

T.C.
YEDİTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇOCUK DIŞ HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇOKLU DUVARLI KARBON NANOTÜP İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ CAM İYONOMER
SİMANLARIN FLUORİD SALIMI-GERİ
ALIMININ, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN VE
ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

DİŞ HEKİMİ
İDİL AKMERİÇ

DANIŞMAN
DOÇ.DR. ELİF SUNGURTEKİN EKÇİ

İstanbul-2018

TEZ ONAYI FORMU

Kurum : Yeditepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

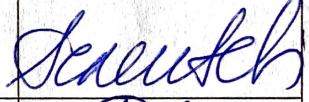
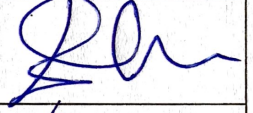

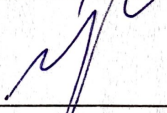
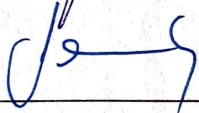
Program : Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı Doktora Programı

Tez Başlığı : Çoklu Duvarlı Karbon Nanotüp ile Güçlendirilmiş Cam İyonomer Simanların Fluorid Salımı-Geri Alımının, Yüzey Pürüzlülüğünün ve Antibakteriyel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Tez Sahibi : Dt. İdil AKMERİÇ

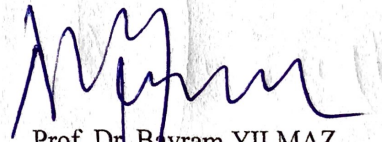
Sınav Tarihi : 19/06/2018

Bu çalışma jürimiz tarafından kapsam ve kalite yönünden Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı, Adı-Soyadı (Kurumu)	İmza
Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Senem SELVİ KUVVETLİ	
Tez danışmanı:	Doç. Dr. Elif SUNGURTEKİN EKÇİ	
Üye:	Doç. Dr. Haktan YURDAGÜVEN	
Üye:	Doç. Dr. Nursen TOPÇUOĞLU	
Üye:	Doç. Dr. Fatih ÖZNURHAN	

ONAY

Bu tez Yeditepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun 22/06/2018 tarih ve 2018/11-16 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Bayram YILMAZ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

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

19/06/2018

Dt. İdil AKMERİÇ

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca, bilgi ve deneyimlerini her zaman paylaştan, yol göstericiliği, sabrı ve hoşgörüsü ile üzerimde büyük emeği olan, her yönüyle örnek aldığım değerli hocam ve tez danışmanım Sayın **Doç. Dr. Elif SUNGURTEKİN EKÇİ'** ye,

Doktora eğitimim boyunca hiçbir zaman desteğini, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, bana her zaman yol gösteren değerli hocam Yeditepe Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Çocuk Dış Hekimliği Anabilim Dalı Başkanı Sayın **Doç. Dr. Senem SELVİ KUVVETLİ'** ye,

Ülkemizin önde gelen çağdaş ve yenilikçi eğitim kurumlarından olan fakültemizde sunmuş olduğu geniş olanaklar ile çalışmalarımıza destek olan değerli hocamız Yeditepe Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dekanı Sayın **Prof. Dr. Ender KAZAZOĞLU'** na,

Bu tez çalışmasında yardımları ve gösterdiği dostluktan dolayı İstanbul Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Anabilim Dalı öğretim üyesi Sayın **Doç. Dr. Nursen TOPÇUOĞLU'** na,

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, bölüm olarak hep bir aile olduğumuzu hatırlatan ve desteğini her zaman hissettiğim değerli hocam Sayın **Doç. Dr. Didem ÖZDEMİR ÖZENEN'e**, yardımları ve destekleri için değerli hocam Sayın **Dr. Öğr. Üyesi Kübra ALTIN'a** ve **Öğr. Gör. Dr. Gökçen Deniz BAYRAK'a**,

Doktora eğitimim boyunca her zaman yanımda olan dönem arkadaşlarım **Avşar ÖZTÜRK, Sezen İrem BİRİNCİ, Şila SAATCİOĞLU** ve tüm çalışma arkadaşlarıma,

Sevgili annem **Tuna GÜLTEN**, babam **Macit GÜLTEN** ve eşim **Onur Yunus AKMERİÇ'e**

En içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI FORMU.....	ii
BEYAN	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLoların LİSTESİ.....	ix
GRAFİKLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SEMBOLLER ve KISALTMALAR	xiii
SUMMARY	xvii
ÖZET	xviii
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Cam İyonomer Simanlar.....	3
2.1.1. Cam İyonomer Simanların Gelişimi.....	3
2.1.2. Cam İyonomer Simanların Klinik Kullanım Alanlarına Göre Sınıflandırılması....	4
2.1.3. Cam İyonomer Simanların İçeriğine Göre Sınıflandırılması.....	5
2.1.3.1. Geleneksel Cam İyonomer Simanlar	5
2.1.3.2. Cam İyonomer Sermet Simanlar	6
2.1.3.3. Rezin Modifiye Cam İyonomer Simanlar (RMCİS)	7
2.1.3.4. Yüksek Viskoziteli Cam İyonomer Simanlar (YVCİS)	8
2.1.3.5. Poliasit Modifiye Kompozit Rezinler (Kompomerler).....	9

2.1.3.6. Nanodoldurucu İçeren Cam İyonomer Simanlar	9
2.1.3.7. Cam Karbomer®	10
2.1.4. Geleneksel Cam İyonomer Simanlar	11
2.1.4.1. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Toz Kısmının Yapısı.....	11
2.1.4.2. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Likit Kısmının Yapısı	12
2.1.4.3. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Klinik Uygulama Alanları.....	13
2.1.4.4. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Klinik Avantajları.....	13
2.1.4.5. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Uygulamalarını Sınırlandıran Durumlar	14
2.1.5. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Toz Kısmına Yapılan Eklemeler	14
2.1.5.1. Hidroksiapatit Eklenmesi.....	14
2.1.5.2. Biyoaktif Cam Eklenmesi	15
2.1.5.3. Metalik Tozların Eklenmesi.....	15
2.1.5.4. Fiber Eklenmesi.....	16
2.1.5.5. Montmorillonit Kili Eklenmesi	17
2.1.5.6. Karbon Nanotüplerin (CNT) Eklenmesi.....	17
2.2. Karbon Nanotüpler (CNT).....	17
2.2.1. Karbon Nanotüplerin Yapısı	17
2.2.2. Karbon Nanotüplerin Özellikleri.....	19
2.2.2.1. Elektriksel İletkenlik.....	19
2.2.2.2. Dayanıklılık ve Elastisite	19
2.2.2.3. Isı İletkenliği ve Genleşme	19
2.2.2.4. Emicilik.....	20

2.2.2.5. Antimikrobiyal Özellik.....	20
2.2.2.6. Biyouyumluluk ve Potansiyel Toksikite	20
2.2.3. Karbon Nanotüplerin Uygulama Alanları.....	21
2.2.3.2. Elektromanyetik Alanda Kullanımları.....	22
2.2.3.3. Elektroakustik Alanda Kullanımları.....	22
2.2.3.4. Mekanik Alanda Kullanımları.....	22
2.2.3.5. Elektriksel Devre ve Transistörlerde Kullanımı.....	23
2.2.3.6. Kimya ve Çevre Alanında Kullanımları	23
2.2.3.7. Biyoteknoloji ve Biyomedikal Alanda Kullanımları.....	23
2.2.4. Karbon Nanotüplerin Diş Hekimliğinde Kullanımları	25
2.3. Fluorid Salım ve Geri Alım Ölçümleri.....	27
2.3.1. Fluoridin Diş Çürüğünü Önleme Üzerine Etkisi.....	27
2.3.2. Cam İyonomer Simanların Fluorid Salım ve Geri Alım Özellikleri	28
2.3.3. Fluorid Analizi İçin İyon Selektif Elektrot (İSE) Yöntemi	28
2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	29
2.4.1. Dental Restoratif Materyallerde Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi	29
2.4.2. Profilometre Cihazı	29
2.5. Antibakteriyel Özelliklerin Değerlendirilmesi	30
2.5.1. Cam İyonomer Simanların Antibakteriyel Etkileri	30
2.5.2. Doğrudan Temas Test Yöntemi (DTT)	31
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	32
3.1. Fluorid Salımı ve Geri Alımı Deneyi.....	34

3.1.1. Fluorid Salımı Deneyinin Yapılışı	38
3.1.2. Fluorid Geri Alımı Deneyinin Yapılışı.....	41
3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyi.....	42
3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyinin Yapılışı.....	44
3.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntülemesi.....	46
3.3. Antibakteriyel Etkinlik Deneyi	47
3.3.1. Doğrudan Temas Testinin (DTT) Yapılışı:	48
3.4. İstatistiksel Yöntem.....	51
4. BULGULAR.....	52
4.1.1. Fluorid Salımı Deneyinin Bulguları	52
4.1.2. Fluorid Geri Alımı Deneyinin Bulguları	55
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyinin Bulguları.....	60
4.2.1. Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) Görüntülemesinin Bulguları.....	62
4.3. Antibakteriyel Etkinlik Deneyinin Bulguları.....	64
5. TARTIŞMA	67
5.1. Materyallerin Fluorid Salımı ve Geri Alımı Değerlerinin Tartışılması.....	69
5.2. Materyallerin Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Tartışılması	78
5.3. Materyallerin Antibakteriyel Etkinliklerinin Tartışılması	84
6. SONUÇLAR.....	89
7. KAYNAK LİSTESİ.....	91
8. ÖZGEÇMİŞ	117

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kontrol ve deney grupları.....	32
Tablo 2. Grupların farklı ölçüm zamanlarındaki florid salımı ortalamaları ve standart sapma değerleri (ppm).....	52
Tablo 3. Farklı ölçüm zamanlarında gruplar arası farklılıkların ikili karşılaştırılması. .	53
Tablo 4. Grupların farklı ölçüm zamanlarındaki florid salımı değerlerinin zamanlar arası ikili karşılaştırılması.....	54
Tablo 5. Topikal florid uygulamasından sonra grupların tüm ölçüm zamanlarındaki florid salımı ortalamaları ve standart sapma değerleri (ppm).....	56
Tablo 6. Topikal florid uygulamasından sonra farklı ölçüm zamanlarına göre gruplar arası florid salımları arasındaki farklılıkların ikili karşılaştırılması.....	57
Tablo 7. Topikal florid uygulamasından sonra grupların florid salımı değerlerinin zamanlar arası ikili karşılaştırılması.....	59
Tablo 8. Tüm grupların yüzey pürüzlülüğü ortalamaları ve standart sapma değerleri (Ra-µm).	60
Tablo 9. Grupların <i>S. mutans</i> için belirlenen optik yoğunluk (OD ₆₃₀) verilerinin ortalama ve standart sapma değerleri.....	64
Tablo 10. Grupların <i>S. mutans</i> için belirlenen ortalama optik yoğunluk (OD ₆₃₀) değerleri arasındaki farklılıkların ikili karşılaştırılması	65

GRAFİKLERİN LİSTESİ

Grafik 1. Tüm grupların ölçüm zamanlarına göre florid salımlarının dağılımı.....	53
Grafik 2. Tüm grupların topikal florid uygulaması sonrası ölçüm zamanlarına göre florid salımlarının dağılımı.....	57
Grafik 3. Grupların yüzey pürüzlülüğü ortalamalarının görünümü (Ra- μ m).	61
Grafik 4. Grupların <i>S. mutans</i> için belirlenen optik yoğunluk ortalamalarının (OD ₆₃₀) görünümü.....	65

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim 1. Geleneksel cam iyonomer simanların sertleşme mekanizması.	6
Resim 2. Tek-duvarlı karbon nanotüp (SWCNT) ve çoklu-duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) yapısının kesitsel gösterimi.	18
Resim 3. Fluorapatit oluşumu.	27
Resim 4. Profilometre cihazının şematik gösterimi.....	30
Resim 5. Deneyde kullanılan geleneksel cam iyonomer siman Ionofil U®.....	33
Resim 6. Deneyde kullanılan çoklu duvarlı karbon nanotüp (Nanografi).....	33
Resim 7. Deneyde kullanılan hassas terazi Scaltec SBA 31.....	35
Resim 8. Karbon nanotüp materyali (sol) ve Ionofil U®'nun toz kısmı (sağ).	35
Resim 9. Örneklerin hazırlanmasında kullanılan gereçler.	36
Resim 10. Preparasyonu tamamlanmış MWCNT içeren bir deney grubu örneği.....	36
Resim 11. 37°C'de etüvdeki örnekler.....	37
Resim 12. Deneyde kullanılan iyon analiz cihazı ve florid -selektif elektrot.	39
Resim 13. Deneyde kullanılan standart solüsyonlar ve mikropipet.	39
Resim 14. Florid iyon analizi için hazırlanan örnekler.	40
Resim 15. Florid geri alımı deneyinde örneklere uygulanan florid vernik.....	41
Resim 16. Deneyde kullanılan standart silikon kalıbın çapı.....	42
Resim 17. Asetat kağıdı ve cam ile örneklerin hazırlanma aşaması.	43
Resim 18. Hazırlanma aşaması tamamlanan bir deney grubu örneği.....	43
Resim 19. Hazırlanma aşaması tamamlanan bir kontrol grubu örneği.....	43
Resim 20. Deneyde kullanılan su zımparası cihazı (Phoenix Beta Grinder Polisher, Buehler).....	44
Resim 21. Deneyde kullanılan yüzey profilometre cihazı (Perthometer M1, Mahr).	45
Resim 22. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleme aşamaları: (a): SEM cihazı-EVO 40, Zeiss, Germany (b): Altın kaplama cihazı-SCD 005 Sputter Coater, Baltec (c): Altın ile kaplanmış SEM içindeki örnekler.....	46
Resim 23. ELISA mikroplakalarının kuyucuk tabanlarına uygulanan örnekler.	48
Resim 24. Bakteri süspansiyonunun kuyucuklara eklenmesi.	49
Resim 25. Çalkalayıcı üzerindeki mikroplakalar	49
Resim 26. Mum söndürme kavanozu içindeki mikroplakalar.....	50

Resim 27. Optik yoğunluk (OD) ölçümlerinin yapıldığı spektrofotometre cihazı.....	51
Resim 28. Grupların x500 büyütmedeki SEM görüntüleri. (a) G0 (b) G1 (c) G2 (d) G3.	62
Resim 29. Grupların x1000 büyütmedeki SEM görüntüleri. (a) G0 (b) G1 (c) G2 (d)G3	63



SEMBOLLER ve KISALTMALAR

μm	: Mikrometre
μl	: Mikrolitre
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
% wt	: Kütlege yüzde
1D	: Tek boyutlu
2D	: İki boyutlu
3D	: Üç boyutlu
ADA	: Aminododekanoid asit
ADT	: Agar Difüzyon Testi
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
Al	: Alüminyum
ART	: Atravmatik Restoratif Tedavi
ASPA	: Alüminosilikat Poliakrilik Asit
ATPaz	: Adenozin trifosfataz
BHI	: Brain Heart Infusion
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum

cfu	: Koloni Oluşturan Birim (Colony Forming Unit)
CİS	: Cam İyonomer Siman
CNT	: Karbon Nanotüp
CO₂	: Karbon dioksit
CPP-ACP	: Kazein fosfopeptid-amorf kalsiyum fosfat
DTT	: Doğrudan Temas Testi
<i>E. coli</i>	: <i>Escherichia coli</i>
EÇÇ	: Erken çocukluk çağı çürüğü
F	: Fluorid
FHA	: Fluorhidroksiapatit
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi
g	: Gram
HA	: Hidroksiapatit
HDPSC	: İnsan dental pulpa kök hücreleri
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı
İSE	: İyon Selektif Elektrod
<i>K. pneumoniae</i>	: <i>Klebsiella pneumoniae</i>
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre

MMT	: Montmorillonit kili
MWCNT	: Çoklu Duvarlı Karbon Nanotüp
Na	: Sodyum
nm	: Nanometre
O₂	: Oksijen
OD	: Optik yoğunluk
pH	: Power of hydrogen
PMMA	: Polimetil metakrilat
ppm	: Parts per million
Ra	: Aritmetik ortalama pürüzlülük
RMCİS	: Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman
<i>S. aureus</i>	: <i>Staphylococcus aureus</i>
<i>S. cerevisiae</i>	: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>S. mutans</i>	: <i>Streptococcus mutans</i>
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silisyum
SiO₄	: Silisyum oksit
Sr	: Stronsiyum
SrF₂	: Stronsiyum florid
SrO	: Stronsiyum oksit

SWCNT	: Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
TISAB	: Toplam İyon Şiddeti Ayarlayıcı Solüsyon
TiO₂	: Titanyum dioksit
TPa	: Terapascal
XRD	: X-ray difraksiyon analizi
YVCİS	: Yüksek Viskoziteli Cam İyonomer Siman



SUMMARY

Akmeric, I (2018). The Evaluation of Fluoride Release-Recharge, Surface Roughness and Antibacterial Properties of Multi-Walled Carbon Nanotube Reinforced Glass Ionomer Cements. Yeditepe University Institute of Health Sciences, Department of Pediatric Dentistry, PhD thesis, Istanbul.

The aim of this study was to evaluate the fluoride release and recharge properties, surface roughness (Ra) as well as antibacterial properties of glass ionomer cements (GIC) reinforced with different ratios of multi-walled carbon nanotubes (MWCNT). Experimental groups of the study were formed according to the amount of MWCNT incorporated (G1: 1 wt%, G2: 2 wt%, G3: 3 wt%, respectively.). Unmodified Ionofil U was assigned as the control group (G0). Initial and after-recharge cumulative fluoride release of groups were recorded at 24 h, 48 h, 72 h, 7 days, 15 days and 28 days. Ra values were recorded using a profilometer and a SEM imaging was performed. The antibacterial effects on *S. mutans* were analyzed by direct contact test with optical density values recorded using a spectrophotometer. Statistical evaluations were done with NCSS 2007. Repeated measures ANOVA in repeated measures of multiple groups, Newman Keuls multiple comparison test in subgroup comparisons, one-way ANOVA in group comparisons and Tukey multiple comparison test in subgroup comparisons were used. G3 released the highest amount of fluoride whereas the lowest was released from G0 ($p < 0.05$). After fluoride recharge, G3 showed the highest amount of fluoride release and G0 showed the lowest at the end of 28 days ($p < 0.05$). No statistically significant differences were found between the Ra values ($p > 0.05$). SEM imaging demonstrated a relatively homogenous surface in G0. G2 and G3 revealed significantly increased antibacterial effects compared to G0 ($p < 0,05$). MWCNT incorporation improved the fluoride release, recharge and antibacterial properties of the conventional GIC yet, did not cause any significant deterioration on the surface properties. Further studies are required to benefit from the promising CNT technology in the field of pediatric dentistry.

Key words: Multi-walled carbon nanotubes, glass ionomer cements, fluoride release and recharge, surface roughness, direct contact test, antibacterial properties, SEM

ÖZET

Akmeriç, İ (2018). Çoklu Duvarlı Karbon Nanotüp ile Güçlendirilmiş Cam İyonomer Simanların Fluorid Salımı-Geri Alımının, Yüzey Pürüzlülüğünün ve Antibakteriyel Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Yeditepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Çocuk Diş hekimliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.

Bu çalışmanın amacı, geleneksel cam iyonomer simana (CİS) kütlece farklı oranlarda çoklu duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) eklenmesinin florid salımı ve geri alımına, yüzey pürüzlülüğüne ve antibakteriyel özelliklerine etkisinin değerlendirilmesidir. Kontrol grubu (G0) olarak geleneksel CİS İonofil U® kullanılmıştır. İonofil U®'nun toz kısmına kütlece %1, %2 ve %3 oranlarında MWCNT eklendi ve sırasıyla G1, G2 ve G3 oluşturuldu. Başlangıç ve topikal florid uygulaması sonrası florid salımları 24. saat, 48. saat, 72. saat ile 7., 15. ve 28 günlerde kümülatif olarak ölçüldü. Yüzey pürüzlülüğü ortalamaları bir yüzey profilometre cihazı ile ölçüldü. Yüzey özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edildi. Grupların *S. mutans* 'a karşı antibakteriyel etkinlikleri doğrudan temas testi yöntemi ile optik yoğunluk ölçümleri yapılarak kaydedildi. İstatistiksel analizde NCSS 2007 programı ile çoklu grupların tekrarlayan ölçümlerinde tekrarlayan varyans analizi, alt grup karşılaştırmalarında Newman Keuls çoklu karşılaştırma testi, gruplararası karşılaştırmalarda tek yönlü varyans analizi, alt grup karşılaştırmalarında Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanıldı. 28 günlük deney süresi sonunda G3'te en yüksek florid salımı, G0'da en düşük florid salımı gerçekleşti ($p<0,05$). Topikal florid uygulaması sonrası 28 günlük ölçümlerde en yüksek florid salımı değeri G3'te, en düşük florid salımı değeri G0'da bulgulandı ($p<0,05$). Grupların yüzey pürüzlülükleri arasında anlamlı farklılık bulunmadı ($p>0,05$). SEM görüntülemesi sonunda G0'da daha homojen bir yüzey izlendi. G2 ve G3, G0'dan daha yüksek antibakteriyel etki gösterdi ($p<0,05$). Geleneksel CİS'lere kütlece artan oranlarda MWCNT eklenmesi materyalin florid salımı ve geri alımı ile antibakteriyel özelliklerini orantılı olarak iyileştirip, bunu sağlarken yüzey özelliklerinde anlamlı bir bozulmaya neden olmadı. Nanoteknoloji alanında umut verici materyaller olan CNT'lerin çocuk diş hekimliğinde kullanımı ile ilgili daha ileri çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Çoklu duvarlı karbon nanotüpler, cam iyonomer siman, florid salımı ve geri alımı, yüzey pürüzlülüğü, doğrudan temas testi, antibakteriyel özellik, SEM

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Cam iyonmer simanlar (CİS), diş sert dokularına kimyasal olarak bağlanabilmeleri, biyouyumlu olmaları ve florid salımı yapabilmeleri nedeniyle çocuk diş hekimliğinde sık kullanılan materyallerdendir (1). Literatürde CİS'lerin bu özellikleri sayesinde süt dişlerindeki çürüklere bir tedavi yaklaşımı olan atravmatik restoratif tedavi (ART) tekniğinde de kullanıldığı bildirilmiştir (2). Ancak CİS'lerin neme hassasiyet, düşük mekanik dayanıklılık ve aşınma direncine sahip olmaları nedeniyle kullanım alanları sınırlandırılmıştır (3). Günümüzde çürüğün temizlenmesi aşamasında daha konservatif bir yaklaşımın benimsenmesi ile daha fazla etkilenmiş dokunun korunması, dolayısıyla daha fazla rezidüel bakterinin restorasyon altında kalması olasıdır (4). Florid salımı ile rekürrent çürük riski azaltılsa da zamanla materyal yüzeyindeki değişiklikler dental plak tutulumuna neden olmakta ve restorasyonun başarısı etkilenmektedir (5).

Karbon nanotüpler, keşiflerinden bu yana çeşitli alanlarda kullanılan materyallerin güçlendirilmesinde önemli rol oynamış ve bu sayede pratik uygulamalar için daha iyi fiziksel özelliklere sahip yeni materyaller elde edilmesi amaçlanmıştır (6). Kısaca nanotüpler, tek ya da çoklu grafen katmanlarının rulo haline gelerek oluşturduğu tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT) ya da çoklu duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) yapılarıdır. Geniş yüzey alanları, iyi mekanik özellikleri, düşük molekül ağırlıkları, kimyasal ve termal stabiliteleri nedeniyle elektriksel ve mekanik uygulamalarda olduğu gibi biyomedikal alanda da kullanılmaktadır. **Zhang ve ark. (2008)**, yaptıkları çalışmada rezin bazlı kompozitlere tek duvarlı karbon nanotüp eklemişler ve ümit verici sonuçlar elde etmişlerdir (7). Yapılan bir sistematik derlemede MWCNT'lerin kemik onarım ve rejenerasyonunu tetiklemesi sayesinde ağız içi rejeneratif uygulamalarda kullanılabilir biyomateryallerden olduğu bildirilmiştir (8). **Bai ve ark.(2013)**, karbon nanotüp ve fluorhidroksiapatit karışımının *Streptococcus mutans*'ı inaktive ettiğini bildirmişlerdir (9).

Literatürde MWCNT ile güçlendirilmiş CİS'lerin yüzey sertliği ve aşınma direncinin geleneksel CİS'lere göre daha yüksek, madde kaybının ise daha düşük bulunması nedeniyle bu güçlendirilmiş simanların posterior dişlerin restorasyonunda bir alternatif olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (10).

Yapılan literatür incelemesinde cam iyonomer simanlara karbon nanotüp eklenmesinden sonra florid salım ve geri alım kapasitelerini değerlendiren çalışma olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada, bir geleneksel CIS'in toz kısmına kütlece farklı oranlarda ilave edilen MWCNT'lerin, materyalin florid salımı-geri alımına, yüzey pürüzlülüğüne ve antibakteriyel özelliklerine etkilerinin *in vitro* koşullarda değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Cam İyonomer Simanlar

1950'li yıllarda Birleşik Krallık'ta termal, mekanik ve optik özellikler açısından diş sert dokularına benzer bir restoratif materyal elde etme çalışmaları başlamış, 1972 yılında da Wilson ve Kent tarafından bu koşullara en yakın materyal olan cam iyonomer simanlar (CİS) geliştirilmiştir (11-13).

Diş rengindeki CİS'ler, asit-baz simanlar adı altında sınıflanan materyaller içinde yer almaktadır. Albers ve Davidson "cam iyonomer siman" teriminin, sertleşmesi sırasında asit-baz reaksiyonunun meydana geldiği özel bir cam içeren materyaller için kullanılabileceğini bildirmişlerdir (14, 15). CİS'ler toz haline getirilmiş bazik cam partiküller ve zayıf poliakrilik asitten oluşan likit kısım arasında meydana gelen reaksiyon sonucu oluşmakta ve silikat siman ile polikarboksilat simanın hibriti şeklinde tanımlanmaktadır (16, 17).

CİS'ler diş sert dokularına kimyasal olarak bağlanabilme, kabul edilebilir renk uyumuna sahip olma, florid salımı yaparak antikariyojenik etki gösterme gibi özellikleri sayesinde keşiflerinden bu yana diş hekimliğinde yaygın kullanım alanına sahip olmuş ve araştırmalara konu olmaya devam etmiştir (18, 19). Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı'na (ISO) göre materyalin doğru tanımlaması "cam polialkenoat siman" olsa da günümüz diş hekimliğinde bu simanlar "cam iyonomer" ismi ile tanınmaktadır (20).

2.1.1. Cam İyonomer Simanların Gelişimi

Yetmişli yıllarda direkt restorasyonlarda en sık kullanılan restoratif materyal amalgam, indirekt restorasyonlarda ise seramik ve altın olmuştur. Zamanla yapılan çalışmalar potansiyel toksisite ve estetik kaygılar nedeniyle amalgamın kullanımını sınırlandırmıştır (18). Günümüz diş hekimliği literatüründe CİS'ler, ilk olarak Alüminosilikat poliakrilik asit (ASPA I) olarak tanıtılmış ve servikal lezyonların restorasyonunda kullanılması önerilmiştir (11).

İlk nesil CİS olan ASPA I, yavaş sertleşmesi, düşük translüsentliği ve yüksek nem hassasiyeti nedeniyle yerini tartarik asit içeren mekanik özellikleri iyileştirilmiş ASPA II'ye bırakmıştır. Böylece ASPA II pratikte uygulanan ilk CİS olmuştur. (21). İkinci jenerasyon CİS'ler su varlığında sertleşen, poliasit bileşenin toz kısmın içine dehidrate edilerek ilave edildiği gruptur. Toz kısmın su veya tartarik asit içeren sıvı solüsyonda karıştırılması sonucu sertleşir. İkinci jenerasyon CİS'ler raf ömürlerinin uzun olması, karıştırma sırasında düşük viskoziteye sahip olmaları ve moleküler ağırlığı artırılabilir poliasit ile dayanıklılıklarının yükseltilmiş olmaları açısından avantajlı hale gelmiştir (22).

Çağdaş dental materyallerden olan CİS'ler özellikle minimal invaziv diş hekimliği alanında tedavi yaklaşımlarına yeni bir bakış açısı getirmiştir (23). Günümüzde CİS'ler estetik görüntüyü en az alerjik reaksiyon ve toksisiteye yol açarak sağlayan diş rengindeki restoratif materyallerdir. Bu nedenle CİS'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir (24, 25).

2.1.2. Cam İyonomer Simanların Klinik Kullanım Alanlarına Göre Sınıflandırılması

CİS'lerin diş hekimliğindeki kullanım alanları arasında süt dişlerinin restorasyonları; kuron, ortodontik bant ve yer tutucuların yapıştırılması ve yeni süren çürüksüz sürekli azı dişlerinin fissürlerinin örtülmesi gibi uygulamalar yer almaktadır (24, 26). CİS'ler, klinikte kullanım alanlarına göre tip I, tip II ve tip III olarak sınıflandırılmıştır:

- Tip I olarak adlandırılan yapıştırma amaçlı CİS'ler düşük film kalınlığına ve hızlı sertleşme özelliğine sahiptir. Tip I CİS'ler indirekt restorasyonlar, kuronlar ve sabit protetik restorasyonlar ile ortodontik apareylerin simantasyonunda kullanılmaktadır. Kendiliğinden sertleşenler veya rezin modifiye olarak ayrılır. Bu akışkan yapıdaki simanlar literatürde "CEM" ya da "C" olarak adlandırılmaktadır (27).
- Tip II olarak adlandırılan CİS'ler partikül büyüklüğü tip I simandan daha büyük olan ve restoratif amaçlı kullanılan simanlardır. Bu simanlar literatürde "R" ya da "FIL" olarak adlandırılmakla birlikte iki alt gruba ayrılmıştır:

- Tip II-1 CİS'ler piyasada geleneksel veya rezin modifiye olarak bulunabilen ve estetik restorasyonlarda tercih edilen simanlardır.
- Tip II-2 CİS'ler güçlendirilmiş simanlar olarak tanımlanmaktadır. Bu simanların aşınma direnci 1. alt gruba göre daha yüksektir.
- Tip III olarak adlandırılan CİS'ler düşük viskoziteli ve hızlı sertleşen simanlardır.

Klinikte kaide materyali ve fissür örtücü olarak kullanılmaktadır. Literatürde “bond” ya da “F” olarak da adlandırılmaktadır (28, 29).

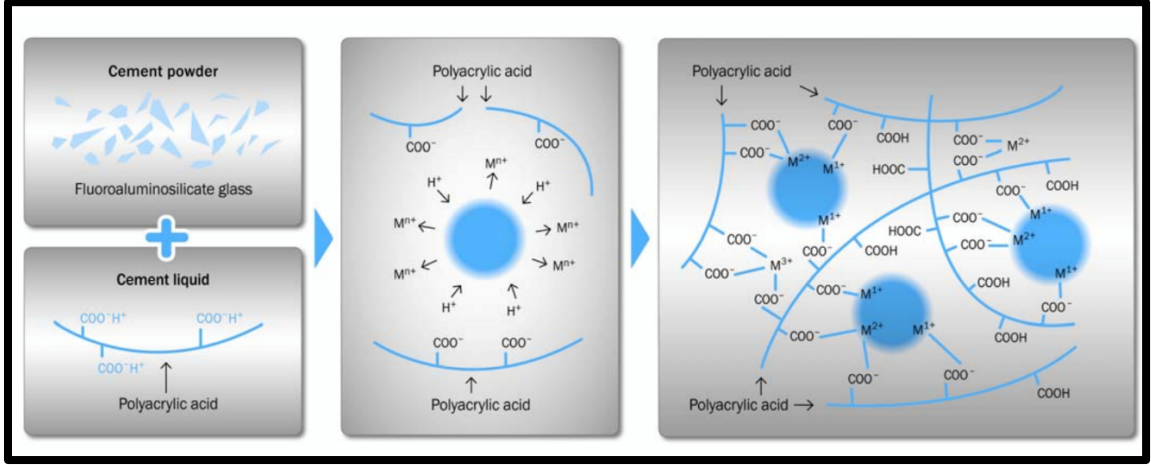
Cam iyonmer simanların, toz/likit oranları ve kimyasal formülleri değiştiğinde fiziksel özellikleri de değişmekte, bu sayede klinikte çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (30). Bazı durumlarda ışıkla sertleşen rezin modifiye CİS'ler de daha düşük toz/likit oranı ile yapıştırıcı siman olarak kullanılabilenekte, bu şekilde ortodontik bant ve yer tutucuların simantasyonu sağlanabilmektedir (31).

2.1.3. Cam İyonmer Simanların İçeriğine Göre Sınıflandırılması

2.1.3.1. Geleneksel Cam İyonmer Simanlar

Geleneksel CİS'ler esas olarak üç ana bileşenden oluşur. Bunlar iyon bağlayabilen fluoroalüminosilikat cam içeren toz kısım ile suda çözünebilen poliakrilik asit ve su içeren likit kısım (32). Poliakrilik asit likit kısmın ana bileşeni olsa da maleik asit, itakonik asit ve tartarik asit gibi daha az visköz olan poliasitler de likit kısma eklenerek manipülasyon kolaylaştırılmıştır (11, 33).

Geleneksel CİS'ler poliakrilik asit ve fluoroalüminosilikat cam partikülleri arasında meydana gelen asit-baz reaksiyonu sonucunda sertleşir (**Resim 1**). Başlangıç sertleşme reaksiyonu, bileşenler arasında gerçekleşen şelasyon ile oluşur. Aköz poliasit olan poliakrilik asit, ince partiküllü fluoroalüminosilikat cam tozu ile reaksiyona girdiğinde Al^{+3} , Ca^{+2} ya da Sr^{+2} katyonları açığa çıkar. Bu katyonlar, poliasit zincirler arasında tuz köprüleri oluşturarak silikat hidrojel yapıyı meydana getirir. Bu olay şelasyon olarak adlandırılır. Ardından, reaksiyona girmeyen Ca^{+2} iyonları ile Al^{+3} iyonları yer değiştirip güçlü çapraz bağlar oluşturarak dayanıklı kalsiyum poliakrilat yapısını oluşturur (33-35).



Resim 1. Geleneksel cam iyonomer simanların sertleşme mekanizması (25).

Sertleşen geleneksel CİS'lerin diş sert dokularına adezyonu mikromekanik ve kimyasal olarak gerçekleşir. İlk aşama olan mikromekanik bağlanma, polialkenoik asit ile demineralize edilen mine yüzeyinde hidroksiapatit ile bağlı kollajen fibrillerin açığa çıkması ile meydana gelir. Asıl adezyonu sağlayan kimyasal bağlanma ise polialkenoik asidin karboksil (-COOH) grubu ile kollajen etrafındaki hidroksiapatitin kalsiyumu arasında gerçekleşen iyonik bağ ile sağlanır (17, 24).

CİS'lerin karakteristik özelliklerinden olan florid salımı, geleneksel CİS'lerde de sertleşme reaksiyonunda toz ve likit kısmı karıştırıldığında toz kısımdaki cam partiküllerin asit gruplarını nötrale etmesi sonucu meydana gelir. CİS'ler aynı zamanda floridli diş macunları, gargaralar ve yerel florid uygulamaları sonrası ortamdaki florid iyonlarını geri alma potansiyeline sahiptir (36).

Geleneksel CİS'ler, toz ve likit kısım bir karıştırma pedi üzerinde spatül yardımıyla karıştırılarak hazırlanabilir. Kapsül formunda toz ve likit kısmı bir membran ile ayrılmış şekilde üretilen ürünler ise otomatik karıştırıcılarda veya amalgamatörlerde karıştırılarak hazırlanır. Bu şekilde hazırlanan simanlar ağız içi uygulama için özel olarak tasarlanmış aplikatörlerle kaviteye uygulanır (37).

2.1.3.2. Cam İyonomer Sermet Simanlar

Geleneksel CİS'lerde dayanıklılığı artırmak için gümüş, altın gibi metaller eklenerek sermet simanlar elde edilmiştir. İlk olarak 1980li yıllarda gümüş amalgam

partikülleri eklenmiş (Miracle Mix, GC America, Inc., Alsip, Ill) ardından element halindeki gümüş de yüksek ısıda cam tozu ile birlikte eritilerek siman yapısına katılmıştır (Ketac-Silver, 3M ESPE, St. Paul, Minn, önceden ESPE, Seefeld, Almanya) (36, 38). Bu şekilde elde edilen yeni simanda metal kısmın mekanik baskıyı absorbe ederek simanın kırılma direncini azalttığı bildirilmiş, ancak daha sonraki çalışmalarda abrazyon ve kırılma direncine dayanıklılığı doğrulanmamıştır. (39, 40). Sermet simanlardaki florid salımı da geleneksel CİS'lere göre düşük bulunmuştur. Sermet simanlar, içeriğindeki titanyum oksit ve gümüş partiküller ile radyoopasitesi artırılmış materyaller olsalar da bu içerik nedeniyle oluşan gri renk, materyalin estetiğin ön planda olduğu bölgelerde kullanımını sınırlandırmıştır (24, 36).

Rapor edilen dezavantajları nedeniyle cam iyonomer sermet simanlar sadece belirli durumlarda (örn: stres almayan bölgelerdeki Sınıf I kavite) amalgam restorasyonların yerine kullanılmış ve 1990'lı yıllarda diş rengindeki rezin modifiye cam iyonomer simanların popüler hale gelmesiyle kullanımları oldukça azalmıştır (36, 41).

2.1.3.3. Rezin Modifiye Cam İyonomer Simanlar (RMCİS)

Geleneksel CİS'lerin çalışma süresi ve yüzey sertliği gibi mekanik özelliklerini artırmak amacıyla 1991 yılında rezin modifiye cam iyonomer simanlar (RMCİS) geliştirilmiştir (24). Geleneksel CİS'lere rezin eklenerek elde edilen RMCİS'ler, geleneksel CİS yapısındaki fluoroalüminosilikat cam tozu, su ve poliasit bileşenlerinin yanında kütlece %4,5 oranında monomer HEMA (2-hidroksietil metakrilat) ve ışıkla sertleşme reaksiyonunu (fotokimyasal polimerizasyon) başlatan kamforokinon içermektedir (42). Materyale eklenen rezin ile ilk sertleşme süresinin kısalması ve aşınma direncinin artması sağlanmıştır.

RMCİS'lerin mekanik özellikleri, küresel silika doldurucu eklenerek iyileştirilmeye çalışılmıştır. Buna göre silanlanmış silika partiküllerin eklenmesiyle basma ve bükülme dayanımının %17 oranında arttığı bildirilmiştir. (43). Bazı durumlarda poliasit bileşene yan zincirler eklenerek doymamış vinil grupları ortaya çıkar ve bu gruplar fotopolimerizasyon reaksiyonunda kovalent çapraz bağlar oluşturur. (37). RMCİS'lerin sertleşmesi asit-baz reaksiyonunu takip eden fotokimyasal polimerizasyon ile gerçekleşmektedir. Kırk saniye boyunca uygulanan görünür ışık simanın ilk

sertleşmesini sağlamaktadır. Sertleşen materyalin güvenilirliğinin bu iki ayrı fazda gerçekleşen karmaşık reaksiyon sonucu azalabilmesi nedeniyle materyalin en uygun özelliklerini elde etmek için üretici firma önerisi dışına çıkılmaması gerektiği bildirilmiştir (44).

RMCİS'lerde geleneksel CİS'lere özgü biyouyumluluk, diş sert dokularına fizyokimyasal olarak bağlanma, florid salımı, gibi önemli özelliklere ek olarak aşınma ve kırılma direnci, kolay uygulanabilirlik geliştirilen özellikler arasındadır. Bunların yanında ağız sıvılarında çözünabilirlik RMCİS'lerde geleneksel CİS'lere göre önemli ölçüde azaltılmıştır (24, 36).

2.1.3.4. Yüksek Viskoziteli Cam İyonomer Simanlar (YVCİS)

Geleneksel CİS'lerin toz kısmına poliakrilik asit eklenmesiyle oluşan yüksek viskoziteli cam iyonomer simanlar özellikle Atravmatik Restoratif Tedavi (ART)'nin diş hekimliğinde yaygınlaşması ile birlikte popüler hale gelmiştir (24, 45).

YVCİS'ler, daha yüksek toz/likit oranları ile mekanik özellikleri geleneksel CİS'lere göre artırılmış simanlardır. Bu nedenle literatürde "kondanse edilebilen cam iyonomer simanlar" olarak da adlandırılmaktadırlar. (37). Geliştirilen özellikler arasında bütün CİS'lerde ortak olan diş sert dokularına bağlanma ve iyon alışverişine ek olarak sertleşme süresinin kısalması, basma ve gerilme dayanımının artması ile yüzey sertliğinin artması sayılmaktadır (46).

Florid salımının YVCİS'lerde geleneksel CİS'lere benzer olduğu bildirilmiştir. (47). Bütün bu özellikler ile klinikte özellikle yüksek çürük risk grubundaki bireylerde fissür örtücü, kaide, geçici restoratif materyal ve stres almayan bölgelerde kalıcı restorasyon olarak kullanılmaktadır (48, 49).

Van't Hof ve ark. (2006), yaptıkları meta analiz çalışmasında ART yaklaşımında YVCİS'lerin orta viskoziteli CİS'lere göre daha uzun süre ağızda kaldığını ancak bunun sadece belirli markalar için geçerli olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle ART restorasyonlarında uzun dönemdeki takiplerde klinik başarısı yüksek bulunan ürünlerin

tercih edilmesi önerilmektedir (50).

2.1.3.5. Poliasit Modifiye Kompozit Rezinler (Kompomerler)

Rezin modifiye cam iyonomer simanların teknik hassasiyetini ve manipülasyondaki problemleri ortadan kaldırmak amacıyla 1993 yılından itibaren poliasit modifiye kompozit rezinler (kompomerler) piyasada yer almaya başlamıştır. Kompomer kavramı “kompozit” ve “cam iyonomer” sözcüklerinin birleşimiyle oluşan bir kısaltma olup, bu iki restoratif materyalin özelliklerini bünyesinde toplamıştır (51).

Kompomer yapısı asitte çözünebilen fluoroalüminosilikat cam partiküller ve polimerize edilebilen anhidroz polialkenoik asit monomerlerden oluşmaktadır. (32, 52). Doldurucu partiküllerden salınan katyonlar, ortamdaki su varlığında metakrilat ile polimerizasyonu gerçekleştiren asidik monomer içeriğindeki karboksil iyonları ile etkileşime girmektedir (53). CİS’lerden farklı olarak, bu asidik monomerler ışıkla sertleşme sırasında polimerize edilmektedir. Ayrıca kompomer yapısında CİS’lerin aksine su bulunmadığından cam partiküller ve asidik monomer arasındaki reaksiyon ortamdan alınan su ile gerçekleşmektedir (54).

Estetik açıdan CİS’lerden oldukça üstün olan kompomerler, diş dokularına bağlanabilmeleri için içerdikleri rezin bonding ajanları nedeniyle daha düşük seviyede florid salımı yapmaktadır (55). Kompozit rezinlere göre mekanik özelliklerinin daha düşük olması çürüksüz servikal lezyonlarda kullanımını kompozit rezinlere göre sınırlandırmaktadır (56).

2.1.3.6. Nanodoldurucu İçeren Cam İyonomer Simanlar

Nanoteknoloji, büyüklüğü 1-100 nm arasında değişen materyal ya da sistemler ile ilgilenen bilim dalıdır. Nanopartiküllerin eldesi yukarıdan aşağı (top-down) ve aşağıdan yukarı (bottom-up) teknikleriyle gerçekleşmektedir (57). Yukarıdan aşağı teknik, kütle halindeki materyallerden nanomateryal üretilmesi, aşağıdan yukarı teknik ise atomların birleştirilerek nanomateryallerin üretilmesi işlemidir. CİS’lere katılan nanopartiküller

genellikle yukarıdan aşağı teknikle apatit, silikat cam ve bazı metal oksitler gibi materyallerden elde edilmektedir (58).

CİS'lerdeki cam partikül boyutu ortalama 10-20 µm arasındadır. Çok daha küçük boyuttaki nano partiküller, CİS'lerin toz kısmına eklendiğinde daha geniş partikül dağılımı sağlamaları ve cam partikülleri arasındaki boşlukları doldurmaları ile güçlendirici materyal etkisi göstermektedir (59).

Rezin kompozitler gibi dental restoratif materyallere nano boyuttaki partiküllerin eklenmesi ile mekanik özelliklerin iyileştiği bildirilmiştir (60). Benzer yaklaşımlar CİS'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek için de gerçekleştirilmiştir.

Moshaverinia ve Borzabadi-Farahani (2016) yaptıkları çalışmada nano fluorapatit eklenen CİS'lerde yüzey sertliğinin arttığını bildirmişlerdir (61).

2.1.3.7. Cam Karbomer®

Cam karbomer®, yüksek biyoaktif özelliğe sahip yeni bir cam iyonomer bazlı restoratif materyaldir (37). Hollandalı *GCP Dental* firması tarafından üretilmiş ve ismi literatüre geçmiştir (62). Toz kısmındaki nano boyutlu partiküller ve fluorapatit kristalleri ile cam iyonomer formülasyonundan farklılık göstermektedir (63). Geleneksel cam iyonomer simanların zamanla fluorapatit benzeri bir yapıya dönüşmesi, fluorapatit eklenmiş bu yeni materyalin oluşumuna ortam hazırlamıştır (64). Yüksek viskoziteli CİS'lerde olduğu gibi, nanodoldurucu partiküllerin eklenmesi de cam karbomerlerde baskı dayanımı ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlamıştır (65). Ancak eklenen yüksek orandaki cam partikülleri ve fluorapatit kristalleri, sertleşme reaksiyonu sonunda simanın oldukça kırılgan bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur. Bu kırılgan yapıyı ortadan kaldırmak için toz kısma silikon yağı eklenmiştir (37).

Cam karbomerlerde likit kısım poliakrilik asittir. Sertleşme reaksiyonu sırasında cam partiküller ile poliakrilik asit ve fluorapatit ile poliakrilik asit arasında olmak üzere iki paralel reaksiyon gerçekleşir. Geleneksel CİS'lerden farklı olarak cam karbomerlerin sertleşme reaksiyonu 20 saniye boyunca termal ışık uygulanması ile hızlanmaktadır (66).

Biyomimetik diş hekimliğinde önemli bir gelişme olan cam karbomer ile henüz yeterli uzun dönem klinik çalışma bulunmamaktadır.

2.1.3.8. Giomer

Cam iyonomer simanların florid salımı yapma mekanizmasının asit-baz reaksiyonu ile gerçekleştiği bilgisi, önceden reaksiyona girmiş cam doldurucu (pre-reacted glass ionomer-PRG) yeni bir restoratif materyal üretimini sağlamıştır (67). Fluoroalüminosilikat cam ile polialkenoik asit arasında ortamdaki su varlığında gerçekleşen asit-baz reaksiyonu sonucu elde edilen PRG'lerin rezin matrisin içine katılmasıyla, florid salımı yapabilen "giomer"ler elde edilmiştir (68). Giomerlerin, PRG'ler ile hidrojel içindeki iyon alışverişi nedeniyle hızlı florid salımı yapması, onları diğer florid salımı yapan restoratif materyallerden ayırmaktadır. Resin yapı sayesinde elde edilen cilalanabilirlik ve estetik özellikler ile PRG'lerin sağladığı florid salımı ve geri alımı yapabilme, klinik kullanımda giomerlere avantaj sağlamaktadır (69).

2.1.4. Geleneksel Cam İyonomer Simanlar

Geleneksel cam iyonomer simanlar temel olarak organik asit ve bazik cam bileşenden oluştuğundan ve asit-baz simanlar olarak da adlandırılmaktadır. Likit asit bileşenin dehidrate edilerek toz kısmın içine dahil edildiği simanlar anhidroz CİS'ler olarak tanımlanır. Bu tür simanlar distile su veya tartarik asit solüsyonu ile karıştırılarak elde edilmektedir. Toz ve likit kısmı ayrı olan CİS'lerde cam bileşen ve florid toz kısmında, asit bileşen ise likit kısmında bulunmaktadır (29).

2.1.4.1. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Toz Kısmının Yapısı

Geleneksel cam iyonomer simanların toz kısmındaki cam partiküllerin iyon salımı yapabilen "bazik" cam partiküller olması, dolayısıyla asitlerle nötrleşme reaksiyonuna girebilmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik en ideal materyal florid (F^-) ve fosfat (PO_4^{3-}) eklenmiş alüminosilikat cam partiküller olarak bildirilmiştir (70).

Toz kısmındaki cam partiküller, en basit şekliyle " $SiO_2-Al_2O_3-CaF_2$ " olarak formüle edildiği üzere silikat, alüminyum oksit ve kalsiyum florid içermektedir. Silikat cam

partiküller, yapılarındaki SiO₄ bileşiğinin nötr olması nedeniyle reaktif değildir ve tek başına asit-baz reaksiyonuna giremez. Bu reaksiyonun gerçekleşebilmesi için silikat partiküllere alüminyumun (Al⁺³) yanında sodyum (Na⁺), kalsiyum (Ca⁺²), stronsiyum (Sr⁺²) gibi ekstra katyonlar eklenerek bazik özellik sağlanmaktadır (37).

CİS'lerin tanıtılmasından bu yana florid de cam partiküllerin başlıca bileşenlerinden olmuştur. Piyasadaki CİS'lerde sıklıkla kullanılan özel bir cam türü olan G338 camı (SiO₂-Al₂O₃-AlF₃-CaF₂-NaAlF₆-AlPO₄) yüksek düzeyde florid ve fosfat içermektedir. Bu iki element de anyon oluşturarak Ca ve Al ile tuz oluşturabilmektedir. (71, 72). Bazı CİS'lerde cam toz yapıdaki kalsiyumun yerine stronsiyum almıştır (73). Stronsiyum materyalin rengini değiştirmeden radyoopasitesini artırmaktadır. Stronsiyum florid (SrF₂), stronsiyum oksit (SrO) içeren CİS'lerde florid salımının daha fazla olduğu bildirilmiş olmasına rağmen bu durumun nedeni bilinmemektedir (37).

2.1.4.2. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Likit Kısmının Yapısı

Geleneksel cam iyonomer simanların likit kısmında bir polimer olan polialkenoik asit bulunmaktadır. Polialkenoik asit, homopolimer olarak poliakrilik asit ya da akrilik ve maleik asidin 2:1 oranındaki kopolimeri halinde kullanılmaktadır (37). Kullanılan polimer, sertleşmiş materyalin fiziksel özellikleri üzerine oldukça etkili olmaktadır. Polimerin molekül ağırlığı arttıkça oluşan simanın dayanıklılığı artmakta, ancak viskozite nedeniyle karıştırma güçleşmektedir. Bu nedenle ortalama molekül ağırlığının 11000 (sayı ortalaması) ve 52000 (kütle ortalaması) ile optimum özelliklerin elde edildiği bildirilmiştir (74).

Homopolimer akrilik asit içeren geleneksel CİS'lerde ilk basma dayanımının ilk 4-6 hafta içinde arttığı; akrilik/maleik asit kopolimeri içeren geleneksel CİS'lerde ise basma dayanımının belirli bir noktaya kadar artmasının ardından denge değerine ulaşana kadar azaldığı bilinmektedir. Basma dayanımının yüksekliği bir materyal için belirleyici bir özellik olmasa da bu değişim, kopolimer yapıdaki geleneksel CİS'lerde çapraz bağların yarattığı yoğunluk artışının bir sonucu olarak görülmektedir (30). Buna rağmen, kopolimer yapıdaki geleneksel CİS'lerde basma dayanımındaki azalmanın klinik olarak anlamlı olmadığı bildirilmiştir (37).

2.1.4.3. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Klinik Uygulama Alanları

Cam iyonomer simanlar kimyasal, mekanik ve biyolojik özellikleri sayesinde minimal invaziv tedavi anlayışında birçok kullanım alanına sahiptir. CİS'lerin restoratif diş hekimliğinde yapıştırma ajanı, kaide materyali ve restoratif materyal olmak üzere üç temel kullanım alanı bulunmaktadır (29).

Bu alanlara:

- Sınıf V kavite restorasyonları
- Çürük kontrolü amaçlı geçici restorasyonlar
- Kuron ve onlay preparasyonunda kavite andırkatlarının ortadan kaldırılması
- Dentin yerine geçen kaide materyali
- Kalan diş dokusunun %50'den fazla olduğu durumlarda kor üst yapı yapımı
- Süt azı dişlerinin restorasyonu
- Atravmatik Restoratif Tedavi (ART) tekniği
- Endodontik girişim yapılan dişlerde ara seans restorasyonları
- Sürekli anterior ve posterior dişlerin geçici restorasyonu
- Ortodontik bant simantasyonu ve braket adezyonu
- Subgingival çürük lezyonlarına komşu kuron marjinlerinin tamiri örnek verilebilmektedir (75).

CİS'ler biyoaktif ve adeziv özelliklerinin yanısıra terapötik etkileri ile endodontide de tercih edilmektedir. Yüksek düzeydeki biyouyumlulukları hem sert hem yumuşak dokuda kullanımlarını sağlamıştır. Kök kanal tedavisi süresince antimikrobiyal ajan olarak ve endodontik cerrahide kök ucu dolgu maddesi olarak CİS'ler kullanılabilir (68).

2.1.4.4. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Klinik Avantajları

Cam polialkenoat simanların geliştirilen ilk biçimi olarak tanıtılan geleneksel cam iyonomer simanların:

- Fluorid salımı-geri alımı yapabilmeleri
- Nemli mine ve dentine kimyasal olarak direkt bağlanabilmeleri,
- Diş renginde olmaları,

- Radyopak olmaları
- Termal genişleme katsayılarının diş dokularına benzer olması gibi özellikleri diş hekimliğinde kullanımlarını sağlamıştır (33, 36).

2.1.4.5. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Uygulamalarını Sınırlandıran Durumlar

Geleneksel CİS'lerin cam iyonomer materyaller sınıfında tanıtılan ilk sınıf olması beraberinde çeşitli dezavantajları da getirmiştir. Temel olarak fizyomekanik özelliklerinin zayıf olması ve mikrosızıntıya neden olması gibi problemler klinik kullanımını kısıtlamış ve çeşitli eklentiler yapılarak ve kimyasal formülasyonlarının değiştirilerek geliştirilmelerine ortam hazırlamıştır (33).

Geleneksel CİS'ler uzun sertleşme süresi gerektiren materyallerdir. Bunların dışında sertleşme reaksiyonu süresince ağız sıvılarında çözünmesi, sertleşme gerçekleşikten sonra düşük aşınma direncine ve kırılma dayanımına sahip olması, yüzey pürüzlülüğünün yüksek olması gibi özellikler dezavantajları arasındadır (76). Bu dezavantajları ile birlikte uzun dönem başarısının güvenilir olmaması, çocuk diş hekimliğinde kullanımlarını sınırlı hale getirmiştir (36).

2.1.5. Geleneksel Cam İyonomer Simanların Toz Kısımına Yapılan Eklemeler

Çocuk diş hekimliğinde ART'nin yaygınlaşması ile geleneksel CİS'lerin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi gerektiği düşünülmüştür (77). CİS'lerin özellikle posterior dişlerdeki kullanımı, amalgam ve kompozit rezinlere göre mekanik özelliklerindeki yetersizlikler nedeniyle sınırlanmıştır. Bu nedenle CİS matriksini değiştirmeye yönelik adımlar atılmış ve CİS'lerin toz kısmına çeşitli doldurucular eklenerek fiziksel özelliklerinde iyileştirilme amaçlanmıştır. Bu dolduruculara hidroksiapatit tozu, biyoaktif cam partikülleri, metalik tozlar, fiberler ve montmorillonit kil örnek verilebilir (78, 79).

2.1.5.1. Hidroksiapatit Eklenmesi

Yapılan çalışmalarda diş minesinin temel yapısını oluşturan hidroksiapatit (HA), cam iyonomer tozu içine katılmıştır.

Yap ve ark. (2002), piyasada bulunan bir cam iyonomer simana kütlece %4, %12 ve %28 oranında HA eklendiğinde oluşturulan yeni materyalin basma kırılma dayanımı ve çap gerilme direncinin ekleme yapılmayan cam iyonomer simana göre benzer olduğunu ve HA içeren cam iyonomer simanların iyi mekanik özellik gösteren ümit verici materyaller olduğunu bildirmişlerdir (80).

2.1.5.2. Biyoaktif Cam Eklenmesi

Biyoaktif camlar yüksek biyouyumluluğa sahip olan ve yüzey reaktif olmaları nedeniyle diş sert dokuları ile kolayca bütünleşebilen materyallerdendir (81).

Yli-Urpo ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada piyasada bulunan bir cam iyonomer simana kütlece %10 oranında biyoaktif cam partikülleri eklemiş ve 180 günün sonunda kırılma dayanımının ekleme yapılmayan cam iyonomer simana göre azaldığını bildirmişlerdir (82).

2.1.5.3. Metalik Tozların Eklenmesi

Yapılan çalışmalarda cam iyonomerlerin toz kısmına alüminyum, krom, nikel-alüminyum, paslanmaz çelik, titanyum dioksit gibi metal tozları eklenmiştir. 1983 yılında Simmons'ın küresel amalgam tozunu cam iyonomer simanlara katma önerisi Miracle Mix (GC Corporation) ürünü piyasaya sunulmuştur (83).

Kerby ve Bleiholder (1991), yaptıkları çalışmada Miracle Mix grubunun ortalama basma kırılma dayanımı ve çap gerilme direncinde paslanmaz çelik tozu eklenmiş CİS grubuna göre anlamlı bir azalma olduğunu bildirmişlerdir (84).

Williams ve ark. (1992), yaptıkları çalışmada Miracle Mix grubunda ortalama üç nokta bükülme direnci ve iki nokta bükülme direncinin geleneksel CİS grubuna göre arttığını, ancak basma kırılma dayanımında ve çap gerilme direncinde değişiklik olmadığını bildirmişlerdir (40).

Elsaka ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada kütlece %3 ve %5 oranlarında TiO₂ nano-tozu eklenmiş CİS grubunda ortalama basma kırılma dayanımı ve üç nokta bükülme

direncinde modifiye edilmemiş geleneksel CİS grubuna göre anlamlı bir artış olduğunu bildirmişlerdir (85).

Dowling ve ark. (2014) yılında yaptıkları çalışmada TiO₂ nano tozu eklenmiş CİS grubunda basma kırılma dayanımı ve bükülme direnci özelliklerinde geleneksel CİS grubuna göre anlamlı iyileşme gözlemlenmediğini bildirmişlerdir (86).

2.1.5.4. Fiber Eklenmesi

Sced ve Wilson (1980), karbon ve alüminyum oksit fiberlerin cam iyonomer tozuna eklendiğinde ortalama bükülme direnci değerlerinin arttığını bildirmişlerdir (22).

Oldfield ve Ellis (1991), karbon ve alüminyum oksit fiber eklenmiş cam iyonomer simanların bükülme direncini araştırmışlardır. Dört nokta bükülme direncinin karbon fiber eklenmiş cam iyonomer simanlarda arttığı, alümina fiber eklenmesinin ise cam iyonomer simanların kırılma dayanımını arttırdığını bildirmişlerdir (87).

Kobayashi ve ark. (2000), kısa cam fiberlerin cam iyonomerlerin toz kısmına kütlece %60 oranında eklendiğinde ortalama çap gerilme direncinin ve üç nokta bükülme direncinin arttığını, ancak cam fiberlerin %60'tan daha fazla eklenmesi halinde bu değerlerde azalma olduğunu bildirmişlerdir (88).

Lucksanasombool ve ark. (2002), kütlece %30'dan daha fazla cam fiber eklenmesinin materyalde artan poröziteye dolayısıyla kırılma dayanımı değerlerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir (78).

Lohbauer ve ark. (2003), reaktif cam fiber eklenmiş cam iyonomer simanlarda, ekleme yapılmamış kontrol grubuna oranla dört nokta bükülme direncinde anlamlı bir artış olduğunu bildirmişlerdir (79).

Ali Abou Neel ve ark. (2017), cam iyonomer siman toz kısmına keten lifinden elde edilen fiberler eklendiğinde basma ve bükülme direncinde artış olduğunu bildirmişlerdir (89).

2.1.5.5. Montmorillonit Kili Eklenmesi

Dowling ve ark. (2006), cam iyonomer tozuna iki tip (kalsiyum ve aminododekanoid asit) montmorillonit kilini (MMT) (Ca-MMT ve ADA-MMT) kütlece farklı oranlarda ekleyerek basma kırılma dayanımı açısından değerlendirmişlerdir. Basma kırılma dayanımı her iki tip MMT kili için de %0,5 ve %1 oranlarında CİS tozuna eklendiğinde artış göstermiştir (90).

2.1.5.6. Karbon Nanotüplerin (CNT) Eklenmesi

Bhat ve ark. (2013), geleneksel CİS tozuna kütlece 2 farklı oranda çoklu duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) eklemişler ve kütlece %1 oranında MWCNT eklenen grupta basma dayanımı ve yüzey sertliği değerlerinin kontrol grubu ve %2 oranında MWCNT eklenen gruba göre artış gösterdiğini bildirmişlerdir (10).

2.2. Karbon Nanotüpler (CNT)

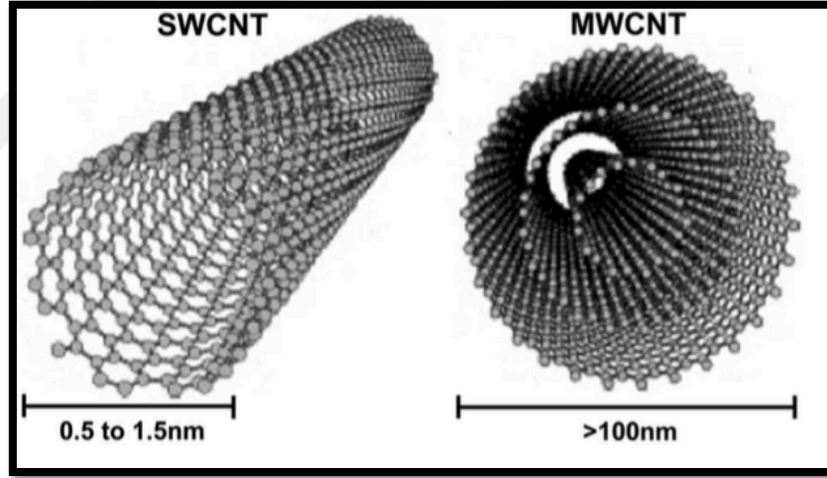
Bir karbon filamentin üzerinden elektrik akımı geçtiğinde parlamasının keşfedildiği günden beri, karbon atomu özgün özellikleri ile bilim adamlarının merak konusu olmuştur (91). İlk olarak Ijima tarafından 1991 yılında keşfedilen karbon nanotüpler, nanoboyutlu olmaları, kendilerine özgü elektronik, termal, mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olmaları ile nanoteknoloji alanında kullanılan önemli nanomateryaller arasında sayılmaktadır (6, 92).

2.2.1. Karbon Nanotüplerin Yapısı

Karbon nanotüpler birbirine sp^2 bağları ile bağlı hegzagonal örgüde karbon (C) atomlarından oluşan, düzenli sıralı, içi boş silindirik nanoyapılardır (93). Bir karbon atomu çok çeşitli tipte allotrop oluşturabilir. Örneğin üç boyutlu (3D) yapılarda elmas ve grafit, karbonun allotroplarıdır. Karbon aynı zamanda karbon nanomateryaller olarak bilinen iki (2D) ve tek (1D) boyutlu allotroplar da oluşturabilir (94). Bu karbon nanomateryaller içinde de grafitin iki boyutlu ve tek tabakalı olan biçimi grafen adını alır.

Grafenin, yapısındaki sp^2 bağları sayesinde sp^3 bağları içeren elmastan daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir (95).

Karbon nanotüplerin yapısal dizaynı, bir grafen tabakanın yuvarlandığında oluşturduğu görüntü ile açıklanabilir. Bu şekilde oluşan tek tabakalı yapı tek-duvarlı (single-walled) karbon nanotüp (SWCNT) ile isimlendirilmektedir. Birden fazla grafen tabakanın iç içe geçmesi ile oluşan yapı ise çoklu-duvarlı (multi-walled) karbon nanotüp (MWCNT) olarak adlandırılmaktadır (93) (**Resim 2**). Bu iki tip CNT, kristal yapılarındaki farklılıklardan dolayı farklı optik, elektriksel, fiziksel ve kimyasal özellik göstermektedir. CNT'ler saf karbondan oluşan izomorfaları grafitten, silindir haline getirilmiş grafen yapısı ile ayrılır. Grafit ise kat kat grafen tabakalarından oluşan düz bir yapıdır. Dizayndaki bu farklılık CNT'lerin grafitte göre mekanik özellikler açısından daha güçlü, biyolojik olarak da daha aktif olmasını sağlamıştır (96).



Resim 2. Tek-duvarlı karbon nanotüp (SWCNT) ve çoklu-duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) yapısının kesitsel gösterimi (97).

SWCNT'lerin çapları yaklaşık olarak 0,5-1,5 nm arasında, uzunlukları ise 100 nm'den 18 cm'ye kadar değişebilmektedir (98). MWCNT'lerin çapı ise, çok katmanlı yapılarından dolayı 100 nm'yi aşmaktadır. İki katman arası ortalama uzaklık 0,34 nm olarak bildirilmiştir (93). CNT'lerin çap uzunluklarının üçlü sarmal kolajen fiberlerin çap uzunluklarına yakın olduğu ve bu sayede kemik oluşumunu hızlandırabilecek bir materyal olabileceği bildirilmiştir (99).

2.2.2. Karbon Nanotüplerin Özellikleri

2.2.2.1. Elektriksel İletkenlik

Bir grafen tabakasının yuvarlatıldığında oluşan görüntüsü CNT'lerin ana formunu oluşturmaktadır. Bu yuvarlatılmanın derecesi aynı zamanda CNT'lere bir kiralite (ayna görüntüsü oluşturabilme) değeri vermektedir. Kiralite değerine göre CNT içindeki bağların iletkenlik derecesi belirlenmektedir. Yine bu kiralite değerine göre CNT'ler ya metalik ya da yarı iletken özellik göstermektedir. MWCNT'lerin duvarlar arası bağları, akımın her bir tüpten farklı miktarda geçirdiği için MWCNT'lerin elektriksel iletkenliklerini belirlemek zor olmaktadır. Ancak SWCNT'lerin farklı bölgelerinde aynı miktarda akım geçtiği bildirilmiştir (100).

2.2.2.2. Dayanıklılık ve Elastisite

Bir grafit düzleminde, her bir karbon atomu, 3 adet karbon atomuyla güçlü birer kimyasal bağ kurmaktadır. Bu molekül yapısı sayesinde CNT'ler güçlü elastisite, dolayısıyla dayanıklılık göstermektedir. Örneğin SWCNT'lerin elastisite modülünün çelikten daha yüksek olduğu (yaklaşık 1,8 TPa) bilinmektedir (101). MWCNT'lerde ise elastisite modülünün nanotüp duvarlarındaki düzensiz dizilim miktarına bağlı olduğu bildirilmiştir (102).

2.2.2.3. Isı İletkenliği ve Genleşme

Karbon nanotüpler düzlemsel karbon- karbon (C-C) bağları sayesinde -253°C 'ye kadar yüksek ısı iletkenlik gösterebilmektedir. Bu güçlü C-C bağları çok dikey gerilme kuvvetlerine karşı CNT'lerin yüksek derecede dayanıklılık ve dirençli olmasını sağlamaktadır. Düzlemsel boyuttaki genleşme miktarının yüksek olması ve yüksek ısı iletkenlikleri sayesinde CNT'lerin, eklendiği materyallerin termomekanik ve termal özelliklerini iyileştirebileceği düşünülmektedir (94).

2.2.2.4. Emicilik

Karbon nanotüpler düşük ağırlıkları ve üstün fiziksel, mekanik ve elektriksel özelliklerinin yanında yüksek emici özellik göstermelerinden dolayı hava ve su filtrasyonu için ideal materyallerdendir (94).

2.2.2.5. Antimikrobiyal Özellik

Karbon nanotüplerin antimikrobiyal etkinliklerinin hedef mikroorganizma ile doğrudan fiziksel temasları ve oluşturdukları oksidatif stres sonucu oluştuğu bildirilmiştir (103, 104). Bu şekilde gram pozitif ve gram negatif bakterilere karşı etkinliğini bildiren çalışmalar bulunmaktadır (105, 106).

Spizzirri ve ark. (2015), CNT içeren fluorokinolon-jelatin biyokonjugatının *K. pneumoniae* ve *E. coli* üzerinde antibakteriyel etkisini göstermiştir. Bu çalışmada CNT varlığının, fluorokinolonun etkisini artırdığı bildirilmiştir (103).

Nie ve ark. (2017), gümüş nanopartikül yüklü karbon nanotüpten elde edilen film kaplamanın uzun dönemde *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı antibakteriyel etki gösterdiğini bildirmiştir. (107).

2.2.2.6. Biyouyumluluk ve Potansiyel Toksikite

Son yıllarda yapılan, CNT'lerin olası toksisitesini araştıran çalışmalarda CNT'lerin hücre apoptozu ya da nekrozuna neden olduğu bildirilmiştir (108). Hücrede toksik etki gösterdiğini savunan çalışmalarda bu etki oksidatif stres, DNA hasarı ve mitokondride işlev bozukluğu olarak kendini göstermiştir (109, 110). Saf CNT'lerin vücut içinde asbest benzeri bir yapı oluşturması plevral mezotelyoma oluşturma riski yaratmaktadır (111). Bu nedenle CNT yüzeyinin uygun kimyasal moleküller ya da tepkimelerle fonksiyonlaştırılması gerektiği bildirilmiştir (112). CNT'lerin toksisitesinin yapılarındaki nikel ve kobalt gibi katalizör metal artıkları ile iğne şekilli uzun fibröz yapıları kaynaklı olabileceği de öne sürülmüştür (113).

Kayat ve ark. (2010), karbon nanotüplerin solunum yoluyla vücuda alındığında kan dolaşımına katılarak diğer organlara yayıldığında oluşturacağı etkinin konsantrasyon ve doza bağlı olarak değişebildiğini bildirmişlerdir. Bu sistematik derlemede rapor edilen *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda CNT'lerin oksidatif stres ve belirgin pulmoner enflamasyona neden olduğu bildirilmiştir (114).

Gupta ve ark. (2013), kemik rejenerasyonunda kullanılan SWCNT ve poli (laktik-ko-glikolik) asit birleşiminin 12 hafta boyunca *in vivo* olarak biyoyumluluk gösterdiğini ve düşük yüzdede kullanılan SWCNT'nin toksisiteye sebep olmadığını bildirmişlerdir (115).

Zhu ve ark. (2016), MWCNT'lerin *S. cerevisiae* üzerindeki toksik etkisinin mitokondri işlev bozukluğu yolu ile gerçekleştiğini bildirmişlerdir (116).

Harik ve ark., (2017), CNT'lerin geometrik yapısının olası toksik etkisi ile birlikte CNT-asbest benzerliğini araştıran çalışmaları incelemişlerdir. Bu derlemenin sonucunda CNT'lerin toksisitesinin, sahip oldukları geometri (uzunluk, görüntü oranı) solunabilirlikleri ve makrofajlar tarafından fagosite edilebilmeleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (117).

Karbon nanotüplerin biyoyumlulukları ve toksisitelerine ilişkin farklı görüşler olsa da insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkisi ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır (118).

2.2.3. Karbon Nanotüplerin Uygulama Alanları

Karbon nanotüplerin kullanım kolaylığı, fiyat performans oranının uygunluğu, düşük güç gereksinimleri ile birlikte yüksek hassasiyetleri gibi özellikleri çok farklı alanlarda kullanımına izin vermiştir (119).

2.2.3.1. Ham Madde Olarak Kullanımları

Karbon nanotüpler, kullanıldığı malzemenin içinde ağ yapıları oluşturarak malzemenin üzerine etki eden kuvvetlere karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır (120).

- Tekstil:

Su geçirmez ve yırtılmaya dirençli kumaş üretimi

- Zırh ve beden koruma

CNT fiberleri ile kurşun geçirmez ve hafif komando yelekleri üretimi

- Spor malzemeleri:

Golf topu, daha hafif tenis raketi ve bisiklet ekipmanlarının üretimi

- Köprüler:

Çelik yerine geçen CNT'ler ile süspansiyon sistemi ve köprü yapımı

2.2.3.2. Elektromanyetik Alanda Kullanımları

- Güneş pilleri

- Ampul flamanları:

Tungsten flamanlara alternatif olarak CNT flamanlar kullanılabilir (121).

- Mıknatıslar:

MWCNT'ler ile güçlü bir manyetik alan oluşturulabilir (121).

- Elektromanyetik antenler:

Dayanıklılıkları, düşük ağırlıkları ve iletkenlikleri ile CNT'ler radyo antenlerinin üretiminde kullanılabilir (121)

2.2.3.3. Elektroakustik Alanda Kullanımları

- Hoparlörler:

Birbirine paralel CNT tabakaları ile hoparlörler üretilmektedir (120).

2.2.3.4. Mekanik Alanda Kullanımları

- Osilatörler

- Su geçirmez materyaller (örn: süperhidrofobik pamuk)

2.2.3.5. Elektriksel Devre ve Transistörlerde Kullanımı

Karbon nanotüpler düşük güç girişi ile daha yüksek akım değeri elde edilmesini dolayısıyla enerji tasarrufunu sağlamaktadır. Bunun dışında elektriksel ve mekanik kararlılık açısından üstün özellikleri bulunmaktadır.

- Bilgisayar çipi gibi elektronik cihazların yapımı için gerekli olan diyotlar CNT'ler kullanılarak üretilmektedir (120).

2.2.3.6. Kimya ve Çevre Alanında Kullanımları

- Hava ve su filtreleri:

Karbon nanotüpler geniş yüzey alanları ve yüksek emici özellikleri sayesinde olduğu için zehirli kimyasal maddelerin havadan, klorid gibi tuzların ve biyolojik kirleticilerin de sudan ayrılmasında ideal bir filtre olarak kullanılabilir (120, 122).

- Kimyasal nanokablolar
- Sensörler:

CNT'den elde edilen sensörler sıcaklık, hava basıncı ve karbon monoksit, amonyum gibi kimyasal gazlar ile molekül basıncı, gerilme gibi değerleri ölçebilmekte; aynı zamanda karbon monoksit ve amonyum gibi zehirli kimyasal gazların ortamdaki varlığını da saptayabilmektedir (123).

2.2.3.7. Biyoteknoloji ve Biyomedikal Alanda Kullanımları

2.2.3.7.A. Yapısal ve Fonksiyonel Görüntüleme:

Yüksek görüntü oranları, dayanıklılıkları ve kimyasal kullanışlılıkları sayesinde CNT'ler, standart atomik kuvvet mikroskobu (AFM) tarayıcı uçlarına göre daha iyi çözünürlük elde edilmesini sağlamaktadır. Bu iyileşme, tarayıcı uç çapının CNT'ler kullanıldığında küçülmesi ile açıklanabilir. Standart AFM uç çapı yaklaşık olarak 5-10 nm iken özellikle SWCNT'ler kullanıldığında 1-2 nm'ye kadar düşmektedir.

CNT'ler oldukça katı, elastik deformasyon gösteren materyaller (Young modülü yaklaşık 1 TPa) olduğundan standart uçlara göre avantaj sağlamaktadır (124).

2.2.3.7.B. Biyosensör olarak kullanımları

Karbon nanotüpler, protein reseptörleri veya DNA ile etkileşime girerek eser miktardaki (hidrojen peroksit, NADH, dopamin vb.) kimyasal maddelerin tespit edilmesinde kullanılabilir (125). Bu etki, reseptörün kimyasal molekül ile etkileşime girmesi sonucu CNT'ye iletilen akım sayesinde sağlanmaktadır (126).

CNT'lerin küçük biyomoleküller ve proteinlerin varlığında anlamlı bir şekilde iletkenlikleri değişmektedir. SWCNT yapıları bir cihaz sayesinde mitokondrideki sitokrom C'nin yüzeye tutunması *in situ* olarak tespit edilebilmiştir (127).

Lerner ve ark. (2013), insan kanı ve tükürüğündeki glikoz miktarını belirleyebilen, boronik asit ile fonksiyonlaştırılmış CNT esaslı bir cihaz geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada bu cihazın standart glukometrelerden daha hassas ölçüm yapabildiği bildirilmiştir (128).

2.2.3.7.C. Molekül Taşıyıcı Olarak Kullanımları

Hücre membranından geçebilmeleri ve kimyasal özellikleri sayesinde CNT'ler ilaç molekülleri, DNA, çeşitli protein ve moleküllerin memeli hücrelerine taşınmasında rol oynayabilmektedir (129). Yapılan bir çalışmada biotin ile fonksiyonlaştırılmış SWCNT'lerin insan promiyelositik lösemi hücreleri (H60), insan T-hücreleri ve Çin hamster yumurta hücresi tarafından hücre içine alınarak özümsebildiği gösterilmiştir (130).

2.2.3.7.D. Rejenerasyon ve Doku Mühendisliği Alanında Kullanımları

Karbon nanotüpler, mekanik ve biyolojik özellikleri ve işlenebilirlikleri sayesinde rejeneratif tıp alanında ilgi çekici hale gelmiştir (131). Karbon nanotüplerin aynı zamanda farklı hücre gruplarıyla kolayca ve kuvvetli etkileşime girmeleri doku mühendisliğinde kullanımlarının önünü açmıştır (132).

Gupta ve Lahiri (2016), MWCNT içeren doku iskelelerinde rat hipokampal nöronlarının rejenere olduğunu gözlemlemiştir. Araştırmacılar bu iskelelerin mekanik ve elektriksel sinyaller ile nöronal rejenerasyona katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir (133).

Mukherjee ve ark. (2016), güçlendirici olarak MWCNT eklenmiş hidroksiapatit (HA) matriksin *in vivo* olarak osseoentegrasyon ve kemik oluşumunu artırdığını bildirmişlerdir (134).

Ahadian ve ark. (2017), poliester-CNT içerikli hücre iskelesi üzerinde kardiyak dokunun rejenerasyonunun iyileştiğini bildirmişlerdir (135).

Tanaka ve ark. (2017), üç boyutlu porlu MWCNT iskeleleri üzerinde osteoblast tutunması ve proliferasyonunu *in vitro* ve *in vivo* olarak gözlemlemiştir. Bu araştırma sonunda CNT'lerin iyi osteokondüktif etki gösterdiği, kemik defektlerinin tedavisi ve doku mühendisliği yaklaşımında kullanılabileceği bildirilmiştir (136).

2.2.4. Karbon Nanotüplerin Diş Hekimliğinde Kullanımları

Karbon nanotüplerin biyomedikal alandaki avantajları diş hekimliğinde de kullanılabileceği düşüncesini ortaya çıkarmıştır (137). Bu düşünce ile yapılan çalışmalarda CNT'lerin dental kompozitlerin ve implantların dayanıklılığını iyileştirdiği bildirilmiştir (7, 138). Bunun dışında rejenerasyon alanında oldukça önemli bir adım olan hücre iskelesi oluşturabilmenin ve hücre adezyonunun da CNT'ler tarafından gerçekleştirildiği bildirilmiştir. (96). CNT'ler üzerinde hidroksiapatit oluşumu da rapor edilen çalışmalar arasındadır (131).

Akasaka ve ark. (2009), CNT'leri diş kesitlerinin dentin yüzeyine örtücü olarak kullandıkları çalışmada CNT'lerin dentin ve sement yüzeyine selektif olarak bağlanabildiğini ve CNT yüzey örtücünün dentin adezivlerinin gerilme bağlanma dayanımını etkilemediğini bildirmişlerdir (139).

Sa ve ark. (2013), sodyum hyaluronat ile modifiye edilmiş CNT'lerin diyabetli rat alveol soketlerinde kemik tamirini iyileştirdiklerini bildirmişlerdir (140).

Kou ve ark. (2013), fonksiyonlaştırılmış MWCNT'leri dental zirkonya üzerinde örtücü olarak kullanmışlardır. Araştırmacılar, zirkonya esaslı seramik yüzeylerde MWCNT örtücü kullanmanın yüzey pürüzlülüğünü arttırdığından zirkonya implantlarda daha iyi osseoentegrasyon sağlanacağını bildirmişlerdir (141).

Bhat ve ark. (2013), geleneksel cam iyonomer simanlara kütlece belli oranlarda MWCNT ekleyerek baskı dayanımı ve yüzey sertliği açısından değerlendirmişlerdir. Bu araştırma sonucunda kütlece %1 oranında MWCNT eklenmesinin baskı dayanımı ve yüzey sertliğinin kontrol grubuna göre artış gösterdiği bildirilmiştir (10).

Zaporotskova ve ark. (2014), SWCNT eklenmesinin kompozitlerin sertliğini neoparabenil materyale göre 15 kat artırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, diş hekimliğinde kullanılan bir dental plastik olan *carbodont* matriksine %0,005 oranında CNT eklenmesinin ise materyalin renginde önemli bir değişiklik olmadan materyal performansını anlamlı derecede iyileştirdiğini bildirmişlerdir (142).

Flores-Cedillo ve ark. (2016), MWCNT yapılı hücre iskelesi üzerinde insan dental pulpa kök hücrelerinden (HDPSC) kemik doku rejenerasyonunu inceledikleri çalışmada 21 gün sonunda HDPSC'lerde osteojenik farklılaşma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışma ile MWCNT'lerin HDPSC'ler için sitotoksik olmadığını bildirmişlerdir (143).

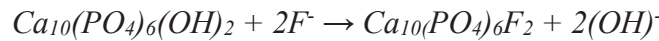
Suo ve ark. (2017), dentin yüzeyi için geliştirdikleri SWCNT ve MWCNT esaslı yüzey örtücülerin makaslama bağlanma dayanımı ile CNT örtülü dentinin antibakteriyel özelliklerini *in vitro* olarak değerlendirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda hem SWCNT hem MWCNT'nin makaslama bağlanma dayanımını değiştirmeden dentin yüzeyinde stabil bir örtücülük sağladığını gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak, araştırmacılar SWCNT esaslı örtücünün MWCNT esaslı örtücüye göre anlamlı derecede daha yüksek antibakteriyel özellik gösterdiğini bildirmişlerdir (137).

Yapılan araştırmalar doğrultusunda, karbon nanotüpler dental materyallere belirli oranlarda ilave edildiğinde üstün mekanik ve fiziksel avantajlar sergilediği belirlenmiştir. Karbon nanotüplerin bu avantajlarının, çocuk diş hekimliğinde kullanılabilmesi için florid salımına etkileri, yüzey özellikleri ve antibakteriyel etkinliklerinin de değerlendirildiği daha çok sayıda *in vitro* çalışmaya gereksinim duyulmaktadır.

2.3. Florid Salım ve Geri Alım Ölçümleri

2.3.1. Floridin Diş Çürüğünü Önleme Üzerine Etkisi

Floridin diş çürüğünü önleyici etkisi yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır (144). Floridin bu etki mekanizması demineralizasyonu önleme, remineralizasyonu hızlandırma ve antimikrobiyal aktivite olarak belirlenmiştir. Ağız sıvılarında düşük konsantrasyonda bulunan florid, asit atağı sırasında mine yüzeyindeki apatit kristalleri tarafından soğurularak demineralizasyonu engellemektedir. Oral kavitede pH nötrale döndüğünde ortamda bulunan florid iyonları, mine hidroksiapatitindeki (HA) hidroksil (OH⁻) iyonları ile yer değiştirerek fluorapatit (FA) oluşturur (**Resim 3**). Bu yeni oluşan FA yapısı sayesinde remineralizasyon hızlanmakta ve gelecek asit ataklarına karşı direnç artmaktadır (145).



Resim 3. Fluorapatit oluşumu.

Floridin dental plak içindeki antimikrobiyal aktivitesi, çürük yapıcı mikroorganizma olarak bilinen *Streptococcus mutans*'ın virülans faktörü olan glukan sentezinin ve karbonhidrat metabolizmasını sağlayan enzimi enolazın inhibisyonu olarak açıklanmaktadır (69).

2.3.2. Cam İyonomer Simanların Fluorid Salım ve Geri Alım Özellikleri

Cam iyonomer simanlardan florid iyon salımı iki mekanizma ile açıklanmaktadır: Birinci mekanizma, kısa dönemli olup sertleşmesi tamamlanan simanın en dış tabakasından sıvı ortama hızlı çözünmesi ile karakterizedir. İkinci mekanizma ise siman kitlesinden kademeli, yavaş ve sürekli olarak iyon salınması şeklinde açıklanmaktadır (146). CİS'lerden florid salımı antibakteriyel etkilerine katkı sağlayan önemli bir özelliktir (147). Restoratif materyallerden kısa ve uzun dönemde florid salımında materyalin doğası, içindeki florid miktarı ve sertleşme reaksiyonu gibi birçok faktör etkili olmaktadır (148). CİS'lerin önemli özelliklerinden biri de dış kaynaklardan florid geri alabilme ve aldığı iyonları tekrar salabilmeleri sayesinde florid rezervuarı görevi görebilmeleridir (149). Jel, vernik, diş macunu gibi topikal uygulamalarda CİS'lere florid yeniden yüklenebilmektedir. Aynı zamanda CİS'ler ile restore edilen dişlere komşu dişlerde de florid salımı yapmanın yarattığı koruyucu etki gösterilmiştir (150).

2.3.3. Fluorid Analizi İçin İyon Selektif Elektrot (İSE) Yöntemi

Florid analizi için kullanılan yöntemler arasında gaz kromatografi, iyon kromatografi, spektrofotometre ve florid iyon selektif elektrod (İSE) sayılmaktadır (151). Günümüzde florid selektif elektrod yöntemi hızlı, hassas ve basit olması sayesinde biyolojik ortamda yapılan çalışmalarda en sık kullanılan yöntem haline gelmiştir (152).

Florid iyon selektif elektrod bir epoksi gövdeye bağlı algılayıcı elementten oluşmaktadır. İSE yöntemi genellikle lantanum florid kristali içeren bir membran üzerinden elektrik potansiyeli oluşturarak solüsyondaki florid iyon aktivitesini, dolayısıyla florid konsantrasyonunu değerlendirmektedir (152).

ISE analizi için örneklerde florid iyonunun çözünebilmesi gerekmektedir. Örnekleri aynı iyonik güç ve pH'ta standardize etmek için bir tamponlayıcı solüsyon "TISAB" (total-ionic strength adjustment buffer) kullanılmaktadır. TISAB içindeki sikloheksilendinitrotetraasetik asit, demir ve alüminyum ile kararlı bileşik oluşturarak

fluorid iyonlarının serbest kalmasını, bu şekilde örnekten salınan fluorid miktarının belirlenmesini sağlamaktadır (153).

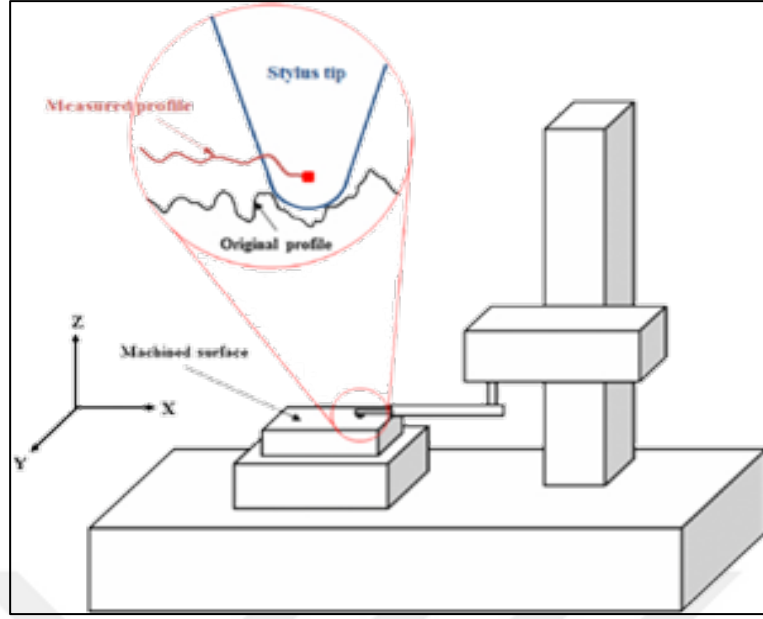
2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

2.4.1. Dental Restoratif Materyallerde Yüzey Pürüzlülüğünün Önemi

Dental restoratif materyallerin yüzey özellikleri, yapılan restorasyonun klinik başarısını etkileyen önemli faktörlerdendir (154). Yüzey pürüzlülüğü, materyal üzerinde zamanla çürük etkeni mikroorganizmaların tutunması ve çoğalması ile plak retansiyonuna neden olarak sekonder çürük ve periodontal hastalıkların gelişimine ortam hazırlamaktadır (155, 156). Bu nedenle materyalin yüzey pürüzlülüğünün az olması restorasyonun uzun dönemde devamlılığını sağlamaktadır (3).

2.4.2. Profilometre Cihazı

Materyallerin yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi için birçok teknik bulunmaktadır. Dental materyallerde yüzey pürüzlülüğünün incelendiği çalışmalarda ışık ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve gibi kalitatif yöntemler ile atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve yüzey profilometri gibi kantitatif yöntemler kullanılmaktadır. Yapılan birçok *in vitro* çalışmada yüzey pürüzlülüğü profilometre cihazı ile değerlendirilmiştir (157-159). Profilometre cihazı ile materyal yüzeyi üzerindeki düzensizliklerin (dalgalanmaların) tepe ve vadi noktalarının mutlak toplamalarının aritmetik ortalamasını belirten Ra değerini ölçmektedir (**Resim 4**). Ra değeri materyalin ortalama yüzey pürüzlülüğünü ifade etmektedir (3).



Resim 4. Profilometre cihazının şematik gösterimi (160).

2.5. Antibakteriyel Özelliklerin Değerlendirilmesi

2.5.1. Cam İyonomer Simanların Antibakteriyel Etkileri

Diş çürüğü etiolojisindeki primer bakteri olduğu bildirilen *Streptococcus mutans* asidojenik ve asidürik doğasından dolayı kaviteli çürük lezyonlarında, erken çocukluk çağı çürüğü (EÇÇ) olgularında ise hem tükürükte hem de dental plak içinde izole edilmiştir (161). Yüzey antijenleri ve glukan sayesinde diş yüzeyine ve diğer bakterilere kolayca tutunabilmektedir (162). Geniş pH aralığında varlığını sürdürebilen ve laktik asit üretimi ile çürük etkeni bir diğer bakteri olan *Lactobacillus casei*'nin diş yüzeyine tutunması, *S.mutans* tarafından kolaylaştırılmaktadır (163).

Çürük temizlenmesi sırasında kavitedeki patojen mikroorganizmalar ortadan tamamen kaldırılamadığında sekonder çürük olasılığı artmaktadır. **Ricketts (2008)**, yaptığı sistematik derlemenin sonucunda, çürük temizlenmesi sırasında pulpa açılmasına neden olmamak için bir miktar dekalsifiye dentinin kavite tabanında bırakılabileceğini bildirmiştir (164). Bu gibi durumlarda kullanılacak restoratif materyalin kavitedeki

rezidüel kariyojenik bakterilere karşı antibakteriyel etki göstermesi, dolayısıyla sekonder çürük oluşumunun önlenmesi istenmektedir (165, 166).

Cam iyonomer simanların dental restoratif materyaller arasında en çok kariyostatik etki gösteren materyaller olduğu bildirilmiştir. Bu etkinin florid salımı yaparak, demineralizasyonu azaltıp remineralizasyonu hızlandırmaları ve bakteri proliferasyonunu engellemeleri ile ilgili olduğu düşünülmektedir (146).

Dental materyallerde antibakteriyel etkinliklerinin incelenmesinde sıklıkla Agar disk difüzyon testi (ADT) ve doğrudan temas testi (DTT) kullanılmaktadır. ADT, antibakteriyel ajanların agar içine difüze olduktan sonra oluşturdukları bakteriyel inhibisyon alanının ölçülmesi tekniğidir (167). ADT, antibiyotik duyarlılığı testlerinde rutin ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Kolay uygulama, çok sayıda mikroorganizma ve antimikrobiyal ajan ile ölçüm yapılabilme, fiyat uygunluğu gibi avantajlarıyla dental restoratif materyal çalışmalarında tercih edilmektedir (4). Ancak ADT yöntemindeki kısıtlamalar ve gelişen teknoloji araştırmacıları alternatif yöntemler bulmaya yönlendirmiştir.

2.5.2. Doğrudan Temas Test Yöntemi (DTT)

Günümüzde antibakteriyel etkinliğin değerlendirilmesinde kullanılan Doğrudan Temas Testi (DTT) yöntemi incelenecek örnekler ile bakteri arasında belirli zaman süresince doğrudan temas olması temeline dayanmaktadır (168). Hazırlanan örnekler ile kaplanan standart mikroplaklarda bakteriyel solüsyon inkübe edilmektedir. Bu işlem sonrasında sıvı kısmın buharlaşması ve incelenecek örnek yüzeyi ile bakterinin doğrudan temas etmesi sağlanmaktadır. Kinetik bakteriyel üreme spektrofotometre ile optik yoğunluk ölçülerek değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda antibakteriyel etkinliğin değerlendirilmesinde DTT yönteminin ADT yöntemine göre daha başarılı sonuçlar verebileceği bildirilmiştir (169).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

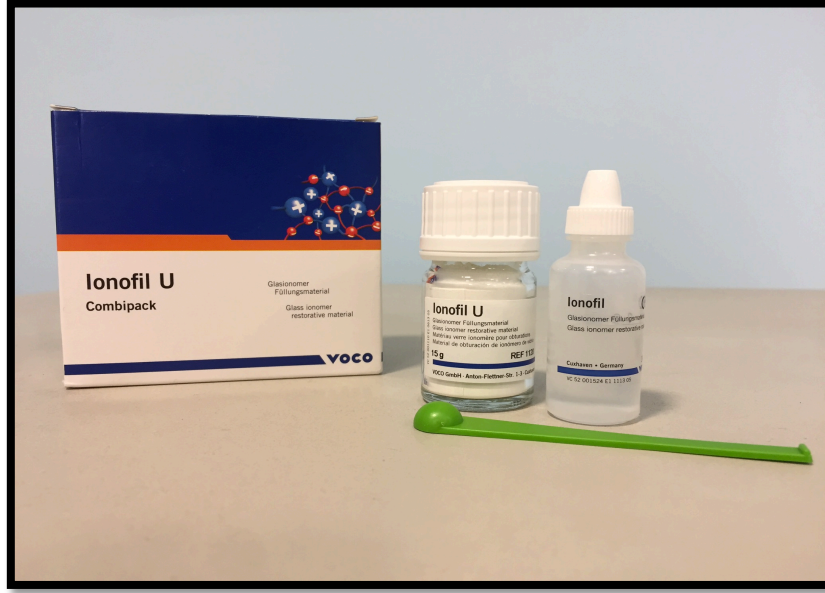
Bu çalışmada toz/likit sistemli geleneksel cam iyonomer siman (Ionofil U® Voco, Germany) (**Resim 5**) ve çoklu duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) (Nanografi Nanotechnology, Ankara) kullanıldı (**Resim 6**).

Deney grupları kütlece MWCNT içerme yüzdelere (% wt) göre oluşturuldu (G1: %1 wt, G2: %2 wt, G3: %3 wt). Kontrol grubu MWCNT içermeyen CİS grubu olarak belirlendi (G0) (**Tablo 1**). Bu çalışma, farklı oranlarda MWCNT eklenen materyallerin florid salım ve geri alım kapasitelerini karşılaştırmak, yüzey pürüzlülüklerini değerlendirmek ve antibakteriyel özelliklerini analiz etmek amacı ile *in vitro* koşullarda yürütüldü.

Kullanılan Materyaller

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kontrol ve deney grupları.

Grup	İçerik	Marka	Partikül büyüklüğü
G0	Geleneksel CİS (fluoroalüminosilikat cam/poliakrilik asit)	Ionofil U® (Voco, Germany)	CİS: 5 µm
G1	Geleneksel CİS + %1 wt MWCNT	Ionofil U® (Voco Germany) MWCNT (Nanografi, Nanoteknoloji, Ankara)	CİS: 5 µm MWCNT:8-10 nm
G2	Geleneksel CİS + %2 wt MWCNT	Ionofil U® (Voco Germany) MWCNT (Nanografi, Nanoteknoloji, Ankara)	CİS: 5 µm MWCNT:8-10 nm
G3	Geleneksel CİS + %3 wt MWCNT	Ionofil U® (Voco Germany) MWCNT (Nanografi, Nanoteknoloji, Ankara)	CİS:5 µm MWCNT:8-10 nm



Resim 5. Deneyde kullanılan geleneksel cam iyonomer siman Ionofil U®.



Resim 6. Deneyde kullanılan çoklu duvarlı karbon nanotüp (Nanografi).

3.1. Fluorid Salımı ve Geri Alımı Deneyi

Bu çalışmanın fluorid salım ve geri alım deneyi Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Sert Doku Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Yapılan güç analizi sonucunda %80 güç ve %5 tip 1 hata payı ile fluorid salımı ve geri alımı deneyi için gerekli örnek sayısı her grup için 10 olarak belirlendi (n=10).

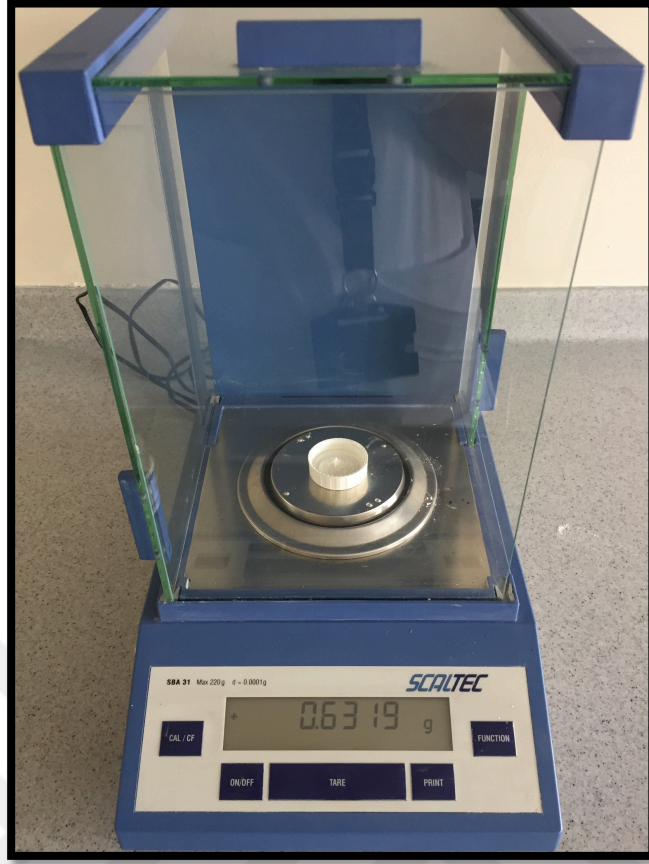
Deney grupları kütlece MWCNT içermeye yüzdelere (% wt) göre (%1 wt, %2 wt, %3 wt) üç alt gruba ayrıldı (G1, G2, G3). Kontrol grubu MWCNT içermeyen CİS grubu olarak belirlendi (G0) (**Tablo 1**).

Örneklerin hazırlanması:

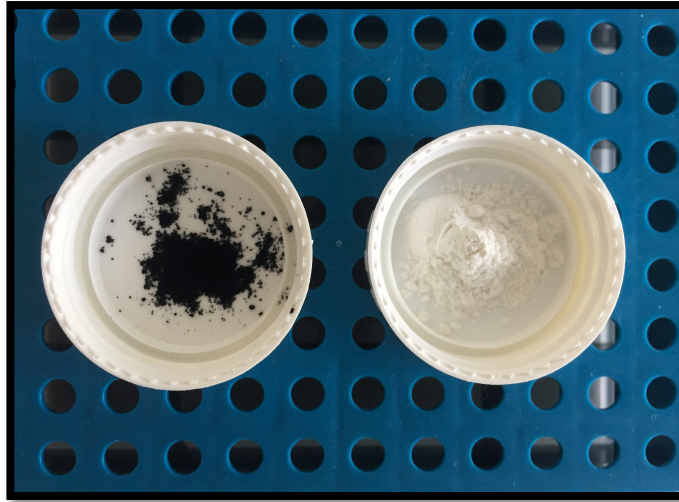
Deney grubundaki her grup için gerekli olan MWCNT miktarı, fanuslu bir dijital hassas terazi yardımı ile (Scaltec SBA 31, Scaltec Instruments GmbH, Germany) (**Resim 7 ve Resim 8**) hesaplandıktan sonra CİS toz kısmına eklendi ve üretici firma önerisi doğrultusunda (1:1,7) likit kısım ile karıştırıldı.

Kontrol grubu direkt olarak firma önerisi doğrultusunda, herhangi bir ilave olmaksızın hazırlandı. Karıştırma işlemi özel karıştırma kağıtları üzerinde ve metal bir siman spatülü ile gerçekleştirildi. Hazırlanan simanlar 9 mm çapında ve 3 mm derinliğindeki (9x3 mm) standart silikon kalıplara yerleştirildi (**Resim 9**).

Simanlarda düz bir yüzey elde edilmesi ve hava kabarcığı kalmaması için kalıpların her 2 yüzünde asetat kâğıdı ve siman camı kullanıldı. Kalıpların dışına taşan fazla siman uzaklaştırıldı. Kimyasal sertleşme reaksiyonu tamamlandıktan sonra (10 dk) hafif bir parmak basıncı ile silikon disklerden çıkarılarak 600 grit silisyum karbit su zımparası ile cilalanarak yüzey hazırlıkları tamamlandı (**Resim 10**). Örnekler bu işlemin ardından deiyonize su içeren plastik kapların içinde %100 nemli ortamda 37°C'de 1 saat boyunca inkübe edildi (**Resim 11**).



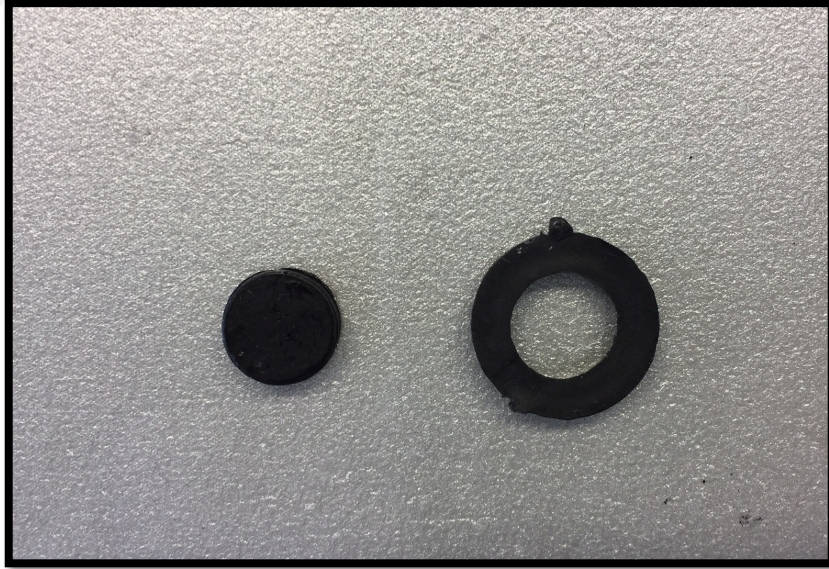
Resim 7. Deneyde kullanılan hassas terazi Scaltex SBA 31.



Resim 8. Karbon nanotüp materyali (sol) ve Ionofil U®'nun toz kısmı (sağ).



Resim 9. Örneklerin hazırlanmasında kullanılan gereçler.



Resim 10. Preparasyonu tamamlanmış MWCNT içeren bir deney grubu örneği.



Resim 11. 37°C’de etüvdeki örnekler.

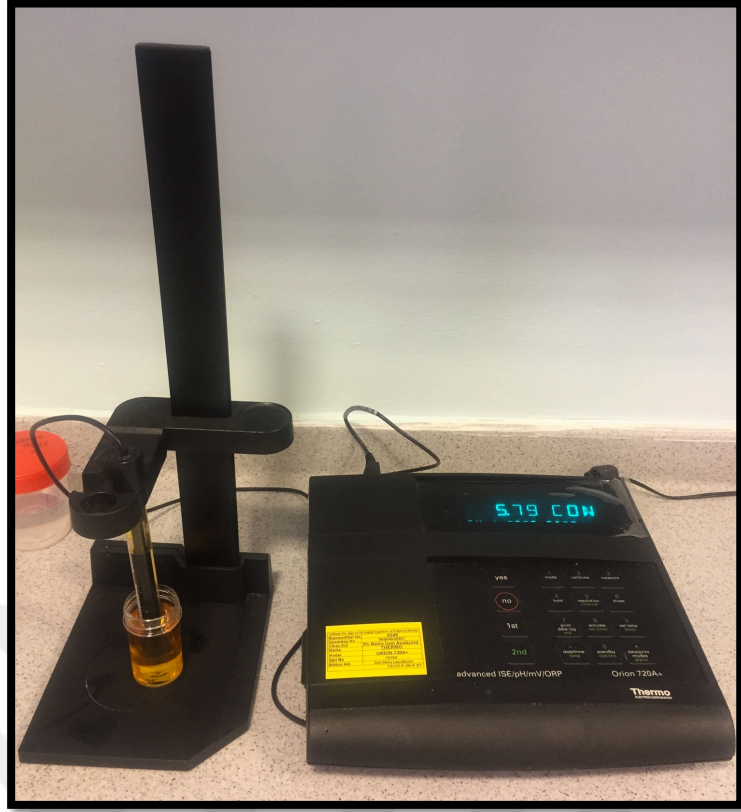
3.1.1. Fluorid Salımı Deneyinin Yapılışı

Yüzey hazırlığı biten örneklerin her biri ayrı ayrı 10 ml deiyonize su (pH: 6,5) içeren plastik deney tüplerine yerleştirildi. Örnekler bu işlemin ardından etüvde (Memmert GmbH, Germany) 37°C’de 24 saat boyunca bekletildi (**Resim 11**).

Çalışma dizaynına göre örneklerden salınan florid miktarı 24 saat, 48 saat, 72 saat, 7. gün, 15. gün ve 28. günlerde ölçüldü. Çalışmada 72 saat-7. gün, 7.-15. günler ve 15-28. günler arasındaki florid salımı kümülatif olarak ölçüldü.

Fluorid İyon Selektif Elektrodun Kalibrasyonu

Her ölçüm gününde iyon analiz cihazına (Orion 720A+, Thermo USA) (**Resim 12**) bağlı florid-selektif elektrodun kalibrasyonunu sağlamak amacıyla 100 ppm florid içeren standart florid solüsyonundan (Orion ionplus® Application Solution, Thermo Scientific, USA) 10 ml alınarak 90 ml deiyonize su ile seyreltildi ve 10 ppm F içeren 1. standart solüsyon hazırlandı. Hazırlanan bu solüsyondan 10 ml alınarak başka bir kaptaki 90 ml deiyonize suya eklendi ve bu şekilde 1 ppm F içeren 2. standart solüsyon hazırlanmış oldu. 2. solüsyondan da 10 ml alınarak 90 ml deiyonize su içeren başka bir kaba eklendi ve bu şekilde de 0,1 ppm F içeren 3. standart solüsyon elde edildi (**Resim 13**). Her solüsyondan sıvı alımı sırasında kullanılan mikropipet ucu değiştirildi. Hazırlanan solüsyon kapları numaralandırılarak daha küçük hacimdeki kaplara her bir solüsyondan 10 ml olmak üzere aktarıldı. Bu işlemin ardından 1 ml TISAB III solüsyonu 0,1 ppm F içeren solüsyona eklendi ve karıştırıcı cihazında (MS1 Minishaker, IKA, Germany) karıştırıldıktan sonra elektrod ile ölçüm yapıldı. TISAB III solüsyonu (Orion ionplus® Application Solution, Thermo Scientific, USA) daha sonra diğer konsantrasyonda F içeren kaplara da eklendi ve işlem tekrarlandı.



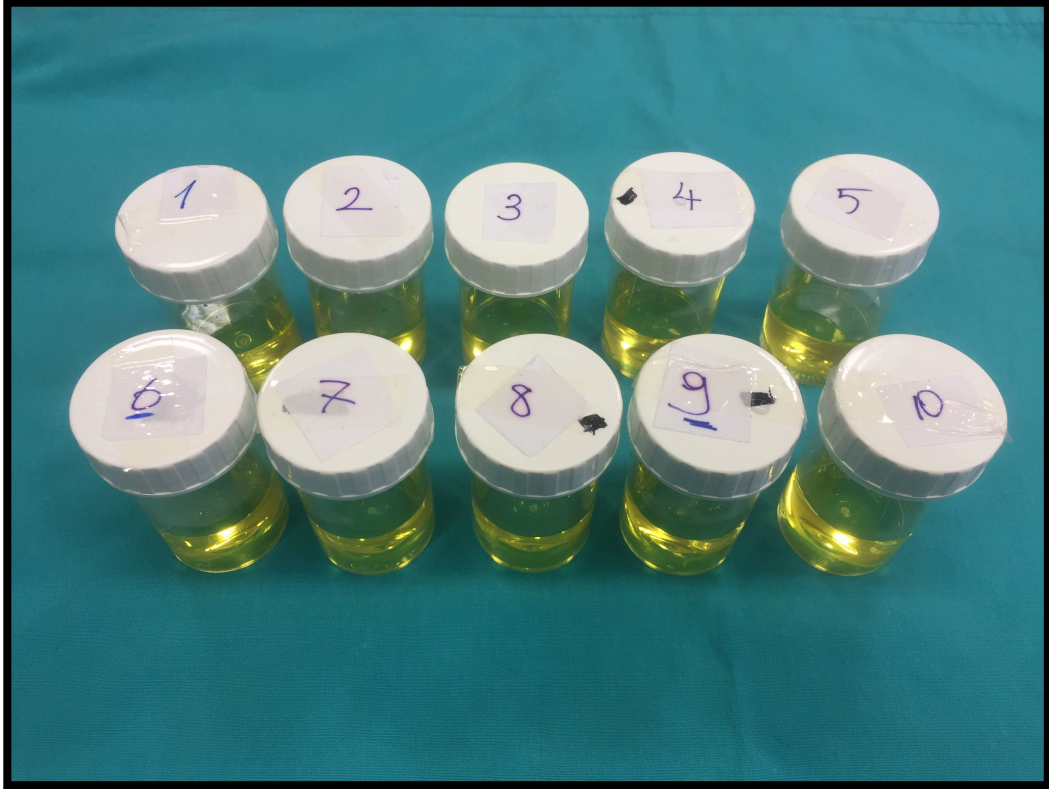
Resim 12. Deneyde kullanılan iyon analiz cihazı ve florid -selektif elektrot.



Resim 13. Deneyde kullanılan standart solüsyonlar ve mikropipet.

Hazırlanan standart solüsyonlar her iki günde bir yenilendi. Bu solüsyonlar en düşük ppm değerinden başlayacak şekilde ölçülerek elektrodun kalibrasyonu gerçekleştirildi. Her ölçüm sonrasında elektrod ucu deiyonize su ile yıkandı.

24 saatin sonunda her örnekten salınan florid miktarı örneklerin deney tüplerinden çıkarılıp deiyonize su ile yıkanma sonrası ölçüldü. Bu ölçüm için saklama solüsyonu olan 10 ml deiyonize suya 1 ml TISAB III solüsyonu eklenerek karıştırıcıda karıştırıldı (**Resim 14**). Her bir örnekten salınan florid miktarı, iyon analiz cihazına bağlı kalibrasyonu sağlanmış bir florid-selektif elektrot ile ölçüldü. Bu prosedür 48 saat, 72 saat, 7. gün, 15. gün ve 28. günlerdeki ölçümlerde de aynı şekilde tekrarlandı. Her ölçüm sonrası örneklerin içinde bulunduğu solüsyonlar 10 ml deiyonize su ile yenilendi. Ölçümler ppm cinsinden hesaplandı.



Resim 14. Fluorid iyon analizi için hazırlanan örnekler.

3.1.2. Fluorid Geri Alımı Deneyinin Yapılışı

Örneklerin 28 günlük florid salım değerlerinin ölçümlerinin sonunda örnekler saklama solüsyonlarından çıkarılarak 2 ml deiyonize su ile yıkandı ve kurumaları beklendi. Ardından örneklerin tüm yüzeylerine %5 sodyum florid (22,600 ppm F) içeren vernik (Colgate® Duraphat® Varnish) uygulandı (**Resim 15**). Örnekler bu işlemin sonrasında 4 dakika boyunca kuru ortamda bekletildi. Bu uygulamanın ardından örnekler yıkanarak tekrar 10 ml deiyonize su içeren tüplere yerleştirildi. Bu şekilde 28 gün bekleyen örneklerin 24 saat, 48 saat, 72 saat, 7. gün, 15. gün ve 28. gün sonundaki florid geri alımları ölçüldü. Çalışmada 72 saat-7. gün, 7-15. günler ve 15-28. günler arasındaki florid geri alım değerleri kümülatif olarak ölçüldü. Ölçümler ppm cinsinden hesaplandı.



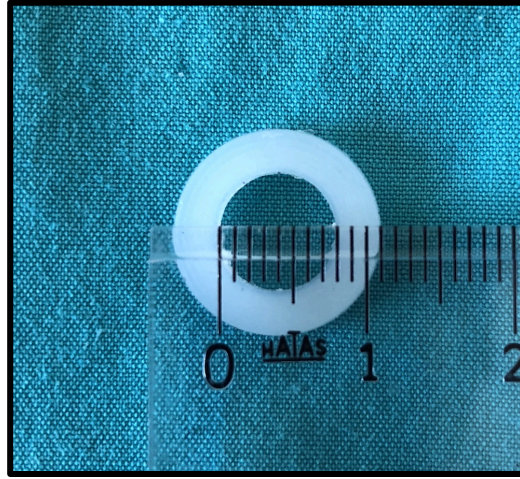
Resim 15. Fluorid geri alımı deneyinde örneklere uygulanan florid vernik.

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyi

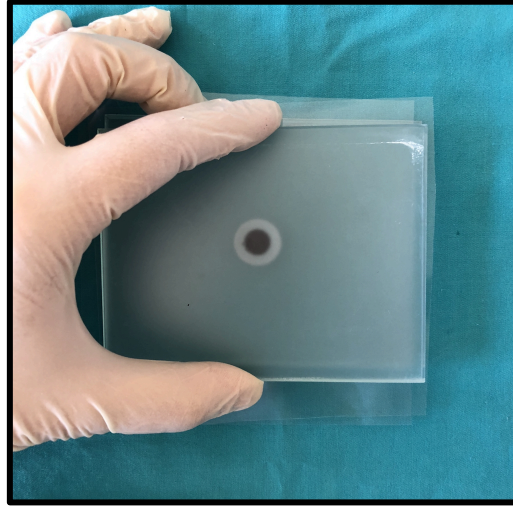
Bu çalışmanın yüzey pürüzlülüğü deneyi Yeditepe Üniversitesi Sert Doku Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Bu çalışmanın yüzey pürüzlülüğü deneyi kısmı için gerekli örnek sayısı, yapılan güç analizi sonucu %80 güç ve %5 tip 1 hata payı ile kontrol ve deney grupları için 10 olarak belirlendi (n=10).

Örneklerin hazırlanması:

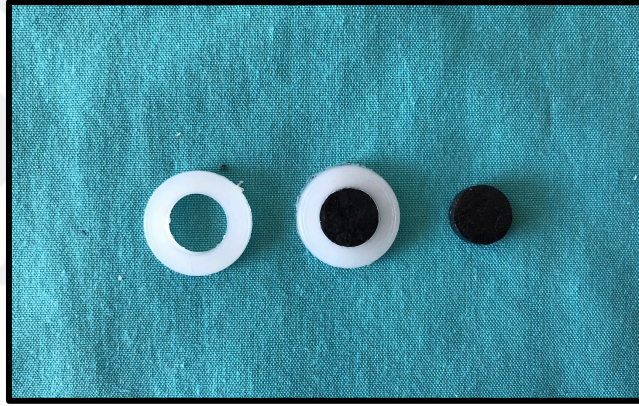
Yüzey pürüzlülüğü deneyi için materyal örnekleri **Tablo 1**'de belirtilen gruplara göre kullanılarak üretici firma önerisi doğrultusunda hazırlanan simanlar 8x3 mm boyutlarındaki standart silikon kalıplara yerleştirilip üzerleri asetat kaplı siman camı ile hafifçe basınç uygulanarak fazlalıkları uzaklaştırıldı (**Resim 16 ve Resim 17**). Bu şekilde hazırlandıktan sonra 10 dakika boyunca sertleşme reaksiyonu gerçekleşen simanlar hafif parmak basıncı ile kalıplardan çıkarıldı (**Resim 18 ve Resim 19**).



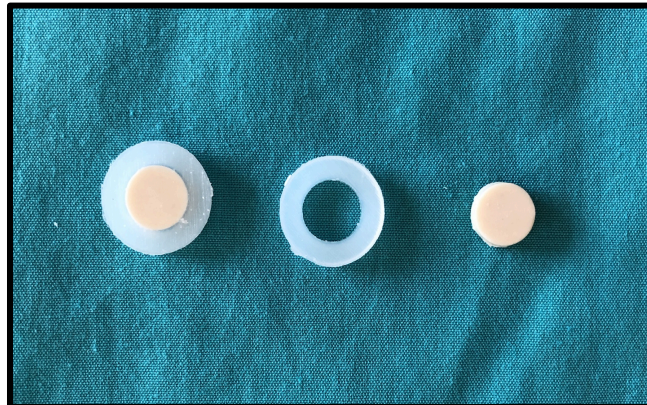
Resim 16. Deneyde kullanılan standart silikon kalıbın çapı.



Resim 17. Asetat kağıdı ve cam ile örneklerin hazırlanma aşaması.



Resim 18. Hazırlanma aşaması tamamlanan bir deney grubu örneği.



Resim 19. Hazırlanma aşaması tamamlanan bir kontrol grubu örneği.

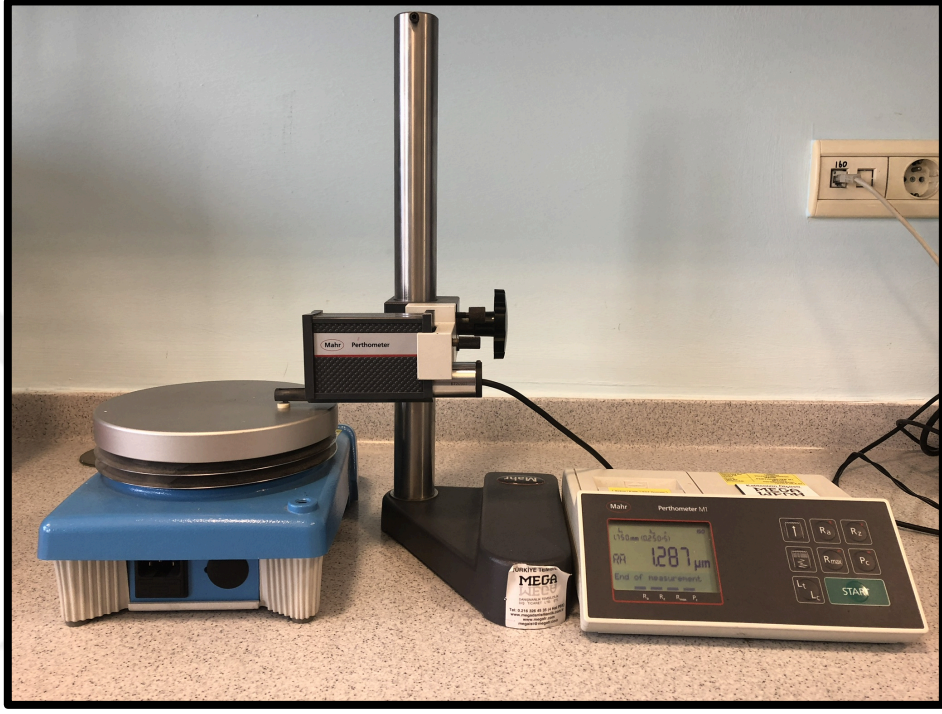
Kalıplarından çıkarılan örnekler, yüzeylerine vazelin uygulanarak kuru ortamda 3 saat bekletildi. Ardından sırayla 600 ve 800 grit silisyum karbit su zımparası ile tüm yüzeyleri cilalandı (**Resim 20**). Cilalanan örnekler 30 mL deiyonize su içeren numune kaplarında 37°C’de 24 saat bekletildi ve profilometre cihazı (Perthometer M1, Mahr) ile ölçüme hazır duruma getirildi (**Resim 21**).



Resim 20. Deneyde kullanılan su zımparası cihazı (Phoenix Beta Grinder Polisher, Buehler).

3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyinin Yapılışı

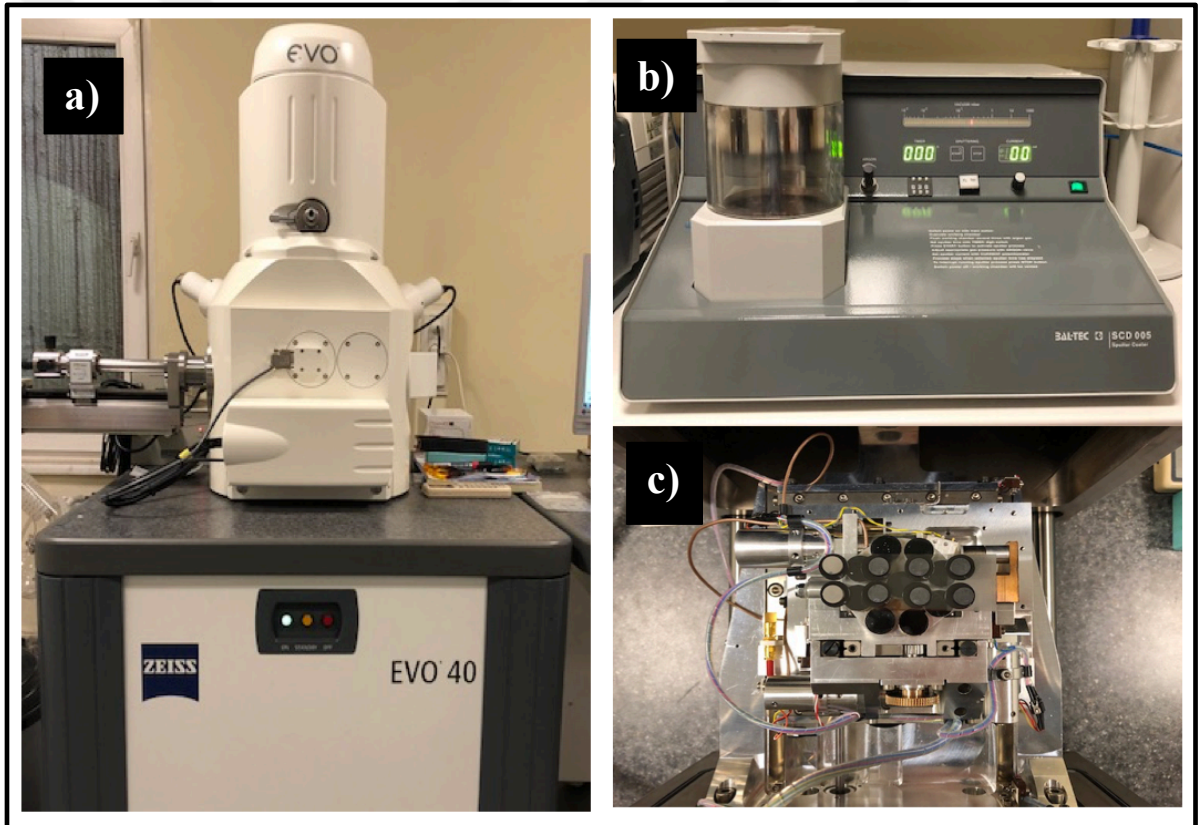
Hazırlanan örneklerin yüzey pürüzlülüğü analizi yüzey profilometre cihazı (Perthometer M1, Mahr) ile gerçekleşti (**Resim 21**). Profilometre cihazında ölçüm dışı mesafe (cut-off) 0,8 mm ve ölçüm uzunluğu 1,5 mm olarak alındı. Her bir örnek için ölçüm yüzeyinde 120° dönme sağlanarak 3 nokta ölçümü yapıldı ve ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra- μ m) düzeyinde hesaplandı.



Resim 21. Deneyde kullanılan yüzey profilometre cihazı (Perthometer M1, Mahr).

3.2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntülemesi

Bu çalışmanın SEM görüntülemesi Yeditepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nanobiyoteknoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Farklı örnek grupları arasındaki yüzey özelliklerinin görüntülenmesi için bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) (EVO 40, Zeiss, Germany) kullanıldı. SEM görüntülemesi öncesi Her gruptan rastgele seçilen 1'er örnek bir silika jel içeren desikatörde 72 saat boyunca bekletilerek tamamen kurutuldu. Örnekler bu işlemin ardından SEM görüntülemesi için 30 saniye boyunca 12-13 nm altın ile kaplandı (SCD 005 Sputter Coater, Baltec). Tüm gruplara ait görüntüleme, x500 ve x1000 büyütmede yapıldı (**Resim 22**).



Resim 22. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleme aşamaları: **(a)**: SEM cihazı-EVO 40, Zeiss, Germany **(b)**: Altın kaplama cihazı-SCD 005 Sputter Coater, Baltec **(c)**: Altın ile kaplanmış SEM içindeki örnekler.

3.3. Antibakteriyel Etkinlik Deneyi

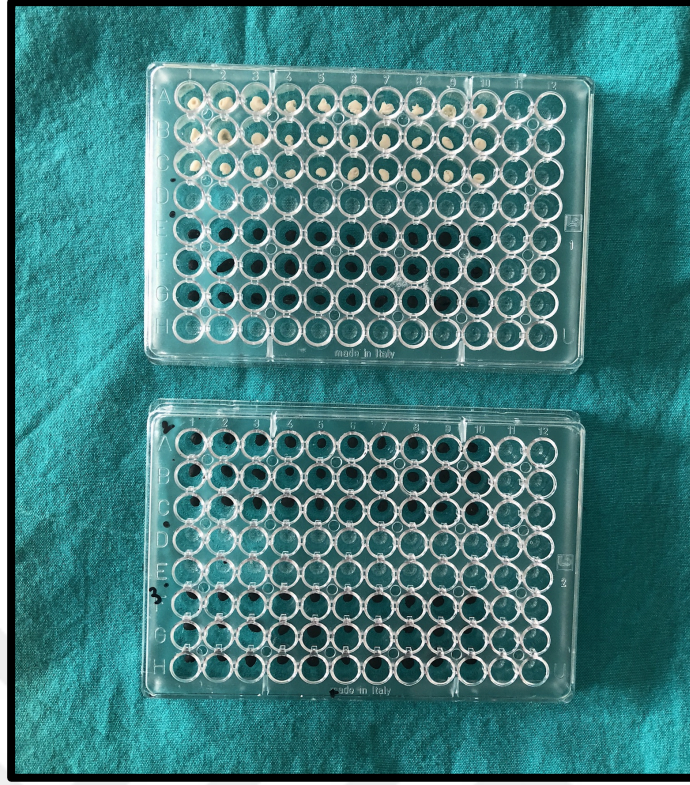
Bu çalışmanın antibakteriyel etkinlik deneyi İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Mikrobiyolojisi Laboratuvarı'nda yürütüldü. Kütlece farklı oranlarda MWCNT ilave edilen grupların antibakteriyel etkinlikleri doğrudan temas testi (DTT) ile değerlendirildi. Antibakteriyel özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla çürük oluşumunda önemli rolü olan *Streptococcus mutans* ATCC 25175 bakterisinin standart suşu kullanıldı.

Bakteri Süspansiyonunun Hazırlanması:

Çalışmada kullanılan *Streptococcus mutans* bakterilerinin standart suşları İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Mikrobiyolojisi Laboratuvarı'ndan temin edildi. Çalışmada *S. mutans*'ın Brain Heart Infusion (BHI) agarda (Merck KGaA 64271 Darmstadt, Germany) besiyerine ekilerek 24 saatlik inkübasyonu sonucu elde edilen taze kültürleri kullanıldı. Bakteri süspansiyonu, BHI buyyon içeren tüplerde sulandırılarak 10^6 cfu/ml olacak şekilde hazırlandı.

Örneklerin hazırlanması:

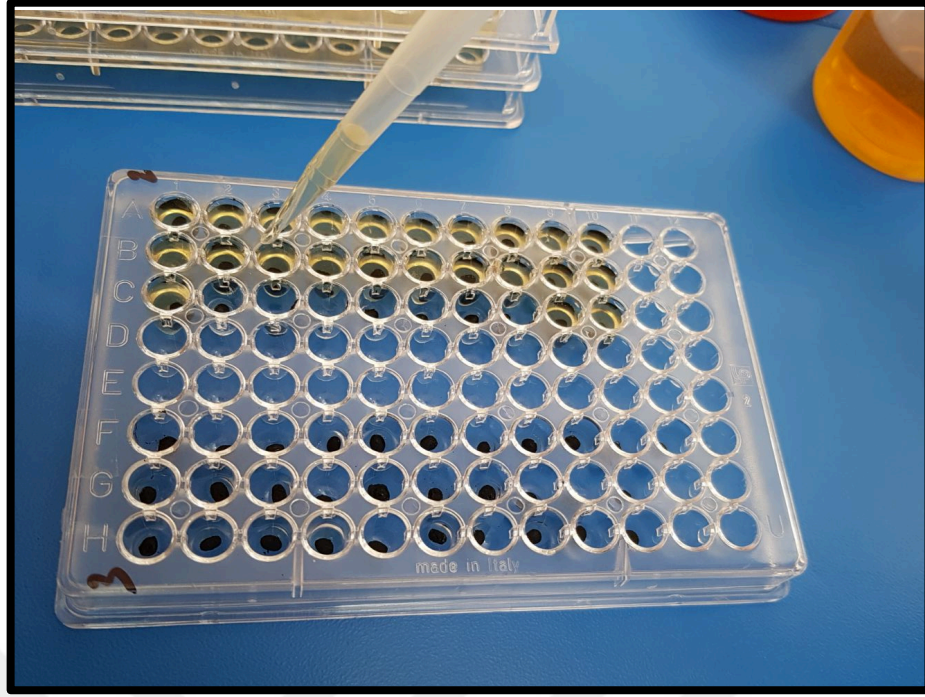
Bu çalışmanın antibakteriyel etkinlik deneyi için gerekli örnek sayısı, yapılan güç analizi sonucu %80 güç ve %5 tip 1 hata payı ile kontrol ve deney grupları için 10 olarak belirlendi (n=10). Doğrudan temas testi için **Tablo 1**'de belirtilen gruplara göre aseptik şartlarda hazırlanan simanlar (G0, G1, G2 ve G3) 96 kuyucuklu steril ELISA mikroplakalarının kuyucuk tabanlarına el aletleri ile uygulandı ve sertleşme reaksiyonları gerçekleşti. Her örnekten 3'er tekrar olacak şekilde her grup için 10'ar kuyucuk tabanına (her grup için toplam 30 kuyucuk) örnekler uygulandı (**Resim 23**).



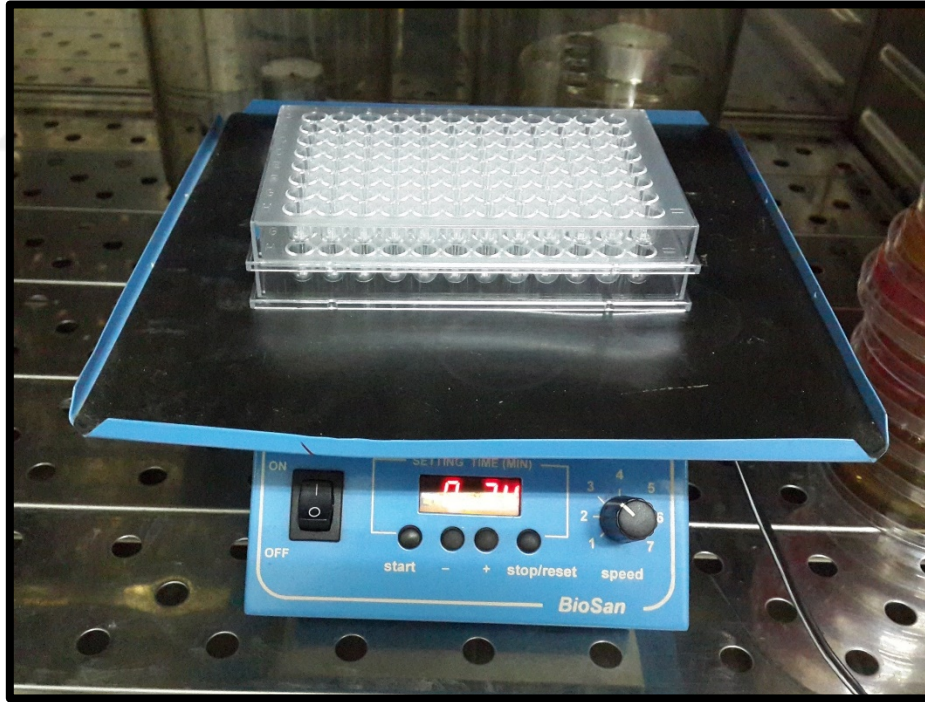
Resim 23. ELISA mikropalakalarının kuyucuk tabanlarına uygulanan örnekler.

3.3.1. Doğrudan Temas Testinin (DTT) Yapılışı:

Her grupta tabanında örnek bulunan 9 kuyucuğa 10 µl bakteri süspansiyonu, 1 kuyucuğa da steril buyyon (materyal kontrol) konuldu. Örnek içermeyen 9 kuyucuğa bakteri süspansiyonu (pozitif kontrol), 9 kuyucuğa da steril buyyon (negatif kontrol) eklendi (**Resim 24**). Bu işlemin ardından mikropalakalar etüvde (Memmert GmbH + Co. KG, Schwabach, Germany) 37°C’de nemli ortamda 1 saat boyunca ve çalkalayıcı (Biosan Mini Rocker MR-1, Mumbai, India) üzerinde inkübe edildi (**Resim 25**). *S. mutans* ve örnekler arasında doğrudan temas sağlandıktan sonra 220 µl BHI buyyon örneklerin bulunduğu kuyucuklara mikropipet ile eklenerek 2 dakika karıştırıldı. Karıştırma işleminden sonra bu kuyucuklardan mikropipet ile 10µl bakteri süspansiyonu alınarak 220µl taze besiyeri olan yeni kuyucuğa aktarıldı ve karıştırıldı. Ölçüm işleminden önce mikropalakalar 37°C’de mum söndürme kavanozunda %5-7 CO₂’li ortam oluşturularak 24 saat boyunca bekletildi (**Resim 26**).



Resim 24. Bakteri süspansiyonunun kuyucuklara eklenmesi.



Resim 25. Çalkalayıcı üzerindeki mikrolakalar



Resim 26. Mum söndürme kavanozu içindeki mikroplakalar.

S. mutans standart suşu bulunan örneklerde antibakteriyel etkinlik 24 saat sonunda mikroplaka spektrofotometre cihazında (BIO-TEK™ ELx800 Universal Microplate Reader) analiz edildi (**Resim 27**). Spektrofotometre cihazında turbidometrik olarak, 630 nm dalga boyunda optik yoğunluk (OD) ölçümü yapıldı.



Resim 27. Optik yoğunluk (OD) ölçümlerinin yapıldığı spektrofotometre cihazı.

3.4. İstatistiksel Yöntem

Bu çalışmada istatistiksel analizler NCSS (Number Cruncher Statistical System) 2007 Statistical Software (Utah, USA) paket programı ile yapıldı. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel yöntemlerin (ortalama, standart sapma) yanısıra çoklu grupların tekrarlayan ölçümlerinde tekrarlayan varyans analizi, alt grup karşılaştırmalarında Newman Keuls çoklu karşılaştırma testi, gruplar arası karşılaştırmalarda tek yönlü varyans analizi, alt grup karşılaştırmalarında Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanıldı. Sonuçlar, anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirildi.

4. BULGULAR

4.1.1. Fluorid Salımı Deneyinin Bulguları

Bu çalışmaya ait florid salımı deneyinde, tüm grupların tüm ölçüm zamanlarındaki florid salımı ortalamaları ve standart sapmaları **Tablo 2'**de, farklı ölçüm zamanlarında gruplar arası farklılıkların ikili karşılaştırılması **Tablo 3'**te ve grupların florid salımı değerlerinin zamanlar arası ikili karşılaştırılması **Tablo 4'**te gösterilmektedir. Tüm grupların ölçüm zamanlarına göre florid salımlarının dağılımı **Grafik 1'**de verilmektedir.

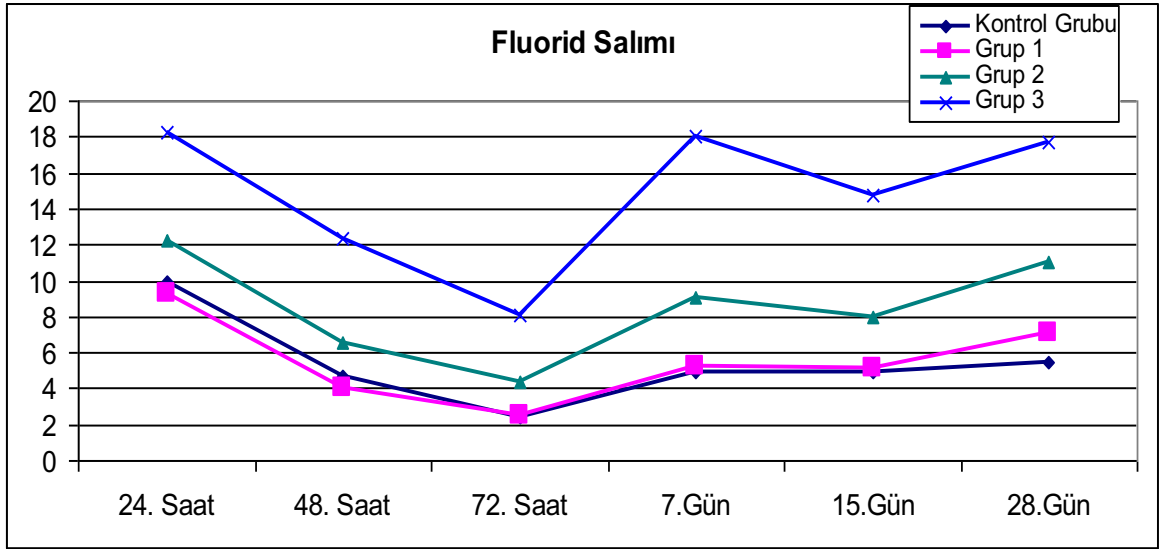
Tablo 2. Grupların farklı ölçüm zamanlarındaki florid salımı ortalamaları ve standart sapma değerleri (ppm).

Zaman	Kontrol (G0)	G1	G2	G3	p
24. Saat	9,93±2,09	9,31±1,12	12,26±0,46	18,39±1,57	0,0001*
48. Saat	4,66±2,04	4,07±0,75	6,51±0,48	12,30±1,12	0,0001*
72. Saat	2,42±0,73	2,52±0,39	4,34±0,42	8,11±2,50	0,0001*
7.Gün	4,94±1,30	5,29±0,58	9,09±0,60	18,08±1,80	0,0001*
15.Gün	4,88±1,35	5,17±0,41	7,99±0,49	14,85±1,67	0,0001*
28.Gün	5,43±0,89	7,13±0,48	11,02±1,33	17,71±1,92	0,0001*
p	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	

Tek Yönlü Varyans Analizi (*p<0,05)

Bu çalışmada tüm gruplarda florid salımı gerçekleştiği görüldü.

Kontrol Grubu (G0), Grup 1 (G1), Grup 2 (G2) ve Grup 3 (G3) 'ün tüm ölçüm zamanlardaki florid salımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlendi (p<0,05) (**Tablo 2.**) (**Grafik 1.**).



Grafik 1. Tüm grupların ölçüm zamanlarına göre florid salımlarının dağılımı.

Tablo 3. Farklı ölçüm zamanlarında gruplar arası farklılıkların ikili karşılaştırılması.

Gruplar	24. Saat	48. Saat	72. Saat	7. Gün	15. Gün	28. Gün
G0 / G1	0,774	0,718	0,998	0,907	0,937	0,025*
G0 / G2	0,005*	0,011*	0,014*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
G0 / G3	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
G1 / G2	0,0001*	0,001*	0,021*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
G1 / G3	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
G2 / G3	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi (*p<0,05)

24., 48., 72. saatler ile 7. ve 15. günlerde G0 ve G1 grupları arası dışında tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunurken, 28. günde tüm gruplar arasında anlamlı farklılık görüldü (p<0,05) (**Tablo 3**).

24., 48., 72. saatler ile 7.,15. ve 28. günlerde G3'ün florid salımı ortalamaları G2, G1 ve G0'dan anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$) (**Tablo 3**).

24.,48.,72. saatler ile 7.,15. ve 28. günlerde G2'nin florid salımı ortalamaları G1 ve G0'dan anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$) (**Tablo 3**).

28. günde G1'in florid salımı ortalamaları G0'dan anlamlı derecede yüksek bulunurken ($p<0,05$), diğer ölçüm zamanlarında G1 ve G0 arasında anlamlı farklılık gözlenmedi ($p>0,05$) (**Tablo 3**).

Tablo 4. Grupların farklı ölçüm zamanlarındaki florid salımı değerlerinin zamanlar arası ikili karşılaştırılması.

Zaman	Kontrol (G0)	G1	G2	G3
24.Saat / 48. Saat	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
24.Saat / 72. Saat	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
24.Saat / 7.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,489
24.Saat / 15.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
24.Saat / 28.Gün	0,0001*	0,0001*	0,014*	0,242
48.Saat / 72. Saat	0,001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
48.Saat / 7.Gün	0,435	0,0001*	0,0001*	0,0001*
48.Saat / 15.Gün	0,452	0,0001*	0,0001*	0,0001*
48.Saat / 28.Gün	0,082	0,0001*	0,0001*	0,0001*
72.Saat / 7.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
72.Saat / 15.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
72.Saat / 28.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
7.Gün / 15.Gün	0,713	0,193	0,0001*	0,0001*
7.Gün / 28.Gün	0,006*	0,0001*	0,0001*	0,234
15.Gün / 28.Gün	0,011*	0,0001*	0,0001*	0,0001*

Newman Keuls Çoklu Karşılaştırma Testi ($*p<0,05$)

G0, G1 ve G2'nin 24. saat sonundaki florid salımı ortalamaları 48. saat, 72. saat, 7. gün, 15. gün ve 28. gün sonundaki florid salınımları ortalamalarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$). G3'ün 24. saat sonundaki florid salımı ortalamaları 48. saat, 72. saat ve 15. gün sonundaki florid salımı ortalamalarından

anlamli derecede yu'ksek bulundu ($p < 0,05$), di'ger zamanlarda anlamli farklılık g'ozlenmedi ($p > 0,05$) (**Tablo 4**).

G1, G2 ve G3'un 48. saatteki florid salımı ortalamaları 72. saatteki ortalamalarından anlamli derecede yu'ksek, 7. g'un, 15. g'un ve 28. g'unlerdeki florid salımı ortalamalarından istatistiksel olarak anlamli derecede du'su'k bulundu ($p < 0,05$). G0'in 48. saatteki florid salımı ortalamaları 72. saatteki florid salımı ortalamalarından anlamli derecede yu'ksek bulunurken ($p < 0,05$), di'ger zamanlarda anlamli de'gişiklik izlenmedi ($p > 0,05$) (**Tablo 4**).

G0, G1, G2 ve G3'un 72. saatteki florid salımı ortalamaları 7. g'un, 15. g'un ve 28. g'un sonundaki florid salımı ortalamalarından anlamli derecede du'su'k bulundu ($p < 0,05$) (**Tablo 4**).

G0 ve G1'in 7. g'un sonundaki florid salımı ortalamaları ve 15. g'un sonundaki florid salımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamli farklılık g'ozlenmedi ($p > 0,005$). G2 ve G3'un 7. g'un sonundaki florid salımı ortalamaları 15. g'un sonundaki florid salımı ortalamalarından anlamli derecede yu'ksek bulundu ($p < 0,05$). G0, G1 ve G2'nin 7. g'un sonundaki florid salımı ortalamaları 28. g'un sonundaki florid salımı ortalamalarından anlamli derecede du'su'k bulundu ($p < 0,05$), G3'un 7 g'un sonundaki florid salımı ortalamaları ile 28. g'un sonundaki florid salımı ortalamaları arasında anlamli de'gişim g'ozlenmedi ($p > 0,05$) (**Tablo 4**).

G0, G1, G2 ve G3'un 15. g'un sonundaki florid salımı ortalamaları 28. g'un sonundaki florid salımı ortalamalarından istatistiksel olarak anlamli derecede du'su'k bulundu ($p < 0,05$) (**Tablo 4**).

4.1.2. Florid Geri Alımı Deneyinin Bulguları

Bu çalışmaya ait florid geri alımı deneyinde topikal florid uygulaması sonrası t'um grupların t'um o'lu'm zamanlarındaki florid salımı ortalamaları **Tablo 5**'te, farklı o'lu'm zamanlarında gruplar arası farklılıkların ikili karşılaştırılması **Tablo 6**'da ve grupların florid salımı de'gerlerinin zamanlar arası ikili karşılaştırılması **Tablo 7**'de

gösterilmektedir. Tüm grupların topikal florid uygulaması sonrası ölçüm zamanlarına göre florid salımlarının dağılımı **Grafik 2'**de verilmektedir.

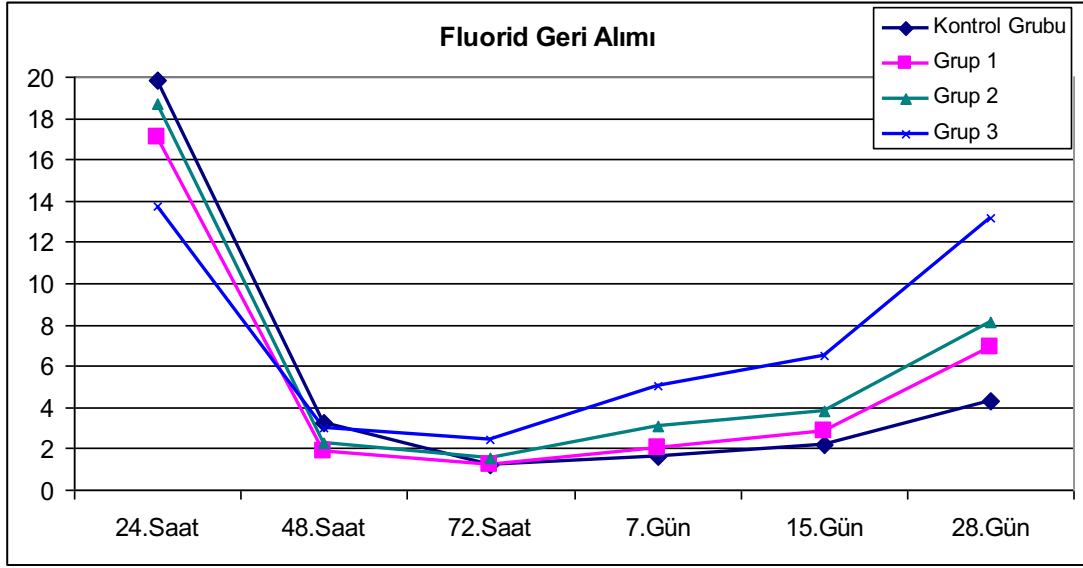
Tablo 5. Topikal florid uygulamasından sonra grupların tüm ölçüm zamanlarındaki florid salımı ortalamaları ve standart sapma değerleri (ppm).

Zaman	Kontrol(G0)	G1	G2	G3	p
24.Saat	19,85±6,26	17,17±3,35	18,79±5,02	13,7±2,80	0,026*
48.Saat	3,27±1,81	1,88±0,78	2,27±0,41	3,04±0,56	0,017*
72.Saat	1,23±0,78	1,21±0,49	1,57±0,37	2,44±0,30	0,0001*
7.Gün	1,60±0,44	2,06±0,36	3,08±0,49	5,07±0,56	0,0001*
15.Gün	2,21±0,52	2,88±0,26	3,85±0,30	6,51±0,48	0,0001*
28.Gün	4,32±0,41	6,91±0,65	8,15±0,77	13,21±0,51	0,0001*
p	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	

Tek Yönlü Varyans Analizi (*p<0,05)

Bu çalışmaya ait florid geri alımı deneyi, tüm gruplarda topikal florid uygulaması sonrası gerçekleştirildi ve tüm grupların florid yüklemesinin ardından florid salımı yaptığı belirlendi.

G0, G1, G2 ve G3'ün topikal florid uygulamasından sonraki tüm zamanlarda ölçülen florid salımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlendi (p<0,05) (**Tablo 5.**).



Grafik 2. Tüm grupların topikal florid uygulaması sonrası ölçüm zamanlarına göre florid salımlarının dağılımı.

Tablo 6. Topikal florid uygulamasından sonra farklı ölçüm zamanlarına göre gruplar arası florid salımları arasındaki farklılıkların ikili karşılaştırılması.

Gruplar	24.Saat	48.Saat	72.Saat	7.Gün	15.Gün	28.Gün
G0 / G1	0,563	0,027*	0,999	0,139	0,004*	0,0001*
G0 / G2	0,954	0,161	0,466	0,0001*	0,0001*	0,0001*
G0 / G3	0,024*	0,964	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
G1 / G2	0,859	0,844	0,414	0,0001*	0,0001*	0,0001*
G1 / G3	0,338	0,048*	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
G2 / G3	0,048*	0,358	0,003*	0,0001*	0,0001*	0,0001*

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi (*p<0,05)

Topikal florid uygulaması sonrası 24. saatte G3'ün florid salımı ortalamaları G0 ve G2'den anlamlı derecede düşük bulundu ($p<0,05$). Topikal florid uygulaması sonrası 24. saatte diğer grupların florid salımı ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık gözlenmedi ($p>0,05$) (**Tablo 6**).

Topikal florid uygulaması sonrası 48. saatte G1'in florid salımı ortalamaları G0 ve G3'den anlamlı derecede düşük bulundu ($p<0,05$). Topikal florid uygulaması sonrası

48. saatte diğer grupların florid salımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmedi ($p>0,05$) (**Tablo 6**).

Topikal florid uygulaması sonrası 72. saatte G3'ün florid salımı ortalamaları G0, G1 ve G2'den anlamlı derecede yüksek bulunup ($p<0,05$), diğer grupların topikal florid uygulaması sonrası 72. saatteki florid salımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmedi ($p>0,05$) (**Tablo 6**).

Topikal florid uygulaması sonrası 7. günde G3'ün florid salımı ortalamaları G0, G1 ve G2'den anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$). Topikal florid uygulaması sonrası 7. günde G2'nin florid salımı ortalamaları G0 ve G1'den anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$). Topikal florid uygulaması sonrası 7. günde G0 ve G1'in florid salımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmedi ($p>0,05$) (**Tablo 6**).

Topikal florid uygulaması sonrası 15. ve 28. günlerde G3'ün florid salımı ortalamaları G0, G1 ve G2'den anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$). G2'nin topikal florid uygulaması sonrası 15. ve 28. günlerdeki florid salımı ortalamaları G1 ve G0'dan anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$). G1'in topikal florid uygulaması sonrası 15. ve 28. günlerdeki florid salımı ortalamaları G0'dan anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$) (**Tablo 6**).

Tablo 7. Topikal florid uygulamasından sonra grupların florid salımı değerlerinin zamanlar arası ikili karşılaştırılması.

Zaman	Kontrol(G0)	G1	G2	G3
24.Saat / 48. Saat	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
24.Saat / 72. Saat	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
24.Saat / 7.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
24.Saat / 15.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
24.Saat / 28.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,598
48.Saat / 72. Saat	0,001*	0,058	0,001*	0,006*
48.Saat / 7.Gün	0,007*	0,414	0,002*	0,0001*
48.Saat / 15.Gün	0,067	0,003*	0,0001*	0,0001*
48.Saat / 28.Gün	0,056	0,0001*	0,0001*	0,0001*
72.Saat / 7.Gün	0,037*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
72.Saat / 15.Gün	0,004*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
72.Saat / 28.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
7.Gün / 15.Gün	0,002*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
7.Gün / 28.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
15.Gün / 28.Gün	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*

Newman Keuls Çoklu Karşılaştırma Testi (*p<0,05).

G0, G1 ve G2'nin topikal florid uygulaması sonrası 24. saatteki florid salımı ortalamaları 48. saat, 72. saat, 7 gün, 15. gün ve 28. gün sonundaki florid salımı ortalamalarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$). G3'ün topikal florid uygulamasından sonra 24. saatteki florid salımı ortalamaları, 48. saat, 72. saat, 7. gün ve 15. gün sonundaki florid salımı ortalamalarından anlamlı derecede yüksek bulunurken ($p<0,05$), topikal florid uygulamasından 24 saat ve 28 gün sonraki florid salımı ortalamaları arasında anlamlı farklılık bulunmadı ($p>0,05$) (Tablo 7).

G0'in topikal florid uygulaması sonrası 48 saat sonundaki florid salımı ortalamaları ile 15. ve 28. günlerdeki florid salımı ortalamaları arasında anlamlı farklılık bulunmadı ($p>0,05$). G1'in topikal florid uygulaması sonrası 48. saatteki florid salımı ortalamaları ile 72. saat ve 7. gün sonundaki florid salım ortalamaları arasında anlamlı farklılık bulunmadı ($p>0,05$). G1'in topikal florid uygulaması sonrası 48. saat florid

salımı ortalamaları, 15. ve 28. günlerdeki florid salımı ortalamalarından anlamlı derecede düşük bulundu ($p<0,05$) (**Tablo 7**).

G2 ve G3'ün topikal florid uygulaması sonrası 48. saatteki florid salımı ortalamaları 72. saatteki salım ortalamalarından anlamlı derecede yüksek, 7. gün, 15. gün ve 28. gün sonundaki florid salımı ortalamalarından istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük bulundu ($p<0,05$). G0'ın topikal florid uygulaması sonrası 48. saatteki florid salımı ortalamaları 72. saatteki ve 7. gün sonundaki florid salımı ortalamalarından anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$) (**Tablo 7**).

Tüm grupların topikal florid uygulaması sonrası 7.,15. ve 28. günlerdeki florid salımı ortalamaları 72. saatteki florid salımı ortalamalarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulundu ($p<0,05$). Tüm grupların topikal florid uygulaması sonrası 15. gün sonundaki florid salımı ortalamaları 7. gündeki ortalamalarından anlamlı derecede yüksek, 28. gündeki ortalamalarından anlamlı derecede düşük bulundu ($p<0,05$) (**Tablo 7**).

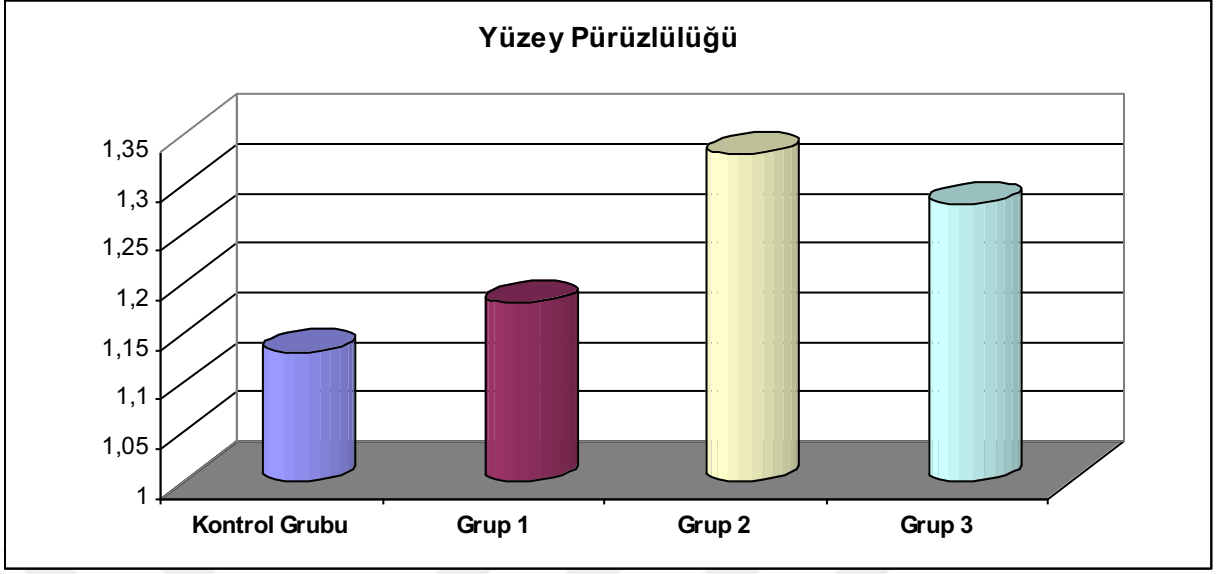
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyinin Bulguları

Bu çalışmaya ait yüzey pürüzlülüğü deneyinde tüm grupların yüzey pürüzlülüğü ortalamaları **Tablo 8** ve **Grafik 3**'te verildi.

Tablo 8. Tüm grupların yüzey pürüzlülüğü ortalamaları ve standart sapma değerleri (R_a - μm).

Gruplar	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a - μm)
Kontrol Grubu (G0)	1,13 \pm 0,33
G1	1,18 \pm 0,19
G2	1,33 \pm 0,17
G3	1,28 \pm 0,18
p	0,208

Tek Yönlü Varyans Analizi (* $p<0,05$)

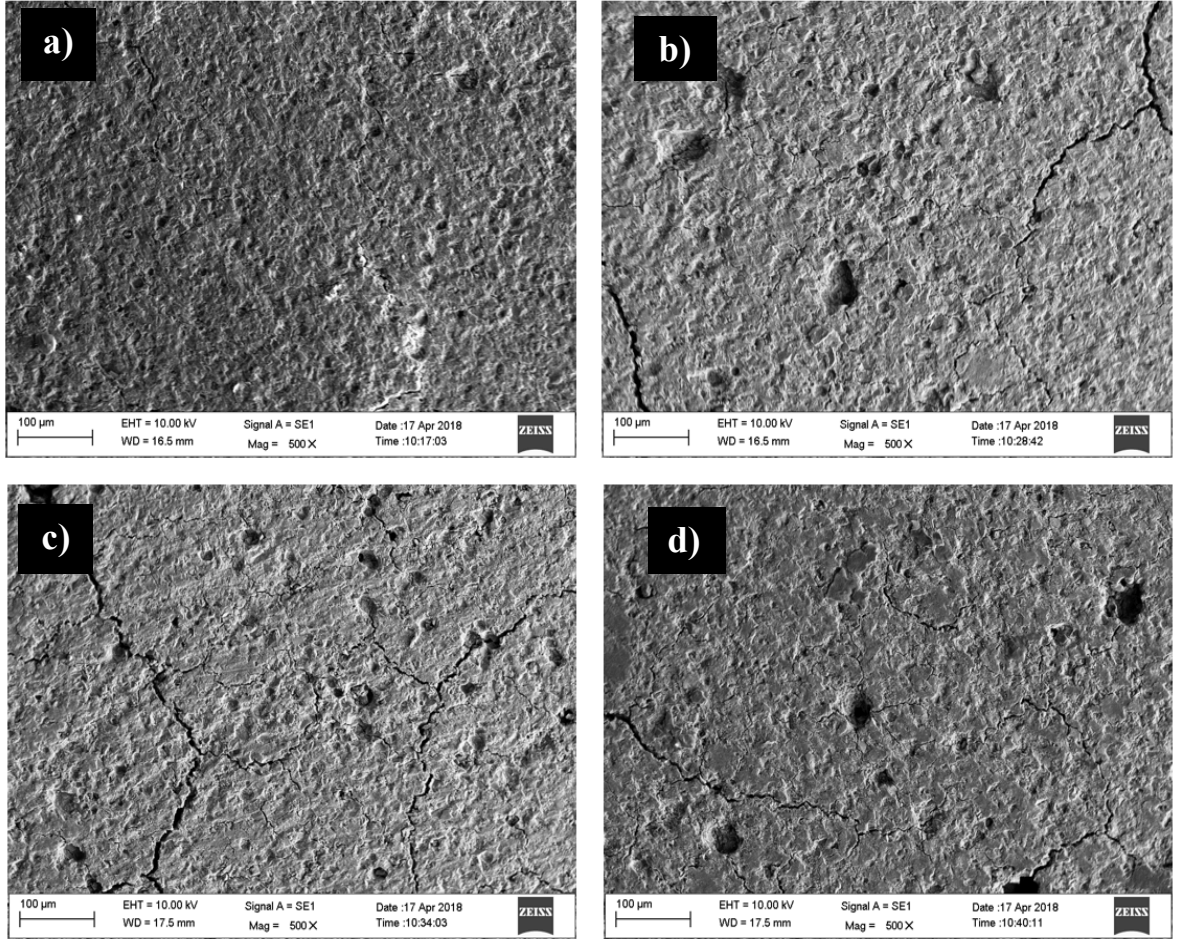


Grafik 3. Grupların yüzey pürüzlülüğü ortalamalarının görünümü (Ra-µm).

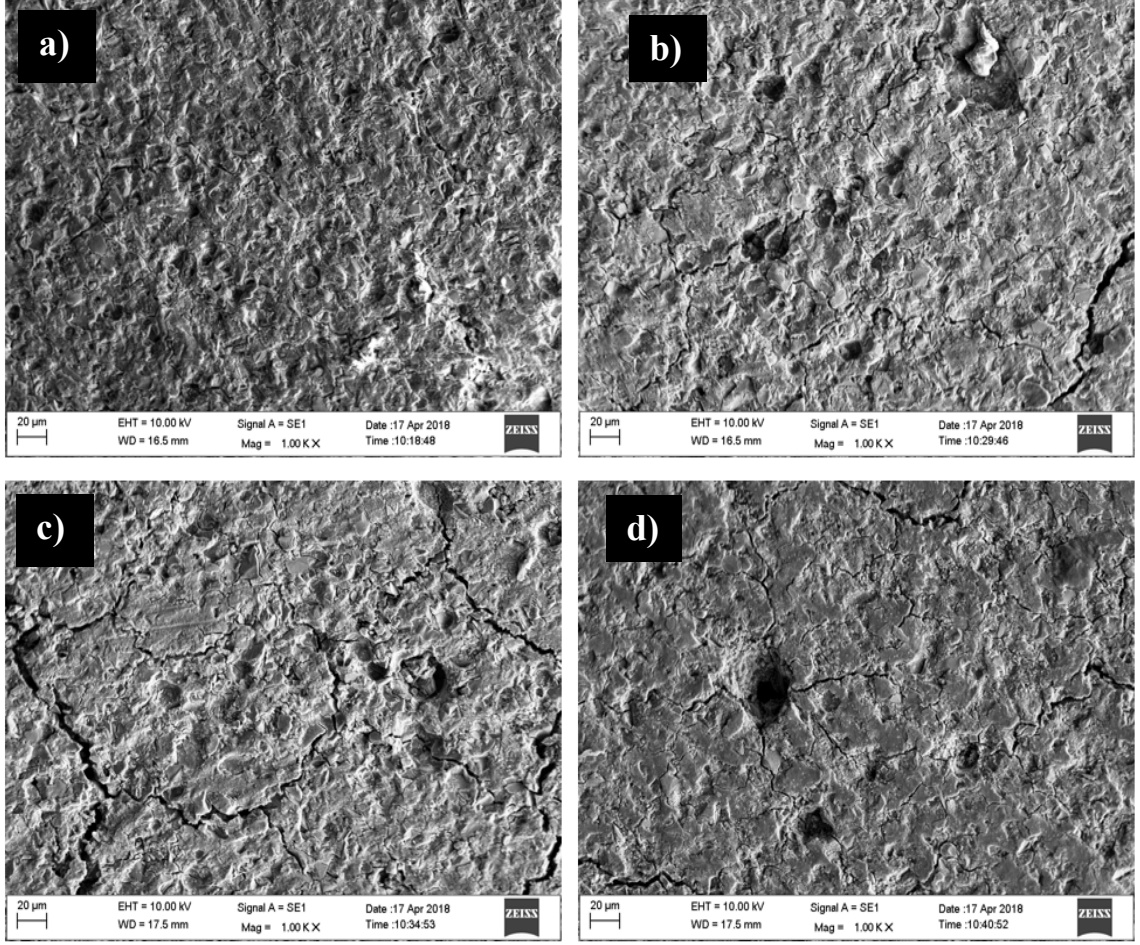
Bu çalışmada grupların yüzey pürüzlülüğü ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı. G2’de en yüksek yüzey pürüzlülüğü elde edilmiş olsa da bu fark diğer gruplar ile kıyaslandığında anlamlı bulunmadı ($p>0,05$) (Tablo 8) (Grafik 3).

4.2.1. Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) Görüntülemesinin Bulguları

Bu çalışmada gruplara ait SEM görüntüleri x500 ve x1000 olmak üzere **Resim 28** ve **Resim 29**'da verildi.



Resim 28. Grupların x500 büyütmedeki SEM görüntüleri. **(a)** G0 **(b)** G1 **(c)** G2 **(d)** G3.



Resim 29. Grupların x1000 büyütmedeki SEM görüntüleri. (a) G0 (b) G1 (c) G2 (d)G3

Elde edilen görüntülerde x500 ve x1000 büyütmede G0'da MWCNT eklenen gruplara (G1, G2 ve G3) göre daha homojen bir yüzey izlenmektedir (**Resim 28 ve Resim 29**). G1, G2 ve G3'te yüzey üzerinde görülen girinti, çıkıntı ve çatlakların boyutunun arttığı gözlenmektedir. x1000 büyütmede G3 yüzeyindeki girinti çıkıntılar diğer gruplara oranla daha büyük görülmektedir (**Resim 29**). G1'de görülen girinti ve çıkıntı miktarının incelenen alanda G2 ve G3'ten daha sayıca daha az olduğu izlenmektedir. x500 ve x1000 büyütmelemede incelenen alanda en fazla girinti, çıkıntı ve çatlak sayısının G2'de olduğu görülmektedir (**Resim 28 ve Resim 29**).

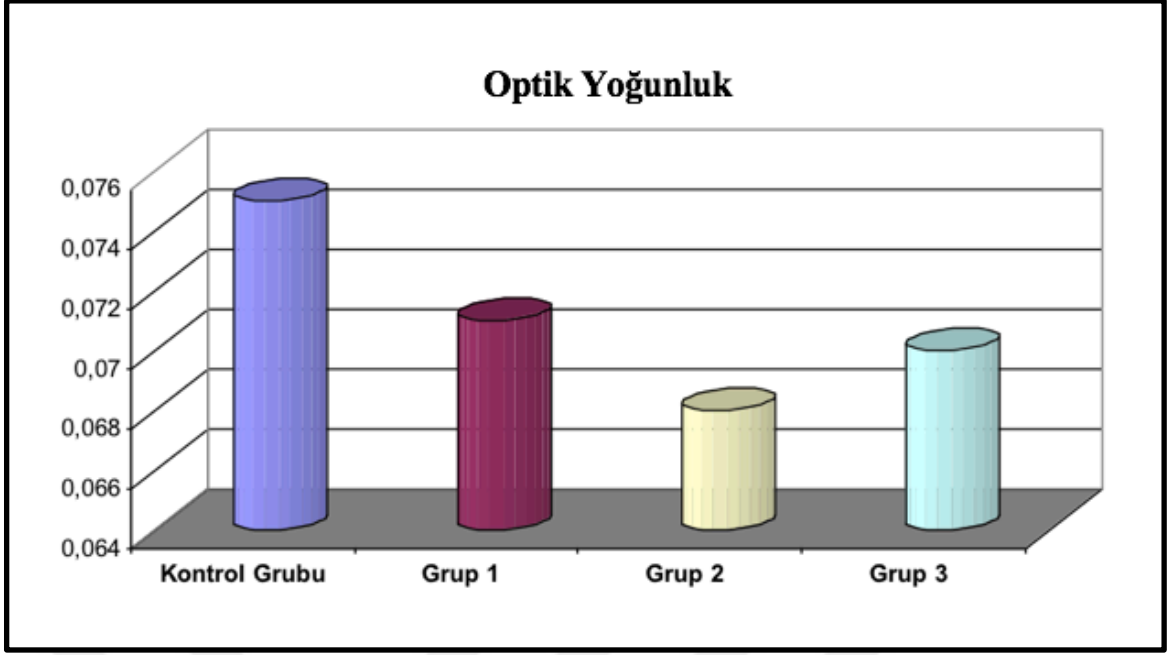
4.3. Antibakteriyel Etkinlik Deneyinin Bulguları

Bu çalışmada grupların *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkileri doğrudan temas testi (DTT) ardından yapılan 630 nm dalgaboyunda optik yoğunluk (OD₆₃₀) analizi sonuçları **Tablo 9** ve **Grafik 4**'te, grupların OD ortalamaları arasındaki farklılıkların ikili karşılaştırılması **Tablo 10**'da verildi.

Tablo 9. Grupların *S. mutans* için belirlenen optik yoğunluk (OD₆₃₀) verilerinin ortalama ve standart sapma değerleri.

Optik yoğunluk (OD ₆₃₀)	
Gruplar	Ort. ± SS
Kontrol Grubu (G0)	0,075±0,007
G1	0,071±0,007
G2	0,068±0,005
G3	0,070±0,007
p	0,006*

Tek Yönlü Varyans Analizi (*p<0,05)



Grafik 4. Grupların *S. mutans* için belirlenen optik yoğunluk ortalamalarının (OD₆₃₀) görünümü.

Bu çalışmada, grupların *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkilerinin belirlendiği optik yoğunluk ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulgulandı ($p < 0,05$) (Tablo 9).

Tablo 10. Grupların *S. mutans* için belirlenen ortalama optik yoğunluk (OD₆₃₀) değerleri arasındaki farklılıkların ikili karşılaştırılması

Gruplar	p
G0 / G1	0,130
G0 / G2	0,004*
G0 / G3	0,043*
G1 / G2	0,548
G1 / G3	0,968
G2 / G3	0,835

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi (* $p < 0,05$)

Kontrol grubunun (G0) OD₆₃₀ ortalamaları G2 ve G3'ten anlamlı derecede yüksek bulundu ($p < 0,05$). Diğer grupların OD₆₃₀ ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmedi ($p > 0,05$) (**Tablo 10**).



5. TARTIŞMA

Çocuk diş hekimliği başta hasta kooperasyonundaki problemler ve çalışma süresinin kısıtlı olması gibi nedenler ile ideal klinik koşulların sağlanamayabileceği bir tedavi alanıdır. Geleneksel cam iyonomer simanlar biyouyumlu olmaları, florid salımı yapabilme yetenekleri, diş sert dokularına kimyasal olarak bağlanabilmeleri ve izolasyon gerektirmeden kolayca uygulanabilmeleri sayesinde çocuk diş hekimliği pratiğinde güvenle kullanılan materyallerdir (25, 170).

Diş çürüğü diyet ile alınan karbonhidratların fermantasyonu sonucu açığa çıkan asidik bakteri ürünlerinin başlattığı, devamlı diş sert doku yıkımı ile karakterize multifaktöriyel bir hastalıktır (171). Günümüzde diş çürüğü tedavisinde aynı anda restoratif ve profilaktik özellikler gösteren dental materyaller çocuk diş hekimliğinde de avantaj sağlamaktadır (172). Çürük tedavisinde benimsenen modern yaklaşımlar arasında Atravmatik Restoratif Tedavi (ART) gibi doku koruyucu ve minimal invaziv teknikler ile çürük ilerlemesinin durdurulması amaçlanmakta, ancak bu konservatif yaklaşımlarda kavitede enfekte dokunun ve sayıca daha çok mikroorganizmanın bırakılması söz konusu olmaktadır (173, 174). Cam iyonomer simanlar florid salımı yaparak ve topikal uygulamalar ile yeniden florid yüklenerek bir rezervuar gibi davranmaktadır. Bu şekilde ağız ortamında serbest florid iyonlarının sürekli olarak yer alması ve demineralizasyonun önlenmesi gerçekleşebilmektedir (148). Aynı zamanda çürük yapıcı mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etki sağlanabilmektedir (175-177).

Geleneksel CİS'lerle ilgili olarak yüzey pürüzlülüklerinin yüksek olmasının çoğunlukla bakteri retansiyonuna, sekonder çürüğe ve gingival irritasyona ortam hazırlayabileceği bildirilmiştir (154, 178, 179). Yıllar içinde gelişen teknoloji ile birlikte CİS içeriğinde çeşitli modifikasyonlar yapılarak bu dezavantajları azaltılmış fiziksel ve mekanik özellikleri daha üstün materyaller piyasaya sunulmaktadır (21, 180, 181).

Nanoteknoloji, sağlık sektöründe yeni uygulamalara olanak vermesi ile yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde önem kazanmıştır. Bu amaçla nanomateryaller de tıp alanında potansiyel uygulamalar için yaygın biçimde araştırılmaktadır. Teşhis yöntemlerinin geliştirilmesi, doku rejenerasyonu, ilaç taşıma sistemleri ve yapay

protezler gibi uygulamalar bu alanlar arasında sayılmaktadır (96). Diş hekimliğinde de nanokompozitlerin kullanımı ile güçlendirilmiş restorasyonların elde edilmesi önemli gelişmelerdendir (182).

Karbon nanotüpler (CNT) üstün mekanik, termal ve elektriksel özellikleri sayesinde nanomatyaller arasında önemli bir yere sahiptir. Çok çeşitli kullanım ve uygulama alanı bulunan CNT'leri diş hekimliğindeki kullanımı araştırılmaktadır. Oral dokuların rejenerasyonu ve dental restoratif materyal çalışmalarında CNT'ler ile umut verici sonuçlar elde edildiği görülmektedir (8, 10, 131, 183).

Dental restoratif materyallerin güçlendirilmesi konsepti temelde fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgilidir. Nanoyapılı CNT'lerin geniş yüzey alanı, yüksek sertlikleri ve dayanıklılıklarının dental restoratif materyallerin fiziksel özelliklerini artırabileceği öngörülmektedir. CNT yüzeyi ve polimer matriks arasında iyi bir eşleşme olduğunda elde edilen yeni materyalde yükün daha eşit dağıldığı ve bu durumun da restorasyonun ömrünün artması ile sonuçlandığı bildirilmiştir (142, 184).

Bhat ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada bir geleneksel CİS tozuna çoklu duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) eklendikten sonra konvansiyonel teknik ile karıştırarak yeni materyali elde etmişlerdir. Araştırmacılar, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve X-ray difraksiyon analizleri (XRD) analizleri ile %1 ve %2 oranlarında eklenen MWCNT'lerin CİS'teki poliakrilik asit ile etkileşime girmediğini ve poliakrilik asit nötralizasyonuna etki etmediğini bildirmişler ancak %2 oranında MWCNT eklenen grubun baskı dayanımlarının polimer matriks içindeki düzensiz dağılımları nedeniyle geleneksel CİS'e göre düşük olduğu sonucunu elde etmişlerdir (10).

Literatürde bu şekilde elde edilen materyallerde CNT'lerin potansiyellerinin altında fonksiyon gösterdikleri bildirilse de polimer matriks içinde daha homojen dağılım göstermeleri için kimyasal olarak modifiye edilen CNT'lerin yapısında istenmeyen değişikliklerin meydana geldiği belirtilmiştir (10, 185).

Yapılan literatür incelemesi sonucunda çocuk diş hekimliğinde CNT'lerin uygulama alanları ile ilgili sınırlı çalışmaya ulaşılmıştır. Çocuk diş hekimliğinde posterior

bölgede kullanılacak ideal restoratif materyalin bulunması öncelikle *in vitro* çalışmaların çeşitliliğine bağlıdır.

Bu çalışmada, çocuk diş hekimliğinde kullanılan geleneksel bir cam iyonomer simanın (Ionofil U®/Voco, Germany) toz kısmına kütlece %1, %2 ve %3 oranlarında MWCNT (Nanografi Nanoteknoloji, Ankara) eklenmesinin materyalin florid salımı ve geri alınımına, yüzey pürüzlülüğüne ve antibakteriyel özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir.

5.1. Materyallerin Florid Salımı ve Geri Alımı Değerlerinin Tartışılması

Diş çürüğü oluşumunun önlenmesinde ağız hijyen eğitime ek olarak floridin en önemli savunma faktörü olduğu bilinmektedir (10). Floridin ağız ve diş sağlığı üzerindeki etkisi uzun yıllardan beri araştırılmaktadır. 20. yüzyılın ikinci yarısında florid içeren diş macunları ve gargaraların geliştirilmesi ve içme suyuna alternatif olarak tuz ve sütün floridlenmesi yönünde araştırmalar yapılmıştır. Yapılan sistematik derlemelerde bu çok sayıdaki araştırma sonuçlarının özeti olarak içme sularının floridlenmesi ile floridli diş macunu ve gargaraların kullanımının diş çürüğü prevalansını anlamlı olarak azalttığı sonucuna varılmıştır (186).

Florid, su ve tuzların floridlenmesi sonucu vücuda alındığında diş sert dokularına etkisini sistemik olarak göstermektedir. Sistemik florid uygulamalarının önemli bir avantajı sürme öncesi dönemde büyükazı dişlerinin pit ve fissürleri gibi topikal florid etkisinin az olduğu bölgelerde koruyucu etkinin oluşmasıdır. Ancak floridin sistemik yararının önemli bir kısmı, tükürük ve dişeti oluşu sıvısında bulunduğu sağladığı topikal etki ile açıklanmaktadır (187). Yapılan çalışmalar diş çürüğünün önlenmesinde düşük konsantrasyonda ve sık aralıklarla uygulanan floridin etkili olduğunu vurgulamaktadır. Bu uygulama profesyonel olarak yüksek konsantrasyonda florid içeren jel, köpük ya da vernik uygulamalarıyla desteklendiğinde mine yüzeyinde remineralizasyon sağlanmakta ve başlangıç düzeyindeki çürüklerin ilerlemesi durdurulabilmektedir (188-190).

Diş çürüğü tedavisinde ve kontrolünde florid içerikli restoratif materyallerden de yararlanılmaktadır. Bu materyallerin florid salımı miktarları ve süreleri antikariyojenik potansiyelini belirlemektedir. Materyalden salınan ve ortamdan geri alınan florid uzun süreli ve etkin düzeyde olduğu sürece çürük önleyici etki görülebilmektedir (180, 191). CİS'ler, florid salımı ve geri alımı yaparak ortamdaki florid konsantrasyonunu dengede tutabilmeleri nedeni ile çocuk diş hekimliğinde sıklıkla tercih edilmektedir (149).

Yapılan çalışmalarda geleneksel CİS'lerden salınan florid miktarının yüksek viskoziteli CİS, rezin modifiye CİS, kompomer ve kompozitlerden daha fazla olduğu bildirilmiştir (176, 192, 193). Literatürde CİS'lerin güçlendirilmesini araştıran çalışmalarda çeşitli doldurucu ilavelerinin geleneksel CİS tozlarına yapıldığı görülmüştür (78, 79, 89, 194, 195). Çalışmamızda bir geleneksel CİS olan Ionofil U® (Voco, Germany) kontrol grubu olarak kullanılmış ve MWCNT ilaveleri diğer çalışmalara benzer şekilde Ionofil U® tozuna yapılmıştır. Literatür incelemesinde MWCNT'lerden florid salımını ve geri alımını inceleyen sınırlı sayıda çalışmaya ulaşılmıştır.

Yoldaş (2016), yaptığı tez çalışmasında florid yüklenmiş MWCNT'lerin polimetil metakrilat (PMMA) ile kaplanmasından sonra florid salımının gerçekleşmediğini, PMMA ile kaplanmayan florid yüklü MWCNT'lerde ise hızlı florid salımı gerçekleştiğini bildirmiştir (185).

CİS'lerden salınan ve geri alınan florid miktarı materyalin formülasyonu, çözünübilirliği, porözitesi, doldurucu tipi gibi birçok iç faktöre bağlı olduğu gibi saklanma ortamının pH'sı, materyalin yüzey alanı ve karıştırma süresi gibi dış faktörler de florid salımını ve geri alımını etkilemektedir (146, 181, 195). Çalışmamız bir *in vitro* çalışma olması nedeniyle ağız ortamında bulunan tükürük pH'sı ve plak oluşumu gibi çevresel faktörlerden etkilenmemektedir (150).

Dental materyallerden florid salımını *in vitro* olarak değerlendiren çalışmalarda en sık kullanılan saklama solüsyonu deiyonize su ve yapay tükürüktür. Yapay tükürüğün difüzyon katsayısı ve pelikül oluşumundan dolayı materyalden florid salımını azalttığı bildirilmiştir (177). Çalışmamızda diğer çalışmalara benzer olarak örneklerin saklama solüsyonu olarak deiyonize su kullanılmıştır (149, 150, 159, 196). Deiyonize su iyon ya

da organik molekül içermediğinden materyalden salınan florid iyonlarına etkisinin olmadığı, dolayısıyla daha doğru ölçüm yapılabileceği düşünülmektedir (197, 198).

Günümüzde dental restoratif materyallerden florid salımının ve geri alımının değerlendirilmesinde gaz kromatografisi, iyon kromatografisi ve florid iyon selektif elektrot (İSE) yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır (151). Çalışmamızda kolay kullanımı ve hassas ölçüm yapabilmesi nedeniyle florid İSE yöntemi kullanılmıştır (152).

Ortamin pH'sı CİS'lerden florid salımını etkilemektedir. Düşük pH'da CİS'lerde çözünme başlamakta bu şekilde daha fazla florid salımı gerçekleşmektedir (146). İSE yönteminde florid konsantrasyonunun doğru hesaplanabilmesi için pH'nın dengelenmesi ve florid iyonlarının bileşik oluşturmalarının önlenmesi gerekmektedir. Bu prensip sadece serbest haldeki florid iyonlarının fluoroapatit oluşturabilmesi ve sekonder çürüğe karşı koruma sağlayabilmesi ile ilgilidir (199, 200). Çalışmamızda ölçümler sırasında her bir örneğin içinde bulunduğu deiyonize suya toplam iyonik gücü ayarlama tamponu (TISAB III) eklenerek uygun pH aralığı (5-5,5) sağlanmıştır.

Chatzistavrou ve ark. (2010), 'ın yaptıkları çalışmaya göre florid analizi için uygun örnek boyutu ve şekli, analiz periyodu, saklama solüsyonlarının miktarı ya da değişim sıklığı ile ilgili standart bir protokol bulunmamaktadır (201). Ancak dental materyallerden salınan floridin *in vitro* ölçümleri için ideal örnek kalınlığının 3, 5 veya 10 mm olması gerektiği bildirilmiştir (202, 203). Bu şekilde klinikte uygulanan restorasyonlar ile benzerlik sağlanabilmektedir. Bu bilgiye uygun ve yapılan diğer çalışmalara benzer olarak çalışmamızda florid salımı ve geri alımı deneyi için 3 mm kalınlığında disk şeklinde örnekler kullanılmıştır (203-206).

Çalışmamızda kullanılan bütün örneklerin cam iyonomer içerikli olmaları ve cam ile reaksiyona girebilmeleri nedeniyle örneklerimiz karıştırma kağıtları üzerinde hazırlanmış ve diğer çalışmalara benzer olarak plastik deney tüpleri içinde bekletilmiştir (159, 177, 207, 208).

Dental materyallerden salınan floridin 28 gün sonunda önemli çürük önleyici etki gösterdiği bildirilmiştir (209, 210). Bu nedenle de çalışmamız 28 günlük bir florid salımı periyodu ile 28 günlük bir geri yükleme periyodu süresince yürütülmüştür.

Fluorid salımı yapan restoratif materyallerle ilgili yapılan *in vitro* çalışmalarda fluorid salım paterni ağız ortamı dinamiğini tam anlamıyla yansıtamamaktadır. Doğada fluorid salımının kümülatif olduğu bilinmektedir. Ayrıca ağız ortamında tükürük devamlı olarak salgılanmakta ve yutulmakta olduğundan yapılan çalışmalarda materyallerden salınan fluorid miktarı ancak tahmini olarak hesaplanabilmektedir (208). Saklama solüsyonlarının belirli aralıklarla değiştirilme sıklığı bu aşamada yutulan tükürüğün taklit edilmesini sağlayabilmektedir (201). Çalışmamızda salım ve geri alım periyotlarının 24. saat, 48. saat, 72. saatlerdeki ve 7., 15., ve 28. günlerindeki ölçümlerde deiyonize su yenilenmiştir. Literatürde geleneksel CİS'lere MWCNT eklenmesinin fluorid salımı ve geri alımına etkisini inceleyen çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamız süresince fluorid salımının ölçülebilir değerlerden düşük çıkabilme olasılığı nedeniyle ve ağız ortamını taklit etmek için ilk 72 saatten sonraki 72. saat-7. gün, 7-15. gün ve 15-28. gün aralıklarındaki fluorid salımı ve geri alımı değerleri kümülatif olarak ölçülmüştür.

Dastjerdi ve ark. (2012), ortodontik bantların yapıştırılmasında kullanılan üç farklı CİS'in (Granitec/Confi-Dental, Louisville, USA, Bandtite/American Orthodontics, USA, Ariadent/Apadana Tak Co, Iran) fluorid salımı değerlerini haftalık ve kümülatif olarak karşılaştırmışlar ve Bandtite'in fluorid salımı miktarını daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (211).

Çalışmamız, bu alanda yapılan ender çalışmalardan olup, MWCNT eklenen materyallerden salınan ve geri alınan maksimum düzeydeki fluorid hakkında bir görüş niteliği taşımaktadır (158, 210).

Çalışmamızda 24 saat (1. gün) sonunda tüm gruplarda en yüksek fluorid salımı gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum literatürde CİS'lerin fluorid salımını değerlendiren çoğu çalışma ile benzerlik göstermektedir (149, 159, 198, 205, 212, 213). Cam iyonomer içerikli restoratif materyallerin sertleşmesi sırasında cam partiküller polialkenoik asit ile reaksiyona girmektedir. Sertleşme reaksiyonunun ardından 24 saat içinde görülen patlama etkisi (initial burst effect) ile en yüksek düzeyde fluorid salımı yüzeyden yıkanma şeklinde gerçekleşmektedir (172, 181, 191). Cam iyonomer içerikli restoratif materyallerin fluorid salımını inceleyen çalışmalarda 24 saatin sonunda genellikle en yüksek fluorid salımı yaptığı bildirilen materyaller geleneksel CİS'ler olmaktadır. Ancak çalışmamızda kontrol grubu olan geleneksel CİS grubu, %2 ve %3 oranında MWCNT

eklenmiş CİS grubuna göre anlamlı derecede düşük düzeyde florid salımı yapmıştır ($p<0,05$). Çalışmamızda kütlece %3 oranında MWCNT eklenmiş grupta (G3) 24 saat sonunda en yüksek düzeyde florid salımı gerçekleşmiştir ($p<0,05$). Bunun nedeni tam olarak bilinmese de nanopartikül eklenmesinin materyalin yüzey alanını ve enerjisini artırarak matriks ile daha iyi etkileşime girmesini tetiklediği düşünülmektedir (113, 194). CİS tozuna kütlece %2 ve %3 oranında MWCNT eklenmesi 24 saat sonunda geleneksel CİS'lerden yüksek florid salımını sağlayarak katalitik etki göstermiştir. Bizim çalışmamız dışında CİS'lere nanopartiküllerin eklendiği çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (85, 194, 214).

Kumar ve ark. (2017), kütlece %10 oranında nanokitosan ile modifiye edilmiş CİS'lerde 1 saat, 24 saat ve 7 gün sonundaki florid salımı değerlerinin modifiye edilmemiş geleneksel CİS grubuna göre anlamlı derecede daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (194).

Cibim ve ark. (2017), geleneksel CİS'lere farklı oranlarda TiO_2 nanotüp eklendiğinde 24 saat sonunda patlama etkisinin görüldüğünü ve florid salımı değerlerinin anlamlı derecede arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada %5 ve %7 oranlarında TiO_2 nanotüp eklenen CİS (Ketac Molar, Easymix) grubunda florid salımının daha uzun süre devam ettiği bulgulanmıştır (214).

Çalışmamızda diğer zaman aralıklarında kümülatif ölçüm yapmamıza rağmen 48. ve 72. saatlerin sonundaki günlük ölçümün nedeni CİS'lerde patlama etkisinden sonra görülen florid salımındaki azalmanın çalışmamıza yansıtılabilmesi ve MWCNT'lerin bu duruma etkisinin izlenebilmesidir. Çalışmamızda 48 saat (2. gün) ve 72 saat (3. gün) sonunda bütün gruplarda florid salımı değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı derecede azalma gözlenmiştir ($p<0,05$). Bu durum, sertleşme reaksiyonunun ardından stabil hale gelen materyal içeriğindeki polialkenoik asit içinde çözünmeye devam eden cam partiküller ile açıklanmaktadır. Bu aşamada materyalin içindeki çatlak ve porlardan difüzyon ile florid salımı düşük düzeyde de olsa devam etmektedir (47, 172, 180, 181). Çalışmamızda 48 ve 72 saat sonunda anlamlı derecede en yüksek florid salımı kütlece %3 oranında MWCNT eklenmiş grupta (G3) bulgulanmıştır ($p<0,05$). G2'den salınan florid miktarı kontrol grubu ve G1'den anlamlı derecede yüksek olup ($p<0,05$), kontrol

grubu (G0) ve G1'in florid salımı değerleri arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$)

Upadhyay ve ark. (2013), RMCİS, nanodoldurucu içeren bir RMCİS ve bir geleneksel bir CİS'in florid salımlarını 30 gün boyunca kümülatif olarak izledikleri çalışmada bütün materyallerde 1. gün sonunda en yüksek bulunan florid salımı değerlerinde 2. günde hızlı bir azalma gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar nanodolduruculu RMCİS'lerin geleneksel CİS ve RMCİS grubuna göre daha düşük dozda florid salımı yaptıklarını bildirmişlerdir (215).

Çalışmamızda 7 gün sonunda bütün gruplarda florid salımı değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı artış gözlenmiştir ($p<0,05$). Bu etkiye 72. saat ve 7. günler arasında örneklerin içinde bulunduğu deiyonize su yenilenmeden, kümülatif biriken floridin hesaplanması neden olmuştur. Belirtilen süre içinde materyalin yapısındaki çatlak ve porlardan deiyonize su içerisine devamlı olarak florid difüzyonu gerçekleşmiştir (180). 7. günün sonunda G3 anlamlı derecede en yüksek florid salımı yapmıştır ($p<0,05$). G2'den salınan florid miktarı kontrol grubu ve G1'den anlamlı derecede yüksek olup ($p<0,05$), kontrol grubu ve G1'in florid salımı değerleri arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Çalışmamızda 15. gün sonunda G3 ve G2'nin florid salımı değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı azalma gözlenirken ($p<0,05$) G0 ve G1'in florid salımı değerlerinde anlamlı değişiklik olmamıştır ($p>0,05$). İlk hafta sonunda elde edilen değerlere göre bu azalmanın gerçekleşmesi kütlece %2 ve %3 oranlarında MWCNT eklenen CİS'lerde olgunlaşan materyal hacminden florid salımının düşük dozlarda devam etmesi ile açıklanabilmektedir (197). Ekleme yapılmayan kontrol grubunda ve kütlece %1 oranında MWCNT eklenen grupta ise florid salımının 15. gün sonunda anlamlı fark yaratmaması stabil bir değere ulaştığını göstermektedir. Bu sonuçlar kümülatif olarak florid salımını inceleyen diğer çalışmalarla uyum göstermektedir (150, 211, 215).

Paschoal ve ark. (2011), nanodolduruculu RMCİS'lerin 15 günlük kümülatif florid salımının diğerk RMCİS'lere göre daha düşük dozda ama daha stabil bir düzeyde gerçekteştiiğini bildirmişlerdir (197).

Moshaverinia ve ark. (2016), geleneksel CİS yapısına nanofluorapatit eklendiğinde haftalık kümülatif florid salımının arttığını ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını bildirmişlerdir (61).

Çalışmamızda 28. gün sonunda en yüksek florid salımı G3'te gözlenirken onu sırasıyla G2, G1 ve G0 izlemiştir. Bulgularımıza göre ilk patlama etkisinin sonlandığı 48. saat ile 28. gün arasında kontrol grubu dışındaki bütün deney gruplarının kümülatif florid salımı anlamlı derecede artış göstermiştir ($p<0,05$). Çalışmamızda bütün zaman aralıklarında en yüksek florid salımı göstermiş olan G3'ün 24 saat ve 28. gün sonundaki kümülatif florid salımı değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Bütün zaman aralıklarında kontrol grubu ile benzer florid salımı gösteren G1 ise 28. gün sonunda kontrol grubundan anlamlı derecede yüksek miktarda florid salımı gerçekteştirmiştir ($p<0,05$).

Bir restoratif materyalin florid rezervuarı olarak görev yapabilmesi asıl olarak materyalin yapısı ve geçirgenliği ile dışarıdan uygulanan florid ajanının uygulanma sıklığına ve konsantrasyonuna bağlıdır (146, 150). Cam iyonomerler, içinde buldukları dış ortama porlarındaki gevşek bağlı su ve iyonların pasif difüzyon ile geçişini sağlayabilmeleri nedeniyle florid rezervuarı olarak görev yapabilmektedirler (55). Bunun yanında CİS'lerdeki cam doldurucuların çevresindeki hidrojel matrikse florid iyonlarının yerleşebilmesi de materyalin florid geri alımı kapasitesini artırmaktadır (158, 200).

Topikal uygulanan floridli ajanlar ile restoratif materyallere yeniden yükleme yapıldığında ağız ortamında bir florid kaynağının devamlılığı sağlanmaktadır. Restoratif materyallere florid uygulandıktan sonra materyal yüzeyine tutunan ya da porların içindeki floridin yıkanması sonucu yeniden salım gerçekteşmektedir. Bu yeniden salım, materyalin florid geri alımını göstermektedir (146, 175). CİS'lerde oldukça belirgin olan bu geri alım yapabilme özelliği ile demineralizasyonu önleme ve remineralizasyon sağlama amaçlanmaktadır.

Materyallerden gerçekleşen florid salımının 28 gün sonunda minimum düzeye geldiği bildirilmektedir. Bu nedenle çalışmamızdaki 28 günlük kümülatif florid salımı sürecinden sonra 28 günlük bir geri alım süreci gerçekleştirilmiştir. Çalışma dizaynımıza uygun florid ajanı olarak %5 sodyum florid (22,600 ppm) içeren Duraphat Varnish™, Colgate® tek sefer uygulanmış ve uygulama sonrası örnekler 4 dakika kuru ortamda bekletilmiştir. Materyallerin florid geri alım ölçümleri 24. saat, 48. saat, 72. saatler ile 7.,15. ve 28. günlerde yapılmıştır. 72. saatten sonraki sonraki zaman aralıklarında salım deneyine uygun olarak kümülatif ölçüm yapılmıştır. Belirlenen zaman aralıklarında topikal florid uygulaması sonrası bütün materyallerden salımı gerçekleştiği bulgulanmıştır.

Poggio ve ark. (2016), üç farklı fissür örtücünün (Fuji Triage/GC, Fissurit FX/Voco, Grandio Seal/Voco) florid salımını ve iki farklı florid preparatı (Proflorid Varnish/Voco, MI Paste Plus/GC) uygulaması sonrası geri alımlarını kümülatif olarak inceledikleri çalışmada %5 sodyum florid içeren vernik Proflorid Varnish'in bütün materyallerde florid salımını floridli CPP-ACP preparatı olan MI Paste Plus'a göre anlamlı derecede artırdığını bildirmişlerdir (150).

Çalışmamızda 24 saat (1. gün) sonunda bütün gruplarda topikal florid uygulaması sonrası florid salımı gerçekleşmiştir. 24 saat sonunda en fazla florid salımının anlamlı derecede kontrol grubunda (G0) olduğu bulgulanmış ($p<0,05$), onu sırasıyla G2, G1 ve G3 izlemiştir. Bu bulgu CİS'lerin dış ortamdan florid geri alımı yapabildiğini ve yüksek düzeyde floridi yeniden salabildiğini göstermiştir (149). Topikal florid uygulaması sonrası 24. saat sonundaki ölçümde, kontrol grubunda yeniden salım değerlerinin daha yüksek olmasının geleneksel CİS'lere uygulanan floridin yüzeysel olarak tutunması sonucu iyon salımının kısa süreli ve hızlı bir şekilde gerçekleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Xu ve Burgess (2003), florid salımı yapabilen 15 farklı restoratif materyal grubuna 1 dakika süre ile %2 NaF içeren bir floridli köpük uygulaması sonrası, bütün gruplarda florid geri alımının 24 saat sonunda arttığını ancak 2. ve 3. günler sonunda bu değerlerin hızlı bir şekilde azaldığını bildirmişlerdir (216).

Ghajari ve ark. (2014), çalışmalarında florid salımı yapan materyallerden en çok salımın geleneksel CİS grubunda, en az salımın ise florid içeren kompozitlerde olduğunu bildirmişlerdir. Florid ile yeniden yükleme sonrasında da en yüksek salım değerleri geleneksel CİS'te görülmüştür. Tüm materyallerde florid uygulaması sonrası ilk 24 saatte salım en yüksek seviyede ölçülmüştür (217). Bizim çalışmamızda da bu çalışma ile benzer olarak florid yüklemesi sonrası 24. saatte en yüksek salım değerleri G0'da görülmüştür.

Çalışmamızda florid uygulamasından 24 saat sonra görülen ilk yüksek salım düzeyinin ardından materyallerin florid salımı düzeyleri 48 ve 72 saat (2. ve 3. gün) sonunda anlamlı düzeyde azalmıştır ($p<0,05$). Bu durum, çalışmamızda uygulanan floridli verniğin kısa uygulama süresi sonunda materyallerin sadece yüzeysel bir kısmının florid ile yeniden yüklenebilmesi ile açıklanabilmektedir. Ancak uygulama süresinin uzaması klinik koşullar ile çelişebilmektedir.

Topikal florid uygulamasından 7 gün sonra G3 anlamlı derecede en fazla florid salımı yapmış, onu G2 takip etmiştir ($p<0,05$). 7 günün sonunda G0 ve G1 en düşük florid salımı yapmışlardır ve aralarında anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Yapılan çalışmalarda daha fazla florid salan materyallerin daha fazla geri alım yaptığı bildirilmektedir (150, 191, 216). Çalışmamızın bu kısmı salım deneyinde elde ettiğimiz bulgular ile uyum içindedir.

Topikal florid uygulaması sonrası 15. ve 28. günler sonunda en fazla florid salımı yapan grubun G3 olduğu ve onu sırasıyla G2, G1 ve G0'ın izlediği belirlenmiştir ($p<0,05$). Çalışmamızda 28 gün sonunda bütün materyaller, salım deneyindeki sonuçlar ile benzer şekilde geri alım yapmışlardır. Ancak **Dionysopoulos ve ark.'ın (2003)** çalışmasına benzer olarak materyallerin hiçbiri başlangıç düzeyindeki florid salımı seviyesine ulaşamamıştır (191).

Nanotüpler içi boş tübüler yapılarından dolayı yüksek yüzey-hacim oranına sahiptirler. Bu özelliklerinin çevrelerindeki ortam ile etkileşimlerini iyileştirerek daha fazla etkinlik göstermesini sağladığı düşünülmektedir (214). **Bhat ve ark. (2013)**, geleneksel CİS tozuna eklenen MWCNT'lerin polimer matriks içinde iyice gömüldüğünü ve bu şekilde poliakrilik asit ile bir etkileşim sağlayabileceğini bildirmişlerdir (10).

Tek duvarlı karbon nanotüplerin (SWCNT) floridle yüklendiği çalışmalarda florid iyonlarının CNT'lere kurvatürlü yapıları nedeniyle bağlanabilmelerinin zor olduğu bildirilmiştir. Florid iyonlarının CNT'lerin yan duvarlarının sadece i ya da dış kısımlarına bağlanabildiği ancak tüp merkezinde floridli CNT yapısının elde edilemediği bildirilmiştir (218). *Yoldaş (2016)*, florid ile yüklenen MWCNT'lerde karbon-florid bağlarının atipik ve yer yer oluştuğunu bildirmiştir (185).

Bamoussa ve ark (2018), çinko içerikli CİS (ChemFil Rock TM, Dentsply, York PA, USA) ve 2 yüksek viskoziteli CİS 'in (Fuji IX TM, GC Corp, Japan and Ketac-FilTM, 3M-ESPE, Germany) florid salımlarını ve florid yüklemesi sonrası yeniden salımlarını inceledikleri çalışmada çinko içerikli CİS grubunda daha iyi florid salımı ve geri alımının görüldüğünü bildirmişlerdir. Bu çalışmada çinko doldurucunun bu etkiyi sağlama mekanizması tam olarak açıklanamamıştır (219). Bizim alışmamızda da MWCNT eklenmesinin florid salımı ve geri alımını artırmasının hangi kimyasal mekanizmalara bağlı olduğunun belirlenebilmesi için gelecek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmamızın kümülatif florid salımı ve geri alımı deneylerinin sonucunda kütlece %2 ve %3 oranında MWCNT eklenen geleneksel CİS gruplarında anlamlı derecede daha yüksek florid salımı ve geri alımı kapasitesinin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu verilere göre MWCNT eklenmesinin CİS'lerde florid salımını ve geri alımını artırabileceği düşünülmektedir.

5.2. Materyallerin Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Tartışılması

Restoratif materyallerin klinik başarısını belirleyen faktörler arasında yüzey özelliklerinin önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Materyal yüzeyindeki düzensizlikler ve yüzey pürüzlülüğü plak birikimine neden olarak başta çürük ve gingival irritasyon gibi sorunlara yol açmakta ve ilerleyen zamanlarda restorasyonun ömründe kıalmaya neden olmaktadır (154, 158, 220-222). ocuk diş hekimliğinde ve ART tekniğinde ağız içinde uzun süre fonksiyon görmesi beklenen materyaller olan CİS'lerin yüzey pürüzlülüğü özellikleri bu açıdan önem taşımaktadır (220).

Bu çalışmada CİS'lere MWCNT eklenmesinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi *in vitro* olarak değerlendirilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğünün *in vitro* olarak belirlenmesinde çeşitli kalitatif ve kantitatif yöntemler kullanılmaktadır. Kantitatif ölçümlerde yüzey profilometrisinin yaygın olarak kullanıldığı bildirilmiştir (157, 220). Bu çalışmada da kolay kullanımı ve hassas ölçüm yapabilmesi nedeniyle bir yüzey profilometre cihazı kullanılmıştır (223). Yapılan ölçümler 1,5 mm ölçüm uzunluğunda 3 noktadan olacak şekilde gerçekleştirilmiştir ve ortalama değerler Ra (μm) cinsinden ölçülmüştür.

Restorasyonların yüzey pürüzlülüğünü azaltmak ve morfolojik konturları sağlamak için fonksiyonel düzenlemeler gereklidir. Bu düzenlemeler için bitim ve cila işlemleri uygulanmaktadır. CİS'lerde bitim ve cila işlemlerinin etkinliği cam partiküllerin ve doldurucuların büyüklüğüne, oranına, doldurucuların matriks ile etkileşimlerine ve bağlanmalarına, bunun yanında hazırlama aşamasındaki karıştırma tekniğine bağlı olduğu bildirilmiştir (220, 224). Çalışmamızda bütün örnekler konvansiyonel (manuel) teknik ile karıştırılmıştır. Bu şekildeki preparasyonun hava kabarcıklarına neden olarak yüzey pürüzlülüğünü artırabileceği bildirilmiştir (3, 225).

Literatürdeki *in vitro* çalışmalarda en pürüzsüz yüzeyin şeffaf bantlar ile bitim yapıldığında elde edildiğini bildirmektedir (159, 226, 227). Çalışmamızda bütün örneklerin preparasyon aşamasındaki bitimleri bu bilgiye uygun olarak asetat kağıdı ile gerçekleştirilmiştir. Ancak klinik koşullarda anatomik konturların sağlanabilmesi için cila işlemlerine gereksinim duyulmaktadır. CİS'lerin cila işlemlerinden önce tam olarak olgunlaşabilmesi için gereken süre çalışmalara göre değişiklik göstermektedir. Bu değişikliğin nedeninin çalışmalarda CİS'lerin içinde bulunduğu ortama bağlı olarak gerçekleşen asit-baz reaksiyonunun süresi nedeniyle olduğu açıklanmaktadır (158, 196, 228, 229).

Bu çalışmada kontrol grubumuz olan Ionofil U®'nun hazırlanan örneklerinin bitim ve cila işlemlerinin üretici firma önerisine göre karıştırıldıktan en az 7 dakika sonra yapılması gerekmektedir. Bu öneriye uygun şekilde örnekler kalıplardan çıkarılmadan önce 10 dakika beklenmiştir. CİS'lerin bazı özellikleri sertleşme reaksiyonunun ilk

evrelerinde içinde buldukları ortamın koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, neme ve kuruluğa bağlı hassasiyet materyalin su alımı ya da su kaybına neden olarak mekanik özelliklerde kötüleşme, yüzeyde de düzensizlikler yaratmaktadır (220, 230, 231). Bu bilgi doğrultusunda çalışmamızda cila işlemlerinden önce örnekler 3 saat kuru ortamda bekletilmiş bu süre içinde örneklerden su kaybını önlemek için örnek yüzeylerine örtücü olarak vazelin uygulanmıştır.

Restoratif materyallerde doldurucu partikül ve matriksin sertlikleri farklı olduğundan cila işlemleri ile homojen bir yüzey elde edilmesi güçleşmektedir. Cilada kullanılan sistemin etkili olabilmesi için aşındırıcı partiküllerin materyaldeki dolduruculardan daha sert olması gereklidir. Bu mümkün olmadığında daha az sertlikteki matriks aşınmakta ancak doldurucu partiküller materyal yüzeyinde çıkıntılar yaratarak pürüzlülüğe neden olmaktadır (3, 154, 232, 233). Cam iyonomer içerikli restoratif materyallerin bitim ve cila işlemleri için kompozit rezinler için önerilen yöntemler önerilse de CİS'lerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine uygun spesifik bir yöntem belirtilmemiştir (226). Çalışmamızda klinik koşullarda bitimlerden sonra uygulanan cila işlemlerinin taklit edilebilmesi ve gruplar arasında standardizasyonun sağlanabilmesi için literatürdeki çalışmalara benzer olarak silisyum karbit (SiC) su zımparası kullanılmıştır (154, 159, 196). Cila işleminde önce kalın partiküllü 600 grit, ardından ince partiküllü 800 grit zımpara kağıtları ile örneklerin yüzey hazırlıkları tamamlanmıştır.

Ağız ortamındaki kimyasal dengenin sürekli bir değişim içinde olmasının restoratif materyallerin *in vivo* olarak yıkımında önemli bir etkisi bulunmaktadır. Literatürdeki birçok çalışmada ağız ortamındaki pH değişikliklerinin restoratif materyallerin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin belirlenebilmesi için *in vitro* ortamda asidik içecekler ve/veya yapay tükürük kullanılmıştır (158, 234-236). Ancak rezin esaslı materyallerin yüzey mikromorfolojisini inceleyen bir çalışmada deiyonize su ya da yapay tükürük içinde bekletilen örneklerin yüzey pürüzlülükleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadığı bildirilmiştir (237). Bu bilgiden hareketle çalışmamızda benzer şekilde saklama solüsyonu olarak nötral pH'daki deiyonize su tercih edilmiştir.

Partikül büyüklüğünün materyalin yüzey pürüzlülüğü ve cilalanabilirliği üzerindeki etkisi bilinmektedir. Restoratif materyallere nanodoldurucu eklendiğinde materyal yüzeyinin cilalanabilirliği ve abrazyona direncinin arttığı bildirilmiştir (238, 239). Bu

durum, nano boyuttaki doldurucuların eklenmesi ile materyal genelinde partiküller arası boşluğun azalması, cilalama sırasında yumuşak matriksin korunması ve büyük doldurucuların aşınması şeklinde açıklanmaktadır.

Bu çalışmada kontrol grubumuz olan Ionofil U®'nun ortalama partikül boyutu 5µ, toz kısmına eklenen MWCNT'lerin partikül boyutu ortalama 8-10 nm'dir. Çalışmamızda kontrol grubu (G0-CİS), G1(kütlece %1 oranında MWCNT içeren CİS), G2 (kütlece %2 oranında MWCNT içeren CİS) ve G3 (kütlece %3 oranında MWCNT içeren CİS)'ün yüzey pürüzlülüğü değerleri ortalamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır (p>0,05).

Bala ve ark. (2012), bir nanodolduruculu CİS (Ketac N100), bir RMCİS (Fuji II LC), bir gümüş ile güçlendirilmiş CİS (Argion Molar) ve 3 ayrı geleneksel CİS'in (Fuji IX, Aqua Ionofil Plus, Ionofil Molar) yüzey pürüzlülüğünü incelemişler ve cilalama sonrasında en düşük pürüzlülüğün nanodolduruculu CİS grubunda en yüksek yüzey pürüzlülüğünün ise geleneksel CİS grubunda elde edildiğini bildirmişlerdir (232).

Mallya ve ark. (2013), bir geleneksel CİS (Ketac Molar /3M ESPE) bir RMCİS (VitreBond /3M ESPE) ve bir nanodolduruculu CİS (Ketac N100 /3M ESPE)'in yüzey pürüzlülüklerini değerlendirmişler ve en düşük yüzey pürüzlülüğünün nanodolduruculu CİS grubunda en yüksek pürüzlülüğün ise geleneksel CİS'te görüldüğünü bildirmişlerdir (222).

Çalışmamızda gruplar arasında anlamlı farklılığın görülmemesi MWCNT'lerin CİS yapısındaki partiküllerin matriksteki dağılımını ve partiküller arası bağlanmayı anlamlı olarak etkilemediğini göstermektedir. MWCNT eklenmesi geleneksel CİS'lerin yüzey pürüzlülüğünü artırmamıştır. Bu bulgu nanodoldurucu eklenmesinin restoratif materyallerin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirebileceğini bildiren çalışmalar ile uyum içinde olmasa da geleneksel CİS'lerin yüzey özelliklerinde bozulmaya neden olmadığını göstermektedir (214, 238, 240).

Cibim ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada yüksek viskoziteli bir CİS'e (Ketac Molar EasyMix™) kütlece sırasıyla %3, %5 ve %7 oranında TiO₂ nanotüp eklendiğinde yüzey pürüzlülüğünde değişme olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada istatistiksel olarak anlamlı bulunmasa da en düşük yüzey pürüzlülüğünün kontrol grubu

olan Ketac Molar Easymix'te görüldüğünü bildirmişlerdir (214). Çalışmamızda benzer şekilde, grupların yüzey pürüzlülüğü ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulgulanmamasına rağmen en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri kontrol grubu olan Ionofil U® 'da elde edilmiştir (1,13 µm). Bu değer, sayısal olarak geleneksel CİS'lerin yüzey pürüzlülüğünü bildiren bazı çalışmalardan daha yüksektir (159, 196, 229, 232, 241, 242). Bu durum, söz edilen çalışmalarda şeffaf bantlar ile yüzey bitiminin tamamlanmasından sonra cila işlemi uygulanmaması ya da cila lastikleri, diskleri, frezleri gibi farklı cila sistemleri ile cilalama yapılması sonucu yüzey pürüzlülüğü değerlerinin farklı olması ile açıklanabilir.

Bollen ve ark. (1997), dental restorasyonlarda bakteriyel retansiyon için eşik yüzey pürüzlülüğü değerinin 0,2 µm olduğunu bildirmişlerdir. Ra değerinin daha yüksek olduğu restoratif materyallerde bakteri adezyonu ve kolonizasyonunun kolaylaşarak plak olgunlaşmasına katkı sağladığı, bu şekilde çürük ve periodontal hastalık riskini artırabildiğini bildirmişlerdir (233).

Gladys ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada sırasıyla 600, 1200 ve 4000 grit SiC su zımparası ile cilalama sonunda bazı hibrit restoratif materyallerde (Dyract, Ionosit-Fil ve Variglass) 0,2 µm' nin altında yüzey pürüzlülüğü elde edebilmişlerdir. Ancak geleneksel CİS (Ketac-Fil ve HIFI Master Palette) grubunda bu eşik değer altına düşme gözlenmemiştir (240).

Çalışmamızda ise, örnekler sırasıyla 600 ve 800 grit su zımparası ile cilalanarak temel yüzey hazırlıkları yönünden gruplar arasında standardizasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Klinik uygulamalarda özellikle non-koopere çocuk hastalarda restorasyonların her zaman etkili olarak cilalanabilmesi mümkün olmamaktadır. Çalışmamızın bir laboratuvar çalışması olması nedeniyle standart bir cilalama prosedürü uygulanmıştır.

Pacifici ve ark. (2013), bir yüksek viskoziteli CİS (Fuji IX) ve RMCİS (Vitremer)'in yüzey örtücü uygulamasını yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Çalışmada örtücü uygulaması materyaller arasında anlamlı fark yaratmamıştır. Araştırmacılar bu çalışmada örtücü uygulanmayan Fuji IX'un ortalama yüzey

pürüzlülüğünün 4,69 µm olduğunu bulgulamıştır (3). Bu bulgu, bizim çalışmamızda Ionofil U'da elde ettiğimiz Ra değerinden oldukça yüksektir. Fuji IX'un, toz/likit oranı geleneksel CİS'lere göre artırılmış bir yüksek viskoziteli CİS olduğu düşünüldüğünde, bizim çalışmamızda en yüksek Ra değeri (1,33µm) bulgularanan kütlece %2 oranında MWCNT eklediğimiz grup (G2) ve onu takip eden %3 oranında MWCNT eklediğimiz grupta (G3) da artan MWCNT oranı nedeniyle benzer bir artış olduğu düşünülmektedir. Geleneksel CİS'in toz kısmına eklenen MWCNT oranındaki artışın daha fazla poröziteye neden olarak yüzey pürüzlülüğünü artırabileceği düşünülmektedir.

Bhat ve ark (2013), geleneksel CİS tozuna %1 ve %2 oranlarında MWCNT ekledikleri çalışmanın SEM bulgularında kontrol grubu ve %1 oranında MWCNT eklenen grupta doldurucuların polimer matriks tarafından tamamen ıslatılabildiği ve MWCNT'lerin matriks içinde iyi dağılım gösterdiğini bildirmişlerdir. Ancak artan oranda MWCNT eklenmesi durumunda MWCNT'lerin polimer matriks tarafından tamamen ıslatılamayıp, kümelenmişliğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar bu bulgunun sonucunda MWCNT'ler tarafından yeterince doldurulamayan polimer matriksin klinik koşullarda çiğneme kuvvetlerine karşı dayanıksız olabileceğini belirtmişlerdir (10). Çalışmamızın SEM görüntülemesinde kontrol grubunda ve %1 wt MWCNT içeren G1'de, G2 ve G3'e göre daha homojen bir yüzey izlenmesi bu çalışmanın sonuçlarıyla benzer nitelik taşımaktadır. Yine bu çalışmadan yola çıkarak çalışmamızda G2 ve G3'de elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin G0 ve G1'den yüksek olmasında matriks içinde kümelenen MWCNT'lerin etkisi olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan, çalışmamızın SEM görüntülemesi öncesi desikatörde kurutulan örneklerde izlenen mikro çatlakların da bu çalışma ile benzer olarak örnek hazırlama aşamasında oluştuğu düşünülmektedir.

Gjorgievska ve ark. (2015), cam iyonomer esaslı ChemFil® Rock ve EQUIA™ Fil materyallerine kütlece %10 oranında alüminyum oksit, zirkonyum oksit ve titanyum oksit nanopartikülleri eklemişler ve manuel olarak hazırlamışlardır. Çalışmanın SEM bulgularında nanopartikül eklenen materyallerin tamamında kontrol gruplarına göre daha az sayıda ve küçük boyutta hava boşluğu ile daha az sayıda mikroçatlak tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu durumun nanopartiküllerin siman matriksinde kolayca dağılıp ve cam doldurucular arası boşlukları doldurarak poröziteyi azaltmasıyla ilgili olduğunu

bildirmişlerdir (243). Bu çalışmanın sonuçlarından farklı olarak bizim çalışmamızın SEM görüntülemesi bulgularında, en homojen yüzey kontrol grubunda (G0) elde edilmiştir.

Çalışmamızın yüzey pürüzlülüğü deneyinin bulgularına paralel olarak SEM görüntülemesinde x500 ve x1000 büyütmede G2 yüzeyinde daha girintili çıkıntılı bir görüntü elde edilmiştir. G3’de daha büyük girinti çıkıntılar izlenmesine rağmen incelenen alanda sayıca G2’dekilerden daha az olduğu görülmektedir. Benzer şekilde G1’de izlenen girinti çıkıntı ve çatlak sayısı G2’dekilerden daha az ve G3’tekilerden daha küçük boyuttadır.

Çalışmamızın yüzey pürüzlülüğü deneyinden elde edilen verilere göre kütlece %1, %2 ve %3 oranında MWCNT eklenmesinin geleneksel CİS’lerin yüzey pürüzlülüğünde anlamlı bir olumsuz etki yaratmadığı belirlenmiştir. Ancak %1 oranında MWCNT eklendiğinde orijinal materyalin pürüzlülük değerlerine daha yakın sonuçlar elde edilmesi nedeniyle MWCNT’lerin bu oranda geleneksel CİS matrisi içinde daha homojen dağılım gösterdiği düşünülmektedir.

5.3. Materyallerin Antibakteriyel Etkinliklerinin Tartışılması

Minimal invaziv diş hekimliği alanında kullanılan restoratif materyallerin antibakteriyel özellikte olmaları restorasyon ömrünü ve başarısını artırmaktadır. Minimal invaziv tedavilerde çürük dentin uzaklaştırıldığında kavitede kalan mikroorganizmalar direkt olarak uygulanan restoratif materyal ile temas etmektedir. Bu aşamada kullanılan materyalin antibakteriyel özellikte olması sekonder çürük riskini azaltmaktadır (165, 244). Yapılan çalışmalarda dental materyallerin antibakteriyel etkileri incelenmiş ve geleneksel CİS’lerin en iyi antibakteriyel etkinlik gösteren dental siman olduğu bildirilmiştir (169, 245). CİS’lerin bu etkisine büyük ölçüde florid salımı yapabilmeleri katkı sağlamaktadır. Floridin bakteriyel glikolitik enzimler enolaz ve proton pompası ATPazı inhibe etmesinin, dental plak asidojenitesini ve bakteriyel kolonizasyonu etkileyerek antibakteriyel etki oluşturduğu düşünülmektedir (9, 146, 246).

Cam iyonomer simanların antibakteriyel özelliklerinin *in vitro* olarak değerlendirildiği çalışmalarda sıklıkla agar difüzyon testi (ADT) kullanılmıştır (166, 204, 246-248). ADT yöntemi hızlı sonuç alınan popüler bir yöntem olmasına rağmen etkinliği

deney materyalinin çözünebilirliği ve ortamın difüzyon özelliğine bağlı olarak değişmektedir. ADT’de çoğunlukla kalitatif veri elde edilmesi, bakteriyostatik ve bakterisidal özelliklerin ayırt edilememesi, örneklem büyüklüğü ve değişken sayısının artması ile testin zorlaşması gibi sınırlandırmalar bulunmaktadır (169, 248).

ADT’deki bu sınırlandırmaların doğrudan temas testi (DTT) yöntemi ile önüne geçilebilmektedir. DTT’de test edilen materyaller ile bakterilerin doğrudan ve yakın teması, materyallerin çözünebilirliğinden ve antimikrobiyal bileşenlerinin difüzyonundan bağımsız olarak, kantitatif olarak ölçülebilmektedir (249). DTT ağız içi koşulları daha iyi taklit edebilmekte ve ADT’de olası karışıklığa neden olabilecek faktörler, DTT ile kontrol altına alınabilmektedir (169, 250). Literatürde çeşitli dental materyallerin DTT yöntemi ile antibakteriyel etkilerinin değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır (85, 250-254).

Lewinstein ve ark. (2005), yaşlandırılmış dental simanların antibakteriyel etkilerini ADT ve DTT ile karşılaştırdıkları çalışmada ADT yöntemi ile simanlara ait antibakteriyel özelliklerin belirlenemediğini, DTT yönteminin dental simanların antibakteriyel özellikleri belirlemede daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir (169).

Diş çürüğünün başlamasında *Streptococcus mutans*’ın önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir. Yüksek *S. mutans* sayısı ile çürük oluşumu arasında direkt bir ilişki olduğu kabul edilmektedir (165, 204, 247, 255). Yapılan çalışmalar sonucunda CİS’lerin *S. mutans*’ın asit üretimini ve kariyojenik potansiyelini azalttığı gösterilmiştir (159, 162, 256). CİS’lerin sertleşme reaksiyonu sırasında düşen pH seviyesinin de *in vitro* olarak antibakteriyel etkilerine katkıda bulunduğu bildirilmiştir (165, 257). Yapılan bir çalışmaya göre CİS restorasyonlardaki başarısızlığın en önemli nedeni sekonder çürük oluşumudur (258). CİS’lerin antibakteriyel etkilerini iyileştirmek için çeşitli modifikasyonlar yapılmıştır (254, 255).

Hafshejani ve ark (2017), CİS’lerin antibakteriyel özelliklerini iyileştirmek için materyal yapısında yapılan modifikasyonları inceleyen çalışmaları derlemişlerdir. Bu derlemeye göre CİS’lerde rekürrent çürüklerin önlenmesinde yalnızca florid salımının yeterli olmadığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, çeşitli organik ve inorganik moleküllerin CİS yapısına eklenmesinin de antibakteriyel özelliklerde iyileşme yaratabileceğini bildirmişlerdir (255).

Yalçın (2009), yaptığı tez çalışmasında, bir rezin modifiye (Fuji II LC) ve iki geleneksel CİS (Ketac-Molar Easymix, Fuji IX GP) olmak üzere toplam üç farklı CİS'e beş farklı kimyasalı (Alüminyum fosfat, klorheksidin, lityum klorid, glutaraldehid, kalay florid) üç farklı konsantrasyonda (%1; %0,5; %0,1) ilave ederek *S. mutans* ve *Lactobacillus casei* üzerindeki antibakteriyel etkiyi doğrudan temas yöntemiyle değerlendirmiştir. Çalışmanın sonucunda %5 klorheksidin, %1 glutaraldehit ve %1 kalay florid eklenen bütün materyallerde antibakteriyel etkinliğinin artmış olduğu bildirilmiştir (254).

Dental materyallerin mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirme amaçlı kullanılan nanopartiküller antibakteriyel özelliklerin iyileştirilmesi amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Nanopartiküllerin mikroorganizmaların hidrojen bağlama, solunum işlevleri, DNA sentezi ve hücre duvarı sentezinde yarattığı değişiklikler ile antibakteriyel etki gösterdiği bildirilmiştir (247). Literatürde CİS'lere nanopartiküller eklenerek antibakteriyel etkinliğin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır (85, 247, 259).

Elsaka ve ark. (2011), bir geleneksel CİS'e kütlece %3, %5 ve %7 oranlarında nano TiO₂ eklemesi sonrası antibakteriyel özelliklerini doğrudan temas testi ile değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar farklı oranlarda nano TiO₂ eklenmiş gruplarda *S. mutans* üzerinde antibakteriyel etkinin kontrol grubu olan ekleme yapılmamış CİS'e göre daha fazla olduğunu gözlemişlerdir (85).

Hook ve ark. (2014), klorheksidin heksametafosfat nanopartikülleri eklenmiş geleneksel CİS'lerde klorheksidin ve florid salımının birlikte gerçekleştiğini dolayısıyla oluşturulan yeni antimikrobiyal içerikli dental nanomateryaller ile sekonder çürük oluşumunu önleyici etki oluşturulabileceğini bildirmiştir (259).

Metwally ve ark. (2018), nano altın ve nano gümüş ile güçlendirdikleri geleneksel CİS'in *S. mutans* üzerindeki antibakteriyel özelliklerini agar difüzyon testi ile değerlendirdikleri çalışmada antibakteriyel etkinin nano altın ile güçlendirilmiş CİS grubunda anlamlı derecede arttığını bildirmişlerdir (247).

Çalışmamızda nanopartiküller ile yapılan çalışmaların dizaynına benzer olarak bir geleneksel CİS'e (Ionofil U®, Voco, Germany) farklı oranlarda MWCNT eklenmiştir (10, 85, 247, 259). Nanoteknolojide yaygın kullanım alanına sahip karbon nanotüplerin antibakteriyel etkilerini bakteri yüzeyine tutunma şeklinde gösterdiği bildirilmiştir (260).

İlk aşama olan tutunmanın ardından bakteriyel hücre duvarının yapısı bozulmakta ve oksidasyon meydana gelmektedir (103).

Yapılan literatür incelemesinde CNT'lerin oral patojenler dışındaki bakterilere karşı antibakteriyel özelliklerini bildiren çalışmalara ulaşılmıştır (103, 106, 261-263). Çalışmamızın dizaynına benzer şekilde MWCNT ile güçlendirilmiş CİS'lerin antibakteriyel etkilerini değerlendiren çalışmalara ulaşılamasa da CNT'lerin *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkinliklerini bildiren çalışmalar bulunmaktadır (137, 260, 264, 265).

Karbon nanotüplerin antimikrobiyal aktivitelerinin, hedef mikroorganizma ile direkt fiziksel temaslarına bağlı olduğu bildirilmiştir (106, 266). Bu bilgi doğrultusunda ve yapılan çalışmalara benzer olarak, çalışmamızda kütlece farklı oranlarda MWCNT ile güçlendirilmiş CİS'lerin *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkinliklerini belirlemek için doğrudan temas testi (DTT) yöntemi uygulanmıştır. Deney grupları ve *S. mutans*'ın doğrudan temasından 24 saat sonra 630 nm dalga boyunda optik yoğunluk (OD) analizi yapılmıştır. OD değerinin yüksek olması canlı *S. mutans* miktarını, yani antibakteriyel etkinliğin düşük olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda kütlece %2 ve %3 oranlarında MWCNT eklenen gruplarda (G2 ve G3) kontrol grubuna (G0) göre daha düşük OD değerleri elde edilmiş, dolayısıyla *S. mutans*'a karşı daha yüksek antibakteriyel etki sağlanmıştır. Kütlece %1 oranında MWCNT eklenen grupta (G1) da daha düşük OD değerleri elde edilmesine rağmen bu iki grup arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır.

Akasaka ve Watari (2009), SWCNTler ve MWCNT'lerin *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkilerini bakteriyel presipitasyon analizi ile değerlendirmişlerdir. Çalışmada düşük çaplı (30 nm) MWCNT'lerin en fazla bakteriyel çökelti oluşturduğu bildirilmiştir (260).

Akasaka ve ark. (2010), CNT, grafit ve aktifleştirilmiş karbon ile oluşturdukları agar yapılarının yakın kızılötesi ışımaya ile *S. mutans*'a karşı antibakteriyel özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada CNT/agar yapısının bakterisidal etkisi grafit/agar ve aktifleştirilmiş karbon/agar gruplarına göre daha yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar bu etkiyi CNT'lerin yakın kızılötesi ışınları soğurması ve yüksek ısı oluşturması sonucu bakteriyel proteinlerin denatüre olması ile açıklamışlar ve oral patojenlerin fotodinamik olarak inaktive edilmesinde CNT/agar yapılarının etki gösterdiğini bildirmişlerdir (265).

Bai ve ark. (2011), üç farklı yüzey aktif madde (sürfaktan) ile modifiye edilmiş MWCNT'lerin *S. mutans*'a karşı antibakteriyel özelliklerini DTT ile incelemişler ve yüzey aktif maddelerin MWCNT'lere bağlanmasının antibakteriyel özelliklerini iyileştirdiğini bildirmişlerdir (264).

Suo ve ark. (2017), dentin yüzeyinde SWCNT ve MWCNT'den elde ettikleri örtücülerin makaslama bağlanma dayanımını ve *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkilerini inceledikleri çalışmada her iki tür örtücünün de makaslama bağlanma dayanımını etkilemediği ancak SWCNT ile örtülü yüzeylerin daha yüksek antibakteriyel etki gösterdiğini bildirmişlerdir (137).

Çalışmamızda yapılan çalışmalar ile benzer olarak MWCNT'ler *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etki göstermiştir (260, 264, 265). CNT'lerin polimer matrisi içinde dağılımının polimerin antibakteriyel performansında anlamlı artış yarattığı bildirilmiştir (267). Elde ettiğimiz bulgulara göre CİS matrisi içinde dağılan MWCNT doldurucuların, güçlü elektrostatik kuvvetler ile bakteriyel hücre zarı bütünlüğünü bozduğu ve oksidatif stres oluşturarak bakterisidal etki gösterdiği düşünülmektedir (103, 267).

CİS'lerin florid salımı kapasitelerinin, antibakteriyel etkilerine katkı sağladığı bilinmektedir (9, 146, 246). Çalışmamızın florid salımı deneyinde %1, %2 ve %3 oranında MWCNT ile güçlendirilen CİS'lerin florid salımı ölçümlerinde iyileşme gözlenmiştir. Bu bulgu, doğrudan temas testi ile *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkinin değerlendirildiği bu deneyin bulgularını desteklemektedir.

Bai ve ark. (2016), hidroksiapatit (HA), fluorhidroksiapatit (FHA) ve HA/CNT ve FHA/CNT ile oluşturdukları biyokompozitlerin antibakteriyel özelliklerini inceledikleri çalışmada canlı *S. mutans* sayısının FHA/CNT ve FHA grubunda azaldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar bu durumun floridin antibakteriyel etkisinden kaynaklandığını ve CNT eklenmesinin HA'nın antibakteriyel özelliklerini etkilemediği sonucunu elde etmişlerdir (9).

Çalışmamızda geleneksel CİS'in antibakteriyel etkinliği, toz kısma kütlece %2 ve %3 oranında MWCNT eklenmesi, *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkiyi anlamlı derecede artırmıştır. Elde ettiğimiz bulguları, geleneksel CİS'lerin florid salım özellikleri ile MWCNT'lerin doğasına özgü elektrostatik ve bakterisit özelliklerinin birlikte oluşturduğu sinerjistik etkinin sağladığı düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR

- 1) Çalışmamızda kontrol ve deney grubu örneklerinin tamamında belirlenen ölçüm günlerinde florid salımı ve topikal florid uygulaması sonrası yeniden florid salımı gerçekleşmiştir.
- 2) Çalışmamızda bütün gruplarda ilk 24 saat sonunda yüksek düzeyde florid salımının meydana geldiği patlama etkisi görülmüştür. Geleneksel CİS'lere kütlece %2 ve %3 oranlarında MWCNT eklenmesi bu patlama etkisinde artışa neden olmuştur. Kütlece %3 oranında MWCNT eklenen grupta 24 saat sonunda en yüksek florid salımı meydana gelmiştir.
- 3) Çalışmamızda 28 günlük kümülatif florid salımı deneyi sonunda bütün gruplarda anlamlı farklılık görülmüştür. 28 gün sonunda en yüksek florid salımı değerleri %3 oranında MWCNT eklenen grupta görülmüş, onu sırasıyla kütlece %2 ve %1 oranında MWCNT eklenen gruplar takip etmiştir. En düşük florid salımı kontrol grubu olan geleneksel CİS'te (Ionofil U®) elde edilmiştir.
- 4) Topikal florid uygulamasından 24 saat sonra kontrol grubunda en yüksek, kütlece %3 MWCNT eklenen grupta en düşük florid salımı değerleri elde edilmiştir. Florid yüklemesi sonrası kısa dönemde görülen bu etki, geleneksel CİS'lerde materyal yüzeyine tutunan floridin yüzeysel ve hızlı bir şekilde yeniden salımı ile gerçekleşmiştir.
- 5) 28 günlük kümülatif florid geri alımı deneyinin sonunda en yüksek geri alım değeri %3 oranında MWCNT eklenen grupta olup onu sırasıyla kütlece %2 ve %1 oranında MWCNT eklenen gruplar takip etmiştir. En düşük florid geri alımı kontrol grubunda elde edilmiştir. Geleneksel CİS'lere kütlece artan oranlarda ilave edilen MWCNT'ler ile topikal florid uygulaması sonrası uzun dönemde yavaş ve sürekli florid salımı gerçekleşmiştir.
- 6) Florid salımı ve geri alımı deneylerinden elde ettiğimiz sonuçlara göre geleneksel CİS'lerin toz kısımlarına kütlece artan oranlarda MWCNT eklenmesi,

fluorid salımı ve geri alımı özelliklerinde geleneksel CİS'e göre anlamlı bir iyileşme sağlamıştır.

- 7) Çalışmamızda kütlece %1, %2 ve %3 oranlarında MWCNT eklenmesi Ionofil U'nun yüzey pürüzlülüğü değerlerinde anlamlı bir değişiklik yaratmamıştır. Ancak en düşük yüzey pürüzlülüğü ortalaması kontrol grubunda elde edilmiş, onu sırasıyla kütlece %1, %3 ve %2 oranında MWCNT eklenen gruplar takip etmiştir.
- 8) Çalışmamızda geleneksel CİS'lerin *S. mutans*'a karşı antibakteriyel etkinliği, toz kısma kütlece %2 ve %3 oranlarında MWCNT eklenmesi ile anlamlı artış göstermiştir. Kütlece %1 oranında MWCNT eklenmesi geleneksel CİS'lerin antibakteriyel etkilerinde anlamlı değişikliğe neden olmamıştır.
- 9) Bu çalışma, nanoteknoloji alanında umut verici materyaller olan karbon nanotüplerin çocuk diş hekimliği pratiğinde önemli bir yere sahip cam iyonomer simanları güçlendirici etkisi ile ilgili olarak yapılmış ilk çalışmalardan olmuştur. Sonuçlar, karbon nanotüplerin bir geleneksel CİS'e %2 ve %3 oranlarında eklenmesinin materyalin yüzey pürüzlülüğünde önemli bir değişmeye neden olmaksızın, fluorid salım ve geri alım özellikleri ve *S. mutans*'a karşı antibakteriyel özelliklerinde anlamlı bir iyileşmeye neden olduğunu ortaya koymaktadır. Bu verilerin ileride yapılacak *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarla desteklenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAK LİSTESİ

- 1) Shiu-Yin C and Cheng A. A review of glass ionomer restorations in the primary dentition. *J Can Dent Assoc* 1999; **65**: 491 - 495.
- 2) Kemoli AM. The effects of ambient temperature and mixing time of glass ionomer cement material on the survival rate of proximal ART restorations in primary molars. *Contemp Clin Dent* 2014; **5**: 31-36.
- 3) Pacifici E, Bossu M, Giovannetti A, La Torre G, Guerra F, Polimeni A. Surface roughness of glass ionomer cements indicated for uncooperative patients according to surface protection treatment. *Ann Stomatol (Roma)* 2013; **4**: 250-258.
- 4) Farrugia C, Camilleri J. Antimicrobial properties of conventional restorative filling materials and advances in antimicrobial properties of composite resins and glass ionomer cements-A literature review. *Dent Mater* 2015; **31**: e89-99.
- 5) Pedrini D, Gaetti-Jardim Junior E, Mori G. Effect of the application of fluoride on the superficial roughness of vitremer glass ionomer cement and microbial adhesion to this material. *Br Oral Res* 2001; **15**: 70-76.
- 6) Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature* 1991; **354**: 56.
- 7) Zhang F, Xia Y, Xu L, Gu N. Surface modification and microstructure of single-walled carbon nanotubes for dental resin-based composites. *J Biomed Mater Res Part B Appl Biomater* 2008; **86**: 90–97.
- 8) Martins-Júnior P, Alcântara C, Resende R. Carbon Nanotubes: Directions and Perspectives in Oral Regenerative Medicine. *J Dent Res* 2013; **7**: 575-583.
- 9) Bai Y, Ma W, Jia R, Zheng X. Improved Properties of Carbon Nanotube-Fluorhydroxyapatite Biocomposite: Mechanical, Chemical Stability, and Antibacterial Activity *Adv Eng Mater* 2016; **18**: 1921-1929.
- 10) Bhat KA, Raghavan RN, Sangeetha D, Ramesh S. Multi-walled Carbon Nanotube Reinforced Glass Ionomer Cements for Dental Restorations. *Trends Biomater Artif Organs* 2013;**27**: 158-176.

- 11) Wilson AD and Kent BE. A new translucent cement for dentistry: The glass ionomer cement. *Brit Dent J* 1972;**132**: 133 – 135.
- 12) Khoroushi M, Mansoori-Karvandi T, Hadi S. The effect of pre-warming and delayed irradiation on marginal integrity of a resin-modified glass-ionomer. *Gen Dent* 2012; **60**: e383-388.
- 13) Mickenautsch S, Mount G, Yengopal V. Therapeutic effect of glass-ionomers: An overview of evidence. *Aus Dent J* 2011; **56**: 10-15.
- 14) Hickel R, Manhart J. *Glass-ionomers and compomers in pediatric dentistry*. In: Davidson CL and Mjör I, editors. *Advances in Glass Ionomer Cements*. Berlin/Chicago: Quintessence Publishing Co.; 1999, p: 221-226.
- 15) Albers HF. *Placing and finishing*. In: *Tooth-Colored Restoratives: Principles and Techniques* 9th ed.. London:BC Decker Inc Hamilton, 2002.
- 16) Mount GJ. *Biologic potential of glass ionomers*. In: *An Atlas of Glass Ionomer Cements:A Clinician's Guide*.3rd ed. London:Dunitz; 2002.
- 17) Köroğlu A, Ekren DO, Kurtoglu C. Conventional and adhesive dental luting agents: A literature review. *J Dent Fac Atatürk Uni* 2012; **22**: 205-216.
- 18) Toras FM, and Hamouda IM. Effect of Nano Filler on Microhardness, Diametral Tensile Strength and Compressive Strength of Nano-Filled Glass Ionomer. *Int J Dentistry Oral Sci* 2017; **4**: 413-417.
- 19) Preston A, Higham S, Agalamanyi E, Mair L. Fluoride recharge of aesthetic dental materials. *J Oral Rehabil* 1999; **26**: 936–940.
- 20) ISO 9917–1: *Dental Water Based Cements*; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2003.
- 21) Khoroushi M and Keshani M. A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dent Res J* 2013; **10**: 411.

- 22) Nagaraja Upadhya P and Kishore G. Glass ionomer cement: The different generations. . *Trends Biomater Artif Organs* 2005; **18**: 158-165.
- 23) Sauro S and Pashley DH. Strategies to stabilize dentine-bonded interfaces through remineralizing operative procedures- State of art. *Int J Adhes Adhes* 2016; **69**:39-57.
- 24) Kaya T and Tirali E. Advances in glass ionomer cements. *J Dent Fac Atatürk Uni* 2013;**7**:71-77.
- 25) Lohbauer, U. Dental Glass Ionomer Cements as Permanent Filling Materials? - Properties, Limitations and Future Trends: a review. *Materials* 2010; **3**: 76-96.
- 26) Moshaverinia A, Roohpour N, Chee WW, Schricker SR. A review of powder modifications in conventional glass-ionomer dental cements. *J Mater Chem* 2011; **21**:1319-1328.
- (27) Sharafeddin F and Feizi N. Evaluation of the effect of adding micro-hydroxyapatite and nano-hydroxyapatite on the microleakage of conventional and resin-modified Glass-ionomer CI V restorations. *J Clin Exp Dent* 2017; **9**: e242-e248.
- 28) Lin A, McIntyre NS, Davidson RD. Studies on the adhesion of glass -ionomer cements to dentin. *J Dent Res* 1992; **71**: 1836-1841.
- 29) Almuhaiza M. Glass-ionomer Cements in Restorative Dentistry: A Critical Appraisal. *J Contemp Dent Pract* 2016; **17**: 331-336.
- 30) Nicholson JW. Chemistry of glass-ionomer cements: A review. *Biomaterials* 1998;**19**: 485-494.
- 31) Croll TP and Helpin ML. Space maintainer cementation using light-hardened glass ionomer/resin restorative cement. *ASDC J Dent Child* 1994; **61**: 246-248.
- 32) McLean JW, Nicholson JW, Wilson, A.D. Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials. *Quintessence Int* 1994; **25**: 587–589.
- 33) Anusavice KJS, C.; Rawls, H.R. Dental Cements In: *Phillips' Science of Dental Materials*. St. Louis: Elsevier Health Sciences; 2012, p: 307.

- 34) Wilson AD, Kent BE, Clinton, D, Miller RP. The formation and microstructure of dental silicate cements. *J Mater Sci* 1972; **7**: 220–238.
- 35) Nicholson JW, Brookman PJ, Lacy OM, Wilson, A.D. Fourier transform infrared spectroscopic study of the role of tartaric acid in glass-ionomer dental cements. *J Dent Res* 1988; **67**: 1451–1454.
- 36) Croll T and Nicholson JW. Glass ionomer cements in pediatric dentistry: review of the literature. *Pediatr Dent* 2002; **24**:423-9.
- 37) Sidhu SK, Nicholson JW. A Review of Glass-Ionomer Cements for Clinical Dentistry. *J Funct Biomater* 2016; **7**:16.
- 38) Croll TP and Killian CM. Glass ionomer-silver-cermet interim Class I restorations for permanent teeth. *Quintessence Int* 1992; **23**: 731-733.
- 39) Guggenberger R, May R, Stefan KP. New trends in glass-ionomer chemistry. *Biomaterials* 1998; **19**: 479—483.
- 40) Williams JA, Billington RW, Pearson GJ. The comparative strengths of commercial glass ionomer cements with and without metal additions. *Br Dent J* 1992; **172**:437.
- 41) Krämer N, Pollety T, Pelka M, Hickel R. Long-term results with Cermet cement filling in class I/II cavities. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;**2**: 905-909.
- 42) Mitra SB. Adhesion to dentin and physical properties of a light-cured glass-ionomer liner/base. *J Dent Res* 1991; **70**:72–74.
- 43) Tjandrawinata R, Irie M, Suzuki K. Marginal gap formation and fluoride release of resin-modified glass-ionomer cement: effect of silanized spherical silica filler addition. *Dent Mater J* 2004; **23**: 305-313.
- 44) Yelamanchili A and Darvell BW. Network competition in a resin-modified glass-ionomer cement. *Dent Mater* 2008,; **24**: 1065–1069.

- 45) Donovan TE and Daftary F. Clinical uses of glass ionomer as restorative materials. *Compend Contin Educ Dent* 1987; **8**: 180-188.
- 46) Nicholson JW, Brookman PJ, Lacy OM, Wilson, AD . The influence of (+)-tartaric acid on the setting of glass-ionomer dental cements. *J Dent Res* 1988; **67**,: 1451–1454.
- 47) Forsten, L. Short- and long-term fluoride release glass ionomers and other fluoride-containing materials in vitro. *Scand J Dent Res* 1990; **98**:179- 185.
- 48) Hu JY, Li YQ, Smales RJ, Yip KH. Restoration of teeth with more-viscous glass ionomer cements following radiation- induced caries. *Int Dent J* 2002; **52**: 445-448.
- 49) Frencken JE and Wolke J. Clinical and SEM assessment of ART high-viscosity glass-ionomer sealants after 8-13 years in 4 teeth. *J Dent* 2010; **38**: 59-64.
- 50) Van't Hof MA FJ, van Palenstein Helderma WH, Holmgren CJ. The Atraumatic Restorative Treatment (ART) approach for managing dental caries: a meta-analysis. *Int Dent J* 2006; **56**: 345-351.
- 51) Cattani-Lorente MA, Dupuis V, Moya F, Payan J, Meyer JM. Comparative study of the physical properties of a polyacid- modified composite resin and a resin-modified glass ionomer. *Dent Mater* 1999; **15**: 21-32.
- 52) Van Dijken JWD. 3-year clinical evaluation of compomer, a resin modified glass ionomer and a resin composite in Class III restorations. *Am J Dent* 1996; **9**: 195-198.
- 53) Arrondo JL, Collado MI, Triana R, Ellacuria J. Setting reaction of polyacid modified composite resins or compomers. *Open Dent J* 2009; **3**: 197-201.
- 54) Karaoglanoglu S, Akgul N, Ozdabak HN, Akgul HM. Effectiveness of surface protection for glass-ionomer, resin-modified glass-ionomer and polyacid-modified composite resins. *Dent Mater J* 2009; **28**: 96-101.
- 55) Preston AJ, Agalamanyi EA, Higham SM, Mair LH. . The recharge of esthetic dental restorative materials with fluoride in vitro-two years' results. *Dent Mater* 2003; **1**: 32-37.

- 56) Xie H ZF, Wu Y, Chen C, Liu W. Dentine bond strength and microleakage of flowable composite, compomer and glass ionomer cement. *Aust Dent J* 2008; **53**: 325-331.
- 57) Khurshid Z, Zafar M, Qasim, S, Shahab S, Naseem M, AbuReqaiba, A. Advances in nanotechnology for restorative dentistry. *Materials Advances in nanotechnology for restorative dentistry. Materials* 2015; **8**: 717–731.
- 58) Najeeb S, Khurshid Z, Zafar M et al. Modifications in Glass Ionomer Cements: Nano-Sized Fillers and Bioactive Nanoceramics. *Int J Mol Sci* 2016; **17**:1134.
- 59) Lyapina MG, Tzekova M, Dencheva M et al. Nano-glass-ionomer cements in modern restorative dentistry. *Journal of IMAB* 2016; **22**:1160-1165.
- 60) Curtis AR, Palin WM, Fleming, GJ et al. The mechanical properties of nanofilled resin-based composites: The impact of dry and wet cyclic pre-loading on bi-axial flexure strength. *Dent Mater* 2009; **25**: 188–197.
- 61) Moshaverinia M and Borzabadi-Farahani A. Effects of incorporation of nano-fluorapatite particles on microhardness, fluoride releasing properties, and biocompatibility of a conventional glass ionomer cement (GIC). *Dent Mater J* 2016; **35**: 817–821.
- 62) Zainuddina N, Karpukhinab N, Lawc RV, Hill RG. Characterisation of a remineralising Glass Carbomer® ionomer cement by MAS-NMR Spectroscopy. *Dent Mater* 2012; **28**: 1051–1058.
- 63) Kahvecioglu F, Tosun G, Ulker HE. Intrapulpal Thermal Changes during Setting Reaction of Glass Carbomer(R) Using Thermocure Lamp. *Biomed Res Int* 2016; **20** ID:5173805.
- 64) Van Duinen RN, Davidson CL, De Gee AJ, Feilzer AJ. In situ transformation of glass-ionomer into an enamel-like material. *Am J Dent* 2004.; **17**: 223–227.

- 65) Arita K, Yamamoto A, Shinonaga Y et al. Hydroxyapatite particle characteristics in uence the enhancement of the mechanical and chemical properties of conventional restorative glassionomer cement *Dent Mater J* 2011; **30**: 672–683.
- 66) Cehreli SB, Tirali RE, Yalcinkaya Z, Cehreli ZC. Microleakage of newly developed glass carbomer cement in primary teeth. *Eur J Dent* 2013 **7**: 15-21.
- 67) Roberts TA, Miyai K, Ikemura K, Fuchigami K, Kitamura T. *Fluoride ion sustained release preformed glass ionomer filler and dental compositions containing the same*. U.S. Patent No 5,883,153, 1999.
- 68) Ikemura K, Tay FR, Kouro Y, et al. Optimizing filler content in an adhesive system containing pre-reacted glass-ionomer fillers. *Dent Mater* 2003; **19**: 137-146.
- 69) Ikemura K, R. Tay F, Endo T, H. Pashley D. 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 Mater J* 2008; **27**: 315-339.
- 70) Hill RG and Wilson AD. Some structural aspects of glasses used in ionomer cements. *Glass Technol* 1988; **29**,: 150–188.
- 71) Wasson EA and Nicholson JW. Studies on the setting chemistry of glass-ionomer cements. *Clinical materials*, 1991; **7**: 289-293.
- 72) Shahid S, Billington RW, Pearson GJ. The role of glass composition in the behaviour of glass acetic acid and glass lactic acid cements. *J Mater Sci Mater Med* 2008; **19**: 541-545.
- 73) Shahid S, Billington, RW, Hill RG, Anderson, P. Glass ionomer cements: Effect of strontium substitution on esthetics, radiopacity and fluoride release. *Dent Mater* 2014; **30**: 308–313.
- 74) Fareed MA and Stamboulis A. Nanoclay addition to conventional glass-ionomer cements: Influence on properties. *Eur Dent J* 2014; **8**: 456–463.

- 75) Pitel ML. Reconsidering glass-ionomer cements for direct restorations. *Compend Contin Educ Dent* 2014; **35**: 26-31.
- 76) Hamouda IM. Reinforcement of conventional glass- ionomer restorative material with short glassfibers. *J Mech Behav Biomed Mater* 2009; **2**: 73-81.
- 77) Rizzante FAP, Bombonatti JFS, Correr GM et al. Indications and restorative techniques for glass ionomer cement. Literature review article. *RSBO* 2015; **12**: 79-87.
- 78) Lucksanasombool P, Higgs W, Higgs R, Swain M. Toughness of glass fibres reinforced glass-ionomer cements. *J Mater Sci* 2002; **37**: 101– 108.
- 79) Lohbauer U, Walker J, Nikolaenko S et al. Reactive fibre reinforced glass ionomer cements. *Biomaterials* 2003; **24**: 2901-2907.
- 80) Yap AUJ, Pek YS, Kumar RA, Cheang P, Khor KA. Experimental studies on a new bioactive material: HAionomer cements. *Biomaterials* 2002; **23**: 955-962.
- 81) Kulan M and Ulukapı I. Diş Hekimliğinde Biyoaktif Camlar. *İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2011; **45**: 65-70.
- 82) Yli-Urpo H, Lassila LV, Narhi T, Vallittu PK. Compressive strength and surface characterisation of glass-ionomer cements modified by particles of bioactive glass. *Dent Mater J* 2005; **21**: 201–209.
- 83) Simmons JJ. The miracle mixture. Glass ionomer and alloy powder. *Tex Dent J* 1983; **100**: 6-12.
- 84) Kerby RE and Bleiholder RF. Physical Properties of Stainless-steel and Silver-reinforced Glass-ionomer Cements. *J Dent Res* 1991; **70**: 1358-1361.
- 85) Elsaka SE, Hamouda IM, Swain MV. Titanium dioxide nanoparticles addition to a conventional glass-ionomer restorative: Influence on physical and antibacterial properties. *J Dent* 2011; **39**: 589–598.
- 86) Dowling AH, Schmitt WS, Fleming GJP. Modification of titanium dioxide particles to reinforce glass-ionomer restoratives. *Dent Mater J* 2014; **30**: e159–160.

- 87) Oldfield CWB and Ellis B. Fibrous reinforcement of glass-ionomer cements. *Clin Mater* 1991; **7**: 313-323.
- 88) Kobayashi M, Kon M, Miyai K, Asaoka K. Strengthening of glass-ionomer cement by compounding short fibres with CaO–P₂O₅–SiO₂–Al₂O₃ glass. *Biomaterials* 2000; **21**: 2051-2058.
- 89) Ali Abou Neel E and Young AM. Setting kinetics and mechanical properties of flax fibre reinforced glass ionomer restorative materials. *J Biomed Res* 2017; **31**: 264-272.
- 90) Dowling AH, Stamboulis A, Fleming GJP. The influence of montmorillonite clay reinforcement on the performance of a glass ionomer restorative. *J Dent* 2006; **34**: 802-810.
- 91) Bekyarova E, Ni Y, Malarkey EB, et al. Applications of Carbon Nanotubes in Biotechnology and Biomedicine. *Journal of biomedical nanotechnology* 2005; **1**: 3-17.
- 92) De Volder MFL, Tawfick SH, Baughman RH, Hart AJ. Carbon Nanotubes: Present and Future Commercial Applications. *Science* 2013; **339**: 535-539.
- 93) Tran PA, Zhang L, Webster TJ. Carbon nanofibers and carbon nanotubes in regenerative medicine. *Adv Drug Deliv Rev* 2009; **61**: 1097-1114.
- 94) Kaushik BK and Majumder MK. *Carbon nanotube: properties and applications*. In: Carbon Nanotube Based VLSI Interconnects. Springer India, 2015. p. 17-37.
- 95) Sarkar D, Xu C, Li H, Banerjee K. High-Frequency Behavior of Graphene-Based Interconnects Part II: Impedance Analysis and Implications for Inductor Design. *IEEE Transactions on Electron Devices* 2011; **58**: 853-859.
- 96) Aoki N, Akasaka T, Watari F, Yokoyama A. Carbon Nanotubes as Scaffolds for Cell Culture and Effect on Cellular Functions. *Dent Mater J* 2007; **26**: 178-185.
- 97) Zarbin AJG. Química de (nano)materiais. *Química Nova* 2007; **30**: 1469-1479.
- 98) Javey A, Kong J. *Carbon Nanotube Electronics*: Springer US, 2009: 267.

- 99) Zanello LP, Zhao B, Hu H, Haddon RC. Bone Cell Proliferation on Carbon Nanotubes. *Nano Letters* 2006; **6**: 562-567.
- 100) Shah N, Gravel E, Jawale DV, Doris E, Namboothiri INN. Carbon Nanotube–Gold Nanohybrid Catalyzed N-Formylation of Amines by using Aqueous Formaldehyde. *Chem Cat Chem* 2014; **6**: 2201-2205.
- 101) Jin-Yuan H, Jian-Ming L, Min-Yi H, Chi-Chuan H. Theoretical variations in the Young's modulus of single-walled carbon nanotubes with tube radius and temperature: a molecular dynamics study. *Nanotechnology* 2006; **17**: 3920.
- 102) Forro L, Salvetat JP, Bonard JM, et al. *Electronic and mechanical properties of carbon nanotubes*. In: Thorpe MF, Tománek D, Enbody RJ. (eds). *Science and Application of Nanotubes*. Boston, MA: Springer US, 2002. p: 297-320.
- 103) Spizzirri UG, Hampel S, Cirillo G, et al. Functional Gelatin-Carbon Nanotubes Nanohybrids With Enhanced Antibacterial Activity. *Int J Polym Mater Polym Biomater* 2015; **64**: 439-447.
- 104) Luo PG, Wang H, Gu L et al. Selective Interactions of Sugar-Functionalized Single-Walled Carbon Nanotubes with Bacillus Spores. *ACS Nano* 2009; **3**: 3909-3916.
- 105) Goyal D, Zhang XJ, Rooney-Varga JN. Impacts of single-walled carbon nanotubes on microbial community structure in activated sludge. *Letters in Applied Microbiology* 2010; **51**: 428-435.
- 106) Kang S, Pinault M, Pfefferle LD, Elimelech M. Single-walled carbon nanotubes exhibit strong antimicrobial activity. *Langmuir* 2007; **23**: 8670–8673.
- 107) Nie C, Yang Y, Cheng C et al. Bioinspired and biocompatible carbon nanotube-Ag nanohybrid coatings for robust antibacterial applications. *Acta Biomater* 2017; **51**: 479-494.
- 108) Ghosh M, Chakraborty A, Bandyopadhyay M, Mukherjee A. Multi-walled carbon nanotubes (MWCNT): Induction of DNA damage in plant and mammalian cells. *J Hazard Mater* 2011; **197**: 327-336.

- 109) Lan J, Gou N, Gao C, He M, Gu AZ. Comparative and Mechanistic Genotoxicity Assessment of Nanomaterials via a Quantitative Toxicogenomics Approach across Multiple Species. *Environ Sci Technol* 2014; **48**: 12937-12945.
- 110) Wei H, Li Z, Hu S, Chen X, Cong X. Apoptosis of mesenchymal stem cells induced by hydrogen peroxide concerns both endoplasmic reticulum stress and mitochondrial death pathway through regulation of caspases, p38 and JNK. *J Cell Biochem* 2010; **111**: 967-978.
- 111) Bozentka DJ. Biological performance of materials: fundamentals of biocompatibility. *J Hand Surg* 1992; **18**: 1130.
- 112) Narayan RJ, Berry CJ, Brigmon RL. Structural and biological properties of carbon nanotube composite films. *Mater Sci Eng B* 2005; **123**: 123-129.
- 113) Oyar P. Nanoparticles Application Areas In Dentistry. *J Dent Fac Atatürk Uni* 2014;**24**:49-55.
- 114) Kayat J, Gajbhiye V, Tekade RK, Jain NK. Pulmonary toxicity of carbon nanotubes: a systematic report. *Nanomedicine:NBM* 2010; **7**: 40-49.
- 115) Gupta A, Liberati TA, Verhulst SJ, et al. Biocompatibility of single-walled carbon nanotube composites for bone regeneration. *Bone Joint Res* 2015; **4**: 70-77.
- 116) Zhu S, Zhu B, Huang A, Hu Y, Wang G, Ling F. Toxicological effects of multi-walled carbon nanotubes on *Saccharomyces cerevisiae*: The uptake kinetics and mechanisms and the toxic responses. *J Hazard Mater* 2016; **318**: 650-662.
- 117) Harik VM. Geometry of carbon nanotubes and mechanisms of phagocytosis and toxic effects. *Toxicol Lett* 2017; **273**: 69-85.
- 118) Jafar A, Alshatti Y, Ahmad A. Carbon nanotube toxicity: The smallest biggest debate in medical care. *Cogent Medicine* 2016; **3**. 1217970.
- 119) Wang J. Electrochemical glucose biosensors. *Chemical Rev* 2008; **108**: 814-825.
- 120) Endo M, Strano MS, Ajayan PM. *Potential Applications of Carbon Nanotubes*, In: Carbon Nanotubes : Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties and

Applications. Jorio A, Dresselhaus G, Dresselhaus MS. (eds). Springer Berlin Heidelberg, 2007.p:13-62.

121) Akyildiz IF and Jornet JM. Electromagnetic wireless nanosensor networks. *Nano Communication Networks* 2010; **1**: 3-19.

122) Ong YT, Ahmad AL, Zein SHS, Tan SH. A review on carbon nanotubes in an environmental protection and green engineering perspective. *Br J Chem Eng* 2010; **27**: 227-242.

123) Martin Y, Li Z, Tsutsumi T, et al. Detection of SF decomposition products generated by DC corona discharge using a carbon nanotube gas sensor. *IEEE Trans Dielectr Electr Insul* 2012; **19**: 671-676.

124) Wong SS, Joselevich E, Woolley AT, Cheung CL, Lieber CM. Covalently functionalized nanotubes as nanometre- sized probes in chemistry and biology. *Nature* 1998; **394**: 52-55.

125) Wang J and Musameh M. Carbon Nanotube/Teflon Composite Electrochemical Sensors and Biosensors. *Analytical Chemistry* 2003; **75**: 2075-2079.

126) Star A, Gabriel JCP, Bradley K, Grüner G. Electronic Detection of Specific Protein Binding Using Nanotube FET Devices. *Nano Letters* 2003; **3**: 459-463.

127) Boussaad S, Tao NJ, Zhang R, Hopson T, Nagahara LA. In situ detection of cytochrome c adsorption with single walled carbon nanotube device. *Chemical Comm* 2003;**9**:1502-1503.

128) Lerner MB, Kybert N, Mendoza R et al. Scalable, Non-Invasive Glucose Sensor Based on Boronic Acid Functionalized Carbon Nanotube Transistors *Appl Phys Lett* 2013;**102**. ID:183113.

129) Pantarotto D, Briand JP, Prato M, Bianco A. Translocation of bioactive peptides across cell membranes by carbon nanotubes. *Cheml Comm* 2004;**7**: 16-17.

- 130) Shi Kam NW, Jessop TC, Wender PA, Dai H. Nanotube Molecular Transporters: Internalization of Carbon Nanotube–Protein Conjugates into Mammalian Cells. *J Am Chem Soc* 2004; **126**: 6850-6851.
- 131) Akasaka T, Watari F, Sato Y, Tohji K. Apatite formation on carbon nanotubes. *Mater Sci Eng* 2006; **26** :675– 678.
- 132) Porter AE, Gass M, Muller K, Skepper JN, Midgley PA, Welland M. Direct imaging of single-walled carbon nanotubes in cells. *Nature Nanotechnol* 2007; **2**: 713.
- 133) Gupta P and Lahiri D. Aligned carbon nanotube containing scaffolds for neural tissue regeneration. *Neural Regen Res* 2016; **11**: 1062-1063.
- 134) Mukherjee S, Nandi SK, Kundu B, Chanda A, Sen S, Das PK. Enhanced bone regeneration with carbon nanotube reinforced hydroxyapatite in animal model. *J Mech Behav Biomed Mater* 2016; **60**: 243-255.
- 135) Ahadian S, Davenport Huyer L, Estili M, et al. Moldable elastomeric polyester-carbon nanotube scaffolds for cardiac tissue engineering. *Acta Biomaterialia* 2017; **52**: 81-91.
- 136) Tanaka M, Sato Y, Zhang M et al. In Vitro and In Vivo Evaluation of a Three-Dimensional Porous Multi-Walled Carbon Nanotube Scaffold for Bone Regeneration. *Nanomaterials (Basel)* 2017; **7**:46.
- 137) Suo L, Li Z, Luo F et al. Effect of dentin surface modification using carbon nanotubes on dental bonding and antibacterial ability. *Dent Mater J* 2017; **37**:229-236.
- 138) Wang W, Yokoyama A, Liao S et al. Preparation and characteristics of a binderless carbon nanotube monolith and its biocompatibility. *Mater Sci Eng* 2008; **28**: 1082–1086.
- 139) Akasaka T, Nakata K, Uo M, Watari F. Modification of the dentin surface by using carbon nanotubes. *Biomed Mater Eng* 2009; **19**: 179-185.
- 140) Sa MA, Andrade VB, Mendes RM et al. Carbon nanotubes functionalized with sodium hyaluronate restore bone repair in diabetic rat sockets. *Oral Dis* 2013; **19**: 484-493.

- 141) Kou W, Akasaka T, Watari F, Sjogren G. An in vitro evaluation of the biological effects of carbon nanotube-coated dental zirconia. *ISRN Dent* 2013. ID:296727.
- 142) Zaporotskova IV and Elbakyan LS. Obtaining New Dental Materials Reinforced with Carbon Nanotubes. *J Nano-Electron Phys* 2014; **6**: 1-3.
- 143) Flores-Cedillo ML, Alvarado-Estrada KN, Pozos-Guillen AJ et al. Multiwall carbon nanotubes/polycaprolactone scaffolds seeded with human dental pulp stem cells for bone tissue regeneration. *J Mater Sci Mater Med* 2016; **27**: 35.
- 144) Carey CM. Focus on Fluorides: Update on the Use of Fluoride for the Prevention of Dental Caries. *J Evid Based Dent Pract* 2014;**14**: 95-102.
- 145) Buzalaf M. *Fluoride and the Oral Environment* Basel: Karger, 2011.
- 146) Wiegand A, Buchalla W, Attin T. Review on fluoride-releasing restorative materials: Fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater* 2007; **23**: 343-362.
- 147) Vermeersch G, Leloup G, Delme M, Vreven J. Antibacterial activity of glass-ionomer cements, compomers and resin composites: relationship between acidity and material setting phase. *J Oral Rehab* 2005; **32**: 368-374.
- 148) Mungara J, Philip J, Joseph E, Rajendran S, Elangovan A, Selvaraju G. Comparative evaluation of fluoride release and recharge of pre-reacted glass ionomer composite and nano-ionomeric glass ionomer with daily fluoride exposure: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2013; **31**: 234-239.
- 149) Panigrahi A, Sudeep S, Sharma S, Mohanty S. Comparative Evaluation of Fluoride Recharge Ability of Conventional and Hydroxyapatite Modified Glass Ionomer Cement with Daily Low Fluoride Exposure- An Invitro Study. *J Clin Diagn Res* 2016; **10**: ZC53-55.
- 150) Poggio C, Andenna G, Ceci M, Beltrami R, Colombo M, Cucca L. Fluoride release and uptake abilities of different fissure sealants. *J Clin Exp Dent* 2016; **8**: e284-e289.

- 151) Martínez-Mier EA, Cury JA, Heilman JR, et al. Development of Gold Standard Ion-Selective Electrode-Based Methods for Fluoride Analysis. *Caries Res* 2011; **45**: 3-12.
- 152) Shen J, Gagliardi S, McCoustra MRS, Arrighi V. Effect of humic substances aggregation on the determination of fluoride in water using an ion selective electrode. *Chemosphere* 2016; **159**: 66-71.
- 153) Tylenda CA. *Toxicological profile for fluorides, hydrogen fluoride, and fluorine*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2003.
- 154) Bagheri R, Burrow MF, Tyas MJ. Surface characteristics of aesthetic restorative materials – an SEM study. *J Oral Rehabil* 2007; **34**: 68-76.
- 155) Hahnel S, Ionescu AC, Cazzaniga G, Ottobelli M, Brambilla E. Biofilm formation and release of fluoride from dental restorative materials in relation to their surface properties. *J Dent* 2017; **60**:14-24.
- 156) Erdemir U, Sancakli HS, Yildiz E. The effect of one-step and multi-step polishing systems on the surface roughness and microhardness of novel resin composites. *Eur J Dent* 2012; **6**: 198-205.
- 157) Kimyai S, Savadi-Oskoe S, Ajami AA, Sadr A, Asdagh S. Effect of three prophylaxis methods on surface roughness of giomer. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2011; **16**: 110-114.
- 158) Bani M. Cam iyonomer içerikli farklı restoratif materyallerin florid salınım ve geri alım özelliklerinin, yüzey pürüzlülüklerinin ve dentine bağlanma değerlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi. Doktora tezi. Ankara: T.C. Gazi Üniversitesi, 2011.
- 159) 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. *J Esthet Restor Dent* 2017; **29**: 424-434.

- 160) Nanoscience Instruments. *How a Profilometer Works*. Erişim:24.02.2018. <https://www.nanoscience.com/technology/optical-profiler-technology/how-profilometer-works/>
- 161) Thenisch NL, Bachmann LM, Imfeld T, Leisebach Minder T, Steurer J. Are Mutans Streptococci Detected in Preschool Children a Reliable Predictive Factor for Dental Caries Risk? A Systematic Review. *Caries Res* 2006; **40**: 366-374.
- 162) Takahashi N and Nyvad B. The Role of Bacteria in the Caries Process: Ecological Perspectives. *J Dent Res* 2010; **90**: 294-303.
- 163) Türkmen B, Ayhan K, Gunes Altuntas E. Dental Plak Oluşumundan Sorumlu Mikroorganizmalar ve Bunların Tüketilen Gıdalarla İlişkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016;1:51-61.
- 164) Ricketts D. Deep or partial caries removal: which is best? *Evid-Based Dent* 2008; **9**: 71.
- 165) Tarasingh P, Reddy JS, Suhasini K, Hemachandrika I. Comparative Evaluation of Antimicrobial Efficacy of Resin-Modified Glass Ionomers, Compomers and Giomers - An Invitro Study. *J Clin Diagn Res* 2015; **9**: ZC85-87.
- 166) Łuczaj-Cepowicz EB. Antibacterial activity of selected glass ionomer cements. *Postepy Hig Med Dosw* 2014; **68**: 23-28.
- 167) Sodagar A, Akhavan A, Hashemi E et al. Evaluation of the antibacterial activity of a conventional orthodontic composite containing silver/hydroxyapatite nanoparticles. *Prog Orthod* 2016; **17**: 40-40.
- 168) Weiss EI, Shalhav M, Fuss Z. Assessment of antibacterial activity of endodontic sealers by a direct contact test. *Endod Dent Traumatol* 1996;**12**:179-184.
- 169) Lewinstein I, Matalon S, Slutzkey S, Weiss EI. Antibacterial properties of aged dental cements evaluated by direct-contact and agar diffusion tests. *J Prosthet Dent* 2005; **93**: 364-371.
- 170) Hickel R KC, Paschos E et al. Longevity of occlusally-stressed restorations in posterior primary teeth. *Am J Dent* 2005; **18**: 198-211.

- 171) Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB. Dental caries. *The Lancet* 2007; **369**: 51-59.
- 172) Pellizzari V, Michels A, Luiz S, de Souza E, Tabchoury C, Rached R. Fluoride Ion Release of Self-Adhesive Resin Cements and Their Potential to Inhibit In Situ Enamel and Dentin Demineralization. *Oper Dent* 2017; **42**: 548-558.
- 173) Molina GF, Cabral RJ, Frencken JE. The ART approach: clinical aspects reviewed. *J Appl Oral Sci* 2009; **17**: 89-98.
- (174) Frencken JE and Holmgren CJ. Preface. *Atraumatic Restorative Treatment (ART) for dental caries*. Nijmegen: STI Book, 1999.
- 175) Yılmaz K and Özkan P. Dental Materyallerden Flor Salınımı. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci* 2009; **15**:23-29.
- 176) Arisu HD and Bala O. Cam iyonomer siman ve polaset modifiye kompozit rezinlerin florid salma özellikleri. *GÜ Diş Hek Fak Derg* 2007; **24**: 157-161.
- 177) Dionysopoulos D, Sfeikos T, Tolidis K. Fluoride release and recharging ability of new dental sealants. *Eur Arch Paediatr Dent* 2016; **17**: 45-51.
- 178) Rios D, Honorio HM, Araújo PA, Machado MA. Wear and superficial roughness of glass ionomer cements used as sealants, after simulated tooth brushing. *Pesqui Odontol Bras* 2002; **16**: 343-348.
- 179) Quirynen M and Bollen CM. The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of the literature. *J Clin Periodontol* 1995; **22**: 1-14.
- 180) Mutluay M. Süt dişlerinde restoratif materyal seçimi ve etkileyen faktörler. *Selcuk Dental Journal* 2016; **3**: 151-158.
- 181) Çapan BŞ and Akyüz S. Çocuk Diş Hekimliğinde Fluorid Salınımı Yapan Güncel Restoratif Materyaller. *Clin Exp Health Sci* 2016; **6**: 129-134.
- 182) Chandki R, Kala M, Kumar KN, Brigit B, Banthia P, Banthia R. Nanodentistry: Exploring the beauty of miniature. *J Clin Exp Dent* 2012; **4**: e119.

- 183) Zhang L, Weir MD, Chow LC, Antonucci JM, Chen J, Xu HH. Novel rechargeable calcium phosphate dental nanocomposite. *Dent Mater* 2016; **32**: 285-293.
- 184) Besinis A HR, De Peralta T, Tredwin C. Review of Nanomaterials in Dentistry: Interactions with the Oral Microenvironment, Clinical Applications, Hazards, and Benefits. *Acs Nano* 2015; **9**: 2255-2289.
- 185) Yoldaş SE. Fluorid yüklü karbon nanotüplerin polimetilmetakrilat ile kaplanması sırasında kontrollü florid salımının değerlendirilmesi. Doktora tezi. Ankara: T.C. Gazi Üniversitesi, 2016.
- 186) Petersen PE and Lennon MA. Effective use of fluorides for the prevention of dental caries in the 21st century: the WHO approach. *Community Dent Oral Epidemiol* 2004; **32**: 319-321.
- 187) Buzalaf M. Review of fluoride intake and appropriateness of current guidelines. *Advances in dental research* 2018; **29**: 157-166.
- 188) American Dental Association Council on Scientific Affairs. Professionally Applied Topical Fluoride: evidence based Clinical Recommendations. *J Dent Educ* 2007; **71**: 393-402.
- 189) Paek AE, Li, Y, Wang, Z et al. Caries outcome following an intensive fluoride varnish treatment regimen for children at high risk for early childhood caries. *Int J Paediatr Dent* 2018;**3**:291-299.
- 190) Adair SM. Evidence-based use of fluoride in contemporary pediatric dental practice. *Pediatric dentistry* 2006; **28**: 133-142.
- 191) Dionysopoulos P, Kotsanos N, Pataridou A. Fluoride release and uptake by four new fluoride releasing restorative materials. *J Oral Rehabil* 2003; **30**: 866-872.
- 192) Salman RF. Fluoride ions release study of different GIF materials. *Mustansiriya Dent J* 2018; **6**: 198-202.
- 193) Mickenautsch S. Fluoride release of resin-modified GIC versus fluoride containing composite resin. *J Minim Intervn Dent* 2018; **11**: 36-38.

- 194) Kumar RS, Ravikumar N, Kavitha S, et al. Nanochitosan modified glass ionomer cement with enhanced mechanical properties and fluoride release. *Int J Biol Macromol* 2017; **104**: 1860-1865.
- 195) Tiwari S, Nandlal B. Invitro Evaluation of Fluoride Release from Hydroxyapatite Reinforced Glass Ionomer with or without Protective Coating. *J Clin Diagn Res* 2016; **10**: ZC73-75.
- 196) Cildir SK and Sandalli N. Compressive strength, surface roughness, fluoride release and recharge of four new fluoride-releasing fissure sealants. *Dent Mater J* 2007; **26**: 335-341.
- 197) Paschoal MAB, Gurgel CV, Rios D et al. Fluoride release profile of a nanofilled resin-modified glass ionomer cement. *Br Dent J* 2011; **22**: 275-279.
- 198) Neelakantan P, John S, Anand S, Sureshababu N, Subbarao C. Fluoride release from a new glass-ionomer cement. *Oper Dent* 2011; **36**: 80-85.
- 199) Patel S, Omid N, Zoohori FV et al. Comparison of total ionic strength adjustment buffers III and IV in the measurement of fluoride concentration of teas. *Nutrition and Health* 2018;**1**:1-9.
- 200) Itota T, Carrick TE, Rusby S, Al-Naimi OT, Yoshiyama M, McCabe JF. Determination of fluoride ions released from resin-based dental materials using ion-selective electrode and ion chromatograph. *J Dent* 2004; **32**: 117-122.
- 201) Chatzistavrou E, Eliades T, Zinelis S, Athanasiou AE, Eliades G. Fluoride release from an orthodontic glass ionomer adhesive in vitro and enamel fluoride uptake in vivo. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; **137**: 451-458.
- 202) Kuhn A and Wilson A. The dissolution mechanisms of silicate and glass-ionomer dental cements. *Biomaterials* 1985; **6**: 378-382.
- 203) Mazzaoui SA, Burrow MF, Tyas MJ. Fluoride release from glass ionomer cements and resin composites coated with a dentin adhesive. *Dent Mater* 2000; **16**: 166-171.

- 204) Tiwari S, Kenchappa M, Bhayya D, et al. Antibacterial Activity and Fluoride Release of Glass-Ionomer Cement, Compomer and Zirconia Reinforced Glass-Ionomer Cement. *J Clin Diagn Res* 2016; **10**: ZC90-93.
- 205) Mousavinasab SM and Meyers IM. Fluoride Release by Glass Ionomer Cements, Compomer and Giomer. *Dent Res J (Isfahan)* 2009; **6**: 75–81.
- 206) Ariffin Z, Ngo H, McIntyre J. Enhancement of fluoride release from glass ionomer cement following a coating of silver fluoride. *Aus Dent J* 2006; **51**:328-32.
- 207) Al-Bakri IA, Swain MV, Naoum SJ et al. Fluoride release, recharge and flexural properties of polymethylmethacrylate containing fluoridated glass fillers. *Aust Dent J* 2014; **59**: 208-214.
- 208) Hsu HM, Huang GF, Chang HH et al. A continuous flow system for assessing fluoride release/uptake of fluoride-containing restorative materials. *Dental Mater J* 2004; **20**: 740–749.
- 209) Dijkman GE, Arends J. Secondary caries in situ around fluoride-releasing light-curing composites: a quantitative model investigation on four materials with a fluoride content between 0 and 26 vol%. *Caries Res* 1992; **26**: 351-357.
- 210) Yap A, Khor E, Foo S. Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth colored restoratives. *Oper Dent* 1999; **24**: 297-305.
- 211) Dastjerdi EV, Borzabadi-Farahani A, Pourmofidi-Neistanak H, Amini N. An in-vitro assessment of weekly cumulative fluoride release from three glass ionomer cements used for orthodontic banding. *Prog Orthod* 2012; **13**: 49-56.
- 212) Dionysopoulos D. The effect of fluoride-releasing restorative materials on inhibition of secondary caries formation. *Fluoride* 2014; **47**: 258-265.
- 213) Selimović-Dragaš M, Korać F, Đapo N. In vitro fluoride release from a different kind of conventional and resin modified glass-ionomer cements *Bosn J Basic Med Sci* 2013; **13** 197-202.

- 214) Cibim DD, Saito MT, Giovani PA, et al. Novel Nanotechnology of TiO₂ Improves Physical-Chemical and Biological Properties of Glass Ionomer Cement. *Int J Biomater* 2017; ID:7123919.
- 215) Upadhyay S, Rao A, Shenoy R. Comparison of the amount of fluoride release from nanofilled resin modified glass ionomer, conventional and resin modified glass ionomer cements. *J Dent (Tehran, Iran)* 2013; **10**: 134.
- 216) Xu X and Burgess JO. Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials. *Biomaterials* 2003; **24**: 2451-2461.
- 217) Ghajari MF, Torabzadeh H, Safavi N, Sohrabi A, Ardakani FF. Fluoride release from three glass ionomers after exposure to sodium fluoride and acidulated phosphate fluoride gels. *Dental Res J* 2014; **11**: 604.
- 218) Chamssedine F, Guérin K, Dubois M, et al. Fluorination of single walled carbon nanotubes at low temperature: Towards the reversible fluorine storage into carbon nanotubes. *J Fluorine Chem* 2011; **132**: 1072-1078.
- 219) Bamoussa A, Assery M, Pani S. Fluoride release and recharge abilities of zinc-reinforced glass ionomer cement in comparison to traditional high strength glass ionomers. *Saudi J Oral Sci* 2015; **2**: 69-73.
- 220) Silva RCD, Zuanon ACC. Surface roughness of glass ionomer cements indicated for atraumatic restorative treatment (ART). *Br Dent J* 2006; **17**: 106-109.
- 221) Gurdogan EB, Ozdemir-Ozenen D, Sandalli N. Evaluation of Surface Roughness Characteristics Using Atomic Force Microscopy and Inspection of Microhardness Following Resin Infiltration with Icon(R). *J Esthet Restor Dent* 2017; **29**: 201-208.
- 222) Mallya P, Acharya S, Ballal V, Ginjaipalli K, Kundabala M, Thomas M. Profilometric study to compare the effectiveness of various finishing and polishing techniques on different restorative glass ionomer cements. *J Interdiscip Dentistry* 2013; **3**: 86-90.
- 223) 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. *J Mater Sci Mater Med* 2007; **18**: 155-163.

- 224) Rios D, Honório HM, Araújo PAD, Machado MA. Wear and superficial roughness of glass ionomer cements used as sealants, after simulated toothbrushing. *Pesquisa Odontológica Brasileira* 2002; **16**: 343-348.
- 225) Geiger S, Ravchanukayev M, Liberman R. Surface roughness evaluation of resin modified glass-ionomers polished utilizing poly (acrylic acid) gel. *J Oral Rehabil* 1999; **26**: 704-709.
- 226) Pedrini D, Candido MS, Rodrigues AL. Analysis of surface roughness of glass-ionomer cements and compomer. *J Oral Rehabil* 2003; **30**: 714-719.
- 227) Özgünaltay G, Yazici A, Görücü J. Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of new tooth-coloured restoratives. *J Oral Rehabil* 2003; **30**: 218-224.
- 228) Yap A, Ng J, Yap S, Teo C. Surface finish of resin-modified and highly viscous glass ionomer cements produced by new one-step systems. *Oper Dent* 2004; **29**: 87-91.
- 229) Mohamed-Tahir M, Yap A. Effects of pH on the surface texture of glass ionomer based/containing restorative materials. *Oper Dent* 2004; **29**: 586-591.
- 230) Yap A, Teoh S, Hastings G, Lu C. Comparative wear ranking of dental restorative materials utilizing different wear simulation modes. *J Oral Rehabil* 1997; **24**: 574-580.
- 231) Gorseta K, Glavina D, Skrinjaric T, Czarnecka B, Nicholson JW. The effect of petroleum jelly, light-cured varnish and different storage media on the flexural strength of glass ionomer dental cements. *Acta Biomater Odontol Scand* 2016; **2**: 55-59.
- 232) Bala O, Arisu HD, Yikilgan I. Evaluation of surface roughness and hardness of different glass ionomer cements. *Eur J Dent* 2012; **6**: 79-86.
- 233) Bollen CM, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent Mater* 1997; **13**: 258-269.
- 234) Abu-bakr N, Han L, Okamoto A, Iwaku M. Changes in the mechanical properties and surface texture of compomer immersed in various media. *J Prosthet Dent* 2000; **84**: 444-452.

- 235) Bajwa NK, Pathak A. Change in surface roughness of esthetic restorative materials after exposure to different immersion regimes in a cola drink. *ISRN Dent* 2014; ID:353926.
- 236) Hamouda IM. Effects of Various Beverages on Hardness, Roughness, and Solubility of Esthetic Restorative Materials. *J Esthet Restor Dent* 2011; **23**: 315-322.
- 237) Turssi C, Hara A, Serra M, Rodrigues A. Effect of storage media upon the surface micromorphology of resin-based restorative materials. *J Oral Rehabil* 2002; **29**: 864-871.
- 238) Reis AF, Giannini M, Lovadino JR, Ambrosano GM. Effects of various finishing systems on the surface roughness and staining susceptibility of packable composite resins. *Dent Mater* 2003; **19**: 12-18.
- 239) Carvalho F, Sampaio C, Fucio S, Carlo H, Correr-Sobrinho L, Puppim-Rontani R. Effect of Chemical and Mechanical Degradation on Surface Roughness of Three Glass Ionomers and a Nanofilled Resin Composite. *Oper Dent* 2012; **37**: 509-517.
- 240) Gladys S, Van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Comparative physico-mechanical characterization of new hybrid restorative materials with conventional glass-ionomer and resin composite restorative materials. *J Dent Res* 1997; **76**: 883-894.
- 241) Silva RM, Pereira FV, Mota FA, Watanabe E, Soares SM, Santos MH. Dental glass ionomer cement reinforced by cellulose microfibrils and cellulose nanocrystals. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 2016; **58**: 389-395.
- 242) Momesso MGC, da Silva RC, Imparato JCP, Molina C, Navarro RS, Ribeiro SJL. In vitro surface roughness of different glass ionomer cements indicated for ART restorations. *Br J Oral Sci* 2010; **9**: 77-80.
- 243) Gjorgievska E, Van Tendeloo G, Nicholson JW, Coleman NJ, Slipper IJ, Booth S. The incorporation of nanoparticles into conventional glass-ionomer dental restorative cements. *Microsc Microanal* 2015; **21**: 392-406.

- 244) Banerjee A, Watson TF, Kidd EA. Dentine caries: take it or leave it? *SADJ* 2001; **56**: 186-192.
- 245) Imazato S. Bio-active restorative materials with antibacterial effects: new dimensions of innovation in restorative dentistry. *Dent Mater J* 2009; **28**: 11–19.
- 246) Dundar A, Karacam N, Yavuz T, Ozturk N, Pinarkara Y. Antibacterial effect of dental cements evaluated using agar diffusion test. *J Adhes Sci Technol* 2015; **29**: 1535-1542.
- 247) Metwally AAE, Habib N, Gomaa YF, Mohsen CA Antibacterial Activity and Setting Time of Glass Ionomer Cement Modified by Nano Gold and Nano Silver. *EC Dent Sci* 2018; **17**: 286-291.
- 248) Sungurtekin-Ekci E, Ozdemir-Ozenen D, Duman S, Acuner IC, Sandalli N. Antibacterial Surface Properties of Various Fluoride-Releasing Restorative Materials in Vitro. *J Appl Biomater Funct Mater* 2015; **13**: 169-173.
- 249) Matalon S, Slutzky H, Weiss EI. Antibacterial properties of 4 orthodontic cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005; **127**: 56-63.
- 250) Hugar SM, Assudani HG, Patil V et al. Comparative Evaluation of the Antibacterial Efficacy of Type II Glass Ionomer Cement, Type IX Glass Ionomer Cement, and Amalgomer™ Ceramic Reinforcement by Modified “Direct Contact Test”: An in vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2016; **9**:114-117.
- 251) Çobankara FK, Altinöz HC, Erganiş O, Kav K, Belli S. In vitro antibacterial activities of root-canal sealers by using two different methods. *J Endodont* 2004; **30**: 57-60.
- 252) Davidovich E, Weiss E, Fuks AB, Beyth N. Surface antibacterial properties of glass ionomer cements used in atraumatic restorative treatment. *J Am Dent Assoc* 2007; **138**: 1347-1352.
- 253) Koruyucu M, Topcuoglu N, Tuna EB et al. An assessment of antibacterial activity of three pulp capping materials on *Enterococcus faecalis* by a direct contact test: An in vitro study. *Eur J Dent* 2015; **9**: 240-245.

- 254) Yalçın M. Antibakteriyel etkinliklerinin geliştirilmesiyle modifiye edilmiş farklı tipteki cam iyonomer simanların antibakteriyel, sitotoksik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Doktora tezi. Konya: T.C. Selçuk Üniversitesi, 2009.
- 255) Hafshejani TM, Zamanian A, Venugopal JR, et al. Antibacterial glass-ionomer cement restorative materials: A critical review on the current status of extended release formulations. *J Control Release* 2017; **262**: 317-328.
- 256) Nakajo K, Imazato S, Takahashi Y, Kiba W, Ebisu S, Takahashi N. Fluoride released from glass-ionomer cement is responsible to inhibit the acid production of caries-related oral streptococci. *Dent Mater* 2009; **25**: 703-708.
- 257) Fucio SB, Paula AB, Sardi JC, Duque C, Correr-Sobrinho L, Puppim-Rontani RM. Streptococcus Mutans Biofilm Influences on the Antimicrobial Properties of Glass Ionomer Cements. *Braz Dent J* 2016; **27**: 681-687.
- 258) Xie D, Weng Y, Guo X, Zhao J, Gregory RL, Zheng C. Preparation and evaluation of a novel glass-ionomer cement with antibacterial functions. *Dent Mater* **27**: 487-496.
- 259) Hook ER, Owen OJ, Bellis CA, Holder JA, O'Sullivan DJ, Barbour ME. Development of a novel antimicrobial-releasing glass ionomer cement functionalized with chlorhexidine hexametaphosphate nanoparticles. *J Nanobiotechnol* 2014; **12**:1-9.
- 260) Akasaka T and Watari F. Capture of bacteria by flexible carbon nanotubes. *Acta Biomaterialia* 2009; **5**: 607-612.
- 261) Dinh NX, Chi DT, Lan NT et al. Water-dispersible silver nanoparticles-decorated carbon nanomaterials: synthesis and enhanced antibacterial activity. *Appl Phys A* 2015; **119**: 85-95.
- 262) Prodana M, Ionita D, Ungureanu C, Bojin D, Demetrescu I. Enhancing antibacterial effect of multiwalled carbon nanotubes using silver nanoparticles. *Microscopy* 2011; **6**: 549-556.
- 263) Lee KJ and Park HD. The effect of morphologies of carbon nanotube-based membranes and their leachates on antibacterial property. *Desal Water Treat* 2015; **57**: 7562-7573.

- 264) Bai Y, Park IS, Lee SJ et al. Aqueous dispersion of surfactant-modified multiwalled carbon nanotubes and their application as an antibacterial agent. *Carbon* 2011; **49**: 3663-3671.
- 265) Akasaka T, Matsuoka M, Hashimoto T, Abe S, Uo M, Watari F. The bactericidal effect of carbon nanotube/agar composites irradiated with near-infrared light on *Streptococcus mutans*. *Mater Sci Eng: B* 2010; **173**: 187-190.
- 266) Kang S, Herzberg M, Rodrigues DF, Elimelech M. Antibacterial effects of carbon nanotubes: size does matter! *Langmuir* 2008; **24**: 6409-6413.
- 267) Al-Jumaili A, Alancherry S, Bazaka K, Jacob MV. Review on the Antimicrobial Properties of Carbon Nanostructures. *Materials (Basel, Switzerland)* 2017; **10**:1-26.

8. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı	İDİL	Soyadı	AKMERİÇ
Doğum Yeri	BURSA	Doğum Tarihi	02/09/1991
Uyruğu	T.C.	T.C. Kimlik No	39349015666
E-mail	idil.gulten@std.yeditepe.edu.tr	Tel	05358393417

Öğrenim Durumu

Derece	Alan	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Diş Hekimliği	Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2014
Lise	MF (Matematik-Fen)	Nilüfer Milli Piyango Anadolu Lisesi	2009

Bildiği Yabancı Diller	Yabancı Dil Sınav Notu
İngilizce	78 (YDS -2014)

Bilimsel Çalışmaları:

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

1. Özdemir-Ozenen D, Sungurtekin-Ekci E, **Gulten I**, Sandalli N. Effect of common acidic beverages on the surface roughness of glass ionomer based restorative materials. Continental European Division of the International Association for Dental Research (CED-IADR) Antalya-Turkey, October 14-17, 2015. (Sözlü bildiri)
2. **Akmeriç İ**, Sungurtekin-Ekçi E. Effect of Multi-Walled Carbon Nanotube Incorporation to Glass Ionomer Cements on Surface Roughness and Microhardness: A Pilot Study. International Congress of Preventive Dentistry, Erzurum, Turkey. March 5-8, 2018. (Poster bildirisi)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

1. **Gülten I**, Güner Ş, Sandallı N. Yatay Kök Kırığı Gelişen Bir Üst Sürekli Kesici Diş Tedavi Yaklaşımı: Bir Olgu Sunumu. Türk Pedodonti Derneği Kongresi (TPD), Girne, KKTC . 2-5 Kasım, 2015 (Poster bildirisi)
2. Özdemir Özenen D, Sungurtekin-Ekçi E, **Gülten İ**, Sandallı N. Yapay Yaşlandırma ve Yüzey Uygulamalarının Cam İyonomer Esaslı Restoratif Materyallerin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Değerlendirilmesi. Türk Pedodonti Derneği Kongresi (TPD), Girne, KKTC . 2-5 Kasım, 2015 (Sözlü bildiri)
3. Hatipoğlu Z, **Gülten I**, Selvi-Kuvvetli S. Travma Sonrası Avulse Olan Sürekli Dişlerin Gecikmiş Replantasyonu: İki Olgu Raporu. Türk Pedodonti Derneği Kongresi (TPD), Kuşadası. 24-28 Eylül, 2016 (Poster bildirisi)

