, 16(4), 820–827. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1739547>

- Gómez-Polo, C., Portillo Muñoz, M., Lorenzo Luengo, M. C., Vicente, P., Galindo, P., & Martín Casado, A. M. (2016). Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas. *The Journal of prosthetic dentistry*, 115(1), 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.07.001>
- Gorur, A., Lyle, D. M., Schaudinn, C., & Costerton, J. W. (2009). Biofilm removal with a dental water jet. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 30(Spec No 1), 1–6.
- Görge, V. A., & Güler, Ç. (2015). Residual monomer in dentistry: A literature review [Diş hekimliğinde artık monomerler: Bir literatür derlemesi]. *Medicine Science | International Medical Journal*, 4(1), 2024. <https://doi.org/10.5455/medscience.2014.03.8200>
- Gurbuz, A., Ozkan, P., Yilmaz, K., Yilmaz, B., & Durkan, R. (2013). Effect of at-home whitening strips on the surface roughness and color of a composite and an ormocer restorative material. *Journal of Prosthodontics*, 22(1), 69–73. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2012.00897.x>
- Güven Bekdaş, M., & Hubbezoglu, I. (2025). Effect of modeling liquid application on color stability and surface roughness of single-shade composites. *BMC oral health*, 25(1), 120. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05502-8>
- Hamdy, T. M., Abdelnabi, A., Othman, M. S., Bayoumi, R. E., & Abdelraouf, R. M. (2023). Effect of Different Mouthwashes on the Surface Microhardness and Color Stability of Dental Nanohybrid Resin Composite. *Polymers*, 15(4), 815. <https://doi.org/10.3390/polym15040815>
- Hatamleh, M. M., & Furuse, A. Y. (2024). Bis-EMA/Bis-GMA ratio effects on resin-properties and impregnated fiber-bundles. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 40(10), 1652–1657. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2024.07.001>
- He, W. H., Park, C. J., Byun, S., Tan, D., Lin, C. Y., & Chee, W. (2020). Evaluating the relationship between tooth color and enamel thickness, using twin flash photography, cross-polarization photography, and spectrophotometer. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(1), 91–101. <https://doi.org/10.1111/jerd.12553>
- Head, T., Mian, H., Rodrigo, A., Müller, K., Sanches, K., & Ito, I. (2004). Reduction of salivary *S. aureus* and mutans group streptococci by a preprocedural chlorhexidine rinse and maximal inhibitory dilutions of chlorhexidine and cetylpyridinium. *Quintessence International*, 35(8), 635–640.
- Heck, K., Manhart, J., Hickel, R., & Diegritz, C. (2018). Clinical evaluation of the bulk fill composite QuiXfil in molar class I and II cavities: 10-year results of a RCT. *Dental Materials*, 34(6), e138–e147.
- Heintze, S. D., Cavalleri, A., Forjanic, M., Zellweger, G., & Rousson, V. (2006). A comparison of three different methods for the quantification of the in vitro wear of dental materials. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 22(11), 1051–1062. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.08.010>

- Hervás-García, A., Martínez-Lozano, M. A., Cabanes-Vila, J., Barjau-Escribano, A., & Fos-Galve, P. (2006). Composite resins: A review of the materials and clinical indications. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 11(2), e215–e220.
- Hickel, R., Dasch, W., Janda, R., Tyas, M., & Anusavice, K. (1998). New direct restorative materials. FDI Commission Project. *International dental journal*, 48(1), 3–16. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595x.1998.tb00688.x>
- Hofmann, N., Hugo, B., & Klaiber, B. (2002). Effect of irradiation type (LED or QTH) on photo-activated composite shrinkage strain kinetics, temperature rise, and hardness. *European Journal of Oral Sciences*, 110(6), 471–479.
- Hong, G., Yang, J., Jin, X., Wu, T., Dai, S., Xie, H., & Chen, C. (2020). Mechanical properties of nanohybrid resin composites containing various mass fractions of modified zirconia particles. *International Journal of Nanomedicine*, 15, 9891–9907. <https://doi.org/10.2147/IJN.S283742>
- Hosoda, H., Yamada, T., & Inokoshi, S. (1990). SEM and elemental analysis of composite resins. *The Journal of prosthetic dentistry*, 64(6), 669–676. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(90\)90293-1](https://doi.org/10.1016/0022-3913(90)90293-1)
- Ibraheem, N. A., Hasan, M. M., Khan, R. Z., & Mishra, P. K. (2012). Understanding color models: A review. *Journal of Science and Technology*, 2, 265–275.
- Ikejima, I., Nomoto, R., & McCabe, J. F. (2003). Shear punch strength and flexural strength of model composites with varying filler volume fraction, particle size and silanation. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 19(3), 206–211. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(02\)00031-3](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(02)00031-3)
- Ilie, N., Felten, K., Trixner, K., Hickel, R., & Kunzelmann, K.-H. (2005). Shrinkage behavior of a resin-based composite irradiated with modern curing units. *Dental Materials*, 21(5), 483–489.
- Ilie, N., & Hickel, R. (2011). Resin composite restorative materials. *Australian Dental Journal*, 56(Suppl 1), 59–66. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01296.x>
- Islam, M. S., Huda, N., Mahendran, S., Aryal Ac, S., Nassar, M., & Rahman, M. M. (2023). The Blending Effect of Single-Shade Composite with Different Shades of Conventional Resin Composites-An In Vitro Study. *European journal of dentistry*, 17(2), 342–348. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1744369>
- Rade, I. R. P. (2009). Color measuring instruments. *Acta Stomatologica Naissi*, 25, 925–932.
- Jahn C. A. (2010). The dental water jet: a historical review of the literature. *Journal of dental hygiene*, 84(3), 114–120.
- Jaramillo-Cartagena, R., López-Galeano, E. J., Latorre-Correa, F., & Agudelo-Suárez, A. A. (2021). Effect of Polishing Systems on the Surface Roughness of Nano-Hybrid and Nano-Filling Composite Resins: A Systematic Review. *Dentistry journal*, 9(8), 95. <https://doi.org/10.3390/dj9080095>
- Jefferies, S. R. (2007). Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: A state-of-the-art review. *Dental Clinics of North America*, 51(2), 379–397.
- Joiner, A. (2004). Tooth colour: A review of the literature. *Journal of Dentistry*, 32(1), 3–12.

- Jolkovsky, D. L., & Lyle, D. M. (2015). Safety of a water flosser: A literature review. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 36(2), 146–149.
- Joniot, S., Salomon, J. P., Dejoui, J., & Grégoire, G. (2006). Use of two surface analyzers to evaluate the surface roughness of four esthetic restorative materials after polishing. *Operative dentistry*, 31(1), 39–46. <https://doi.org/10.2341/04-166>
- Jung, M., Sehr, K., & Klimek, J. (2007). Surface texture of four nanofilled and one hybrid composite after finishing. *Operative Dentistry*, 32(1), 45–52.
- Jung, M., Voit, S., & Klimek, J. (2003). Surface geometry of three packable and one hybrid composite after finishing. *Operative dentistry*, 28(1), 53–59.
- Kadhi, A. J. (2016). Effect of Mouth Rinses on Surface Roughness of Two Methacrylate-Based and Siloraine-Based Composite Resins. *Journal of Baghdad College of Dentistry*, 28(3), 1-7. <https://doi.org/10.12816/0031101>
- Kalita, T., Kalita, C., Das, L., Kataki, R., Boruah, L. C., R, A., Saikia, A., & Mahanta, P., Sr. (2023). Comparative evaluation of colour stability and surface roughness of nanohybrid composite resins in mouth rinse and colouring beverages. *Cureus*, 15(2), e35303. <https://doi.org/10.7759/cureus.35303>
- Kedici Alp, C., Gündoğdu, C., & Dağdelen Ahışa, C. (2022). The effect of gastric acid on the surface properties of different universal composites: A SEM study. *Scanning*, 2022, Article 9217802, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2022/9217802>
- Keles, Z. H., Aydın, S., Çağdaş, E., & Şişmanoğlu, S. (2024). Effect of charcoal-containing mouthwashes on color stability of nanofill and microhybrid composites. *Essentials of Dentistry*, 3(3), 81–86. <https://doi.org/10.5152/EssentDent.2024.24020>
- Kemaloğlu, H., Karacolak, G., & Türkün, L. S. (2017). Can reduced-step polishers be as effective as multiple-step polishers in enhancing surface smoothness? *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 29(1), 31–40. <https://doi.org/10.1111/jerd.12246>
- Khvostenko, D., Hilton, T. J., Ferracane, J. L., Mitchell, J. C., & Kruzic, J. J. (2016). Bioactive glass fillers reduce bacterial penetration into marginal gaps for composite restorations. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 32(1), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.10.007>
- Kim, K. H., Ong, J. L., & Okuno, O. (2002). The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *The Journal of prosthetic dentistry*, 87(6), 642–649. <https://doi.org/10.1067/mpr.2002.125179>
- Korkut, B. (2021). Cila sistemlerinin mikrohibrit ve nanohibrit rezin kompozitlerin renklenmesi üzerine etkisinin değerlendirilmesi. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 27(3).
- Korkut, B., & Hacıalı, C. (2020). Color stability of flowable composites in different viscosities. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 10(4), 454–461. <https://doi.org/10.33808/clinexphealthsci.816231>
- Korkut, B., Tarçın, B., Atalı, P. Y., & Özcan, M. (2023). Introduction of a new classification for resin composites with enhanced color adjustment potential. *Current Oral Health Reports*, 10, 223–232. <https://doi.org/10.1007/s40496-023-00351-2>

- Köroğlu, A., Makhloota, M., & Turhan Bal, B. (2021). A review of color matching in dentistry. *Medical Records*, 3(1), 44–49. <https://doi.org/10.37990/medr.8183677>
- Krämer, N., Lohbauer, U., García-Godoy, F., & Frankenberger, R. (2008). Light curing of resin-based composites in the LED era. *American journal of dentistry*, 21(3), 135–142.
- Külekcı, G., Çintan, S., & Dülger, O. (1999). Diş hekimliğinde antimikrobiyal ağız gargaralarının kullanılması. *ANKEM Dergisi*, 13(3), 79–83.
- Kwon, Y. H., Jang, C., Shin, D., Seol, H., & Kim, H. (2007). The applicability of DPSS laser for light curing of composite resins. *Lasers in Medical Science*. <https://doi.org/10.1007/s10103-007-0496-0>
- Kwon, T. Y., Bagheri, R., Kim, Y. K., Kim, K. H., & Burrow, M. F. (2012). Cure mechanisms in materials for use in esthetic dentistry. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 3(1), 3–16. <https://doi.org/10.1111/j.2041-1626.2012.00114.x>
- Li, Y., Swartz, M. L., Phillips, R. W., Moore, B. K., & Roberts, T. A. (1985). Effect of filler content and size on properties of composites. *Journal of dental research*, 64(12), 1396–1401. <https://doi.org/10.1177/00220345850640121501>
- Liu, J., Zhang, H., Sun, H., Liu, Y., Liu, W., Su, B., & Li, S. (2021). The Development of Filler Morphology in Dental Resin Composites: A Review. *Materials*, 14(19), 5612. <https://doi.org/10.3390/ma14195612>
- Lobene R. R. (1971). A study of the force of water jets in relation to pain and damage to gingival tissues. *Journal of periodontology*, 42(3), 166–169. <https://doi.org/10.1902/jop.1971.42.3.166>
- Lucena, C., Ruiz-López, J., Pulgar, R., Della Bona, A., & Pérez, M. M. (2021). Optical behavior of one-shaded resin-based composites. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 37(5), 840–848. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.02.011>
- Lutz, F., & Phillips, R. W. (1983). A classification and evaluation of composite resin systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 50(4), 480–488. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90566-8](https://doi.org/10.1016/0022-3913(83)90566-8)
- Lyle, D. M. (2011). Use of a water flosser for interdental cleaning. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 32, 78, 80–82.
- Magni, E., Ferrari, M., Papacchini, F., Hickel, R., & Ilie, N. (2010). Influence of ozone application on the repair strength of silorane-based and ormocer-based composites. *American Journal of Dentistry*, 23(5), 260. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21207792/>
- Mandel, I. D. (1994). Antimicrobial mouthrinses: Overview and update. *Journal of the American Dental Association*, 125(Suppl 2), 2S–10S. [https://doi.org/10.1016/s0002-8177\(94\)14001-x](https://doi.org/10.1016/s0002-8177(94)14001-x)
- Marchesi, G., Breschi, L., Antonioli, F., Di Lenarda, R., Ferracane, J., & Cadenaro, M. (2010). Contraction stress of low-shrinkage composite materials assessed with different testing systems. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 26(10), 947–953. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.05.007>

- Marinho, V. C., Chong, L. Y., Worthington, H. V., & Walsh, T. (2016). Fluoride mouthrinses for preventing dental caries in children and adolescents. *The Cochrane database of systematic reviews*, 7(7), CD002284. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002284.pub2>
- Martin F. E. (1998). A survey of the efficiency of visible light curing units. *Journal of dentistry*, 26(3), 239–243. [https://doi.org/10.1016/s0300-5712\(97\)00004-3](https://doi.org/10.1016/s0300-5712(97)00004-3)
- Melo, M. A. S., Garcia, I. M., Mokeem, L., Weir, M. D., Xu, H. H. K., Montoya, C., & Orrego, S. (2023). Developing Bioactive Dental Resins for Restorative Dentistry. *Journal of dental research*, 102(11), 1180–1190. <https://doi.org/10.1177/00220345231182357>
- Meyers, I., & Hallett, K. (2019). Restorative Dentistry and Teeth For Life. *Australian dental journal*, 64 Suppl 1, S3. <https://doi.org/10.1111/adj.12683>
- Monterubbianesi, R., Tosco, V., Orilisi, G., Grandini, S., Orsini, G., & Putignano, A. (2021). Surface evaluations of a nanocomposite after different finishing and polishing systems for anterior and posterior restorations. *Microscopy research and technique*, 84(12), 2922–2929. <https://doi.org/10.1002/jemt.23850>
- Mutlu, Ş. N., & Tunçdemir, M. T. (2020). Renklendirilmiş kompozit rezinin renk değişimine ve yüzey pürüzlülüğüne beyazlatıcı ağız gargarasının etkisi. *Selcuk Dental Journal*, 7, 435–439. <https://doi.org/10.15311/selcukdentj.765511>
- Nalçacı, A., & Ulusoy, N. (2004). Kompozit rezinlerdeki BisGMA+TEGDMA miktarının spektroskopik yöntem ile değerlendirilmesi. *A.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 31(1), 9–17.
- Naser-Alavi, F. N., Hajali, F., Salari, A., & Moein, N. (2024). Effect of water and chlorhexidine with different pressures of oral irrigation device on the surface roughness and topography of giomer. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*, 24, e220113. <https://doi.org/10.1590/pboci.2024.010>
- Naser-Alavi, F., Salari, A., Moein, N., & Talebzadeh, A. (2022). Effect of oral irrigation device and its solution type on the surface roughness and topography of Bulk-fill composite resins. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 14(2), e123–e130. <https://doi.org/10.4317/jced.59004>
- Nassar, H. M., Almutairi, M., & Makhdom, A. (2020). Irradiance of different curing modes of common light cure devices: An in vitro study. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 10(2), 177–182. https://doi.org/10.4103/jispcd.JISPCD_496_19
- Naveed N, Kishorekumar S. (2021) Curing Techniques of Composite Resin: Continuous or Intermittent? *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 14(4), 1431-1435. <https://doi.org/10.37506/ijfmt.v14i4.11737>
- Neto, C. C. L., das Neves, A. M., Arantes, D. C., Sa, T. C. M., Yamauti, M., de Magalhães, C. S., et al. (2022). Evaluation of the clinical performance of GIOMERs and comparison with other conventional restorative materials in permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *Evidence-Based Dentistry*, 2022, 1–10.
- Nezir, M., Ahisha, C. D., Özcan, S., & Üçtaşlı, M. B. (2024). The effect of detox solution on

- color stability, roughness, and microhardness of monochromatic universal composite resins. *BMC oral health*, 24(1), 789. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04587-x>
- Okubo, S. R., Kanawati, A., Richards, M. W., & Childress, S. (1998). Evaluation of visual and instrument shade matching. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 80(6), 642–648.
- Ölmez, A., & Kisbet, S. (2013). Kompozit rezin restorasyonlarda bitirme ve polisaj işlemlerindeki yeni gelişmeler. *Acta Odontologica Turcica*, 30(2), 115-22.
- Önal, B. (2004). *Restoratif diş hekimliğinde maddeler ve uygulamaları* (1. baskı). İzmir: Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yayınları.
- Özdemir, B., Kurucu Karadeniz, B. K., Özdemir, S. B., & Akbulut, Ö. (2024). How the translucency and color stability of single-shade universal resin composites are affected by coffee. *Current Research in Dental Sciences*, 34(4), 270–275.
- Parashar A. Mouthwashes and their use in different oral conditions. *Sch J Dent Sci* 2015; 2: 186-191.
- Paravina, R. D., & Powers, J. M. (2004). *Esthetic color training in dentistry* (1st ed.). China: Elsevier-Mosby.
- Paravina, R. (2018). Understanding color. In R. E. Goldstein (Ed.), *Ronald E. Goldstein's esthetics in dentistry* (pp. 272–292). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Paravina, R. D., Ghinea, R., Herrera, L. J., Bona, A. D., Igiel, C., Linninger, M., Sakai, M., Takahashi, H., Tashkandi, E., & Pérez, M. M. (2015). Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(Suppl 1), S1–S9. <https://doi.org/10.1111/jerd.12149>
- Paravina, R. D., Pérez, M. M., & Ghinea, R. (2019). Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(2), 103–112. <https://doi.org/10.1111/jerd.12465>
- Păstrav, M., Păstrav, O., Chisnoiu, A. M., Chisnoiu, R. M., Cuc, S., Petean, I., Saroși, C., & Feștilă, D. (2024). Properties of nanohybrid dental composites: A comparative in vitro study. *Biomedicines*, 12(1), 243. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12010243>
- Penugonda, B., Settembrini, L., Scherer, W., Hittelman, E., & Strassler, H. (1994). Alcohol-containing mouthwashes: Effect on composite hardness. *The Journal of Clinical Dentistry*, 5(2), 60–62.
- Perry, R., Kugel, G., Kunzelman, K. H., Flessa, H. P., & Estafan, D. (2000). Composite restoration wear analysis: Conventional methods vs. three-dimensional laser digitizer. *Journal of the American Dental Association*, 131(10), 1472–1478.
- Peutzfeldt, A. (1997). Resin composites in dentistry: The monomer systems. *European Journal of Oral Sciences*, 105(2), 97–116.
- Pires-de-Souza, F. P. (2014). Effect of fluoride solutions on color and surface roughness of dental composites. *Revista da Faculdade de Odontologia - UPF*, 19(1). <https://doi.org/10.5335/RFO.V19I1.3664>
- Pratap, B., Gupta, R. K., Bhardwaj, B., & Nag, M. (2019). Resin based restorative dental

- materials: characteristics and future perspectives. *The Japanese dental science review*, 55(1), 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.09.004>
- Price, R. B. T., Felix, C. A., & Andreou, P. (2003). Evaluation of a second-generation LED curing light. *Journal of the Canadian Dental Association*, 69, 666.
- Puckett, A. D., Fitchie, J. G., Kirk, P. C., & Gamblin, J. (2007). Direct composite restorative materials. *Dental Clinics of North America*, 51(3), 659–vii. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2007.04.003>
- Ragain, J. C. (2016). A review of color science in dentistry: Shade matching in the contemporary dental practice. *Journal of Dental Health, Oral Disorders & Therapy*, 4, 1–5.
- Randolph, L. D., Palin, W. M., Leloup, G., & Leprince, J. G. (2016). Filler characteristics of modern dental resin composites and their influence on physico-mechanical properties. *Dental Materials*, 32(12), 1586–1599. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.034>
- Rastelli, A. N., Jacomassi, D. P., Faloni, A. P., Queiroz, T. P., Rojas, S. S., Bernardi, M. I., et al. (2012). The filler content of the dental composite resins and their influence on different properties. *Microscopy Research and Technique*, 75, 758–765.
- Mallick, R. R., Sarangi, P., Suman, S., Sahoo, S. S., Bajoria, A., & Sharma, G. (2024). An in vitro analysis of the effects of mouthwashes on the surface properties of composite resin restorative material. *Cureus*, 16(7), e65021. <https://doi.org/10.7759/cureus.65021>
- Ren, X., He, J., Cheng, R., Chen, Y., Xiang, Y., Zhang, Y., Jiang, S., Li, J., Cheng, L., & Hu, T. (2023). The Efficacy and Safety of Oral Irrigator on the Control of Dental Plaque and Gingivitis: A Randomized, Single-Blind, Parallel-Group Clinical Trial. *International journal of environmental research and public health*, 20(4), 3726. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043726>
- Ritter, A. V., Boushell, L. W., & Walter, R. (2018). *Sturdevant's art and science of operative dentistry* (7th ed.). Elsevier.
- Roberson, T. M., & Heymann, H. O. (2011). *Art and science of operative dentistry* (6th ed., pp. 196–215, 497–526). Elsevier.
- Roberson, T. M., & Heymann, H. O. (2006). *Sturdevant's art and science of operative dentistry* (5th ed.). Elsevier Mosby.
- Rodriguez, J. M., Curtis, R. V., & Bartlett, D. W. (2009). Surface roughness of impression materials and dental stones scanned by non-contacting laser profilometry. *Dental Materials*, 25(4), 500–505. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.10.003>
- Sakaguchi, R. L., & Powers, J. M. (2012). *Craig's restorative dental materials* (13th ed., pp. 162–192). Mosby Elsevier.
- Santini, A., Gallegos, I. T., & Felix, C. M. (2013). Photoinitiators in dentistry: a review. *Primary dental journal*, 2(4), 30–33. <https://doi.org/10.1308/205016814809859563>
- Santos, G. C., El-Mowafy, O., Rubo, J. H., & Santos, M. J. (2004). Hardening of dual-cure resin cements and a resin composite restorative cured with QTH and LED curing

- units. *Journal of the Canadian Dental Association*, 70, 323–328.
- Scheibe, K. G., Almeida, K. G., Medeiros, I. S., Costa, J. F., & Alves, C. M. (2009). Effect of different polishing systems on the surface roughness of microhybrid composites. *Journal of Applied Oral Science*, 17(1), 21–26.
- Schmidt, M., Dige, I., Kirkevang, L. L., Vaeth, M., & Hørsted-Bindslev, P. (2015). Five-year evaluation of a low-shrinkage Silorane resin composite material: A randomized clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 19(2), 245–251.
- Schneider, L. F., Cavalcante, L. M., Silikas, N., & Watts, D. C. (2011). Degradation resistance of silorane, experimental ormocer and dimethacrylate resin-based dental composites. *Journal of oral science*, 53(4), 413–419.
<https://doi.org/10.2334/josnurd.53.413>
- Sharma, N., Charles, C. H., Lynch, M. C., Qaqish, J., McGuire, J. A., & Galustians, J. G. (2004). Adjunctive benefit of an essential oil-containing mouthrinse in reducing plaque and gingivitis in patients who brush and floss regularly: A six-month study. *Journal of the American Dental Association*, 135(4), 496–504.
- Šimková, M., Tichý, A., Dušková, M., & Bradna, P. (2020). Dental composites – A low-dose source of bisphenol A?. *Physiological Research*, 69(Suppl 2), S295–S304.
<https://doi.org/10.33549/physiolres.934518>
- Soh, M. S., Yap, A. U., & Siow, K. S. (2003). The effectiveness of cure of LED and halogen curing lights at varying cavity depths. *Operative Dentistry*, 28(6), 707–715.
- Soh, M. S., & Yap, A. U. (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>
- Söderholm K. J. (1981). Degradation of glass filler in experimental composites. *Journal of dental research*, 60(11), 1867–1875.
<https://doi.org/10.1177/00220345810600110701>
- Staehle, H. J., & Sekundo, C. (2021). The Origins of Acrylates and Adhesive Technologies in Dentistry. *The journal of adhesive dentistry*, 23(5), 397–406.
<https://doi.org/10.3290/j.jad.b2000209>
- Stahl, F., Ashworth, S. H., Jandt, K. D., & Mills, R. W. (2000). Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: Flexural properties and polymerisation potential. *Biomaterials*, 21(13), 1379–1385.
- Sturdevant, C. M., Roberson, T. M., Heymann, H. O., & Sturdevant, J. R. (1995). *The art and science of operative dentistry* (pp. 252–263). St. Louis: Mosby-Year Book, Inc.
- Şener, Y., Şengün, A., & Koyutürk, A. E. (2005). Farklı ışık kaynaklarıyla polimerize edilen kompozit rezin materyalin mikrosertliği. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 6, 3–7.
- T Celik, A. C., Coban, E., & Ulker, H. E. (2021). Effects of mouthwashes on color stability and surface roughness of three different resin-based composites. *Nigerian journal of clinical practice*, 24(4), 555–560. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_303_20
- Talib R. (1993). Dental composites: a review. *The Journal of Nihon University School of*

- Tiu, J., Belli, R., & Lohbauer, U. (2021). Characterization of Heat-Polymerized Monomer Formulations for Dental Infiltrated Ceramic Networks. *Applied Sciences*, 11(16), 7370. <https://doi.org/10.3390/app11167370>
- Torres, C. R. G., & Zanatta, R. F. (2020). Composite restoration on anterior teeth. In C. R. G. Torres (Ed.), *Modern operative dentistry* (pp. 465–575). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30085-5_19
- Tosco, V., Monterubbianesi, R., Orilisi, G., Procaccini, M., Grandini, S., Putignano, A., & Orsini, G. (2020). Effect of four different finishing and polishing systems on resin composites: roughness surface and gloss retention evaluations. *Minerva stomatologica*, 69(4), 207–214. <https://doi.org/10.23736/S0026-4970.19.04310-3>
- Trauth, K. G., Godoi, A. P., Colucci, V., Corona, S. A., & Catirse, A. B. (2012). The influence of mouthrinses and simulated toothbrushing on the surface roughness of a nanofilled composite resin. *Brazilian oral research*, 26(3), 209–214. <https://doi.org/10.1590/s1806-83242012000300005>
- Tsuzuki, F. M., de Castro-Hoshino, L. V., Lopes, L. C., Sato, F., Baesso, M. L., & Terada, R. S. (2020). Evaluation of the influence of light-curing units on the degree of conversion in depth of a bulk-fill resin. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 12(12), e1117–e1123. <https://doi.org/10.4317/jced.57288>
- Tung, F. F., Goldstein, G. R., Jang, S., & Hittelman, E. (2002). The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 88(6), 585–590.
- Turk, S., Erden Kayalidere, E., Celik, E. U., & Yasa, B. (2024). In vitro wear resistance of conventional and flowable composites containing various filler types after thermomechanical loading. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(4), 643–651.
- Uluakay, M., İnan, H., Yamanel, K., & Arhun, N. (2011). Kompozit rezinler ve polimerizasyon büzülmesi. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 5(2), 895–902. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/adoklinikbilimler/issue/54012/728355>
- Urbano, C. D., Abrahão, A. L. S., Lancellotti, A. C., & Menezes-Oliveira, M. A. H. de. (2014). Effect of mouthrinses on surface roughness of a nanofilled restorative composite. *Brazilian Dental Science*, 17(3), 92–97. <https://doi.org/10.14295/bds.2014.v17i3.1014>
- Vadher, R., Parmar, G., Kanodia, S., Chaudhary, A., Kaur, M., & Savadhariya, T. (2014). Basics of color in dentistry: A review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 13(9), 78–85. <https://doi.org/10.9790/0853-13917885>
- Valizadeh Haghi, H., Molaei, S., Oliyanasab, P., & Isazadehfar, K. (2023). Effect of different mouthwashes on stain susceptibility of resin composite in contact with beverages. *Frontiers in Dentistry*, 20, 35. <https://doi.org/10.18502/fid.v20i35.13663>
- Vargas, M. A., Cobb, D. S., & Schmit, J. L. (1998). Polymerization of composite resins: Argon laser vs conventional light. *Operative Dentistry*, 23, 87–93.
- Vejendla, I., Adimulapu, H. S., & Bhandari, S. (2023). Spectrophotometric and profilometric evaluation of a single-shade composite resin immersed in frequently consumed

beverages: An in vitro study. *World Journal of Dentistry*, 14(10), 864–868.

<https://doi.org/10.5005/jp-journals-10015-2318>

Vichi, A., Ferrari, M., & Davidson, C. L. (2004). Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 20(6), 530–534.

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2002.11.001>

Wang, L., Francisconi, L. F., Atta, M. T., Dos Santos, J. R., Del Padre, N. C., Gonini, A., Jr, & Fernandes, K. B. (2011). Effect of bleaching gels on surface roughness of nanofilled composite resins. *European journal of dentistry*, 5(2), 173–179.

Watts, D. C., & Silikas, N. (2005). In situ photo-polymerisation and polymerization shrinkage phenomena. In G. Eliades, D. C. Watts, & T. Eliades (Eds.), *Dental hard tissues and bonding: Interfacial phenomena and related properties* (pp. 123–154). Berlin: Springer-Verlag.

Watts, D. C. (1992). Dental restorative materials. In R. W. Cahn, P. Haasen, & E. J. Kramer (Eds.), *Materials science and technology: A comprehensive treatment* (Vol. 14, pp. 209–258). New York, NY: VCH.

Wei, Y. J., Silikas, N., Zhang, Z. T., & Watts, D. C. (2011). Hygroscopic dimensional changes of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. *Dental Materials*, 27(3), 259–266.

Welk, A., Splieth, C. H., Schmidt-Martens, G., Schwahn, C.h, Kocher, T., Kramer, A., & Rosin, M. (2005). The effect of a polyhexamethylene biguanide mouthrinse compared with a triclosan rinse and a chlorhexidine rinse on bacterial counts and 4-day plaque re-growth. *Journal of clinical periodontology*, 32(5), 499–505.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2005.00702.x>

Wiesmüller, V., Kasslatter, M., Zengin, B., Zotz, D., Offermanns, V., Steiner, R., Crismani, A., & Kapferer-Seebacher, I. (2023). Cleansing efficacy of an oral irrigator with microburst technology in orthodontic patients-a randomized-controlled crossover study. *Clinical oral investigations*, 27(5), 2089–2095.

<https://doi.org/10.1007/s00784-023-05003-4>

Willems, G., Lambrechts, P., Braem, M., & Vanherle, G. (1993). Composite resins in the 21st century. *Quintessence International*, 24(9), 641.

Williams, G. (2009). *Applied dental materials* (9th ed.). *British Dental Journal*, 206, 441.

<https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2009.321>

Xu, X., & Burgess, J. O. (2003). Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials. *Biomaterials*, 24(14), 2451–2461.

Yanikoğlu, N., Kaya, N., Topdağı, B., & Kürüm, M. (2024, August). Investigation of the effect of Waterpik use on the surface properties of porcelain and zirconium materials. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4814513/v1>

Yanikoglu, N. D., & Sakarya, R. E. (2020). Test methods used in the evaluation of the structure features of the restorative materials: A literature review. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 9720–9734.

<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.049>

- Yap, A. U., Soh, M. S., Siow, K. S. (2002). Effectiveness of composite cure with pulse activation and soft-start polymerization. *Operative dentistry*, 27(1), 44–49.
- Yap, A. U., Tan, S. H., Wee, S. S., Lee, C. W., Lim, E. L., & Zeng, K. Y. (2001). Chemical degradation of composite restoratives. *Journal of oral rehabilitation*, 28(11), 1015–1021. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2001.00760.x>
- Yazdi, H. K., Nasoohi, N., & Benvidi, M. (2019). In Vitro Efficacy of Listerine Whitening Mouthwash for Color Recovery of Two Discolored Composite Resins. *Frontiers in dentistry*, 16(3), 181–186. <https://doi.org/10.18502/fid.v16i3.1589>
- Yeh, S. T., Wang, H. T., Liao, H. Y., Su, S. L., Chang, C. C., Kao, H. C., & Lee, B. S. (2011). The roughness, microhardness, and surface analysis of nanocomposites after application of topical fluoride gels. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 27(2), 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.013>
- 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>
- Yılmaz, B., & Emiroğlu, S. (2025). Kompozit materyallerdeki gelişmeler. *Journal of International Dental Sciences (Uluslararası Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi)*, 11(1), 11–21. <https://doi.org/10.21306/dishekimligi.1585309>
- Yılmaz, C., & Uygun, L. A. (2025). The effect of different whitening mouthwashes and simulated tooth brushing on surface roughness and microhardness of nanohybrid resin composite: An in vitro study. *BMC Oral Health*, 25, 631. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06002-5>
- Yılmaz, E., & Mujdeci, A. (2021). The Effect of Mouthrinses on Surface Roughness of Two Nanohybrid Resin Composites. *Brazilian Dental Science*, 24(2), 1–8. <https://doi.org/10.14295/bds.2021.v24i2.2265>
- Zhang, K., Zhang, N., Weir, M. D., Reynolds, M. A., Bai, Y., & Xu, H. H. K. (2017). Bioactive Dental Composites and Bonding Agents Having Remineralizing and Antibacterial Characteristics. *Dental clinics of North America*, 61(4), 669–687. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2017.05.002>
- Zhou, X., Huang, X., Li, M., Peng, X., Wang, S., Zhou, X., & Cheng, L. (2019). Development and status of resin composite as dental restorative materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(32), 48180. <https://doi.org/10.1002/app.48180>
- Zimmerli, B., Strub, M., Jeger, F., Stadler, O., Lussi, A. (2010) Composite materials: composition, properties and clinical applications. A literature review. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 120(11), 972–986.

9. ÖZGEÇMİŞ

10. BİLİMSEL FAALİYETLER

Makale

Çakır Hepşen E., Türkmen C., Yılmaz Atalı P. (2025). Effect of applying mouthwashes with an oral irrigator on surface roughness of nanohybrid composites, *European Journal of Research in Dentistry* (tez kaynaklı yayın/ kabul edildi) (Uluslararası alan endeksi).

Poster

Çakır Hepşen E., Türkmen C. (2025). Ağız gargaralarının renklendirilmiş nanohibrit kompozit rezinlerin renk değişimine etkisinin incelenmesi. 18. Uluslararası Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırmaları Kongresi (UTSAK), Ankara, Türkiye, 15-16 Mart 2025. (Tez çalışması kaynaklı poster sunum)

Çakır Hepşen E., Türkmen C. (2021). Travma sonucu kırılan daimi anterior dişin kırık parçayla restorasyonu. 25. Uluslararası Estetik Diş Hekimliği Kongresi (EDAD), İstanbul, Türkiye, 16 Eylül 2021.

Formun Altı