



T.C.

SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

**CAM İYONOMER İÇERİKLİ FARKLI RESTORATİF
MATERYALLERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN BİYOFİLM
OLUŞUMUNA ETKİSİ**

Özlem SEÇKİN

UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Özge KAM HEPDENİZ

**Bu Tez Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından 4992-DU1-17 proje numarası ile
desteklenmiştir**

ISPARTA-2018

KABUL ve ONAY SAYFASI

Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığına;

Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Başkanlığı çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Adı Soyadı: Özlem Seçkin

Uzmanlık Tez Tarihi: 26.03.2018

Tezin Adı: Cam İyonomer İçerikli Farklı Restoratif Materyallerin Yüzey Özelliklerinin Biyofilm Oluşumuna Etkisi

Üye: Prof. Dr. Rabia Banu ERMİŞ Süleyman Demirel Üniversitesi

Üye: Prof. Dr. Ertan ERTAŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Özge KAM HEPDENİZ Süleyman Demirel Üniversitesi

ONAY: Bu uzmanlık tezi, fakülte yönetim kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve fakülte yönetim kurulu kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Timuçin BAYKUL

Dekan

BEYAN

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

“Farklı Cam İyonomer İçerikli Restoratif Materyallerin, Yüzey Özelliklerinin Biyofilm Oluşumuna Etkisi” adlı uzmanlık tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Tez Yazım Klavuzu’na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Özlem SEÇKİN

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Özge KAM HEPDENİZ

İmza

ÖNSÖZ

Uzmanlık eğitimim süresince, tezimin her aşamasında büyük bir sabır ve titizlikle bana yardımcı olan, deneyimleri ile yolumu aydınlatan, her konuda anlayış ve hoşgörüsüyle desteğini hissettiğim, samimiyeti ve enerjisi ile bana güç veren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Özge Kam Hepdeniz'e,

Uzmanlık eğitimim boyunca çok değerli fikirleriyle bana yol gösteren, hiçbir zaman bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, anlayışı ve hoşgörüsü ile bana her zaman destek olan değerli hocam Ana Bilim Dalı Başkanımız Prof. Dr. Rabia Banu Ermiş'e

Tez jürimde bulunmayı kabul eden değerli hocam Prof. Dr. Ertan Ertaş'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca bana destek olan değerli hocalarım, Yrd. Doç. Dr. Uğur Burak Temel, Yrd. Doç. Dr. Günseli Katırcı ve Yrd. Doç. Dr. Muhittin Uğurlu'ya,

Mikrobiyoloji çalışmaları sırasında bana büyük bir özveri ile yardımcı olan, tez çalışmama büyük katkı sağlayan Prof. Dr. Yasin Tuncer'e ve Dr. Didem Akpınar Kankaya'ya,

Labaratuvar çalışmaları sırasındaki her türlü yardım ve katkılılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Murat Kaleli, Murat Koç ve Salih Akyürekli'ye

Çalışmalarımızın verilerinin istatistiksel değerlendirilmesinin yapılmasında değerli bilgilerini bizimle paylaşan Yrd. Doç. Dr. Osman Gürdal'a

Uzmanlık projemi destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,

Her zaman yanımda olan, desteklerini benden esirgemeyen sevgili arkadaşlarım, Dt. Almıla Öğüt, Dt. Sebahat Gökçe İnce, Dt. Mehmet Güvenç, Dt. Kutay Karaca, Dt. Mustafa Kayacan, Dt. Çilem Bulut, Dt. Öznur Küçük, Dt. Melike Başaran, Dt. Tunay Çiçek ve tüm dostlarıma,

Her koşulda arkamda olup bana destek veren, her zaman daha iyiye ulaşma çabası içinde olmamı sağlayıp bana başarıma gücü veren, sahip olduğum her şeyi

borçlu olduğum sevgili annem Hatice Seçkin, babam İrfan Seçkin ve canım kardeşlerim Özden Seçkin ve Özgür Seçkin'e,

İhtiyacım olan her an yanımda olan, sevgisini ve desteğini her zaman kalbimde hissettiğim, tez çalışmam boyunca anlayışı ve yardımlarıyla zorlukların üstesinden gelmemi sağlayan Dt. Can Kelten ve ailesine,

Sevgi ve saygılarımı sunarak içtenlikle teşekkür ederim.

Özlem SEÇKİN



İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------------|
| KABUL ve ONAY SAYFASI | ii |
| BEYAN | iii |
| ÖNSÖZ | iv |
| İÇİNDEKİLER | vi |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | ix |
| TABLolar DİZİNİ | xi |
| RESİMLER DİZİNİ | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 3 |
| 2.1. Cam İyonomer | 3 |
| 2.1.1. Cam İyonomer Simanların Genel Özellikleri | 3 |
| 2.1.2. Cam İyonomer Simanların Avantajları ve Dezavantajları..... | 4 |
| 2.1.3. Cam İyonomer Simanların Bağlanma Mekanizması | 4 |
| 2.1.4. Cam İyonomerler Simanların Sertleşme Mekanizması | 4 |
| 2.1.5. Geleneksel Cam İyonomer Siman | 6 |
| 2.1.6. Hibrit Cam İyonomer Siman | 7 |
| 2.1.6.1. Resin Modifiye Cam İyonomer Siman | 7 |
| 2.1.6.2. Poliasit Modifiye Kompozit Resin..... | 8 |
| 2.1.7. Giomer | 8 |
| 2.1.8. Nano İyonomer | 10 |
| 2.1.9. Cam Karbomer..... | 11 |
| 2.1.10. Amalgomer | 12 |
| 2.2. Restoratif Materyallerin Yüzey Özellikleri | 13 |
| 2.2.1. Yüzey Sertliği | 13 |
| 2.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü | 13 |
| 2.2.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri | 14 |
| 2.2.2.1.1. Profilometre Analizi | 14 |
| 2.2.2.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu | 15 |
| 2.2.2.1.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu..... | 16 |
| 2.2.3. Yüzey Konfigürasyonu | 16 |
| 2.2.4. Yüzey Hidrofilitesi (Islanabilirlik) | 17 |
| 2.2.5. Serbest Yüzey Enerjisi..... | 17 |

| | |
|--|----|
| 2.3. Biyofilm..... | 18 |
| 2.3.1. Biyofilmin Yapısı | 19 |
| 2.3.2. Biyofilmin Oluşumu ve Gelişim Evreleri..... | 21 |
| 2.3.2.1. Tutunma | 21 |
| 2.3.2.2. Yapışma..... | 22 |
| 2.3.2.3. Kolonizasyon..... | 22 |
| 2.3.2.4. Olgunlaşma | 23 |
| 2.3.2.5. Kopma ya da Ayrılma | 23 |
| 2.3.3. Oral Biyofilm..... | 23 |
| 2.3.3.1. Pelikül | 24 |
| 2.3.3.2. Bakterilerin Yapışması..... | 24 |
| 2.3.3.3. Oral Biyofilmin Mikrobiyolojik Yapısı | 26 |
| 2.3.3.4. Streptokoklar | 27 |
| 2.3.3.5. Mutans Streptokokları | 28 |
| 2.3.3.4.1. Streptococcus Mutans..... | 29 |
| 2.3.4. Biyofilm İçerisindeki Bakterilerin Özellikleri..... | 30 |
| 2.3.4.1. Çevrenin Zararlı Etkilerinden Korunmak..... | 30 |
| 2.3.4.2. Metabolik Çeşitlilik ve Etkinlik Artışı | 30 |
| 2.3.4.3. Yeni Genetik Özelliklerin Kazanılması..... | 31 |
| 2.3.5. Restoratif Materyallerde Biyofilm..... | 31 |
| 2.3.5.1. Akrilik Materyaller Üzerinde Biyofilm | 32 |
| 2.3.5.2. Metalik Biyomateryaller Üzerinde Biyofilm | 32 |
| 2.3.5.3. Seramik Yüzeylerde Biyofilm..... | 32 |
| 2.3.5.4. Rezin Kompozitler ve Cam İyonomer Simanlar Üzerinde Oluşan Biyofilm | 33 |
| 2.3.6. Restoratif Materyaller Üzerinde Biyofilm Oluşumunu Etkileyen Faktörler..... | 33 |
| 2.3.6.1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Serbest Yüzey Enerjisi | 33 |
| 2.3.6.2. Ortamdaki Beslenme Faktörlerinin Etkisi..... | 34 |
| 2.3.6.3. Materyallerin Antibakteriyel Özellikleri | 34 |
| 2.3.6.4. Tükürük | 34 |
| 2.3.7. Bakteriyel Adezyonu ve Biyofilmi İncelemekte Kullanılan Yöntemler .. | 34 |
| 2.3.7.1. Işık Mikroskobu | 35 |
| 2.3.7.2. Floresan Mikroskobu | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.7.3. Konfokal Lazer Tarama Mikroskobu..... | 35 |
| 2.3.7.4. Taramalı Elektron Mikroskobu..... | 36 |
| 2.3.7.5. Atomik Kuvvet Mikroskobu..... | 36 |
| 2.3.7.6. Faz Kontrast Mikroskobu..... | 36 |
| 2.3.7.7. Bakteri Sayım Yöntemleri..... | 36 |
| 2.3.7.7.1. Doğrudan Bakteri Sayım Yöntemleri..... | 37 |
| 2.3.7.7.2. Dolaylı Bakteri Sayım Yöntemleri..... | 37 |
| 2.3.7.7.3. Koloni Sayım Temeline Dayalı Bakteri Sayma Yöntemleri..... | 38 |
| 3. GEREÇ ve YÖNTEM..... | 39 |
| 3.1. Çalışmada Kullanılacak Materyallerin Seçimi..... | 39 |
| 3.2. Örneklerinin Hazırlanması..... | 40 |
| 3.3. Yüze Morfolojilerinin Taramalı Elektron Mikroskopu İle İncelenmesi..... | 42 |
| 3.4. Yüze Pürüzlülüğü Ölçümleri..... | 42 |
| 3.5. Biyofilm Oluşum Testi..... | 44 |
| 3.5.1. Örneklerin Hazırlanması..... | 44 |
| 3.5.2. Örneklerin Steril Edilmesi..... | 44 |
| 3.5.3. Biyofilm Oluşumunun Saptanması..... | 45 |
| 3.5.4. İstatiksel Analiz..... | 50 |
| 4. BULGULAR..... | 51 |
| 4.1. Yüze Morfolojisi Bulguları..... | 51 |
| 4.2. Yüze Pürüzlülüğü Bulguları..... | 56 |
| 4.3. Biyofilm Bulguları..... | 59 |
| 5. TARTIŞMA..... | 62 |
| 5.1. Çalışmada Kullanılan Materyallerin Seçimi..... | 62 |
| 5.2. Örneklerin Hazırlanması..... | 64 |
| 5.3. Örneklerin Sterilizasyonu..... | 65 |
| 5.4. Yüze Morfolojisi Bulgularının Değerlendirilmesi..... | 65 |
| 5.5. Yüze Pürüzlülüğü Bulgularının Değerlendirilmesi..... | 66 |
| 5.6. Biyofilm Bulgularının Değerlendirilmesi..... | 69 |
| 6. SONUÇ..... | 76 |
| ÖZET..... | 78 |
| ABSTRACT..... | 80 |
| KAYNAKLAR..... | 82 |
| EKLER..... | 95 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| ASPA | : Aluminosilicatepolyacrylic asit |
| SiO² | : Silisyum |
| Al²O³ | : Aluminyum |
| CaO | : Kalsiyum |
| SrO | : Stronsiyum oksit |
| ZnO | : Çinko oksit |
| CaO | : Kalsiyum oksit |
| CaF₂ | : Flor |
| P²O⁵ | : Fosfat |
| Na²O | : Soda |
| FAS | : Fluoroaluminosilikat |
| GCİS | : Geleneksel cam iyonomer siman |
| RMCİS | : Rezin modifiye cam iyonomer siman |
| HEMA | : Hidroksietil metakrilat |
| PRG | : Pre-Reacted glass ionomer |
| S-PRG | : Surface reacted glass ionomer |
| F-PRG | : Fully reacted glass ionomer |
| CIS | : Cam iyonomer siman |
| BisGMA | : Bisfenol A diglisidil dimetakrilat |
| TEGDMA | : Trietilen glikol dimetakrilat |
| PEGDMA | : Polietilen glikol |
| VHN | : Vickers sertlik numarası |
| KHN | : Knoop sertlik numarası |
| AFM | : Atomik kuvvet mikroskobu |
| SEM | : Taramalı elektron mikroskopu |
| EPM | : Ekstrasellüler polimerik matriks |
| MS | : Mutans streptokokları |
| SYE | : Serbest yüzey enerjisi |

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| GTF | : Streptococcal glikoziltransferaz |
| CLSM | : Lazer taramalı konfokal mikroskop |
| BHI | : Brain heart infusion broth |
| FTS | : Fizyolojik tuzlu su |



TABLolar DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1: Çalışmada kullanılan restoratif materyaller ve içerikleri..... | 40 |
| Tablo 2: Çalışmada kullanılan materyallerin kullanım şekilleri | 41 |
| Tablo 3: Çalışmada kullanılan materyallere ait yüzey pürüzlülük değerleri | 58 |
| Tablo 4: Çalışmada kullanılan materyallerin yüzey pürüzlülük değerlerinin Bonferroni testi ile yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen p değerleri | 58 |
| Tablo 5: Materyallerin 1. gün sonunda yüzeye adhere olan bakteri değerleri | 59 |
| Tablo 6: Materyallerin 7. gün sonunda yüzeye adhere olan bakteri değerleri | 59 |
| Tablo 7: Materyallerin 21. gün sonunda yüzeye adhere olan bakteri değerleri | 59 |
| Tablo 8: Birinci güne ait materyaller arasındaki ‘p’ değerleri | 60 |
| Tablo 9: Günlere ait adhere olan bakteri değerleri..... | 61 |
| Tablo 10: Günler arasındaki karşılaştırmalara ait p değerleri | 61 |

RESİMLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Resim 1: Çalışmada kullanılan restoratif materyaller | 39 |
| Resim 2: Örneklerin hazırlanmasında kullanılan teflon kalıp | 41 |
| Resim 3: Materyallere ait örnekler | 41 |
| Resim 4: Taramalı elektron mikroskopu | 42 |
| Resim 5: AFM cihazı..... | 43 |
| Resim 6: Etilen oksit gazı sterilizasyon sistemi | 44 |
| Resim 7: Aktifleştirilmiş <i>S. Mutans</i> kültürü..... | 45 |
| Resim 8: Aktif hale getirilen bakterinin besi yerine inokülasyonu | 46 |
| Resim 9: Bakteri inkübasyon için kuyucuklara yerleştirilmiş diskler..... | 47 |
| Resim 10: Örneklerin FTS ile yapılan seri dilüsyonları..... | 48 |
| Resim 11: Örneklerin ultrasonik banyo içerisinde sonikasyonu | 48 |
| Resim 12: Örneklerin FTS ile yapılan seri dilüsyonlarının BHI agar besiyeri ortamlarına damlatılması..... | 49 |
| Resim 13: Petri kutularının 37 °C’de 48 saat inkübasyonu sonucu gelişen koloniler | 49 |
| Resim 14: Resin modifiye cam iyonomer simana ait örneğin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri..... | 52 |
| Resim 15: Giomere ait örneğin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri | 53 |
| Resim 16: Amalgomere ait örneğin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri | 54 |
| Resim 17: Cam Karbomere ait örneğin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri..... | 55 |
| Resim 18: Resin modifiye cam iyonomer simana ait örneğin AFM görüntüsü..... | 56 |
| Resim 19: Giomere ait örneğin AFM görüntüsü..... | 56 |
| Resim 20: Amalgomere ait örneğinAFM görüntüsü | 57 |
| Resim 21: Cam karbomere ait örneğin AFM görüntüsü | 57 |

1. GİRİŞ

Günümüz modern diş hekimliği uygulamalarında, adeziv tekniklerdeki ilerlemeler sayesinde koruyucu ve önleyici konseptler ile uyumlu gelişmeler sağlanmış ve sağlıklı diş dokularının korunması ön plana çıkmıştır. Bu durum, diş sert dokularının bütünlüğünün sağlanması ve korunması için uygulanan tek seanslı direkt restorasyon tekniklerini daha çok tercih edilir hale getirmiştir (1). Direkt restorasyon tekniklerinde; restoratif materyal seçiminde, materyalin kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlar arasında yer almaktadır. Bu özellikler dikkate alındığında, rutin klinik uygulamalarda daimi direkt restoratif materyal olarak amalgam, kompozit rezin ve cam iyonomer simanların kullanımı artmaktadır (2). Cam iyonomer simanlar; biyolojik uyumlulukları ve florid iyonu salımları nedeniyle kaide materyali, süt ve sürekli diş daimi restorasyonu, kron, ortodontik band ve yer tutucuların yapıştırılması, yüksek çürük riskli hastalarda fissür örtücü olarak pek çok klinik uygulamada kullanılmaktadır. Son yıllarda cam iyonomer simanların toz oranında yapılan değişikliklere ek olarak sertleşme reaksiyonları da modifiye edilmek suretiyle fiziksel özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Diş hekimliği marketine yeni giren cam karbomer, amalgomer gibi ürünler bu amaçla geliştirilen ürünler arasındadır (3). Yeni geliştirilen bu ürünleri değerlendiren az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu materyallerin başarısını ölçmek üzere daha fazla sayıda klinik ve laboratuvar çalışmasına ihtiyaç vardır. Materyallerin başlangıçta değerlendirilebilmesi ve sonrasında geliştirilebilmeleri için laboratuvar testlerine daima gereklilik duyulmaktadır.

Çürük prevalansının ve restorasyon sayısının fazla olduğu bir toplumda, sekonder çürükleri en aza indirmek amacıyla kullanılacak restoratif materyal seçimi büyük önem taşımaktadır. Restoratif diş hekimliğinde kullanılan materyallerin yüzey özellikleri bakteriyel tutunmayı önemli derecede etkilemektedir (3). Yüzey değişimine bağlı olarak restorasyonlarda plak birikimi, renk değişikliği, dişeti problemleri ve çürükler oluşabilmektedir (3). Materyallerin yüzey pürüzlülüğünün az olması ise mikroorganizmaların materyal yüzeylerine tutunmalarını zorlaştırarak biyofilm oluşumunu engellemektedir (4). Biyofilm; farklı türde mikroorganizmalar

içerebilen, aralarında iletişim kurarak haberleşebilen bu mikroorganizmalar tarafından üretilen polisakkarit bir matriks tarafından çevrelenen ve yüzeylere tutunabilen, kompleks yapıdaki polimikrobiyal bir topluluktur (5). Biyofilm için gerekli olan üç ana komponent sırasıyla; mikroorganizmalar, katı bir yüzey ve sıvı akışıdır. Oral kavite bu üç bileşeni de bulundurmakta ve kısa sürede biyofilm oluşumu açısından elverişli bir ortam sağlamaktadır. Oral biyofilm ağız içerisinde olduğu yüzeye göre karyojenik bakterilerin etkisi ile birincil ve sekonder çürüklere sebebiyet verebilmektedir (6).

Literatürlerde; restoratif materyaller ve biyofilm konulu araştırmalar genel olarak, biyofilm sonrası materyallerin yüzeyindeki değişiklikler üzerine yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte materyallerin yüzey özelliklerinin biyofilm oluşumuna etkisinin incelendiği çalışmalar henüz sınırlı düzeydedir.

Bu çalışmanın amacı; farklı cam iyonomer içeriğine sahip dört farklı materyalin yüzey morfolojilerinin taramalı elektron mikroskobu ile, yüzey pürüzlülüklerinin atomik kuvvet mikroskobu ile incelenmesi ve materyallerin biyofilm oluşumu yönünden karşılaştırılmasıdır. Materyal yüzeyleri üzerinde gelişen biyofilm miktarı ölçülecek ve elde edilen tüm veriler ışığında materyaller değerlendirilecektir. Araştırmamız sonuçlandığında elde edilen veriler doğrultusunda rutinde klinikte kullanılan ya da henüz yeni yeni kullanılmaya başlanan farklı tipteki cam iyonomerlerin yüzey özellikleri hakkında veriler elde edilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Cam İyonomer

2.1.1. Cam İyonomer Simanların Genel Özellikleri

Cam iyonomer simanlar (CİS) ilk defa 1972 yılında Wilson ve Kent tarafından geliştirilerek ASPA (Aluminosilicatepolyacrylic asit) adı altında tanıtılmıştır (7). Toz ve likit formların karıştırılması ile elde edilen cam iyonomer simanlar, silikat siman ve polikarboksilat simanın karışımı şeklinde tanımlanmaktadır (8). Tozu; bazik flor-olumino silikat cam tanecikleri, likiti ise poliakrilik asit, akrilik-itakonik asit ve akrilik-maleik asit kopolimerlerinin karışımıdır. Bu asitler polielektrolitler ve genel olarak polialkenoik asitler adı altında gruplandırılırlar. Polialkenoik asitlerin etkisi fosforik asitten daha azdır. Asidin etkisi ile diş yüzeyi temizlenir, smear tabakası uzaklaştırılır (9). Cam iyonomer simanlarda kullanılan cam partikülleri karmaşık bir yapıya sahiptir ve birçok bileşen içerirler. Cam partikülünün üç temel bileşeni, silisyum (SiO_2), alüminyum (Al_2O_3) ve kalsiyumdur (CaO). Alüminyum oksit ve silisyum dioksit, camın iskeletini oluşturmaktadır. Yapı, üç boyutlu silikat yapısıyla tetrahedral bir yapıdır. Genellikle stronsiyum oksit (SrO) ve çinko oksit (ZnO), kalsiyum oksitin (CaO) yerini almaktadır. Flor (CaF_2), rezervuar görevi görmek üzere yapıya dahil olmuştur. Ayrıca, genellikle fosfat (P_2O_5) ve soda da (Na_2O) içerirler (10). Cam tozu; 1100°C - 1500°C sıcaklıkta erimiş alümina (Al_2O_3), silika (SiO_2), metal oksit, metal florür ve metal fosfatın bileşiminden meydana gelmektedir (11).

Cam iyonomer simanların kimyasal içeriklerindeki ve toz-likit oranlarındaki değişimlere bağlı olarak geliştirilmiş olan fiziksel özellikleri, klinik uygulamalardaki kullanım alanlarının genişlemesini sağlamıştır (12). Cam iyonomer simanların kullanım alanlarının geliştirilmesi doğrultusundaki bu çabalar, güçlendirilmiş cam iyonomer siman konseptlerine yönelik çalışmalara da yön vermiştir. Bu amaçla, cam iyonomer simanların yapısına seramikler, cam fiberler ve metal partiküller eklenerek cam iyonomer simanların yapısal iyileştirmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Reaktif cam fiberlerin eklenmesiyle de ümit verici sonuçlara ulaşılmıştır (10).

2.1.2. Cam İyonomer Simanların Avantajları ve Dezavantajları

Cam iyonomer simanların; florid salımı ve diş dokusuna kimyasal bağlanma özellikleri sebebiyle restoratif, kaide ve yapıştırma materyali olarak yaygın kullanım alanları mevcuttur. Çocuk diş hekimliği pratiğinde önemli bir yeri olan bu simanların avantajları arasında; florid salımı ve flor rezervuarı olarak görev yapması, diş yapısına kimyasal bağlanması, düşük ısıl genleşme katsayısı değerleri, uygulama kolaylığı, biyouyumluluğu, kenar sızıntısının az olması ve ayrıca florid salımına bağlı komşu dişlerin çürüğe yatkın yüzeylerinde çürük önleyici etkisi sayılabilir (13). En önemli dezavantajları ise; ilk uygulama esnasında kuruluğa ve neme hassasiyeti, zayıf fiziksel özellikleri, opak olması nedeniyle dişin doğal görüntüsünü taklit edememesi, aşınma direncinin zayıf olması olarak bilinmektedir (13). Bununla birlikte, düşük kırılma dayanımları, sertlikleri ve aşınma dirençleri gibi zayıf mekanik özellikleri, arka bölgelerde yoğun strese maruz kalan alanlarda restoratif materyal olarak kullanımlarını sınırlandırmaktadır (14).

2.1.3. Cam İyonomer Simanların Bağlanma Mekanizması

Cam iyonomer simanlarda adezyonun gerçekleşebilmesi için; temiz bir yüzey, bu yüzeyin adezivle tam olarak ıslanması ve adezivin sıvı formdan katı forma geçişi gerçekleşmelidir (15). Diş dokusuna adezyon iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada mikromekanik bir kilitleme olur. Bu kilitleme, alkenoik asidin diş yüzeyini temizlemesi ile oluşan yüzeyel demineralizasyon ve hidroksiapatit ile kaplı kollajen fibrillerin yüzeyel hibridizasyonu ile elde edilir. Diğer aşamada ise kimyasal bir bağlanma söz konusu olup, polialkenoik asidin karboksil grubu ile açığa çıkan kollajen etrafında kalan hidroksiapatitin kalsiyumu arasında iyonik bağın oluşması ile meydana gelir (8, 9). Cam iyonomer simanlarda daha iyi bir bağlanma için, kaviteye yerleştirilmeden önce %15-40'luk poliakrilik asit solüsyonunun kaviteye uygulanması önerilmektedir (16).

2.1.4. Cam İyonomerler Simanların Sertleşme Mekanizması

Cam iyonomer simanların sertleşme reaksiyonu, fluoroaluminosilikat (FAS) cam tozu ve poliakrilik asit içeren sulu solüsyonun karıştırılması ile başlar ve FAS

cam tozunun temelini oluşturduğu bir asit-baz reaksiyonudur. Başlangıç reaksiyonu karıştırma sırasındaki ilk 3-4 dakikada tamamlanır ancak iyonik reaksiyon 24 saat boyunca devam eder ve olgunlaşma safhası tamamlanır (17). Asitte bulunan hidrojen iyonları, suyun varlığında cam partiküllerine geçerken; kalsiyum, stronsiyum, alüminyum, sodyum ve flor iyonları açığa çıkar (18). Poliakrilik asit zincirleri, katı bir kütle oluşturmak için kalsiyum iyonları ile bağ yapmaktadır. 24 saat sonra, alüminyum iyonlarının karışıma bağlanmasıyla, daha sağlam, sertleşmiş bir siman meydana getiren safha gerçekleşir. Sodyum ve flor iyonları, simanın çapraz bağlanma işlemine katılmazlar. Bununla beraber, bir kısım sodyum iyonu, karboksilik gruplardaki hidrojen iyonlarının yerini alırken, diğer kısım sertleşmiş siman içerisinde sodyum florid oluşturmak için flor iyonları ile birleşir. Olgunlaşma safhasında, reaksiyon aracı olarak kullanılan su, çapraz bağlanma safhasında da hidrasyonu sağlamaktadır. Reaksiyona katılmayan cam partikülleri, yüzeylerinden katyonların uzaklaşması sırasında meydana gelen silika jel kılıfı ile çevrelenmiştir. Bu nedenle, sertleşmiş simanın son hali, hidrasyona uğramış kalsiyum ve alüminyum poli tuzlarından oluşan amorf bir matriks içinde, silika jel ile çevrelenmiş, reaksiyona girmemiş toz veya cam partikül külesinden meydana gelmektedir (17). Yaklaşık 24-72 saat içerisinde kalsiyum iyonları, alüminyum iyonları ile yer değiştirir, güçlü çapraz bağlar oluşur ve cam iyonomer siman daha dayanıklı bir yapı kazanır. Bu sırada polialkenoik asitlerin karboksil grupları, dış yüzeyindeki kalsiyum iyonlarına da şelasyon ile bağlanırlar. Tüm bu reaksiyonlar sonucunda diş ile restoratif madde arasında kimyasal bir bağlanma (6-12 Mpa) oluşur (9).

Cam iyonomer siman ifadesi, sertleşme reaksiyonunun tamamının ya da büyük bir bölümünün asit-baz reaksiyonu olduğu, florid rezervuarı olan ve devamlı olarak flor salımı gerçekleştirebilen restoratif materyaller için kullanılan bir terimdir. Bu tanımlamaya bağlı olarak, cam iyonomer simanların uygulama şekilleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (2, 19).

Tip I: Kuron, köprü ve braketlerin yapıştırılmasında kullanılan simanlar

Tip II: Restoratif simanlar

Tip III: Kaide materyali ve pit ve fissür örtücü olarak kullanılan simanlar

Tip IV: Kanal dolgu patı olarak kullanılan simanlar

Cam iyonomer simanların güçlendirilmesine yönelik çalışmaların sonucunda, yapısına ilave edilen farklı bileşenler ile yeni cam iyonomer içerikli restoratif materyaller piyasaya sürülmüştür. Bu yeni restoratif materyaller ve bu güne kadar kullanımda olan cam iyonomer siman içerikli materyaller aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- I. Geleneksel cam iyonomer siman (GCİS)
- II. Hibrit cam iyonomer siman
 - a. Rezin modifiye cam iyonomer siman (RMCİS)
 - b. Poliasit modifiye kompozit rezin (Kompomer)
- III. Giomer
- IV. Nano-iyonomer
- V. Cam karbomer
- VI. Amalgomer

2.1.5. Geleneksel Cam İyonomer Siman

Günümüzde; cam iyonomer simanlar, kalsiyum veya stronsiyum esaslı alumina-silikat cam tozlarının suda eriyebilen polimerik asitlerle kombinasyonu ve flor ilavesi ile elde edilmektedir (20). Bu materyaller, florealüminasilikat cam tozu ve poliasidin sulu solüsyonu arasındaki asit-baz reaksiyonunun ardından sertleşen su bazlı bir materyal olarak da tanımlanabilirler (18). Cam iyonomer simanların özellikleri; kimyasal kompozisyonuna, toz içinde dağılan partikül büyüklüğüne ve yapısına, moleküler ağırlığına ve likidi oluşturan poliasidin konsantrasyonuna bağlıdır (21). Cam iyonomer simanların reaktivitesi, asit veya kopolimerik asidin türü kadar, moleküler ağırlığına ve konsantrasyonuna da bağlıdır. Maleik ya da itakonik asit ilavesi ile toplam moleküler ağırlığa bağlı olarak karboksilik gruplarının sayısı artar ve bu durum reaktivitenin artmasını sağlar. Polikarboksilik asit, cam iyonomer simanın toz ya da likit kısmında yer alabilir. Diğer bir yaklaşım ise, likit kısmı distile su olan ve çözünebilen kuru poliasitlerin toz kısmında yer aldığı simanlardır (10). Cam iyonomer siman yapısında akrilik asit, maleik asit, itakonik asit, bütan dikarboksilik asit ve vinil fosforik asit olmak üzere farklı poliasitler yer

alabilmektedir (11). Endikasyonları; sınıf I ve V kaviteler, tünel kaviteler, süt dişi restorasyonları, kaide materyali, geçici restorasyonlar, yapıştırma simanı, pit ve fissür örtücü olaraktır (2).

2.1.6. Hibrit Cam İyonomer Siman

2.1.6.1. Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman

Rezin modifiye cam iyonomer simanlar, geleneksel cam iyonomer simanların fiziksel özelliklerini arttırmak amacı ile materyale rezin ilave ederek üretilmiştir. 1980'lerin sonuna doğru piyasaya sürülen, %80 cam iyonomer siman ve %20 rezin karışımından oluşmuş hibrit bir restoratif materyaldir (9). RMCİS; iyon salımı yapabilen, ışığa duyarlı cam toz ile ışığa duyarlı başlatıcı içeren temeli poliakrilik asit olan likit olmak üzere iki komponentten oluşur. RMCİS'in sertleşme reaksiyonu ilk olarak asit- baz reaksiyonu, ikincil olarak fotokimyasal polimerizasyon ile gerçekleşir (22). Bu reaksiyonlar cam iyonomer simanlarda gözlenen asit-baz reaksiyonu ve ikinci olarak rezin içerisindeki HEMA (Hidroksietil metakrilat)'nın polimerizasyonu ile gerçekleşmektedir (9, 22). Rezin modifiye cam iyonomer simanların özellikle daha uzun çalışma süresine izin vermesi, ışıkla sertleşmesi ve bu durumun diş hekimi tarafından kontrol edilebilir olması, simanın yüzeyinde hızlı bir sertleşme olması gibi özellikleri bu simanı geleneksel cam iyonomer simana göre daha avantajlı kılmaktadır (23). Bununla birlikte; rezin modifiye cam iyonomer simanların; biyolojik olarak uyumlu, diş kimyasal olarak bağlanan ve florid salımı yapabilen, hidrofilik, geleneksel cam iyonomerlere oranla daha estetik, kolay uygulanabilir ve ağız dokularında az çözünen bir materyal olduğu da rapor edilmiştir (24). RMCİS, geleneksel cam iyonomer simanla karşılaştırıldığında, materyalin sertleşme esnasında daha fazla polimerizasyon büzülmesi göstermesi, buna bağlı olarak mikrosızıntı problemiyle karşılaşılması, diş dokularına daha zayıf bağlanma göstermesi, daha düşük florid salımı göstermesi dezavantajlarını oluşturmaktadır (12). Rezin modifiye cam iyonomer simanlardaki ikili sertleşme esnasında hızlı polimerizasyonla birlikte yavaş devam eden asit-baz reaksiyonunun, pulpada irritasyona neden olduğu ancak konvansiyonel cam iyonomer simanların yavaş sertleşmesinin diş dokusu çevresine sınırlı olarak zarar vererek restorasyondan stres salımına izin verdiği de bildirilmiştir (25). RMCİS'lar küçük Sınıf I, II ve III

kaviterlerde, sınıf V kaviterlerde, süt dişlerinde Sınıf I, II, III ve V kaviterlerde, kaide materyali olarak, geçici restorasyonlarda, yapıştırma simanı olarak, pit ve fissür örtücü olarak ve kor yapımında (kalan diş dokusunun en az %50 oranında olduğu durumlarda) kullanılabilir (2).

2.1.6.2. Poliasit Modifiye Kompozit Rezın

Kompomer olarak da adlandırılan bu materyaller, iki karboksil gruplu dimetakrilat monomerler ve GCİS'larda bulunan iyon salabilen cam benzeri doldurucular içermektedir. Bunlara ilaveten, reaksiyon başlatıcılar, stabilizatörler ve pigmentler bulunur. İçeriğinde %20-30 oranında cam iyonomer siman ve %70-80 oranında kompozit rezın bulunur. Kompomerler %13 oranında florid içerir ve florid salımları da oldukça düşüktür. Kompomerlerin fiziksel ve estetik özellikleri kompozit rezınlere daha yakındır. Uygulamaları kolaydır ve ışıkla polimerize olmaları tercih edilme nedenlerindendir (2). Kompomerler sınıf III ve sınıf V kaviterlerde, süt dişlerinde Sınıf I, II, III ve V kaviterlerde, kırılmış dişlerin geçici olarak tamir edilmesi, açık sandviç tekniğinin uygulandığı restorasyonlarda ve kor yapımında (kalan diş dokusunun en az %50 oranında olduğu durumlarda) kullanılabilir (2).

2.1.7. Giomer

Giomer; aktif cam iyonomer partikülleri (PRG) içeren, florid salımı yapabilen ve ışıkla sertleşen restoratif bir materyal olarak piyasaya sürülmüştür. "Giomer" ismi, "Glass iyonomer + polimer" kelimelerinden türetilmiştir. PRG (Pre-Reacted Glass İyonomer) partiküllerinin elde edilışinde ilk olarak; florealuminasilikat cam partikülleri ile polialkenoik asit arasında sulu ortamda meydana gelen asit- baz reaksiyonu sonucu, "wet sliceous hydrogel" olarak adlandırılan cam iyonomerin bir stabil fazı oluşmaktadır. Hazırlanan bu cam iyonomerin şoklanarak dondurulması ile elde edilen kuru "xerogel", daha sonra öğütölmekte ve uygun boyutlarda PRG doldurucuları oluşturmak üzere silanlanmaktadır. Bu doldurucular daha sonra rezın matriks içine katılmaktadırlar. Son ürün, stabil cam iyonomer formunun rezın matriks içindeki süspansiyonundan oluşmaktadır (2, 26). Öğütme işleminden sonra üretilen PRG parçacıklarının boyutu 0,01-100 µm arasında değişmektedir. Partikül

boyutlarının tercih edilen aralığı 0,05 µm ila 30 µm arasındadır (27). PRG teknolojisi 2'ye ayrılmaktadır. Birincisi; S-PRG (Surface Reacted Glass Ionomer) olarak adlandırılan yüzey reaksiyonuna girmiş cam iyonomeri ifade etmektedir. Beautifil (Shofu, Kyoto, Japonya), S-PRG teknolojisi ile üretilmiş diş renginde rezin esaslı ilk Giomer restoratif materyalidir. İkincisi ise; F-PRG (Fully Reacted Glass Ionomer) olarak adlandırılan tam reaksiyona girmiş cam iyonomeri ifade eder. Reactmer de (Shofu, Kyoto, Japonya) F-PRG teknolojisi kullanılarak üretilen restoratif materyaldir (28, 29).

Restoratif materyallerden florid salımı üzerine yapılan çalışmalar genellikle florid açığa çıkararak polimerler ya da cam iyonomerler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte; Wilson ve Kent'in cam iyonomer simanlar üzerinde yaptıkları bir çalışmada, florid salımının, matrikste bulunan iyon filtreleyen fluoroalüminosilikat cam ile polialkenoik asit arasındaki asit-baz reaksiyonu yolu ile gerçekleştiği gösterilmiştir. Bu nedenle restoratif materyallere florin ilave edilmesi materyalin doldurucu veya matriks bileşeni üzerinden yapılabilir. Sonuç olarak değişen derecelerde florid salım ve geri alım özelliği sergileyen RMCİS'ler, kompomerler ve florid salımı yapan kompozit rezinler gibi rezin bazlı restoratif materyaller içerisine iyon filtreleyen cam doldurucular katılmaktadır (26, 30). Bu geleneksel girişimlerin aksine, Roberts ve ark. (31) CİS'in florid salım mekanizmasının asit-baz reaksiyonu fazından köken aldığını öne sürmüştü ve devrimsel bir PRG doldurucu teknolojisini geliştirmiştir (26). Giomerlerde fluoroalüminosilikat cam, cam iyonomer matriks yapısını oluşturabilmek için poliasit ile önceden reaksiyona girmekte ve sonra rezin ile karışmaktadır. Asit-baz reaksiyonu bu materyalde rezin ile birleşme öncesinde gerçekleşmektedir. PRG doldurucuların kullanımı, önceden reaksiyona girmiş hidrojel içerisinde iyon değişimi ile hızlı florid salımının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu durum Giomeri florid salımı yapan rezin esaslı restoratif materyallerden farklı kılmaktadır (26).

Giomerlerin florid salım mekanizması geleneksel CİS ile aynıdır. Bunun nedeni CİS'te florid salım mekanizmasından sorumlu olan cam iyonomer fazının Giomerlerde de bulunmasıdır (28, 30, 32). Cam iyonomer içerikli restoratif materyallerin hidrojel matriksi, florid salımı ve alımının anahtar faktörü olduğundan Giomerlerin bu kapasitelerinin diğer rezin içerikli materyallere göre daha yüksek

olduğu belirtilmektedir (28, 30). Giomerlerde, cam doldurucular ile rezinin birleşmesi öncesinde daha geniş bir asit-baz reaksiyonu gerçekleştiğinden Giomerlerin hidrojel tabakasının kompomerlerden daha kalın olduğu bildirilmektedir (28). Itota ve ark. (30) yaptıkları çalışmada florlu cam doldurucu içeren rezin esaslı materyallerin florid salım ve geri alım kapasitelerini değerlendirmişler; materyalin cam iyonomer matriksinin, florid salım ve geri alım özelliklerini ne derece etkilediğini ortaya koymayı amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda Giomerin; toplam ve başlangıç florid salımının yanı sıra florid geri alım özelliğinin de kompomer ve kompozit rezinlerden daha üstün olduğunu ve cam iyonomer matriksteki cam doldurucu miktarının florid salım ve geri alım özelliğinde önemli rol oynadığını bildirmişlerdir. Giomerlerin kompomer olarak sınıflandırılmamasının temel nedeni olarak asit-baz reaksiyonunun önceden meydana gelmesi gösterilmektedir (30).

Giomerler; klinik dayanıklılığı, kolay manüple edilmesi, yüzey pürüzlülüğünün az olması, cilalanabilir olması, diş dokuları ile biyouyumlu olması, kimyasal pulpa iritasyonuna neden olmaması, estetik olması gibi özelliklere ilave olarak CİS'in florid salımı ve geri alım özellikleri ile buna bağlı çürük önleyici etkiye de sahiptir (33). Üretici firma Giomerlerin; kompozit rezin, kompomer ve CİS'in avantajlarını barındıran bir restoratif materyal olduğunu iddia etmektedir. Kompomere ve kompozit rezine benzer şekilde ışıkla polimerize olmakta ve diş yüzeyine bağlanmak için bağlayıcı sistemler kullanılmaktadır. Ayrıca Giomerlerin diğer rezin materyallere oranla daha iyi bir renk uyumuna sahip olduğu ve daha düşük mikrosızıntı değerleri gösterdiği de savunulmaktadır (33). Giomerler direkt estetik restorasyonlarda, sınıf III, IV ve V kaviterlerde, sınıf I ve küçük boyutta Sınıf II kaviterlerde kullanılabilirlerdir.

2.1.8. Nano İyonomer

Diş hekimliğindeki en önemli gelişmelerden birisi nanoteknolojinin dental materyallerde kullanılır hale gelmesidir. Yapısı, akrilik ve itakonik asit kopolimerlerinin florealuminosilikat cam partikülleri ve su ile gerçekleştirdiği cam iyonomer reaksiyonuna dayanan nanoiyonomerler de bu materyallerden birisidir. Nanoiyonomerin yapısında ayrıca; BisGMA (Bisfenol A diglisidil dimetakrilat), TEGDMA (Trietilen glikol dimetakrilat), PEGDMA (Polietilen glikol) ve HEMA

gibi çeşitli rezin monomerler yer almaktadır. Nano iyonomerleri diğer cam iyonomer simanlardan ayıran en önemli özelliği, doldurucu içeriklerinin ağırlıkça %69'unu nano doldurucuların oluşturmasıdır (2, 34). Ketac N100 (3M ESPE, St Paul, MN, Amerika); ışıkla sertleşen, nanoteknoloji ile üretilmiş ilk pasta-pasta nanoiyonomer restoratif materyalidir. Ketac N100 materyalinin; üretici firma tarafından, florid salım ve florid ile yeniden yüklenebilirlik özelliklerinin çok iyi olduğu bildirilmektedir. Nano iyonomer ışıkla sertleşen bir materyaldir. Nano boyutta doldurucular içeren materyaller, düşük polimerizasyon büzülmesi değerleri ve kavite duvarlarına daha iyi marjinal adaptasyon özelliği ile karakterizedir. Buna bağlı olarak, bu materyallerin uzun dönem klinik performanslarının da daha iyi olduğu bildirilmektedir (34). Nano iyonomerler içinde, mekanik dayanıklılık artarken polimerizasyon büzülmesinin azaldığı da savunulmaktadır (34). Küçük Sınıf I kavitelere, sınıf III ve V kavitelere, süt dişi restorasyonlarında, geçici restorasyonlarda, sandviç tekniğinin uygulandığı restorasyonlarda ve kor yapımında (kalan diş dokusunun en az %50 oranında olduğu durumlarda) kullanılabileceği belirtilmektedir (2).

2.1.9. Cam Karbomer

Cam karbomerler, karbomer ve floroapatit ile güçlendirilmiş cam iyonomer içerikli bir restoratif materyallerdir. Çözünürlük, esneme kuvveti ve aşınmanın azaltılması amacıyla, özel tasarlanmış karbomer doldurucu ve floroapatit/hidroksiapatit nanopartikül içeren restoratif materyaldir (35, 36). Cam karbomerler; rezin, solvent, metal vb. serbest monomer içermezler.

Cam karbomerdeki cam partikülleri cam iyonomer simanlara oranla oldukça ince partikül boyutuna sahiptir. Nano boyutlu partiküller temas yüzeyinin artmasını sağlayarak, cam karbomerin likiti (poliakrilik asit) ile temasa geçtiklerinde materyalin daha kolay sertleşmesine ve daha hızlı remineralizasyon etkisi göstermesine yardımcı olur. Bu partikül boyutunun çözünmede ve floroapatite dönüşümde etkili olduğu düşünülmektedir. Kalsiyum floroapatit nano kristalleri remineralizasyon sürecinin merkezi olarak davranır ve floroapatit oluşumunu başlatır (35).

Cam karbomer, cam iyonomer siman ile benzer sertleşme reaksiyonu gösterir. Üretici firma, cam karbomer yapısıyla birleştirilmiş nano boyutlu doldurucuların, yüksek enerji çıkış aralığına sahip ışık cihazları ile sertleştirilmesinin, materyalin aşınma direnci ve basınç dayanımını geliştirdiğini beyan etmişlerdir. Bununla birlikte; cam iyonomerlerin nanohidroksiapatit ve nanofloroapatitler ile birleştirilmesinin materyalin mekanik davranışlarını geliştirdiği ve dentine olan bağlanma kuvvetini arttırdığı da rapor edilmiştir (37). Daimi dişlerdeki sınıf 1 ve sınıf 2 minimal restorasyonlarda süt dişlerindeki class 1 ve sınıf 2 restorasyonlarda fissür örtücü olarak ya da koruyucu rezin restorasyon olarak endikedir (35).

2.1.10. Amalgomer

Çürük lezyonların restorasyonu için diş rengini taklit eden birçok materyal mevcuttur. En sık kullanılan malzemeler kompozit rezin ve cam iyonomer simanlardır. CİS'ler kimyasal olarak mine ve dentine bağlanır, florid salımı yaparlar ve bu nedenle antikaryojenik özellikler sergilerler. Fakat düşük gerilme dayanımı ve kırılabilirlik gibi istenmeyen bazı özelliklere sahiptirler. Bu dezavantajları elimine etmek amacıyla en sık kullanılan yöntem cam partikül bileşenini çeşitli yöntemler ile değiştirmektir (38). Bu bileşenler flor, sodyum içeriği ve alüminyum/silika oranıdır. Yakın zamanda, Amalgomer (Amalgomer CR, AHL, Tonbridge, İngiltere) olarak adlandırılan seramikle güçlendirilmiş cam iyonomer içerikli bir restoratif materyal piyasaya sürülmüştür. Bu materyal toz likit formunda bulunmaktadır ve tozunda cam, poliakrilik asit tozu, tartarik asit, zirkonyum oksit ile renk verici maddeler bulunmaktadır. Likidi ise poliakrilik asit ve deiyonize su içermektedir. Amalgomerin, cam iyonomer simanın tüm avantajlarına sahip olduğu ve cam iyonomer simanlar gibi geleneksel asit- baz reaksiyonunu ile sertleştiği bildirilmiştir. Süt dişi sınıf I ve II kaviteelerde, amalgam tamirinde, seçilen sınıf I ve II kaviteelerde sürekli dişlerde, amalgam veya kompozit altında kaide olarak kullanımı endikedir (39).

2.2. Restoratif Materyallerin Yüzey Özellikleri

2.2.1. Yüzey Sertliği

Restoratif materyallerin en önemli fiziksel özelliklerinden biri yüzey sertliğidir. Yüzey sertliği, aşınma ve çizilmeye karşı direnci arttırdığı gibi, materyalin çeşitli kuvvetler karşısında deforme olmasını önleyerek klinik başarıyı etkilemektedir. Materyallerin aşınma direncinin, dental yapılar ve materyaller karşısında abraze olabilme özelliğinin belirlenmesinde de yüzey sertliği önemli bir rol oynamaktadır (40). Dental malzemelerin sertlik ölçümlerinde en çok kullanılan yöntemler; Brinell, Rockwell, Vickers ve Knoop yöntemleridir. Bu testlerden hangisinin seçilmesi gerektiği test edilen malzemeye bağlıdır. Brinell testi, materyallerin sertliğini tespit etmede kullanılan en eski yöntemdir. Genellikle metal malzemelerin sertliğini ölçmede kullanılır. Rockwell testinde; materyalin çökme çapı ölçümü yerine, kullanılan aletin üzerindeki ölçekten direkt olarak materyalde derinlik ölçülür. Kırılgan malzemeler için uygun değildir (41). Vickers testinde de, Brinell testiyle aynı prensip kullanılır. Ancak bu testte çelik bilye yerine elmas tabanlı bir piramit kullanılır. Bu piramidin yüzeyleri arasındaki açı 136 derecedir. Buradaki çökme dairesel olmayıp kare şeklindedir. Uygulanan yükün çökme alanına bölünmesiyle Vickers Sertlik Numarası (VHN) bulunur. Bu test kırılgan malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde kullanılabilir. Fakat elastik malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde uygun bir yöntem değildir (41). Kompozit örneklerin ölçülmesinde en çok uygulanan yöntem Vickers sertlik testidir (42). Knoop sertlik testinde ise geometrik şekilde kesim yapan elmas bir delgi aleti kullanılır. Yüzeydeki çökme, elmas veya rombik şekildedir. Bu yöntemde; gerçek çökme alanı yerine en derin çökme miktarı, uygulanan yüke bölünerek Knoop Sertlik Numarası (KHN) elde edilir (41).

2.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü; bir materyalin özelliklerine ya da elde edilme yöntemine bağlı olarak oluşan yüzey dokusundaki düzensizliklerdir (43). Yüzey pürüzlülüğü; materyallerin plak birikimi, renklenme, aşınma ve estetik özelliklerini etkileyen temel faktörlerdendir (44). Pürüzlü yüzeyler sürtünme katsayısını artırarak materyali

kırılmaya daha yatkın hale getirirler (45). Nitekim, yüzeyin düzgün hale getirilerek kırılma riskinin azaltılabildiği literatürde rapor edilmiştir (46). Pürüzlü yüzeyler, yüzey enerjilerinin fazla olması nedeniyle biyofilm oluşumuna yatkındırlar (47). Yüzeyi düzgün olan kompozit rezin restorasyonlarda plak retansiyonunun azaldığı ve böylece gingival irritasyonların, yüzeyde oluşan renklemelerin, hasta memnuniyetsizliğinin ve sekonder çürüklerin önüne geçilebildiği belirtilmiştir (48).

2.2.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri

Kompozit rezinlerin yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek amacıyla yüzey profili analizi (Profilometre) gibi nicel yöntemler ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi nitel yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda ise yeni bir yöntem olan atomik kuvvet mikroskobu (AFM) da yüzey pürüzlülüğü ölçümünde kullanılmaktadır (49).

Profilometre, SEM (Taramalı elektron mikroskobu) ve görsel değerlendirme oldukça hassas yöntemlerdir. Tek bir yöntemle başvurmak yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bu nedenle bir metodu diğer metotlarla kıyaslamak gerekir. Görsel yöntemler; örneğin büyüklüğü, içeriği ve yapısına bağlı olarak hataya yatkındır. SEM, yüzey topoğrafisini gözlemleyecek yeterli kontrastta yapılmalıdır. Profilometre ise tekrarlanabilir nitelikte olmalıdır (50).

2.2.2.1.1. Profilometre Analizi

Profilometre cihazı, yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek amacıyla kullanılır. Cihazda, tarayıcı bir uç, örnek yüzeyinde gezinirken, elde edilen yüzey pürüzlülüğü bulguları dijital olarak hesaplanır ve kaydedilir (51). Yüzeylerin profilometre ile incelenmesinde birçok parametre seçilir.

Sıklıkla kullanılan parametreler Ra, Rz, Rpm ve Rz: Rpm oranıdır. Ra parametresi, bir yüzeyin ortalama pürüzlülüğü olarak tanımlanır ve profilde tüm pürüzlülük mesafesinin merkez çizgiye göre uzaklığı ölçülerek aritmetik ortalamanın alınmasıyla saptanır. Rz yüzey parametresi; ard arda gelen beş parçada, ortalama tepe–vadi yüksekliği olarak tanımlanır. Rpm yüzey parametresi, ard arda gelen beş örnek parçasındaki ana derinlik seviyesi olarak tanımlanır. İstisnai profil tepeleri bir

dereceye kadar dikkate alınır. Ra ve Rz parametreleriyle karşılık gösterdiğinden Rpm nispeten profil şekli hakkında bilgi verir. Küçük Rpm değeri geniş tepeli ve dar vadili yüzeyleri, büyük Rpm değerleri ise sivri ve keskin kenarlı profili gösterir. Rpm: Rz oranı önemli bir değerdir, çünkü profil şekli hakkında kayda değer bir bilgi verir. Bu oran 0,5'den daha yüksek ise keskin kenarlı profili, 0,5'den daha küçük ise yuvarlak kenarlı profili gösterir (52).

2.2.2.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu

Günümüzde; görüntü iletimini sağlayan ışık yollarını, merceklerle değiştirerek daha küçük ayrıntıların görüntülenmesine olanak sağlayan cihazlar kullanılmaktadır. Taramalı elektron mikroskobu bu amaca hizmet eden cihazlardan birisidir. Taramalı elektron mikroskobu; ayırım gücü, odak derinliği ve görüntü ile analizi birleştirme özelliği sayesinde araştırma ve incelemelerde sık kullanılan bir cihaz haline gelmiştir. Bununla birlikte; mikro işlemci ve bilgisayarların, mikroskopla birlikte kullanılmaları, cihaza kullanım kolaylığı getirmiş ve yeni araştırma yöntemlerine olanak sağlamıştır (53, 54).

SEM' in çalışma prensibi ikincil elektronlar tarafından nokta-nokta ve çizgi-çizgi oluşturulan ve gerçek olmayan bir üç boyutlu görüntüdür. Bu elektronlar; örnek yüzeyini kare şekilde taramak için gönderilen ilk ışın demeti, örnekle etkileşime girdiğinde saçılarak oluşurlar. Yüzeyin herhangi bir noktasından yayılan ikincil elektronların miktarına bağlı olarak yüzeyin topografik değişimleri, kompozisyonu ve yapısı hakkında tespitlerde bulunulabilir. Taramalı elektron mikroskobunda görüntü, elektron veya optik mikroskoplarda olduğu gibi doğrudan numunenin görüntüsünün yansıması olmayıp, televizyon yayınlarında olduğu gibi numune görüntüsünün içinde bulunduğu iki boyutlu ortamdan ekran ortamına nokta nokta taşınması ile elde edilir. Taranan noktalardan toplanan sinyaller kuvvetlendiricilerden geçirilir ve her nokta görüntü ekranında numune üzerindeki konumuna karşılık gelen noktada parlaklık şiddetine göre belirlenir. Numune üzerindeki herhangi bir noktanın S şiddetli sinyali X ve Y koordinatları ile ekran üzerine taşınması ve bu noktaların ekran üzerinde birleşmesiyle taramalı elektron mikroskobu görüntüsü oluşur (53).

2.2.2.1.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu

Atomik kuvvet mikroskobu; alt tabakaya minimal kuvvet ileten bir temas profilometre metodudur. Distorsiyonu önlemek için keskin nanometre boyutlu bir uç kullanılarak yüzey taranarak, ince özelliklerin daha iyi çözümü sağlanabilir. Bu yöntemde; özel ölçümlerin yapılması ve pürüzlülük değerlerinin hesaplanması ile, topoğrafik bilgi 3 boyutlu resimsel görüntüler şeklinde elde edilebilir (55). Atomik kuvvet mikroskobu örnek hazırlama süreci gerektirmeyen bir tekniktir. Bu teknikte özel tarayıcı bir uç kullanılarak örneğin üç boyutlu analizi yapılır ve işlem sonunda üç boyutlu bir imaj elde edilir (56).

AFM, örnek yüzeyini çok ince bir manivela (sivri uç) ile tarar. Genellikle 40-60 nm çapındaki uç yüzeyi tararken, AFM uç ve yüzey arasındaki etkileşimi kaydeder (57).

3 boyutlu ölçüm yapması, vakum veya yüzey kaplaması şeklinde örnekler için özel bir işlem gerektirmemesi gibi avantajlarının yanı sıra; düşük hızda taraması, örnek sayısının az olması ve undercutları belirleyememesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır (57).

2.2.3. Yüzey Konfigürasyonu

Materyal yüzeyinin fiziksel konfigürasyonu, yüzey pürüzlülüğünden farklılık gösterir ve poröz yüzey gibi yüzeyin morfolojik tarifini içerir. Bu 3 boyutlu parametre rutin olarak taramalı elektron mikroskobu ile değerlendirilir (58).

Parlak ve düzgün bir yüzey, materyallerin estetik bir görünüm sağlamaları için çok önemlidir. Ayrıca bu görünümü ağız içinde de uzun bir süre boyunca devam ettirebilmeleri gerekir. Bununla birlikte, düzgün bir yüzey sayesinde materyalin sürtünme katsayısı düşerek, aşınma oranı azalır. Bu durum materyalin klinik başarısını da arttırmaktadır. Yüzey özellikleri rezin kompozitler gibi kırılma materyallerin kırılma dirençlerini de etkiler (49). Ağız içinde, mekanik direnci iyi olmayan dental materyaller çözünmeye uğrayabilirler ve bu da materyalin yüzey pürüzlülüğünü artırır (59).

Yüzeyi düzgün olan restorasyonlarda plak retansiyonu azalır. Böylece gingival irritasyonların, yüzeyde oluşan renklenmelerin, hasta memnuniyetsizliğinin ve rekürrent çürüklerin önüne geçilebilir (48).

2.2.4. Yüzey Hidrofilitesi (Islanabilirlik)

Yüzeyin ıslanabilirliği adezyon kuvvetleri ve kohezyon kuvvetleri arasında etkileşim ile saptanmaktadır. Sıvı-katı arayüzeyinde sıvı molekülleri katı yüzeyin moleküllerini kendi moleküllerinden daha güçlü çektiklerinde, yani adeziv kuvvetler su molekülleri arasındaki koheziv kuvvetten güçlü olduğunda, yüzeyin ıslanabilirliği gerçekleşir.

Bir materyalin hidrofobisitesi temas açısı ölçümleri ile belirlenir. Temas açısı; bütün komponentlerin ıslanabilirliğine, hidrofilitesi ve polaritesine bağlı olarak katı yüzeyler ile sıvı yüzeyler arasındaki etkileşimi yansıtır. Su temas açısı yüzey hidrofobisitesinin göstergesi olarak daha sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca katı yüzeyin serbest yüzey enerjisinin hesaplanmasında da temas açıları ölçümlerinden faydalanılmaktadır (60).

2.2.5. Serbest Yüzey Enerjisi

Serbest yüzey enerjisi (SYE) bir sıvının yüzey alanını 1 cm² arttırmak için gerekli olan enerjiye denir. Serbest yüzey enerjisi, likitin yüzey gerilimine karşılık, yüzeyin toplam enerjisini tarif eden fiziksel bir değerdir. Sıvının yüzey gerilimi birim olarak; dynes/cm ve mN/m, ile ifade edilirken yüzey enerjisi ile ilgili değerler ise erg/cm² ve mJ/m²'dir (61).

Temas açısı ölçümleri kullanılarak materyalin yüzey enerjisi hesaplanabilmektedir. Serbest yüzey enerjisinin hesaplanması için temel kriter; "Young eşitliği"dir. Bu eşitlik; kuru yüzey üzerindeki sıvı damlasının oluşturduğu kuvvetlerin dengesini açıklamaktadır. Eğer yüzey hidrofobik ise su temas açısı o yüzeyde daha fazla olacaktır. Bir başka ifadeyle daha düşük serbest yüzey enerjisine sahip olan yüzey daha yüksek su temas açısı sergileyecektir. Hidrofilite ise daha düşük temas açısı ve daha yüksek yüzey enerjisi ile ilişkilidir (61).

Serbest yüzey enerjisi yüksek hidrofilik yüzeylerde, serbest yüzey enerjisi düşük hidrofobik yüzeylerdekinden çok daha fazla plak birikimi olduğu in-vivo (62) ve in-vitro (63) çalışmalarda rapor edilmiştir. Buna rağmen birçok araştırmacı, hidrofobik yüzeyler ile karşılaştırıldığında hidrofilik yüzeylerin bakteriyel adezyona daha dirençli olduklarını rapor etmiştir (61).

2.3. Biyofilm

Bakteriler, tek başlarına planktonik olarak yaşayan ve varlıklarını devam ettiren canlılar olarak bilinmekteydi. Bir takım çalışmalar ve gözlemler sonucu; varlıklarını sürdürebilmek için planktonik formun aksine bir yüzeye tutunarak topluluk halinde, farklı bir yapı içerisinde yaşamlarını devam ettirdikleri gözlemlenmiştir (64). Polisakkarit bir matriksin çevrelediği, farklı yapıda mikroorganizmaları içeren, yüzeylere tutunabilen, aralarında iletişim kurabilen ve haberleşebilen, bu kompleks yapıdaki polimikrobiyal topluluğa da biyofilm adı verilmiştir (17). Film kelimesi yüzeyi kaplayan ince bir tabakayı ifade ederken biyofilm bu tabakayı oluşturan maddenin biyolojik bir materyal olduğunu ifade etmektedir. Biyofilm; canlı veya cansız bir yüzeye geri dönüşümsüz olarak tutunmuş ekzopolimerik yapılar, proteinler, polisakkaritler ve nükleik asitlerden oluşan bir ekstraselüler matriks tarafından çevrelenmiş çok hücreli mikrobiyal topluluklara verilen isim olarak da tarif edilebilmektedir (5).

Günümüze kadar birçok bilim adamı biyofilmi farklı şekillerde tanımlamıştır. İlk olarak 17. yüzyılda Anton von Leewenhoek'un kendi dışından almış olduğu örnekteki birikintiler içinde yaşayan mikroorganizmalardan bahsetmesinin ardından 1978 yılına kadar biyofilm varlığından söz edilmemiştir. 1978 yılında; bakterilerin, yeterli düzeyde besin varlığı olan yüzeylere yapışan ve matriks ile çevrili bir biyofilm içinde ürettiği tezi ortaya atılmıştır ve ilk defa 'biyofilm' terimi Costerton tarafından kullanılmıştır (65). Biyofilmin en yeni tanımı ise; 'Canlı ya da cansız bir yüzeye yapışarak, ekstraselüler polisakkarit matriks içerisine gömülmüş ve hareketsiz biçimde birbirine, sert bir yüzeye ya da bir ara yüzeye geri dönüşümsüz şekilde tutunmuş, protein sentezi ve genetik yapı açısından tamamen farklı fenotip gösterebilen mikroorganizmaların oluşturduğu bir topluluk' olarak belirtilmektedir (65-68).

Mikrobal biyofilmlerin, katı yüzeylere bilhassa cilasız kalsifiye ve metalik yüzeylere daha kolay yapıştığı belirtilmiştir. Biyofilm uzun yıllardır endüstriyel su ve petrol boru sistemlerinde önemli bir sorun olarak bilinirken, son dönemlerde tıpta da öneminin sadece diş üzerindeki birikintilerden ibaret olmayıp özellikle yabancı cisim enfeksiyonları başta olmak üzere birçok kronik enfeksiyonda da rol oynadığı bildirilmiştir (69). Diş hekimliğinde incelenmesi gereken biyofilmler ise ağız mukozası, mine ve sement yüzeylerinde (biyotik yüzeyler) ve diş hekimliği cihazlarının hava su borularının iç yüzeylerinde (abiyotik yüzeylerde) gelişenler olarak belirtilmektedir (70).

2.3.1. Biyofilmin Yapısı

Bir mikrobiyal topluluğun biyofilm olabilmesi için dört temel kriteri barındırması gerekliliği belirtilmiştir. Bu kriterler;

1-Kendi kendilerine organize olma özelliğine sahip olmak,

2-Çevresel değişikliklere karşı dirençli olmak,

3-Topluluk halinde iken izole olduklarından daha etkili olmak,

4-Çevresel değişikliklere karşı tekil bir bireyden ziyade birlikte karşılık verebilmektir (71).

Kendi ürettikleri jelsi, polimerik bir matriks içerisinde topluluk olarak yaşayan ve birbirleri ile iletişime geçerek varlıklarının devamı için gerekli fonksiyonların yerine getirilmesini sağlayan biyofilm içerisindeki bakterilerin, ortamda sabit kalabilmek için geliştirdikleri belirli yöntemleri vardır (64). Örneğin; bakteri yüzey proteinleri; konağın fibronektin, fibrinojen, vitronektin, elastin gibi ekstraselüler matriks proteinlerine tutunmaktadır. Konak ile bakterilerin tutunmasında bu adezin proteinleri anahtar rol oynamaktadır (66, 72, 73). Biyofilm oluşumu için gereken ortak bileşenler mikroorganizma, yüzey ve glikokaliktir. Bu ortak bileşenlerden biri eksik olduğu takdirde biyofilm oluşamamaktadır (73). Bakteriler ekstraselüler polimerik maddeler olarak da adlandırılan ve bir dizi nükleik asit, polisakkarit ve protein ihtiva eden çamurumsu bir matriks içerisinde gömülü olarak bulunurlar (64). Farklı türlerde polimerik kümeler içeren bu matriks ekstraselüler polimerik matriks (EPM) olarak adlandırılmaktadır. Üç boyutlu

biyofilm yapısında iskeleti EPM oluşturmaktadır (74). İçerisindeki polisakkaritler biyofilm içerisinde yaşamakta olan mikroorganizmalarca sentezlenmektedir ve biyofilmin esas ekstrasellüler bileşenini oluşturmaktadır (73). Bazı kaynaklarda ekstrasellüler polisakkarit matriks'in toplam organik maddenin % 50 ila %90'ını oluşturduğu belirtilirken (74, 75), bazı kaynaklarda yaşayan biyofilmlerin hacimce % 15'ini hücrelerin, geri kalan % 85'inin ise matriksin oluşturduğu belirtilmektedir (65, 76). Bazı araştırmacılar ise biyofilmlerin çoğunluğunda, mikroorganizmaların kuru yapının %10'undan daha azını oluştururken matriksin % 90'dan fazlasını meydana getirdiğini belirtmektedir (77). Polisakkarit, protein, DNA ve sudan oluşan ekstrasellüler matriks adezin gibi davranarak mikroorganizmaların yüzeye tutunmalarını sağlamaktadır. Yüzeye sıkıca tutunan bakteriler burada çoğalmakta ve önce mikro kolonileri, mikro koloniler de büyüyerek ve genişleyerek biyofilm tabakasını oluşturmaktadır (78). Bunun yanı sıra mikroorganizmaları da birbirine bağlayarak antimikrobiyal ajanların mikro koloniler içerisine difüzyonunu önlemekte, geciktirmekte ve konağın savunma sisteminden biyofilm hücrelerini korumaktadırlar (79). Biyofilm; aynı zamanda, matriks içerisinde varlıklarını sürdüren hücrelere gerekli oksijenin ve esansiyel besinlerin aktarılmasına olanak sağlayan 'su kanalları'na sahip, çok katlı heterojen bir yapıdır (64). Biyofilmler tek bir türden oluşabileceği gibi birden fazla türü de yapısında bulundurabilmektedir. Farklı türlerden meydana gelen biyofilmlerde, her tür kendi mikro kolonisini oluşturmaktadır. Bu mikro kolonileri birbirilerinden su kanalları ayırmaktadır. Su kanalları içindeki devamlı su akışı, besin maddelerinin ve oksijenin difüzyonunu sağlamaktadır (66, 68). Biyofilm yapısındaki su kanalları mikro kolonilerin hem altında hem de arasında yer almaktadır. Taşıma işlemi su yardımı ile ya da pasif difüzyon ile kolaylaştırılmaktadır (78, 80). Biyofilmin geliştiği sistemin yapısına, bakterilerin türüne veya çevresel şartlara bağlı olarak bir biyofilmin olgun hale gelmesi birkaç saat ile birkaç hafta zaman almaktadır (66, 68).

Biyofilm içindeki bakteriler ve mikro koloniler, birbirleriyle iletişim kurabilme yeteneğine sahiptirler. İletişim sinyali olarak çeşitli kimyasal mekanizmaları kullanmaktadırlar (81, 82). Mikroorganizmaların hücre yoğunluğu belli bir seviyeyi aşınca bakteriler "autoinducer" adı verilen sinyal molekülleri salgılar, böylece çevredeki bakterilerde gen ekspresyonu aktive olmaktadır (83, 84).

Bakteriler çevrelerinde üretilen sinyal moleküllerini algılayabilmekte ve etraflarında bulunan diğer mikroorganizmaların yoğunluğunu hissedebilmektedirler. “Quorum sensing” olarak adlandırılan bu iletişim; hücre yoğunluğuna bağlıdır ve birkaç hücre ile sinyaller düşük seviyede kalırken, hücre miktarı arttıkça iletişim için ideal ortam oluşmaktadır (83). Quorum sensing sayesinde bakteri diğer bir bakteri ile karşılaştığında iletişim kurabilmekte ve davranışını değiştirme yeteneği kazanabilmektedir. Quorum sensing biyofilmi oluşturan topluluğun çok hücreli birim olarak davranmasına ve birlikte hareket etmesine de izin vermektedir. Sinyal iletimi, biyofilm içinde bilgi taşınması için tek yol değildir. Bakteriyel hücrelerin yoğunluğu yüksek olduğunda, aynı tür veya farklı türler arasında genetik bilgi değişimi söz konusu olabilmektedir (83).

2.3.2. Biyofilmin Oluşumu ve Gelişim Evreleri

Biyofilm oluşumu için gerekli olan üç önemli komponent sırasıyla; mikroorganizmalar, katı bir yüzey ve sıvı akışıdır (69). Biyofilm oluşturan bakteriler, yaşadıkları ekosistem ne olursa olsun, benzer bir mekanizma ile biyofilm oluşturmaktadırlar (85). Biyofilm gelişimi 5 aşamada gerçekleşmektedir:

2.3.2.1. Tutunma

Bakterilerin bir yüzeye tutunmasıyla başlayan biyofilm oluşumu dinamik bir süreçtir (64, 86). Bakterilerin yüzeye ilk temasında hidrofobik etkileşimlerin büyük rolü vardır (78). Organik ve/veya inorganik maddelerin yüzeye yapışmasının ardından bakteriler bu yüzeye zayıf bir şekilde tutunur (68). Bu tutunmanın sonucunda biyofilm fenotipinin ortaya çıkmasını sağlayan bir dizi genetik işlem başlamaktadır. Bakterilerin yüzeye tutunabilmeleri için, yüzey ile ilk teması algılamaları gerekmektedir. Bakteriler çevrelerinden aldıkları uyarıları fenotipik değişikliklere çevirebilmek için, bir verici ve bir alıcıdan oluşan düzenleyici bir sisteme sahiptir. Tutunma işlemi gerçekleştikten sonra biyofilm oluşturmak amacıyla farklılaşma işleminin başlaması ‘Quorum Sensing’ sisteminden gelecek yanıtlara bağlıdır. Bu sistem sayesinde bakteriler çevrelerindeki bakteriyel yoğunluğu anlayabilmektedir. Yüzeye tutunan bir bakteri, ortama ‘buradayım’ mesajı veren bir molekül salgılamaktadır. Yüzeye tutunan bakterilerin miktarı arttıkça, bu sinyalin

lokal yoğunluğu artmaktadır. Bu sinyal molekülünün yoğunluğundaki artış ile beraber, biyofilm oluşumuna yönelik birtakım işlemler başlatılmış olmaktadır. Biyofilm içerisindeki bakteriler; düşük molekül ağırlıklarına sahip, intersellüler haberciler aracılığı ile haberleşmektedirler (64). Bakterinin hareketi ya da bakterinin yüzeyi ile tutunduğu yüzey arasındaki elektrostatik ya da fiziksel faktörler de bu evrede rol oynamaktadır (68). Bu faktörler substratın yüzey enerjisi, sıcaklık, pH, sıvı ortamın akış hızı, bakterinin yüzeye temas süresi, yüzey hidrofobikliği ve besin miktarıdır (87).

2.3.2.2. Yapışma

Bakterilerin bir yüzeye yapışması ya da kuvvetli bir biçimde tutunmasıdır. Yüzeye tutunan hücreler, bakteri hücre zarındaki proteinlerin uyarımı sonucunda ekstrasellüler polisakkarit yapıda materyal sentezlemeye başlamakta ve bu da hücrelerin birbirine ve yüzeye tutunmasını sağlamaktadır (64, 66, 68, 72, 86). Başlangıçta mikroorganizma-yüzey ilişkisini düzenleyen fizikokimyasal özellikler, yüzey enerjisi ve temas yoğunluğudur. Bu özelliklere ek olarak mikroorganizmaların bir yüzeye tutunmasına yardımcı olan faktörler arasında; fibria, pili, kamçı ve glikokaliks gibi yüzey yapıları da sayılmaktadır. Bakteriler bir yüzeye tutunduktan sonra; elektrostatik çekim kuvveti, kovalent ve hidrojen bağları, dipol etkileşimleri ve hidrofobik etkileşimlerin bir birleşimi sonucu bağlanmaya devam etmektedirler (69).

2.3.2.3. Kolonizasyon

Bu evrede, yüzeye tutunmuş olan bakteriler bölünüp çoğalırlar ve biyofilmin en küçük organizasyon birimi olan mikro kolonileri oluştururlar (78). Yapışma sonrasında bu bölgeye yerleşen bakteriler bir yandan belli bir yoğunluğa ulaşmak için çoğalırken diğer taraftan da biyofilm yapımına başlamaktadırlar. Biyofilmin yapısal özellikleri bakterinin tutunmasını arttırırken, biyofilm oluşumunun başlaması ile birlikte bakteri tutunma ve hareket faktörlerinin salgılanmasında da bir baskılanma olmaktadır (66, 72, 78).

2.3.2.4. Olgunlaşma

Mikro koloniler çoğaldıkça kompleks, mantar şeklindeki yapılara ya da kulelere dönüşmektedirler. Konfokal lazer taramalı mikroskop ile yapılan çalışmalar, bakterilerin, kompleks ekstrasellüler polisakkarit matriks ile çevrilmiş mikro kolonilerin içerisinde yaşadıklarını ortaya koymuştur (64). Mikrokoloniler çeşitli yüksekliklerde kuleler oluştururlar ve aralarında, besinlerin taşınması ve metabolik atık ürünlerin uzaklaştırılması için primitif bir dolaşım sistemi gibi görev yapan su kanalları bulunmaktadır. Bu su kanalları biyofilm yapısının canlı bir parçasıdır ve olgunlaşma aşamasında önemli rolleri vardır (64, 78).

2.3.2.5. Kopma ya da Ayrılma

Biyofilm oluşumunun beşinci aşaması kopma veya ayrılma evresidir. Bu evrede bakteriler biyofilmden koparak ortama yayılmaktadırlar. Bu kopma olayı dış etkenler sebebi ile meydana gelebileceği gibi, biyofilm oluşum sürecinin bir parçası olarak tek bir hücrenin veya çoklu hücrelerin emboli şeklinde kopmasının bir sonucu olarak gerçekleşmektedir (64, 78).

2.3.3. Oral Biyofilm

Oral biyofilm; diş minesi, kök yüzeyi, dental materyaller ve dental implantlar gibi katı yüzeyler üzerine yapışan ve bir ekstrasellüler polisakkarit matriks içerisine gömülü halde bulunan üç boyutlu bakteriyel bir topluluktur (88, 89).

Oral kavitede diş yüzeyinde oluşan biyofilm tabakası 'dental plak' olarak da bilinmektedir (17). Dişler, yüzey özellikleri bakımından bakteri kolonizasyonu için çok uygun dokulardır. Bu nedenle yoğun glikokaliksli karmaşık biyofilmler gelişmektedir. Dişlerdeki biyofilmler supragingival diş plağı olarak diş yüzeylerinin üzerinde ya da subgingival plak olarak diş etinin altında da oluşabilmektedir. Supragingival plak, belirli bir kalınlığa ulaşmadıkça çıplak gözle görülemez. Henüz kalınlığı az olan plak, bakterileri boyayan eritrosin gibi boyalarla görülebilmektedir (90):

Oral biyofilm oluşumu organize ve düzenli bir olaylar zinciridir ve bu sürecin beş aşamada tamamlandığı savunulmaktadır (91):

1. Pelikıl oluşumu,
2. Bakterilerin yapışması (0-4 saat),
3. Yapışan bakterilerin gelişimi ve farklı mikrokolonilerin oluşumuna öncülük etmesi (4-24 saat),
4. Mikrobiyal yığılım ve koagregasyonla farklı mikrokoloni türlerinin gelişimine öncülük etmesi (1-14 gün),
5. Olgun biyofilm oluşumu (2 hafta ve sonrası) (91).

2.3.3.1. Pelikıl

Diş yüzeyinden bakteriler ve bütün organik materyalin profesyonel olarak kaldırılmasından hemen sonra yeni organik materyal birikmeye başlamaktadır. Kısa bir süre içerisinde pelikıl adı verilen bu hücresiz, yapısız organik film tabakası diş yapısını tamamen örtebilmektedir. Pelikılın fonksiyonlarının; mineyi korumak, dişler arasındaki sürtünmeyi azaltmak ve remineralizasyon için matris sağlamak olduğu belirtilmektedir.

Pelikıl öncelikle tükürüğün çeşitli komponentlerinin seçici olarak çökmesiyle şekillenir. Pelikılın içeriğini çoğunlukla; tükürük glikoproteinleri, fosfoproteinler, lipidler oluşturur. Bunların yanı sıra pelikılın yapısında, dişeti oluk sıvısından gelen komponentler, ölü bakterilerin hücre duvarı artıkları ve diğer mikrobiyal ürünlere de rastlanmıştır. Prolinden zengin protein içeren tükürük bileşenlerinden oluşan, organik mine örtüsü olan, pelikılın yapısındaki proteinler, birçok temel gruba sahiptir ve sonuç olarak ortamdaki fosfat iyonlarını adsorbe eder. Bununla birlikte diğer asidik proteinler de, ortamdaki kalsiyum iyonlarını adsorbe eder. Pelikıldan izole edilen tükürük proteinleri arasında lizozim, albumin ve immunoglobulin A ve immunoglobulin G bulunur. Bu proteinlerin bazıları biyolojik olarak aktiftir ve diş yüzeyine kolonize olmaya eğilimi olan mikroorganizmalar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (6, 88).

2.3.3.2. Bakterilerin Yapışması

Oral kavitede 700 den fazla farklı bakteri fenotipi bulunmaktadır (92). Oral biyofilm formasyonu; substrat, pelikıl ve bakteriler arasındaki karmaşık fiziksel ve

hücrel etkileşimler sonucu oluşmaktadır. Bu etkileşimler pek çok seviyede gerçekleşmekte ve fiziksel yakınlık, metabolik alışveriş, işaret molekülü aracılı iletişim, genetik materyal alışverişi, inhibitör faktörlerin üretimi, koagregasyon (genetik olarak farklı hücre tipleri arasındaki özel hücre-hücre tanımları: adezin-reseptör ilişkisi) şeklinde meydana gelebilmektedir (17). Bakteri kolonizasyonunun temeli adezin-reseptör mekanizmasına dayanmaktadır (93). Bakterilerin yüzeye tutunmalarını sağlayan faktörlere adezin adı verilmektedir. Adezinler hücre yüzeyine bağlı protein ve karbonhidratlar olabildikleri gibi, hücre yüzeyinde bulunan yapısal komponentler de olabilirler. Adezinler her mikroorganizma için değişkenlik gösterebilmekte ve bu adezinler pelikılda bulunan reseptörlerin de yardımıyla bakterilerin pelikıla tutunmasını sağlamaktadırlar. Pelikıl farklı bakteri türlerinin yapışması için gereken spesifik reseptörler içermektedir. Oral bakteriler, sıklıkla Tip I bazen Tip II fimbriyalarıyla dış yüzeyine ve/veya adezinleriyle yüzeydeki pelikıla bu reseptörler aracılığıyla tutunurlar (70, 91, 94). Bu evrede kazanılmış pelikıl, primer kolonizan bakteriler için bir substrat görevi görmektedir (64, 66). Farklı adezinlerin farklı reseptörlere bağlanması oral biyofilm oluşumundaki bakterilerin tutunma sırasını da etkilemektedir (93).

Dış biyofilmi üç evreden oluşur. **Birinci evre** planktonik gram pozitif kokların-streptokok türlerinin pelikıla yapışma evresidir (91). Ağız boşluğu incelendiği zaman; birincil dizi, bireysel bir konağın ağız florasındaki bir yaşam boyu gerçekleşen normal değişiklik sürecidir (95). Mine veya kök yüzeyi fark etmeksizin, oral mikrofloranın çoğunlukla ilk kolonize olan mikroorganizmalarını *S. Sanguis*, *S. Oralis* ve *S. Mitis* oluşturmaktadır (91). Bu üç streptokok türü başlangıç mikroflorasının % 56'sının, streptokok'ların da % 95'ini oluşturmaktadır. Oral biyofilm oluşumu yanak ve mukoza yüzeyinde oluyorsa ilk önce *Leptothrichia buccalis* ve *Streptococcus salivarius* tutunmakta ve daha sonra sayı ve çeşitlilikleri artmaktadır. Her bir mikrokoloni genellikle saf bakteri kümeleridir. Bu safhadaki biyofilmler, aralıklarla yerleşen bakteri kolonileri olarak gözlenmektedir (83). Streptokok'ların kolonizasyonunu *Actinomyces* türlerinin ve *Haemophilus* ile *Neisseria* türleri gibi gram negatif bakterilerin kolonizasyonu takip eder. Bu seçici biçimlenme, pelikıldaki reseptörlerle bakterilerin yüzeyinde bulunan adezinlerin birbirini tanıma sisteminden kaynaklanmaktadır (91). **İkinci evre**, tek hücrelilerin

üremesi ve ekstrasellüler polisakkarit yapımı ile mikrokoloni oluşum evresidir (95). Bu evrede erken kolonize olanlar sayıca artmakta ve yüzeye yayılmaktadır. Birbirleriyle otoagregasyon ve diğer planktonik hücreler ya da komşu hücrelerde koagregasyon başlayarak, topluluklar bir mikrokoloni şeklini almaktadırlar (birincil ardıllık). Daha sonra, *Fusobacterium* türleri ile çapraz bağlanmalar gerçekleşmektedir (ikincil ardıllık). Mikroçevre, fakültatiften anaerob duruma değişmektedir. Farklı tür bakteriler arasındaki etkileşimler mısır koçanı (corn cob) ve test tüp fırçası (test-tube brush) oluşumları ile sonuçlanmaktadır. Bu etkileşimler bir santral filamantöz bakteri ve uzunluğu boyunca yapışmış farklı bakteri türlerinden oluşabilmektedir (90, 96). Streptokok'lar anaerob bakterilerin üremesini önleyen hidrojen peroksit üretirken, *Actinomyces naeslundii* ürettiği katalaz ile hidrojen peroksiti inaktive ederek anaerobik *Fusobacterium*'ların üremesine yardımcı olmaktadır. *Fusobacterium*'lar bu sebeple tek başlarına biyofilm oluşturamamaktadırlar. Biyofilm oluşumu için *Actinomyces* türlerine ihtiyaç duymaktadırlar (97). **Üçüncü evre**, daha çok gram negatif türlerin, spiroketlerin ve hareketli bakterilerin katıldığı artan koagregasyonlarla stabil bir topluluğun zirve topluluğu (Climax community) oluşturduğu; biyofilmin olgunlaştığı evredir (90, 96).

Oral biyofilm içindeki bakterilerin ortak davranış şekli oldukça spesifikdir. Birincil kolonize olan bakteriler kendi aralarında koagregasyon gösterirken, genelde ikincil kolonize olan bakteriler ile göstermemektedirler. Aynı zamanda ikincil kolonize olan bakteriler *Fusobacterium Nucleatum* ile koagregasyon sağlarken genelde birbirleri ile birleşme gerçekleştirmemektedirler. *F. nucleatum*'un yokluğunda ikincil kolonize olan bakteriler oral biyofilmin bir parçası olamamaktadırlar (98). *F. nucleatum* bu sebeple birincil ve ikincil bakteri kolonileri arasında köprü görevi görmekte ve oral biyofilm oluşumunda temel organizma olarak kabul edilmektedir (6).

2.3.3.3. Oral Biyofilmin Mikrobiyolojik Yapısı

Diş plağı, diş yüzeyinde yer alan yumuşak ve basınçlı su ile uzaklaştırılmayan, ancak diş fırçası ile mekanik olarak uzaklaştırılabilen bir yapıdır. Mikrobiyal diş plağı, dişin üzerinde mikroorganizmalar, tükürük glikoproteinleri, yiyecek artıkları, lökositler, ölü epitel hücrelerinin oluşturduğu, ağız içerisindeki diş

yüzeyine, sabit ya da hareketli protezler gibi diğer sert yüzeylere yapışan organize bir biyofilmden oluşur (99).

Tüm diş yüzeyini kaplayan plak, bakteri ve bakteri ürünleri için bir depo görevi görür ve çürük oluşumuna neden olur. Plak, mikroorganizma topluluklarının bir yüzey üzerine tutunduğu bir biyofilmdir. Bakteri popülasyonunun oluşturduğu topluluğun özellikleri onu oluşturan bileşenlerin özelliklerinden daha fazladır (100).

Plak, çürük oluşmasında rol alan ana etkidir. Bir mg ağırlığındaki bir diş plağında yaklaşık 200 milyon bakteri olduğu tespit edilmiştir. Mikoplazma ve protozoa gibi diğer mikroorganizmalar da olgun plağın içerisinde bulunurlar (101). Plak ve ağız florası içerisinde 300'den fazla bakteri türü bulunmaktadır (99, 100, 102). Ancak, bu bakterilerin birçoğunun çürüğün etiolojisinde rolü yoktur. Bu yüzden çürük oluşumunu engellenmek için sadece spesifik bakterilere karşı önlemler alınmalıdır (103).

Dişin farklı yüzeylerine göre plak mikrobiyolojisi değişkenlik göstermektedir (104). Fissürlerde Gr (+) tipte mikroflora vardır ve streptokoklar baskın türdür. Özellikle *S.mutans* çürüğün oluşmadığı yüzeylerde bile bulunabilir. Gr (-) türler ve zorunlu anaerob bakteriler plakta az sayıda bulunup, nadiren izole edilirler. Dişeti oluğundaki plakta daha farklı türler mevcuttur ve genellikle Gr (-), zorunlu anaerob bakteriler bulunur. Aproksimal bölgelerde bu iki grup karışık olarak bulunmaktadır (101).

2.3.3.4. Streptokoklar

Billroth 1874 yılında, cerahat örneklerinde zincir yapan kokların varlığını fark edip, bunları Streptococcus olarak tanımlamıştır. 1879'da Pasteur; Streptokokları kan kültürlerinden üretirken, 1882-1883'de Fehleisen, saf kültürlerini elde etmiştir. 1919'da bu bakteri, Brown tarafından alfa, beta ve gama olarak gruplara ayrılmıştır R. Lancefield 1933 yılında, sero gruplandırma prensiplerini bildirmiştir (70).

Ağız mikroflorasının büyük bir kısmı streptokoklardan oluşmaktadır. Ağızın her bölgesinden izole edilmişlerdir. Tükürükte %46, dilde %45, dişeti oluğunda %29 ve supragingival plaktaki mikroflorada ise %28 oranında streptokok izolasyonu

mevcuttur (105). Oral streptokoklar, plak yaşı ve diyetten bağımsız olarak dental mikrofloranın en baskın mikroorganizmaları olup, genç plakta kolonileşen toplam organizmaların %50'sini meydana getirirler. Streptokoklar küresel veya oval şekilli, 0,7-0,9 µm çapında, özellikle sıvı ortamda üretildiklerinde, kısa veya uzun zincirler oluşturan bakterilerdir (106). Streptokok zincirleri 2-12 veya daha fazla koktan meydana gelir. Anilin boyaları ile kolay boyanıp, Gr (+) olarak tanımlanırlar. Aerop ve fakültatif anaerop mikroorganizmalardır. Sporsuz bakteriler olup genelde hareketsiz olan streptokoklar, gaz üretmezler, metabolizmaları fermantatifdir, katalaz içermezler ve ideal olarak 37°C'de çoğalırlar. Üst solunum yolları ve oral mikrofloranın büyük bir çoğunluğunu oluşturup, birçok alt gruplara ayrılırlar (107, 108). Streptokok cinsinin çok sayıda türü vardır; bunlardan bazıları saprofit, bazıları normal flora üyesi, bazıları da insan için önemli patojenler olarak karşımıza çıkmaktadır (109).

2.3.3.5. Mutans Streptokokları

Mutans Streptokokları (MS); katalaz negatif olup, hareketsiz, kısa ve orta uzunlukta zincirler oluşturan Gr (+) koklardır. Bu mikroorganizmalar, Mitis Salivarius Agar üzerinde, yüzeyleri buzlu cama benzeyen opak konveks koloniler oluştururlar. Ancak koloni morfolojileri, kültür ortamına bağlı olarak oldukça değişkendir (70). MS; mannitol, sorbitol gibi karbonhidratları fermente ederler, sakkarozdan çözünebilir ya da çözünemeyen ekstrasellüler polisakkarit üretirler. Diyetle karbonhidrat alımı yetersiz ise karbonhidrat deposu olarak görev yapan intrasellüler polisakkarit sentezi yaparlar. MS; fermente edilebilir karbonhidratlardan asit oluşturup, bu asit ortamda büyüyüp yaşamlarını idame ettirebilirler. Bu özellikler, MS'lere karyojenik nitelik kazandırır ve diş çürüğü patojenitesinde yer almalarına neden olur. MS; mine yüzeyinde glukanla kaplı halde bulduklarından, tükürüğün tamponlayıcı etkisi engellenir ve glikoliz boyunca büyük oranda üretilen laktik asit mine yüzeyinden uzaklaştırılmaz. Deney hayvanları sükrözlu diyet ile beslendiğinde, *S.mutans* ve *S.sobrinus*'un tüm diş yüzeylerini etkileyerek büyük ölçüde karyojenik olduğu bildirilmiştir (110). MS'nın, hücre duvarında yer alan karbonhidrat antijenlerinin serolojik özelliklerine bağlı olarak sekiz farklı serotipi bulunmaktadır (91).

2.3.3.4.1. Streptococcus Mutans

S. Mutans, ilk defa 1924 yılında J. Kilian Clarke tarafından İngiltere’de izole edilmiştir. Derin dentin çürüklerinde saptadığı, küçük zincirler oluşturan kokobasillerin mutasyona uğramış streptokoklar olduğunu düşünen Clarke, bunları streptococcus mutans olarak tanımlamıştır (111).

S. Mutans, c, e veya f karbonhidrat antijenlerine sahip olan suşlardan oluşmaktadır. Grup c antijeni ramnoz ve glikozdan, grup e antijeni D-glikoz-Lramnoz-L-ramnoz oligosakkarit sekansından, grup f antijeni ise eşit oranda ramnoz ve glikozdan oluşur. *S. Mutans*’ın kapsülü levan ve glukandan oluşur. Peptidoglikanlar, lipotekoik asit, polisakkaritler, proteinler ve lipoproteinler hücre duvarının içinde yer alırlar (112).

Bazı β -hemolitik suşları olsa da genellikle α veya γ hemoliz yaparlar. Anaerobik ortamda kanlı agarda, 48 saatte beyaz ya da gri renkli, bazen oldukça sert ve besi yeri üzerinde yapışık koloniler meydana getirirler. Asidik ve katı ortamlarda ise 1,5-3 μ m uzunluğunda çubuklar oluştururlar (113).

Aktif çürüğü olan kişilerden alınan plak örneklerinden yüksek sayıda *S.mutans* izole edilir (114). Diş üzerinde sırasıyla en çok posterior aproksimal bölgeler, fissürler, anterior aproksimal bölgeler ve diğer düz yüzeylerde bulunur.

Başlangıçta *S. Mutans*’ın ön yüzeyinde bulunan fibrillerdeki fonksiyonel kısımlar pelikula tutunur ve bu durum geri dönüşebilir. Bakteri, pelikula kaplı yüzeylere tutunmayı sağlayan Pl (veya I/II, B, IF, SR, PAc) proteinlerine sahiptir. Daha sonra ise glukanlar ve hücre yüzeyinde bulunan reseptörler (adhesinler) akümüasyonu sağlar (102, 104). *S.mutans*; ekstrasellüler dekstranlar içindeki α 1-6 bağlarını parçalayan endodekstranaz enzimi üreterek, glukan içeren başlangıç mikrobiyal dental plağı içine invaze olabilir (115).

Diğer streptokoklardan daha asidürik olup fermente edilebilir, karbonhidratlardan hızlı bir şekilde organik asit üretebilirler. Membrana bağlı protontranslocating ATP-ase enzimi ile H⁺ iyonlarını hücre dışına pompalayıp hücre içi asit konsantrasyonunu azaltarak, asit ortama diğer bakterilerden daha fazla dayanıklılık gösterebilirler. Bakterilerin; diğer mikroorganizmaların üremesini

engellemek için sentezledikleri proteinlere bakteriyosin, mutans streptokokların ürettiği bakteriyosine ise mutasin adı verilir. Kötü ağız hijyeni ve beslenme alışkanlıklarına sahip bireylerde mutasin sentezleyen streptokokların daha uzun süre kolonize oldukları bildirilmiştir (116).

S. Mutans'ın bazı vitaminler haricinde çoğalması için özel şartlara ihtiyacı yoktur. Nitrojen kaynağı olarak sadece amonyağı kullandığından, dental plağın derinlerinde, anaerobik bir ortamda ve amonyağın yeterli olduğu durumda, eksojen amino asitlere ihtiyaç duymadan yaşamlarını sürdürebilirler (91).

2.3.4. Biyofilm İçerisindeki Bakterilerin Özellikleri

Biyofilm oluşumunda rol alan bakteriler, biyofilm içerisinde bazı avantajlar elde etmektedirler. Bunlar:

2.3.4.1. Çevrenin Zararlı Etkilerinden Korunmak

Biyofilm oluşumu, kan akımı ve tükürüğün yıkama gücü gibi bir takım fiziksel güçlere karşı dayanıklılık sağlamaktadır. EPS matriksinin diğer bir görevinin de iyon değiştiricisi gibi davranarak farklı ajanların biyofilm içerisine girişlerini engellemek olduğu bilinmektedir. Buna ek olarak UV ışınları, pH değişiklikleri, kuruma ve osmotik şok gibi çevresel streslerin zararlı etkilerinden korumada da EPS matriksin görev aldığı bilinmektedir (64, 78, 88).

2.3.4.2. Metabolik Çeşitlilik ve Etkinlik Artışı

Birçok ekosistemde besin varlığı sınırlıdır. Var olan kaynakları değerlendirip paylaşabilen topluluklar gelişmekte ve varlıklarını devam ettirebilmektedirler. Az gelişmiş yapıdaki bakteriler için gerekli olan kompleks yapıdaki substratlar parçalara ayrılarak besin ağları ile taşınırlar (117). Biyofilm içerisinde yer alan mikrokolonileri çevreleyen yüksek geçirgenliğe sahip su kanalları bulunmaktadır. Bu su kanalları ilkel bir dolaşım sistemine benzemektedir. Bu sistem besinlerin biyofilm içerisinde eşit bir şekilde dağıtılması ve potansiyel olarak toksik metabolitlerin uzaklaştırılması görevini üstlenmektedir (64, 86).

2.3.4.3. Yeni Genetik Özelliklerin Kazanılması

Bakteriler, biyofilmin bir parçası olabilecekleri gibi çevreden aldıkları uyarılar (besin, ph, ısı vs.) sonucunda tekrar planktonik hale de geçebilmektedirler. Bu durum ortama uygun olarak salgıladıkları genler aracılığı ile sağlanmaktadır. Hücreler arası ilişkiler ve biyofilmin fiziksel yapısı topluluk içerisinde horizontal gen aktarımını kolaylaştırmaktadır. Doğal mikrobiyal toplulukların evrimi ve genetik çeşitliliği açısından horizontal gen transferi çok önemlidir. Özellikle çoklu ilaç-dirençli bakterilerin ortaya çıkmasında önem kazanmaktadır. Özellikle biyofilmin içerisindeki kapalı ortam, konjügasyonun rahatlıkla yapılabilmesine olanak sağlamaktadır (64, 88).

2.3.5. Restoratif Materyallerde Biyofilm

Ağızda biyofilm oluşumu diş yüzeyleri, kullanılan restoratif materyaller ve implant bileşenleri gibi tüm sert yüzeylerde görülebilmektedir (118). Restoratif materyaller üzerinde oluşan biyofilm karyojenik bakterilerin etkisi ile sekonder çürüklere ve periodontal hastalıklara sebep olabilmektedir (38, 119).

Birçok araştırmacı, restorasyonların estetik görünümünün ve ömürlerinin uzun olmasında, restorasyonun yüzey özelliklerinin önemli rol oynadığını bildirmişlerdir (62). İlk bakışta ağız içerisindeki biyomateryaller üzerinde oluşan biyofilm nispeten zararsız görünse bile, zaman içerisinde konumuna göre ağır sonuçlar doğurabilmektedir. Dental implantlar üzerinde oluşan biyofilmler periodontitise benzer şekilde gelişen peri-implantitise sebep olabilmektedir. Diş eti marjinine yakın bölgelerdeki sınıf II restorasyonlar bakteri kolonizasyonuna elverişlidir ve diş eti problemlerine, sekonder çürüklere sebep olabilmektedir. Kompozit restorasyonlar üzerinde oluşan biyofilm, materyalin yüzeyinin pürüzlenmesine neden olabilir, restorasyon ve diş arasında bakteri kolonizasyonu oluşması sonucu ikincil çürüklere ve pulpa patolojilerine yol açabilmektedir. Ortodontik braketler etrafında oluşan biyofilm ise braket etrafındaki minenin demineralizasyonuna neden olmaktadır. Bütün bunlara bağlı olarak biyofilm oluşumuna daha az elverişli ve antimikrobiyal bileşenlere sahip materyallere olan ihtiyaç artmaktadır (47).

2.3.5.1. Akrilik Materyaller Üzerinde Biyofilm

Akrilik rezin ve polimetil metakrilat; ölçü kaşığı, yapay dişler ve protez kaide plağı gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir. Akrilik protezlerin kullanımına bağlı olarak oluşan klinik problemlerden birinin mantar adezyonuna bağlı stomatit olduğu bilinmektedir. Protezlerden izole edilen baskın mantar türünün *Candida albicans* olduğu tespit edilmiştir. *Candida Glabrata* da yüksek oranda tespit edilmektedir. Ayrıca bu türün, yüksek inflamasyon derecesine sahip hastalarda daha yüksek oranlarda olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, *Candida Dublinskiensis*, *Candida Parapsilosis*, *Candida Krusei* ve *Candida Tropicalis* de akrilik protezlerden izole edilebilen mantar türleri arasında bulunmaktadır. Mantarların protez kaide materyallerine oldukça güçlü şekilde yapıştıkları bilinmektedir. Bunun sebebi olarak, akrilik materyalin porözlü yapısının biyofilm oluşumu için elverişli olması gösterilebilir. Materyalin yüzey pürüzlülüğü arttıkça candidaların tutunması da artmaktadır (47).

2.3.5.2. Metalik Biyomateryaller Üzerinde Biyofilm

İletken olmayan polimer yüzeylere kıyasla, metalik yüzeylere bakteri tutunma mekanizması ile ilgili daha kısıtlı bilgi bulunmaktadır. Ancak elektron transferinin, altın ve amalgam gibi iletken malzemelere bakteri tutunmasında önemli rolü olduğu düşünülmektedir. Negatif yüklü bir bakteri iletken bir malzemeye yaklaştığında karşıt yüklü bir alanla karşılaşabilmekte ve bunun sonucunda da güçlü bir elektrostatik çekim meydana gelebilmektedir (47).

2.3.5.3. Seramik Yüzeylerde Biyofilm

Seramik yüzeylerde oluşan biyofilm hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Üç gün boyunca oral hijyen uygulaması yapmayan hastalarda yapılan bir çalışma sonucunda; iki farklı seramik inley materyali üzerinden toplanan biyofilm miktarının, doğal dişler üzerinden toplanan biyofilm miktarına göre daha az olduğu bildirilmiştir. Beş günlük bir biyofilm tabakasının, altın ve amalgamla kıyaslandığında seramik yüzeylerde daha ince olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, seramik yüzeyde

oluşan biyofilm tabakasının yaşayabilirliğinin daha yüksek olduğu belirtilmektedir (47).

2.3.5.4. Rezin Kompozitler ve Cam İyonomer Simanlar Üzerinde Oluşan Biyofilm

Kolonize olan mikroorganizmalar, rezin kompozitlerin ve cam iyonomer simanların yüzey özelliklerinin bozulması gibi bir dizi olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Bu olumsuz etkilerin klinik bulgusunun ise restorasyonun altında çürük gelişimi olduğu belirtilmektedir.

Çalışmalarda rezin kompozit ve cam iyonomer simanların doldurucu partikül oranları arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca biyofilme maruziyet sonucu materyallerin yüzey sertliğinde azalma olduğu belirtilmektedir.

Cam iyonomer simanların hazırlanmaları sırasında meydana gelen asit baz reaksiyonu, cam iyonomerlerin kompozitlere göre boyutsal olarak daha stabil olmalarını sağlamaktadır. Cam iyonomer simanların kullanımı, mikrosızıntıyı azaltırken biyofilmler üzerinde potansiyel bir etkisi olan florid salımını arttırmaktadır (47).

2.3.6. Restoratif Materyaller Üzerinde Biyofilm Oluşumunu Etkileyen Faktörler

2.3.6.1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Serbest Yüzey Enerjisi

Araştırmalar, bakteriyel adezyonun yüzey pürüzlülüğü ile doğrudan ilişkili olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün plak birikim miktarını belirlemede önemli rolü olduğunu göstermiştir (38, 119). İncelemeler sonucu, plağın öncelikle pit ve fissürler gibi retatif alanlarda gelişmeye başladığı gözlemlenmiştir. Biyofilm oluşumunda, dişin yüzey enerjisinin de etkili olduğu ve pürüzlü yüzeylerin yüzey enerjisinin fazla olması nedeni ile biyofilm oluşumuna daha yatkın olduğu bildirilmektedir. Cilalanmış yüzeylerin ise daha düşük yüzey enerjisine sahip olduğu belirtilmiştir (38). Bununla birlikte, yüzey pürüzlülüğünün biyofilm oluşumunun başlangıç aşamasında etkili olduğu, ancak biyofilm olgunlaştıktan sonra yüzey pürüzlülüğünün biyofilme etkisi olmadığı bildirilmektedir (120).

2.3.6.2. Ortamdaki Beslenme Faktörlerinin Etkisi

Diyetle alınan sukroz ağız içerisinde oluşan biyofilm için besin kaynağı sağlamaktadır. Sınırlı oranda bulunduğu zaman enerji kaynağı olmakta, senteziyle Veillonella için gereken laktik asit üretilmekte, fazla miktarda bulunduğu ortam pH'sını düşürmektedir. Streptococcal glikoziltransferaz (GTF) için substrat oluşturarak, çözünebilir ve çözünemeyen glukanların oluşumunu sağlamaktadır. Sükrozun aynı zamanda fermente edilebilir bir karbonhidrat olması, oral biyofilm pH'sını değiştirmekte ve *S. Mutans*'ların sayılarının artmasına neden olmaktadır (69).

2.3.6.3. Materyallerin Antibakteriyel Özellikleri

Cam iyonomer simanlar gibi florid salımı yapan materyaller başta olmak üzere, amalgam, altın ve bileşikleri gibi iyon salınan materyallerin bakterilerin gelişimini ve canlılığını engellediği bildirilmiştir (38, 119).

2.3.6.4. Tükürük

Oral biyofilm oluşumunun kontrolünde tükürüğün önemli rolü bulunmaktadır (38). Tükürük proteinlerinin tüm oral yüzeylerde pelikül içerisinde bulunabildiği bilinmektedir. Bu kazanılmış pelikül mikrobiyal tutunma için pozitif seleksiyon oluşturmaktadır. Tükürük proteinlerinin mikroorganizmanın cinsine göre tutunmayı kolaylaştırabileceği ya da engelleyebileceği bildirilmektedir. Bu nedenle tükürük ile kaplanan yüzeyin ne gibi değişikliklere uğradığı ve oluşan değişimin yüzeyde biriken mikroorganizmaları ne oranda etkilediği önem kazanmıştır (119).

2.3.7. Bakteriyel Adezyonu ve Biyofilmi İncelemekte Kullanılan Yöntemler

Mikroskoplar, bakteriyel adezyonun gözlemlenmesi için kullanılan direkt metotlardandır. Adezyon oranı olarak adlandırılan yapışan her hücrenin sayısı ve bakteri ile kaplanan materyal yüzey alanının yüzdesi, bakteriyel adezyon çalışmalarında mikroskoplar aracılığıyla saptanan başlıca 2 parametredir. Bununla birlikte; kümeleşme, ayırık ve üniform olarak sınıflandırılan adezyon modelleri de

mikroskoplar ile gözlenebilmektedir. Işık mikroskobu, floresan mikroskobu, konfokal lazer tarama mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu, atomik kuvvet mikroskobu ve faz-kontrast mikroskobu ile bakteriyel adezyonun değerlendirilmesi mümkündür (121).

2.3.7.1. Işık Mikroskobu

Materyal yüzeyine yapışan mikron boyutlarındaki bakterilerin ve hücrelerin incelenmesi için kullanılan en kolay yöntemdir. Işık mikroskobunun en önemli avantajı; dinamik adezyon çalışmalarında dijital kayıt cihazının bağlanması ile bakteriyel adezyonun eş zamanlı olarak izlenebilmesine olanak sunmasıdır. Bu avantajına rağmen; ışık mikroskobu ile sadece optik olarak şeffaf olan sistemler incelenebilmekte ve limitli çözünürlüğü nedeniyle bakterilerin ayırte dilmesinde zorluklarla karşılaşmaktadır (122).

2.3.7.2. Floresan Mikroskobu

Etiketleme-işaretleme özellikleri ile farklı renk seçenekleri olan florokromların (floresan işaretleyiciler) kullanıldığı bakteriyel adezyon çalışmaları için etkili bir tekniktir. Bu method, yaşayan hücrelerin sayımı ve saptanması için de kullanılmaktadır (123).

Floresan mikroskobu, çeşitli floresan boyalarla boyanan yüzeylerdeki bakterilerin sayılması amacıyla kullanılır. Fiksasyon işlemi ve boyama işleminden sonra bakteriler canlılıklarını kaybetmektedirler, ancak yapışan toplam bakteri sayısı bu teknikle değerlendirilebilir. İmaj analiz yazılım programları ile kombine edildiğinde oparetör hataları azaltılabilmektedir. Bu sistemler, çok sayıdaki mikroorganizmanın hızlı şekilde sayımına olanak vermektedir (122).

2.3.7.3. Konfokal Lazer Tarama Mikroskobu

Biyofilmlerin görüntülenmesinde kullanılan en yeni yöntemlerden biri de lazer taramalı konfokal mikroskopidir (CLSM). Elektron mikroskopisinde karşılaşılan dehidratasyon ve deformasyon gibi istenmeyen değişikliklere bu teknikte karşılaşılmaz. Örnekler uygun floresan teknik ile boyanabilirse canlı ve ölü organizmaların analizi yapılabilir. Ayrıca 50-200 µm kalınlığına kadar, biyofilmlerin

üç boyutlu kantitatif analizi de yapılabilmektedir (124). Fakat ışık mikroskopisindeki kısıtlamalara bağlı olarak biyofilmleri oluşturan matriks ve hücrelerin yapısal özellikleri detaylı olarak incelenememektedir (125).

2.3.7.4. Taramalı Elektron Mikroskobu

Bu güne kadar mikrobiyal biyofilmlerin yapısal özelliklerini görüntülemeye yönelik yapılan çalışmalarda en çok kullanılan yöntem taramalı elektron mikroskobudur. SEM yüksek enerjili elektronların küçük bir alana odaklanması ve yüzeyin taranması prensibi ile çalışmaktadır. Işık mikroskobuna oranla, SEM kullanılarak 400 kat daha yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler elde edilebilir (125).

SEM; hücrel morfolojilerin ayırt edilerek eş zamanda substratlara adezyonun direkt olarak gözlemlenmesinde kullanılmaktadır. Ancak örneklerin fiksasyonu ve yüzeyde elektron birikmesini önlemek için iletken bir maddeyle (altın, karbon, altın-palladyum, platin gibi) kaplanarak hazırlanması gerekliliği in-situ incelemede kullanılmasını olanaksız kılmaktadır (126).

2.3.7.5. Atomik Kuvvet Mikroskobu

Atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) örnek hazırlama süreci gerektirmeyen bir tekniktir. Bu teknikte özel tarayıcı bir uç kullanılarak örneğin 3 boyutlu analizi yapılır ve işlem sonunda 3 boyutlu bir imaj elde edilir (56).

2.3.7.6. Faz Kontrast Mikroskobu

Faz kontrast mikroskobu; sadece hücrelerin kültür ortamında, hücreyi veya hücre topluluğunu incelemek amacıyla kullanılır. Ölen hücreler yapıştıkları alt tabakadan ayrılacakları için besiyeri içinde yüzmeye başlarlar. Bu hücreler faz kontrast mikroskobu ile gözlenebilirler (127).

2.3.7.7. Bakteri Sayım Yöntemleri

Bir sıvı içerisinde; homojen bir süspansiyon şeklinde bulunan bakterilerin sayısı, 1 ml deki sayı olarak belirtilir. Bakteri sayımında kullanılan birçok yöntem vardır (128).

2.3.7.7.1. Doğrudan Bakteri Sayım Yöntemleri

Sayma kamarası ile bakteri sayımı, kan alyuvar karşılaştırmalı bakteri sayımı, elektronik sayıcı ile bakteri sayımı ve radyoaktif işaretleme ile bakteri sayımı yöntemi bu grup yöntemler arasında yer alır. Radyoaktif işaretleme, bakteri hücrelerinin “radiotracers” ile önceden işaretlenmesini içerir. Hassas ve oldukça güvenilir olması ve çok sayıda örneğin kısa sürede sonuçlandırılması avantajlarının yanı sıra, özel laboratuvar şartları gerektirmesi ve radyoaktif maddelerle uğraşmanın araştırmacılar için risk oluşturması gibi dezavantajları, bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır (128).

2.3.7.7.2. Dolaylı Bakteri Sayım Yöntemleri

Total hacim tayininde; bir miktar bakteri santrifüj tüplerine yerleştirilerek kuvvetlice santrifüj edilir. Tüpün dibinde çökelen hacim belirlenerek bakteri miktarı tayini yapılır (128).

Mc Farland tüpleri ile karşılaştırma yönteminde; ticari olarak sağlanabileceği gibi, laboratuvar da kolaylıkla hazırlanabilen Mc Farland bulanıklık tüplerinin bulanıklıkları, aynı boyut ve yapıdaki tüplere konan bakteri süspansiyonlarının bulanıklıkları ile karşılaştırılarak bakteri sayısı hakkında bilgi edinilir. Çeşitli bakteriler için tüplerin karşılığı, 1 ml deki bakteri sayıları olarak bilinmektedir (128).

Kimyasal metotta; bakterilerdeki nitrojen, karbon, DNA, RNA ve diğer maddelerin miktarları ölçülerek bakteri miktarı hakkında fikir elde edilir (128).

Biyokimyasal metotta; mikroorganizmaların metabolizma aktivitesi ölçülerek üreme tespit edilir (128).

Kuru ağırlık tayini yönteminde; bakteri kütlesinin ağırlığı sabit kalıncaya kadar 120°C de bırakılarak kurutulur ve sabit ağırlık elde edilince kurutulmaya son verilerek ağırlık ölçülür (128).

Spektrofotometri yönteminde; besiyerlerinde bakteriler üredikçe bulanıklık artar ve bu bulanıklık tayininde spektrofotometri kullanılır. Spektrofotometrinin çalışma prensibi optik densite ve koloni sayımı arası nicel ilişkiye dayanmaktadır. İki temel ölçüm tekniği vardır:

a- Bakterilerin tutunduğu substrat, boyama sonrası direkt spektrofotometrede incelenir.

b- Bakteriler yüzeyden yıkanır, solüsyonda boyanır ve bu solüsyon spektrofotometrede incelenir (128).

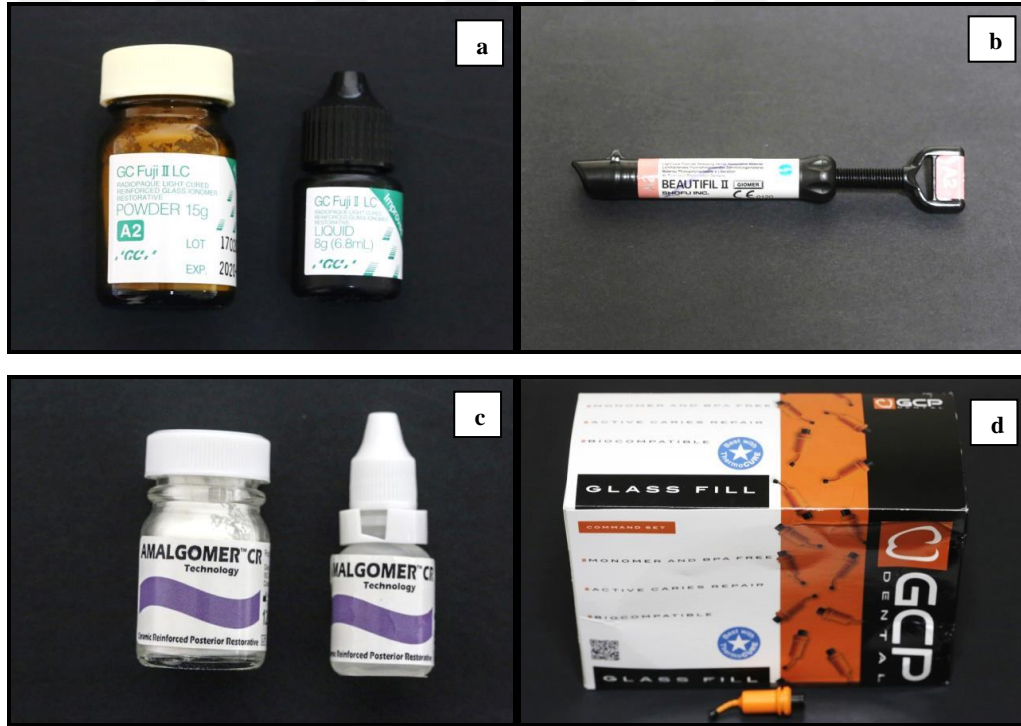
2.3.7.7.3. Koloni Sayım Temeline Dayalı Bakteri Sayma Yöntemleri

Bu yöntem, bakterilerin sayımı için en temel metotlardan biridir. Bakteri sayımını gerçekleştirebilmek için dökme plak veya yüzeye yayma yönteminden yararlanılmaktadır. Dökme plak yönteminde; ölçülü bir hacimde (1 ml) örnek, uygun erimiş agar besiyeri (10 ml) ile steril bir petri kabında karıştırılır. 37°C de 1 gece inkübe edildikten sonra koloniler sayılır ve gerektiğinde orijinal solüsyondaki bakteri yoğunluğu saptanır. Yüzeye yayma yönteminde; bakteri içeren orijinal örnek, bir seri seyreltme işlemlerine tabi tutulur ve en yüksek seyreltmeden başlanarak her seyreltiden bir kısım alınmak suretiyle agar plakların yüzeyine pipetle konur ve ardından bir öze veya alevden geçirilmiş cam çubuk ile tüm yüzeye yayılır. Plaklar 37°C de 1 gece inkübe edilir ve koloniler sayılır. Oluşan her koloninin bir canlı üniteden oluştuğu düşünülür. Sınırları her araştırmacıya göre değişmekle birlikte; besiyeri üzerinden yapılan sayımlarda çok fazla sayıda koloni varlığında bu durumun, gözün algılayabileceği seviyenin üzerinde mi veya çok az sayıda bakteri bulunduğundan mı karmaşası yöntemden kaynaklanan bir hata olabileceğinden dolayı sonuç yanıltıcı olabilmektedir (128).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılacak Materyallerin Seçimi

Çalışmamızda; bir rezin modifiye cam iyonomer siman (Fuji II LC, GC Corp., Tokyo, Japonya), bir pre-reacted cam iyonomer/Giomer (Beautifill, Shofu Inc., Kyoto, Japonya), bir seramik ilaveli cam iyonomer/amalgomer (Amalgomer CR, AHL, Tonbridge, İngiltere), bir karbomer ve florapatit ile güçlendirilmiş cam iyonomer/cam karbomer (GCP Glass Fill, GCP Dental, Ridderkerk, Hollanda) olmak üzere dört adet cam iyonomer içerikli restoratif materyal kullanılmıştır (Resim 1a,b,c,d). Çalışmada kullanılan restoratif materyallerin, içerik, marka, üretici firma ve üretim kod numaraları Tablo 1’de gösterilmiştir.



Resim 1: Çalışmada kullanılan restoratif materyaller a) Resin modifiye cam iyonomer siman b) Giomer c) Amalgomer d) Cam karbomer

Tablo 1: Çalışmada kullanılan restoratif materyaller ve içerikleri

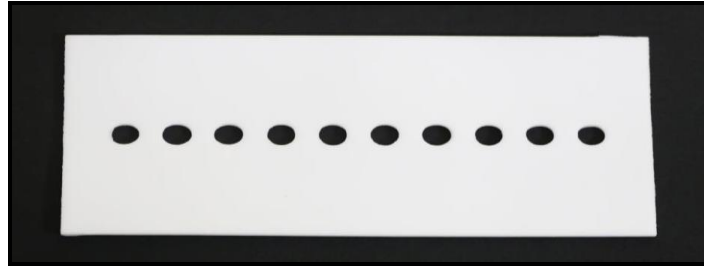
| Materyal | Markası/ Üretici Firma | İçerikleri | Üretim kod numaraları |
|-----------------------------------|---|---|-----------------------|
| Rezin modifiye cam iyonomer siman | Fuji II LC GC Corp, Tokyo, Japonya | Floralumino-silikat cam, polialkenoik asit, HEMA, alüminyum klorid, kamforokinon ve su S-PRG doldurucu, | 1702071 |
| Giomer | Beautiful II Shofu Inc., Kyoto, Japonya | floroboroaluminosilikat cam, BİS-GMA, TEGDMA, katalizör | 051522 |
| Amalgomer | Amalgomer CR Advanced HealthCare LTD, Tonbridge, İngiltere | Cam, poliakrilik asit, tartarik asit, zirkonyum oksit, su. | 011519-82 |
| Cam karbomer | GCP Glass Fill GCP Dental, Ridderkerk, Hollanda | Floroaluminosilikat, Poliakrilik asit ve Tartarik asit. Distile su | 7605679 |

HEMA, Hidroksietil metakrilat; BiSGMA, Bisfenol A diglisidil dimetakrilat; TEGDMA, Trietilen glikol dimetakrilat; S-PRG, Surface Pre Reacted Glass Ionomer

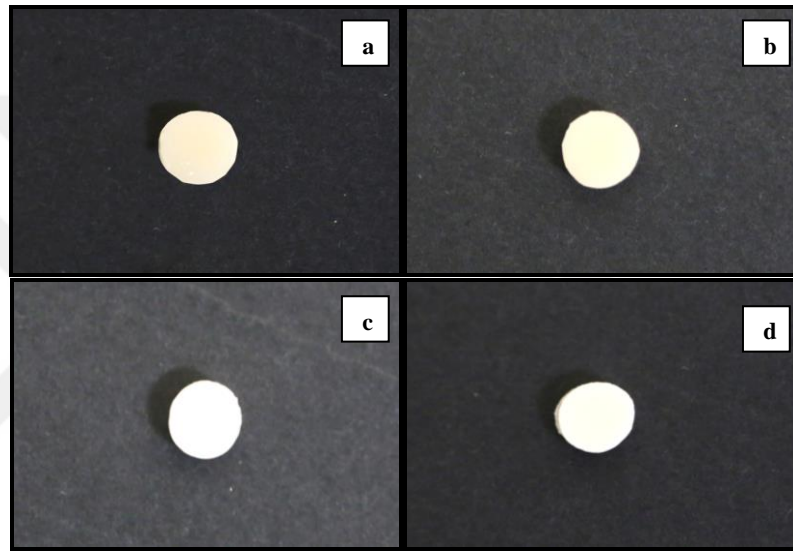
3.2. Örneklerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan materyallerin yüzey morfolojilerinin ve pürüzlülüklerinin incelenmesinde; standart 6 mm çapında ve 2 mm kalınlıkta disk şeklinde örneklerin hazırlanması amacıyla teflon kalıplar kullanıldı (Resim 2). Bir cam lamelin üzerine şeffaf matriks bant yerleştirildi, daha sonra bantın üzerine silindirik teflon kalıp konumlandırıldı. Restoratif materyaller, kalıbın içine yerleştirildikten sonra üzerine şeffaf matriks bant konumlandırılarak tekrar cam lamel ile sıkıştırıldı. Bu sırada hafif baskı uygulanıp, fazla rezinin taşması sağlandı ve düzgün bir yüzey elde edildi. Daha sonra cam uzaklaştırıldı ve şeffaf bant üzerinden polimerizasyon işlemleri gerçekleştirildi. Materyaller üretici firmanın önerileri doğrultusunda sertleştirildi (Tablo 2). Işık ile sertleştirilen materyallerin polimerizasyonunda dalga boyu 450 nm–470 nm, yoğunluğu 1330 mW/cm² olan ışık cihazı (Kerr Demi Ultra, Kerr Corporation, ABD) kullanıldı. Materyallerin polimerizasyonunu takiben şeffaf bant uzaklaştırıldı (Resim 3 a,b,c,d). Hazırlanan örnekler 24 saat boyunca 37°C’de distile suda bekletildi. Her bir materyalden 19 adet örnek olmak üzere toplam 76 adet örnek hazırlandı. Her bir materyale ait örneklerden üçer tanesi yüzey morfolojilerinin taramalı elektron mikroskopu ile değerlendirilmesi

için kullanıldı. Geriye kalan 16 adet örnek ise yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi amacıyla kullanıldı.



Resim 2: Örneklerin hazırlanmasında kullanılan teflon kalıp



Resim 3: Materyallere ait örnekler a) Rezine modifiye cam iyonomer disk
b) Giomer disk c) Amalgomer disk d) Cam karbomer disk

Tablo 2: Çalışmada kullanılan materyallerin kullanım şekilleri

| Materyal | Kullanım şekli |
|------------------------------------|--|
| Rezine modifiye cam iyonomer siman | Materyal karıştırılarak teflon kalıba yerleştirildikten sonra 20 sn. görünür ışıkla polimerize edilir. |
| Giomer | Materyal teflon kalıba yerleştirildikten sonra 30 sn. görünür ışıkla polimerize edilir. |
| Amalgomer | Materyal elle karıştırılarak teflon kalıba yerleştirildikten sonra sertleşmesi tamamlanınca teflon kalıptan çıkarılır. |
| Cam karbomer | Kapsül formundaki materyal, amalgamatörde 15 sn. karıştırılıp teflon kalıplara yerleştirilir. 90 sn boyunca ışık ile sertleştirilir. |

3.3. Yüzey Morfolojilerinin Taramalı Elektron Mikroskobu İle İncelenmesi

Restoratif materyallere ait 3'er örneğin yüzey morfolojisi; taramalı elektron mikroskobu (FEI QUANTA FEG 250, Hollanda) ile düşük vakum, yüksek voltaj tekniği kullanılarak 20.00 kV ve 10-11 mm çalışma mesafesinde X500, X1000, X2000 büyütmelerde incelendi (Resim 4).



Resim 4: Taramalı elektron mikroskobu

3.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Çalışmamızda, yüzey pürüzlülüğü değerlendirmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Araştırma ve Uygulama Merkezi (YETEM) bünyesindeki ENERJİ Birimi laboratuvarında bulunan ezAFM cihazı (Nanomagnetics Inst, Oxford, UK) ile yapıldı (Resim 5). Cihazın çalışma prensibi; AFM'nin iğnesinin örnek üzerinde hareket etmesi ve iğne-örnek arasındaki itme ve çekme kuvvetlerinin ölçülmesine dayanmaktadır. İğne cantilever denilen yaya tutturulmuştur ve örnek piezoelektrik tarayıcı sayesinde çok hassas şekilde hareket ettirilir. Lazer kaynaktan gelen ve cantileverden yansıyan ışın, pozisyona duyarlı fotodetektöre ulaşır. İki fotodiyotun sinyali arasındaki fark lazer spotunun pozisyonunu belirler. Cantileverin yükseklik bilgisi bilgisayara gönderilip X ve Y pozisyonuna karşı kaydedilir. Cantilever kendi rezonans frekansında osilasyon yapar. Bu osilasyon fotodetektör (0,34 Ågstrom hassasiyette) tarafından ölçülür. Örneğe

yaklaştığı zaman yüzeye etkileşim yüzünden enerji kaybederek probun osilasyon şiddeti azalır. Geri döngü mekanizması bu şiddeti sabit tutmak için yüzeyin üzerindeki probun yüksekliğini değiştirir. Buradaki değişim bize etkileşim miktarı hakkında bilgi vererek malzemenin yüzey morfolojisini veya profilini verir. Bu cihaz; tapping mod ve profilometre mod olmak üzere iki farklı modda ölçüm yapmaktadır. Cihaz AFM tapping modunda çalışırken $40 \times 40 \times 4 \mu\text{m}$ ölçülerinde tarama değerlerine sahiptir.

Ölçüm uzunluğu (tracing length) hareket ettirilebilir kafası sayesinde yüzey pürüzlülük sınırlarını aşmamak kaydı ile istenilen uzunlukta ayarlanabilir. Gürültü ve titreşim engelleme özelliğine sahiptir. Ra, Rz, Rmax, Rp, Rpm, Rt gibi parametreleri otomatik olarak hesaplayabilir.

Materyallere ait örneklerin yüzey pürüzlülükleri cihazın profilometre modunda gerçekleştirildi. Çalışmamızda ölçüm uzunluğu 2 cm olarak ayarlandı. Her örneğin ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri Ra değeri cinsinden kaydedildi. Her dört ölçümde bir kalibrasyon işlemi yapıldı. Ölçümler örneklerin merkezinde olacak şekilde gerçekleştirildi. Her örnekten üç ölçüm yapıldı. Elde edilen 3 ölçümün aritmetik ortalaması alınarak, o örneğin yüzey pürüzlülük değeri kaydedildi.



Resim 5: AFM cihazı

3.5. Biyofilm Oluşum Testi

3.5.1. Örneklerin Hazırlanması

Biyofilm oluşumu testinde kullanılmak üzere her bir materyalden 20 adet olmak üzere toplam 80 adet yeni örnek hazırlandı. Örnekler, yüzey özelliklerinin değerlendirilmesi amacı ile kullanılan örneklerin hazırlanma prosedürü ile aynı şekilde elde edildi. Her bir materyale ait 20 örnek 1., 7., 21. ve 30. gün biyofilm değerlendirilmesi için 4'e ayrıldı. Belirtilen her gün için 5'er örnek üzerinde sayım yapıldı.

3.5.2. Örneklerin Steril Edilmesi

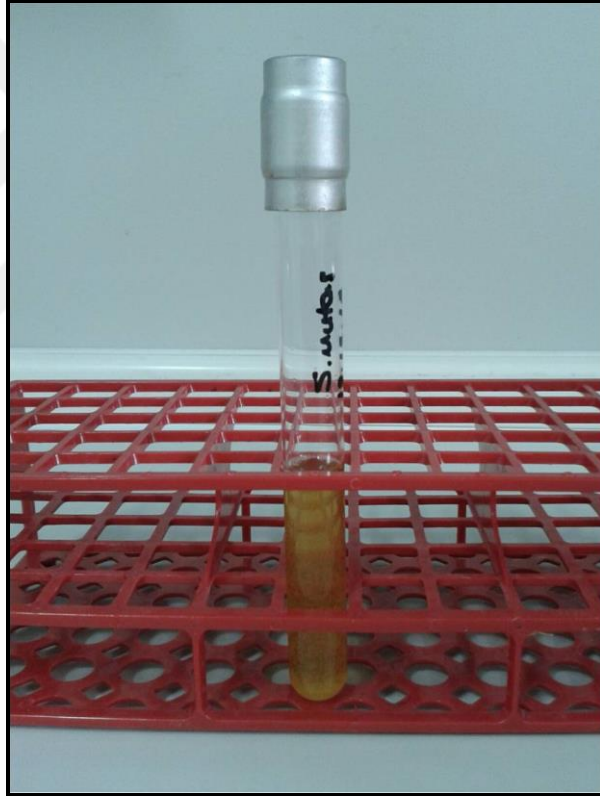
Örnekler, Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Sterilizasyon Ünitesi bünyesindeki etilen oksit gazı sterilizasyon sistemi (Steris Amsco Eagle, Mentor, ABD) kullanılarak sterilize edildi (Resim 6). Sterilizasyon prosedürü; vakum, ısıtma, nemlendirme, sterilizasyon ve havalandırma olmak üzere beş aşamada gerçekleştirildi. Örnekler 37°C-54°C aralığında, soğuk buhar ve kuru sistem etilen oksit sterilizasyon tekniği ile dört saat boyunca etilen oksit gazına maruz bırakıldı ve oniki saat boyunca havalandırıldı.



Resim 6: Etilen oksit gazı sterilizasyon sistemi

3.5.3. Biyofilm Oluşumunun Saptanması

Amalgamer, rezin modifiye cam iyonomer, cam karbomer ve Giomer materyallerinden hazırlanan disklerin in vitro bakteriyel adezyon testinde Liofilchem (Roseto delgi Abruzzi, İtalya) firmasından temin edilen *Streptococcus mutans* ATCC 25175 suşu referans bakteri olarak kullanıldı. *S. Mutans*, ATCC 25175 Brain Heart Infusion Broth (BHI, Lab M, Ltd., Bury Lancashire, İngiltere) besiyeri ortamında 37 °C’de 18 saat süreyle geliştirildi ve stok kültürü BHI besiyeri ortamına % 20 (v/v) oranında steril gliserol (Riedel-de Haën, Seelze, Almanya) ilave edilerek -32 °C’de muhafaza edildi.



Resim 7: Aktifleştirilmiş *S. Mutans* kültürü

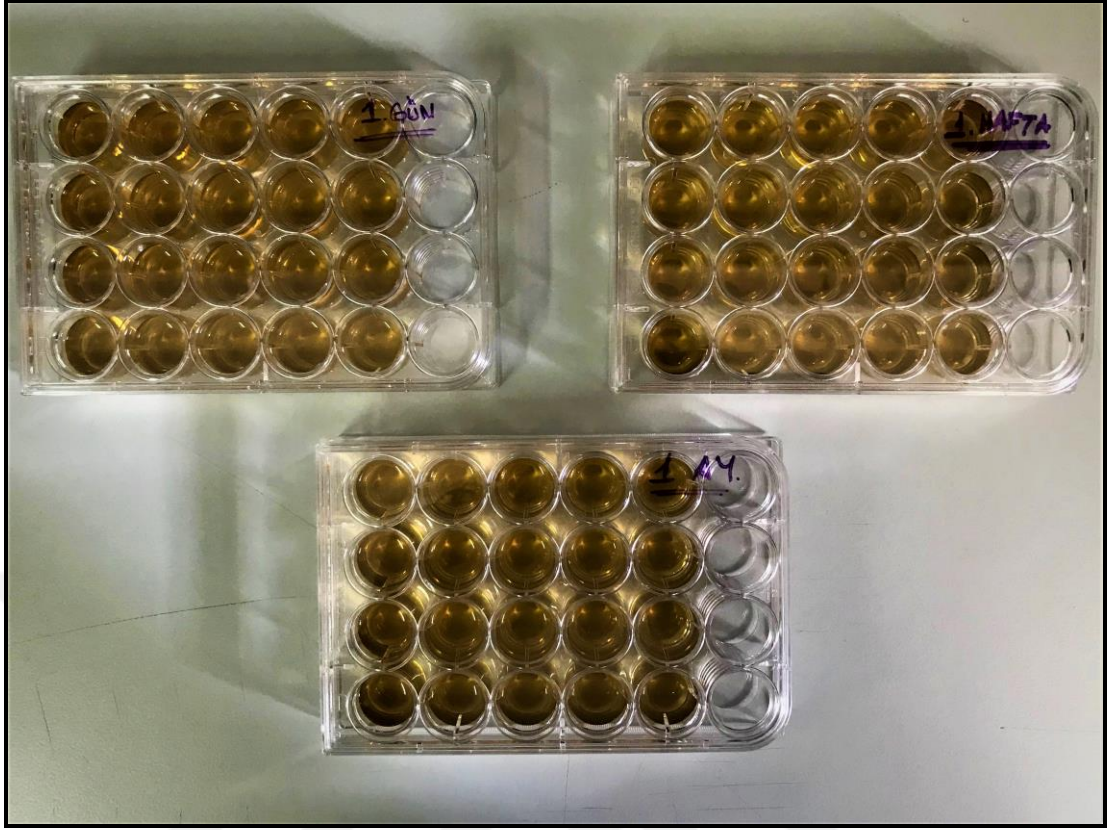
Bakteriyel adezyon testi steril 24 kuyucuklu plakalarda (Corning costar 3524, New York, ABD) gerçekleştirildi. Yapılan ön denemeler ile etilen oksit gazının diskler üzerine sterilizasyon etkinliği, sterilize edilen disklerin BHI besiyerinde 37°C’de 5 gün inkübasyona tabi tutulması ile test edildi. Bakteriyel adezyon testi için stok *S. mutans* ATCC 25175 suşu BHI besiyeri ortamında 37

°C’de 18 saat süreyle ardışık iki pasaj yapılarak geliştirildi. Aktifleştirilen kültürün hücre sayısı yayma kültür sayım yöntemi (100 µL) kullanılarak BHI agar besiyeri ortamında tespit edildi. Disklere inoküle edilecek hücre süspansiyonu aktif kültürün (8.85 log kob/mL) BHI broth ortamı kullanılarak 1/100 oranında seyreltilmesi ile hazırlandı.



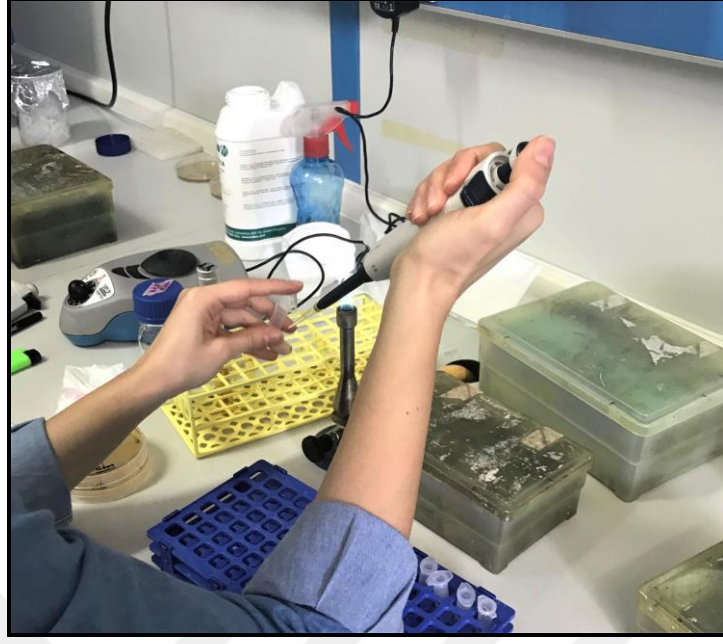
Resim 8: Aktif hale getirilen bakterinin besi yerine inokülasyonu

Süspansiyondaki hücre sayısı yayma kültür sayım yöntemi kullanılarak BHI agar besiyeri ortamında belirlendi. Aseptik koşullar altında her grubu temsilen 5 adet disk, içerisinde 2 mL steril BHI broth besiyeri pipetlenen toplam 20 kuyucuğa ayrı ayrı yerleştirildi ve daha sonra hücre süspansiyonundan her bir kuyucuğa 20 µL (5.29 log kob/mL) inokülasyon yapıldı. Yukarıda belirtildiği şekilde hazırlanan 4 farklı plaka *S. mutans* ATCC 25175 suşunun test edilen disk materyallerine adezyonun sağlanması için 1, 7, 21 ve 30 gün süreyle 37 °C’de inkübe edildi. Gün aşırı 7, 21 ve 30 gün inkübe edilen plakalarda yer alan kuyucuklardan aseptik koşullarda 1 mL kullanılmış besiyeri alındı ve yerine 1mL steril taze BHI besiyeri ilave edildi.

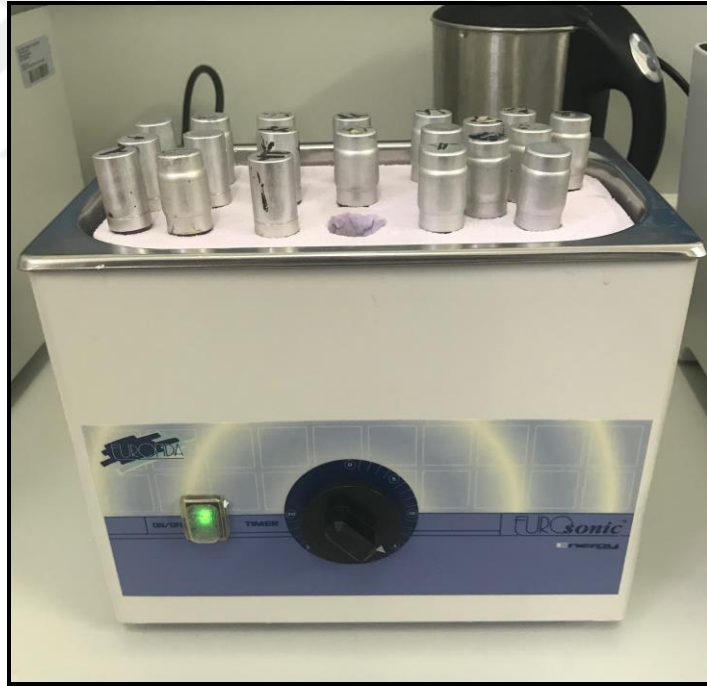


Resim 9: Bakteri inkübasyon için kuyucuklara yerleştirilmiş diskler

İnkübasyon süresi sonunda kültür ortamında gelişen hücre sayısı, test materyaline adhere olmayan (non-adhering cell) ve adhere olan hücre sayıları damla kültür (20 μ L) sayım yöntemi kullanılarak belirlendi. Adhere olmayan hücrelerin sayısının belirlenmesinde kullanılan örnekler, her bir diskin 5 mL steril fizyolojik tuzlu su ile (FTS, NaCl % 0.85, w/v) 3 defa yıkanması sonucu elde edildi. Adhere olan hücrelerin sayısının belirlenmesinde kullanılan örnekler ise yıkama işlemi sonrası her bir diskin 1 mL FTS içerisinde ultrasonik su banyosunda (Euronda Energy, Vicenza, İtalya) 10 dakika süre sonikasyona tabi tutulması ile elde edildi. Biyofilm içerisinde bulunan bakterilerin planktonik forma dönüşmeleri sağlandı. Kültür ortamında gelişen, disk materyaline adhere olmayan ve adhere olan hücre sayıları, alınan örneklerin FTS ortamı kullanılarak yapılan seri dilüsyonlarının BHI agar besiyeri ortamlarına damlatılması ve petri kutularının 37 °C'de 48 saat inkübasyonu sonucu gelişen kolonilerin sayımı sonucu tespit edildi.



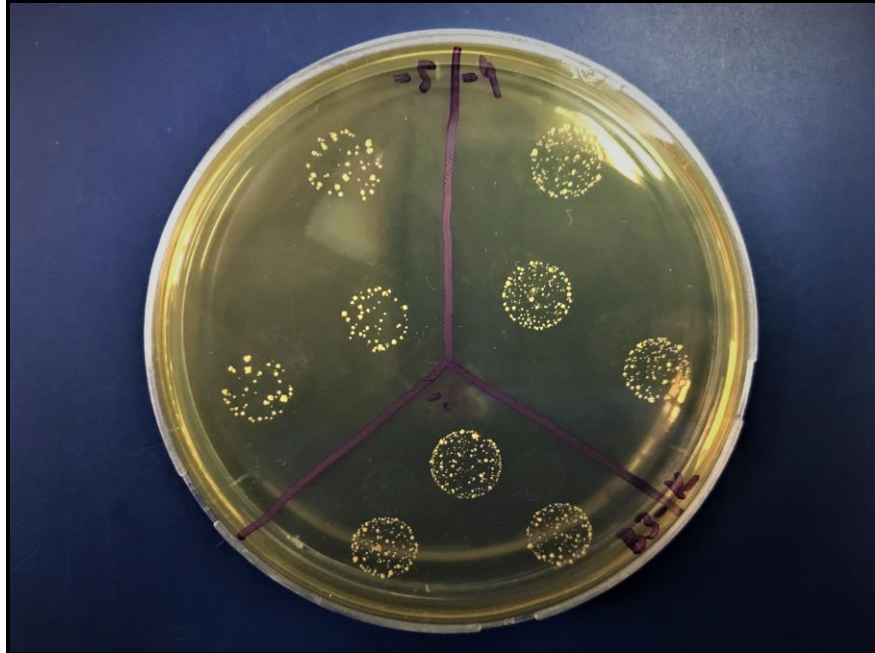
Resim 10: Örneklerin FTS ile yapılan seri dilüsyonları



Resim 11: Örneklerin ultrasonik banyo içerisinde sonikasyonu



Resim 12: Örneklerin FTS ile yapılan seri dilüsyonlarının BHI agar besiyeri ortamlarına damlatılması



Resim 13: Petri kutularının 37 °C'de 48 saat inkübasyonu sonucu gelişen koloniler

3.5.4. İstatiksel Analiz

Yüzey pürüzlülüğüne ait verilerin dağılımlarının normal olup olmadığını tespit etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov testi uygulandı. Bu test sonucunda bütün gruplardan elde edilen verilerin normal dağılım gösterdiği görüldü. Grup varyanslarının homojenliğini test etmek amacıyla Levene testi kullanıldı. Levene testi sonucunda sig (p) değeri 0,418 bulunarak varyansların homojen olduğu belirlendi. Varyansların homojen olarak dağılım göstermesi nedeniyle, grup değerlerinin karşılaştırılması tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testi ile gerçekleştirildi. Farklılığın hangi gruplar arasından kaynaklandığı Tukey HSD testi ile ikili karşılaştırmalar yapılarak belirlendi. İstatistiksel önemlilik düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

Çalışmamızda biyofilm oluşumuna ait verilerin değerlendirilmesinde, verilerin normal dağılım göstermemesi ve varyansların homojen olmaması nedeniyle parametrik olmayan istatistiksel test yöntemleri kullanıldı. Gruplar; adhere olan bakteri sayısı açısından 1., 7., 21. ve 30. gün için Kruskal Wallis testi ile karşılaştırıldı. Farklılığın hangi gruplar arasından kaynaklandığı Mann-Whitney U testi ile ikişerli grup karşılaştırması yapılarak analiz edildi. Araştırmamızda kullanılan tüm materyaller üzerinde adhere olan bakteri sayısının günler arasındaki karşılaştırılması parametrik olmayan testler Friedman ve Wilcoxon Signed Ranks testi ile incelendi.

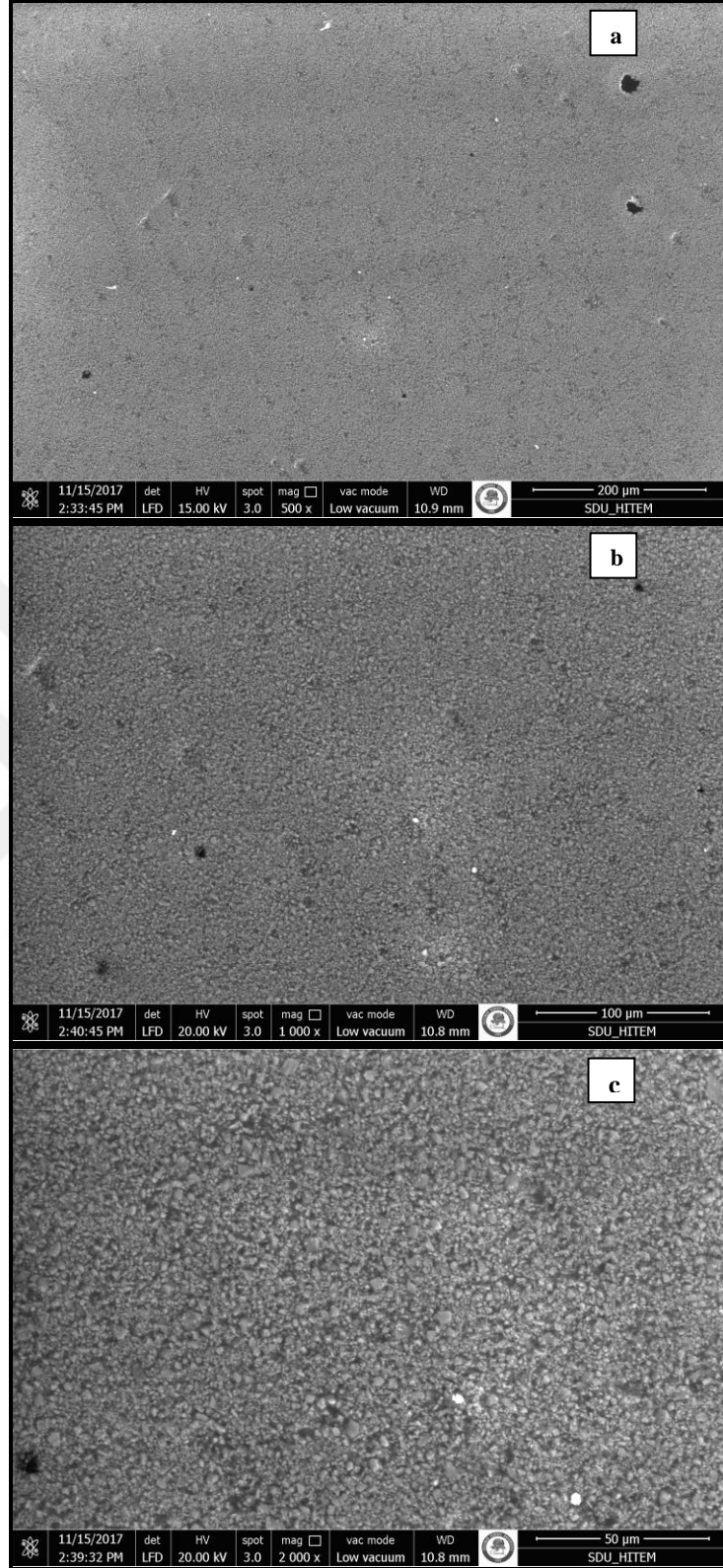
Tanımlayıcı istatistik olarak; normal dağılılan veriler için aritmetik ortalama ve standart sapma, normal dağılmayan veriler için medyan, minimum ve maksimum değerleri verildi.

4. BULGULAR

4.1. Yüzey Morfolojisi Bulguları

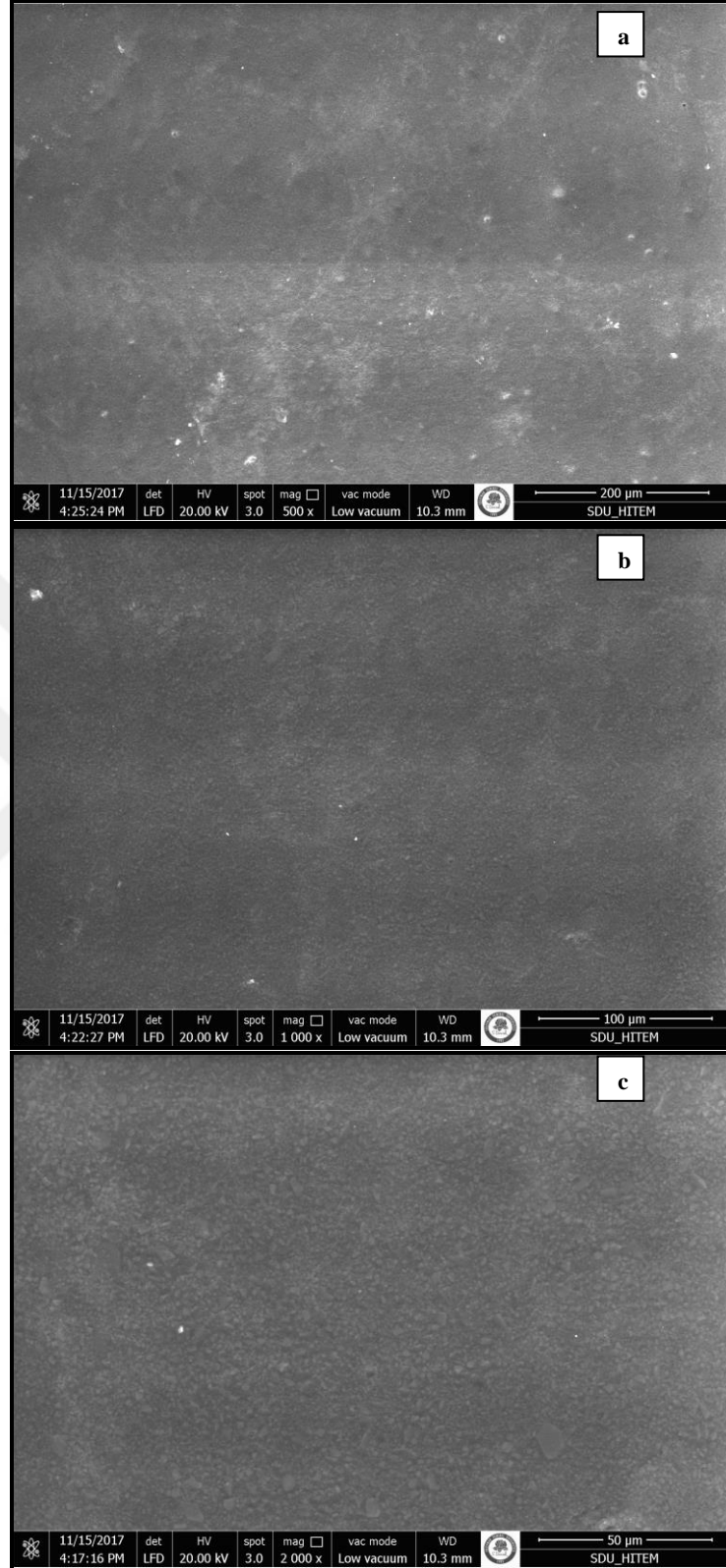
Farklı cam iyonomer içeriğine sahip 4 farklı restoratif materyalin yüzey morfolojilerinin taramalı elektron mikroskobu ile incelenmesi sonucunda elde edilen görüntüler Resim 14-17’de gösterilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobu analizi sonucunda; rezin modifiye cam iyonomer ve Giomer gruplarının yüzeyinin cam karbomer ve amalgomere kıyasla daha pürüzsüz ve homojen olduğu görüldü. Cam karbomer ve amalgomere ait örneklerin yüzeyinde çok sayıda mikro çatlak olduğu belirlendi. Bu çatlakların amalgomere daha sığ ve kısa olduğu gözlenirken, cam karbomerde daha derin ve devamlılık gösterir tarzda olduğu tespit edildi. Bununla birlikte, yalnızca amalgomere ait örneklerin yüzeyinde rastgele konumlanmış küçük çukurcuklar gözlendi (Resim 16).



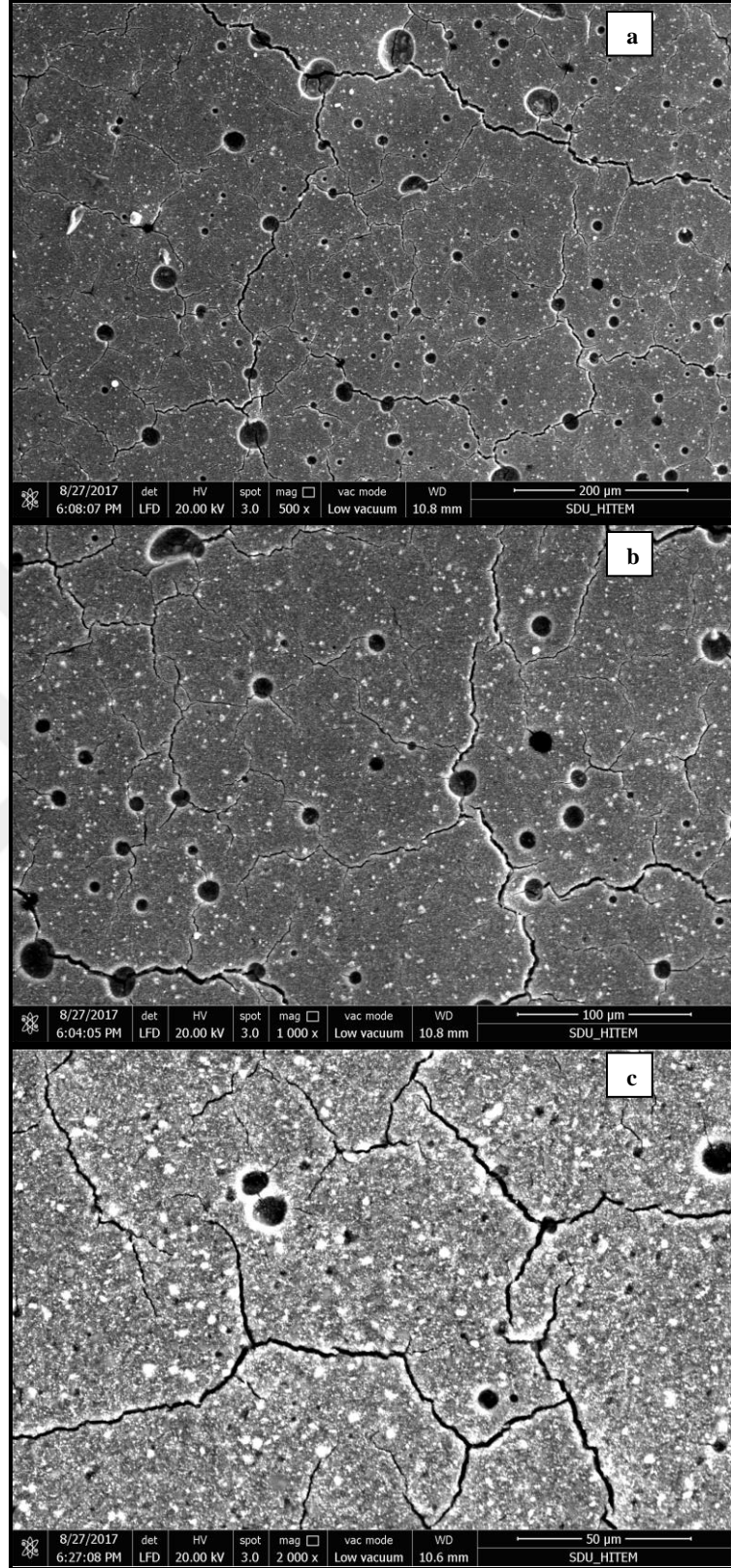
Resim 14: Resin modifiye cam iyonomer simana ait örneğin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri

a) X 500 büyütme b) X 1000 büyütme c) X 2000 büyütme



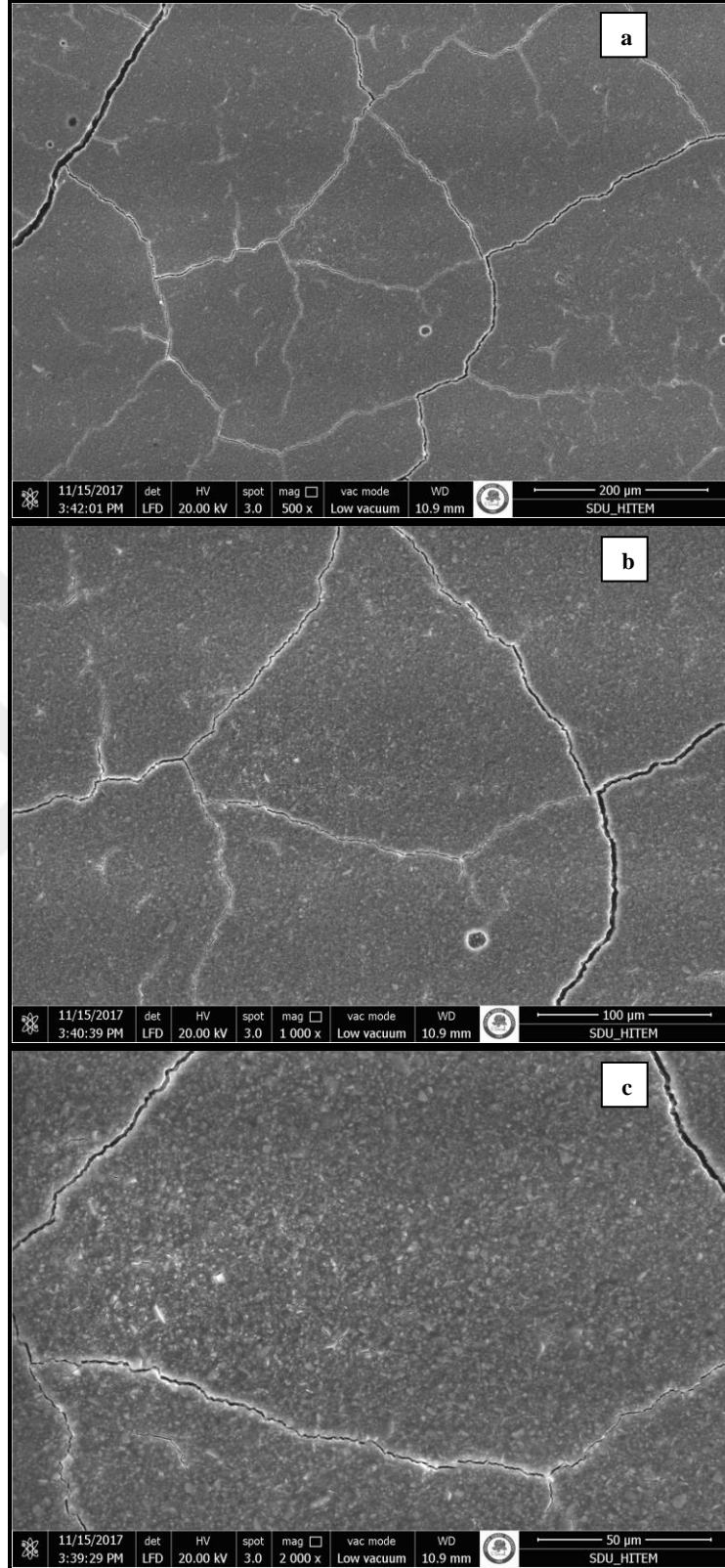
Resim 15: Giomere ait örneğin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri

a) X 500 büyütme b) X 1000 büyütme c) X 2000 büyütme



Resim 16: Amalgomere ait örneğin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri

a) X 500 büyütme b) X 1000 büyütme c) X 2000 büyütme

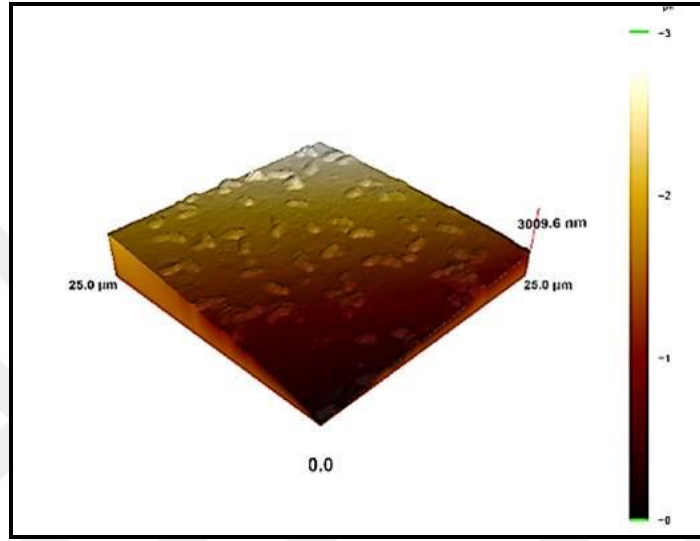


Resim 17: Cam Karbomere ait örneğin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri

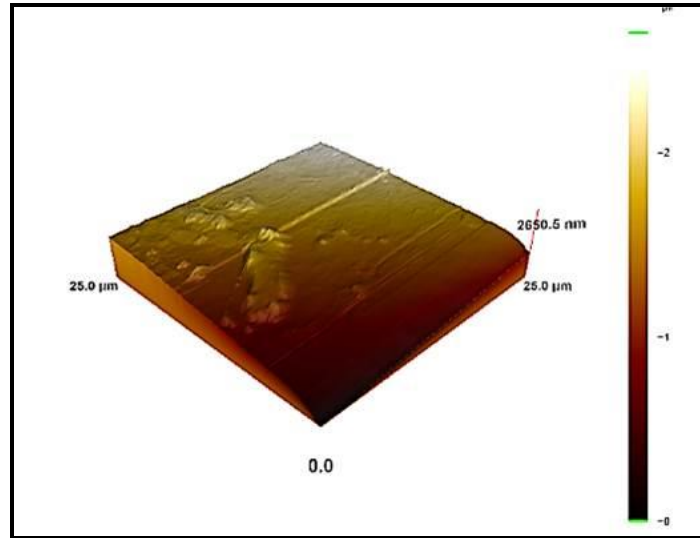
a) X 500 büyütme b) X 1000 büyütme c) X 2000 büyütme

4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları

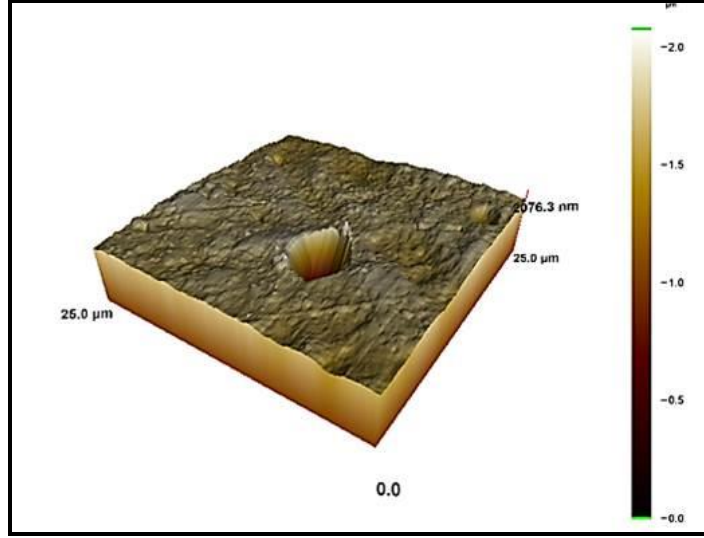
Materyallere ait örneklerin atomik kuvvet mikroskobu ile analizi sonucunda elde edilen görüntüler Resim 18-21’de ve yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir. Buna göre en yüksek pürüzlülük değerleri amalgomer ve cam karbomer grubunda elde edilirken; pürüzlülük değerlerinin en düşük olduğu materyaller Giomer ve rezin modifiye cam iyonomer olarak belirlendi.



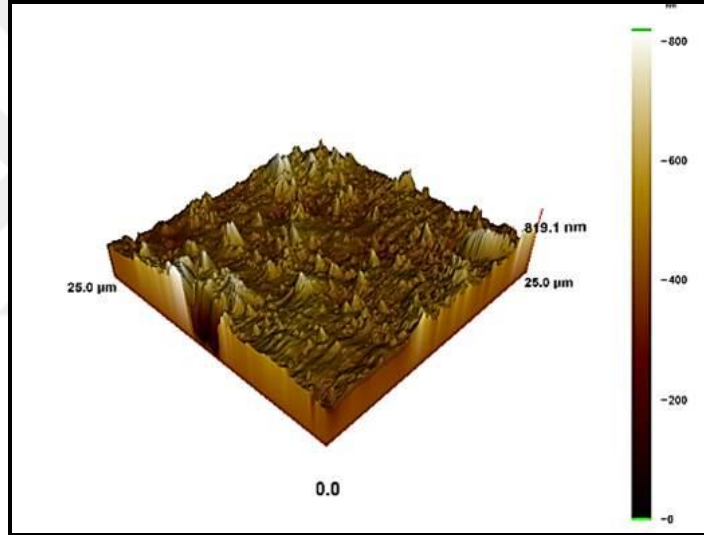
Resim 18: Rezin modifiye cam iyonomer simana ait örneğin AFM görüntüsü



Resim 19: Giomere ait örneğin AFM görüntüsü



Resim 20: Amalgomere ait örneğin AFM görüntüsü



Resim 21: Cam karbomere ait örneğin AFM görüntüsü

Tüm materyaller için uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda, materyallerin yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu belirlendi ($p < 0,05$).

Tablo 3: Çalışmada kullanılan materyallere ait yüzey pürüzlülük değerleri

| Materyal | N | Ort. (Ra) | Standart Sapma | Standart Hata | Minimum | Maksimum |
|------------------------------------|----|-----------|----------------|---------------|---------|----------|
| Giomer | 16 | 0,37 | 0,11 | 0,03 | 0,130 | 0,540 |
| Amalgomer | 16 | 0,52 | 0,13 | 0,03 | 0,330 | 0,830 |
| Rezin modifiye cam iyonomer | 16 | 0,35 | 0,09 | 0,02 | 0,210 | 0,510 |
| Cam Karbomer | 16 | 0,53 | 0,07 | 0,02 | 0,430 | 0,690 |
| Total | 16 | 0,44 | 0,13 | 0,02 | 0,130 | 0,830 |

Materyaller arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla uygulanan Bonferroni çoklu karşılaştırma testi sonucunda ise; amalgomer ile cam karbomer arasında ($p=1,00$) ve rezin modifiye cam iyonomer siman ile Giomer arasında ($p=1,00$) istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı (Tablo 4). Hem rezin modifiye cam iyonomer siman hem de Giomer'in amalgomer ve cam karbomer ile arasında ise anlamlı bir farklılık bulundu ($p=0,00$) (Tablo 4).

Tablo 4: Çalışmada kullanılan materyallerin yüzey pürüzlülük değerlerinin Bonferroni testi ile yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen p değerleri

| Materyal | Materyal | P |
|------------------------------------|------------------------------------|--------|
| Giomer | Amalgomer | 0,000* |
| | Cam Karbomer | 0,000* |
| | Rezin modifiye cam iyonomer | 1,000 |
| Amalgomer | Giomer | 0,000* |
| | Cam Karbomer | 1,000 |
| | Rezin modifiye cam iyonomer | 0,000* |
| Cam Karbomer | Giomer | 0,000* |
| | Amalgomer | 1,000 |
| | Rezin modifiye cam iyonomer | 0,000* |
| Rezin modifiye cam iyonomer | Giomer | 1,000 |
| | Amalgomer | 0,000* |
| | Cam Karbomer | 0,000* |

*P değerleri, 0.05'den küçük olduğu için istatistiksel olarak önemli farkı göstermektedir.

4.3. Biyofilm Bulguları

Çalışmamız protokolünde yer alan; materyal yüzeyinde 30 gün sonucunda adhere olan bakteri sayısının değerlendirilmesi aşaması, amalgomer ve cam karbomer disklerin bu sürede bütünlüğünü kaybetmesi ve bu grupların 30. gün hücre sayımlarının yapılamaması nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

Biyofilm oluşumuna ait tüm grupların 1. 7. ve 21. gün için median, maximum ve minimum değerleri Tablo 5-7 de gösterilmiştir.

Tablo 5: Materyallerin 1. gün sonunda yüzeye adhere olan bakteri değerleri

| Materyal | Median (Hücre sayıları log kob/mL) | Minimum | Maksimum |
|------------------------------------|---|----------------|-----------------|
| Amalgomer | 5,73 | 5,6 | 6,06 |
| Rezin Modifiye Cam İyonomer | 5,51 | 5,25 | 5,77 |
| Cam Karbomer | 5,8 | 5,51 | 6,18 |
| Giomer | 6,04 | 5,85 | 6,37 |

Tablo 6: Materyallerin 7. gün sonunda yüzeye adhere olan bakteri değerleri

| Materyal | Median (Hücre sayıları log kob/mL) | Minimum | Maksimum |
|------------------------------------|---|----------------|-----------------|
| Amalgomer | 6,82 | 6,69 | 7,01 |
| Rezin Modifiye Cam İyonomer | 7,03 | 6,83 | 7,97 |
| Cam Karbomer | 7,3 | 6,28 | 7,47 |
| Giomer | 6,73 | 6,13 | 7,1 |

Tablo 7: Materyallerin 21. gün sonunda yüzeye adhere olan bakteri değerleri

| Materyal | Median (Hücre sayıları log kob/mL) | Minimum | Maksimum |
|------------------------------------|---|----------------|-----------------|
| Amalgomer | 5,94 | 5,8 | 6,59 |
| Rezin Modifiye Cam İyonomer | 6,94 | 6,15 | 7,3 |
| Cam Karbomer | 6,69 | 6,34 | 7 |
| Giomer | 6,57 | 6,48 | 6,82 |

İstatistiksel değerlendirme sonucunda; 1. gün adhere olan bakteri sayısı açısından, gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur (Kruskal Wallis, $p=0,013$). Analiz sonuçlarına göre 1. gün sonunda sadece rezin modifiye cam iyonomer ve Giomer arasında anlamlı bir fark olduğu (Mann Whitney U, $p=0,008$) ve rezin modifiye cam iyonomerin Giomere oranla yüzeyinde istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bakteri sayısına sahip olduğu belirlendi. İstatistiksel olarak arasında anlamlı fark bulunmayan gruplar ise; amalgomer ve rezin modifiye cam iyonomer, amalgomer ve cam karbomer, amalgomer ve Giomer, rezin modifiye cam iyonomer ve cam karbomer ile cam karbomer ve Giomer olarak tespit edildi (Mann Whitney U, Tablo 8).

Materyallerin 7. gün sonunda yapılan değerlendirmelerinde, adhere olan bakteri sayısı açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edildi (Kruskal Wallis, $p=0,106$).

Gruplar arasında 21. gün sonunda da adhere olan bakteri sayısı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlendi (Kruskal Wallis, $p=0,095$).

Tablo 8: Birinci güne ait materyaller arasındaki ‘p’ değerleri

| | Amalgomer | Rezin Modifiye Cam iyonomer | Cam Karbomer | Giomer |
|------------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------|
| Amalgomer | - | 0,056 | 0,841 | 0,095 |
| Rezin Modifiye Cam İyonomer | 0,056 | - | 0,056 | 0,008 |
| Cam Karbomer | 0,841 | 0,056 | - | 0,056 |
| Giomer | 0,095 | 0,008 | 0,056 | - |

Tüm materyaller üzerinde adhere olan bakteri sayısının günler arasındaki karşılaştırılmasının incelenmesi sonucunda, adhere olan bakteri sayısının en yüksek değere 7. gün sonunda ulaştığı, en düşük değere ise 1. gün sonunda sahip olduğu belirlendi (Tablo 8). Çalışmanın 21. günde ise 7. güne oranla tutunan bakteri sayısında bir azalma olduğu gözlemlendi (Tablo 8). Günler arasında elde edilen bu değerler arasındaki fark ise istatistiksel olarak anlamlı idi (Friedman analizi, $P=0,00$). Analiz edilen her bir güne ait değerlerin, birbirleri ile karşılaştırmaları sonucu, aralarında farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlendi (Tablo 9)

Tablo 9: Günlere ait adhere olan bakteri değerleri

| Gün | Sıra ortalaması (log kob/mL) | P |
|----------------|---|----------|
| 1. Gün | 1,05 | |
| 7. Gün | 2,70 | 0,00 |
| 21. Gün | 2,25 | |

Tablo 10: Günler arasındaki karşılaştırmalara ait p değerleri (Wilcoxon Signed Ranks)

| | Gün 1- Gün7 | Gün 1-Gün 21 | Gün7-Gün21 |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| p | 0,000 | 0,000 | 0,005 |

5. TARTIŞMA

5.1. Çalışmada Kullanılan Materyallerin Seçimi

Cam iyonomer simanlar, süt dişlerinin daimi restorasyonlarında ve daimi dişlerin geçici restorasyonlarında kullanılmaktadır. Ancak mekanik ve fiziksel özelliklerinin yetersiz olması daimi dolgu olarak kullanımını sınırlamakta ve rezin kompozitlere alternatif olarak düşünülememektedir. Bu nedenle bu materyalleri geliştirmeye yönelik yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda; teknolojiye gelişmelerle beraber, cam iyonomerlerin yeni kategorileri olan, önceden reaksiyona girmiş bir cam iyonomer teknolojisi içeren Giomer ve nanopartikül teknolojisinin bir ürünü olan cam karbomer piyasaya sunulmuştur (38).

Cam iyonomer teknolojisi ile nanopartikül teknolojisi bir arada kullanılması ile geliştirilen cam karbomere floroapatit ve hidroksiapatit eklenmesiyle mine benzeri bir yapı oluşturulmak istenmiştir. Bu materyal nano boyutta toz partikülleri ve floroapatit içermesi ile cam iyonomer simanlardan ayrılmaktadır. Yeni geliştirilen ve test edilmeye devam edilen bu materyale ait literatürde henüz sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (14, 35, 36, 129, 130). Chen ve ark.'nın; cam karbomer bazlı, cam iyonomer bazlı ve rezin bazlı fissür örtücülerin çürük önleyici etkilerini 6 ay, 1 yıl ve 2 yıllık sürelerde takip ettikleri çalışmalarında iki yılın sonunda cam karbomer bazlı fissür örtücünün diğer materyallere göre daha düşük retansiyon oranı gösterdiğini rapor etmişlerdir (130). Gorseta ve ark.; cam iyonomer bazlı bir fissür örtücü ile cam karbomer bir fissür örtücünün retansiyon oranlarını değerlendirdikleri çalışmalarında, bir yıllık takip sonrası iki materyal arasında anlamlı bir fark bulunmadığını belirtmişlerdir (131). Çehreli ve ark.'nın cam karbomer ve kompomerin süt dişlerindeki mikrosızıntılarını karşılaştırdıkları başka bir çalışmada ise cam karbomer simanın kompomere oranla daha yüksek mikrosızıntı değerleri gösterdiği saptanmıştır (129). Materyalle ilgili umut vadeden bazı sonuçlar olsa da, materyalin klinik ömrü ile ilgili çelişkili sonuçlar mevcuttur. Literatürde cam karbomerin yüzey pürüzlülüğünün biyofilm oluşumu açısından değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmamızda klinikte yeni kullanılmaya başlanan cam karbomerin yüzey pürüzlülüğü araştırılmış ve biyofilm oluşumu açısından diğer cam iyonomerler içerikli materyaller ile karşılaştırılmıştır.

Giomerler önceden reaksiyona girmiş cam doldurucuları içeren ve florid salımı yapan rezin esaslı restoratif materyallerdir (26, 28, 33, 132, 133). Giomerin, çalışmamızda kullanılan diğer materyallerden amalgomer ve cam karbomere göre daha önce diş hekimliği piyasasına sunulmuş olması, bu materyale ait daha fazla özelliğın araştırılmasını sağlamıştır (134-140). Literatürde genellikle Giomerlerin mekanik özelliklerini araştıran çalışmalar mevcuttur (33, 139, 141-143). Bununla birlikte Omar ve ark. bir çalışmalarında Giomer, rezin modifiye cam iyonomer, kompomer ve kompozitin florid salımı özelliğı ile biyofilm oluşumu arasındaki korelasyonu incelemişlerdir (143). Literatürde; Giomerin yüzey pürüzlülüğünün değerlendirildiğı çalışmalar bulunurken (134, 136, 137), Giomerin yüzey pürüzlülüğünün biyofilm oluşumuna etkisini inceleyen çalışma sayısı çok kısıtlıdır (144). Çalışmamızda klinikte yaygın bir kullanım alanı bulunan Giomerin yüzey pürüzlülüğü incelenmiş ve biyofilm oluşumu açısından diğer cam iyonomer içerikli restoratif materyallerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmamızda incelenen diğer bir materyal yine son yıllarda geliştirilen, amalgomer olarak adlandırılan seramik ilaveli cam iyonomerdir. Literatürde amalgomerin yüzey özelliklerini inceleyen çok kısıtlı sayıda çalışma mevcuttur (144, 145). Bayrak ve ark.; amalgomer, cam karbomer, Giomer, kompomer ve cam iyonomerin yüzey pürüzlülüğünü inceledikleri çalışmalarında amalgomerin yüzey pürüzlülüğünün diğer materyallere göre daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir (144). Deepa ve ark.; amalgomer ve cam iyonomerin bir yıl sonundaki klinik performansını karşılaştırdıkları çalışmalarında, her iki materyalin değerlendirme kriterleri açısından sonuçların kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir (146). Üretici firma tarafından amalgam restorasyonun fiziksel dayanıklılığının ve cam iyonomerin estetik özelliğinin kombine edilmesinin amaçlandığı belirtilen bu yeni materyalin yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi ve elde edilen veriler doğrultusunda biyofilm oluşumuna etkisinin araştırılması amaçlanmıştır (147).

Diş hekimliğinde minimal girişimsel tedavi tekniklerine ilginin giderek artmasının yanı sıra estetik restorasyonlara olan talebin artış göstermesi sonucunda yeni restoratif materyallerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özellikle mekanik ve estetik özellikleri yüksek olan materyaller üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bir materyalin klinik kullanımına karar verilirken seçim kriterlerinden biri de yüzey

pürüzlülüğüdür. Restoratif diş hekimliğinde kullanılan materyallerin pürüzlülüğü bakteriyel tutunmayı önemli derecede etkilemektedir. Yüzey değişimine bağlı olarak restorasyonlarda plak birikimi, renk değişikliği, dişeti problemleri ve çürükler oluşabilmektedir (3, 33, 148). Buna karşın materyallerin yüzey pürüzlülüğünün az olması, mikroorganizmaların diş ve materyal yüzeylerine tutunmalarını zorlaştırmaktadır (4, 149). Çalışmamızda yeni geliştirilen cam karbomer ve amalgomerin yanı sıra klinikte kullanımı yaygın olan Giomer ve rezin modifiye cam iyonomerin de yüzey pürüzlülüğü incelenmiş ve biyofilm oluşumu açısından diğer materyaller ile karşılaştırılmıştır.

5.2. Örneklerin Hazırlanması

Restoratif materyallerin yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesine yönelik in vitro çalışmalarda, örneklerin yüzey bitimlerinin nasıl olması gerektiği bir tartışma konusudur (150, 151). Birçok araştırmacı; yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için en düzgün yüzeylerin, cila işlemleri olmaksızın şeffaf bant kullanılarak sağlanacağını belirtmektedir (33, 151-154). Araştırmamızda da yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve biyofilm oluşumu için örnek yüzeyine herhangi bir cila işlemi yapılmamış ve şeffaf bant kullanılarak yüzey bitimi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılacak örnek boyutunun standart halde üretilebilmesi önem taşımaktadır. Örneklerin kullanılan kalıba yapışmaması ve çıkartılırken kırılmaması amacıyla birçok çalışmada esneyebilen teflon kalıp kullanılmaktadır (155-158). Çalışmamızda da örneklerin hazırlanması için standart teflon kalıp kullanılmıştır.

Bazı araştırmacılar; cam iyonomer materyallerinin test edildiği çalışmalarda, cam iyonomerin olgunlaşması için sertleşmesini takiben bir hafta distile suda bekletilmesi gerekliliğini rapor etmişlerdir (33, 159). Bazı araştırmacılar ise cam iyonomerin olgunlaşması için 24 saat distile suda bekletilmesinin yeterli olduğu görüşündedir (19, 160-164). Çalışmamızda da örnekler hazırlandıktan sonra yüzey pürüzlülüğü ölçümünden önce 24 saat distile suda bekletilmiştir.

5.3. Örneklerin Sterilizasyonu

Cam iyonmer disklerin sterilizasyonu için etilen oksit gazı kullanılmıştır. Etilen oksit ile sterilizasyon birçok tıbbi malzemede kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra sıcaklığa ve neme duyarlı hassas malzemeler için de tercih edilen bir yöntemdir. Penetrasyon kabiliyetinin sınırlara göre daha fazla olması sebebi ile ince delikli ve dar kanallara sahip malzemelerin sterilizasyonunda güvenle kullanılabilir. Etilen oksit ile sterilizasyon yaklaşık dört saatte sağlanmaktadır. Toksik özelliği bulunan bu gazın uzaklaşması için 12 saat veya daha fazla beklenmelidir (165, 166).

Restoratif materyallerin üzerinde oluşan biyofilmi araştıran çalışmalarda örneklerin sterilizasyonu için yaygın olarak etilen oksit kullanılmaktadır (167-169) Çalışmamızda da örneklerin sterilizasyonunu sağlamak amacı ile etilen oksit gazı kullanılmıştır.

5.4. Yüzey Morfolojisi Bulgularının Değerlendirilmesi

Bir restorasyonun yüzey özellikleri ve kalitesi; yüzeyde bakteri tutulumunu dolayısıyla sekonder çürük oluşumunu etkilemekte ve restorasyonun klinik ömrü ve estetik özellikleri açısından önem kazanmaktadır (30, 33, 133). Bu nedenle literatürde materyallerin yüzey özelliklerinin incelendiği birçok çalışma yer almaktadır ve bu çalışmalarda yüzey morfolojisinin ve yapısının incelenmesi amacı ile taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır (155, 170, 171). Çalışmamızda da yüzey morfolojisini analiz etmek amacı ile taramalı elektron mikroskobu kullanıldı. Analiz sonucunda; resin modifiye cam iyonmer ve Giomer yüzeyinin, cam karbomer ve amalgomere kıyasla daha pürüzsüz ve homojen bir yapı sergilemesinin nedeninin, bu iki materyalin resin içermesi olduğu düşünülmektedir. Resin içermeyen cam karbomer ve amalgomerin yüzeyi ise daha pürüzlü ve homojen olmayan bir yapı sergilemiştir. Nitekim resin matriksin yapısı ve doldurucu partiküllerin karakteristiği de yüzey düzgünlüğü üzerinde direkt etkilidir (172). Amalgomerde gözlenen bu yapı aynı zamanda; materyalin toz likit şeklinde karıştırılmasının sonucunda materyal içinde hava boşluklarının kalması ve bu durumun incelenen örneklerde mikro çukurcuklara neden olması ile açıklanabilmektedir.

Bununla birlikte, hem amalgomerin hem de cam karbomerin yüzeyinde yaygın olarak mikro çatlaklar gözlemlenmiştir. Çehrelî ve ark.'nın 2013 yılında yaptıkları çalışmada da, çalışmamız ile benzer bulgular elde edilmiş, cam karbomer simanın cam iyonomer simana göre daha fazla yüzeyel ve derin mikro çatlak sergilediğini rapor etmişlerdir. Çehrelî ve ark., bu durumun cam karbomerin hangi özelliğine bağlı oluşabileceği konusuna değinmemiş ancak bu çatlakların daha fazla mikrosızıntıya ve materyal bütünlüğünün kaybına sebep olduğunu bildirmişlerdir (129).

Bausch ve ark.; 60-70 °C aralığındaki sıcaklık uygulamalarında, kompozitin mekanik özelliklerinde fark edilir derecede artış olduğu, daha homojen, daha sert ve aynı zamanda kırılğan bir materyal elde edildiğini bildirmişlerdir (173). Cam karbomerin sertleşmesinde üretici firma önerisine göre en iyi sonuç; sertleşme sürecinde çıkış gücü 1400 mw/cm² olan ve 60-90 sn. kullanılan ışık cihazıyla başarılmaktadır (maksimum 60° C veya 140°F). Bu bilgiler doğrultusunda cam karbomerin yüzeyindeki derin çatlakların ve materyalin kırılğan olmasının sebebinin yüksek ısıya maruz kalmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Olegario ve ark. (2014); geleneksel cam iyonomer siman ve cam karbomerin mekanik özelliklerini karşılaştırdıkları bir çalışmalarında çalışmamız ile uyumlu sonuçlar elde etmişler; CİS'lerin, cam karbomerlere göre, değerlendirilen özellikler açısından daha başarılı sonuçlar gösterdiği, cam karbomerin yüzeyinde daha fazla derin çatlaklar barındırabildiğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak CİS'lerin cam karbomere oranla daha az mikrosızıntı gösterdiğini bildirmişlerdir (174).

5.5. Yüzey Pürüzlülüğü Bulgularının Değerlendirilmesi

Restoratif materyallerin yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesinde genellikle in vitro yöntemler tercih edilmekte ve yaygın olarak profilometre cihazı kullanılmaktadır (48, 132, 148, 150, 152, 175, 176). Yüzey pürüzlülüğünün AFM ile değerlendirildiği çalışmalar da bulunmakta fakat bu yöntemin daha hassas daha pahalı, daha profesyonel bir yaklaşım gerektirmesi nedeni ile sınırlı sayıdadır (177).

AFM, örnek yüzeyini çok ince bir uç ile tarar. Genellikle 40-60 nm çapındaki uç, yüzeyi tararken AFM uç ve yüzey arasındaki etkileşimi kaydeder (57). 3 boyutlu

ölçüm yapması, vakum veya yüzey kaplaması şeklinde örneklere özel bir işlem gerektirmemesi gibi avantajları vardır (57). Çalışmamızda daha hassas ve güvenilir sonuçlar verdiği için AFM nin profilometre modu ile ölçümler yapılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden başlıca faktörler arasında; içeriğindeki rezin miktarı, doldurucu miktarı, doldurucu boyutu ve tipi ile polimer matriksle silanın konversiyon derecesi yer almaktadır (172). Çalışmamızda da; materyaller arasında rezin içeren materyallerden rezin modifiye cam iyonomer ve Giomerin diğer iki materyale oranla daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri göstermesi ile rezin içeriğinin yüzey pürüzlülük değerlerini olumlu olarak etkilediği sonucuna varılmıştır.

Jyothi ve ark.'nın Giomer ve rezin modifiye cam iyonomerin klinik performanslarını değerlendirdikleri bir çalışmalarında; 15 gün 6 ay ve 1 yıllık takip sonucunda, Giomerin RMCİS' den istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha üstün yüzey özellikleri gösterdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu sonucun materyallerin partikül boyutu ile açıklanabileceğini savunmuşlardır. Zin modifiye cam iyonomerin partikül boyutunun Giomere göre büyük olmasının ve toz ile likitin karıştırılması sırasında materyalin içinde hava boşluklarının kalabileceğinin olmasının yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkileyebileceğini belirtmişlerdir (136). Çalışmamızda ise rezin modifiye cam iyonomer ve Giomer benzer yüzey pürüzlülüğü sonuçları göstermiştir. Fakat çalışmamız in vitro koşullarda yapılmıştır ve in vivo koşullarda ağız içerisinde asit atağı, fırçalama, su emilimi gibi durumlara maruz kalan materyalin yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının değişebileceği bilinmektedir.

Bani ve arkadaşlarının (2013); beş farklı cam iyonomer içerikli restoratif materyalin (Fuji II LC, Beautifill, Fuji II, Ketac N 100 ve Dyract extra) yüzey pürüzlülüklerini profilometre ile değerlendirdikleri in vitro çalışmalarında, nötr pH seviyesinde en az yüzey pürüzlülüğü değerlerini Fuji II LC ve Beautifill materyallerinde elde ederken, en fazla yüzey pürüzlülüğü değerleri ise Fuji II ve Ketac N 100'de tespit edilmiştir. Çalışmalarda bu materyaller içerisindeki cam doldurucuların bir polimer rezin içerisinde gömülü bulunmalarından dolayı daha az çözünmeye uğradıkları belirtilmektedir (33, 38). Bu durum rezin içeriği fazla olan materyallerin diğer materyallere oranla daha düşük pürüzlülük değerleri göstermelerini açıklamaktadır. Çalışmamızda da benzer sonuçlar gözlenmiş, rezin

içeriğine sahip Fuji II LC ve Beautifil II'nin rezin monomer içermeyen cam karbomer ve amalgomere göre daha düşük pürüzlülük değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, cam karbomer materyalinin birleşim reaksiyonunun sadece asit-baz reaksiyonu ile olması, amalgomerin ise toz-likit formülasyonu ile karıştırılması esnasında hava boşluğunun kalması ve yeterli bağlanmanın sağlanamamasının yüzey pürüzlülüklerinin fazla olmasının diğer bir sebebi olabileceğini düşünmekteyiz.

Literatürde çalışmamız ile uyumlu birçok çalışma bulunmaktadır (29, 33, 137, 178). Mohammed-Tahir ve Yap; cam iyonomer içerikli restoratif materyallerin yüzey pürüzlülük değerlerinin farklı pH seviyelerinde, materyalin yapısına göre değişiklik gösterebileceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında, Giomer ve kompomer en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri gösterirken, rezin içeriği bulunmayan geleneksel CİS ise yüksek pürüzlülük değerleri göstermiştir (137). Yap AU ve ark (2004) rezin içeren ve içermeyen sekiz farklı restoratif materyalin (Fuji II LC, Fuji IX, GP Fast, F2000, Z100, A110, Admira, Filtek Supreme Translucent, Filtek Supreme) yüzey pürüzlülüklerini karşılaştırmışlar ve rezin esaslı olan restoratif materyallerin yüzey pürüzlülük değerlerinin rezin esaslı olmayan materyallerin yüzey pürüzlülük değerlerine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük olduğunu saptamışlardır (33). Yip HK ve ark (1999), aralarında fissür örtücü olarak da kullanılabilen materyallerin (Fuji IX, Fuji II LC, Z100) olduğu sekiz farklı restoratif materyalin yüzey pürüzlülük değerlerini inceledikleri çalışmalarında, rezin esaslı olmayan materyallerin rezin esaslı olan materyallere göre başlangıç yüzey pürüzlülük değerlerinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (178). Sonoda ve ark. florid salımı yapan restoratif materyallerin pulpa cevabı ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında; Giomerlerin, RMCİS ve geleneksel CİS'e göre daha düşük pürüzlülük değerlerine sahip olduğunu, pulpa cevabında ise Giomerin diğer materyallere oranla minimal farklılıklar gösterdiğini bulgulamışlardır (29).

Cam iyonomer içerikli restoratif materyallerde doldurucu miktarından başka doldurucu partiküllerinin boyutu ve rezin matriksle doldurucu partiküller arasındaki bağlanma da yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir (33, 148). Partikül boyutu büyük olan materyallerin yüzey pürüzlülüklerinin de fazla olduğu bildirilmektedir (33). Çalışmamızda da düşük partikül boyutuna sahip Giomer düşük pürüzlülük değerleri gösterirken partikül boyutu büyük olan RMCİS da düşük pürüzlülük değerleri

göstermiştir. Bunun sebebinin, Fuji II LC'de rezin matris ile cam partiküller arasında kaliteli bir bağlanma ile açıklanabileceğini düşünmekteyiz.

5.6. Biyofilm Bulgularının Değerlendirilmesi

Restoratif materyallerin yüzey özelliklerinin ve kimyasal yapılarının oral biyofilm oluşumu üzerine etkisi tartışılrsa da henüz bir netlik kazanmamıştır. İn vitro çalışmalarda bazı dental materyallerin karyojenik bakterilerin gelişimini inhibe ettiğine dair bulgular ortaya koyulmuştur fakat in vivo ve in situ çalışmaların sonuçları farklılık göstermektedir. Dental materyallerin biyofilm ile ilişkisini değerlendirmek için laboratuvar çalışmalarının sonuçlarını destekleyici araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda diş hekimliğinde en sık kullanılan ve yeni kullanılmaya başlanan cam iyonomer içeriğine sahip restoratif materyallerin biyofilm oluşumuna etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Oral biyofilm ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmalarda; biyofilmin bakteriyel içeriği, bakteriyel tutunma mekanizmaları, antibakteriyal ajanlarla etkileşimleri gibi özellikler araştırılmıştır (47, 79, 92, 118, 122, 144, 169, 179). Oral biyofilm, karmaşık yapısı ve farklı türlerde ve sayılarda bakteri içermesi nedeni ile günümüzde araştırılmaya devam edilen bir konudur. Bu karmaşık yapının anlaşılması yönünde genellikle, tek veya birçok bakterinin bir arada bulunduğu biyofilm sistemleri üzerine, in vitro koşullarda araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda da, in vitro koşullarda oluşturulan biyofilmin doğada oluşan biyofilm ile benzerlik gösterdiği rapor edilmiştir (66). *S. mutans*, plağın oluşumunda en önemli etken olarak görülmekte ve insanda çürükle ilişkisi olan başlıca mikroorganizma olarak kabul edilmektedir (114, 180). Streptokokların pelikül yüzeyinde bulunmaları, diğer kolonilerin bu bölgeye göç ederek tutunmalarını sağlamaktadır (181). Bu özellikler *S. Mutansın* biyofilm çalışmalarında en çok kullanılan mikroorganizma olmasına neden olmuştur (86, 107, 116, 177, 182-184) Çalışmamızda da, materyallerin yüzeyindeki biyofilm oluşumunun değerlendirilmesinde mikroorganizma olarak *S. Mutans* kullanılmıştır.

Bakteriyel tutunmada, bakterilerin ve pelikül yüzeyinin etkisi önemli olsa da, tutunmanın gerçekleştiği yüzeyin de özellikleri büyük önem taşımaktadır (169). İn vitro koşullarda, sert yüzeylere erken mikrobiyal adezyonu etkileyen diğer önemli

faktörler; kültür ortamı, kültür şartları, bakterilerin büyüme fazı, bakteriyel süspansiyonların konsantrasyonu ve inkübasyon süresidir (185, 186). Araştırmamızda, farklı büyüme şartlarının etkisini elimine etmek için aynı besi yerinde üretilen bakteri suşları kullanılmış olup, bakterilerin süspansiyonları da aynı yöntemler ile hazırlanmıştır.

Mikrobiyal adezyon çalışmalarında kullanılan standart bir yöntem olmamasından dolayı, materyal yüzeylerine streptokok adezyonunu değerlendiren araştırmalardan çalışma protokolümüze uyumlu bir çalışma rehber alınarak, bu çalışmaya benzer kültür ortamları ve bakteriyel süspansiyon konsantrasyonları kullanılmıştır (181).

Restoratif materyallerin üzerindeki biyofilmi inceleyen birçok çalışma mevcuttur (67, 88, 118-121, 123, 128, 143, 144, 156, 169, 179, 181). Literatürde bakteri oluşumu için belirlenen süreler farklılık göstermektedir. Dişler sürer sürmez ya da temizlendikten hemen sonra çıplak diş yüzeyi pelikül adı verilen aselüler proteinöz yapıda bir film tabakasıyla kaplandığı ve mikroorganizmaların pelikül üzerine kolonizasyonunun ilk 24 saat içerisinde olduğu bilinmektedir. Mikrobiyal yığılım ve koagregasyonla farklı mikrokoloni türlerinin gelişim ise 1-14 gün içerisinde belirgin bir şekilde gözlenmiştir (81). Bazı çalışmalarda erken bakteri inkübasyonu için 4 saat beklenmiştir (144, 182). Bazı araştırmacılar, *S. Mutans* biyofilminin oluşumu için örnekleri 1 gün inkübe etmişlerdir (183, 187, 188). Beyth ve ark., üç farklı rezin kompozitin yüzey topografisinin biyofilm oluşumuna ve yüzey topografisine etkisini inceledikleri çalışmalarında örnekleri gruplandırmışlar ve 1 günlük, 1 haftalık ve 1 aylık bakteri oluşumunu incelemişlerdir (179). Çalışmamızda da *S. Mutans* biyofilm oluşumu için örnekler bakteri ekiminden sonra gruplara ayrılmış; 1 günlük, 1 haftalık ve 21 günlük inkübasyonlar sonucu bakteri sayımları yapılmıştır.

Literatürde; Ra değerinin 0,2 μm ' den düşük olduğu durumlarda bakteriyel adezyonun miktarının değişmeyeceği bu değer altındaki pürüzlülüğün bakteri adezyonunu etkilemediği, pürüzlülüğün 0,2 μm 'den sonra artış göstermesinin bakteri adezyonunu arttıracığı rapor edilmiştir (128). Çalışmamızda kullanılan tüm materyaller bu değerden daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri göstermiştir ve

materyallerin yüzey pürüzlülüğü ortalamaları 0,37 µm- 0,53 µm arasında değişmektedir. Fakat çalışmamızda elde ettiğimiz verilere göre bakteri adezyonu ve yüzey pürüzlülüğü arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Yüzey pürüzlülüğü daha düşük olan rezin modifiye cam iyonomer ve Giomerin yüzeyindeki bakteri tutulumu ile yüzey pürüzlülüğü daha yüksek olan amalgomer ve cam karbomerin yüzeyindeki bakteri tutulumu arasında anlamlı bir farklılık bulunamadı. Bu veriler doğrultusunda; bakteri tutulumunda yüzey pürüzlülüğünün tek başına etkili olmadığı ve florid salımı ile diğer yüzey özelliklerinin de etkili olabileceği sonucuna varılmıştır.

Literatürde, çalışmamızın sonuçları ile uyumlu birçok çalışma bulunmaktadır (47, 180, 181, 189). *S. Mutans*'ların 3 farklı kompozit (Durafil, Z100, Herculite), 2 farklı cam iyonomer (Fuji II ve Fuji II LC) ve mine yüzeyine adezyonunun araştırıldığı bir çalışmada, in situ koşullarda toplanan oral biyofilm materyalleri tükürük ile kaplanarak in vitro koşullarda inkübe edilmiş ve sintilasyon sayım yöntemiyle değerlendirilmiştir. SEM görüntüleme yöntemi ile de sonuçlar desteklenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, kompozit ve mine örneğinin yüzey pürüzlülüğünün cam iyonomer örneklerine göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. Buna rağmen; hem SEM görüntülerinde, hem de bakteri sayımında, kullanılan materyaller ve mine üzerinde oluşan *S. Mutans* miktarı arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (180). Araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlara dayanarak yüzey pürüzlülüğünün bakteriyel adezyonu doğrudan etkilemediğini savunmuşlardır. Ayrıca cam iyonomerlerin yüzey pürüzlülüğü fazla olduğu halde kompozitlerle benzer şekilde biyofilm oluşturmasının florid salımı ile bağlantılı olabileceğini belirtmişlerdir.

Carlen ve ark.'a ait bir in vitro çalışmada, cilalanmış ve cilalanmamış geleneksel cam iyonomer (Ketac Fil) ve kompozit rezinlerin (TPH Spectrum™), yüzey karakteristikleri ile biyofilm oluşumu incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; cam iyonomerlerin kompozitlerden daha pürüzlü bir yüzeyi olduğunu, cilalama sonrası kompozit rezinlerin yüzeyindeki inorganik komponentlerin belirgin derecede parçalandığını, cilalanmamış kompozite göre cilalanmamış cam iyonomer üzerinde daha çok bakteri tutulumu olduğunu bildirmişlerdir. Cam iyonomer yüzeyinin cilalanmasının ise yüzey pürüzlülüğü, protein ve bakteri birikimi açısından önemli

bir fark oluşturmadığı bildirilmiştir (47). Benzer başka bir çalışmada, cam iyonomer restorasyonlarda (Fuji IX ve Fuji IX Fast) yüzeylerinin cilalı ya da cilasız olmasının biyofilm oluşumu açısından anlamlı bir farklılık oluşturmadığı belirtilmiştir (181).

Üç farklı cam iyonomer, amalgam ve kompozit materyalindeki biyofilm tabakasının incelendiği bir in situ çalışmada; katılımcılara 5 insan mine örneği taşıyan palatal apareyler kullanılmış ve bu mine örneklerinin her biri araştırmada kullanılan dental materyallerden biriyle restore edilmiştir. Katılımcılara 7 gün süreyle florid içeren bir gargarayla dişleri fırçatılmış ve günde 8 defa apareyler üzerindeki örneklere %20'lik sükröz solüsyonundan bir damla damlatılmıştır. Deney süresinin sonunda örnekler üzerindeki biyofilm toplanarak inkübe edilmiştir. Çalışmanın sonunda örnekler üzerindeki biyofilm oluşumunda anlamlı bir farklılık bulunamamıştır (189).

Geleneksel cam iyonomer simanların, florid salımı ile streptokokların gelişimini engellediği rapor edilmiştir (190). Rezin modifiye cam iyonomer simanların ise bünyelerindeki florid ile beraber hidrofilik monomer HEMA salım salım geleneksel cam iyonomer simanlardan daha çok antibakteriyel özelliğe sahip oldukları bildirilmiştir (119, 191). Çalışmamızın bir günlük sonucunda da bu özelliği destekler veriler elde edilmiş ve en az biyofilm oluşumu rezin modifiye cam iyonomerde tespit edilmiştir. Çalışmamızda bir günlük inkübasyon sonucunda amalgomer, cam karbomer ve Giomer arasında anlamlı bir fark olmadığı, sadece Giomer ve rezin modifiye cam iyonomer arasında anlamlı bir fark olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, bir haftalık ve yirmibir günlük biyofilm oluşumunda materyaller arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda biyofilm oluşumu ile yüzey pürüzlülüğü arasında doğrudan bir ilişki olmadığı belirlenmiştir. Biyofilm oluşumu yüzey pürürlülüğünün yanında birçok faktöre bağlıdır. Yüzey enerjisi, yüzey hidrofilitesi, yüzey kimyası, florid salımı, ve protein varlığı bakteriyel tutunmayı etkilemektedir. Amalgomer ve cam karbomer de geleneksel cam iyonomerler gibi asit-baz tepkimesiyle sertleşmektedir ve rezin içermemelerinden dolayı florid salım miktarları fazladır. Bahadure ve ark. Amalgomer CR, Fuji II, Fuji IX, Beautiful II ve Dyract extra materyallerinin florid salımlarını farklı ortamlarda karşılaştırdıkları

çalışmalarında, her ortamda en yüksek florid salımına amalgomerin sahip olduğunu belirtmişlerdir ve bunun nedeninin seramik partiküllerinden kaynaklandığını bildirmişlerdir (192). Rezin modifiye cam iyonomer simanlar genellikle GCİS'ler kadar florid salım potansiyeline sahiptir (193). İlk 24 saat içerisindeki yüksek florid salımı, sertleşme reaksiyonu sırasında cam partiküllerinin polialkenoik asit ile tepkimeye girmesi sonucunda meydana gelen bir patlama etkisidir (burst effect) (22). Başlangıçta görülen yüksek florid salımı 24-72 saat sonra hızlıca azalır. Giomerlerde ise bu patlama etkisinin görülmediği bildirilmiştir. Yapılan bir çalışmada Giomerlerden salınan florid miktarı kompozit ve kompomerden yüksek, ancak cam iyonomer simanlardan düşük bulunmuştur (30, 193). Çalışmanın birinci gününde en fazla biyofilm oluşumunun Giomerde görülmesinin nedeninin florid salımı ile alakalı olabileceğini düşünmekteyiz. Amalgomer ve cam karbomerin yüzey pürüzlülüğü rezin modifiye cam iyonomerden düşük olsa da florid oranlarının yüksek olması biyofilm oluşumu üzerinde etkili olabilmektedir.

Montanaro ve ark., farklı restoratif materyallerin yüzeyindeki S. Mutans adezyonunu inceledikleri bir çalışmada üç akışkan kompozit (Filtek Flow, Tetric Flow, Arabesk Flow), üç mikrohibrit kompozit (Clearfil APX, Solitaire 2 ve Z250), iki cam iyonomer (Fuji IX, Fuji IX fast) , bir kompomer (F2000), bir ormoser (Admira) ve bir kontrol referans materyali (polistiren) kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre ormoser ve Fuji IX fast dışındaki materyaller arasında biyofilm oluşumu açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Ormoser ve Fuji IX örneklerinin üzerindeki biyofilm oluşumun diğer materyallere kıyasla anlamlı derecede fazla olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar florid oranı fazla olan Fuji IX fast ve ormoserde biyofilm oluşumunun fazla olmasının nedeninin inkübasyonun 4 saat olarak belirlenmesi sebebi ile olabileceğini belirtmişlerdir (181).

Steinberg D ve ark. (2002), Amalgam (non-gama 2), kompozit (Charisma, Durafil, Prodigy, Z100), cam iyonomer (Fuji II GC, Fuji II LC) ve akrilik (Acryl GC Unifast) üzerinde biyofilm oluşumunun ilk aşamalarını incelemişler, her bir restoratif materyal üzerinde biriken tükürük proteinlerinin değişiklik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Durafil ve Acryl GC Unifast, tükürük proteinlerinin yapışma kapasitelerinin en yüksek olduğu materyaller iken, en düşük olduğu yüzeylerin ise

Fuji II ve Prodigy olduğu belirtilmiştir. Durafil ve Acryl GC Unifast yüzeyinin tükürük proteinlerinden albumin ve amilaza en yüksek afiniteyi gösterirken, Fuji II LC ve Fuji II'nin en düşük afiniteyi gösterdiği gözlemlenmiştir (120). Çalışmamız sonucunda da 1. Gün sonunda en düşük biyofilm oluşumu Fuji II LC de görülmüştür.

Kara ve ark.'nın; 11 farklı restoratif materyale (iki kompomer, iki kompozit, iki cam iyonomer siman, uc rezin modifiye cam iyonomer siman, bir Giomer ve bir amalgam) *C. albicans*'ın adezyon yatkınlığının karşılaştırılmasını amaçladıkları çalışmalarında, bütün materyaller üzerinde biyofilm oluşumunun gözlemlendiği belirtilmiştir. SEM ile yüzeylerin incelenmesi sonucunda görüntüleme materyallerle biyofilm oluşumu açısından morfolojik olarak ayırt edilebilen farkların olmadığını belirtmişlerdir. Biofilm oluşumunun derecesini metabolik aktivitenin ölçülmesi esasına göre değerlendirildiklerinde ise en düşük adezyonun cam iyonomer ve rezin modifiye cam iyonomer üzerinde, en yüksek adezyonun ise amalgam üzerinde olduğunu belirtmişlerdir (156).

Çalışmamız ile benzer metodolojinin kullanıldığı; Bayrak ve ark.'nın, iki farklı cila sisteminin, florid salımı, yüzey pürüzlülüğü ve bakteriyel tutunma açısından değerlendirdikleri çalışmalarında amalgomer, cam karbomer, Giomer, kompomer ve cam iyonomer kullanılmıştır. Materyallerin yüzey bitimi için bir grupta şeffaf bant diğer iki grupta ise iki farklı cila sistemi uygulanan çalışmada, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri cam karbomer dışında şeffaf bant ile yapılan örneklerde elde edilmiştir. Materyaller arasında en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri amalgomerde en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri ise kompomerde elde edilmiştir. Çalışmanın, materyaller üzerinde *S. Mutans* biyofilmi oluşturma aşaması ve dört saatlik inkübasyon safhası sonrası bakteri yoğunlukları incelenmiş ve çalışmamız ile benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Buna göre; şeffaf bant ile yüzey bitimi yapılan örneklerde materyaller arasında biyofilm yoğunluğu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (144).

Çalışmamız protokolünde yer alan; materyal yüzeyinde 30 gün sonucunda adhere olan bakteri sayısının değerlendirilmesi aşaması cam karbomer örneklerin bütünlüğünü kaybetmesinden ötürü gerçekleştirilememiştir. Cam karbomer örneklerinin hazırlanması sırasında materyalin sertlik derecesinin fazla olmasına

bağlı sıkıntılar ve yüzeyindeki derin çatlakların, bu sürede materyalin tamamen bütünlüğünü kaybetmesine neden olduğunu düşünmekteyiz. Besiyeri içinde kalan materyal miktarının yetresiz ve şeklinin düzensiz olması sebebiyle bakteri sayımının güvenli olmayacağı düşüncesi ile 30. gün sayımı yapılmamıştır.



6. SONUÇ

Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Rezin içeren eden materyallerin, rezin içermeyen materyallere oranla daha benzer, homojen ve düzgün yüzeyler sergilediği,
- Tüm materyallerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, yüzey pürüzlülüğü (Ra) eşik değeri olan 0,2 μm 'den daha yüksek olduğu,
- Toz likit formundaki materyallerin karıştırmaya bağlı olarak yapısında hava kabarcığı barındırabileceği ve bu durumun materyalin yüzeyini olumsuz etkileyebileceği,
- Bir materyalin sertleşme/polimerizasyon sonrası sertlik derecesinin materyalin kırılma dayanımını arttırdığı ve materyal içerisinde derin çatlaklara neden olabildiği söylenebilir.

Biyofilm oluşumu testi sonuçlarına göre 1. gün sonunda sadece rezin modifiye cam iyonomer ve Giomer arasında anlamlı bir fark olduğu ve rezin modifiye cam iyonomerin Giomere oranla yüzeyinde istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bakteri sayısına sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda;

- Restoratif materyallerin yüzey pürüzlülükleri ile materyal yüzeyinde oluşan biyofilm arasında doğrudan bir ilişki kurulamayacağı,
- İnkübasyon süresinin fazla olmasının yüzeye adhere olan bakteri sayısında istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik yaratmadığı sonucuna varılabilir.

Laboratuvar çalışmalarının avantajlarından birisi de; materyallerin yüzey morfolojisi, pürüzlülüğü, biyofilm gibi fiziksel özellikleri yanında klinik olarak uygulanabilirliği hakkında da bilgi sahibi olabilmektir. Bu nedenle; bir restorasyonun klinik ömrünün daha uzun olmasında tercih edilecek bir materyal seçiminde; elde edilen veriler ile materyalin maliyetinin ve uygulama şartlarının zorluğunun birlikte değerlendirilmesini önermekteyiz. Bununla birlikte, *in vitro* koşullarda gerçekleştirilen biyofilm çalışmalarının *in vivo* koşullarda yapılan araştırmalardan

daha farklı sonuçlar göstereceği göz önünde bulundurularak, bu materyallere ait in vivo araştırmalar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçların desteklenmesine ihtiyaç olduğunu düşünmekteyiz.



ÖZET

Cam İyonomer İçerikli Farklı Restoratif Materyallerin Yüzey Özelliklerinin Biyofilm Oluşumuna Etkisi

Bu çalışmanın amacı; dört farklı cam iyonomer içerikli restoratif materyalin yüzey morfolojilerinin taramalı elektron mikroskobu ile yüzey pürüzlülüklerinin atomik kuvvet mikroskobu ile incelenmesi ve materyallerin yüzeyinin *Streptococcus Mutans* tutulumu açısından karşılaştırılmasıdır.

Çalışmamızda; bir rezin modifiye cam iyonomer siman, bir pre-reacted cam iyonomer/Giomer, bir seramik ilaveli cam iyonomer/amalgoter, bir karbomer ve floridapatit ile güçlendirilmiş cam iyonomer/cam karbomer olmak üzere dört adet cam iyonomer içerikli restoratif materyal kullanıldı. Çalışmada kullanılan materyallerin yüzey morfolojilerinin, pürüzlülüklerinin ve biyofilmin incelenmesi amacı ile standart 6 mm çapında ve 2 mm kalınlıkta disk şeklinde örnekler hazırlandı. Restoratif materyallere ait 3'er örneğin yüzey morfolojisi; taramalı elektron mikroskobu ile X 500, X 1000, X 2000 büyütmelemlerde düşük vakum, yüksek voltaj tekniği ile incelendi. Materyallere ait örneklerin yüzey pürüzlülükleri AFM cihazının profilometre modunda değerlendirildi. Çalışmamızda ölçüm uzunluğu 2 cm olarak ayarlandı. Her örnekten üç ölçüm yapıldı. Elde edilen 3 ölçümün aritmetik ortalaması alınarak, o örneğin yüzey pürüzlülük değeri olarak Ra cinsinden kaydedildi. Çalışmanın biyofilm aşamasında, referans bakteri olarak *Streptococcus mutans* ATCC 25175 suşu kullanıldı. Hazırlanan 4 farklı plaka *S. mutans* ATCC 25175 suşunun test edilen disk materyallerine adezyonun sağlanması için 1, 7, 21 ve 30 gün süreyle 37 °C'de inkübe edildi. Adhere olan hücre sayıları, alınan örneklerin FTS ortamı kullanılarak yapılan seri dilüsyonlarının BHI agar besiyeri ortamlarına damlatılması ve petri kutularının 37 °C'de 48 saat inkübasyonu sonucu gelişen kolonilerin sayımı sonucu tespit edildi.

Taramalı elektron mikroskobu analizi sonucunda; rezin modifiye cam iyonomer ve Giomer gruplarının yüzeyinin cam karbomer ve amalgotere kıyasla daha pürüzsüz ve homojen olduğu görüldü. Bununla birlikte amalgotere ait örneklerin yüzeyinde çok sayıda sığ ve kısa mikro çatlak tespit edilirken, cam karbomere ait örneklerin yüzeyinde daha derin ve devamlılık gösterir tarzda mikro çatlaklar olduğu belirlendi. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sonucunda, en yüksek pürüzlülük değerleri amalgoter ve cam karbomer grubunda elde edilirken; pürüzlülük değerlerinin en düşük olduğu materyaller Giomer ve rezin modifiye cam iyonomer olarak belirlendi. Materyallerin yüzey pürüzlülüğü değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı idi ($p < 0,05$). İkili karşılaştırmalar sonucunda ise, amalgoter ile cam karbomer arasında ($p=1,00$) ve rezin modifiye cam iyonomer siman ile Giomer arasında ($p=1,00$) istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı. Hem rezin modifiye cam iyonomer siman hem de Giomer'in amalgoter ve cam karbomer ile arasında ise anlamlı bir farklılık bulundu (Bonferroni, $p=0,00$). Biyofilm oluşumuna ait sonuçlarda, istatistiksel değerlendirme sonucunda; 1. gün adhere olan bakteri sayısı açısından, gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulundu (Kruskal Wallis, $p=0,013$). Analiz sonuçlarına göre 1. gün sonunda sadece rezin modifiye cam iyonomer ve Giomer arasında anlamlı bir fark olduğu (Mann Whitney

U, $p=0,008$) ve rezin modifiye cam iyonomerin Giomere oranla yüzeyinde istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bakteri sayısına sahip olduğu belirlendi. İstatistiksel olarak arasında anlamlı fark bulunmayan gruplar ise; amalgomer ve rezin modifiye cam iyonomer, amalgomer ve cam karbomer, amalgomer ve Giomer, rezin modifiye cam iyonomer ve cam karbomer ile cam karbomer ve Giomer olarak tespit edildi. Materyallerin 7. gün sonunda yapılan değerlendirmelerinde, adhere olan bakteri sayısı açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edildi (Kruskal Wallis, $p=0,106$). Gruplar arasında 21. gün sonunda da adhere olan bakteri sayısı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlendi (Kruskal Wallis, $p=0,095$).

Sonuç olarak; çalışmamızda kullanılan cam iyonomer içerikli restoratif materyallerden, rezin modifiye cam iyonomer ve Giomerin, cam karbomer ve amalgomere kıyasla yüzey pürüzlülüğünün daha düşük olduğu ve ayrıca yüzeylerinin daha homojen ve düzgün bir yapı sergilediği belirlendi. Biyofilm oluşumu testi sonuçlarına göre sadece 1. günün sonunda ve sadece rezin modifiye cam iyonomer ve Giomer arasında anlamlı bir fark olduğu ve rezin modifiye cam iyonomerin Giomere oranla yüzeyinde istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bakteri sayısına sahip olduğu belirlendi. Elde ettiğimiz sonuçlara göre materyalin yüzey pürüzlülüğü ile bakteri birikimi açısından doğrudan bir ilişki kurulamayacağı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Biyofilm, yüzey pürüzlülüğü, cam iyonomer siman, SEM

ABSTRACT

Effects of Surface Characteristic of Glass Ionomer Based Different Restorative Materials on Biofilm Formation

The aim of this study is; to analyse the surface morphology of four different glass ionomer containing restorative materials by scanning electron microscopy, the surface roughness by atomic force microscopy and to compare the material surfaces in terms of *Streptococcus Mutans* adherence.

Four glass ionomer-containing restorative materials such as a resin-modified glass ionomer cement, a pre-reacted glass ionomer / giomer, a ceramic reinforced glass ionomer / amalgomer and flourapatite reinforced glass ionomer / glass carbomer were used in our study. Standard 6 mm diameter and 2 mm thick disk shaped specimens were prepared to evaluate the surface morphology, the surface roughness and biofilm of the materials used in the study. Surface morphologies of 3 samples from restorative materials were viewed with scanning electron microscope by low vacuum high voltage technique at X 500, X 1000, X 2000 magnifications. The surface roughness of the samples were evaluated at the profilometer mode of the AFM instrument. The measurement length was set to 2 cm in our study. Three measurements were taken from each sample. The arithmetic average of the 3 measurements was recorded in terms of Ra value as the surface roughness value of that sample. *Streptococcus mutans* ATCC 25175 strain was used as a reference bacterium during the study's biofilm phase. The prepared four different plates of *S. mutans* ATCC 25175 strains were incubated at 37 ° C for 1, 7, 21 and 30 days to provide adhesion to the tested disk materials. Adhered cell counts were determined as a result of the counting the number of colonies which produced by dropping the number of serial dilutions of the samples taken using FTS medium to the BHI agar media and incubating the petri dishes at 37 ° C for 48 hours.

As a result of scanning electron microscopy analysis; the surface of the resin-modified glass ionomer and giomer groups was found more smooth and homogenous than the glass carbomer and amalgomer surfaces. However; while a large number of shallow and short microcracks were found on the surface of amalgomer specimens, the deeper and continuous micro-cracks on the surface of glass carbomers samples was determined. As a result of the surface roughness measurements, while the highest roughness values were obtained for the amalgomer and glass carbomer groups; the materials with the lowest roughness values were identified as giomer and resin-modified glass ionomer. The difference between the surface roughness values of the materials was statistically significant ($p < 0,05$). As a result of pairwise comparisons, it was found that there was no statistically significant difference between amalgomer and glass carbomer ($p = 1,00$) with resin modified glass ionomer cement and giomer ($p = 1,00$). Both resin-modified glass ionomer cements and giomers showed significant difference between amalgomer and glass carbomer (Bonferroni, $p = 0.00$).

As a result of statistical evaluation of biofilm formation; there was a significant difference between the groups in terms of the number of adhered bacteria on the first day (Kruskal Wallis, $p = 0.013$). According to the results of the analysis,

it was determined that there was a significant difference between only resin-modified glass ionomer and giomer at the end of the 1st day (Mann Whitney U, $p = 0,008$) and that the resin-modified glass ionomer had a statistically significant lower number of bacteria on its the surface than giomer. It was found that there is no statistically significant difference between some groups; such as amalgomer and resin modified glass ionomer, amalgomer and glass carbomer, amalgomer and giomer, resin modified glass ionomer and glass carbomer and glass carbomer and giomer. At the end of the 7th day, no statistically significant difference was observed between the groups in terms of number of adhered bacteria (Kruskal Wallis, $p = 0,106$). And also there was no statistically significant difference between the groups in terms of number of adhered bacteria (Kruskal Wallis, $p = 0,095$) at the end of 21 days.

Consequently, it was determined that the resin-modified glass ionomer and giomer had lower surface roughness values and also their surfaces had more homogeneous and smooth structure compared to glass carbomer and amalgomer among the glass ionomer containing restorative materials used in our study surfaces have a more homogeneous and smooth structure. According to the results of the biofilm formation test, it was determined that there was a significant difference between only resin-modified glass ionomer and giomer only at the end of day 1 and that the resin-modified glass ionomer had a statistically significant lower number of bacteria on the surface than the giomer. According to the results obtained, it can be said that the bacterial accumulation and the surface roughness of the material are not directly related.

Keywords: Biofilm, surface roughness, glass ionomer cement, SEM

KAYNAKLAR

1. Hickel R, Manhart J, García-Godoy F. Clinical results and new developments of direct posterior restorations. 2000.
2. Kanık Ö, Türkün LŞ. Restoratif Cam İyonomer Simanlarda Güncel Yaklaşımlar.
3. Abu-Bakr NH, Han L, Okamoto A, Iwaku M. Effect of Alcoholic and Low-pH Soft Drinks on Fluoride Release from Compomer. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2000;12(2):97-104.
4. Silva MdA, Davies R, Stewart B, DeVizio W, Tonholo J, da Silva Júnior J, et al. Effect of whitening gels on the surface roughness of restorative materials in situ. *dental materials*. 2006;22(10):919-24.
5. Costerton J. Overview of microbial biofilms. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 1995;15(3):137-40.
6. Kolenbrander PE. Oral microbial communities: biofilms, interactions, and genetic systems. *Annual Reviews in Microbiology*. 2000;54(1):413-37.
7. Wilson AD, Kent B. The glass-ionomer cement, a new translucent dental filling material. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 1971;21(11):313-.
8. Köroğlu A, Ekren DO, Kurtoğlu C. Geleneksel ve adeziv dental simanlar hakkında bir derleme çalışması. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2012;2012(2).
9. Dayangaç B. Kompozit rezin restorasyonlar: Güneş Kitabevi; 2000.
10. Williams J, Billington R, Pearson G. Effect of moisture protective coatings on the strength of a modern metal-reinforced glass-ionomer cement. *Journal of oral rehabilitation*. 1998;25(7):535-40.
11. Crisp S, Kent BE, Lewis BG, Ferner AJ, Wilson AD. Glass-ionomer cement formulations. II. The synthesis of novel polycarboxylic acids. *Journal of dental research*. 1980;59(6):1055-63.
12. Nicholson J. Glass ionomer dental cements: update. *Materials Technology*. 2010;25(1):8-13.
13. Şener Y, Koyutürk A. Üç farklı cam iyonomer simanın yüzey sertliklerinin karşılaştırılması. *Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hek Fak Derg*. 2006;9:91-4.
14. Xie D, Brantley W, Culbertson B, Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements. *Dental Materials*. 2000;16(2):129-38.
15. Lin A, McIntyre N, Davidson R. Studies on the adhesion of glass-ionomer cements to dentin. *Journal of dental research*. 1992;71(11):1836-41.
16. Van de Voorde A, Gerds G, Murchinson D. Clinical application area for glass ionomer cements: literature review. *Die Quintessenz*. 1988;39(11):1903-16.

17. Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's Restorative Dental Materials-E-Book: Elsevier Health Sciences; 2012.
18. Davidson CL, Mjör IA. Advances in glass-ionomer cements: Quintessence Publishing Co, Inc; 1999.
19. Mount GJ. An atlas of glass-ionomer cements: a clinician's guide: CRC Press; 2003.
20. Wilson AD, McLean JW. Glass-ionomer cement: Quintessence Pub Co; 1988.
21. Kent B. The properties of a glass ionomer cement. British dental journal. 1973;135:322-6.
22. Sidhu SK, Watson TF. Resin-modified glass ionomer materials. A status report for the American Journal of Dentistry. American Journal of Dentistry. 1995;8(1):59-67.
23. Cattani-Lorente M-A, Dupuis V, Payan J, Moya F, Meyer J-M. Effect of water on the physical properties of resin-modified glass ionomer cements. Dental Materials. 1999;15(1):71-8.
24. Croll T, Helpin M. Class II Vitremer restoration of primary molars. ASDC journal of dentistry for children. 1995;62(1):17-21.
25. Woolford M, Chadwick R. Surface pH of resin-modified glass polyalkenoate (ionomer) cements. Journal of dentistry. 1992;20(6):359-64.
26. Ikemura K, Tay FR, Endo T, Pashley DH. A review of chemical-approach and ultramorphological studies on the development of fluoride-releasing dental adhesives comprising new pre-reacted glass ionomer (PRG) fillers. Dental Materials Journal. 2008;27(3):315-39.
27. Barutcugil Ç, Ahmetoğlu F, Turgut H, Dayı B, Yalçın M. Düşük Polimerizasyon Büzülmesi Gösteren Modern Kompozitler İle Metakrilat Esaslı Rezin Kompozitin Konversiyon Oranlarının Değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 2014;24(1).
28. Okuyama K, Murata Y, Pereira P, Miguez P, Komatsu H, Sano H. Fluoride release and uptake by various dental materials after fluoride application. American journal of dentistry. 2006;19(2):123-7.
29. Sonoda H, Sasafuchi Y, Kitasako Y, Arakawa M, Otsuki M, Tagami J. Pulpal response to a fluoride-releasing all-in-one resin bonding system. Operative dentistry. 2002;27(3):271-7.
30. Itota T, Carrick TE, Yoshiyama M, McCabe JF. Fluoride release and recharge in Giomer, compomer and resin composite. Dental Materials. 2004;20(9):789-95.
31. Roberts TA, Miyai K, Ikemura K, Fuchigami K, Kitamura T. Fluoride ion sustained release preformed glass ionomer filler and dental compositions containing the same. Google Patents; 1999.
32. Deliperi S, Bardwell D, Wegley C, Congiu M. In vitro evaluation of Gionomers microleakage after exposure to 33% hydrogen peroxide: self-etch vs total-etch adhesives. Operative dentistry. 2006;31(2):227-32.

33. Yap A, Mok B. Surface finish of a new hybrid aesthetic restorative material. *Operative dentistry*. 2002;27(2):161-6.
34. Uysal T, Yagci A, Uysal B, Akdogan G. Are nano-composites and nano-ionomers suitable for orthodontic bracket bonding? *The European Journal of Orthodontics*. 2009;32(1):78-82.
35. Koenraads H, Van der Kroon G, Frencken J. Compressive strength of two newly developed glass-ionomer materials for use with the Atraumatic Restorative Treatment (ART) approach in class II cavities. *dental materials*. 2009;25(4):551-6.
36. Zainuddin N, Karpukhina N, Law RV, Hill RG. Characterisation of a remineralising Glass Carbomer® ionomer cement by MAS-NMR spectroscopy. *Dental Materials*. 2012;28(10):1051-8.
37. Cefaly DFG, Valarelli FP, Seabra BGdM, Mondelli RFL, Navarro MFdL. Effect of time on the diametral tensile strength of resin-modified restorative glass ionomer cements and compomer. *Braz Dent J*. 2001;12(3):201-4.
38. Bani M, Öztaş N. Cam iyonomer içerikli farklı restoratif materyallerin yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi. *Acta Odontologica Turcica*. 2013;30(1):13.
39. Chandki R, Kala M, Kumar KN, Brigit B, Banthia P, Banthia R. 'Nanodentistry': Exploring the beauty of miniature. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2012;4(2):e119.
40. Yap A, Ng S, Siow K. Soft-start polymerization: influence on effectiveness of cure and post-gel shrinkage. *Operative dentistry*. 2001;26(3):260-6.
41. Zaimoğlu A, Can G, Ersoy E, Aksu L. Diş hekimliğinde maddeler bilgisi. 1. baskı. Ankara: AÜ. 1993.
42. Kakaboura A, Rahiotis C, Zinelis S, Al-Dhamadi Y, Silikas N, Watts D. In vitro characterization of two laboratory-processed resin composites. *Dental Materials*. 2003;19(5):393-8.
43. Paravina RD. *Esthetic color training in dentistry*: Mosby; 2004.
44. Heintze S, Forjanic M, Rousson V. Surface roughness and gloss of dental materials as a function of force and polishing time in vitro. *Dental Materials*. 2006;22(2):146-65.
45. De Jager N, Feilzer A, Davidson C. The influence of surface roughness on porcelain strength. *Dental Materials*. 2000;16(6):381-8.
46. Drummond J, Jung H, Savers E, Novickas D, Toepke T. Surface roughness of polished amalgams. *Operative dentistry*. 1992;17(4):129-34.
47. Carlen A, Nikdel K, Wennerberg A, Holmberg K, Olsson J. Surface characteristics and in vitro biofilm formation on glass ionomer and composite resin. *Biomaterials*. 2001;22(5):481-7.
48. Neme A, Frazier KB, Roeder L, Debner T. Effect of prophylactic polishing protocols on the surface roughness of esthetic restorative materials. *Operative dentistry*. 2002;27(1):50-8.

49. Kakaboura A, Fragouli M, Rahiotis C, Silikas N. Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2007;18(1):155-63.
50. Jefferies SR. The art and science of abrasive finishing and polishing in restorative dentistry. *Dental Clinics of North America*. 1998;42(4):613-27.
51. Bourauel C, Fries T, Drescher D, Plietsch R. Surface roughness of orthodontic wires via atomic force microscope, laser specular reflectance, and profilometry. *The European Journal of Orthodontics*. 1998;20(1):79-92.
52. Whitehead S, Shearer A, Watts D, Wilson N. Comparison of methods for measuring surface roughness of ceramic. *Journal of Oral Rehabilitation*. 1995;22(6):421-7.
53. Chapman SK. *Working with a scanning electron microscope*: Lodgemark Press; 1986.
54. Kara HB. Ağartma ajanlarının, seromer ve porselenlerin renk stabilitesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi: Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2010.
55. Verran J, Rowe DL, Boyd RD. Visualization and measurement of nanometer dimension surface features using dental impression materials and atomic force microscopy. *International biodeterioration & biodegradation*. 2003;51(3):221-8.
56. Bergmans L, Moisiadis P, Van Meerbeek B, Quirynen M, Lambrechts P. Microscopic observation of bacteria: review highlighting the use of environmental SEM. *International endodontic journal*. 2005;38(11):775-88.
57. Gadegaard N. Atomic force microscopy in biology: technology and techniques. *Biotechnic & Histochemistry*. 2006;81(2-3):87-97.
58. Bos R, Van der Mei HC, Busscher HJ. Physico-chemistry of initial microbial adhesive interactions—its mechanisms and methods for study. *FEMS microbiology reviews*. 1999;23(2):179-230.
59. Yanikoglu N, Duymus ZY, Yilmaz B. Effects of different solutions on the surface hardness of composite resin materials. *Dental materials journal*. 2009;28(3):344-51.
60. Özcan C. Surface free energy evaluation, plasma surface modification and biocompatibility studies of pmma films. *Natural and Applied of Sciences, Chemistry, MS Thesis, Middle East Technical Universty, Ankara*. 2006.
61. Katsikogianni M, Missirlis Y. Concise review of mechanisms of bacterial adhesion to biomaterials and of techniques used in estimating bacteria-material interactions. *Eur Cell Mater*. 2004;8(3).
62. Busscher H, Rinastiti M, Siswomihardjo W, Van der Mei H. Biofilm formation on dental restorative and implant materials. *Journal of dental research*. 2010;89(7):657-65.

63. Al-Radha ASD, Dymock D, Younes C, O'Sullivan D. Surface properties of titanium and zirconia dental implant materials and their effect on bacterial adhesion. *Journal of dentistry*. 2012;40(2):146-53.
64. Çiftçi Z. Kronik tonsillitte biofilmin rolü. TC Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi KBB Kliniği, Uzmanlık Tezi. 2005;69.
65. Donlan RM, Costerton JW. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. *Clinical microbiology reviews*. 2002;15(2):167-93.
66. Davey ME, O'toole GA. Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. *Microbiology and molecular biology reviews*. 2000;64(4):847-67.
67. Rolland SL, McCabe JF, Robinson C, Walls AW. In vitro biofilm formation on the surface of resin-based dentine adhesives. *European journal of oral sciences*. 2006;114(3):243-9.
68. Altun HU ŞB. Biyofilm infeksiyonları ve antibiyotik direnci. *Hacettepe Tıp Dergisi*. 2008;39:82-8.
69. Costerton JW, Stewart PS, Greenberg EP. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*. 1999;284(5418):1318-22.
70. Cengiz A, Mısırlıgil A, Aydın M. Tıp ve Dişhekimliğinde Genel ve Özel Mikrobiyoloji. Güneş Kitapevi, Ankara. 2004:17-57.
71. Caldwell DE, Atuku E, Wilkie DC, Wivcharuk KP, Karthikeyan S, Korber DR, et al. Germ theory vs. community theory in understanding and controlling the proliferation of biofilms. *Advances in dental research*. 1997;11(1):4-13.
72. Marsh P. The role of microbiology in models of dental caries. *Advances in dental research*. 1995;9(3):244-54.
73. Nadell CD, Xavier JB, Foster KR. The sociobiology of biofilms. *FEMS microbiology reviews*. 2008;33(1):206-24.
74. Flemming H-C, Wingender J, Griegbe T, Mayer C. Physico-chemical properties of biofilms. *Biofilms: recent advances in their study and control* Amsterdam: Harwood Academic Publishers. 2000:19-34.
75. Donlan RM. Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging infectious diseases*. 2002;8(9):881.
76. Lawrence J, Korber D, Hoyle B, Costerton J, Caldwell D. Optical sectioning of microbial biofilms. *Journal of bacteriology*. 1991;173(20):6558-67.
77. Şimşek N, Tekin Bulut E. Biyofilm ve endodonti: bölüm 1. *İnönü Sağlık Bilimleri Dergisi*. 2012;2:1-5.
78. Gün İ, Ekinçi FY. Biyofilmler: yüzeylerdeki mikrobiyal yaşam. *Gıda Dergisi*. 2009;34(3).
79. Donlan RM. Role of biofilms in antimicrobial resistance. *ASAIO journal*. 2000;46(6):S47-S52.
80. Akan E, Kınık Ö. Biyofilm oluşum mekanizması ve biyofilmlerin gıda güvenliğine etkisi. 2014.

81. Rudney J. Saliva and dental plaque. *Advances in dental research*. 2000;14(1):29-39.
82. Saraçlı MA. Quorum sensing": mikroorganizmalar iletişim mi kuruyor. *Gülhane Tıp Dergisi*. 2006;48(4):244-50.
83. Marsh P. Dental plaque: biological significance of a biofilm and community life-style. *Journal of clinical periodontology*. 2005;32(s6):7-15.
84. Petersen FC, Tao L, Scheie AA. DNA binding-uptake system: a link between cell-to-cell communication and biofilm formation. *Journal of bacteriology*. 2005;187(13):4392-400.
85. Danhorn T, Fuqua C. Biofilm formation by plant-associated bacteria. *Annu Rev Microbiol*. 2007;61:401-22.
86. Fraud S, Maillard JY, Denyer SP, Kaminski M, Hanlon G. A simulated oral hygiene model to determine the efficacy of repeated exposure of amine oxide on the viability of *Streptococcus mutans* biofilms. *European journal of oral sciences*. 2007;115(1):71-6.
87. Baumgartner JC, Siqueira J, Sedgley CM, Kishen A. Microbiology of endodontic disease. *Ingle's Endodontics*, sixth ed Hamilton, Canada: BC Decker. 2008:221-308.
88. Ertuğral F. Farklı dental materyallerde sükrözlu ve sükrözsüz in sitü oluşan oral biyofilmin kazein fosfo peptit-amorf kalsiyum fosfat ile etkileşiminin taramalı elektron mikroskopunda incelenmesi ve florid salınımıyla ilişkisinin değerlendirilmesi [Doktora tezi]. İstanbul: Marmara üniversitesi; 2012.
89. Zijng V, van Leeuwen MBM, Degener JE, Abbas F, Thurnheer T, Gmür R, et al. Oral biofilm architecture on natural teeth. *PloS one*. 2010;5(2):e9321.
90. Çağlayan G, Külekçi G, Görduysus Ö, Kocadereli İ, Emingil G, Haytaç C. diğerleri.(2010). *Periodontoloji*, Ankara: Hacettepe Üniversitesi.
91. Marsh PD. The oral microflorida and biofilms on teeth. *Dental caries: the disease and its clinical management*. 2008:163-87.
92. Diaz PI, Chalmers NI, Rickard AH, Kong C, Milburn CL, Palmer RJ, et al. Molecular characterization of subject-specific oral microflorida during initial colonization of enamel. *Applied and environmental microbiology*. 2006;72(4):2837-48.
93. Lamont RJ, Jenkinson HF. *Oral microbiology at a glance*: John Wiley & Sons; 2010.
94. Hajishengallis G, Michalek S. Current status of a mucosal vaccine against dental caries. *Molecular Oral Microbiology*. 1999;14(1):1-20.
95. Heymann HO, Swift Jr EJ, Ritter AV. *Sturdevant's Art & Science of Operative Dentistry-E-Book*: Elsevier Health Sciences; 2014.
96. Nishihara T, Koseki T. Microbial etiology of periodontitis. *Periodontology* 2000. 2004;36(1):14-26.

97. Periasamy S, Chalmers NI, Du-Thumm L, Kolenbrander PE. *Fusobacterium nucleatum* ATCC 10953 requires *Actinomyces naeslundii* ATCC 43146 for growth on saliva in a three-species community that includes *Streptococcus oralis* 34. *Applied and environmental microbiology*. 2009;75(10):3250-7.
98. Rickard AH, Gilbert P, High NJ, Kolenbrander PE, Handley PS. Bacterial coaggregation: an integral process in the development of multi-species biofilms. *Trends in microbiology*. 2003;11(2):94-100.
99. Newman MG, Takei H, Klokkevold PR, Carranza FA. *Carranza's clinical periodontology*: Elsevier health sciences; 2011.
100. Kidd EA, Fejerskov O. *Essentials of dental caries*: Oxford University Press; 2016.
101. Üstümkol Ceylan I. *Titanyum Dioksit Nanotüplerin Akışkan Kompozit Rezinin Antibakteriyel, Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Bağlanma Dayanıklılığı Özelliklerine Etkisi*. 2013.
102. Rosan B, Lamont RJ. Dental plaque formation. *Microbes and infection*. 2000;2(13):1599-607.
103. van Amerongen JP, van Loveren C, Kidd EA, Summitt J, Robbins J, Schwartz R. *Caries management: diagnosis and treatment strategies. Fundamentals of operative dentistry; a contemporary approach 2nd edition*. 2001:70-90.
104. Gibbons RJ, Houte Jv. On the formation of dental plaques. *Journal of periodontology*. 1973;44(6):347-60.
105. Marsh P. Microbiological aspects of the chemical control of plaque and gingivitis. *Journal of dental research*. 1992;71(7):1431-8.
106. Samaranayake L. *Essential Microbiology for Dentistry*. 2da. Editorial Churchill Livingstone ERC group-Elsevier Science Limited. 2002.
107. Hamada S, Slade HD. Biology, immunology, and cariogenicity of *Streptococcus mutans*. *Microbiological reviews*. 1980;44(2):331.
108. Erganiş O, Öztürk A. *Oral Mikrobiyoloji & İmmünoloji*. Nobel Tıp Kitabevleri. 2003.
109. Topçu A, Söyletir G, Doğanay M. *İnfeksiyon hastalıkları ve mikrobiyolojisi*, 1. baskı. Nobel Tıp Kitabevleri. 2008:2251-5.
110. Hunter PB. Risk factors in dental caries. *International dental journal*. 1988;38(4):211-7.
111. Clarke JK. On the bacterial factor in the aetiology of dental caries. *British journal of experimental pathology*. 1924;5(3):141.
112. Russell R. The application of molecular genetics to the microbiology of dental caries. *Caries research*. 1994;28(2):69-82.
113. Van Houte J. Role of micro-organisms in caries etiology. *Journal of dental research*. 1994;73(3):672-81.
114. Loesche WJ. Role of *Streptococcus mutans* in human dental decay. *Microbiological reviews*. 1986;50(4):353.

115. Balakrishnan M, Simmonds RS, Tagg JR. Dental caries is a preventable infectious disease. *Australian dental journal*. 2000;45(4):235-45.
116. Hillman J, Dzuback A, Andrews S. Colonization of the human oral cavity by a *Streptococcus mutans* mutant producing increased bacteriocin. *Journal of dental research*. 1987;66(6):1092-4.
117. Siqueira J, Rôças I. *Microbiology and treatment of endodontic infections. Cohen's pathway to the pulp*, tenth ed St Louis MO: Mosby Inc. 2011:559-604.
118. Auschill TM, Arweiler NB, Brex M, Reich E, Sculean A, Netuschil L. The effect of dental restorative materials on dental biofilm. *European journal of oral sciences*. 2002;110(1):48-53.
119. Dosdoğru EY, Erdem AP, Sepet E, Aytepe Z. Restoratif materyallerin dental biyofilm üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2014;24.
120. Steinberg D, Eyal S. Early formation of *Streptococcus sobrinus* biofilm on various dental restorative materials. *Journal of dentistry*. 2002;30(1):47-51.
121. Hahnel S, Ettl T, Gosau M, Rosentritt M, Handel G, Bürgers R. Influence of saliva substitute films on the initial adhesion of *Candida albicans* to dental substrata prior to and after artificial ageing. *Archives of oral biology*. 2010;55(5):391-6.
122. Deupree SM. *Bioanalytical methods for investigating bacterial adhesion and the antibacterial action of nitric oxide: The University of North Carolina at Chapel Hill*; 2009.
123. Hannig M, Kriener L, Hoth-Hannig W, Becker-Willinger C, Schmidt H. Influence of nanocomposite surface coating on biofilm formation in situ. *Journal of nanoscience and nanotechnology*. 2007;7(12):4642-8.
124. Kishen A, Haapasalo M. Biofilm models and methods of biofilm assessment. *Endodontic Topics*. 2010;22(1):58-78.
125. Bridier A, Meylheuc T, Briandet R. Realistic representation of *Bacillus subtilis* biofilms architecture using combined microscopy (CLSM, ESEM and FESEM). *Micron*. 2013;48:65-9.
126. Lee B-C, Jung G-Y, Kim D-J, Han J-S. Initial bacterial adhesion on resin, titanium and zirconia in vitro. *The journal of advanced prosthodontics*. 2011;3(2):81-4.
127. Güleş Ö, Ülker E. Apoptozun belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2008;19(2):73-8.
128. İA K. Farklı yüzey işlemleri uygulanmış alaşım gruplarına bakteri tutunmasının in vitro olarak değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi*. 2002.
129. Cehreli SB, Tirali RE, Yalcinkaya Z, Cehreli ZC. Microleakage of newly developed glass carbomer cement in primary teeth. *European journal of dentistry*. 2013;7(1):15.

130. Chen X, Du M, Fan M, Mulder J, Huysmans M-C, Frencken JE. Effectiveness of two new types of sealants: retention after 2 years. *Clinical oral investigations*. 2012;16(5):1443-50.
131. Gorseta K, Glavina D, Borzabadi-Farahani A, Van Duinen R, Skrinjaric I, Hill R, et al. One-year clinical evaluation of a Glass Carbomer fissure sealant, a preliminary study. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2014;22(2):67-71.
132. Dhull K, Nandlal B. Effect of low-concentration daily topical fluoride application on fluoride release of Giomer and compomer: An in vitro study. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*. 2011;29(1):39.
133. Mohamed-Tahir M, Tan H, Woo A, Yap A. Effects of pH on the microhardness of resin-based restorative materials. *Operative Dentistry-University of Washington*. 2005;30(5):661.
134. Kimyai S, Savadi-Oskoe S, Ajami A-A, Sadr A, Asdagh S. Effect of three prophylaxis methods on surface roughness of Giomer. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2011;16(1):e110-4.
135. Kooi T, Tan Q, Yap A, Guo W, Tay K, Soh M. Effects of food-simulating liquids on surface properties of Giomer restoratives. *Operative dentistry*. 2012;37(6):665-71.
136. Jyothi K, Annapurna S, Kumar AS, Venugopal P, Jayashankara C. Clinical evaluation of Giomer-and resin-modified glass ionomer cement in class V noncarious cervical lesions: An in vivo study. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2011;14(4):409.
137. Mohamed-Tahir M, Yap A. Effects of pH on the surface texture of glass ionomer based/containing restorative materials. *Operative Dentistry-University of Washington*. 2004;29:586-91.
138. Wilson NH, Gordan VV, Brunton PA, Wilson MA, Crisp RJ, Mjör IA. Two-centre evaluation of a resin composite/self-etching restorative system: three-year findings. *Journal of Adhesive Dentistry*. 2006;8(1).
139. Zhou X, Wang S, Peng X, Hu Y, Ren B, Li M, et al. Effects of water and microbial-based aging on the performance of three dental restorative materials. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2018;80:42.
140. Priyadarshini BI, Jayaprakash T, Nagesh B, Sunil CR, Sujana V, Deepa VL. One-year comparative evaluation of Ketac Nano with resin-modified glass ionomer cement and Giomer in noncarious cervical lesions: A randomized clinical trial. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2017;20(3):204.
141. Kaya MS, Bakkal M, Durmus A, Durmus Z. Structural and mechanical properties of a Giomer-based bulk fill restorative in different curing conditions. *Journal of Applied Oral Science*. 2018;26:20160662.
142. Durham S, Meyers E, Bailey C, Vandewalle K. Microleakage and shear bond strength of a new sealant containing prereacted glass ionomer particles. *General dentistry*. 2017;65(2):e12-e6.

143. Al-Naimi OT, Itota T, Hobson RS, McCabe JF. Fluoride release for restorative materials and its effect on biofilm formation in natural saliva. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2008;19(3):1243-8.
144. Bayrak GD, Sandalli N, Selvi-Kuvvetli S, Topcuoglu N, Kulekci G. Effect of two different polishing systems on fluoride release, surface roughness and bacterial adhesion of newly developed restorative materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2017;29(6):424-34.
145. Kuter B, Eden E, Yildiz H. The effect of heat on the mechanical properties of glass ionomer cements. *European journal of paediatric dentistry: official journal of European Academy of Paediatric Dentistry*. 2013;14(2):90-4.
146. Deepa G, Shobha T. A clinical evaluation of two glass ionomer cements in primary molars using atraumatic restorative treatment technique in India: 1 year follow up. *International journal of paediatric dentistry*. 2010;20(6):410-8.
147. Ayad NM. Susceptibility of restorative materials to staining by common beverages: an in vitro study. *European Journal of Esthetic Dentistry*. 2007;2(2).
148. Minami H, Hori S, Kurashige H, Murahara S, Muraguchi K, Minesaki Y, et al. Effects of thermal cycling on surface texture of restorative composite materials. *Dental materials journal*. 2007;26(3):316-22.
149. Bagheri R, Burrow M, Tyas M. Surface characteristics of aesthetic restorative materials—an SEM study. *Journal of oral rehabilitation*. 2007;34(1):68-76.
150. Mueller J, Yang F, Neumann K, Kielbassa AM. Surface tridimensional topography analysis of materials and finishing procedures after resinous infiltration of subsurface bovine enamel lesions. *Quintessence international*. 2011;42(2).
151. Koupis N, Marks L, Verbeeck R, Martens L. Finishing and polishing procedures of (resin-modified) glass ionomers and compomers in paediatric dentistry. *European Archives of Paediatric Dentistry*. 2007;8(1):22-8.
152. Joniot S, Salomon J, Dejoui J, Grégoire G. Use of two surface analyzers to evaluate the surface roughness of four esthetic restorative materials after polishing. *Operative dentistry*. 2006;31(1):39-46.
153. Pedrini D, Candido M, Rodrigues A. Analysis of surface roughness of glass-ionomer cements and compomer. *Journal of oral rehabilitation*. 2003;30(7):714-9.
154. Watanabe T, Miyazaki M, Keith Moore B. Influence of polishing instruments on the surface texture of resin composites. *Quintessence international*. 2006;37(1).
155. Ayad NM, Elnogoly SA, Badie OM. An in-vitro study of the physico-mechanical properties of a new esthetic restorative versus dental amalgam. *Archives of Oral Research*. 2017;4(3).
156. Reis AK, Yılmaz Y, Tosun İ. Restoratif materyallerin yüzeylerinde *Candida albicans* adezyonu ve biyofilm oluşumunun in vitro değerlendirilmesi: bir ön çalışma. *Acta Odontologica Turcica*. 2013;30(3):123.

157. Korkmaz FM, Tüzüner T, Baygin O, Buruk CK, Durkan R, Bagis B. Antibacterial activity, surface roughness, flexural strength, and solubility of conventional luting cements containing chlorhexidine diacetate/cetrimide mixtures. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2013;110(2):107-15.
158. Yuan C, Wang X, Gao X, Chen F, Liang X, Li D. Effects of surface properties of polymer-based restorative materials on early adhesion of *Streptococcus mutans* in vitro. *Journal of dentistry*. 2016;54:33-40.
159. Wan AC, Yap AU, Hastings GW. Acid–base complex reactions in resin-modified and conventional glass ionomer cements. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 1999;48(5):700-4.
160. Wilder A, Swift E, May K, Thompson J, McDougal R. Effect of finishing technique on the microleakage and surface texture of resin-modified glass ionomer restorative materials. *Journal of dentistry*. 2000;28(5):367-73.
161. Carvalho F, Sampaio C, Fucio S, Carlo H, Correr-Sobrinho L, Puppini-Rontani R. Effect of chemical and mechanical degradation on surface roughness of three glass ionomers and a nanofilled resin composite. *Operative dentistry*. 2012;37(5):509-17.
162. Özcan S, Şahin FÜ, Uzun Ö, Topuz Ö. Bitirme ve parlatma işlemlerinin farklı kompozit rezinlerin yüzey özellikleri üzerine etkileri. *Acta Odontologica Turcica*. 2012;29(3):173.
163. Yıldırım DM, Patır YDDA, Gençay FSPDK. Estetik Restoratif Materyallerin Cila İşlemlerinden Sonra Yüzey Yapısının Sem İle İncelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2012;2012(3).
164. Thomaidis S, Kakaboura A, Mueller WD, Zinelis S. Mechanical properties of contemporary composite resins and their interrelations. *Dental materials*. 2013;29(8):e132-e41.
165. Günaydın M, Gürler B. Hastane infeksiyonlarının kontrolünde dezenfeksiyon, antisepsi ve sterilizasyon “DAS” uygulamaları. *Ankem Derg*. 2008;22(4):221-31.
166. Günaydın M. Dezenfeksiyon kontrolü: Dezenfektan solüsyonlar nasıl seçilmeli, nasıl denetim yapılmalı. *Hastane İnfeksiyonları Dergisi*. 2003;7:189-94.
167. Uçar Y, Bakar O, Ekinci M. Poliamid ile farklı polimetilmetakrilat protez kaide materyallerinin mikroorganizma tutulumunun karşılaştırılması. *SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi*. 2013;20(1).
168. Alaçam T, Can HE, Görgül G, Emekdaş G, Irmak K. Yeni geliştirilen kalsiyum sülfat esaslı geçici bir dolgu maddesinin kenar sızıntısının değerlendirilmesi. *Acta Odontologica Turcica*. 1998;15(1-2-3):19.
169. Akca AE, Akca G, Gökce S, Sultan N, Özdemir A. Evaluation of bacterial adhesion on fixed partial denture materials. *Gulhane Medical Journal*. 2005;47(4).
170. Arslanoglu Z, Altan H, Sahin O, Tekin M, Adigüzel M. Evaluation of Surface Properties of Four Tooth-Colored Restorative Materials. *Acta Physica Polonica A*. 2015;128(2B).

171. Frencken J, Wolke J. Clinical and SEM assessment of ART high-viscosity glass-ionomer sealants after 8–13 years in 4 teeth. *Journal of dentistry*. 2010;38(1):59-64.
172. İlday AGDNÖ, Erdem AGDV, Bayındır YZ. Farklı bitirme ve parlatma işlemlerinin üç farklı resin materyalin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2008;2008(1).
173. Bausch Jd, Delange C, Davidson C. The influence of temperature on some physical properties of dental composites. *Journal of oral rehabilitation*. 1981;8(4):309-17.
174. Olegário IC, Malagrana APVFP, Kim SSH, Hesse D, Tedesco TK, Calvo AFB, et al. Mechanical properties of high-viscosity glass ionomer cement and nanoparticle glass carbomer. *Journal of Nanomaterials*. 2015;16(1):37.
175. Endo T, Finger WJ, Kanehira M, Utterodt A, Komatsu M. Surface texture and roughness of polished nanofill and nanohybrid resin composites. *Dental materials journal*. 2010;29(2):213-23.
176. Grossman E, Rosen M, Cleaton-Jones P. Surface roughness values for resin based materials. 2004.
177. Ionescu A, Wutscher E, Brambilla E, Schneider-Feyrer S, Giessibl FJ, Hahnel S. Influence of surface properties of resin-based composites on in vitro *Streptococcus mutans* biofilm development. *European journal of oral sciences*. 2012;120(5):458-65.
178. Yip H, Lam W, Smales R. Restorative density: Fluoride release, weight loss and erosive wear of modern aesthetic restoratives. *British dental journal*. 1999;187(5):265.
179. Beyth N, Bahir R, Matalon S, Domb AJ, Weiss EI. *Streptococcus mutans* biofilm changes surface-topography of resin composites. *dental materials*. 2008;24(6):732-6.
180. Shahal Y, Steinberg D, Hirschfeld Z, Bronshteyn M, Kopolovic K. In vitro bacterial adherence onto pellicle-coated aesthetic restorative materials. *Journal of oral rehabilitation*. 1998;25:52-8.
181. Montanaro L, Campoccia D, Rizzi S, Donati ME, Breschi L, Prati C, et al. Evaluation of bacterial adhesion of *Streptococcus mutans* on dental restorative materials. *Biomaterials*. 2004;25(18):4457-63.
182. Hahnel S, Rosentritt M, Bürgers R, Handel G. Surface properties and in vitro *Streptococcus mutans* adhesion to dental resin polymers. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2008;19(7):2619-27.
183. Kim S, Song M, Roh B-D, Park S-H, Park J-W. Inhibition of *Streptococcus mutans* biofilm formation on composite resins containing ursolic acid. *Restorative dentistry & endodontics*. 2013;38(2):65-72.
184. Kreulen CM, De Soet J, Hogeveen M, Veerkamp JS. *Streptococcus mutans* in children using nursing bottles. 1997.

185. Serrano-Granger C, Cerero-Lapiedra R, Campo-Trapero J, Del Río J. In vitro study of the adherence of *Candida albicans* to acrylic resins: relationship to surface energy. *International Journal of Prosthodontics*. 2005;18(5).
186. Pereni C, Zhao Q, Liu Y, Abel E. Surface free energy effect on bacterial retention. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2006;48(2):143-7.
187. Li L, Finnegan M, Özkan S, Kim Y, Lillehoj P, Ho CM, et al. In vitro study of biofilm formation and effectiveness of antimicrobial treatment on various dental material surfaces. *Molecular oral microbiology*. 2010;25(6):384-90.
188. Shimotoyodome A, Koudate T, Kobayashi H, Nakamura J, Tokimitsu I, Hase T, et al. Reduction of *Streptococcus mutans* adherence and dental biofilm formation by surface treatment with phosphorylated polyethylene glycol. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2007;51(10):3634-41.
189. Sousa R, Zanin I, Lima J, Vasconcelos S, Melo M, Beltrão H, et al. In situ effects of restorative materials on dental biofilm and enamel demineralisation. *Journal of dentistry*. 2009;37(1):44-51.
190. Shani S, Friedman M, Steinberg D. The anticariogenic effect of amine fluorides on *Streptococcus sobrinus* and glucosyltransferase in biofilms. *Caries research*. 2000;34(3):260-7.
191. Boeckh C, Schumacher E, Podbielski A, Haller B. Antibacterial activity of restorative dental biomaterials in vitro. *Caries Research*. 2002;36(2):101-7.
192. Bahadure R, Pandey R, Kumar R, Gopal K, Singh R. An estimation of fluoride release from various dental restorative materials at different pH: In vitro study. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*. 2012;30(2):122.
193. Çapan BŞ, Akyüz S. Çocuk Diş Hekimliğinde Fluorid Salınımı Yapan Güncel Restoratif Materyaller. *Clinical and Experimental Health Sciences*. 2016;6(3):129-34.

EKLER

Ek 1. Özgeçmiş

| | | | |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------|
| Adı: | Özlem | Soyadı: | Seçkin |
| Doğum Yeri: | Ankara | Doğum Tarihi: | 21.12.1989 |
| Uyruğu | T.C. | Tel: | 0544 452 08 32 |
| E-mail: | dtozlemseckin@gmail.com | | |

| Eğitim Düzeyi | | |
|-----------------------------------|--|-----------------------|
| | Mezun Olduğu Kurum | Mezuniyet Yılı |
| Uzmanlık Eğitimi | Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi A.D. | 2018 |
| Lisans & Yüksek Lisans | Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi | 2013 |
| Lise | Ankara Atatürk Anadolu Lisesi | 2008 |