



**KOMPOZİT RESTORASYONLARIN TAMİRİNDE FARKLI YÜZEY
HAZIRLAMA YÖNTEMLERİNİN VE YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN
MİKRO MAKASLAMA BAĞLANMA DAYANIMINA ETKİSİ**

Ayşenur ALTUĞ YILDIRIM

**UZMANLIK TEZİ
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

ARALIK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ayşenur ALTUĞ YILDIRIM

22.12.2023

**KOMPOZİT RESTORASYONLARIN TAMİRİNDE FARKLI YÜZEY HAZIRLAMA
YÖNTEMLERİNİN VE YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN MİKRO MAKASLAMA
BAĞLANMA DAYANIMINA ETKİSİ**
(Uzmanlık Tezi)

Ayşenur ALTUĞ YILDIRIM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
Aralık 2023

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, nanohibrit kompozit rezin restoratif materyalin, universal adeziv sistemin farklı modları kullanılarak tamirinde, farklı ısısal yapay yaşlandırma sürelerinin ve farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin mikro makaslama bağlanma dayanımı (μ MBD) üzerine etkisinin değerlendirilmesidir. μ MBD testi için toplam 120 adet (3x2 mm) nanohibrit kompozit rezin örnek (Clearfil Majesty ES-2, Kuraray, Japonya) hazırlandı. Hazırlanan test örnekleri ısısal döngü ile yaşlandırma yöntemine göre yaşlandırma uygulanmayan, 10,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan ve 50,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan üç gruba (n=40) ayrıldı. Yaşlandırma yapılan ve yapılmayan örnekler adeziv (Clearfil S-3 Bond Universal, Kuraray, Japonya) uygulama modu ve yüzey hazırlama protokollerine göre 4 alt gruba ayrıldı; 1. universal adeziv self-etch mod, 2. alüminyum oksit kuşlama + universal adeziv self-etch mod, 3. universal adeziv etch-rinse mod, 4. alüminyum kuşlama + universal adeziv etch-rinse mod. Yüzey işlemleri görmüş kompozit rezin restoratif materyal yüzeyine tygon tüp yardımıyla (0,8x2 mm) tamir kompozit rezin materyali (Clearfil Majesty ES-2, Kuraray, Japonya) direkt olarak uygulanıp, LED ışık cihazı ile polimerize edildi. Tüm test örnekleri μ MBD testinden önce etüvde 37 °C'de 24 saat boyunca saklandı ve μ MBD testi universal test cihazı (Schimadzu, IG-IS, Japonya) ile 1 mm/dk kafa hızında gerçekleştirildi. Elde edilen Newton değerleri, örneklerin yüzey alanları hesaplanarak MPa değerlerine dönüştürüldü. Test örneklerinin μ MBD testi sonrası kırılma tipleri stereomikroskop yardımı ile incelendi. Farklı yüzey hazırlama yöntemleri değerlendirildiğinde, yaşlandırma yapılmayan grup, 10,000 ve 50,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan gruplardan daha yüksek μ MBD değerleri sergiledi, yaşlandırma yapılmayan grup, 50,000 ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi yapılan gruptan tüm yüzey hazırlama yöntemleri değerlendirildiğinde anlamlı olarak daha yüksek bağlanma değerleri sergiledi (p<0,05). Bu in-vitro çalışmanın sınırları dahilinde; kompozit rezin restoratif materyalin tamir bağlanma dayanımı üzerinde farklı yaşlandırma sürelerinin etki gösterdikleri tespit edildi. Çalışmaya göre, universal adezivin farklı uygulama modlarının ve farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin kompozit rezin restoratif materyalin tamir bağlanma dayanımları üzerinde anlamlı farklılık yaratmadığı gözlemlendi.

Bilim Kodu : 10101.08
Anahtar Kelimeler : Nanohibrit kompozit rezin, Yüzey uygulamaları, Mikromakaslama bağlanma dayanımı, Isısal döngü
Sayfa Adedi : 80
Danışman : Prof. Dr. Mine Betül ÜÇTAŞLI

THE EFFECT OF DIFFERENT SURFACE PRETREATMENT METHODS AND
THERMAL AGING DURATIONS ON REPAIR MICRO-SHEAR BOND STRENGTH
OF COMPOSITE RESIN RESTORATIONS

(Speciality Thesis)

Ayşenur ALTUĞ YILDIRIM

GAZI UNIVERSITY
FACULTY OF DENTISTRY

December, 2023

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of different surface treatments on the repair bond strength of a universal nanohybrid composite resin restorative material before and after thermal aging, by utilising micro-shear bond strength (μ SBS) test. For micro-shear bond strength test, total of 120 cylindrical (3mmX2mm) nanohybrid resin based composite specimens were prepared (ClearfilMajesty ES-2, Kuraray/Japan). The prepared specimens were divided into three groups (n=40/per group) based on surface treatment methods: a non-aged group, 10,000 thermal cycle aging and 50,000 thermal cycle aging (thermocycle by 50°C and 55°C/Thermocycler The-1100, SD Mechatronik, Germany). The aged and non-aged specimens were further divided into four groups according to adhesive application modes and surface pretreatment methods: 1.universal adhesive/self-etch mode, 2.aluminum oxide sandblasting+universal adhesive/self-etch mode, 3.universal adhesive/etch-rinse mode, 4.aluminum oxide sandblasting+universal adhesive/etch-rinse mode. Subsequently, 0.8mmX2mm disc shape light cure RBC specimens were applied with direct placement technique (ClearfilMajesty ES-2, Kuraray/Japan) on the treated surfaces of all samples for repair. All specimens were stored in distilled water at 37°C in an incubator for 24-hour before μ SBS test. μ SBS test was performed using a universal testing machine (Schimadzu IG-IS, Japan) at a crosshead speed 1 mm/min. Data were obtained in Newton and converted to MPa values by calculating the surface area of the specimens. Failure types were examined under a stereomicroscope. When different surface pretreatment methods were evaluated, the non-aged group exhibited higher μ MBD values compared to the groups aged with 10,000 and 50,000 thermal cycles. For all pretreated surfaces, the non-aged group showed significantly higher bonding values than the group aged with 50,000 thermal cycles ($p<0.05$). for all pretreated surfaces within the limitations of this in-vitro study, it was determined that different thermal aging durations had effects on the repair bond strength of composite resin restorative materials. It can be concluded that the various application modes of universal adhesive and different surface pretreatment methods do not have significant effect on the repair bond strengths of composite resin restorative materials.

Science Code : 10101.08

Key Words : Nanohybrid Composite Resin, Surface Treatments, Microshear Bond Strength, Thermal Cycling

Page Number : 80

Supervisor : Prof. Dr. Mine Betül ÜÇTAŞLI

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince öğrencisi olmaktan onur duyduğum değerli hocam Prof. Dr. Mine Betül ÜÇTAŞLI'ya, bana sağladığı rehberlik, bilgi birikimi ve destekleri için içtenlikle teşekkür ederim.

Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda geçirdiğim bu süre zarfında uzmanlık eğitimime olan katkılarından dolayı, sayın Prof. Dr. Oya BALA'ya, sayın Prof. Dr. Hacer DENİZ ARISU'ya, sayın Prof. Dr. Suat ÖZCAN'a, sayın Doç. Dr. Sinem AKGÜL'e, sayın Doç. Dr. Hanife ALTINIŞIK'a, sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemile KEDİCİ ALP'e, sayın Öğr. Gör. Melike AYDOS'a ve birlikte çalıştığımız tüm arkadaşlarıma teşekkür etmek isterim.

Ayrıca, aileme ve sevdiklerime sürekli destekleri ve sabırları için minnettarım. Bu tez çalışması, onların sevgisi ve motivasyonu olmadan mümkün olmazdı.

Son olarak, bu uzmanlık tezi sürecimdeki tüm akademik ve kişisel destekleri sağlayan herkese teşekkür ederim.

Bu in vitro tez çalışması, TDH-2023-8212 kodlu proje ile Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Kompozit Resin Materyal.....	5
2.2. Kompozit Resin Materyallerin Sınıflandırılması	7
2.2.1. Kompozit resin materyallerin doldurucu partikül büyüklüğü ve yüzdesine göre sınıflandırılması	7
2.2.2. Kompozit resin materyallerin polimerizasyon yöntemlerine göre sınıflandırılması	8
2.2.3. Kompozit resin materyallerin viskozitelerine göre sınıflandırılması	8
2.3. Adeziv Sistemler	11
2.4. Kompozit Resin Restorasyonlarda Tamir	16
2.4.1. Tamirin endikasyonları.....	17
2.4.2. Tamirin kontrendikasyonları.....	19
2.4.3. Tamirde kanıta dayalı başarı	20
2.5. Yaşlandırma Yöntemleri	20
2.5.1. Suda saklama ile yaşlandırma	21
2.5.2. Suda kaynatma ile yaşlandırma	21

	Sayfa
2.5.3. pH siklusu ile yaşlandırma	21
2.5.4. Mekanik oklüzal yükleme ile yaşlandırma	22
2.5.5. Hızlandırılmış yapay yaşlandırma	22
2.5.6. Isısal döngü ile yaşlandırma	22
2.6. Bağlanma Dayanımı Testleri	24
2.6.1. Makro makaslama bağlanma dayanımı testi.....	24
2.6.2. Mikro makaslama bağlanma dayanımı testi.....	25
2.6.3. Makro gerilim bağlanma dayanımı testi	25
2.6.4. Mikro gerilim bağlanma dayanımı testi.....	26
2.7. Yüzey Hazırlama Yöntemleri	26
2.7.1. Asitle pürüzlendirme	27
2.7.2. Air abrazyon.....	27
2.7.3. Silan bağlayıcı ajanlar.....	29
3. GEREÇ VE YÖNTEM	31
3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller	31
3.2. Örneklerin Hazırlanması	32
3.3. Çalışma Grupları.....	35
3.4. Test Örneklerine Tamir Kompozit Rezin Materyalin Uygulanması	37
3.5. Mikro Makaslama Bağlanma Dayanımı Testi	37
3.6. Kırılma Tiplerinin Analizi	38
3.7. İstatistiksel Analiz	39
4. BULGULAR	41
4.1. Mikro Makaslama Bağlanma Dayanımı Testi Bulguları	41
4.2. Kırılma Tipi Bulguları	44
5. TARTIŞMA.....	47
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61

	Sayfa
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ	79



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan materyaller	31
Çizelge 4.1. Mikro makaslama bağlanma dayanımı (MPa) değerleri	41
Çizelge 4.2. Yaşlandırma işlemi gruplarının yüzey hazırlama yöntemlerine göre μ MBD (MPa) ölçümünün karşılaştırılması	42
Çizelge 4.3. Yüzey hazırlama yöntemi gruplarının yaşlandırma işlemine göre μ MBD (MPa) ölçümünün karşılaştırılması	44



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışma dizaynı ve test grupları	35
Şekil 4.1. Mikro Makaslama bağlanma dayanımı (MPa) değerleri.....	42
Şekil 4.2. Çalışmada tüm deney gruplarında mikro makaslama bağlanma dayanımı testi sonrasında oluşan kırılma tiplerinin dağılımı	45



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. A- Nanohibrit kompozit rezin restoratif materyal	32
Resim 3.2. A-örneklerin yapımında kullanılan pleksi kalıplar, B- pleksi kalıplara kompozit rezin restoratif materyalin yerleştirilmesi, C- kompozit rezin test örneklerinin ışık cihazıyla polimerize edilmesi, D- pleksi kalıp içindeki kompozit rezin test örneklerinin akrilik bloklara gömülmesi, E- su soğutmalı zımpara cihazı.....	34
Resim 3.3. Termal siklus cihazı.....	36
Resim 3.4. Universal test cihazında μ MBD testi uygulanması	38
Resim 4.1. A) Adeziv başarısızlık, B) Miks başarısızlık	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler

Açıklama

%	Yüzde
<	Küçüktür
>	Büyüktür
°C	Santigrat derece

Kısaltmalar

Açıklama

µGBD	Mikro gerilim bağlanma dayanımı
µm	Mikrometre
µMBD	Mikro makaslama bağlanma dayanımı
4-META	4-metakriloksietil trimellitat anhidrit
Bis-EMA	Bifenol A etoksi dimetakrilat
Bis-GMA	Bifenol A diglisidil metakrilat
BPDM	Bifenil dimetakrilat
C	Karbon
cm ²	Santimetrekare
Er-YAG	Erbium YAG Lazer
HEMA	Hidroksietil metakrilat
LED	Işık Yayan Diyot
M	Medyan
MDP	Metakriloloksietil dihidrojen fosfat
mm ²	Milimetrekare
MPa	Mega Paskal
MPTS	3-metakriloksi propil trimetoksisilan
mW	Miliwatt
N	Newton
nm	Nanometre

Kısaltmalar	Açıklama
NPG-GMA	N-fenilglisin glisidil metakrilat
Ort	Ortalama
p	İstatistiksel anlamlılık
pH	Asit-baz değeri
psi	İnçkare başına libre
sn	Saniye
ss	Standart sapma
TEG-DMA	Trietilen glikol dimetakrilat
UDMA	Üretan dimetakrilat
UV	Ultraviyole

1. GİRİŞ

Kompozit rezin restoratif materyaller, diş hekimliğinde adezyon teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, anterior ve posterior bölgenin konservatif restorasyonlarında en sık tercih edilen materyaller haline gelmiştir (1, 2). Doğal diş rengine benzedikleri için estetik olması, koruyucu kavite preparasyonuna izin vermesi ve nispeten düşük maliyetli olması kompozit rezin restoratif materyallerin popüler hale gelmesindeki etkenlerdir (2, 3). Minimal invaziv diş hekimliğinin önem kazanması ve bu alanda artan bilinç sayesinde kompozit rezin materyallerin özellikleri sürekli geliştirilmektedir. Kompozit rezin restorasyonlar ağız içinde varlığını sonsuza dek koruyamaz ve başarısızlık söz konusudur. Kompozit rezin restorasyonların klinik başarısını değerlendiren bir sistematik derleme ve meta-analize göre yıllık başarısızlık oranı %0.08 ve %6.3 arasında değişmektedir (4). Restorasyonların klinik ömrü, hasta, teşhis, operatör (diş hekimi) ve materyal gibi faktörlere bağlı olsa da restorasyonların başarısızlığının en yaygın nedeni sekonder çürüktür (5). Çalışmalarda, posterior bölgedeki kompozit rezin restorasyonlarının başarısızlığının büyük oranda (%78.6) sekonder çürük ve kırık kaynaklı olduğu, anterior bölgedeki kompozit restorasyonlarda ise renk uyumsuzluğu, marjinal renklenme ve kırık kaynaklı olduğu gösterilmiştir (4).

Kompozit rezin restorasyonlarda başarısızlık söz konusu olunca iki seçenek akla gelir; restorasyonu tamamen değiştirmek veya restorasyonu tamir etmek (6-10). Kompozit rezin restorasyonlarda zamanla meydana gelen aşınma, kırılma, marjinal açıklık, renk değişikliği veya sekonder çürüklerden kaynaklanan kusurlar nedeniyle, restorasyonlar sıklıkla tamamen değiştirilmekte ve restorasyonun yenilenmesi sağlıklı diş yapısında fazla madde kaybına, preparasyonların aşırı genişlemesine ve sonuç olarak dişin klinik ömrünün azalmasına sebep olmaktadır. Kusurlu restorasyonun tamamen değiştirilmesi, minimal invaziv diş hekimliğiyle çelişir ve tamirden daha pahalı ve zaman alıcı bir seçenektir (11). Ayrıca, restorasyonun değişiminde kaviteyi genişletirken dişin maruz kaldığı girişimler, pulpada geri dönüşümsüz hasar riskini artıracaktır (12). Günümüz diş hekimliğinde, adeziv tekniklerdeki gelişmeler sayesinde restorasyonu tamamen değiştirmek yerine tamir etme seçeneği önem kazanmıştır. Tamirin, restorasyonların klinik ömrünü artırdığı ve koruyucu diş tedavisi eğitimlerinin de ayrılmaz bir parçası olduğu

düşünülmektedir (11-13). Tamir, yalnızca hasarlı restorasyon bölümünün uzaklaştırıldığı, yeni bir restoratif materyal ile restore edildiği, kusurlu olmayan restorasyon bölümünün yerinde bırakıldığı tedavi şeklidir. Böylece, diş dokularından gereksiz madde kaybı önlenir, iatrojenik hasar riski azalır, zaman ve materyalden tasarruf edilir. Kusurlu bir restorasyonun onarımında sıklıkla kompozit rezin restoratif materyaller kullanılmaktadır (14). Adeziv teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, makro mekanik retansiyon gereksinimi yerini mikro retantif hazırlığa bırakmıştır, bu da tamir işleminde daha küçük preparasyonlara imkan vermektedir (15).

Günümüzde restoratif materyallerin adeziv etkinlikleri, in vitro olarak bağlanma dayanımı testleriyle değerlendirilmektedir. Gerilim bağlanma dayanımı (GBD) testi ve makaslama bağlanma dayanımı (MBD) testi, yaşlanmış kompozit rezin materyal ile yeni kompozit rezin materyalin arayüzündeki adeziv bağlantıyı değerlendirmede en çok kullanılan yöntemlerdir. Mikro-gerilim bağlanma dayanımı (μ GBD) ve mikro-makaslama bağlanma dayanımı (μ MBD) testlerinde numunelerin boyutları küçüldüğü için stres dağılımı daha iyi gerçekleşir (16). Mikro-makaslama bağlanma dayanımı testleri, mikro-gerilim bağlanma dayanımı testlerinden farklı olarak, küçük numuneler elde etmek için kesit alma prosedürü olmadan da küçük yüzeylerde ölçüm yapabilme avantajına sahiptir (16).

Bir restorasyonun tamir gereksinimi ağız içinde farklı sürelerde kullanıldıktan sonra ortaya çıkmaktadır. Laboratuvar ortamında tamir uygulamasının sonuçlarının değerlendirilebilmesi için ağız içindeki yaşlanmayı taklit eden yöntemlere ihtiyaç vardır. Isısal döngü ile yaşlandırma yöntemi; ağız ortamında meydana gelen ısısal değişikliklerin, laboratuvar ortamında taklit edilebilmesi için, restoratif materyallerin tekrar tekrar sıcak ve soğuk su banyolarına maruz bırakılması ile gerçekleştirilen, günümüzde en sık kullanılan yaşlandırma yöntemidir (17, 18).

Tamirin başarılı olabilmesi için eski ve yeni kompozit rezin materyalleri arasında iyi bir adezyon gereklidir (11). Materyalin yerleştirilmesinden ve polimerizasyonundan çok kısa bir süre sonra restorasyonun düzeltilmesi gerekebileceği gibi ağız ortamında uzun süre kaldıktan sonra da tamir ihtiyacı doğabilir. Yaşlanmış kompozit rezin materyale adezyon, materyalin su emilimi yoluyla bozunması ve tamir

kompozit rezin materyaliyle reaksiyona girebilen doymamış çift bağ sayısının azalması nedeniyle zor olabilir (6, 11). Oksijen inhibisyon tabakasının olmaması da eski ve yeni materyal arasındaki bağlantıyı negatif etkileyecek önemli bir faktördür (6). Bu sorunların üstesinden gelmek ve tamir bağlanma kuvvetlerini güçlendirmek için çok sayıda mekanik ve kimyasal yüzey hazırlama yöntemleri geliştirilmiştir. Kompozit rezin materyalin tamiri için sıklıkla kullanılan yüzey hazırlama yöntemleri arasında elmas frez ile pürüzlendirme ve fosforik asit ile pürüzlendirme yer alır (9, 11, 18-20). Alüminyum oksitle kumlamanın yüzey hazırlama işleminde etkili olduğunu gösteren literatürler mevcuttur (12, 21-23). Ayrıca çeşitli adeziv sistemlerin ve ilave silan uygulamasının kompozit rezin materyal tamir çalışmalarındaki sonuçları etkileyebileceği yönünde görüşler bulunur (9, 18, 20, 24, 25). Kompozit rezin materyallerin tamirinde farklı yaşlandırma sürelerinin ve farklı yüzey işlemlerinin uygulandığı çalışmalarda genellikle mikrohibrit kompozit rezin materyaller test edilmiş ve kısa süreli yaşlandırma protokolleri uygulanmıştır. Günümüzde nanohibrit kompozit rezin materyallerin başarısı ve klinik kullanımları giderek artmaktadır. Nanohibrit kompozit rezin materyallerin universal adezivlerle self-etch veya etch-rinse mod uygulandığında tamir kapasitesi ve alüminyum oksit partikülleri ile kumlamanın tamir kapasitesini nasıl etkileyeceği konularında yeterince araştırma yapılmamıştır.

Bu veriler göz önüne alındığında planlanan bu *in-vitro* çalışmada, güncel bir nanohibrit kompozit rezin materyale, universal adeziv sistemin farklı modları kullanılarak tamirinde, farklı ısısal yapay yaşlandırma sürelerinin ve farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin mikro makaslama bağlanma dayanımı üzerine etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın sıfır hipotezleri şöyledir:

H01: Test edilen kompozit rezin materyalin universal adeziv sistemle tamirinde farklı ısısal yapay yaşlandırma sürelerinin mikro makaslama bağlanma dayanımı üzerine etkisi yoktur.

H02: Test edilen kompozit rezin materyalin universal adeziv sistemle tamirinde farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin mikro makaslama bağlanma dayanımı üzerine etkisi yoktur.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Rezin Materyal

Kompozit rezin materyaller, kayıp diş dokusunu yerine koymak, diş rengini ve konturunu düzenleyerek estetiği iyileştirmek amacıyla restoratif diş hekimliğinde kullanılan en önemli materyallerden biridir. Bowen, ilk olarak bisfenol-A diglisidil metakrilat (Bis-GMA) isimli monomerden bahsetmiş ve inorganik doldurucuların katkısıyla kompozit rezin materyalin etkili bir şekilde sentezlendiğini bildirmiştir (26, 27). 1960'ların başlarında geliştirilen kompozit rezin materyaller, akrilik ve silikatlardan daha üstün mekanik özelliklere sahip materyaller olmuştur. Ayrıca, daha düşük ısısal genleşme katsayısı, polimerizasyon sırasında daha az boyutsal değişiklik ve daha fazla aşınma direnci sunarak, klinik performansı artırmıştır (28). Güncel diş hekimliğinde kompozit rezin materyaller, minimal invaziv tedavileri karşılayabilecek, düşük maliyetli, biyolojik olarak uyumlu ve estetik açıdan üstün malzemeler olarak düşünüldüğünden, bu materyalin özelliklerinin geliştirilmesi yönünde pek çok araştırma mevcuttur. Kompozit rezin materyalin yapısında, ana bileşenler olarak organik polimer matriks, inorganik doldurucular, ikisi arasında kimyasal bağlantı kuran ara bağlayıcı faz ve başlatıcı-hızlandırıcı sistemler bulunmaktadır (29, 30).

Organik polimer matriks

Organik polimer matriks diğer bileşenlerin dağıldığı polimerize olabilen sürekli bir fazdır. Mevcut ticari kompozit rezin materyallerin çoğunda, çapraz bağlı Bis-GMA ve UDMA (Üretan dimetakrilat) gibi dimetakrilat monomerlerinden oluşan organik polimer matriks bulunur (31). Her iki monomerin uçlarında polimerizasyon sırasında çoğalabilen karbon çift bağları vardır (32). UDMA organik matrikste tek başına bulunabildiği gibi Bis-GMA ve TEGDMA (Trietilen glikol dimetakrilat) ile birlikte de bulunabilmektedir. UDMA'nın molekül ağırlığı Bis-GMA'ya yakındır ancak daha az viskozdur. Polimer matriksin viskozite özellikleri, kompozit rezin materyalin işlenebilirliğini, uygulama kolaylığını ve sonuçların kalitesini etkiler. Matriks içindeki monomerlerden özellikle Bis-GMA'nın viskozitesi oldukça yüksektir, bu nedenle doldurucularla karıştırıldığında klinik kullanıma elverişli hale getirmek için

incelticilerin ilavesine ihtiyaç duyulur. Üreticiler tarafından viskoziteyi düşürmek için TEG-DMA ve Bis-EMA (Bifenol A etoksi dimetakrilat) gibi daha düşük viskoziteli monomerler eklenmiştir (28). Organik polimer matriks içinde ayrıca çeşitli fotobaşlatıcılar, hızlandırıcılar, inhibitörler, fotostabilizatörler mevcuttur.

İnorganik faz

Doldurucular kompozit rezin materyalin hacim ve ağırlıkça büyük bir kısmını oluşturur. Kompozit rezin materyalin fiziksel ve mekanik özellikleri doldurucu oranının artırılmasıyla geliştirilmektedir. Doldurucuların, kompozit rezin materyalin sertliğini artırarak güçlendirme, boyutsal stabilite sağlama, radyoopasiteyi artırma, estetiği iyileştirme ve işlenebilme kolaylığı sunma gibi etkileri olmaktadır (33-36). İnorganik doldurucular genellikle kuvars, cam, silika içerir (26, 32, 37). Kuvars, inert ve çok sert olması nedeniyle diş ve diğer restorasyonlar üzerinde aşındırma yapabilir. Ayrıca daha küçük parçalara ayrıştırılması zor olduğu için polisajlanabilme özelliği zayıftır. Silika partikülleri ise daha az aşındırma ve iyi cilalanabilme potansiyeline sahiptir (32). Seramik doldurucular, borosilikat cam, lityum, stronsiyum, baryum, alüminyum silikat, çinko cam partikülleri de inorganik doldurucular arasında yer almaktadır (26, 37). Kompozit rezinlerin sertliği, aşınma direnci ve translusens özellikleri ile inorganik doldurucu miktarı arasında doğrudan bir ilişki vardır (38).

Ara bağlayıcılar

Organik polimer matriks ve inorganik faz arasındaki kuvvetli bağlantı silan bağlayıcı ajan olarak isimlendirilen ara bağlayıcılarla kurulmaktadır. Silan bağlayıcı ajan esasen organik silisyum bileşenlerinden oluşur ve yaygın olarak kullanılan ajan 3-metakrilolpropiltrimetoksisilan (MPTS) dir (39). Molekülün bir ucu, silika partiküllerinin hidroksil gruplarına bağlanabilirken, diğer ucu polimer matrikse kopolimerize olabilmektedir. Ara bağlayıcı ajanlar kimyasal olarak dirençli ve inert bileşenler olmasıyla kompozit rezin materyallerin mekanik özelliklerine olumlu katkılarda bulunur; rezin-partikül ara yüzü boyunca su geçişine engel olarak hidrolitik stabilite kurarken, su emilimi ve çözünürlüğü azaltarak fiziksel direnci artırır.

2.2. Kompozit Rezin Materyallerin Sınıflandırılması

Kompozit rezin materyallerin sınıflandırılması üç farklı şekilde yapılabilir:

1. Doldurucu partikül büyüklüğü ve yüzdesine göre
2. Polimerizasyon yöntemlerine göre
3. Viskozitelerine göre

2.2.1. Kompozit rezin materyallerin doldurucu partikül büyüklüğü ve yüzdesine göre sınıflandırılması

Kompozit rezin materyaller içerdikleri inorganik doldurucu partiküllerinin boyutu ve yüzdesine göre sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmada doldurucu partiküllerin boyutu ve miktarı rezinin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler. Genellikle daha büyük boyutta doldurucu partiküller daha yüksek direnç ve dayanıklılık sağlarken, daha küçük boyutta doldurucu partiküller daha iyi estetik özellikler sunar.

1. Mega dolduruculu: 50-100 mikron çapta doldurucu boyutuna sahip, oklüzal temas bölgelerinde kullanımı önerilen restoratif materyaldir (40, 41).
2. Makro dolduruculu: 20-30 mikron çapta doldurucu boyutuna sahip, büyük küresel, şekilsiz doldurucu parçacıklar içeren dolgu materyalidir. Aşınmaya karşı direnci düşüktür (42).
3. Midi dolduruculu: 1-10 mikron çapta doldurucu boyutuna sahip restoratif materyaldir (41).
4. Mini dolduruculu: 0,1-1 mikron çapta doldurucu boyutuna sahip, baryum ve stronsiyum cam partikülleri içeren cilalanabilirliği iyileştirilmiş restoratif materyaldir (42).
5. Mikro dolduruculu: 0,01-0,1 mikron çapta doldurucu boyutuna ve %35-60 oranında doldurucu ağırlığına sahip, çok iyi cilalanabilme özelliği gösteren restoratif materyaldir (40).
6. Nano dolduruculu: 0,001-0,01 mikron çapta doldurucu boyutuna sahiptir. Nano dolduruculu kompozitler, restoratif materyalin olumlu özelliklerini tek bir materyalde birleştirmeyi mümkün kılmıştır. Bu materyaller üstün estetik ve direnç özellikleri taşırken aynı zamanda düşük polimerizasyon büzülmesi gösterirler (42).

7. Hibrit: makro dolduruculu ve mikro dolduruculu türlerin olumlu özelliklerini aynı yerde toplamak için geliştirilen, farklı boyutlarda doldurucu partikül içeren restoratif materyalidir. Hangi boyuttaki doldurucu oranı daha fazlaysa onun ismiyle adlandırılırlar. Örneğin mikrohibrit, nanohibrit vb. Aşınma direnci ve dayanıklılık özellikleri iyidir, ayrıca ön bölgede iyi cilalanabilme özelliği sayesinde estetik sonuçlar vermektedir (43, 44).

2.2.2. Kompozit rezin materyallerin polimerizasyon yöntemlerine göre sınıflandırılması

Kimyasal Olarak Polimerize Olan Kompozit Rezin Materyaller

Biri katalizör diğeri aktivatör olarak iki ayrı pasta halinde bulunur. Polimerizasyonun başlamasından görevli katalizör benzoil peroksit, hızlandırıcı aktivatör ise tersiyer amindir.

Görünür Işık ile Polimerize Olan Kompozit Rezin Materyaller

Görünür ışıkla polimerize olan kompozit rezin materyaller, polimerizasyonun başlaması için 465 nm dalga boyunda ışığa ihtiyaç duyar. Polimerizasyon başlatıcısı kamforokinon ışıkla aktive olur. Fotobaşlatıcı sistemlerin diğeri önemli bileşenleri sinerjist ve hızlandırıcılar olan tersiyer aromatik veya alifatik aminlerdir (45).

Dual Polimerize Olan Kompozit Rezin Materyaller

Hem ışıkla hem kimyasal yolla polimerize olan kompozit rezin materyalde ışıkla polimerizasyon ve ardından ışığın ulaşamadığı yerlerde kimyasal polimerizasyonla devam eden bir süreç vardır.

2.2.3. Kompozit rezin materyallerin viskozitelerine göre sınıflandırılması

Kondanse Edilen (Tepilebilen) Kompozit Rezin Materyaller

Posterior bölgede amalgam materyalin yerine geçebilecek bir materyal olarak geliştirilmiş viskoziteleri yüksek tepilebilir kompozit rezin restoratif materyaller, hibrit kompozit rezin restoratif materyallerden daha büyük boyutta ve daha fazla

doldurucu partikül içerirler. Kavitelere basınçla kondanse ederek uygulanır, kontakları ve anatomik formu şekillendirmek yapışkan olmaması nedeniyle kolaydır. Doldurucu partikül boyutlarının büyük olması cilalama işlemlerini zorlaştırmaktadır (46).

Akışkan (Flowable) Kompozit Rezin Materyaller

Geleneksel kompozit rezin materyaller daha az inorganik doldurucu oranına sahip düşük viskoziteli kompozit rezin materyallerdir. Bir şırınga yardımıyla uygulandığında kavitenin pürüzlü yüzeylerine kolaylıkla akar. Mekanik özellikleri, düşük inorganik doldurucu oranı nedeniyle geleneksel kompozit rezin materyaller kadar iyi değildir, aşınma direnci zayıftır, ayrıca yüksek polimerizasyon büzülmesi gösterir (38).

Nano Dolduruculu Kompozit Rezin Materyaller

Üreticilerin kompozit rezin materyallerde nanoteknolojiyi kullanmaları sonucunda küresel şekilli nano boyutta doldurucular içeren nano dolduruculu kompozit rezin materyaller piyasaya çıkmıştır. Nano dolduruculu kompozit rezin materyalleri nano dolduruculu ve nanohibrit olarak iki grupta ele almak gerekir. Nano dolduruculu kompozit rezin materyaller, sadece nano boyutta doldurucular içermektedir. Geleneksel kompozit rezin materyaller olarak anılan hibrit ve mikro dolduruculu kompozit rezin materyallerin üstün özelliklerini nano dolduruculu kompozit rezin materyallerde görmek mümkündür. Nano dolduruculu kompozit rezin materyaller, hibrit kompozit rezin materyaller gibi yüksek stres alanlarına dayanıklıdır, mikro dolduruculu kompozit rezin materyaller gibi mükemmel cilalanabilme yeteneğine sahiptir (47, 48). Nano dolduruculu kompozit rezin materyaller homojen ve tamamı nano boyutlarda parçacıklar ve bu parçacıkların birleşimleri olan nanokümelerden oluşur. Nanohibrit kompozit rezin materyaller ise birbirinden farklı nano ve mikro boyutlarda partiküllere sahiptir (49). Nanohibrit kompozit rezin materyaller, nano boyutta doldurucu partiküller ve yüksek doldurucu içeriği nedeniyle; dayanıklılık, düşük polimerizasyon büzülmesi, yüksek cilalanabilirlik, kolay işlenme ve üstün estetik özellikler sunar (50-52).



2.3. Adeziv Sistemler

Adeziv sistemler tarihsel gelişimlerine göre şu şekilde sınıflandırılır:

1. Nesil adezivler

1956 yılında Buenocore ve arkadaşlarının çalışmaları gliserofosforik asit dimetakrilat içeren rezinin asitlenmiş dentine bağlanacağını göstermiştir. Burada kurulan bağlantının sebebi bifonksiyonel resin molekülünün hidroksiapatitin kalsiyum iyonlarıyla etkileşimi olarak düşünülmüştür. Su ile temasın bu bağlantıyı bozduğu anlaşıncı dokuz yıl sonra Bowen, NPG-GMA (N-fenilglisin glisidil metakrilat) bifonksiyonel molekülünü kullanmayı denemiştir. Bu molekülün bir ucu dentine diğer ucu kompozit rezine bağlanarak polimerize olmaktadır. Birinci nesil adeziv uygulamalarında bağlantı kuvvetlerinin değerleri 1-3 Megapascalı geçmemiş ve erken klinik sonuçlar tatmin edici bulunmamıştır (53).

2. Nesil adezivler

1970'lerin sonlarında Bis-GMA ve HEMA (Hidroksietil metakrilat) gibi moleküller diş dokusundaki kalsiyuma bağlanma hedefiyle ikinci nesil adezivlerde yerini almıştır. Bu moleküllerin dentine bağlantısının klorofosfat gruplarının kalsiyuma iyonik bağla gerçekleştiği varsayılmıştır. Birinci nesil adeziv sistemlere kıyasla daha iyi bir bağlantı elde edilebilse de bağlantı gücü zayıftır. Dentindeki fosfat bağlarının suya dayanıklı olmadığı ve ağız içi sıvılardan kaynaklı hidrolizle kompozit resin materyalin dentinden ayrılarak mikrosızıntı görülebilecek olması, bu moleküllerin yarattığı endişeler arasındadır. Önceleri dentin asitlenmediği için bağlantının büyük kısmı smear tabaka üzerinden sağlanmaktaydı. Bazı ikinci nesil adeziv sistemler smear tabakayı yumuşatarak etki göstermiş ve resin penetrasyonunu geliştirmiştir, fakat yine de bu sistemler dentine zayıf ve güvenilmez bağlantı sunmaktadır (53).

3. Nesil adezivler

1980'lere gelindiğinde çoklu aşamalar gerektiren üçüncü nesil adeziv sistemler ortaya çıkmıştır. Smear tabakasının kısmen uzaklaştırılması veya modifiye edilmesi üçüncü nesil adeziv sistemlerin temel çalışma prensibidir. Asit uygulanan dentin

suyla yıkandıktan sonra hidrofilik HEMA ve BPDM (Bifenil dimetakrilat) gibi monomerler içeren primer uygulanır. Primer, smear tabakasını yumuşatarak modifiye eder, kısmen nüfuz ettikten sonra polimerize olarak sert bir tabaka oluşturur. Primer uygulamasını doldurucu içermeyen rezin bağlayıcı ajan takip eder. Doldurucu içermeyen rezin bağlayıcı ajan uygulandığında polimerize olmuş primer ve kompozit rezin bağlanmış olur. Bu nesil, birinci ve ikinci nesil adeziv sistemlerden daha başarılı olsa da, rezinlerin smear varlığında dentin tübüllerine yeterince nüfuz edememesi zayıf bir bağlantıyla sonuçlanmaktadır (53).

4. Nesil adezivler

Fusayama ve arkadaşları daha etkin bir bağlantı için %35-37 fosforik asitle mine ve dentine asit uygulamasıyla smear tabakasını tamamen uzaklaştıran dördüncü nesil adeziv sistemleri geliştirmişlerdir. Mine ve dentine aynı anda asit uygulandığı, primer ve bağlayıcı ajanın ayrı ayrı uygulandığı üç aşamalı total-etch sistemler olarak da bilinir. Asitlenmiş dentinde kollajen lifler açığa çıkmaktadır. Asidin yıkanmasının ardından dentinin aşırı kurutulması kollajen liflerin çökmesine neden olmaktadır. Kollajen liflerin çökmesini önlemek için yüzeyin nemli bırakılması gerekmektedir (54). Dördüncü nesil adeziv sistemlerde yer alan hidrofilik primerler kollajen ağına sızarak hibrit tabaka oluşumunu sağlar. Hibrit tabaka, diş sert dokuların asit etkisiyle demineralizasyona uğradığı alanlarda monomerlerin infiltrasyonu ve ardından polimerizasyonlarıyla oluşan yapıya verilen isimdir (58). Hibrit tabaka 1982 yılında Nakabayashi ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır. Asit uygulama süresinin artması demineralizasyon derinliğini artıracığı için hibrit tabaka kalınlığı da artar fakat hibrit tabaka içindeki demineralize alan başarısızlığa yatkın bir alan oluşturacağından bağlantıyı olumsuz etkileyecektir.

5. Nesil adezivler

Adeziv sistemlerde uygulama adımlarını azaltması ve zaman kazandırmaya yönelik katkılarından dolayı, 1990'ların başında iki aşamalı total-etch sistemler olarak bilinen beşinci nesil adezivler ön plana çıkmıştır. Bu sistemde, mine ve dentin dokusuna aynı anda %35-37 oranında fosforik asit yaklaşık 20 saniye uygulanır.

Primer ve adeziv birlikte aynı şişede bulunur ve asit ile demineralize edilen dentin yüzeyine uygulandığında rezin uzantılar ve hibrit tabaka oluşumu gerçekleşir (53).

6. Nesil adezivler

Etch-rinse sistemlerle uzun vadeli klinik başarı elde edilmiş olsa da adeziv uygulama basamakların azaltılması ve işlemlerin basitleştirilmesi self-etch adezivleri gündeme getirmiştir (55). Self-etch adezivler içerdiği asidik monomerler sayesinde dentinde ayrı asitleme işlemi gerektirmeden kendiliğinden asitleme yapabilen ve dentine nüfuz edebilen tek veya iki aşamalı sistemlerdir. İki aşamalı self-etch adezivler altıncı nesil adeziv sistemler olarak piyasaya çıkmıştır. Bu nesil, diş dokularını kendiliğinden asitleyebilen asidik monomerleri barındıran primer ve sonrasında daha hidrofobik bir bağlayıcı ajan uygulamalarını içerir. Uygulama basamaklarının azalması teknik hassasiyet riskini düşürür ve işlemler daha basit hale gelir (56). Self-etch adezivler etch-rinse sistemlerin aksine dentini kısmen demineralize eder ve kollajen ağ içinde etkileşime hazır hidroksiapatit kalmaktadır. Self-etch adezivlerin formülasyonlarında yer alan bazı fonksiyonel monomerler artık hidroksiapatitle ilave kimyasal bağlantılar kurar (57). Self-etch adezivlerin başarısı, ayrı asitlemenin yapıldığı etch-rinse adeziv uygulamalarına kıyasla dentindeki nemden daha az etkilenir. Dentin fosforik asitle işleme tabi tutulmadığı için yıkama ve havayla kurutma işlemi uygulanmaz ve bu sayede nemli bağlanma hususunda teknik hassasiyet gerektirmez. Çalışmalar dentinde etch-rinse sistemlere benzer bağlanma dayanımı sergilediğini göstermiştir, fakat minedeki başarısının üzerinde ise şüpheler bulunur, bunun sebebi minenin yeterince pürüzlendirilebilmesi için uygun pH değerine sahip olmaması olabilir (58, 59). Bazı klinisyenler self-etch adezivleri kullanırken mineye bağlanmayı artırmak için sadece mine yüzeyinde fosforik asitle pürüzlendirme yapmayı önermektedir (60).

7. Nesil adezivler

Adeziv işlemlerdeki basamakları azaltmak, daha hızlı klinik sonuçlar almak ve teknik hataları en aza indirmek için 2000'li yılların başında asidik monomer, primer ve adeziv ajanın aynı şişede olduğu yedinci nesil self-etch adeziv sistemler geliştirilmiştir. "All in one" olarak da anılan yedinci nesil self-etch adezivler fosforik

asitten daha yüksek pH değerine sahip sulu asidik monomer çözeltisi içerir. Suyun amacı asidik monomerlerin iyonlaşmasına zemin sağlamaktır. Mine ve dentine etkili asitleme yapılabilmesi için asidik monomer konsantrasyonu artırılmıştır (61). Asiditenin artması için daha fazla suya ihtiyaç vardır fakat adezivin hidrofilikliği yarı geçirgen bir hibrit tabaka oluşturarak bağlantı arayüzündeki stabiliteyi bozmaktadır (62). Fazla suyun rezinin polimerleşmesine engel olduğu ve polimerize olmamış asidik monomerlerin asitleme yapmaya devam ettiği düşünülmektedir (63). Yedinci nesil self-etch adezivlerin içeriğindeki HEMA bileşenleri bir arada tutan ve faz ayrışmasını önleyen bir role sahiptir, fakat adezivin bağlanma kuvvetine ters etki yaratır (64). Sebep olduğu bazı yan etkiler yüksek hidrofiliklik, çapraz bağlarda azalma, düşük polimerizasyon derecesi olarak sayılabilir. HEMA'nın kullanılmadığı formülasyonlar daha fazla su içermesi nedeniyle, güçlü bir şekilde havayla suyun uzaklaştırılmasını gerektirir.

Polimerize olan adezivin su geçirgenliği dentinden bağlantı ara yüzüne doğru suyun hareket etmesine ve "water tree" (su ağacı) olarak adlandırılan su kabarcıkları oluşumuna neden olur. Bu kabarcıklar kompozit rezin ve dentin arasındaki bağlantıyı olumsuz etkiler (65).

Universal Adezivler

2012 yılında piyasaya sunulan universal adezivler restoratif diş hekimliğinde adeziv uygulamaları için geliştirilmiş multi-mod sistemlerdir (66, 67). Bu adezivler, hem etch-rinse hem de self-etch protokollerine uyum gösterebilmeleriyle bilinir. Etch-rinse veya self-etch uygulamaları dentine yeterli bağlanma sağlarken, mineye fosforik asit uygulaması sıklıkla önerilir. Selektif asit uygulama yönteminde mineye seçici olarak asit uygulanır ve yıkanır, dentine asit uygulanmaksızın self-etch modda universal adeziv uygulanır (68). Universal adezivler çoklu modlarda kullanılabilme özellikleri sayesinde klinisyenlere farklı uygulamalarda esneklik sunar.

Universal adezivler tamamen self-etch modda uygulandıklarında tek aşamalı self-etch adezivler olarak çalışır. Ne yazık ki, tek aşamalı self-etch adezivler iki aşamalı self-etch adezivlerle karşılaştırıldığında laboratuvar ve klinik çalışmalarda daha düşük performans göstermiştir (69).

Universal adezivlerin bileşimi, tek aşamalı self-etch adezivlere benzemesine rağmen, çoğu universal adezivde hidroksiapatitteki kalsiyumla iyonik bağlanma yeteneğine sahip, kendine has fosfat ve karboksilat monomerleri vardır. Bu monomerlerden biri olan 10-MDP (Metakriloloksietil dihidrojen fosfat), kullarımdaki çoğu universal adezivin içinde bulunmaktadır. 10-MDP monomeri mine ve dentinde kuvvetli bir dekalsifikasyon yapmaz ancak hidroksiapatiti hafifçe dekalsifiye ederek kalsiyum iyonlarının salınmasına, ardından da *nanolayering* formda, stabil MDP-Ca tuzlarının oluşmasına neden olur (70, 71).

13 yıllık klinik çalışmada, iki aşamalı Clearfil SE Bond'un klinik başarısı MDP monomerinin mine ve dentindeki kalsiyuma kimyasal bağlanmasıyla açıklanabilir. Bu çalışmaya göre kenar uyumsuzluklarına rağmen, mineyi önceden asitlemeden de MDP'nin mikromekanik tutunma ve kalsiyuma kimyasal bağlanması sonucu stabil bir bağlantı gözlenmiştir (72).

Bileşiminde 10-MDP olan ilk universal adeziv 2011'de piyasaya sürülmüştür (Scotchbond Universal, 3M ESPE, ABD) (73). Scotchbond Universal adezivi klinik ve laboratuvar çalışmalarında en sık incelenen universal adeziv olma özelliğine sahiptir. Ardından farklı üreticiler tarafından birçok universal adeziv geliştirilmiştir.

İn vitro çalışmalarda, dentine fosforik asit uygulanmaksızın universal adeziv uygulamasında yapay yaşlandırma sonrası stabil bir bağlantı gözlenmektedir. Minede ise durum farklı olup, universal adezivin bağlantısı fosforik asit uygulamasıyla geliştirilmektedir (74). Selektif asit uygulama işleminde yalnızca mine yüzeylerine fosforik asit uygulandığında mikromekanik tutunma ve kenar sızdırmazlığının yanında, MDP-Ca bağlantısına da olumlu katkı sağlanır.

Bazı çalışmalar, HEMA ve MDP aynı çözeltide bulunduğunda, HEMA'nın kısmi inhibe edici etkisinin MDP-Ca tuzlarından meydana gelen *nanolayering* oluşumunu engelleyebileceğine dikkat çeker (75). Bu sebeple geliştirilmiş MDP içeren, HEMA içermeyen universal adezivler piyasada mevcuttur (75).

Cam seramiklere veya kompozit rezinlere bağlanmada silanizasyon adımını atlamak amacıyla bazı universal adezivlerin formülasyonlarına silan

eklenebilmektedir (76, 77). Prosedürleri basitleştirmek adına adeziv formülasyonları karmaşık hale getirmek, yüksek çözücü içeriğinden kaynaklı çözücülerin yeterince buharlaşamaması, polimerizasyonda aksaklıklara neden olabilir (78).

2.4. Kompozit Rezin Restorasyonlarda Tamir

Kompozit rezin restoratif materyaller, estetik özellikleri, diş sert dokularına adezyonu, indirekt restorasyonlara kıyasla düşük maliyeti ve %1-4 yıllık başarısızlık oranıyla klinik ihtiyacı oldukça iyi karşılayabilen, günümüzde anterior ve posterior dişlerde en sık tercih edilen restoratif materyallerdir (79). Ağız ortamının zorlayıcı koşulları nedeniyle tüm dental restorasyonlarda olduğu gibi kompozit rezin restorasyonlarda da bozulma ve dejenerasyonlar gözlemlenir. Bozulma mekanizmaları aşınma, abrazyon, yorgunluk, enzimatik, hidrolitik veya sıcaklıkla ilgili bozulmalardan kaynaklanır (80). Kompozit rezin materyallerin özellikleri geliştirilmiş olsa da aşınma, renk değişimi, polimerizasyon büzülmesi ve mikro sızıntı gibi faktörler kompozit rezin restorasyonların ömrünü sınırlar (22). Kompozit rezin restorasyonların başarısız olmasının en yaygın nedenleri kırık, sekonder çürük ve kenar kusurlarıdır (11). Böyle bir durumda klinisyenin önüne iki seçenek gelir; ya eski restorasyonu tamamen kaldırarak yenilemek ya da tamir etmek.

Kusurlu bir restorasyonun tamamen değiştirilmesi, günlük klinik uygulamada en sık karşılaşılan işlemdir. Ancak bu yaklaşım, restorasyonun büyük bölümünün klinik ve radyografik olarak başarısızlık belirtisi göstermediği çoğu durumda, aşırı tedavi olarak kabul edilir. Restorasyonun tamamen kaldırılması, dişin zayıflamasına, sağlam diş dokusunun gereksiz yere uzaklaştırılmasına ve pulpanın zarar görmesine yol açar (19, 80, 81). Restorasyonun değiştirilme döngüsü daha büyük restorasyonlarla sonuçlanır ve nihayetinde diş yapısının zayıflamasına ve kaybına neden olabilir. Kompozit rezin restorasyonların tamiri yani restoratif materyalin kısmen değiştirilmesiyle restorasyonun ve/veya diş dokusunun bütünlüğü korunabilir.

Tamir, diş ve restorasyondaki yalnızca kusurlu kısımların uzaklaştırıldığı ve bu alanın yeni bir restoratif materyal ile restore edildiği minimal invaziv bir tedavi yöntemidir (82). Tamirin temel amacı diş yapısını korumak ve dişlerin kayıp

döngüsünü yavaşlatmaktır. Çoğu zaman anesteziye gerek olmaz, pulpaya ve yandaki dişlere hasar riski düşüktür. Klinikte geçen sürenin kısalmasıyla hastalar tedaviyi daha rahat tolere eder (83).

Restorasyona kusurlu teşhisi koymak ve tedavi yöntemine karar vermek için klinik ve radyografik incelemeler önemlidir. Direkt kompozit rezin restorasyonlarda sıklıkla görülen bozulma; klinik olarak teşhis edilen sekonder çürükler, kenar uyumu kusurları, kenarlarda renklenme, renk seçiminde hata, restorasyonun genel renklenmesi, restorasyonda kırılma ve aşınmalardır (84).

Kusurlu bir restorasyonda tedavi planlaması oldukça kritiktir. Restorasyonda lokalize bir veya birkaç kusurun varlığı restorasyonun tamamen değişmesi gerektiğine işaret etmez. Kırık nedeniyle oluşan hasarlar dışındaki çoğu kusur muhtemelen uzun sürede, yavaş gelişir, bu da klinisyene problemin nedenini ele alma ve kusuru düzeltmek için minimal invaziv yaklaşımla tedavi etme fırsatı tanır ve böylece restorasyonun ömrü uzar (84).

Kusurlu restorasyonla karşılaşıldığında ilk yapılması gereken işlem yeniden bitirme ve polisaj (refurbishment) olmalıdır. Bunlar, yeni bir restoratif materyal ilavesi yapılmadan, yalnızca polisaj ve adeziv ajanlarla düzensizliklerin giderilip yeniden şekillendirme yapılması, renk değişikliklerinin ortadan kaldırılması, yüzeyin pürüzsüzleştirilmesi ve küçük aralıkların örtülenmesi olarak sayılabilir. Tamir veya restorasyon yenilemesinden önce refurbishment yapılıp yapılamayacağı iyi değerlendirilmelidir (83).

2.4.1. Tamirin endikasyonları

Tamir aşağıdaki durumlarda endikedir (85) :

- Lokalize kenar açılmaları ve çukurlar
- Lokalize kenar renklenmeleri
- Sekonder çürüğün erken lezyonları
- Mevcut restorasyon ve diş yapısının ağızda kalmasını engellemeyen kırıklar
- Restorasyon kenarlarında oluşan chipping (küçük kırık, çatlak)

- Aşınma
- Kabul edilemez estetik
- Mevcut bir restorasyon üzerinden hazırlanan endodontik giriş kavitesinin restorasyonu

Sekonder Çürük

Restorasyon kenarındaki sekonder çürük, yeni bir başlangıç lezyonu olarak ele alınmalı ve müdahale edilmelidir. Yeni çürük belirtisi olan hastalarda ilk adım olarak koruma ve önleme tedbirleri alınmalı, eğer lezyon kaviteye oluşturmuşsa tedavi edilmelidir. Müdahale sırasında, restorasyonun çürüğe dair herhangi bir belirti göstermeyen bölümü, restorasyonun tamamen yeniden yapılmasına dair bir zorunluluk olmadıkça korunmalıdır (83, 86).

Kenar Uyumunun Bozulması ve Kenar Renklenmesi

Kenar uyumunun bozulduğu durumlar sekonder çürükle ilişkili olmayabilir, öncelikle bunu netleştirmek gerekir. Kusurlar belirgin değilse, “refurbishment” yeniden bitirme ve polisaj işlemleriyle düzeltiler. Posterior kompozit rezin restorasyonlarda hastanın hissedemediği kenar bozulmaları varsa, aktif çürük varlığını düşündürecek plak birikimi, yiyecek kalıntısı ve renk değişikliği gözlenene kadar tedaviyi ertelemek ve takip önerilir. Anterior kompozit rezin restorasyonlarda ise kenar bozulmaları ve renklenmeler, dış kaynaklı renklenmeye yatkın olduklarından daha karmaşıktır. İhtiyaç halinde yeniden bitirme ve polisaj işlemleri bu tarz renklenmelerin üstesinden gelmenin en iyi yoludur. Kompozit rezin restorasyonun ciddi şekilde renklendiği düşünülüyorsa en iyi estetik sonucu elde etmek için restorasyonun tamamen değiştirilmesi gerekebilir (83, 84).

Yüzeysel Renk Düzenlemeleri

Daha önce yapılan kompozit rezin restorasyon için yanlış bir renk tonu seçilmişse, bu durum farklı bir renk tonunda kompozit rezin restoratif materyal kullanılarak düzeltiler. Eski kompozit rezin restoratif materyalin markası biliniyorsa, yine aynı markanın uygun olan renk tonuyla işlem yapmak önerilir (83, 84).

Kütlesel Kırık

Bir kompozit rezin restorasyonda, yerleştirildikten hemen sonra kütlesel bir kırık görülmesi, aşırı oklüzal yükleme veya erken temaslar gibi genellikle altta yatan bir etiyolojik nedene işaret eder. Tekrar eden kütlesel kırıklar veya kalan diş yapısının potansiyel kırılmalarını önlemek için bu durum teşhis edilip problem çözülmelidir. Bir restorasyonda kütlesel kırık, birkaç yıllık klinik işlev gördükten sonra meydana gelirse, bu muhtemelen kompozit rezin materyal içindeki stres yorgunluğunun bir sonucudur. Eğer kütlesel kırık, mevcut restorasyonun yarısından daha azını kapsıyorsa tamir uygulanabilir, ancak restorasyonun geriye kalan kısmı detaylıca incelenmelidir (86-88).

Restorasyonun Aşınması

Kompozit rezin restorasyonun aşınması, pasif erüpsiyon, karşıt dişlerin aşırı erüpsiyonu veya komşu dişlerin eğilmeleriyle gözlemlenebilir, bu nedenle durum dikkatlice değerlendirilmelidir. Restorasyondaki aşınma, oklüzal yüzeyde sınırlı nitelikteyse ve tamir için ek bir tabaka yerleştirmek için yeterli alana sahipse, aşınmış oklüzal yüzey onarılabilir. Proksimal yüzeyde meydana gelen bir aşınmada restorasyonun anatomik formunu yeniden elde etmek için yeterli alan yoksa, restorasyonun yeniden yapılması düşünülmelidir (83, 87, 88).

2.4.2. Tamirin kontrendikasyonları

Aşağıdaki durumlarda restorasyonun tamiri önerilmez (83, 84):

- Hastanın tedaviyi reddetmesi
- Diş muayeneleri düzensiz hastalar
- Çürük açısından yüksek risk taşıyan hastalar
- Mevcut kompozit rezin restorasyonun yarısından fazlasını zayıflatan geniş çürük varlığı
- Geçmişte yapılmış ve başarısız olmuş tamir.

2.4.3. Tamirde kanıta dayalı başarı

Uzun dönemli birçok klinik çalışmada, tamirin, restorasyonun ve dişin ömrünü uzattığına dair görüşler bildirilmiştir (89-92). Ayrıca tamir, restorasyonun tamamen değiştirilip yenilendiği tedavilere nazaran daha ekonomik, daha kısa sürede yapılan ve komplikasyon riski daha düşük bir tedavidir. Klinik çalışmalardan elde edilen veriler, düşük ve orta çürük riskine sahip hastalarda marjinal kusur ve sekonder çürükler açısından tamir yapılan ve tamamen değiştirilen restorasyonların benzer sağ kalım süreleri gösterdiğini ve restorasyonların çoğunun 3, 7, 10 ve 12 yıllık sonuçlarının klinik açıdan tatmin edici olduğunu belirtmektedir (90, 91, 93, 94). Klinik prospektif bir çalışma, tamir uygulanan dişlerin, bir yıllık klinik gözlem boyunca tamamen değiştirilip yenilenen restorasyonlara göre endodontik tedavi ve çekime daha az ihtiyaç duyduğunu bulmuştur (95). Uzun dönem uygulamalı bir klinik çalışma tamirin, anterior dişlerin sınıf 3, sınıf 4 ve direkt kompozit veneer restorasyonlarının ömrünü uzatma kapasitesine sahip olduğunu bildirmiştir (96).

2.5. Yaşlandırma Yöntemleri

Ağız içi faktörler, dental materyallerin performansını etkileyerek erken dönemde olumsuz sonuçlara neden olabilir. Dental tedavilerin daha uzun sürelerde dayanıklı kalabilmesi için ağız içi koşullardan etkilenmemesi esastır. Kompozit rezin restorasyonlara ilginin artmasıyla, bu materyallerin ağız içinde nasıl tepki verdiğine yönelik incelemeler artmıştır (97).

Ağız ortamındaki tükürükten kaynaklı sürekli nem, kompozit rezin restorasyonların performansını doğrudan etkileyebilir. Günlük aktiviteler sırasında, restorasyonların sıcaklık değişikliklerine maruz kalması, materyalde kalıcı bozulmalara yol açabilir. Bahsi geçen bozulma süreçleri aşınma, yorgunluk ya da enzimatik, hidrolitik ve asidik etkileşim gibi kimyasal bozulma veya ısısal şok gibi mekanizmaları içeren karmaşık bir süreçtir (98). Bu durum, ağız koşullarının kompozit rezin materyallerin özelliklerine etkisiyle alakalı çeşitli araştırmalar yapılmasını sağlamıştır.

Laboratuvar ortamında yapılan testlerde restorasyon materyallerinin yaşlanma süreçleri, gerçek ağız koşullarını taklit etmeyi hedefler. Yaşlandırma işlemleri,

mekanik, termal veya kimyasal yöntemlerle ya da bu yöntemlerin kombinasyonlarıyla gerçekleştirilir (99). Uygulanan sıcaklık ve maruz kalma süresi materyalin bozulma oranını etkileyen en önemli unsurdur (97, 100). Literatürdeki araştırmaların yaşlandırma süreleri geniş bir yelpazede değişkenlik göstermektedir (97). Dental materyallerin tepkilerini anlamak için, gerçek ağız koşullarını taklit eden farklı yaşlandırma metotlarına başvurulmuştur (17, 101-103).

2.5.1. Suda saklama ile yaşlandırma

Suda saklama ile yaşlandırma, ağız içindeki nemli ortamın laboratuvar şartlarında taklit edilmesi amacıyla kullanılır. Sıklıkla materyaller 37 °C sıcaklıkta distile ya da deiyonize suda belirli bir süre boyunca bekletilir (102). Bu süre genellikle bir haftadan bir yıla kadar değişiklik gösterebilir. Kısa süreli saklamalar sonrasında bile rezin ve kollajen yapısında meydana gelen hidrolitik bozunmalardan kaynaklı, materyalin bağlanma dayanıklılığında kayda değer azalmalar gözlemlenmiştir (104).

Klinik şartları daha gerçekçi bir şekilde taklit etmek için bazı çalışmalarda yapay tükürük çözeltileri de kullanılmaktadır (105, 106). Saklama çözeltilerine ağız içerisindeki bakteriler tarafından üretilen ve rezin bileşenlerinin ayrışmasını hızlandıran esterazlar gibi spesifik enzimler eklenmektedir (107).

2.5.2. Suda kaynatma ile yaşlandırma

Suda kaynatma, kompozit rezin materyallerin, termal ve hidrolitik bozulmasını hızlandırmak için farklı sürelerde 100 °C distile suda kaynatılarak yaşlandırılması işlemidir. Suda kaynatma yaşlandırma işlemini hızlandıran bir yöntem olarak bilinmektedir (22).

2.5.3. pH siklusu ile yaşlandırma

Ağız içindeki pH değeri, dentin sıvısındaki asidik ögelere, mikrobiyal aktiviteye, tükürük özelliklerine, beslenme alışkanlıklarına göre dalgalanmalar gösterir. Asit ve baz uygulamaları, pH dalgalanmalarını taklit etmeyi ve değişimlerinin bağlantı arayüzündeki etkileşimi incelemeyi amaçlar (108). Bu testte, restorasyon materyalleri öncelikle belirli bir pH seviyesinde asit solüsyonuna daldırılır ve

ardından tampon (baz) solüsyonunda belirli bir süre bekletilir. Bu işlem tekrarlanarak materyal belirli sayıda döngüden geçirilir. Bu döngüler, materyalin kimyasal ve mekanik özelliklerinde değişikliklere neden olabilir ve dayanıklılık, mikrosızıntı ve renk stabilitesi gibi parametreler test edilir (109).

2.5.4. Mekanik oklüzal yükleme ile yaşlandırma

Dişler ısırma, çiğneme, brüksizm gibi doğal ve parafonksiyonel eylemler sırasında sürekli olarak belirli bir baskı altındadır. Çiğneme esnasında karşılıklı dişler üzerinde oluşan dikey kuvvetler dişin oklüzal yüzeylerine dağılır ve bu durum uzun vadede adeziv yüzeylerin bütünlüğünü ve bağlantı dayanımını tehdit eder. Laboratuvar ortamında bu gerçek koşulları taklit etmek için, gerçek çiğneme hareketlerine benzer bir basınç uygulamak gerekir. Çiğneme simülatörleri bu amacı gerçekleştirmek için geliştirilmiştir (103, 110). Örnek materyale belirli bir ritimle statik ya da dinamik kuvvetler uygulanarak yaşlanma deneyleri gerçekleştirilir.

2.5.5. Hızlandırılmış yapay yaşlandırma

Restoratif malzemelerin UV ışınlarına, nem ve ani sıcaklık değişimlerine maruz bırakıldığı yaşlandırma metodudur (111). Deneylerin yüksek sıcaklıklarda yapılması yaşlandırma işlemi hızlandırmaktadır. UV ışığı ile yapılan testlerde Zenon ark lambaları gibi ışık kaynakları kullanılır. UV ışığının kısa dalga boylarındaki yüksek enerjisi kimyasal bağların bozulmasına neden olabilir. Işıkla polimerize olan rezin esaslı materyaller, formülasyonundaki tersiyer amin grupları nedeniyle, UV ışığının oksidatif etkisine maruz kaldığında daha hızlı renk değiştirebilir (112, 113). Bu nedenle hızlandırılmış yapay yaşlandırma testleri genellikle renk değişikliklerini değerlendirmek için kullanılır.

2.5.6. Isısal döngü ile yaşlandırma

Günümüzde en sık kullanılan yaşlandırma metodudur (17, 114, 115). Bu metot, restoratif materyallerin doğal ağız ortamındaki yaşlanma serüvenlerini taklit etmek amacıyla uygulanır. Ağız içi koşulların uyarlaması olan sürekli sıcaklık değişimleri, sıcak ve soğuk su banyolarıyla gerçekleştirilir (17, 100). Bu döngünün sonucunda, rezinle diş arasında oluşan adeziv bağın dayanıklılığı, ısısal şoklara bağlı olarak

azalabilir (42, 116). Isısal etkiler, restorasyon sınırlarının bütünlüğünün bozulması, mikro sızıntı, renk değişikliği, hassasiyet ve pulpa patolojileri ile sonuçlanabilir (17). Isısal döngü nedeniyle oluşan genleşme ve büzülme, diş ve restoratif materyal arasında hasara neden olabilecek streslere yol açabilir (117).

Isısal döngü testlerinde kullanılan sıcaklık, süre ve döngü sayısı gibi parametreler üzerinde evrensel bir standart olmadığı için farklı çalışmalardan gelen sonuçlar karşılaştırılamayabilir. Bu metot, restoratif materyallerin yaşlanmasını değerlendirmek için değerli bir araç olmasına rağmen, kullanılan protokollerin standardizasyonu konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Isısal döngüyle yaşlandırma işleminde sıcaklık, bekleme süresi ve döngü sayısı gibi üç temel değişken, elde edilen sonuçların kalitesi üzerinde kritik bir rol oynamaktadır (17).

Ağız içindeki sıcaklık değişimleri oldukça hızlı ve sürekli gerçekleşir, bu değişimleri in vitro koşullarda tam olarak taklit etmek zorlayıcıdır (17). Araştırmalar, farklı sıcaklık değerleri ve süreleri kullanmış olsa da, genellikle 5-55 °C arasındaki sıcaklık değerlerinin, ağız ortamının fizyolojisini yaklaşık olarak yansıttığı kabul edilir (118). Isısal döngü kullanılarak gerçekleştirilen yapay yaşlandırma yönteminde, sıcaklık esas olarak iki temel etki yoluyla kendini gösterir. Yüksek sıcaklıklar, kolajenin hidrolizini teşvik ederken, yetersiz polimerleşmiş rezin yapılarını ortadan kaldırabilir. İkinci olarak, restoratif materyallerin diş dokusuyla karşılaştırıldığında farklı termal genleşme ve büzülme hareketleriyle strese neden olur, bu stresler bağlantı bölgelerinde çatlak oluşumuna yol açabilir. Sonuç olarak bu çatlaklar, patojenlerin ve diğer sıvıların infiltrasyonuna imkan tanıyarak restoratif materyallerin uzun vadeli başarısını tehlikeye atabilir (17).

Bekleme süresi, örneklerin sıcaklık değişikliklerine maruz kaldıkları su tanklarında ne kadar süre kaldığını belirtir. Bu süre, sıcak veya soğuk gıdalardan sonra doğal sıcaklık dengesine ne kadar sürede döndüğünü simüle etmek için belirlenir. Ancak birçok araştırmada bekleme sürelerinin neye dayanarak seçildiği net değildir ve araştırma sonuçları üzerindeki spesifik etkisi henüz netlik kazanmamıştır.

Ağız ortamındaki gerçek yaşlanma sürecini simüle eden ısısal döngü sayısını doğru bir şekilde belirlemek oldukça zordur. Literatür incelendiğinde, ağız ortamında bir yıllık gerçek yaşlanmanın yaklaşık 10,000 ısısal döngüyle simüle edilebileceği görülmektedir (17, 119, 120). Yaşlandırma sürecini doğru bir şekilde yansıtmak için en az 500 ısısal döngü uygulaması yapılması gerektiği bildirilmiştir. Bu değer üzerine çıkıldığında, bağlanma dayanımında ciddi azalmalar olduğu tespit edilmiştir (121).

2.6. Bağlanma Dayanımı Testleri

Son yıllarda diş hekimliğinde adeziv teknolojisi hızla ilerlemiştir. Üreticiler daha kolay kullanım, geliştirilmiş adeziv bileşimi ve diş yapısına daha güçlü bağlanma özellikleriyle yeni adeziv sistemlerini piyasaya sürmektedirler. Bu sistemlerin vaatlerinin gerçekliğini tartmak ve bağlanma kapasitelerini ölçmek amacıyla bağlanma dayanımı testleri uygulanmaktadır (121). Bağlanma dayanımı, klinik değerlendirme ya da in vitro testlerle incelenir.

Bağlanma dayanımı testleri makaslama ve gerilim bağlanma dayanımı testleri olarak ikiye ayrılır. Makaslama bağlanma dayanımı testinde birbirine adezyonla bağlanan iki materyalin bağlantı arayüzüne sıfır noktasından kırılma oluşana kadar makaslama kuvveti uygulanır. Gerilim bağlanma dayanımı testinde ise birbirine adezyonla bağlanan iki materyalin her iki ucundan kopma oluşana kadar gerilim kuvveti uygulanır. Bağlanma yüzeyinin 3 mm² den geniş olduğu durumlarda makro bağlanma dayanımı testi, bağlanma yüzeyinin yaklaşık 1 mm² veya daha küçük olduğu durumlarda mikro bağlanma dayanımı testleri tercih edilir (121).

2.6.1. Makro makaslama bağlanma dayanımı testi

Makro makaslama bağlanma dayanımı testi, yeni adeziv teknolojilerinin bağlanma kapasitesini ölçmek için sıklıkla başvurulmuş bir yöntemdir. 1965 yılında Bowen'in öncülük ettiği bu yöntem, materyalin makaslama kuvvetlerine karşı dayanıklılığını belirlemeyi amaçlar. Bir adeziv ile birbirine bağlanan iki farklı malzeme kırılma oluşuncaya kadar stres altında tutulur. Testin kolaylıkla tekrar edilebilmesi, düşük teknik hassasiyeti ve hızlı sonuç vermesi avantajlarıdır. Yeni adeziv sistemlerde

sıkça gözlemlenen koheziv kırıklar, test sonuçlarının yanıltıcı olmasına sebep olabilir.

Test sırasında belirli bir yüzey alanına kuvvet uygulanır ve bu kuvvet, materyalin kırılma noktasına kadar artar. Bu noktada maksimum kuvvet değeri N (Newton) cinsinden kaydedilir. Bu kuvvet, belirli yüzey alanına bölünerek, ara yüzey bağlanma dayanımını MPa (Mega Pascal) cinsinden belirtir. Test esnasında kuvvetin belirli alana uygun şekilde uygulanması ve örneklerin konumunun korunması gibi noktalara dikkat edilmesi gerekir (121).

2.6.2. Mikro makaslama bağlanma dayanımı testi

Dişin küçük bölgelerini test etmeye yarayan mikro makaslama bağlanma dayanımı testi 2002 yılında kullanılmaya başlanmıştır (121). Makaslama bağlanma dayanımı testi, bağlanan yüzey alanının 3 mm^2 'yi geçmediği durumlarda mikro makaslama bağlanma dayanımı testi olarak adlandırılır (122).

Bir dişten birden fazla numune hazırlanabilmesi, bir diş için ortalama bir değerin hesaplanabilmesi, düzensiz yüzeylere sahip numunelerin test edilebilmesi ve numunelerin deneylerden sonra elektron mikroskobunda daha kolay bir şekilde incelenebilmesi gibi avantajları vardır (123).

Kompozit rezin materyali yerleştirmek için kalıp kullanılması makaslama kuvvetleri sırasında hataların ve düzensiz stres dağılımlarının ortaya çıkmasına neden olabilir (124).

Mikro makaslama bağlanma dayanımı testi, cam iyonomer ve mine gibi mikro gerilim bağlanma dayanımı testi için kırılma olan materyalleri test etmede kullanılır (121).

2.6.3. Makro gerilim bağlanma dayanımı testi

Makro gerilim bağlanma dayanımı testi oldukça az kullanılan bir testtir ve genellikle simanların, seramik ve metal alaşımları gibi diğer sert materyallere bağlanma dayanımlarını test etmek için kullanılır.

Gerilim bağlanma dayanımı testlerinde, stres dağılımı makaslama bağlanma dayanımı testlerine göre daha düzenli olduğu kabul edildiği için, gerilim bağlanma dayanımı testi bağ kopmasını başlatan stres seviyesini daha net bir şekilde tahmin etmeyi sağlar (125).

Makro gerilim bağlanma dayanımı testinde yük iki uca uygulanır. Bağlanan örneklerin arayüzlerinin kuvvet eksenine dik olarak yerleştirilmesi farklı eksenlerden kaynaklanacak bükülmeleri önlemek adına önemlidir. Bu nedenle örnekler her iki uçtan aktif veya pasif olacak şekilde test cihazına bağlanmalıdır (121).

2.6.4. Mikro gerilim bağlanma dayanımı testi

Griffith'ün kusur teorisine göre, homojen malzemeleri çekme testinde, örnek boyutu arttıkça malzemenin gerilme dayanımı azalır. Bu yargı, daha büyük bir örneğin daha küçük örneklerle kıyasla daha fazla kusur içermesinden kaynaklanabilir. Bağlantı yüzeylerindeki homojenliğin artırılması, bir diğten birden fazla örnek elde edilmesi, bağlantı arayüzündeki streslerin doğru dağılımının sağlanması için 1994 yılında mikro gerilim bağlanma dayanımı testleri geliştirilmiştir (126). Örnekler makro gerilim bağlanma dayanımı testlerinde olduğu gibi siyanoakrilatla yapıştırılır ya da pasif veya aktif şekilde test cihazına tutturulur. Bu testin en büyük avantajı, koheziv başarısızlıkları azaltarak adeziv başarısızlıkların daha iyi değerlendirilebilmesini sağlamasıdır (121).

2.7. Yüzey Hazırlama Yöntemleri

Başarılı bir tamir için eski restorasyon ile yeni tamir kompozit rezin materyal arasında dayanıklı bir bağlantı kurulması şarttır. Yüzeylerin yeterli şekilde hazırlanması, adeziv rezin ve restoratif materyalin seçimi bu bağlamda oldukça önemli olmaktadır. Eski ve yaşlanmış restorasyonlara yeterli bağlantı sağlamak için yüzey hazırlığı yapılırken, makromekanik veya mikromekanik retansiyon ve kimyasal bağlanmaya ihtiyaç vardır. Makromekanik retansiyon, retansiyon olukları ve andırkatlar oluşturarak veya yüzeyi basitçe kalın grenli elmas frezlerle pürüzlendirerek elde edilebilirken, mikromekanik retansiyon asit uygulama (örneğin fosforik asit veya hidroflorik asit), alüminyum oksit partikülleriyle air abrazyon veya

silika ile kaplanmış alüminyum oksit partikülleriyle air abrazyon yöntemleri ile elde edilebilir. Ayrıca, silan bağlayıcı ajanlar gibi özel primerler uygulanarak rezinle inorganik doldurucu partikülleri arasında kimyasal bağlar kurulabilir (14).

2.7.1. Asitle pürüzlendirme

1960'lı yıllardan beri asit uygulama tekniğini iyileştirmek için farklı türde asitlerin, değişen konsantrasyonlar ve farklı asit uygulama sürelerinde incelemeleri devam etmektedir. Fosforik asidin, hidroflorik asit ve hidroklorik asit gibi asitlerle kıyaslandığında, adeziv materyallerin mineye bağlantısının artırılmasında en etkili asit olduğu bilinir. İn vitro olarak %30'dan daha düşük fosforik asit konsantrasyonlarının mineye bağlantıda yetersiz kaldığı bildirilmektedir (127).

Tamirde kompozit rezin restorasyon yüzeylerine asit uygulaması, genellikle fosforik asit veya hidroflorik asit ile gerçekleştirilir. Fosforik asit, mine ve dentin üzerinde etkilidir ancak kompozit rezin, seramik ve metallerin yüzey özellikleri üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Bununla birlikte, asit uygulamanın yüzeyler üzerinde temizleyici ve yağ giderici bir özelliği olduğundan, tamirden sonra retansiyon üzerinde olumlu bir etkisi vardır (14, 128).

Mevcut yüzey hazırlama yöntemleri arasında klinikte en basit uygulanabilen ve klinisyenler tarafından sıklıkla tercih edilen yöntem fosforik asit uygulama ve/veya elmas frezle pürüzlendirmedir. Asitlemenin etkinliği kompozit rezinin organik ve inorganik içeriğine bağlıdır ve bu etki genellikle yüzeyde oluşan kalıntıların temizlenmesi ile ilişkilendirilir (129). Çalışmaların çoğu, fosforik asidin kompozit rezin materyalin tamir bağlanma sürecindeki etkisini, kalıntı ve tozların temizlenmesi ve yüzey alanını artırmasıyla sınırlandırmıştır (130).

2.7.2. Air abrazyon

Air abrazyon, 1940'lerden itibaren kavite hazırlama, çürük uzaklaştırma, lekelerin uzaklaştırılması, tribokimyasal kaplama, polisaj ve pürüzlendirme gibi bazı klinik uygulamalarda kullanılan bir prosedürdür (131, 132). Air abrazyon, küçük bir odaktan partikül akışını yüksek hava basıncı altında bir yüzeye yönlendirme olarak ifade edilir. Bu partiküller amaçlanan hedefe bağlı olarak sodyum bikarbonat, glisin,

alüminyum oksit olabilir (132). Alüminyum oksit ağız içinde kullanılan en aşındırıcı partiküldür (133). Partiküller diş dokularına yüksek hızda çarpar ve küçük miktar aşındırma yapar. Bu işlemin verimliliği aşındırılan doku veya malzemenin sertliğine ve air abrazyon cihazının parametrelerine göre değişebilir. Partikül boyutu, basınç, uygulama süresi klinik duruma bağlı değişebilir ve aşındırma işleminin sonucunu etkiler.

Sodyum bikarbonat partikülleri genellikle polisaj amaçlı kullanılırken alüminyum oksit partikülleri, cam seramik, oksit seramik ve kompozit rezinler gibi restoratif materyallerin mikro mekanik tutunmasını artırma amaçlı yüzey hazırlama yöntemi olarak kullanılır (132). Burada maksat, adeziv materyallerin bağlanacağı mikro mekanik bağlantı yüzeylerini artırmaktır. Sınırlı sayıda klinik çalışma olmasına rağmen klinik uygulamalarda alüminyum oksit kumlama, indirekt restorasyonların adeziv simantasyonundan önce temizleme ve yüzey hazırlama işlemi olarak ve kompozit rezin restorasyonlar öncesinde yüzey işlemi olarak kullanıldığı bildirilmiştir (132).

Vaat veren sonuçlar göstermesine rağmen air abrazyon cihazıyla hazırlanmış bir kavitenin sınırları net olmadığı için eski uygulamalarda (amalgam, altın) kavite hazırlığında yeterli bulunmamıştır ve ağız içerisinde çalışıldığında kumlama işleminden kaynaklanan tozun tahliyesi diğer bir engeldir (134). Günümüzde air abrazyonun temel konsepti aynı kalmış olmasına rağmen, adezyon teknolojileri, restoratif materyallerdeki yenilikler ve yüksek kapasiteli emiciler sayesinde air abrazyon kavramı yeniden gündeme gelmiştir (134). Rubber-dam ve yüksek kapasiteli emici cihazlar ile izolasyonun sağlanması da toz partikülleri konusundaki endişeleri azaltmıştır. Air abrazyon cihazının geleneksel döner aletlere kıyasla daha az gürültü ve titreşime neden olması da diğer avantajıdır (134).

Air abrazyon cihazında hava basıncı genellikle 40-160 psi arasında değişir. Önerilen kesme işlemi için 100 psi, yüzey pürüzlendirme için 80 psidir. En sık kullanılan partikül boyutu 27 µm veya 50 µm çapındadır. Daha büyük partiküller hızlı çalışmaya imkan verirken daha büyük çukurcuklarla sonuçlanır. Daha hızlı partikül akışı, daha fazla partikülün çalışma yüzeyini daha hızlı abrazyona uğratmasına izin verecektir. Aşındırıcı partiküllerin yüzeye çarptığında sahip olduğu hız, basınca, odağın çapına,

parçacık boyutuna ve yüzeye olan mesafeye bağlıdır. Diş dokusu üzerinde tipik çalışma mesafesi 0.5 ile 2 mm arasında değişir. Daha uzak mesafelerde çalışmak, kumlamanın etkinliğini geniş bir alana dağıtarak kesme yeteneğinin azalmasına neden olur. Air abrazyon cihazlarında uç eğimleri ve odak çaplarında farklılıklar mevcuttur. Daha küçük odak çapları, erişimi zor bölgeler için kullanılabilir. Çeşitli uç eğimleri, tutucu parçanın kolayca yerleştirilmesine ve yönlendirilmesine olanak tanır, böylece operatörün eline olan yükü azaltır (134).

Restorasyonun tamiri gerektiğinde intraoral air abrazyon cihazları genellikle 2-3 barlık basınçlarda kullanılmaktadır. Yüzeyi hazırlanacak restoratif materyal metal, seramik, amalgam veya kompozit rezin olabilir. Temiz ve pürüzlendirilmiş bir yüzey elde etmek için yaklaşık 10 mm mesafeden 10 saniye boyunca uygulama yapmak gerekir. Aşındırıcı partiküller 30 ile 50 µm büyüklüğünde alümina partikülleri veya silikon dioksitle kaplanmış alümina partiküllerinden oluşur (132).

2.7.3. Silan bağlayıcı ajanlar

Air abrazyon cihazıyla kumlama sonrası, özel primerler veya monomerler kullanılarak yüzeylerin kimyasal bağlanması sağlanabilir. En yaygın primer, inorganik doldurucu partiküllerini kimyasal olarak rezin matriksine bağlamak için kompozit rezin yapısında kullanılan bir silan bağlayıcı ajandır. Diş hekimliğinde genellikle fonksiyonel molekül olan 3-metakriloksiproltrimetoksisilan (3-MPS) kullanılır. 3-MPS silanları bir uçta adeziv rezin ve kompozit rezinle reaksiyona girebilen metakrilat grubunu içerir, diğer uçta da air abrazyonla kumllanmış veya asit uygulanmış yüzeylerde bulunan alümina ve/veya silika ile siloksan bağları oluşturabilen reaktif silanol grubunu içerir (14).

Hidrolize edilmiş ve hidrolize edilmemiş iki tür silan bağlayıcı ajan bulunmaktadır. Hidrolize silanlar doğrudan kullanıma hazırdır, adezivden önce uygulanır veya alternatif olarak universal adezivlere dahil edilir (25). Hidrolize edilmemiş silanlar öncelikle bir asitle aktive edilmelidir, asit genellikle primer veya adeziv rezinde bulunan 10-MDP gibi asidik bir monomerdur, adeziv sisteme bağlı olarak silan bağlayıcı ajan primerla veya adeziv rezinle karıştırılmalıdır. İn vitro çalışmalar silan bağlayıcı ajanların kullanımının, silan kullanılmayan durumlarla karşılaştırıldığında

kompozit rezin veya seramiklerin tamirinde önemli pozitif etkiler ortaya koyduğunu göstermektedir (14, 135).

Hidrolize silan çözeltileri, nispeten daha kısa raf ömrüne sahiptir ve zamanla reaktivitesini kaybederek ideal bağlanmayı engelleyebilir. Bu nedenle silan içeren universal bir adeziv kullanımı, kompozit rezinlerin tamirinde silan uygulama aşamasını ortadan kaldırıp kaldırmayacağı merak konusudur (25).

Mendes ve ark. (77) yaptığı bir çalışmada, kompozit rezinlerin tamir bağ kuvvetleri üzerinde, silan içeren universal adezivden önce hidrolize edilmemiş silan uygulamasının etkisini araştırmış, silan içeren universal adezivden önce hidrolize edilmemiş silan kullanımının eski ve yeni kompozit rezin materyaller arasındaki tamir bağ kuvvetlerini artırdığını belirtmiştir.

Bu çalışmanın amacı, nanohibrit kompozit rezin restoratif materyale, universal adeziv sistemin farklı modları kullanılarak tamirinde, farklı ısısal yapay yaşlandırma sürelerinin ve farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin mikro makaslama bağlanma dayanımı (μ MBD) üzerine etkisinin değerlendirilmesidir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu in vitro çalışmada, kompozit rezin restorasyonların tamirinde farklı yaşlandırma sürelerinin ve farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin μ MBD'ına etkisi ve kırılma tipi analizleri Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi.

3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller

Çalışmada kullanılan materyaller Çizelge 3.1 ve Resim 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan materyaller

Materyaller	Materyal Tipi	İçerikler	Üretici Firma
Clearfil Majesty ES-2 Classic	Nanohibrit Kompozit Rezin	Bis-GMA, Hidrofobik aromatik dimetakrilat, Silanize baryum cam doldurucu, Pre-polimerize organik doldurucular, dl-Kamforokinon	Kuraray Noritake Dental Inc., Japonya LOT C80116
Clearfil S3 Bond Universal	Universal Adeziv	MDP, Bis-GMA, HEMA, Hidrofilik alifatik dimetakrilat, Kolloidal silika, Silan bağlayıcı ajan, dl-Kamforokinon, Etanol, Su	Kuraray Noritake Dental Inc., Japonya LOT 000041
K- Etchant Syringe	Fosforik Asit	%35 fosforik asit sulu çözeltisi, kolloidal silika	Kuraray Noritake Dental Inc., Japonya LOT 420138
Rondoflex Sand	Aluminyum Oksit Kum	Al_2O_3 partikülleri; partikül boyutu 50 μm	Kavo Dental, Almanya



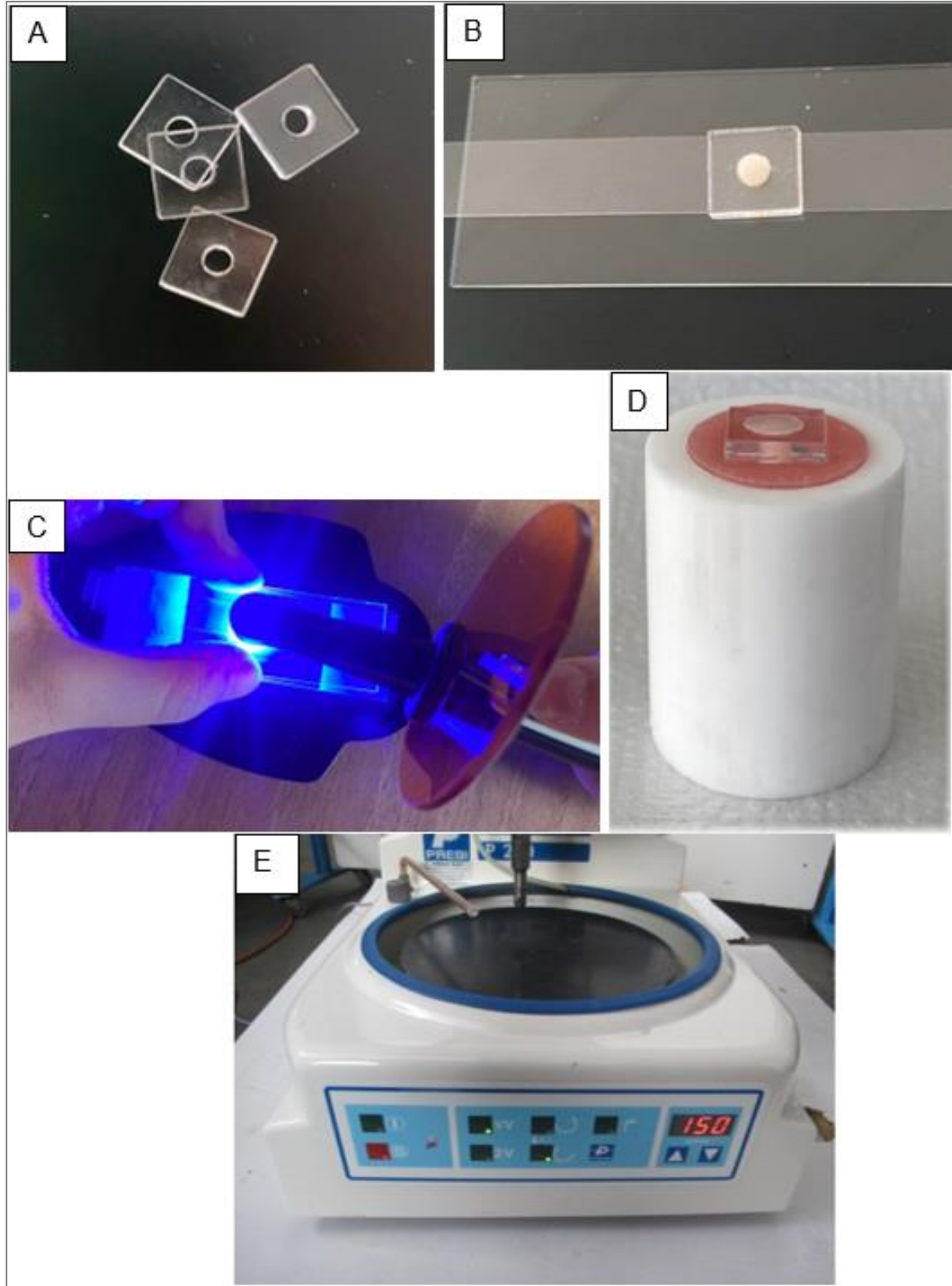
Resim 3.1. A- Nanohibrit kompozit rezin restoratif materyal, Clearfil Majesty ES-2, B- Universal Adeziv, Clearfil S-3 Bond, C- %35 Fosforik Asit Jel, K-Etchant Syringe, D- 50 µm Alüminyum Oksit Kum, E- Kumlama Cihazı, Rondoflex plus 360

3.2. Örneklerin Hazırlanması

Çalışmada, 120 adet test örneği 3x2 mm ebatlarında pleksi cam kalıplar yardımı ile A-2 renginde nanohibrit kompozit rezin materyal (Clearfil Majesty ES-2) kullanılarak hazırlandı (Resim 3.2-A). Siman camı üzerine şeffaf bant ve pleksi cam kalıplar yerleştirildikten sonra pleksi cam kalıplar içerisine tek tabaka halinde nano hibrit kompozit rezin materyal ağız spatülü yardımı ile yerleştirildi. Daha sonra nanohibrit

kompozit rezin materyal üzerine şeffaf bant ve siman camı yerleştirilip, fazla materyalin uzaklaştırılması ve tabanın düzleştirilmesi için hafifçe parmak basıncı uygulandı (Resim 3.2-B). Örnekler ışık yoğunluğu 1400 mW/cm^2 olan LED ışık cihazı (VALO Cordless, Ultradent, ABD) kullanılarak 20 sn süre ile polimerize edildi (Resim 3.2-C). Daha sonra her örnek akrilik blokların içine üst yüzeyleri açıkta kalacak şekilde gömüldü (Resim 3.2-D). Örneklerin açıkta kalan üst yüzeyleri su soğutması altında 60 saniye süre ile 1200 gritlik silikon karbit kağıtla zımparalandı (PRESİ, Mecapol, P230, Fransa).

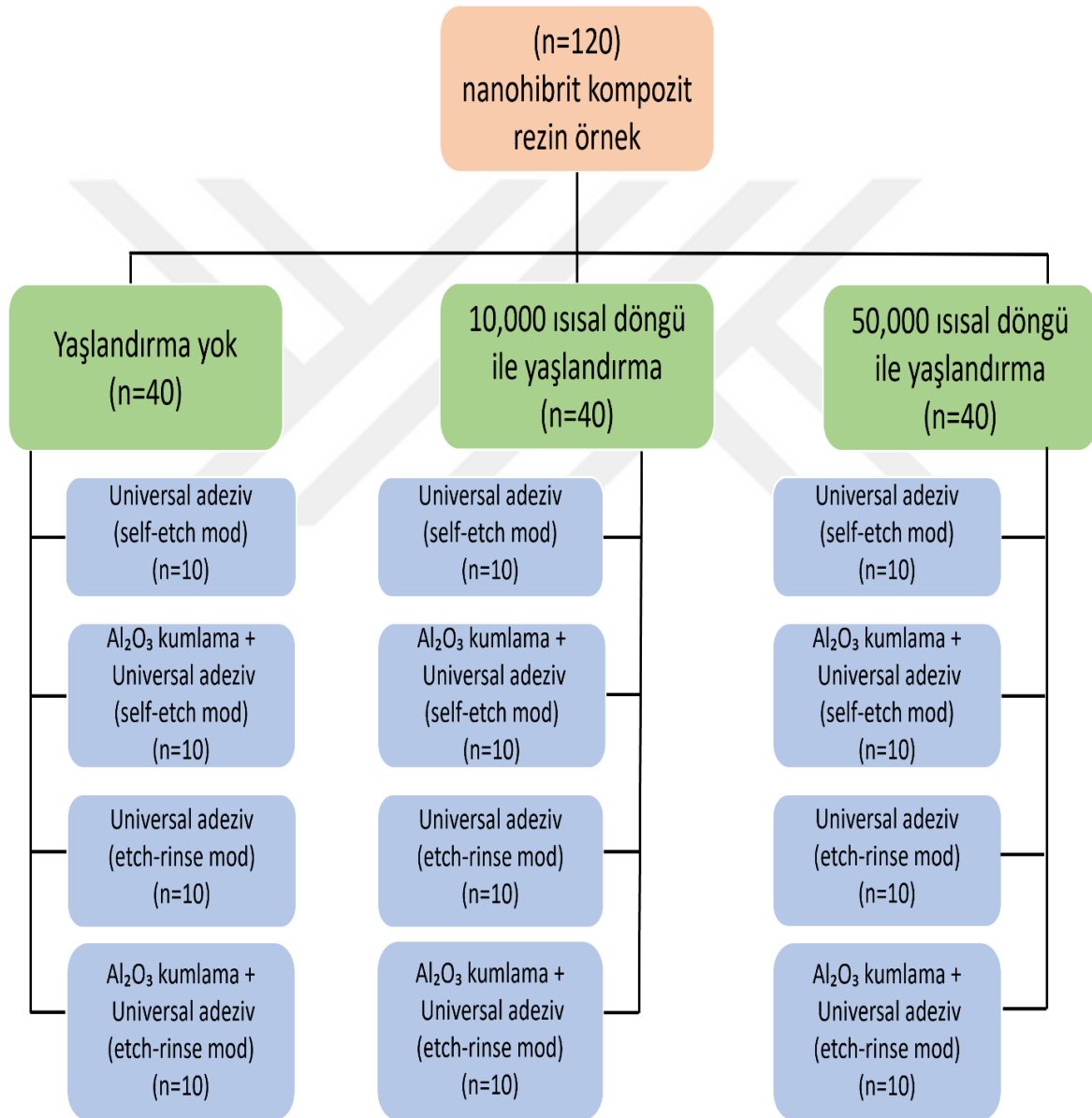




Resim 3.2. A-örneklerin yapımında kullanılan pleksi kalıplar, B- pleksi kalıplara kompozit rezin restoratif materyalin yerleştirilmesi, C- kompozit rezin test örneklerinin ışık cihazıyla polimerize edilmesi, D- pleksi kalıp içindeki kompozit rezin test örneklerinin akrilik bloklara gömülmesi, E- su soğutmalı zımpara cihazı

3.3. Çalışma Grupları

Çalışmada toplam 120 adet test örneği hazırlandı. Hazırlanan örnekler farklı yaşlandırma prosedürlerine tabi tutulmak üzere her grupta 40 örnek olacak şekilde rastgele üç ana gruba, üç ana grupta adeziv uygulama modu ve yüzey hazırlama yöntemine göre 4 alt gruba ayrıldı (Şekil-3.1).



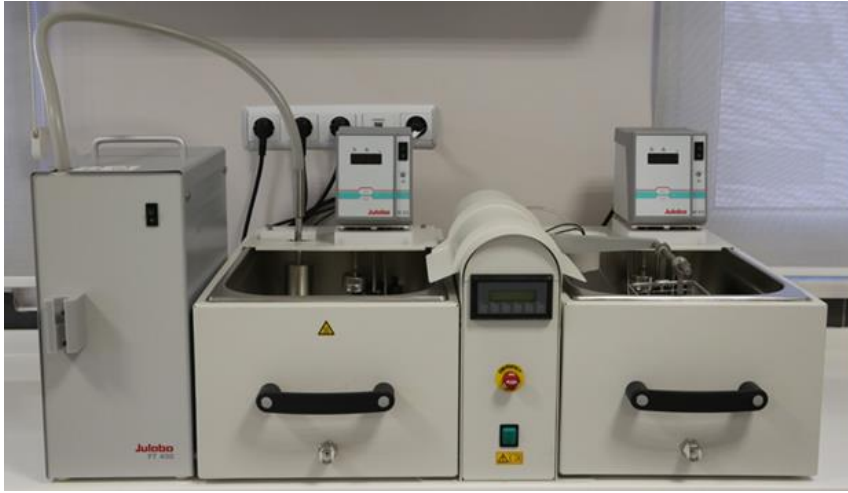
Şekil 3.1. Çalışma dizaynı ve test grupları

Yaşlandırma Yapılmayan Grup: Bu gruptaki örnekler herhangi bir yaşlandırma işlemi uygulanmadı.

10,000 Isısal Döngü Grubu: Bu gruptaki örnekler 1 yıllık klinik kullanımı taklit edecek şekilde 10,000 kez ısısal döngü uygulandı.

50,000 Isısal Döngü Grubu: Bu gruptaki örnekler 5 yıllık klinik kullanımı taklit edecek şekilde 50,000 kez ısısal döngü uygulandı.

Tüm ısısal döngü uygulamaları, standart bir termal siklus cihazında (Modental, Esetron Mekatronik, Türkiye) 5-55 °C'de, bekleme süresi 20 sn, transfer süresi 10 sn olacak şekilde gerçekleştirildi (Resim 3.3).



Resim 3.3. Termal siklus cihazı

Daha sonra her ana grup kendi içinde farklı adeziv uygulama modu ve yüzey hazırlama yöntemlerine göre dört alt gruba ayrıldı.

Universal adeziv self-etch mod: Bu gruptaki örneklerin yüzeylerine, üretici firma talimatlarına göre universal adeziv Clearfil S-3 Bond 10 saniye boyunca ovalayarak uygulandı, 5 saniye hafif hava ile kurutuldu. LED ışık cihazı ile 10 saniye polimerizasyon sağlandı.

Kumlama ve universal adeziv self-etch mod: Bu gruptaki örneklerin yüzeylerine kumlama cihazı Rondoflex plus 360 ile, kumlama cihazı örnek yüzeylerine dik şekilde 10 mm uzaklıktan, 4 barlık hava basıncı ile 50 µm boyutlarındaki alüminyum oksit kumu püskürtülerek kumlama gerçekleştirildi. Kumlanan yüzeylerin basınçlı su ile yıkanması ve hava ile kurutulmasını takiben üretici firma talimatlarına göre

universal adeziv Clearfil S-3 Bond 10 saniye boyunca ovalayarak uygulandı, 5 saniye hafif hava ile kurutuldu. LED ışık cihazı ile 10 saniye polimerizasyon sağlandı.

Universal adeziv etch-rinse mod: Bu gruptaki örneklerin yüzeylerine 15 saniye süre ile %35'lik fosforik asit uygulandı. Asit uygulanan yüzeyler suyla yıkandı ve kurutuldu. Ardından üretici firma talimatlarına göre universal adeziv Clearfil S-3 Bond 10 saniye boyunca ovalayarak uygulandı, 5 saniye hafif hava ile kurutuldu. LED ışık cihazı ile 10 saniye polimerizasyon sağlandı.

Kumlama ve universal adeziv etch-rinse mod: Bu gruptaki örneklerin yüzeylerine Rondoflex kumlama cihazı örnek yüzeylerine dik gelecek şekilde 10 mm uzaklıktan, 4 barlık hava basıncı ile 50 µm boyutlarındaki alüminyum oksit kumu püskürtülerek kumlama gerçekleştirildi. Kumlanan yüzeyler basınçlı su ile yıkanmasının ardından hava ile kurutuldu. Daha sonra test örnek yüzeylerinde bir de 15 saniye boyunca %35'lik fosforik asit uygulaması yapıldı. Asitlenen yüzeyler basınçlı suyla yıkandı ve kurutuldu. Ardından üretici firma talimatlarına göre Clearfil S-3 Bond universal adeziv 10 saniye boyunca ovalayarak uygulandı, 5 saniye hafif hava ile kurutuldu. LED ışık cihazı ile 10 saniye polimerizasyon sağlandı.

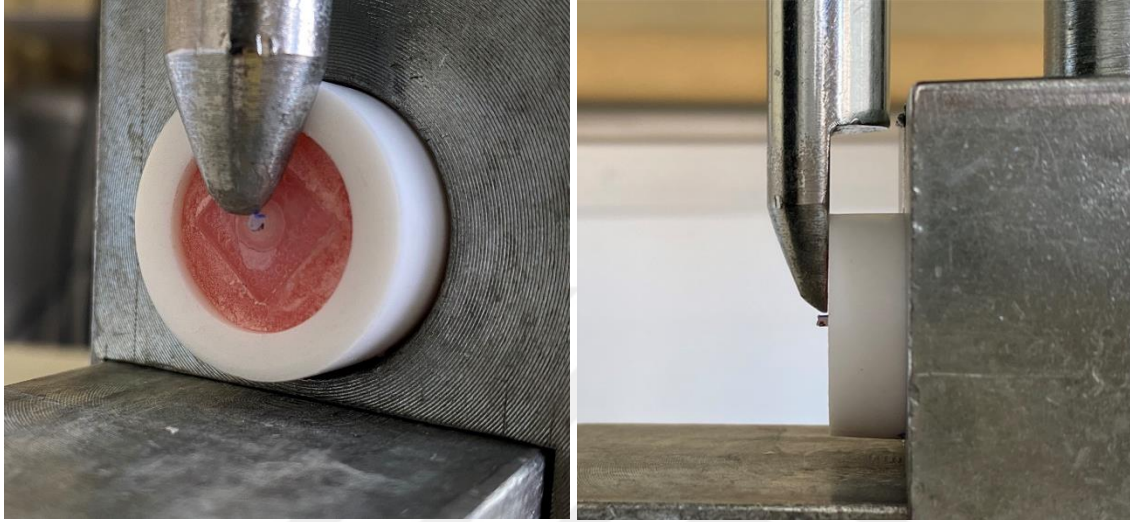
3.4. Test Örneklerine Tamir Kompozit Rezin Materyalin Uygulanması

Farklı yüzey hazırlama işlemleri uygulanan kompozit rezin örneklerin üzerine 0.8 X 2 mm. ebatlarında disk şeklindeki tygon tüpler yardımıyla tamir kompozit rezin materyal (Clearfil Majesty ES-2) ucu künt sond yardımıyla yerleştirildi. LED ışık cihazıyla 20 saniye polimerizasyonu sağlandı. Tüm test örnekleri mikro makaslama bağlanma dayanımı testi öncesi 37 °C distile suda 24 saat boyunca saklandı.

3.5. Mikro Makaslama Bağlanma Dayanımı Testi

Örneklerin mikro makaslama bağlanma dayanımı üniversal test cihazı (Shimadzu AG-IS Autograph, Shimadzu Scientific Instruments, ABD) yardımı ile gerçekleştirildi. Cihazın işlevsel parçası olan özel bıçak kompozit rezin materyal ile tamir kompozit rezin materyal arasındaki birleşim yüzeyine yakın şekilde pozisyonlandırılarak, makaslama kuvvetlerinin etkisinde bağlanma dayanımı testine

tabi tutuldu (Resim 3.4). Her örnekte mikro makaslama test cihazıyla 1 mm/dk hızla kopma oluşuncaya kadar uygulanan kuvvet sonucu elde edilen bağlanma değeri Newton (N) cinsinden elde edildi. Daha sonra elde edilen bağlanma değerleri yüzey alanına bölünerek değerler Megapaskal (MPa) olarak kaydedildi.



Resim 3.4. Universal test cihazında μ MBD testi uygulanması

3.6. Kırılma Tiplerinin Analizi

μ MBD testi uygulanan örneklerin kopma yüzeyleri; kırılma tipini belirlemek için bir stereomikroskopta (Leica M60, Wetzlar, Almanya) (x4.0) incelendi. Başarısızlık tipleri aşağıdaki gibi belirlendi:

Adeziv başarısızlık: Adeziv tabakada başarısızlık (adeziv-kompozit rezin arayüzünde)

Koheziv başarısızlık: Kompozit rezinde koheziv başarısızlık, adezivde koheziv başarısızlık

Miks başarısızlık: Adezivde koheziv başarısızlık, kompozit rezinde koheziv başarısızlık ve adeziv-kompozit rezin arayüzünde adeziv başarısızlık olmak üzere miks başarısızlık.

3.7. İstatistiksel Analiz

Verilerin analizi SPSS 27.0 programı ile yapıldı ve %95 güven düzeyi ile çalışıldı. Ölçüm için ortalama (Ort), standart sapma (ss), minimum, maksimum, medyan (M) istatistikleri verildi. Her bir grupta en az 30 ($n_1=n_2=n_3=n_4=10$) gözlem bulunmaması nedeniyle parametrik olmayan testler kullanıldı. Çalışmada ölçümlerin yüzey hazırlama yöntemlerinde ve yaşlandırma sürelerinde gruplar arası karşılaştırılmasında Kruskal Wallis, gruplar içinde Mann Whitney testleri kullanıldı. Kırılma tiplerinin gruplar arası karşılaştırılması çift yönlü varyans analizi ile gerçekleştirildi.





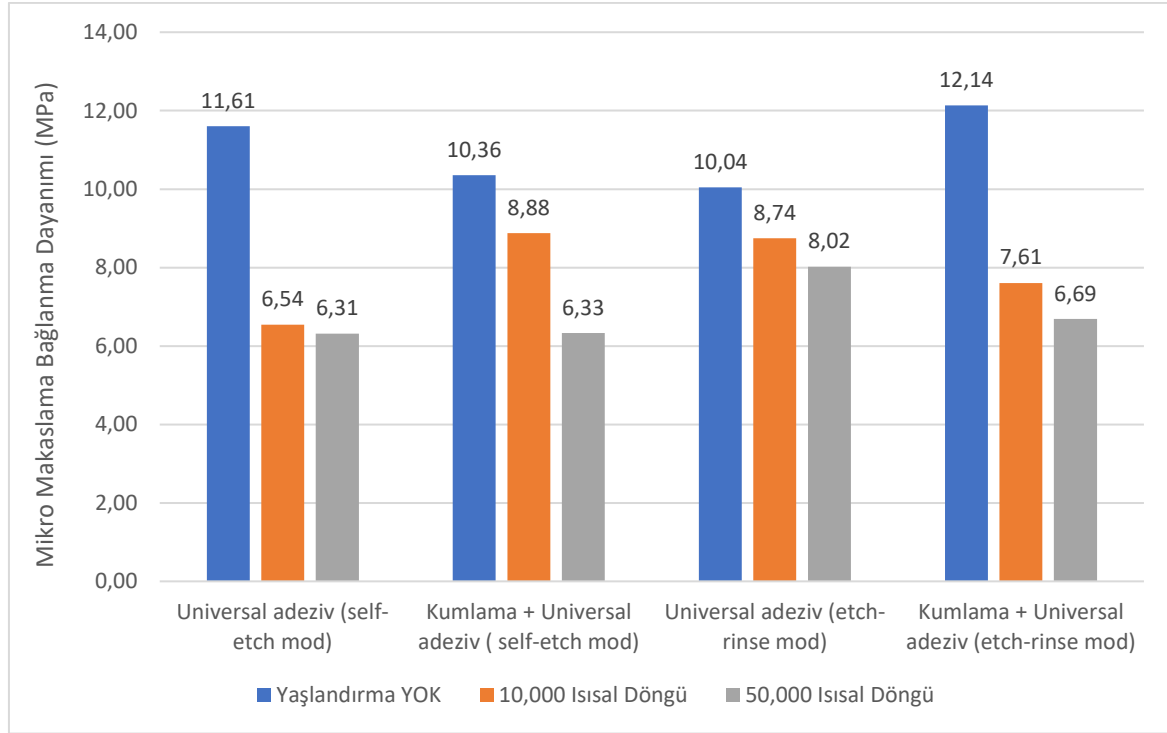
4. BULGULAR

4.1. Mikro Makaslama Bağlanma Dayanımı Testi Bulguları

Bu çalışmada, yapılan istatistiksel değerlendirmelerin sonucunda, farklı yaşlandırma süreleri, farklı yüzey hazırlama yöntemleri etkileşimi açısından gruplar arasında anlamlı farklılıklar bulundu ($p<0,005$). Yaşlandırma sürelerine ve yüzey hazırlama yöntemlerine göre μ MBD testi ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Mikro makaslama bağlanma dayanımı (MPa) değerleri

Mikro Makaslama Bağlanma Dayanımı (MPa)	Yaşlandırma YOK (G1)		10,000 Isısal Döngü (G2)		50,000 Isısal Döngü (G3)	
	Min-Max (M)	Ort±ss	Min-Max (M)	Ort±ss	Min-Max (M)	Ort±ss
Universal adeziv (self-etch mod) - G1	7-17 (12)	11,61±3,17	3-13 (6)	6,54±2,74	5-9 (6)	6,31±1,17
Kumlama + Universal adeziv (self-etch mod) - G2	7-16 (10)	10,36±2,89	6-14 (8)	8,88±2,43	5-8 (6)	6,33±1,23
Universal adeziv (etch-rinse mod) - G3	6-15 (10)	10,04±2,55	6-12 (9)	8,74±2,09	5-12 (8)	8,02±1,91
Kumlama + Universal adeziv (etch-rinse mod) - G4	8-17 (12)	12,14±3,1	4-12 (8)	7,61±2,9	4-11 (7)	6,69±2,15



Şekil 4.1. Mikro Makaslama bağlanma dayanımı (MPa) değerleri

Çizelge 4.2. Yaşlandırma işlemi gruplarının yüzey hazırlama yöntemlerine göre μ MBD (MPa) ölçümünün karşılaştırılması

p-değeri	Yaşlandırma YOK	10,000 Isısal Döngü	50,000 Isısal Döngü
G1-G2	0,289	0,031*	0,909
G1-G3	0,325	0,034*	0,027*
G1-G4	0,733	0,427	0,760
G2-G3	0,791	0,880	0,040*
G2-G4	0,185	0,212	0,849
G3-G4	0,173	0,226	0,159

*p<0,05 anlamlı fark var, p>0,05 anlamlı fark yok; Mann Whitney

Yaşlandırma yapılmayan grubun universal adeziv (self-etch mod) alt grubunda μ MBD değerleri 7 ile 17 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 11,61 MPa'dır. Yaşlandırma yapılmayan grubun kumlama + universal adeziv (self-etch mod) alt grubunda μ MBD değerleri 7 ile 16 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 10,36 MPa'dır. Yaşlandırma yapılmayan kontrol grubunun universal adeziv (etch-rinse mod) alt grubunda μ MBD değerleri 6 ile 15 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 10,04 MPa'dır. Yaşlandırma yapılmayan grubun kumlama + universal adeziv (etch-

rinse mod) alt grubunda μ MBD değerleri 8 ile 17 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 12,14 MPa'dır.

Mann Whitney test sonuçlarına göre yaşlandırma yapılmayan grubun alt gruplarında kendi içlerinde farkları anlamlı değildir ($p>0,05$).

10,000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrası universal adeziv (self-etch mod) alt grubunda μ MBD değerleri 3 ile 13 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 6,54 MPa'dır. 10,000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrası kumlama + universal adeziv (self-etch mod) alt grubunda μ MBD değerleri 6 ile 14 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 8,88 MPa'dır. 10,000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrası universal adeziv (etch-rinse mod) alt grubunda μ MBD değerleri 6 ile 12 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 8,74 MPa'dır. 10,000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrası kumlama + universal adeziv (etch-rinse mod) alt grubunda μ MBD değerleri 4 ile 12 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 7,61 MPa'dır.

10.000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrasında universal adeziv (self-etch mod) grubu ile kumlama + universal adeziv (self-etch mode), universal adeziv (etch-rinse mod) grupları arasında fark anlamlıdır ($p<0,05$).

50,000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrası universal adeziv (self-etch mod) alt grubunda μ MBD değerleri 5 ile 9 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 6,31 MPa'dır. 50,000 kez ısısal döngü yaşlandırma işlemi sonrası kumlama + universal adeziv (self-etch mod) alt grubunda 50.000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrası μ MBD değerleri 5 ile 8 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 6,33 MPa'dır. 50,000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrası universal adeziv (etch-rinse mod) alt grubunda μ MBD değerleri 5 ile 12 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 8,02 MPa'dır. 50,000 kez termal siklusla yaşlandırma işlemi sonrası kumlama + universal adeziv (etch-rinse mode) alt grubunda μ MBD değerleri 4 ile 11 arasında değişmekte ve ortalama μ MBD 6,69 MPa'dır.

50.000 kez ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi sonrasında universal adeziv (etch-rinse mod) grubu ile universal adeziv (self-etch mod), kumlama + universal adeziv (self-etch mod) grupları arasında fark anlamlıdır ($p<0,05$).

Çizelge 4.3. Yüzey hazırlama yöntemi gruplarının yaşlandırma işlemine göre μ MBD (MPa) ölçümünün karşılaştırılması

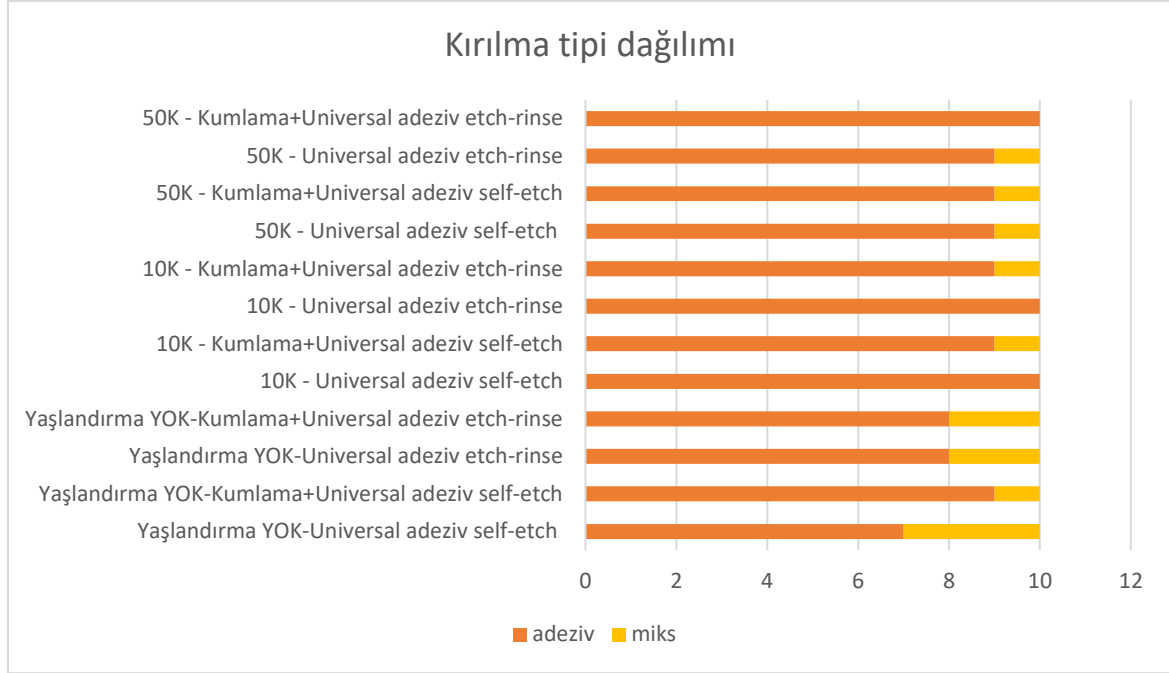
	Universal adeziv (self etch mod)- G1	Kumlama + universal adeziv (self-etch mod) - G2	Universal adeziv (etch-rinse mod) - G3	Kumlama + universal adeziv (etch-rinse mod) - G4
G1-G2	0,004*	0,173	0,364	0,006*
G1-G3	0,000*	0,001*	0,049*	0,001*
G2-G3	0,595	0,006*	0,288	0,448

* $p<0,05$ anlamlı fark var, $p>0,05$ anlamlı fark yok; Mann Whitney

Universal adezivin uygulama modları ve yüzey hazırlama yöntemleri kendi içlerinde değerlendirildiğinde, Mann Whitney test sonuçlarına göre universal adeziv (self-etch mod) grubunda yaşlandırma yapılmayan grup ile 10.000 kez termal siklusla yaşlandırma işlemi yapılan, 50.000 kez termal siklusla yaşlandırma işlemi yapılan gruplar arasında fark anlamlıdır ($p<0,05$). Kumlama + universal adeziv (self-etch mod) grubunda 50.000 kez termal siklusla yaşlandırma işlemi yapılan grup ile yaşlandırma yapılmayan grup, 10.000 kez termal siklusla yaşlandırma işlemi yapılan gruplar arasında fark anlamlıdır ($p<0,05$). Universal adeziv (etch-rinse mod) grubunda yaşlandırma yapılmayan grup ile 50.000 kez termal siklusla yaşlandırma işlemi yapılan grup arasında fark anlamlıdır ($p<0,05$). Kumlama + universal adeziv (etch-rinse mod) grubunda yaşlandırma yapılmayan grup ile 10.000 kez termal siklusla yaşlandırma işlemi yapılan, 50.000 kez termal siklusla yaşlandırma işlemi yapılan gruplar arasında fark anlamlıdır ($p<0,05$). Diğer grup içi farklar anlamlı değildir ($p>0,05$).

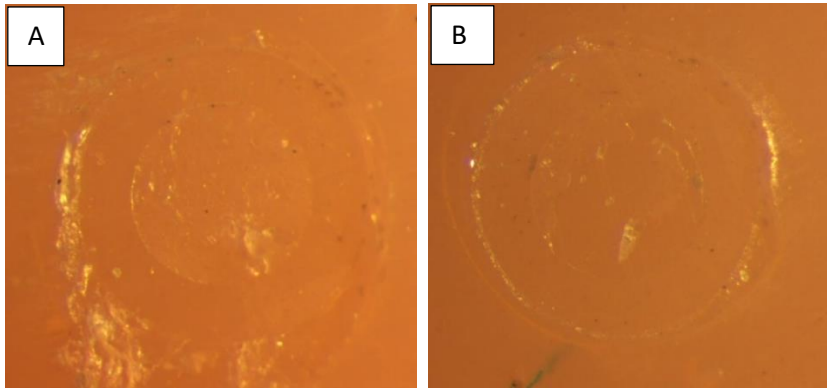
4.2. Kırılma Tipi Bulguları

Çalışmada mikro makaslama bağlanma dayanımı testi sonrası örneklerin kırılma tiplerine göre dağılımı şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada tüm deney gruplarında mikro makaslama bağlanma dayanımı testi sonrasında oluşan kırılma tiplerinin dağılımı

Örneklerden elde edilen kırılma tipleri analiz edildiğinde, bütün test gruplarında adeziv kopma oranının yüksek olduğu gözlemlendi. Hiçbir test grubunda koheziv kopma gözlenmedi. En fazla miks kopma yaşlandırma uygulanmayan gruplarda görüldü.



Resim 4.1. A) Adeziv başarısızlık, B) Miks başarısızlık



5. TARTIŞMA

Her hastanın sağlıklı doğal diş yapısını korumak diş hekiminin hedefidir. Sağlık alanındaki tüm çalışmalar temelde insan vücudunun bütünlüğü ve işlevini korumaya yöneliktir. Koruyucu diş hekimliğinin öncülerinden Miles Markley yarım asır önce, bir insan dişinin dahi kaybının ciddi bir yaralanma olarak kabul edilmesi gerektiğini ve diş hekimliğinin hedefinin sağlıklı doğal diş yapısını korumak olduğunu söylemiştir (136). Günümüzde bu vizyonu gerçekleştirecek bilimsel anlayış ve araçlara sahip olduğumuz için, 1990'lı yıllarda gündeme gelen minimal invaziv diş hekimliği kavramı bugün daha da önemli ve popüler hale gelmiştir. Minimal invaziv diş hekimliğinin felsefesi, sağlıklı diş yapısını koruma, çürük oluşumunu önleme, restorasyonları yaparken veya değiştirirken minimal müdahale ve remineralizasyonu içerir. Minimal invaziv diş hekimliği, sağlıklı diş dokusunun minimum miktarını uzaklaştırmayı ve en az düzeyde operatif yaklaşımla tedavi hedefine ulaşmayı amaçlar.

Kompozit rezin restorasyonlarda zamanla meydana gelen aşınma, kırılma, marjinal açıklık, renk değişikliği veya sekonder çürüklerden kaynaklanan kusurlar nedeniyle, restorasyonlar tamamen değiştirilmekte, bu işlem de sağlıklı diş yapısında fazla madde kaybına, preparasyonların aşırı genişlemesine ve sonuç olarak dişin klinik ömrünün azalmasına sebep olmaktadır. Kusurlu restorasyonun tamamen değiştirilmesi, minimal invaziv diş hekimliğiyle çelişir ve tamirden daha pahalı ve zaman alıcı bir seçenektir (11). Ayrıca, restorasyonun değişiminde kaviteyi genişletirken dişin maruz kaldığı girişimler, pulpada geri dönüşümsüz hasar riskini artıracaktır (12). Günümüz diş hekimliğinde, adeziv tekniklerdeki gelişmeler sayesinde restorasyonu tamamen değiştirmek yerine tamir seçeneği yaygınlık kazanmıştır. Tamirin, restorasyonların klinik ömrünü artırdığı ve konservatif diş tedavisi eğitimlerinin ayrılmaz bir parçası olduğu düşünülmektedir (11-13).

Tamirin başarılı olabilmesi için eski ve yeni kompozit rezin materyalleri arasında iyi bir bağlanma gereklidir (11). Materyalin yerleştirilmesinden ve polimerizasyonundan çok kısa bir süre sonra restorasyonun düzeltilmesi gerekebileceği gibi ağız ortamında uzun süre kullanımda kaldıktan sonra da onarım ihtiyacı doğabilir. Yaşlanmış kompozit rezin materyale bağlanma, materyalin su emilimi yoluyla

bozunması ve tamir kompozit rezin materyali ile reaksiyona girebilen doymamış çift bağ sayısının azalması nedeniyle zor olabilir (6, 11). Bu zorlukların üstesinden gelmek, eski ve yeni kompozit rezin restorasyon arasında makro mekanik, mikro mekanik ve kimyasal güçlü bir bağlantı kurmak için farklı yüzey hazırlama tekniklerine başvurulur (137). Günümüzde kompozit rezin materyallerin tamiriyle ilişkili yürütülen birçok çalışma, tamir edilecek kompozit rezin restorasyona uygulanan yüzey hazırlama yöntemleriyle ilgilidir. Hangi yöntemin en etkili olduğu konusuna dair bir fikir birliği olmamakla birlikte bu durum konunun tartışmaya açık olduğunu göstermektedir.

Doldurucu boyutu azalmış nanohibrit kompozit rezin materyaller, daha büyük bir yüzey alanı ve böylece daha geniş bir doldurucu-matriks arayüzüne sahiptir, bu da su nedeniyle bozulma riskini artırır (138). Nanohibrit kompozit rezin materyaller su emilimi sırasında mikrohbrit kompozitlere kıyasla daha düşük kararlılık sergilemiştir (14). Daha önceki çalışmalar, nanohibrit kompozit rezin materyallerin tamir bağlanma dayanımının orijinal materyalin koheziv dayanıklılığının gerisinde kaldığını bildirmiştir (139). Mekanik yüzey pürüzlendirme ve silan uygulamasının ardından adeziv uygulamaları, mikrohbrit kompozit rezin materyalin tamirinde oldukça etkili bulunurken, aynı işlemler nanohibrit kompozit rezin materyalin tamirinde aynı etkiyi göstermemiştir (139-141). Bu durum, polimerize rezinin yüksek dönüşüm derecesiyle açıklanmış olup, reaksiyona girmemiş C=C bağlarının sayısını sınırlar (139). Nanohibrit kompozit rezin materyal tamir bağlanma dayanımı esas olarak eski ve yeni kompozit rezin tabakalar arasındaki mikro mekanik tutunmaya bağlı olabilir. Nanohibrit kompozit rezin materyal gibi yeni materyallerin tamir yeteneği açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmamızda tamir kapasitesini incelemek için substrat ve tamir kompozit rezin materyali olarak nanohibrit bir kompozit rezin restoratif materyal kullanıldı.

İn vivo ve in vitro çalışmalarda farklı materyallerin birbirine bağlanma kapasitesi değerlendirilebilmektedir. İn-vivo testlerde restorasyonun başarısızlığına neden olan koşulları ayırt etmek genellikle zordur. Bu zorluğun nedenleri in-vivo testlerin standardizasyonunun sağlanamaması, fazla zaman alıcı ve maliyetli olmasıdır. İn-vitro testler ise materyallerde uzun vadeli başarısızlığa yol açan faktörleri hızlı ve güvenilir bir şekilde inceleme olanağı verir (142). İn-vitro yöntemler

standardizasyonun sağlanmasına yardımcı olurken, aynı zamanda birçok değişkenin etkisini değerlendirmeye ve materyallerin uzun vadede yaşlanma etkilerini kısa zamanda taklit etmeye imkan tanır; bu avantajları nedeniyle bu çalışma in-vitro test yöntemleriyle yürütülmüştür.

Eski ve yeni kompozit rezin restoratif materyal arasındaki kuvvetli bir bağlantı kompozit rezin restorasyonların tamir başarısını belirleyen en önemli faktördür. Makaslama ve gerilim kuvvetlerine yüksek mukavemetli bir bağlantı söz konusu olduğunda tamirin başarılı olduğu söylenebilir. Eski ve yeni restorasyon arasındaki bağlantının kuvvetini ölçmek için genellikle makaslama ve gerilim bağlanma dayanımı testlerine başvurulmaktadır; bunlar az ekipmanla çalışılabilen ve uygulaması kolay test yöntemleridir (123).

Gerilim testlerinde, bağlantı arayüzünün kuvvet uygulanacak eksene, örneklerde bükülmeye sebebiyet vermeyecek şekilde dik olarak hizalanması son derece kritiktir. Gerilim testleri makaslama testlerine kıyasla daha fazla teknik hassasiyet gerektirir. Sano ve ark. (123) tarafından 1994 yılında tanıtılan mikro gerilim bağlanma testleri, daha küçük yüzeylerdeki gerilme tipi kuvvetleri ölçmede kullanılır. Örneklerin hazırlanması esnasında elmas frezle kesim yapılırken oluşabilecek mikro düzeyde çatlakların, kuvvet uygulanan bölgede çoğalarak bağlantı değerlerini azaltabileceği bildirilmiştir.

Makaslama bağlanma dayanımı, bir materyalin makaslama yüklerine tabi tutulduğunda bozulmaksızın dayanabildiği maksimum kuvveti ifade eder (143). Bağlantı kurulan yüzey alanının büyüklüğüne göre makro veya mikro makaslama bağlanma dayanımı testi olarak isimlendirilir. 2000'li yılların başlarına kadar makro makaslama bağlanma dayanımı ölçümleri yapılabilirken, daha küçük bağlantı yüzeylerinde işlevsel olan mikro makaslama bağlanma dayanımı testleri de hızla kullanıma girmiştir. Yapılan araştırmalar, bağlanma alanı ile bağlanma dayanımı arasında ters bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bağlanan yüzey alanı ne kadar büyükse, sonuçları etkileyecek bir kusurun meydana gelme olasılığı da o kadar yüksektir (144). Mikro makaslama bağlanma dayanımını ölçen testlerde, örneğin istenen yüzeyinde, istenen sayı adedince elde edilebilmesi, testten önceki

başarısızlık durumlarında kolaylıkla yeniden hazırlanabilmesi gibi avantajlar bulunmaktadır.

Yürüttüğümüz çalışmada, örneklerin şekillendirilmesi işleminin mikro gerilim bağlanma dayanımı testlerine göre daha basit olması, çok sayıda örnek hazırlamaya, istenen her noktadan bağlanmaya imkan vermesi ve bağlantı arayüzünde karşılaşılabilecek stresin daha az olması gibi sebeplerden ötürü mikro makaslama bağlanma dayanımı testi kullanıldı. Literatürde, bağlanma dayanımı testlerinin, bağlanan yüzeyler 3 mm² den büyükse makro, bağlanan yüzeyler 1 mm² veya daha küçükse mikro olarak ifade edildiği görülmüştür (121). Bu bilgiler ışığında çalışmamızda, mikro makaslama bağlanma dayanımını değerlendirmek amacıyla, eski ve yeni kompozit rezin materyallerin bağlantı arayüzlerinin çapı 0,8 mm olarak belirlendi.

Kompozit rezin restoratif materyalin tamirinde bağlanma dayanımını etkileyen faktörlerin yaşlandırma süreleri ve yüzey hazırlama yöntemleriyle ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Ağızda mevcut bir kompozit rezin restorasyonun yapıldığı andan itibaren ne kadar süre sonra tamir gerektireceği bilinmemektedir. Restorasyonda aniden oluşabilecek bir kırık veya yıllar içinde oluşabilecek aşınmalar veya sekonder çürükler nedeniyle tamir ihtiyacının bazen günler, aylar hatta yıllar sonra meydana gelebileceği aşıkardır. 5 ve 17 yıl arasında değişen klinik gözlemler sonucu restorasyonların %5'ten %45'e kadar varan oranlarda başarısızlıkla sonuçlandığı bildirilmektedir. Kompozit rezin materyalin polimer matriks ve silanize doldurucu partiküllerinde meydana gelen dejenerasyonlar sıklıkla restorasyonun başarısızlığıyla sonuçlanır (80). Ağız ortamında uzun süre kalan bir kompozit rezin restorasyonda su emilimi, higroskopik genleşme, polimer matriks ve doldurucu arayüzünde hidrolitik yıkım ve sonucunda doymamış çift bağların azalmasıyla sonuçlanan bir takım kimyasal bozunmalar görülür (11). Tüketilen gıdalar ve enzimatik olaylar neticesindeki pH değişimleri, mikroorganizmalar, sıcak-soğuk (termal) dalgalanmaları, çiğneme, diş sıkma, fizyolojik oklüzyon gibi kimyasal ve mekanik nedenlerle kompozit rezin restorasyon, yaşlanmaya ve bozulmaya başlar. Bu faktörlerin ileri boyutlarda restorasyona vereceği hasar, eski ve yeni kompozit rezin restorasyonun adezyonunda bazı sıkıntılar doğurur. Literatür incelendiğinde,

tamirin başarısının, restorasyonun ağız içinde kaldığı süre ve maruziyetlerle yakından ilgili olduğu görülmüştür (11, 22, 145-147).

Kompozit rezin restorasyonların zaman içinde ağız ortamında maruz kaldığı etkenlerin in-vitro koşullarda taklit edilebilmesi amacıyla yapay yaşlandırma yöntemlerine başvurulmaktadır (98). Isısal döngü ile yaşlandırma günümüzde en sık kullanılan yaşlandırma metodudur (17, 114, 115). Bu teknik, ağız içi ısısal değişimleri simüle etme amacıyla sıcak ve soğuk su banyolarıyla gerçekleştirilir (17, 100). Sıcak-soğuk döngüsünün sonucunda, rezinle diş arasında oluşan adeziv bağın dayanıklılığı, termal şoklara bağlı olarak azalabilir, ayrıca suya maruziyet sonucu kompozit rezin materyalde hidrolitik bozunma meydana gelebilir (42, 116). Termal döngü nedeniyle oluşan genleşme ve büzülme stresleri restorasyon sınırlarının bütünlüğünün bozulmasına, mikro sızıntıya ve hassasiyete yol açabilir (17). Bu çalışmada, kompozit rezin restoratif materyalin ağız ortamındaki yaşlanmasını in-vitro koşullarda taklit etmek amacıyla ısısal döngü ile yaşlandırma yöntemi kullanıldı.

Isısal döngü testi ile yaşlandırma yönteminde döngü sayısı bağlanma değerlerini etkileyen en önemli faktördür. Ağız ortamındaki gerçek yaşlanma sürecini yansıtan döngü sayısını net rakamlarla ifade etmek oldukça zordur. Yaşlandırma sürecini doğru bir şekilde yansıtmak için en az 500 ısısal döngü uygulaması yapılması gerektiği bildirilmiş, bu değerın üzerine çıkıldığında, bağlanma dayanımında ciddi düşüşler olduğu görülmüştür (121). Literatür incelendiğinde, ağız ortamında bir yıllık gerçek yaşlanmanın yaklaşık 10,000 ısısal döngüyle simüle edilebileceği görüşünün hakim olduğu anlaşılmaktadır (17, 79, 119, 120). Çalışmamızda da 1 yıllık yaşlandırmayı taklit etmek için 10,000, 5 yıllık yaşlandırmayı taklit etmek için 50,000 kez ısısal döngü uygulandı.

Uzun süre suda bekleterek yaşlandırma ve ısısal döngü testi yaşlandırma yöntemleri genellikle kompozit rezin materyallerin mekanik özelliklerini düşüren ve yaşlanmayı simüle eden yöntemler olarak kabul edilir (148, 149). Dieckmann ve ark. (11) 5,000 ısısal döngünün ardından 6 ay suda beklettikleri kompozit rezin materyallerin tamir bağlanma dayanımlarını, yaşlandırma yapılmayan grupla kıyasladıkları çalışmalarında, yaşlandırılmış örneklerin tamir bağlanma

dayanımlarının kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde düştüğünü bildirmişlerdir. Özcan ve ark. (80) mikrohibrit ve nanohibrit kompozit rezinleri deiyonize suda 2 ay bekletme, 1 hafta boyunca pH'ı 3 olan sitrik aside daldırma ve 5,000 ısısal döngü uygulama yöntemleriyle yaşlandırdıkları ve kontrol grubuna herhangi bir yaşlandırma işlemi uygulamadıkları çalışmalarının tamir bağlanma kuvveti bulgularına göre, ısısal döngü ile yaşlandırma işlemi uygulanan grubun diğer tüm farklı yaşlandırma işlemleri uygulanan gruplara kıyasla en düşük tamir bağlanma kuvveti değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Literatürde kompozit rezin materyallerin tamiri konusunda farklı ısısal döngü sürelerinin etkileri araştırılmıştır. Kiomarsi ve ark. (150) yaşlandırma yapılmayan ve 5,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan kompozit rezin materyallerin tamir bağlanma dayanımlarını benzer bulmuştur. Irmak ve ark. (24) üç farklı adezivin kompozit rezin materyallerin tamir bağlanma kapasitesindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, 50,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan kompozit rezin materyallerin tamir bağlanma kapasitesinin yaşlandırma yapılmayan gruplara göre önemli oranda düşük bulunduğunu ve yaşlandırmanın bağlanma kuvvetleri üzerinde ciddi etkileri olduğunu rapor etmişlerdir. Bektaş ve ark. (147) 10,000 ısısal döngü testine tabi tutulan kompozit rezin materyallerin tamir bağ kuvvetlerini yaşlandırma yapılmayan gruba kıyasla oldukça düşük bulmuşlardır. Dursun ve arkadaşlarının (79) nanohibrit kompozit rezin materyali farklı yüzey işlemleri ve farklı periyotlarla ısısal döngü işlemlerine tabi tuttıkları çalışmalarının sonuçlarına göre ise yapılan yüzey işlemleri dikkate alınmaksızın 10,000 ısısal döngü işlemi yapılan grubun tamir bağlanma değerleri, yaşlandırma yapılmayan kontrol grubuyla benzer, 30,000 ve 50,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan gruplar ise anlamlı ölçüde daha düşük bağlantı değerleri sergilemişlerdir.

Bu çalışmanın bulgularına göre, farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin etkilerine bakılmaksızın değerlendirildiğinde; en yüksek bağlanma değerleri yaşlandırma yapılmayan gruplarda gözlenirken, en düşük bağlanma değerleri 50,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan gruplarda tespit edildi.

Kompozit rezin restorasyonlarında adeziv dayanıklılık, restorasyonların başarısıyla ilişkilendirilen önemli bir faktördür. Ticari olarak bulunan adeziv sistemler 4. nesil 3

aşamalı total-etch sistemlerden başlayarak tek aşamada uygulanabilen universal adezivlere kadar çeşitlenir. Birçok çalışma diş dokuları ile kompozit rezin materyal arasındaki bağlanma dayanımını araştırmıştır, ancak ağız içinde yaşlanmış eski kompozit rezin restoratif materyal ile yeni kompozit rezin restoratif materyal arayüzündeki bağlantı dayanımıyla alakalı çalışmalar yetersizdir. İki kompozit rezin materyalin birbirine adezyonunda polimerize olmamış rezinde bulunan oksijen inhibisyon tabakasının varlığına ihtiyaç duyulur, yaşlanmış kompozit rezin materyalde oksijen inhibisyon tabakasının varlığından söz edilemez (151). Yaşlanmış kompozit rezin materyalin su Emilimi ve C=C bağlarının azalması nedeniyle özelliği değiştiğinden, eski ve yeni kompozit rezin materyal arasındaki bağlantıyı güçlendirmek için bazı yüzey hazırlama işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kompozit rezin restorasyonun tamirinde başarılı bir bağlantı ve klinik performans elde etmek için eski kompozit rezin restorasyon üzerinde yapılacak yüzey hazırlama işlemleri kritik öneme sahiptir. Kompozit rezin restorasyonların tamirinde mikromekanik bağlantıyı ve kimyasal adezyonu sağlama amacıyla asit ile pürüzlendirme, kumlama, silan ve adeziv sistemlerin kullanımı önerilmektedir (130, 152-154).

Kompozit rezin materyalin tamirinde kullanılan adeziv sistemlerden biri de universal adeziv sistemlerdir. Adeziv sistemlerin zaman içindeki gelişimi, pek çok senaryoda hem self-etch hem de etch-rinse modda kullanılabilen, asit, primer ve adezivin tüm işlevini tek bir şişede toplayabildiğini iddia eden universal adezivleri ortaya çıkarmıştır. Fosforik asit uygulanmaksızın, self-etch modda uygulanan universal adezivin içeriğindeki asidik monomerler, bağlantıda işlevsel rol oynar. Universal adezivler yüzey hazırlığında etch-rinse modda uygulandığında, önce %37'lik fosforik asit uygulamayı gerektirir. Kompozit rezin materyalin tamirinde yüzey hazırlığı aşamasında, universal adezivin self-etch veya etch-rinse tekniklerinden hangisinin etkin bağlantıyla sonuçlanacağı konusu hala araştırılmaktadır. Çeşitli adeziv sistemler arasında universal adezivlerin performans ve kullanım kolaylığı açısından üstün özellikleri popülerlik kazanmasında etkili olmuştur. Universal adezivler, tek aşamalı self-etch adezivlere benzer formülasyonlarının yanı sıra çoğu universal adezivde hidroksiapatitteki kalsiyumla iyonik bağlanma yeteneğine sahip kendine has fosfat ve karboksilat monomerleri bulunur. Çoğu universal adezivin

içeriğinde bulunan 10-MDP, bu monomerlerden biridir; hidroksiapatit içindeki kalsiyumla iyonik bağ kurarak hidrolitik olarak stabil 10-MDP kalsiyum tuzlarını oluşturur. Bu reaksiyon diş yüzeyinde olduğu gibi kompozit-kompozit arayüzünde aynı şekilde gerçekleşmez. 10-MDP içerikli adezivler klinikte sıkça kullanılmaktadır ve bu nedenle kompozit rezin restorasyonların tamirindeki etkinliği araştırılmalıdır. Daha önceki bir çalışmada, 10-MDP'nin tamir edilecek eski kompozit rezin restorasyon yüzeylerinde de etkili olduğu ve çapraz bağlı ağa nüfuz ederek hapsolmuş C=C bağlarını tamir kompozit rezin materyale bağladığı bildirilmiştir (5). Çakır ve ark. (154) Single Bond Universal adeziv ve All Bond Universal adezivin tamir bağlanma değerlerini Clearfil SE bonda göre daha yüksek bulmuşlardır. Bu, ayrı primer ve adeziv uygulanan sistemlerin kompozit rezin restorasyonların tamir bağlanma dayanımına yardımcı olmadığını göstermektedir. Universal adezivlerin tamir bağlanma değerlerinin iyi olması, zirkonya doldurucu içeren kompozit rezin materyallerle kimyasal bağ oluşturabilen 10-MDP monomeriyle açıklanabilir. Ancak, yalnızca 10-MDP'nin varlığı belirleyici kesin faktör değildir, çünkü Clearfil SE bondun primerinde de 10-MDP vardır. Tamir bağlanma dayanımının her adezivin kimyasal formülasyonundan etkilendiği söylenebilir, çünkü universal adezivlerin hepsinde 10-MDP aynı konsantrasyon ve saflıkta bulunmaz.

Silan bağlayıcı ajanlar eski kompozit rezin restorasyonun inorganik fazını, yeni kompozit rezinin organik fazı ile birleştirmeye yardımcı olabilir ve daha yüksek ıslanabilirlikleri nedeniyle adezivin yüzey düzensizliklerine nüfuz etmesini kolaylaştırabilir, böylece tamir bağlanma dayanımını artırabilir (25). Silan hidrolize ve nonhidrolize olmak üzere iki şekilde bulunur. Hidrolize edilmeyen silan içeren silan astarları genellikle tek bir şişede etil alkol içinde bulunur ve bu ajanı aktive etmek, hidrolize etmek için bir asit çözeltisi veya asidik bir adeziv ile karıştırılması gerekmektedir. Hidrolize edilen silanlar zaten aktive edilmiştir, bunlar adeziv sistemlerden önce uygulanır veya alternatif olarak universal adezivlere dahil edilirler (14). Bazı universal adezivlerin içerisinde silan bulunur çünkü silan kaplı yüzeyler tamir kompozit rezin materyalinde daha reaktif hale gelir ve silan, ıslanabilirliği artırarak adeziv ajanın mikroretantif yüzeylere daha iyi sızmasını sağlar (20, 22, 130, 153, 155). Cam seramik materyaller organik ve inorganik bileşenler arasındaki etkileşime yardımcı olan silan bağlayıcı ajan olmadan adeziv metakrilat monomerlerine kimyasal olarak bağlanamaz (156). Kompozit rezin restorasyonun

tamirinde, kompozit rezin materyal yüzeyi, adeziv sistemlerle doğrudan kimyasal olarak bağlanabilen metakrilat polimer ağı içerir. Fakat, ana bileşenlerden olan inorganik cam doldurucular, kumlama, frezle veya asitle pürüzlendirme esnasında açığa çıkar ve adezivlerle kimyasal olarak bağlanmazlar. Silan ise cam partikülleri ve adeziv sistemdeki monomerler arasında kimyasal bağ oluşumunu teşvik ederek bağlantı sürecinde önemli bir rol oynayabilir (135). Mendes ve ark. (25) nın meta-analiz çalışmasına göre adezivden önce silan uygulaması tek başına adeziv uygulamasına göre daha yüksek tamir bağlantı değerleri verdiği rapor edilmiştir. Maneenut ve ark. (8) silan bazlı adezivlerin silan içermeyen adezivlerden daha yüksek bağlanma dayanımına sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Universal adezivlerin klinikte hızlı bir adeziv uygulama prosedürüne sahip olması ve çok aşamalı adezivlerle karşılaştırıldığında daha az teknik hassasiyet gerektirmesi nedeniyle bu çalışmada, kompozit rezin restorasyonların tamir bağlanma dayanımının incelenmesinde universal bir adeziv sistem tercih edildi. Ayrıca, 10-MDP ve silan içerikli universal adezivlerin kompozit rezin restorasyonların tamirinde etkili olabileceğine dair görüşler mevcuttur (5, 20, 157-159). Bu nedenle, çalışmamızda 10-MDP ve silan içerikli Clearfil S3 Bond universal adezivi kullanıldı.

Yaşlanmış kompozit rezin üzerinde yapılacak yüzey hazırlama işlemleri genel olarak iki amaç taşır; ağız ortamının etkisiyle değişime uğrayan yüzeysel tabakayı uzaklaştırarak, temiz, daha yüksek enerjili ıslatılabilir bir yüzey elde etmek ve yüzeyde düzensizlikler oluşturarak yüzey alanını artırmak. Fosforik asidin mine ve dentin üzerindeki etkileri ve adezyon sürecindeki rolü detaylı bir şekilde belgelenmiş ancak, kompozit-kompozit bağlantısı ve tamirinde kullanımı tam olarak araştırılmamıştır. Wendler ve ark. (130) yüzeydeki kalıntıların temizlenmesi yoluyla yüzey enerjisini ve ıslanabilirliği artırdığı gerekçesiyle, fosforik asit uygulamasının, yaşlanmış kompozit rezin materyale bağlantıyı artırdığını rapor etmişlerdir. Ahmadizenus ve ark. (160) kompozit rezin materyalde frezle yüzey hazırlığı yapıldıktan sonra fosforik asit uygulamasının, smear tabakasını temizlediğini, alttaki yüzey ve doldurucuların açığa çıkmasına izin verdiğini ve yüzey alanını artırarak tamir bağlanma dayanımını geliştirdiğini bildirmişlerdir. Fosforik asit uygulamasını takiben bol su ile yıkamanın yüzeydeki kalıntıları uzaklaştırdığı düşünülebilir.

Universal adezivler hem self-etch hem de etch-rinse modda kullanıma uygundur. Self-etch modda kullanıldığında doğrudan yüzeylere universal adeziv uygulanır, fosforik asitle herhangi bir asitleme işlemi yapılmaz. Etch-rinse modda kullanıldığında ise ilk önce %37'lik fosforik asitle asitleme yapılır, ardından yüzey bol su ile yıkanıp kurulandıktan sonra universal adeziv uygulanır. Universal adezivler kompozit rezin restorasyonların tamirinde adeziv ajan olarak tercih edildiğinde hangi modda kullanılacağı tartışmaya açıktır. Ritter ve ark. (5) kompozit rezin restorasyonun tamir bağlanma dayanımını araştırdıkları çalışmada Scotchbond Universal Adeziv ve Clearfil SE Bond adezivi kullanılarak yapılacak tamir işlemi öncesi en azından tamir edilecek yüzeyin fosforik asitle asitlenmesinin, yüzey hazırlığı sırasında oluşmuş smear tabakasını gidermesini beklerken, asitleme adımının herhangi bir faydalı etkinliğini görememişlerdir. Yin ve ark. (161) universal adezivler ve çok aşamalı adeziv sistemleri kıyaslamışlar ve universal adezivlerin kompozit rezin restorasyonların tamir dayanımında daha etkili olduğunu bildirmişler, ayrıca test edilen her bir universal adeziv için etch-rinse ve self-etch modları arasında anlamlı bir fark görülmediğini rapor etmişlerdir. Şişmanoğlu ve ark. (152) kompozit rezin restorasyonların tamirinde universal adezivlerden önce fosforik asitle ek asitleme yapmanın tamir bağ dayanımına bir etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır. Akgül ve ark. (6) bulk fill kompozit rezin materyalin tamir potansiyelini inceledikleri çalışmada, universal adeziv kullanımından önce %37'lik fosforik asit uygulamanın, universal adezivin self-etch modda kullanımından daha yüksek ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan tamir bağlanma dayanımı değerleri gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada kompozit rezin restorasyonların tamirinde Clearfil S3 Universal Bond'un self-etch ve etch-rinse modlarda bağlanma dayanımına etkinliği değerlendirildi.

Kompozit rezin materyalin tamir bağlanma dayanımını artırmak için adeziv uygulamanın yanı sıra elmasla aşındırma ve hava-partikül aşındırma gibi mekanik yüzey işlemleri de önerilmiştir. Partikül aşındırma sistemleri arasında alüminyum oksitle kumlama, kompozit rezin materyal yüzeyinde mikro retansiyonlar oluşturduğu için diğer yöntemlere göre en iyi bağlantı değerlerini sunmuştur (22, 130, 162-164). Alüminyum oksit partikülleri yüzey alanının artmasından dolayı yeni kompozit rezin materyalin eski kompozit rezin materyale mekanik kilitleme yeteneğini artırır, ayrıca bu retantif yüzeyler kompozit rezin materyale ideal

uyumunu sağlayan yüzey ıslanabilirliğini destekler (22). Alüminyum oksit ile kumlama işleminin, elmas frezle aşındırarak yüzey hazırlama işleminden daha fazla mikro retantif bir kompozit rezin yüzeyi oluşturduğu ve daha yüksek bağlanma dayanımı sağladığı gösterilmiştir (15, 21). Kompozit rezin materyallerin tamir bağlanma kapasitesini araştıran önceki çalışmalarda da yüzeyleri alüminyum oksit ile kumlamanın işlem yapılmamış yüzeylere kıyasla tamir bağlanma kapasitesini artırdığı yönünde sonuçlar mevcuttur (12, 165-167). Bu nedenle bu tez çalışmasında adeziv işlemlerden önce yüzeyleri 50 µm alüminyum oksit ile kumlamanın tamir bağlanma dayanımı üzerindeki etkisi incelendi. Ancak çalışmamızda alüminyum oksit ile kumlamanın bariz bir etkisi gözlenmedi.

Literatüre bakıldığında farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin karşılaştırıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Mekanik yüzey hazırlama işlemlerinin nihai amacı yaşlanmış kompozit rezin materyal ile tamir kompozit rezin materyali arasındaki mikromekanik bağlantıyı geliştirmektir. Mekanik yüzey hazırlığı ile yüzey pürüzlülüğü artırılırken tutuculuğa katkı sağlanır, böylece yüzeydeki serbest C bağları açığa çıkar (147). Ardından uygulanan adeziv sistemler, kompozit rezin materyaller arasındaki kimyasal bağlantıyı geliştirmeyi amaçlar. Pek çok çalışma, kompozit rezinlerin yüzeylerinde fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal işlemler tatbik ederek tamir bağlanma dayanımının artırılmasını amaçlamıştır (9, 12, 80, 130, 139). Özcan ve ark. (22) çeşitli yöntemlerle yaşlandırma yapılan kompozit rezin materyallerin, tribokimyasal silika kaplamanın ardından silan uygulamasının, etch-rinse modda universal adeziv uygulamasına göre anlamlı olarak daha yüksek tamir bağlanma dayanımıyla sonuçlandığını göstermişlerdir. Cesar ve ark. (168) fosforik asidin kompozit rezin materyallerin mikroskop altında yüzey özelliklerini değiştirmedığını söylemişlerdir. Loomans ve ark. (128) klinik olarak etkili kompozit rezin tamir protokollerini ararken, farklı doldurucu bileşenlerine sahip kompozit rezin materyallerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çeşitli uygulama protokollerinin etkisini araştırmışlar ve fosforik asidin tek başına pürüzlülük değerlerini etkilemediğini bildirmişlerdir. Irmak ve ark. (24) farklı adeziv sistemlerin tamir bağlanma dayanımındaki etkinliğini inceledikleri çalışmada en düşük bağlanma değerlerini tek aşamalı self-etch adeziv sisteminin gösterdiğini, iki aşamalı self-etch adeziv ve iki aşamalı etch-rinse adeziv ile tamir edilen kompozit rezin grupları arasında anlamlı fark bulunmadığını bildirmişlerdir. Literatüre göre asitlemenin başlıca işlevi,

aşındırılan yüzeyi temizlemek, kompozit rezini yüzeysel olarak kaldırmak ve malzemenin kalıntılarını temizleyerek adeziv ile kompozit rezin materyal arasındaki etkileşimi artırmaktır (142). Wendler ve ark.nın (130) çalışmasına göre fosforik asit uygulaması, tamir bağlanma değerlerini önemli ölçüde artıran bir işlemdir. Bir sistematik derlemeye göre fosforik asit, elmas frezle aşındırmadan sonra uygulanıp ardından universal adeziv veya silan ve universal uygulandığında en iyi bağlanma değerlerini vermiştir (169). Fosforik asit uygulama işlemi sonrasında universal adezivin bağlantısı, geleneksel iki aşamalı adezivden daha üstün bulunmuş, bunun nedeni universal adezivlerin farklı materyallere bağlanma potansiyeline sahip olmasını sağlayan içeriğindeki silan ve 10-MDP monomerlerine bağlanmıştır (170). Ritter ve ark. (5) farklı doldurucu içerikli kompozit rezin materyallerin tamir bağlanma dayanımını inceledikleri çalışmada, universal adeziv ve iki aşamalı self-etch adeziv sistemlerden önce fosforik asit uygulamasının bağlantıya herhangi bir katkısının olmadığını rapor etmişlerdir. Yazar, test edilen adeziv sistemler fosforik asit kadar asidik olmasa da pH seviyelerinin yüzeyleri kendiliğinden asitlemek için yeterince asidik olabileceğinden, başlangıçta fosforik asitle asitlemenin gereksiz olabileceğini vurgulamıştır. Bu araştırmanın bulgularına benzer şekilde, bizim çalışmamızdaki yaşlandırma yapılmayan gruplarda, universal adeziv uygulamasından önce fosforik asit uygulamanın tamir bağlanma değerlerini etkilemediği görüldü. Yin ve ark. (161) 10,000 ısısal döngü ile yaşlandırılan kompozit rezin materyallerin tamirinde farklı universal adezivleri etch-rinse ve self-etch modlarda uygulamışlar ve universal adezivlerden önce fosforik asit uygulamanın bağlanma dayanımı değerlerini etkilemediğini belirtmişlerdir. Bu çalışmanın aksine, bizim çalışmamızda 10,000 ve 50,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan gruplarda universal adeziv etch-rinse mod alt grupları, universal adeziv self-etch mod alt gruplarından daha üstün bağlantı değerleri verdi. Bu durum, fosforik asit uygulama işleminin yaşlanmış kompozit rezin materyal yüzeyindeki artık ve kontaminantları uzaklaştırması ve pürüzlendirme işlemi sonrası yüzeylerin daha reaktif hale gelmesiyle ilişkili olabilir. Meta-analiz sonucuna göre air abrazyonla yapılan yüzey işlemlerinin çoğu, istatistiksel olarak daha yüksek bağlanma değerleriyle sonuçlanmıştır (169). Bu sonuçlar, yaşlanmış kompozit rezin materyali mekanik olarak pürüzlendirmenin, adezivin alttaki yapıya daha iyi bağlanması açısından adeziv sistemlerden önce gerekebileceğine işaret etmektedir (15). Bu işlem, değişime uğramış yüzey tabakasını uzaklaştırır ve aynı zamanda yüzey alanını artırarak mikroretansiyonu teşvik eder (171). Costa ve ark.

(21) alüminyum oksitle kumlamanın, elmas frezle yüzey işlemlerine göre daha mikroretantif yüzeyler oluşturduğunu ve daha yüksek tamir bağlanma değerleri verdiğini bildirmişlerdir. Rosatto ve ark. (172) alüminyum oksit kumlama, elmas frez ve Er:YAG lazerleri kıyaslamışlar ve kompozit rezin materyalde tamir bağlanma dayanımlarını benzer bulmuşlardır. Fornazari ve ark. (159) SiC kağıtla zımpara işlemi ile alüminyum oksitle kumlamayı karşılaştırdıkları çalışmalarında alüminyum oksitle kumlamanın tamir bağlanma dayanımında daha etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Dursun ve ark. (79) alüminyum oksit kumlama, SiC kağıt ve Er:YAG lazerleri incelemişler, alüminyum oksitle kumlamanın tamir bağlanma dayanımı üzerinde daha etkin olduğunu göstermişlerdir. Martos ve ark. (12) nanohibrit kompozit rezin materyalin tamirinde farklı yüzey hazırlama protokolleri ve farklı fonksiyonel monomere sahip self-etch adezivlerin etkisini incelemişler, en iyi bağlantının 50 µm alüminyum oksit ile kumlamanın ardından 10-MDP içerikli self-etch adeziv ile yüzey hazırlığı yapılan gruplarda olduğunu bildirmişlerdir. Bu durum, kumlama işlemi ile oluşturulan mikro retansiyonlara daha derin infiltre olabilen 10-MDP monomerinin kompozit rezindeki reaksiyona girmemiş C=C çift bağlarla doğrudan kurulan kimyasal etkileşiminin, bağlanma değerlerini artırması olarak yorumlanabilir. Bu çalışmanın aksine, bizim çalışmamızda, 10-MDP içerikli universal adeziv kullanılmasına rağmen, yaşlandırma yapılmayan gruplarda, alüminyum oksit ile kumlama işleminin mikro makaslama bağlanma dayanımı değerlerinde anlamlı fark yaratmadığı görüldü. 10,000 ısısal döngü ile yaşlandırma yapılan grupta ise universal adeziv self-etch mod uygulamasından önce 50 µm alüminyum oksit ile kumlama işlemi bağlantıya olumlu katkı sağladı.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu *in vitro* çalışmanın sınırları dahilinde;

1. Isısal döngü ile yaşlandırma işlemi kompozit rezin restoratif materyalin tamir bağlanma dayanımını etkiledi. Yaşlandırma işlemi uygulanmayan gruplar, tüm yüzey hazırlama işlemi gruplarında en yüksek bağlanma değerlerini gösterdi.
2. Universal adezivin farklı uygulama modları arasında, yaşlandırma işlemi yapılan ve yapılmayan gruplar arasında μ MBD değerleri açısından anlamlı bir fark belirlenmedi. Yalnızca yaşlandırma işlemi yapılan gruplarda universal adezivi etch-rinse modda uygulamanın self-etch modda uygulamaya göre üstün olduğu görüldü.
3. Alüminyum oksit ile kumlama işlemi tek başına belirgin bir etki yaratmasa da, diğer faktörlerle birlikte değerlendirildiğinde yaşlandırma süreçlerinin tamir bağlanma dayanımı üzerindeki etkisini anlamak önemlidir. Tedavi planlamasında alüminyum oksit ile kumlama işleminin rolü üzerine daha fazla araştırma yapılması önerilir.
4. Elde edilen bulgular doğrultusunda, yaşlandırma işlemi özellikle önemli bir faktör olarak belirlendi. Bu bağlamda kompozit rezin restoratif materyallerin tamirinde farklı universal adezivlerin farklı uygulama modları ve yüzey hazırlama yöntemleri arasında seçim yapılırken yaşlandırma sürecinin dikkate alınması önerilir.



KAYNAKLAR

1. Toz-Akalin, T., Öztürk-Bozkurt, F., Kusdemir, M., Özsoy, A., Yüzbaşıoğlu, E., and Özcan, M. (2023). Clinical evaluation of low-shrinkage bioactive material giomer versus nanohybrid resin composite restorations: A two-year prospective controlled clinical trial. *Operative Dentistry*, 48(1), 10-20.
2. Alreshaid, L., El-Badrawy, W., Kulkarni, G., Santos, M. J., and Prakki, A. (2023). Resin composite versus amalgam restorations placed in United States Dental Schools. *Operative Dentistry*, 48(1), 21-32.
3. Albar, N. H. M., and Khayat, W. F. (2022). Evaluation of fracture strength of fiber-reinforced direct composite resin restorations: An in vitro study. *Polymers*, 14(20), 4339.
4. Demarco, F. F., Cenci, M. S., Montagner, A. F., de Lima, V. P., Correa, M. B., Moraes, R. R., and Opdam, N. J. (2023). Longevity of composite restorations is definitely not only about materials. *Dental Materials*, 39(1), 1-12.
5. Ritter, A. V., Sulaiman, T. A., Altitinch, A., Bair, E., Baratto-Filho, F., Gonzaga, C. C., and Correr, G. M. (2019). Composite-composite adhesion as a function of adhesive-composite material and surface treatment. *Operative Dentistry*, 44(4), 348-354.
6. Akgül, S., Kedici Alp, C., and Bala, O. (2021). Repair potential of a bulk-fill resin composite: Effect of different surface-treatment protocols. *European Journal of Oral Sciences*, 129(6), e12814.
7. Michelotti, G., Niedzwiecki, M., Bidjan, D., Dieckmann, P., Deari, S., Attin, T., and Tauböck, T. T. (2020). Silane effect of universal adhesive on the composite-composite repair bond strength after different surface pretreatments. *Polymers*, 12(4), 950.
8. Maneenut, C., Sakoolnamarka, R., and Tyas, M. J. (2011). The repair potential of resin composite materials. *Dental Materials*, 27(2), e20-e27.
9. Gutierrez, N. C., Moecke, S. E., Caneppele, T. M., Perote, L. C., Batista, G. R., Huhtalla, M. F., and Torres, C. R. (2019). Bond strength of composite resin restoration repair: influence of silane and adhesive systems. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 20(8), 880-886.
10. Flury, S., Dulla, F. A., and Peutzfeldt, A. (2019). Repair bond strength of resin composite to restorative materials after short-and long-term storage. *Dental Materials*, 35(9), 1205-1213.
11. Dieckmann, P., Baur, A., Dalvai, V., Wiedemeier, D. B., Attin, T., and Tauböck, T. T. (2020). Effect of Composite Age on the Repair Bond Strength after Different Mechanical Surface Pretreatments. *Journal of Adhesive Dentistry*, 22(4), 365-372.

12. Martos, R., Hegedüs, V., Szalóki, M., Blum, I. R., Lynch, C. D., and Hegedüs, C. (2019). A randomised controlled study on the effects of different surface treatments and adhesive self-etch functional monomers on the immediate repair bond strength and integrity of the repaired resin composite interface. *Journal of Dentistry*, 85, 57-63.
13. Martin, J., Fernandez, E., Estay, J., Gordan, V. V., Mjor, I. A., and Moncada, G. (2013). Minimal invasive treatment for defective restorations: Five-year results using sealants. *Operative Dentistry*, 38(2), 125-133.
14. Loomans, B. A., and Özcan, M. (2016). Intraoral repair of direct and indirect restorations: procedures and guidelines. *Operative Dentistry*, 41(7), 68-78.
15. Rathke, A., Tymina, Y., and Haller, B. (2009). Effect of different surface treatments on the composite–composite repair bond strength. *Clinical Oral Investigations*, 13(3), 317-323.
16. Elawsya, M. E., El-shehawy, T. M., and Zaghloul, N. M. (2021). Influence of various antioxidants on micro-shear bond strength of resin composite to bleached enamel. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(2), 371-379.
17. Morresi, A. L., D'Amario, M., Capogreco, M., Gatto, R., Marzo, G., D'Arcangelo, C., and Monaco, A. (2014). Thermal cycling for restorative materials: does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 29, 295-308.
18. Staxrud, F., and Dahl, J. E. (2011). Role of bonding agents in the repair of composite resin restorations. *European Journal of Oral Sciences*, 119(4), 316-322.
19. Valente, L. L., Silva, M. F., Fonseca, A. S., Muenchow, E. A., Isolan, C. P., and Moraes, R. R. (2015). Effect of diamond bur grit size on composite repair. *Journal of Adhesive Dentistry*, 17(3), 257-63.
20. Staxrud, F., and Dahl, J. E. (2015). Silanising agents promote resin-composite repair. *International Dental Journal*, 65(6), 311-315.
21. Costa, T. R., Ferreira, S. Q., Klein-Júnior, C. A., Loguercio, A. D., and Reis, A. (2010). Durability of surface treatments and intermediate agents used for repair of a polished composite. *Operative Dentistry*, 35(2), 231-237.
22. Özcan, M., Barbosa, S. H., Melo, R. M., Galhano, G. A. P., and Bottino, M. A. (2007). Effect of surface conditioning methods on the microtensile bond strength of resin composite to composite after aging conditions. *Dental Materials*, 23(10), 1276-1282.
23. Rinastiti, M., Özcan, M., Siswomihardjo, W., and Busscher, H. J. (2010). Immediate repair bond strengths of microhybrid, nanohybrid and nanofilled composites after different surface treatments. *Journal of Dentistry*, 38(1), 29-38.

24. Irmak, Ö., Çellksöz, Ö., Yilmaz, B., and Yaman, B. C. (2017). Adhesive system affects repair bond strength of resin composite. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 51(3), 25-31.
25. Teixeira Mendes, L., Loomans, B. A., Opdam, N. J., Lopes da Silva, C., Casagrande, L., and Larissa Lenzi, T. (2020). Silane coupling agents are beneficial for resin composite repair: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Journal of Adhesive Dentistry*, 22(5), 443-453.
26. Zhou, X., Huang, X., Li, M., Peng, X., Wang, S., Zhou, X., and Cheng, L. (2019). Development and status of resin composite as dental restorative materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(44), 48180.
27. Wang, Y., Zhu, M., and Zhu, X. X. (2021). Functional fillers for dental resin composites. *Acta Biomaterialia*, 122, 50-65.
28. Sakaguchi, R. L., and Powers, J. M. (2011). *Craig's restorative dental materials-e-book*. Philadelphia: Elsevier Health Sciences.
29. Ferracane, J. L. (2011). Resin composite-state of the art. *Dental Materials*, 27(1), 29-38.
30. Cho, K., Rajan, G., Farrar, P., Prentice, L., and Prusty, B. G. (2022). Dental resin composites: A review on materials to product realizations. *Composites Part B: Engineering*, 230, 109495.
31. Obici, A. C., Sinhoret, M. A. C., Frollini, E., Correr Sobrinho, L., and Consani, S. (2004). Degree of conversion of Z250 composite determined by fourier transform infrared spectroscopy: comparison of techniques, storage periods and photo-activation methods. *Materials Research*, 7, 605-610.
32. Riva, Y. R., and Rahman, S. F. (2019). *Dental composite resin: A review. AIP Conference Proceedings*. New York: AIP Publishing LLC., 1, 2193.
33. Ravi, R. K., Alla, R. K., Shammash, M., and Devarhubli, A. (2013). Dental composites-a versatile restorative material: An overview. *Indian Journal of Dental Sciences*, 5(5), 111-115.
34. Kim, K. H., Park, J. H., Imai, Y., and Kishi, T. (1994). Micro fracture mechanisms of dental resin composites containing spherically-shaped filler particles. *Journal of Dental Research*, 73(2), 499-504.
35. Habib, E., Wang, R., and Zhu, X. X. (2018). Correlation of resin viscosity and monomer conversion to filler particle size in dental composites. *Dental Materials*, 34(10), 1501-1508.
36. Klapdohr, S., and Moszner, N. (2005). New inorganic components for dental filling composites. *Monatshefte für Chemie/Chemical Monthly*, 136, 21-45.
37. Habib, E., Wang, R., Wang, Y., Zhu, M., and Zhu, X. X. (2016). Inorganic fillers for dental resin composites: Present and future. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 2(1), 1-11.

38. Hervás García, A., Lozano, M., Cabanes Vila, J., Barjau Escribano, A., and Fos Galve, P. (2006). Composite resins: a review of the materials and clinical indications. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 11, 2
39. Çelik, Ç. (2017). Güncel kompozit rezin sistemler. *Türkiye Klinikleri Journal Restor Dent-Special Topics*, 3(3), 128-37.
40. Dayangaç, B. (2011). *Kompozit restorasyonlar*. Ankara: Quintessence Yayıncılık, 59-83.
41. Ritter, A. V. (2017). *Sturdevant's art & science of operative dentistry-e-book*. St. Louis: Elsevier Health Sciences.
42. Dos Santos, P. H., Catelan, A., Albuquerque Guedes, A. P., Umeda Suzuki, T. Y., de Lima Godas, A. G., Fraga Briso, A. L., and Bedran-Russo, A. K. (2015). Effect of thermocycling on roughness of nanofill, microfill and microhybrid composites. *Acta Odontologica Scandinavica*, 73(3), 176-181.
43. Anusavice, K. J., Shen, C., and Rawls, H. R. (Eds.). (2012). *Phillips' science of dental materials*. St. Louis: Elsevier Health Sciences.
44. Burgess, J. O., Walker, R., and Davidson, J. M. (2002). Posterior resin-based composite: review of the literature. *Pediatric Dentistry*, 24(5), 465-479.
45. Janda, R., Roulet, J. F., Kaminsky, M., Steffin, G., and Latta, M. (2004). Color stability of resin matrix restorative materials as a function of the method of light activation. *European Journal of Oral Sciences*, 112(3), 280-285.
46. Gökçe, K. (2005). Kompozit restorasyonlarda son gelişmeler. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2005(3), 52-60.
47. Moraes, R. R., Goncalves, L. D. S., Lancellotti, A. C., Consani, S., Correr-Sobrinho, L., and Sinhoreti, M. A. (2009). Nanohybrid resin composites: nanofiller loaded materials or traditional microhybrid resins?. *Operative Dentistry*, 34(5), 551-557.
48. Chen, M. H. (2010). Update on dental nanocomposites. *Journal of Dental Research*, 89(6), 549-560.
49. Sideridou, I. D., Karabela, M. M., and Vouvoudi, E. C. (2011). Physical properties of current dental nanohybrid and nanofill light-cured resin composites. *Dental Materials*, 27(6), 598-607.
50. Turssi, C. P., Ferracane, J. L., and Ferracane, L. L. (2006). Wear and fatigue behavior of nano-structured dental resin composites. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 78(1), 196-203.
51. Jung, M., Sehr, K., and Klimek, J. (2007). Surface texture of four nanofilled and one hybrid composite after finishing. *Operative Dentistry*, 32(1), 45-52.

52. Ergücü, Z., Türkün, L. S., and Aladag, A. J. O. D. (2008). Color stability of nanocomposites polished with one-step systems. *Operative Dentistry*, 33(4), 413-420.
53. Kugel, G., and Ferrari, M. (2000). The science of bonding: From first to sixth generation. *The Journal of the American Dental Association*, 131, 20-25.
54. Sofan, E., Sofan, A., Palaia, G., Tenore, G., Romeo, U., and Migliau, G. (2017). Classification review of dental adhesive system From the IV generation to the universal type. *Annali di Stomatologia*, 8(1),1.
55. Yazici, A. R., Celik, C., Özgünaltay, G., and Dayangaç, B. (2007). Bond strength of different adhesive systems to dental hard tissues. *Operative Dentistry*, 32(2), 166-172.
56. Silva e Souza Junior, M. H., Carneiro, K. G. K., Lobato, M. F., Silva e Souza, P. D. A. R., and Góes, M. F. D. (2010). Adhesive systems: Important aspects related to their composition and clinical use. *Journal of Applied Oral Science*, 18, 207-214.
57. Yoshida, Y., Nagakane, K., Fukuda, R., Nakayama, Y., Okazaki, M., Shintani, H., and Van Meerbeek, B. (2004). Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *Journal of Dental Research*, 83(6), 454-458.
58. Alex, G. (2008). Adhesive considerations in the placement of direct composite restorations. *Oral Health*, 98(4), 109-119.
59. De Munck, J., Vargas, M., Iracki, J., Van Landuyt, K., Poitevin, A., Lambrechts, P., and Van Meerbeek, B. (2005). One-day bonding effectiveness of new self-etch adhesives to bur-cut enamel and dentin. *Operative Dentistry*, 30(1), 39-49.
60. Mickenautsch, S. (2022). Selective enamel etching effect on clinical performance of self-etch/self-adhesive systems. *Journal of Minimum Intervention in Dentistry*, 15(2), 32-36.
61. Giannini, M., Makishi, P., Ayres, A. P. A., Vermelho, P. M., Fronza, B. M., Nikaido, T., and Tagami, J. (2015). Self-etch adhesive systems: A literature review. *Brazilian Dental Journal*, 26, 3-10.
62. Yiu, C. K. Y., King, N. M., Pashley, D. H., Suh, B. I., Carvalho, R. M. D., Carrilho, M. R. O., and Tay, F. R. (2004). Effect of resin hydrophilicity and water storage on resin strength. *Biomaterials*, 25(26), 5789-5796.
63. Nishiyama, N., Tay, F. R., Fujita, K., Pashley, D. H., Ikemura, K., Hiraishi, N., and King, N. M. (2006). Hydrolysis of functional monomers in a single-bottle self-etching primer-correlation of ¹³C NMR and TEM findings. *Journal of Dental Research*, 85(5), 422-426.

64. Van Landuyt, K. L., Snauwaert, J., Peumans, M., De Munck, J., Lambrechts, P., and Van Meerbeek, B. (2008). The role of HEMA in one-step self-etch adhesives. *Dental Materials*, 24(10), 1412-1419.
65. Navyasri, K., Alla, R. K., Vineeth, G., and Suresh Sajjan, M. C. (2019). An overview of dentin bonding agents. *International Journal of Dental Materials*, 1(2), 60-67.
66. Wong, J., Tsujimoto, A., Fischer, N. G., Baruth, A. G., Barkmeier, W. W., Johnson, E. A., and Miyazaki, M. (2020). Enamel etching for universal adhesives: Examination of enamel etching protocols for optimization of bonding effectiveness. *Operative Dentistry*, 45(1), 80-91.
67. Nagarkar, S., Theis-Mahon, N., and Perdigão, J. (2019). Universal dental adhesives: Current status, laboratory testing, and clinical performance. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 107(6), 2121-2131.
68. Erickson, R. L., Barkmeier, W. W., and Kimmes, N. S. (2009). Bond strength of self-etch adhesives to pre-etched enamel. *Dental Materials*, 25(10), 1187-1194.
69. Perdigão, J., and Swift Jr, E. J. (2015). Universal adhesives. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(6), 331-334.
70. Carrilho, E., Cardoso, M., Marques Ferreira, M., Marto, C. M., Paula, A., and Coelho, A. S. (2019). 10-MDP based dental adhesives: Adhesive interface characterization and adhesive stability-a systematic review. *Materials*, 12(5), 790-818.
71. Perdigão, J., Araujo, E., Ramos, R. Q., Gomes, G., and Pizzolotto, L. (2021). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 51-68.
72. Peumans, M., De Munck, J., Mine, A., and Van Meerbeek, B. (2014). Clinical effectiveness of contemporary adhesives for the restoration of non-carious cervical lesions. A systematic review. *Dental Materials*, 30(10), 1089-1103.
73. Sebold, M., André, C. B., Sahadi, B. O., Breschi, L., and Giannini, M. (2021). Chronological history and current advancements of dental adhesive systems development: A narrative review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(18), 1941-1967.
74. Papadogiannis, D., Dimitriadi, M., Zafiropoulou, M., Gaintantzopoulou, M. D., and Eliades, G. (2019). Universal adhesives: setting characteristics and reactivity with dentin. *Materials*, 12(10), 1720-1736.
75. Wendlinger, M., Nuñez, A., Moreira, P. H. A., Carneiro, T. S., Cochinski, G. D., Siqueira, F. S. F., and Loguercio, A. D. (2023). Effect of the absence of HEMA on the bonding properties of universal adhesive systems containing 10-MDP: An in vitro study. *Operative Dentistry*, 48(5), 500-512.

76. Silva, C. L. D., Scherer, M. M., Mendes, L. T., Casagrande, L., Leitune, V. C. B., and Lenzi, T. L. (2020). Does use of silane-containing universal adhesive eliminate the need for silane application in direct composite repair?. *Brazilian Oral Research*, 34, e045-e052.
77. Mendes, L. T., Pedrotti, D., Leitune, V. C. B., and Lenzi, T. L. (2023). Use of nonhydrolyzed silane prior to the silane-containing universal adhesive application improves the repair bond strength of resin composite. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 123, 103339.
78. Yoshihara, K., Nagaoka, N., Sonoda, A., Maruo, Y., Makita, Y., Okihara, T., and Van Meerbeek, B. (2016). Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in 'universal' adhesives. *Dental Materials*, 32(10), 1218-1225.
79. Dursun, M. N., Ergin, E., and Ozgunaltay, G. (2021). The effect of different surface preparation methods and various aging periods on microtensile bond strength for composite resin repair. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 24(2), 282-291.
80. Özcan, M., Cura, C., and Brendeke, J. (2010). Effect of aging conditions on the repair bond strength of a microhybrid and a nanohybrid resin composite. *Journal of Adhesive Dentistry*, 12(6), 451-459.
81. Gordan, V. V., Mjör, I. A., Blum, I. R., and Wilson, N. (2003). Teaching students the repair of resin-based composite restorations: A survey of North American dental schools. *The Journal of the American Dental Association*, 134(3), 317-323.
82. Hickel, R., Brühshaver, K., and Ilie, N. (2013). Repair of restorations—criteria for decision making and clinical recommendations. *Dental Materials*, 29(1), 28-50.
83. Blum, I. R., and Özcan, M. (2018). Reporative dentistry: Possibilities and limitations. *Current Oral Health Reports*, 5, 264-269.
84. Blum, I. R. (2019). Restoration repair as a contemporary approach to tooth preservation: criteria for decision making and clinical recommendations. *Primary Dental Journal*, 8(1), 38-43.
85. Wilson, N. H. F., Lynch, C. D., Brunton, P. A., Hickel, R., Meyer-Lueckel, H., Gurgan, S., and Opdam, N. (2016). Criteria for the replacement of restorations: Academy of Operative Dentistry European Section. *Operative Dentistry*, 41(7), 48-57.
86. Blum, I. R. (2008). The management of failing direct composite restorations: Replace or repair?. *Successful posterior composites*. Berlin: Quintessence, 101-113
87. Blum, I. R., Lynch, C. D., and Wilson, N. H. (2014). Factors influencing repair of dental restorations with resin composite. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 81-87.

88. Blum, I. R., and Lynch, C. D. (2014). Repair versus replacement of defective direct dental restorations in posterior teeth of adults. *Primary Dental Journal*, 3(2), 62-67.
89. Opdam, N. J., Bronkhorst, E. M., Loomans, B. A., and Huysmans, M. C. D. (2012). Longevity of repaired restorations: a practice based study. *Journal of Dentistry*, 40(10), 829-835.
90. Estay, J., Martín, J., Viera, V., Valdivieso, J., Bersezio, C., Vildosola, P., and Fernández, E. (2018). 12 years of repair of amalgam and composite resins: A clinical study. *Operative Dentistry*, 43(1), 12-21.
91. Fernández, E., Martín, J., Vildósola, P., Junior, O. O., Gordan, V., Mjor, I., and Moncada, G. (2015). Can repair increase the longevity of composite resins? Results of a 10-year clinical trial. *Journal of Dentistry*, 43(2), 279-286.
92. Casagrande, L., Laske, M., Bronkhorst, E. M., Huysmans, M. C. D., and Opdam, N. J. (2017). Repair may increase survival of direct posterior restorations—A practice based study. *Journal of Dentistry*, 64, 30-36.
93. Moncada, G., Martin, J., Fernández, E., Hempel, M. C., Mjör, I. A., and Gordan, V. V. (2009). Sealing, refurbishment and repair of Class I and Class II defective restorations. *The Journal of the American Dental Association*, 140(4), 425-432.
94. Gordan, V. V., Garvan, C. W., Blaser, P. K., Mondragon, E., and Mjör, I. A. (2009). A long-term evaluation of alternative treatments to replacement of resin-based composite restorations: results of a seven-year study. *The Journal of the American Dental Association*, 140(12), 1476-1484.
95. Gordan, V. V., Riley III, J. L., Rindal, D. B., Qvist, V., Fellows, J. L., Dilbone, D. A., and National Dental Practice-Based Research Network Collaborative Group. (2015). Repair or replacement of restorations: A prospective cohort study by dentists in The National Dental Practice-Based Research Network. *The Journal of the American Dental Association*, 146(12), 895-903.
96. van de Sande, F. H., Moraes, R. R., Elias, R. V., Montagner, A. F., Rodolpho, P. A., Demarco, F. F., and Cenci, M. S. (2019). Is composite repair suitable for anterior restorations? A long-term practice-based clinical study. *Clinical Oral Investigations*, 23, 2795-2803.
97. Oskoe, S. K., Drummond, J. L., and Rockne, K. J. (2019). The effect of esterase enzyme on aging dental composites. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 107(6), 2178-2184.
98. Sousa, A. B., Silami, F. D., da Garcia, L., Naves, L. Z., and de Pires-de-Souza, F. (2013). Effect of various aging protocols and intermediate agents on the bond strength of repaired composites. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 15(2), 137-44.

99. Loomans, B. A. C., Mesko, M. E., Moraes, R. R., Ruben, J., Bronkhorst, E. M., Pereira-Cenci, T., and Huysmans, M. C. D. N. J. M. (2017). Effect of different surface treatment techniques on the repair strength of indirect composites. *Journal of Dentistry*, 59, 18-25.
100. Eliasson, S. T., and Dahl, J. E. (2020). Effect of thermal cycling on temperature changes and bond strength in different test specimens. *Biomaterial Investigations in Dentistry*, 7(1), 16-24.
101. De Oliveira, D. C. R. S., Ayres, A. P. A., Rocha, M. G., Giannini, M., Puppini Rontani, R. M., Ferracane, J. L., and Sinhoret, M. A. C. (2015). Effect of different in vitro aging methods on color stability of a dental resin-based composite using CIELAB and CIEDE 2000 color-difference formulas. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(5), 322-330.
102. Montagner, A. F., Opdam, N. J., De Munck, J., Cenci, M. S., Van Meerbeek, B., and Huysmans, M. C. D. (2017). Bonding efficacy and fracture pattern of adhesives submitted to mechanical aging with the Rub&Roll device. *Journal of Adhesive Dentistry*, 19(1), 59-68.
103. Lima, V. P., Machado, J. B., Zhang, Y., Loomans, B. A., and Moraes, R. R. (2022). Laboratory methods to simulate the mechanical degradation of resin composite restorations. *Dental Materials*, 38(1), 214-229.
104. Ugurlu, M., Al-Haj Husain, N., and Özcan, M. (2022). Repair of bulk-fill and nanohybrid resin composites: effect of surface conditioning, adhesive promoters, and long-term aging. *Materials*, 15(13), 4688-4701.
105. Zhou, M., Drummond, J. L., and Hanley, L. (2005). Barium and strontium leaching from aged glass particle/resin matrix dental composites. *Dental Materials*, 21(2), 145-155.
106. Mondal, K., O'Brien, E. P., Rockne, K. J., and Drummond, J. L. (2023). The impact of long-term aging in artificial saliva media on resin-based dental composite strength. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 111(4), 812-820.
107. Finer, Y., and Santerre, J. P. (2004). Salivary esterase activity and its association with the biodegradation of dental composites. *Journal of Dental Research*, 83(1), 22-26.
108. Deng, D., Yang, H., Guo, J., Chen, X., Zhang, W., and Huang, C. (2014). Effects of different artificial ageing methods on the degradation of adhesive–dentine interfaces. *Journal of Dentistry*, 42(12), 1577-1585.
109. Čulina, M. Z., Rajić, V. B., Šalinović, I., Klarić, E., Marković, L., and Ivanišević, A. (2022). Influence of pH cycling on erosive wear and color stability of High-Viscosity glass ionomer cements. *Materials*, 15(3), 923-933.

110. Nikaido, T., Kunzelmann, K. H., Chen, H., Ogata, M., Harada, N., Yamaguchi, S., and Tagami, J. (2002). Evaluation of thermal cycling and mechanical loading on bond strength of a self-etching primer system to dentin. *Dental Materials*, 18(3), 269-275.
111. Fidan, M. (2022). Accelerated aging effects on color change, translucency parameter, and surface hardness of resin composites. *BioMed Research International*, 26(4), 272-278.
112. Takahashi, M. K., Vieira, S., Rached, R. N., Almeida, J. D., Aguiar, M., and Souza, E. D. (2008). Fluorescence intensity of resin composites and dental tissues before and after accelerated aging: a comparative study. *Operative Dentistry*, 33(2), 189-195.
113. Schneider, L. F. J., Pfeifer, C. S., Consani, S., Pahl, S. A., and Ferracane, J. L. (2008). Influence of photoinitiator type on the rate of polymerization, degree of conversion, hardness and yellowing of dental resin composites. *Dental Materials*, 24(9), 1169-1177.
114. Youngson, C. C., and Barclay, C. W. (2000). A pilot study of intraoral temperature changes. *Clinical Oral Investigations*, 4, 183-189.
115. Dos Santos, P. A., Garcia, P. P. N. S., and Palma-Dibb, R. G. (2005). Shear bond strength of adhesive systems to enamel and dentin. Thermocycling influence. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 16, 727-732.
116. Helvatjoglu-Antoniades, M., Koliniotou-Kubia, E., and Dionyssopoulos, P. (2004). The effect of thermal cycling on the bovine dentine shear bond strength of current adhesive systems. *Journal of Oral Rehabilitation*, 31(9), 911-917.
117. Daneshkazemi, A., Davari, A., Akbari, M. J., Davoudi, A., and Badrian, H. (2015). Effects of thermal and mechanical load cycling on the dentin microtensile bond strength of Single Bond-2. *Journal of International Oral Health*, 7(8), 9-13.
118. Szczesio-Wlodarczyk, A., Sokolowski, J., Kleczewska, J., and Bociong, K. (2020). Ageing of dental composites based on methacrylate resins-A critical review of the causes and method of assessment. *Polymers*, 12(4), 882-900.
119. Saboia, V. P., Silva, F. C., Nato, F., Mazzoni, A., Cadenaro, M., Mazzotti, G., and Breschi, L. (2009). Analysis of differential artificial ageing of the adhesive interface produced by a two-step etch-and-rinse adhesive. *European Journal of Oral Sciences*, 117(5), 618-624.
120. Xie, C., Han, Y., Zhao, X. Y., Wang, Z. Y., and He, H. M. (2010). Microtensile bond strength of one-and two-step self-etching adhesives on sclerotic dentin: the effects of thermocycling. *Operative Dentistry*, 35(5), 547-555.
121. El Mourad, A. M. (2018). Assessment of bonding effectiveness of adhesive materials to tooth structure using bond strength test methods: a review of literature. *The open Dentistry Journal*, 12, 664-678.

122. Shimada, Y., Senawongse, P., Harnirattisai, C., Burrow, M. F., Nakaoki, Y., and Tagami, J. (2002). Bond strength of two adhesive systems to primary and permanent enamel. *Operative Dentistry*, 27(4), 403-409.
123. Elmas, M. S., Başaran, E. G., ve İzgi, A. D. (2021). Diş hekimliğinde kullanılan bağlanma dayanımı test metotları. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 31(2), 283-288.
124. Sirisha, K., Rambabu, T., Ravishankar, Y., and Ravikumar, P. (2014). Validity of bond strength tests: A critical review-Part II. *Journal of Conservative Dentistry*, 17(5), 420-426.
125. Braga, R. R., Meira, J. B., Boaro, L. C., and Xavier, T. A. (2010). Adhesion to tooth structure: A critical review of “macro” test methods. *Dental Materials*, 26(2), e38-e49.
126. Sano, H., Chowdhury, A. F. M. A., Saikaew, P., Matsumoto, M., Hoshika, S., and Yamauti, M. (2020). The microtensile bond strength test: Its historical background and application to bond testing. *Japanese Dental Science Review*, 56(1), 24-31.
127. Zhu, J. J., Tang, A. T., Matinlinna, J. P., and Hägg, U. (2014). Acid etching of human enamel in clinical applications: a systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(2), 122-135.
128. Loomans, B. A. C., Cardoso, M. V., Opdam, N. J. M., Roeters, F. J. M., De Munck, J., Huysmans, M. C. D. N. J. M., and Van Meerbeek, B. (2011). Surface roughness of etched composite resin in light of composite repair. *Journal of Dentistry*, 39(7), 499-505.
129. de Jesus Tavares, R. R., Almeida Júnior, L. J. D. S., Guará, T. C. G., Ribeiro, I. S., Maia Filho, E. M., and Firoozmand, L. M. (2017). Shear bond strength of different surface treatments in bulk fill, microhybrid, and nanoparticle repair resins. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 9, 61-66.
130. Wendler, M., Belli, R., Panzer, R., Skibbe, D., Petschelt, A., and Lohbauer, U. (2016). Repair bond strength of aged resin composite after different surface and bonding treatments. *Materials*, 9(7), 547-559.
131. Rainey, J. T. (2002). Air abrasion: An emerging standard of care in conservative operative dentistry. *Dental Clinics*, 46(2), 185-209.
132. Lima, V. P., Soares, K. D. A., Caldeira, V. S., Faria-e-Silva, A. L., Loomans, B. A. C., and Moraes, R. R. (2021). Airborne-particle abrasion and dentin bonding: Systematic review and meta-analysis. *Operative Dentistry*, 46(1), 21-33.
133. Huang, C. T., Kim, J., Arce, C., and Lawson, N. C. (2019). Intraoral air abrasion: A review of devices, materials, evidence, and clinical applications in restorative dentistry. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 40(8), 508-514.

134. Hegde, V. S., and Khataavkar, R. A. (2010). A new dimension to conservative dentistry: Air abrasion. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(1), 4-8.
136. Murdoch-Kinch, C. A., and McLEAN, M. E. (2003). Minimally invasive dentistry. *The Journal of the American Dental Association*, 134(1), 87-95.
137. Loomans, B. A., Cardoso, M. V., Roeters, F. J. M., Opdam, N. J. M., De Munck, J., Huysmans, M. C. D. N. J. M., and Van Meerbeek, B. (2011). Is there one optimal repair technique for all composites?. *Dental Materials*, 27(7), 701-709.
138. Curtis, A. R., Palin, W. M., Fleming, G. J., Shortall, A. C., and Marquis, P. M. (2009). The mechanical properties of nanofilled resin-based composites: The impact of dry and wet cyclic pre-loading on bi-axial flexure strength. *Dental Materials*, 25(2), 188-197.
139. Altinci, P., Mutluay, M., and Tezvergil-Mutluay, A. (2018). Repair bond strength of nanohybrid composite resins with a universal adhesive. *Acta Biomaterialia Odontologica Scandinavica*, 4(1), 10-19.
140. Staxrud, F., Tveit, A. B., Rukke, H. V., and Kopperud, S. E. (2016). Repair of defective composite restorations. A questionnaire study among dentists in the Public Dental Service in Norway. *Journal of Dentistry*, 52, 50-54.
141. Kashi, T. J., Erfan, M., Rakhshan, V., Aghabaigi, N., and Tabatabaei, F. S. (2011). An in vitro assessment of the effects of three surface treatments on repair bond strength of aged composites. *Operative Dentistry*, 36(6), 608-617.
142. De Munck, J. D., Van Landuyt, K., Peumans, M., Poitevin, A., Lambrechts, P., Braem, M., and Van Meerbeek, B. (2005). A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *Journal of Dental Research*, 84(2), 118-132.
143. Kunt, G. E., ve Çetiner, R. B. (2017). Mekanik testler: Bükülme dayanıklılığı ve ölçümü, sıkıştırma, germe, eğilme, bağlanma, çekme, itme, makaslama. *Türkiye Klinikleri Journal Prosthodont-Special Topics*, 3(3), 210-215.
144. Phrukkanon, S., Burrow, M. F., and Tyas, M. J. (1998). Effect of cross-sectional surface area on bond strengths between resin and dentin. *Dental Materials*, 14(2), 120-128.
145. Yap, A. U. J., Sau, C. W., and Lye, K. W. (1999). Effects of aging on repair bond strengths of a polyacid-modified composite resin. *Operative Dentistry*, 24(6), 371-376.
146. Brendeke, J., and Özcan, M. (2007). Effect of physicochemical aging conditions on the composite-composite repair bond strength. *Journal of Adhesive Dentistry*, 9(4), 399-407.
147. Özel Bektas, Ö., Eren, D., Herguner Siso, S., and Akin, G. E. (2012). Effect of thermocycling on the bond strength of composite resin to bur and laser treated composite resin. *Lasers in Medical Science*, 27, 723-728.

148. Hahnel, S., Henrich, A., Bürgers, R., Handel, G., and Rosentritt, M. (2010). Investigation of mechanical properties of modern dental composites after artificial aging for one year. *Operative Dentistry*, 35(4), 412-419.
149. Ferracane, J. L. (2006). Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dental Materials*, 22(3), 211-222.
150. Kiomarsi, N., Espahbodi, M., Chiniforush, N., Karazifard, M. J., and Kamangar, S. S. H. (2017). In vitro evaluation of repair bond strength of composite: Effect of surface treatments with bur and laser and application of universal adhesive. *Laser therapy*, 26(3), 173-180.
151. Ferracane, J. L., Berge, H. X., and Condon, J. R. (1998). In vitro aging of dental composites in water-effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and the Australian Society for Biomaterials*, 42(3), 465-472.
152. Şişmanoğlu, S., Gürcan, A. T., Yıldırım-Bilmez, Z., and Gümüştaş, B. (2020). Efficacy of different surface treatments and universal adhesives on the microtensile bond strength of bulk-fill composite repair. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34(10), 1115-1127.
153. Eliasson, S. T., Tibballs, J., and Dahl, J. E. (2014). Effect of different surface treatments and adhesives on repair bond strength of resin composites after one and 12 months of storage using an improved microtensile test method. *Operative Dentistry*, 39(5), 206-216.
154. Çakir, N. N., Demirbuga, S., Balkaya, H., and Karadaş, M. (2018). Bonding performance of universal adhesives on composite repairs, with or without silane application. *Journal of Conservative Dentistry*, 21(3), 263-268.
155. Wiegand, A., Stawarczyk, B., Buchalla, W., Tauböck, T. T., Özcan, M., and Attin, T. (2012). Repair of silorane composite-Using the same substrate or a methacrylate-based composite?. *Dental Materials*, 28(3), e19-e25.
156. Lung, C. Y. K., and Matinlinna, J. P. (2012). Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: An overview. *Dental Materials*, 28(5), 467-477.
157. Willers, A. E., Almeida Ayres, A. P., Hirata, R., and Giannini, M. (2022). Effect of universal adhesive application on bond strength of four-year aged composite repair. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 36(17), 1823-1832.
158. Kanzow, P., Baxter, S., Rizk, M., Wassmann, T., and Wiegand, A. (2019). Effectiveness of a universal adhesive for repair bonding to composite and amalgam. *Journal of Oral Science*, 61(2), 343-350.
159. Fornazari, I. A., Wille, I., Meda, E. M., Brum, R. T., and Souza, E. M. (2017). Effect of surface treatment, silane, and universal adhesive on microshear bond strength of nanofilled composite repairs. *Operative Dentistry*, 42(4), 367-374.

160. Ahmadizenouz, G., Esmaeili, B., Taghvaei, A., Jamali, Z., Jafari, T., Daneshvar, F. A., and Khafri, S. (2016). Effect of different surface treatments on the shear bond strength of nanofilled composite repairs. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 10(1), 9-16.
161. Yin, H., Kwon, S., Chung, S. H., and Kim, R. J. Y. (2022). Performance of universal adhesives in composite resin repair. *BioMed Research International*, 763490, 1-8.
162. Oztas, N., Alaçam, A., and Bardakcy, Y. (2003). The effect of air abrasion with two new bonding agents on composite repair. *Operative Dentistry*, 28(2), 149-154.
163. Yesilyurt, C., Kusgoz, A., Bayram, M., and Ulker, M. (2009). Initial repair bond strength of a nano-filled hybrid resin: Effect of surface treatments and bonding agents. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 21(4), 251-260.
164. Blum, I. R., Hafiana, K., Curtis, A., Barbour, M. E., Attin, T., Lynch, C. D., and Jagger, D. C. (2012). The effect of surface conditioning on the bond strength of resin composite to amalgam. *Journal of Dentistry*, 40(1), 15-21.
165. da Costa, T. R. F., Serrano, A. M., Atman, A. P. F., Loguercio, A. D., and Reis, A. (2012). Durability of composite repair using different surface treatments. *Journal of Dentistry*, 40(6), 513-521.
166. Papacchini, F., Dall Oca, S., Chieffi, N., Goracci, C., Sadek, F. T., Suh, B. I., and Ferrari, M. (2007). Composite-to-composite microtensile bond strength in the repair of a microfilled hybrid resin: Effect of surface treatment and oxygen inhibition. *Journal of Adhesive Dentistry*, 9(1), 50-70.
167. Kuşdemir, M., Yüzbaşıoğlu, E., Toz-Akalın, T., Öztürk-Bozkurt, F., Özsoy, A., and Özcan, M. (2021). Does Al₂O₃ airborne particle abrasion improve repair bond strength of universal adhesives to aged and non-aged nanocomposites?. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(21), 2275-2287.
168. Cesar, P. F., PM, M. F., Caldart, M., and da Cunha Ribeiro, F. (2001). Tensile bond strength of composite repairs on Artglass using different surface treatments. *American Journal of Dentistry*, 14(6), 373-377.
169. Furtado, M. D., Immich, F., da Rosa, W. L. D. O., Piva, E., and da Silva, A. F. (2023). Repair of aged restorations made in direct resin composite-A systematic review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 103367, 1-18.
170. Jacker-Guhr, S., Sander, J., and Luehrs, A. K. (2019). How" Universal" is adhesion? Shear bond strength of multi-mode adhesives to enamel and dentin. *Journal of Adhesive Dentistry*, 21(1), 87-95.
171. Valente, L. L., Sarkis-Onofre, R., Goncalves, A. P., Fernandez, E., Loomans, B., and Moraes, R. R. (2016). Repair bond strength of dental composites: systematic review and meta-analysis. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 69(2016), 15-26.

172. Rossato, D. M., Bandeca, M. C., Saade, E. G., Lizarelli, R. F. Z., Bagnato, V. S., and Saad, J. R. C. (2009). Influence of Er: YAG laser on surface treatment of aged composite resin to repair restoration. *Laser Physics*, 19(11), 2144-2149.





ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALTUĞ YILDIRIM, Ayşenur
Uyruğu : T.C.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Uzmanlık	Gazi Üniversitesi / Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı	Devam Ediyor
Yüksek Lisans	İstanbul Medipol Üniversitesi Üniversitesi / Diş Hekimliği Fakültesi	2018
Lise	Özel Servergazi Günay Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2023-devam ediyor	Gazi Üniversitesi	Araştırma Gör.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Uluslararası Yayın

1. Altuğ Yıldırım, A., and Üçtaşlı, M. B., (2022). Aesthetic rehabilitation of diastema and polydiastema cases with direct composite resin restorations: 3-Case Reports. *Gelenbevi Scientific Research Journal*, 2(2), 15-22.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

1. Altuğ Yıldırım, A., and Üçtaşlı, M. B., (2023). *Effect of different surface treatments on repair bond strength of RBCs*. 7'th International Congress on Adhesive Dentistry (p.38). Konya, Turkey, 38.

2. Altuğ Yıldırım, A., Dağdeviren, U., and Üçtaşlı, M. B., (2022). *Rehabilitation of missing maxillary lateral incisor with fiber-reinforced composite bridge*. 26.Türk Diş Hekimleri Birliği Uluslararası Diş Hekimliği Kongresi (pp.1-2). İstanbul, Turkey.
3. Altuğ Yıldırım, A., and Üçtaşlı, M. B., (2022). *An alternative of missing teeth-fiber reinforced composite bridges: 3 case reports*. 25th BaSS Congress (pp.141). Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
4. Altuğ Yıldırım, A., and Üçtaşlı, M. B., (2022). *Aesthetic rehabilitation of diastema and polydiastema cases with direct composite resin restorations: case reports*. 2. Uluslararası Ege Sağlık Alanları Sempozyumu (UESAS'22) (pp.209-218). İzmir, Turkey.
5. Altuğ Yıldırım, A., and Üçtaşlı, M. B., (2022). *Rehabilitation of anterior aesthetics with direct composite veneers: A case report*. 8. Uluslararası Hıppokrat Tıp ve Sağlık Bilimleri Kongresi (pp.48-49). Ankara, Turkey.
6. Altuğ Yıldırım, A., and Çöltekin Olgun, E., (2022). *Treatment of anterior tooth absences with fiber-reinforced direct resin composite bridge: A case report*. Uluslararası Tıp, Yaşam Bilimleri ve Sağlık Hizmetleri Kongresi (pp.74-75). Ankara, Turkey.
7. Altuğ Yıldırım, A., and Çöltekin Olgun, E., (2022). *Aesthetic rehabilitation of anterior teeth with uncomplicated crown fracture subjected to trauma: 2 cases report*. Uluslararası Tıp, Yaşam Bilimleri ve Sağlık Hizmetleri Kongresi (pp.61-62). Ankara, Turkey.
8. Altuğ Yıldırım, A. (2021). *Diastema closure using silicone key and posterior matrix in anterior teeth: A case report*. 8. Uluslararası Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırmaları Kongresi (pp.64-65). Ankara, Turkey.

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1. Altuğ Yıldırım, A., and Üçtaşlı, M. B. (2022). *Treatment of complicated crown fracture due to trauma with reattachment technique*. RDD-Kış Sempozyumu 2022 (pp.124-125). Adana, Turkey.

Uluslararası Kitapta Bölüm

1. Altuğ Yıldırım, A. (2023). *Cad-cam restorasyonların adeziv simantasyonu. Klinik diş hekimliğinin bugünü* (pp.97-107), Ankara: Akademisyen Kitabevi.

Projelerde Yaptığı Görevler

1. Kompozit Restorasyonların Tamirinde Farklı Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin ve Yaşlandırma Sürelerinin Mikromakaslama Bağlanma Dayanımına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Araştırmacı*.



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..