

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ÇOCUK DİŞ HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜT DİŞİ DENTİN YÜZEYİNDE ÜÇ FARKLI MİNİMAL
İNVAZİV YAKLAŞIMIN MİKROSERTLİK VE
MİNERAL DENSİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dt. Elif ÇAKIROĞLU

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Doç.Dr. Zülfikar Zahit ÇİFTÇİ

2025-ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ÇOCUK DİŞ HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜT DİŞİ DENTİN YÜZEYİNDE ÜÇ FARKLI MİNİMAL
İNVAZİV YAKLAŞIMIN MİKROSERTLİK VE
MİNERAL DENSİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dt. Elif ÇAKIROĞLU

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Doç.Dr. Zülfikar Zahit ÇİFTÇİ

Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından
TDH-2025-6727 proje numarası ile desteklenmiştir.

2025-ANTALYA

ONAY SAYFASI

Elif ÇAKIROĞLU tarafından sunulan bu çalışma jürimiz tarafından **oy birliği/oy çokluğu** ile Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalında Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir. 08/09/2025

İmza

Üye : Doç.Dr. Z. Zahit ÇİFTÇİ
(Akdeniz Ünv. Diş Hek. Fak.
Çocuk Diş Hek. (Pedodonti) A.D)

Üye : Prof. Dr. M. Sinan DOĞAN
(Harran Ünv. Diş Hek. Fak.
Çocuk Diş Hek. (Pedodonti) A.D)

Üye : Doç. Dr. Özge GÜNGÖR
(Akdeniz Ünv. Diş Hek. Fak.
Çocuk Diş Hek. (Pedodonti) A.D)

Bu tez,/...../..... tarih ve/..... sayılı Yönetim Kurulu kararıyla belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

**Diş Hekimliği Fakültesi
Kurum Yöneticisi**

ETİK BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı beyan ederim.

Aday

Dt. Elif ÇAKIROĞLU

TEŞEKKÜRLER

Uzmanlık eğitimim boyunca ve tezimin her aşamasında büyük bir sabır ve titizlikle bana yardımcı olup, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle her daim paylaşan; desteğini ve hoşgörüsünü her zaman hissettiğim, beni her zaman her konuda sabır ve anlayışla dinleyip sorunlarıma çözüm getiren, tecrübeleri ile yol gösteren değerli hocam ve tez danışmanım Doç.Dr. Zülfikar Zahit ÇİFTÇİ'ye,

Uzmanlık eğitimim süresince akademik ve klinik tecrübelerinden çok şey öğrendiğim, her konuda ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin KARAYILMAZ'a

Uzmanlık eğitimim boyunca kıymetli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Doç. Dr. Özge GÜNGÖR'e,

Saygıdeğer jüri hocam Prof. Dr. Sinan DOĞAN'a,

Tezimde çokça emeği geçen ve her ihtiyacım olduğunda yardımlarını benden esirgemeyen Uzm. Dr. Esra ÇİFTÇİ'ye,

Uzmanlık eğitimim boyunca her zaman yanımda olan eş kıdemlilerim Zeynep KELEŞ TEPELİ, Ebru KURT, Günel MUSTAFAYEVA'ya, arkadaşlıklarını ve desteklerini her zaman hissettiren, Ayşe CENGİZ, Buse KARAMETE, Oğuzhan OGÜL, Çağla SÜYÜR, Merve ÇAM, Beyza ÖZDEMİR ve Sena Ceren BAŞTÜRK' e ve tüm pedodonti aileme,

Tüm hayatım boyunca hiçbir fedakarlıktan çekinmeden her anımda yanımda olan, sevgi ve destekleriyle bu günlere gelmemde büyük emekleri olan canım annem Sinem TOS, canım babam Özdemir TOS ve varlığına her zaman minnet duyduğum sevgili kardeşim Miray TOS'a,

Hayatımın her alanında olduğu gibi tez sürecinde de sabrı, sevgisi ve desteğiyle yanımda olan, bu süreci benimle birlikte yaşayan ve her zorlukta bana güç veren canım eşim Yakup ÇAKIROĞLU' na,

tüm kalbimle sonsuz teşekkür ederim.

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, yapay çürük oluşturulmuş süt dişi dentin yüzeyine uygulanan üç farklı minimal invaziv yaklaşımın remineralizasyon üzerine etkilerinin mikrosertlik testi ve mineral densitesi analizi ile değerlendirilmesidir.

Yöntem: Toplamda 76 adet çekilmiş süt azı dişinin dentin yüzeyleri kullanılmıştır. Dişler GF, ART ve GMART yöntemlerini temsil etmesi amacıyla üç ana gruba ayrılmıştır. Vickers mikrosertlik ölçümleri için her grupta n=20 olacak şekilde 60 adet diş seçilmiştir. Tedavi gruplarında yer alan dişler, sırasıyla başlangıç (T₀), pH siklusu sonrası (T₁), tedavi uygulaması sonrası (T₂) ve ek pH siklusu sonrası (T₃) olmak üzere dört farklı zaman noktasında değerlendirilmiş olup, aynı örneklerden tekrarlı ölçümler alınarak sertlik değişimleri kaydedilmiştir. Mineral densitelerinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan SEM-EDX analizlerinde ise her bir tedavi grubu için ayrılan 4 örnek ve ek olarak T₀ ve T₁ grupları için ayrılan 2 örnekte haritalama analizleri ve longitudinal yüzeyde çizgisel analiz yapılmıştır.

Bulgular: Tüm gruplarda, T₁ aşamasında mikrosertlik değerlerinde anlamlı düşüş kaydedilmiş olup, T₀ ve T₁ aşamalarında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. T₂ aşamasında tüm gruplarda T₁ değerlerine göre anlamlı artış görülmüş olup, En yüksek ortalama sertlik değeri GF grubunda ($39,54 \pm 3,13$ VHN), en düşük ortalama sertlik değeri ise ART grubunda ($34,41 \pm 3,09$ VHN) kaydedilmiştir. T₃ aşamasında ise tüm gruplarda T₂ aşamasına kıyasla düşüş olduğu görülmüş, en yüksek ortalama değer SMART grubunda ($36,27 \pm 3,64$ VHN), en düşük ortalama değer ise ART grubunda ($26,72 \pm 2,35$ VHN) kaydedilmiştir. SEM-EDX analizlerinde, tüm gruplarda T₂ aşamasında Ca/P oranının T₁ aşamasına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüş olup GF ve GMART gruplarında Ag elementinin varlığı tespit edilmiştir.

Sonuç: GF kullanılan çalışma gruplarında, ART'ye göre çok daha yüksek mikrosertlik değerleri elde edildiği görülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, yüksek çürük riski taşıyan ve kooperasyon güçlüğü yaşayan hasta gruplarında bu yöntemleri uygulamanın daha uygun bir seçenek olduğu önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: gümüş diamin florür, atravmatik restoratif tedavi, gümüş modifiyeli atravmatik restoratif tedavi, mikrosertlik analizi, mineral densitesi analizi

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to evaluate the effects of three different minimally invasive approaches applied to artificially demineralized primary dentin surfaces on remineralization, using microhardness testing and mineral density analysis.

Methods: A total of 76 extracted primary molars were used. The teeth were divided into three main groups representing GF, ART, and GMART approaches. For Vickers microhardness measurements, 60 teeth were selected (n=20 per group). Teeth in the treatment groups were evaluated at four different time points: baseline (T₀), after pH cycling (T₁), after treatment application (T₂), and after additional pH cycling (T₃). Repeated measurements were obtained from the same specimens, and changes in hardness were recorded. For mineral density determination, SEM-EDX analysis was performed on n=4 specimens per treatment group, as well as on n=2 specimens each from the T₀ and T₁ groups. Mapping and line scan analyses were conducted on longitudinal surfaces.

Results: In all groups, a significant decrease in microhardness values was observed at the T₁ stage, and no statistically significant difference was found between the groups at T₀ and T₁ stages. At the T₂ stage, all groups showed a significant increase compared to the T₁ values. The highest mean hardness value was recorded in the GF group (39,54 ± 3,13 VHN), while the lowest mean hardness value was recorded in the ART group (34,41 ± 3,09 VHN). At the T₃ stage, all groups exhibited a decrease compared to the T₂ stage. The highest mean value was found in the GMART group (36,27 ± 3,64 VHN), while the lowest mean value was observed in the ART group (26,72 ± 2,35 VHN). SEM-EDX analyses showed that the Ca/P ratio at the T₂ stage was higher compared to the T₁ stage in all groups, and the presence of Ag element was detected in the GF and GMART groups.

Conclusion: It was observed that the groups in which GF was applied exhibited significantly higher microhardness values compared to ART. According to the results of this study, applying these methods may be considered a more suitable option for patient groups with high caries risk and cooperation difficulties.

Keywords: silver diamine fluoride, atraumatic restorative treatment, silver-modified atraumatic restorative treatment, microhardness analysis, mineral density analysis

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Diş Yapısı	4
2.1.2. Süt Dişi Mine ve Dentininin Yapısal Özellikleri	6
2.2. Diş Çürüğü	7
2.2.1. Mine ve Dentin Çürüğü	16
2.3. Diş Çürüğünün Tedavisi	21
2.3.1. Çocuklarda Diş çürüğünün Tedavisinde Minimal İnvaziv Diş Hekimliği Yaklaşımları	22
2.4. Kavite Oluşmuş Çürük Lezyonunun Tedavisinde Minimal İnvaziv Diş Hekimliği Uygulamaları	31
2.4.1. Aşamalı Çürük Uzaklaştırılması	32
2.4.2. Selektif Çürük Uzaklaştırılması	33
2.4.3. Atravmatik Restoratif Tedavi	34
2.4.4. Hall Tekniği	34
2.4.5. Florür Uygulamaları	35
2.4.6. Gümüş Diamin Florür	38
2.4.7. GMART (Gümüş Modifiye Atravmatik Restoratif Tedavi)	50
2.5. Diş Hekimliğinde Yüzey Sertliği Ölçümü	51
2.6. Diş Hekimliğinde Mineral Densitesi Ölçümü	53
3. GEREÇ ve YÖNTEM	57
3.1. Dişlerin Toplanması	57
3.2. Örneklerin Hazırlanması	57
3.3. Örneklerin Gruplandırılması	59
3.4. Çalışma Prosedürü	60
3.5. Yapay Çürük Oluşturma Prosedürü	63

3.6. Materyallerin Uygulanması	64
3.7. CİS Materyalinin Uzaklaştırılması	66
3.8. Mikrosertlik Testinin Uygulanması	66
3.9. SEM-EDX Analizi İçin Örnek Hazırlığının Yapılması	69
3.10. SEM-EDX Analizinin Uygulanması	69
3.11. Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Analizi	71
4. BULGULAR	72
4.1. Mikrosertlik Ölçüm Bulguları	72
4.1.1. T ₀ Aşamasına Ait Bulgular	72
4.1.2. T ₁ Aşamasına Ait Bulgular	73
4.1.3. T ₂ Aşamasına Ait Bulgular	73
4.1.4. T ₃ Aşamasına Ait Bulgular	74
4.1.5. GF Grubuna Ait Mikrosertlik Değerlerinin İncelenmesi	76
4.1.6. ART Grubuna Ait Mikrosertlik Değerlerinin İncelenmesi	77
4.1.7. SMART Grubuna Ait Mikrosertlik Değerlerinin İncelenmesi	79
4.1.8. Gruplar Arası Mikrosertlik Değişimlerinin Zamansal Olarak Karşılaştırılması	81
4.2. SEM-EDX Görüntü ve Bulguları	82
4.2.1. Horizontal Yüzey Görüntü ve Bulguları	82
4.2.2. Longitudinal Yüzey Görüntü ve Bulguları	95
5. TARTIŞMA	113
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	138
KAYNAKLAR	140
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR

DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
HA	Hidroksiapatit
CİS	Cam İyonomer Siman
GCİS	Geleneksel Cam İyonomer Siman
RMCİS	Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman
YVCİS	Yüksek Viskoziteli Cam İyonomer Siman
ART	Atravmatik Restoratif Tedavi
GDF	Gümüş Diamin Florür
GF	Gümüş Florür
GMART	Gümüş Modifiyeli Atravmatik restoratif tedavi
VHN	Vickers mikrosertlik ölçümü
SS	Standart Sapma
SEM-EDX	Taramalı Elektron Mikroskobu – Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
Mikro-BT	Mikro-Bilgisayarlı Tomografi
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
Ca	Kalsiyum
P	Fosfor
Ca/P	Kalsiyum fosfor oranı
F	Flor
Ag	Gümüş
C	Karbon
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum
O	Oksijen
<i>S.mutans</i>	<i>Streptococcus Mutans</i>
<i>L.acidophilus</i>	<i>Lactobacillus Acidophilus</i>

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dişin sert dokularının şematik olarak gösterilmesi

Şekil 2.2. Stephen Eğrisi

Şekil 2.3. Diş çürüğü gelişiminde etkili olan faktörlerin şematik olarak gösterilmesi

Şekil 2.4. Demineralizasyon mekanizmasının şematik olarak gösterilmesi

Şekil 2.5. Remineralizasyon mekanizmasının şematik olarak gösterilmesi

Şekil 2.6. Gümüş diamin Florür solüsyonunun piyasa formlarının gösterilmesi

Şekil 2.7. Girinti ucu şekilleri (üst sıra) ve malzeme yüzeylerinde kalan izlerin (alt sıra) gösterilmesi

Şekil 3.1. A: silikon kalıp, B: çalışmada kullanılan süt molar diş örneği

Şekil 3.2. A: Hassas kesme cihazı B: Hassas kesme cihazı ile okluzal mine yüzeyinin kesilmesi C: Mine yüzeyi uzaklaştırılmış ve dentin yüzeyi açığa çıkartılmış diş örneği

Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan materyaller (A: Riva Star Aqua-SDI, Bayswater, Avustralya B: Riva Star Aqua-SDI, Bayswater, Avustralya 1. Aşama solüsyonu, C: Fuji IX GP, GC Corp, Tokyo, kapsül)

Şekil 3.4. Çalışma prosedürünün şematik olarak gösterilmesi

Şekil 3.5. A: Demineralizasyon çözeltisinin pH'ının ölçülmesi, B: Remineralizasyon çözeltisinin pH'ının ölçülmesi

Şekil 3.6. A: GF'nin bond fırçası ile dentin yüzeyine uygulanması B: Pipetin dentin yüzeyine yerleştirilmesi C: Pipetin parmak basıncı ile dentin yüzeyine sabitlenmesi

Şekil 3.7. A: GF uygulanması sonrası örnek görüntüleri, B: CİS uygulaması sonrası örnek görüntüleri, C: GMART uygulaması sonrası örnek görüntüleri

Şekil 3.8. CİS materyalinin uzaklaştırıldığı örnek görüntüsü

Şekil 3.9. Vickers mikrosertik cihazı

Şekil 3.10. A: Vickers mikrosertlik cihazı ile ölçülecek alanın x50 büyütmede belirlenmesi B: 15 sn boyunca 50 gr yük uygulanması C: Oluşan vickers izinin görüntülenmesi (x50) ve diyagonal uzunlukların ölçülmesi D: Elde edilen Vickers değerinin gösterilmesi

Şekil 3.11. %80 altın ve %20 paladyum kaplanmış dentin örnekleri

Şekil 3.12. SEM-EDX cihazının gösterilmesi

Şekil 4.1. Vickers mikrosertlik cihazı optik mikroskobunda x50 büyütmede elde edilen iz görüntülerinin gösterilmesi

Şekil 4.2. GF grubu mikrosertlik değerlerinin çizgi grafiği ile gösterilmesi

Şekil 4.3. ART grubu mikrosertlik değerlerinin çizgi grafiği ile gösterilmesi

Şekil 4.4. GMART grubu mikrosertlik değerlerinin çizgi grafiği ile gösterilmesi

Şekil 4.5. Horizontal yüzey(*), T₀ ve T₁ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.6. Horizontal yüzey(*), GF Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.7. Horizontal yüzey(*), ART Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.8. Horizontal yüzey(*), GMART Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.9. A. T₀ aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₀ aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.10. A. T₀ aşamasının 2.örneği olan 74 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₀ aşamasının 2. örneği olan 74 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.11. A.T₁ aşamasının 1.örneği olan 75 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₁ aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.12. A.T₁ aşamasının 2.örneği olan 76 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B.T₁ aşamasının 2. örneği olan 76 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.13. A.GF grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 61 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 61 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.14. A.GF grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 62 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 62 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.15 A.ART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 65 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 65 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.16. A.ART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 66 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 66 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.17. A.GMART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 69 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 69 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.18. A.GMART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 70 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART

grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 70 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.19. A.GF grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 63 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 63 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.20. A.GF grubu T₃ aşamasının 2..örneği olan 64 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 64 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.21. A.ART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 67 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 67 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.22. A.ART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 68 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 68 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.23. A.GMART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 71 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 71 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.24. A. GMART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 72 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 72 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.25. Longitudinal yüzey T₀ ve T₁ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.26. Longitudinal yüzey, GF Grubu T_2 ve T_3 aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.27. Longitudinal yüzey, ART Grubu T_2 ve T_3 aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.28. Longitudinal yüzey, GMART Grubu T_2 ve T_3 aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Şekil 4.29. A. T_0 aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_0 aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.30. A. T_0 aşamasının 2.örneği olan 74 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_0 aşamasının 2. örneği olan 74 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.31. A. T_1 aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi B. T_1 aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.32. A. T_1 aşamasının 2.örneği olan 76 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_1 aşamasının 2. örneği olan 76 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.33. A.GF grubu T_2 aşamasının 1.örneği olan 61 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T_2 aşamasının 1. örneği olan 61 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.34. A.GF grubu T_2 aşamasının 2.örneği olan 62 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T_2

aşamasının 2. örneği olan 62 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.35. A. ART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 65 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 65 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.36. A.ART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 66 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 66 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.37. A.GMART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 69 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 69 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.38. A.GMART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 70 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 70 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.39. A.GF grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 63 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 63 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.40. A. GF grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 64 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 64 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.41. A.ART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 67 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 67 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.42. A.ART grubu T_3 aşamasının 2.örneği olan 68 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T_3 aşamasının 2. örneği olan 68 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.43. A. GMART grubu T_3 aşamasının 1.örneği olan 71 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T_3 aşamasının 1. örneği olan 71 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.44. A.GMART grubu T_3 aşamasının 2.örneği olan 72 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B.GMART grubu T_3 aşamasının 2. örneği olan 72 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Şekil 4.45. A. T_0 aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_0 aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.46. A. T_0 aşamasının 2. örneği olan 74 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_0 aşamasının 2. örneği olan 74 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.47. A. T_1 aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_1 aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.48. A. T_1 aşamasının 2. örneği olan 76 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_1 aşamasının 2. örneği olan 76 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.49. A.GF grubu T_2 aşamasının 1.örneği olan 61 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T_2 aşamasının 1.örneği olan 61 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.50. A.GF grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 62 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 62 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.51. A.ART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 65 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 65 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.52. A.ART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 66 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 66 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.53. A.GMART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 69 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 69 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.54. . A.GMART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 70 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 70 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.55. A.GF grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 63 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 63 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.56. A.GF grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 64 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 64 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.57. A.ART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 67 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₃

aşamasının 1.örneği olan 67 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.58. A.ART grubu T_3 aşamasının 2.örneği olan 68 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T_3 aşamasının 2.örneği olan 68 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.59. A.GMART grubu T_3 aşamasının 1.örneği olan 71 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T_3 aşamasının 1.örneği olan 71 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

Şekil 4.60. A.GMART grubu T_3 aşamasının 2.örneği olan 72 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T_3 aşamasının 1.örneği olan 72 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Enfekte ve Etkilenmiş Dentin Karşılaştırılması

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan materyaller ve içeriklerinin gösterilmesi

Tablo 4.1. T₀ aşamasına ait mikrosertlik bulgularının gösterilmesi

Tablo 4.2. T₁ aşamasına ait mikrosertlik bulgularının gösterilmesi

Tablo 4.3. T₂ aşamasına ait mikrosertlik bulgularının gösterilmesi

Tablo 4.4. T₃ aşamasına ait mikrosertlik bulgularının gösterilmesi

Tablo 4.5. GF grubuna ait zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik verilerinin gösterilmesi

Tablo 4.6. GF grubuna ait mikrosertlik değerlerinin farklı zaman noktaları arasındaki değişimlerinin gösterilmesi

Tablo 4.7. ART grubuna ait zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik verilerinin gösterilmesi

Tablo 4.8. ART grubuna ait mikrosertlik değerlerinin farklı zaman noktaları arasındaki değişimlerinin gösterilmesi

Tablo 4.9. GMART grubuna ait zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik verilerinin gösterilmesi

Tablo 4.10. GMART grubuna ait mikrosertlik değerlerinin farklı zaman noktaları arasındaki değişimlerinin gösterilmesi

Tablo 4.11. Gruplar Arası Mikrosertlik Değişimlerinin Zamansal Olarak Karşılaştırılması

Tablo 4.12. Horizontal yüzey haritalama analizi bulguları

Tablo 4.13. Longitudinal yüzey haritalama analizi bulguları

1.GİRİŞ

Diş çürüğü, bakterilerin karbonhidratları fermente etmesi sonucu açığa çıkardıkları asitlerin diş sert dokularında neden olduğu yıkım olarak tanımlanmaktadır.⁽¹⁾ Dünya Sağlık Örgütü, diş çürüğünü, küresel halk sağlığı açısından en yaygın ve önlenebilir hastalıklardan biri olarak tanımlamıştır.⁽²⁾

Diş çürüğü, çocuk hastalarda da oldukça sık görülen önemli bir sağlık sorunudur. Çocuklarda tedavisi ihmal edilen diş çürükleri; ağrı ve apse oluşumu gibi problemlere sebep olarak beslenme bozukluklarına yol açmakta, çocuğun yaşam kalitesini, sosyal ve psikolojik gelişimini de olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle çocuk hastalarda erken müdahale etmek önemlidir ve kısa sürede uygulanabilen koruyucu tedavi seçenekleri ilk sırada tercih edilmelidir.⁽³⁾

Diş çürüğünün oluşumunda ilk aşama plak oluşumudur. Plak içerisinde kolonize olan karyojenik bakteriler diyetle alınan karbonhidratları fermente ederek asit oluşturur, asit mine tabakasının yüzeyini aşındırmaya başlar.⁽⁴⁾ Yüzeyden, hidroksiapatit (HA) kristallerinin mineral iyonları uzaklaşmaya başlar ve bu durum demineralizasyon olarak adlandırılmaktadır.⁽⁵⁾ Ancak, tükürükte bulunan kalsiyum ve fosfat iyonları, diş yüzeyi üzerine çökerek remineralizasyonu sağlamaktadır. Remineralizasyon, demineralizasyon süreci boyunca diş yüzeyinden kaybedilen kalsiyum ve fosfat gibi minerallerin, diş yüzeyine tükürükte bulunan veya dışarıdan kaynak alan mineral içeriği açısından yüksek doygunluktaki bir ajanın uygulanması sayesinde tekrar geri alınması ve depolanması olarak izlenmektedir ve aktif çürük oluşum sürecinin bir parçasıdır. Demineralizasyon-remineralizasyon dengesi demineralizasyon lehine kayarsa çürük dentine ilerlemekte ve kavitasyon oluşmaktadır.⁽⁶⁾

Dentin çürüğü, klinik ve histolojik olarak çürükle enfekte dentin ve çürükten etkilenmiş dentin olarak ikiye ayrılmaktadır. Enfekte dentin çürüğün en dış kısmını oluşturan, klinik olarak yumuşak ve ıslak görünümlü, kolajen denatürasyonunun olduğu ve mikrobiyal açıdan oldukça zengin olan tabakadır. Günümüzde, çürüğün ilerlemesindeki asıl etkenin biyofilm olduğu, enfekte dentinin sızdırmaz bir restorasyonla kapatılması halinde çürük ilerlemesinin önüne geçilebileceği savunulmaktadır.⁽⁷⁾ Etkilenmiş dentin ise klinik olarak sert ve koyu renkli, geri

dönüşümsüz kolajen denatürasyonuna uğramamış ve remineralize olabilen bir tabakadır.⁽⁸⁾

Uzun yıllar boyunca, diş çürüğünün tedavisinde, mekanik preperasyon yapılarak çürüğün tamamının uzaklaştırılması ve oluşan madde kaybının restoratif materyaller kullanılarak tedavi edilmesi yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşımın kooperasyon gerektirmesi, uzun aşamalar içermesi, lokal anestezi uygulaması gibi ağırlı işlemler içermesi, maliyetli olması, çok fazla doku yıkımına sebep olması gibi nedenlerle, çocuk hastalarda diştten madde kaldırılmasına gerek olmayan, remineralizasyon sağlanmasının amaçlandığı, manipölasyonu kolay olan minimal invaziv diş hekimliğı uygulamaları günümüzde daha popüler hale gelmiştir.⁽⁹⁾

Minimal İnvaziv Diş Hekimliğı, diş çürüklerini önlemeye ve oluşan çürükleri remineralizasyon sağlayarak durdurmaya, karyojenik bakterileri azaltmaya ve dişleri minimum madde kaybı ile tedavi etmeye odaklanmaktadır. Diş hekimliğinde kullanılan materyallerdeki gelişmeler yeni uygulamaları da beraberinde getirmekte, minimal invaziv diş hekimliğinin gelişimini ve uygulanabilirliğini artırmaktadır.⁽¹⁰⁾

Bu uygulamalardan biri Atravmatik Restoratif Tedavidir (ART). ART, el aletleri ile çürüğün temizlenip, yüksek viskoziteli bir cam iyonomer ile restorasyonun tamamlanmasıdır. Cam iyonomer simanlar (CİS), flor salan ve flor depolama özelliğı olan restoratif materyallerdir. CİS'lerden tükürüğe geçen florür kritik pH değerinde aside daha dayanıklı olan florapatite dönüşür ve remineralizasyon süreci başlar.⁽¹¹⁾

Yakın geçmişte koruyucu diş hekimliğı uygulamaları arasında yerini alan bir diğer tedavi yöntemi ise içerisindeki yüksek orandaki florür ve antibakteriyel özellikteki gümüş iyonları sayesinde çürükleri durdurma ve yeni lezyon oluşumunu engelleme özelliğı olan Gümüş Diamin Florür (GDF) uygulamalarıdır.⁽¹²⁾ GDF'nin çok küçük ve kooperasyon kurulamayan çocuklarda ilerlemiş ve kavitasyon oluşmuş çürük lezyonunun tedavisinde kullanılabilmesi avantaj oluşturmaktadır. GDF uygulaması çürük lezyonunun ilerlemesini durdurabilmekte ancak dişlerin restore edilmediğı bir yaklaşım olduğı için diş formunu veya çiğneme fonksiyonunu geri getirememektedir. Bu fonksiyonların sağlanabilmesi amacıyla Gümüş Modifiyeli Atravmatik Restoratif Tedavi (GMART) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yeni yöntem sayesinde GDF'nin antibakteriyel ve remineralizasyon sağlama etkinliğinden yararlanılırken, CİS ile

restorasyon tamamlanır ve diş, çiğneme fonksiyonunu yerine getirebilir duruma gelir, ayrıca CİS' in biyouyumluluğu ve flor salınımından da yararlanılmaktadır. ⁽¹³⁾

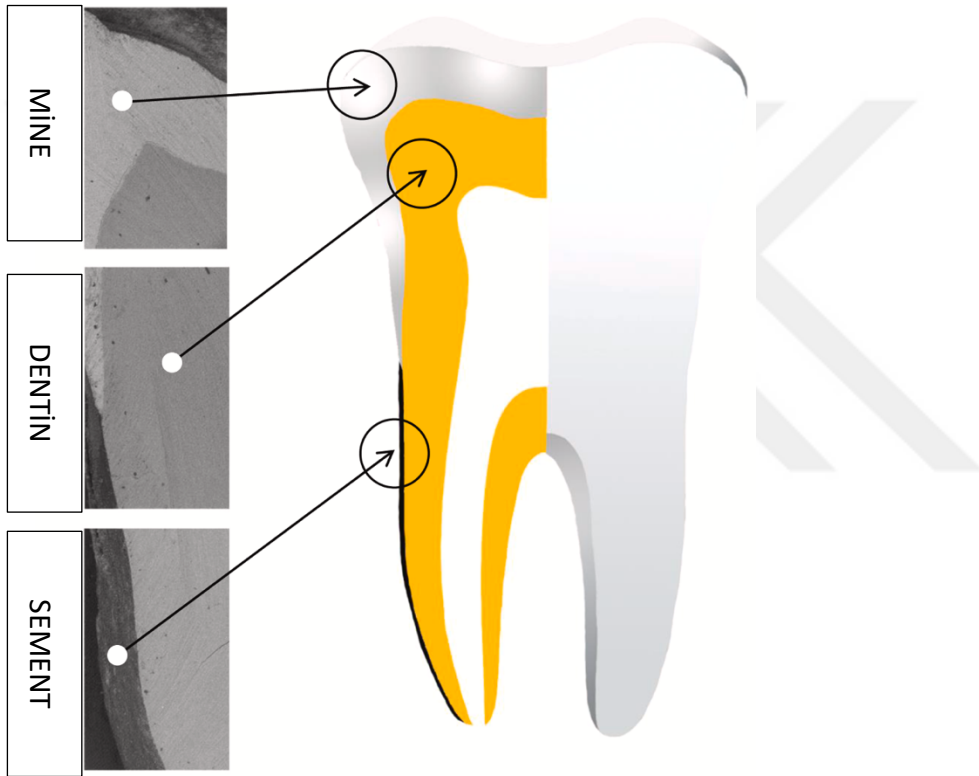
Literatür incelendiğinde daha önce daimi dişlerde, GDF'nin kullanıldığı ve uygulama sonrası dentin yüzey özelliklerinin incelendiği çalışmalar yapılmış olsa da süt dişlerinin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma olduğu görölmektedir. Çalışmamızda, yapay çürük lezyonları oluşturulmuş süt dişi dentin yüzeyi üzerine uygulanacak GDF, ART ve GDF+CİS (GMART) materyallerin; pH siklusu altında, dentin yüzey sertliği ve mineral dansitesindeki değişimin incelenmesi ve etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır.



2.GENEL BİLGİLER

2.1. Diş Yapısı

Diş, morfolojik ve histolojik açıdan farklılaşmış iki ana bölümden oluşan bir yapıdır. Kuron, dişin oral kavitede görünen ve çiğneme fonksiyonunu yerine getiren taç kısmıyken; kök, diş alveol kemiğine bağlayan ve periodontal dokularla ilişkili olan, sement ile örtülü yapıdır (Şekil 2.1.). Diş kuronu, yapısı ve işlevi birbirinden farklı olan iki sert dokudan oluşmaktadır.⁽¹⁴⁾



Şekil 2.1. Dişin sert dokularının şematik olarak gösterilmesi ⁽¹⁵⁾

Mine

Mine, dişin anatomik kuronunu kaplayan oldukça sert ve mineralize bir dokudur ve canlı hücre içermemektedir, bu nedenle yenilenme kapasitesi yoktur. Gerilme, ezilme ve yüklenme gibi mekanik kuvvetlere karşı yüksek direnç göstermektedir. Bu özellikleri sayesinde, dişin iç yapısını ısı, mekanik travmalar, renk değişimi ve mikroorganizmaların penetrasyonu gibi dış etkenlere karşı etkin bir şekilde korumaktadır.⁽¹⁵⁾

Klinik olarak mine; sert, kırılğan, parlak ve yarı saydam bir kütle görünümündedir. Mine dokusu, %95–97 oranında inorganik madde, %1–2 organik bileşen içermekte ve geri kalanı sudan oluşmaktadır. Mohs mineral sertlik skalasına göre mine, 6. derecede yer almakta olup (1 en yumuşak, 10 en sert olacak şekilde) vücudumuzdaki en sert dokudur. Bu yüksek sertlik düzeyi %97 oranındaki inorganik madde içeriğine bağlıdır. Ancak, düşük çekme direnci nedeniyle kırılğan bir yapıya sahiptir ve bu durum, çatlak ve kırık oluşumuna neden olabilmektedir. Mine dokusunun içeriğini başlıca, kalsiyum, fosfor, oksijen, karbon, azot ve magnezyum gibi elementler oluşturmaktadır. Mine dokusunun yapıtaşları ise kimyasal formülü $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ olan hidroksiapatit (HA) kristalleridir. Bu kristaller; dikdörtgen, küp, rombohedral ve iğne benzeri şekillerde olabilir, ancak çoğunlukla çubuk (rod) formundadır. Bu kristaller bir araya gelerek daha büyük bir yapıyı, yani mine prizmasını oluştururlar.⁽¹⁶⁾ Mine, dentinle dentinoenamel birleşim bölgesinden sıkıca bağlıdır. Kuronun insizal ve okluzal alanlarında daha kalın olmakla birlikte mine-sement birleşim bölgesinde incelerek sonlanmaktadır.^(8,14)

Dentin

Dentin, dişin hacimsel olarak en büyük bölümünü oluşturan ve hem yapısal hem de fonksiyonel açıdan mine ile pulpa arasında bir ara doku işlevi gören kompleks bir sert dokudur. %70 inorganik, %20 organik madde ve %10 su içerir; bu yapısı dentini hem dayanıklı hem de esnek bir doku hâline getirmektedir. Organik matriksin yaklaşık %90'ı Tip I kolajenden oluşmakta, geri kalanı ise çözünmeyen non-kollajen proteinler (%6,7), sitrik asit (%0.9), proteoglikanlar ve lipidler (%0.2) gibi çeşitli makromoleküllerden oluşmaktadır. İnorganik içeriği ise büyük ölçüde HA kristalinden oluşmakta; bu kristal yapı, zaman zaman florür iyonlarının da dahil olduğu daha dayanıklı florohidroksiapatit formunda bulunabilmektedir. Ayrıca kalsiyum karbonat, amorf fosfat, magnezyum iyonları ve demir, kurşun, manganez, bakır, çinko ve kükürt gibi eser elementler de dentin yapısında bulunabilir. Tip I kolajenin biyomekanik özelliği sayesinde dentin, mineye oranla daha esnek olup, dişin kırılmaya karşı dayanımında kritik bir rol oynar.⁽¹⁵⁾ Dentin yapısında bulunan dentin tübülleri, pulpa ile mine ya da sement arasındaki iletişimi sağlayarak hem duyuşal hem de besleyici işlevler üstlenir ve dentinin canlı bir doku olarak metabolik süreçlerde rol almasında önemli bir yere sahiptir.⁽¹⁷⁾

2.1.2. Süt Dişı Mine ve Dentininin Yapısal Özellikleri

Süt dişı minesinin içeriği ve yapısı daimi dişler ile benzer olmakla birlikte, içeriği oransal olarak farklılık göstermektedir. Süt dişı minesinin, %92–96'sı inorganik madde (mineral faz), %4'ü organik madde ve geri kalanı sudan oluşmaktadır.⁽¹⁸⁾ İnorganik kısmın büyük bölümü daimi diş minesinde de olduğu gibi HA kristallerinden oluşmaktadır.⁽¹⁹⁾ Daha ince ve daha az mineralize olan süt dişı mine tabakası, bu dişlerin daha beyaz görünmesini sağlamakla birlikte, çürük ve erozyon gibi yıkıcı durumlara karşı daimi dişlerden daha dayanıksız olmasına da yol açmaktadır. Mine oluşum sürecinde, dokunun tabaka tabaka oluşması ile retzius çizgileri ortaya çıkmakta ve süt dişlerinde belirgin biçimde görülen bu retzius çizgisine neonatal hat adı verilmektedir. Bu çizginin iç kısmındaki mine doğum öncesinde (prenatal), diş kısmındaki ise doğum sonrasında (postnatal) oluşmaktadır. Bu iki bölge arasında kalınlık ve içerik açısından farklılıklar olduğu literatürde belirtilmiştir.⁽²⁰⁾

Süt dişı kuronlarının ortalama gelişimi 6 ile 14 ay arasında tamamlanırken, daimi dişlerde bu süreç yaklaşık 3-4 yıl sürmektedir. Bu nedenle, süt dişlerinin mine tabakası, daimilere oranla daha incedir.⁽¹⁸⁾ Mine mikroyapısı, süt dişlerinde de daimi dişlerle benzer şekilde dentin-mine birleşiminden diş yüzeyine dik olarak uzanan HA kristallerinden oluşan mine prizmalarından meydana gelmektedir. Prizmalar arası bölgeler protein açısından zengindir ve bu alanlara interprizmatik mine adı verilir. Prizmasız mine olarak tanımlanan tabakada ise HA kristalleri birbirine paralel ve yüzeye dik konumda sıralanır. Yapılan bazı çalışmalar, süt dişlerinde bu prizmasız mine tabakasının daimi dişlere göre daha kalın ve daha homojen olduğunu göstermiştir.^(18,19)

Mineden daha az mineralize olan dentinin yaklaşık %70'i inorganik maddelerden, %20'si organik madde ve %10'u sudan oluşmaktadır. En önemli inorganik bileşen HA kristalleridir. Organik matriksin yaklaşık %90'ını Tip I kolajen oluştururken, geri kalan %10'luk kısmında fosfoproteinler, proteoglikanlar, asidik glikoproteinler, büyüme faktörleri ve lipidler yer almaktadır. Süt dişı dentini ile daimi diş dentini, morfolojik yapı ve histolojik özellikler açısından benzerlik gösterse de, süt dişı dentini daimi diş dentinine oranla daha az mineralize ve buna bağlı olarak da daha az serttir.^(21–23) Süt dişı dentininin prenatal ve postnatal olmak üzere iki tabakadan oluştuğu bilinmektedir. Prenatal dentin daha yoğun ve homojen bir yapıya sahipken,

postnatal dentin daha az yoğun, daha heterojen ve poröz bir yapıya sahiptir. Süt dişlerinde daimilerden farklı olarak predentin tabakası, koronal bölgeden kökün orta üçlüsüne doğru azalmakta ve apikal bölgede kaybolmaktadır. Süt dişi dentininde, daimi diş dentinine oranla peritübüler dentinin daha kalın olması nedeniyle dentin tübül yoğunluğunun genellikle daha düşük, tübül çaplarının ise daha geniş olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca, daimi dişlerde tübüler kıvrımlı seyir gösterirken, süt dişlerinde daha düz bir morfolojiye sahiptir.⁽²³⁾ Süt dişlerinde, dentin tübülerine paralel uzanan ve çapları tübüllerden yaklaşık 10 kat daha geniş olan kanallar tespit edilmiştir. Peritübüler dentine benzer bir yapı ile çevrili olan bu kanallarda odontoblast uzantıları bulunmazken, içlerinde mineralize kolajen lifler yer almaktadır. Bu yapısal farklılıklar, süt dişlerinin artan geçirgenliği ve duyarlılığı nedeniyle dış etkilere karşı daha hassas hale gelmesine yol açmaktadır.^(24,25) Daha az mineralize bir dentin tabakası olarak bilinen interglobüler dentinin süt dişlerinde daimilere oranla düşük sıklıkta gözlenmesi nedeniyle, süt dişi dentin matriksinin daha homojen mineralizasyon gösterdiği düşünülmektedir. Fakat yine de süt dişi dentininin mineral yoğunluğunun daimi dentinden daha az olduğu bilinmektedir ^(20,22). Daimi dişler ve süt dişleri sert dokuları arasında kimyasal, morfolojik ve fizyolojik farklılıkların bulunması, bu iki diş tipinin çürük, erozyon ve adeziv bağlanma gibi klinik durumlara karşı davranışlarının da farklı olabileceğini göstermektedir. Bu farklılıklar nedeniyle, uygulanan restoratif materyal ve prosedürlerin de farklı olması gerektiği bildirilmiştir.⁽¹⁸⁾

2.2. Diş Çürüğü

Diş çürüğü, dental plakta bulunan karyojenik bakterilerin enerji elde edebilmek için karbonhidratları fermente etmesi sonucu oluşturdukları organik asitlerin, dişin; mine, dentin ve sement dokularını yıkıma uğratmasıyla ortaya çıkan enfeksiyöz bir hastalıktır.⁽¹⁾ Çürük lezyonları, dünyada en sık görülen kronik hastalıklardan biridir ve bireyler tüm hayatları boyunca çürük riskine maruz kalırlar. Diş çürükleri oral kavitenin en yüksek prevalansla görülen hastalıklarındandır.⁽²⁾ Bu prevalans oral hijyenin yeteri kadar sağlanamaması, çok sık karbonhidrat tüketilmesi, aynı zamanda sosyoekonomik ve kültürel faktörlere de bağlıdır.⁽²⁶⁾

Çocuklarda Diş Çürüğü

Diş çürüğü, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından küresel halk sağlığı açısından en yaygın ve önlenebilir hastalıklardan biri olarak tanımlanmıştır. DSÖ'nün 2022 yılında yayımladığı Küresel Ağız Sağlığı Durum Raporu'na göre, dünya genelinde yaklaşık 3,5 milyar insan ağız hastalıklarından etkilenmektedir. Bunların en yaygın olanı diş çürüğü olarak belirlenmiş ve özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde diş çürüğünün daha yaygın olduğu tespit edilmiştir.⁽²⁾ Diş çürüğü çocuk hastalarda da oldukça sık görülen önemli bir sağlık sorunudur. Süt dişlerinde tedavi edilmemiş çürükler, 1–9 yaş arası çocuklarda %43,3 oranında görülmektedir. Daimi dişlerde tedavi edilmemiş çürükler, 5 yaş ve üzerindeki bireylerde %28,8 oranındadır ⁽²⁾.

Diş çürüğü sadece bireysel bir ağız sağlığı sorunu değil, aynı zamanda toplum sağlığını, sağlık sistemlerini ve ekonomiyi doğrudan etkileyen yaygın ve ciddi bir halk sağlığı problemidir ⁽²⁾. Çürükler, özellikle çocukluk ve ergenlik döneminde başlamakta ve tedavi edilmediğinde yaşam boyu süren komplikasyonlara neden olabilmektedir. Ön dişlerdeki yaygın çürükler estetik kaygılara ve çocuklarda özgüven eksikliğine neden olabilmekte, bu durum, sosyal etkileşimleri ve psikososyal gelişimi doğrudan etkilemektedir. Genellikle ihmal edilen çürükler, dentin ve pulpa dokularına kadar ilerleyerek şiddetli dental ağrılara ve apse gibi enfeksiyonlara neden olur. Bu durumda, yaşam kalitesi belirgin şekilde düşmekte, acil müdahale ihtiyacı ve sistemik antibiyotik kullanımı gereksinimi doğmaktadır. Özellikle çocukluk döneminde çürüğe bağlı ağrı, çiğneme fonksiyonunu olumsuz etkileyerek beslenme alışkanlıklarını bozmakta; bu da büyüme geriliği, malnütrisyon ve genel sağlıkta bozulma ile sonuçlanmaktadır. Çocuğun sağlıklı gelişimi için, süt dişlerinin bütünlüğü ve fizyolojik düşme zamanı gelinceye kadar ağız içinde korunması ve oluşan çürüklerin ilerlemeden tedavi edilmesi önem taşımaktadır.⁽³⁾ Uzun süre tedavi edilmeyen çürük lezyonları daha komplike tedavi gereksinimleriyle sonuçlanmaktadır. Bu durum hem hasta hem de diş hekimi için daha maliyetli ve ek seans gerektiren kanal tedavisi, kron uygulamaları ve uyumsuz çocuklarda genel anestezi uygulamaları gibi tedavi seçeneklerine yönelmeyi gerektirecektir. Genel anestezi ve sedasyon uygulamaları bazı sistemik rahatsızlığı olan çocuklarda risk teşkil etmekte ve hazırlık süreci gerektirmektedir. Sosyoekonomik düzeyi düşük ülkelerde bu komplike tedavi hizmetlerine erişim oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle süt dişlerindeki çürüklerin

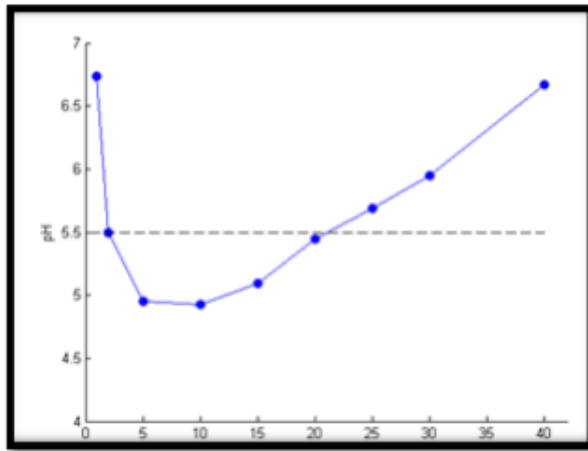
uygun materyaller ile zamanında restore edilmesi ve özellikle koruyucu tedavilerin yaygınlaştırılması önerilmektedir.^(27,28)

Diş çürüğü yarattığı maddi kayıplar ile toplum ekonomisini de büyük ölçüde etkilemektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) raporuna göre, bazı ülkelerde ağız sağlığı hizmetleri, toplam sağlık harcamalarının %5–10’una kadar ulaşabilmektedir. Diş çürüğü, çocuklarda okul devamsızlığına dolaylı biçimde neden olmaktadır.⁽²⁾ Diş çürüğü, fazla şeker tüketimi, düşük flor maruziyeti, hijyen alışkanlıklarının yetersiz oluşu ve sosyoekonomik yetersizlik gibi faktörlerle ilişkilidir; bu faktörler aynı zamanda diyabet, obezite ve kardiyovasküler hastalıklar gibi yaygın sistemik hastalıkların da risk faktörlerini oluşturmaktadır. Dolayısıyla, diş çürüğüne yönelik önleyici uygulamaların geliştirilmesi, aynı zamanda diğer hastalıkların azaltılmasına da katkı sağlayabilir. Bu amaçla, Çocuk ve yetişkin hastalara ağız hijyen motivasyonu verilmeli, şekerli gıda tüketimi azaltılmalı ve toplumu bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Tedavi yaklaşımlarında ise amaç, diş dokularını korumak, çürüğün oluşumunu önlemek ya da başlangıç aşamasında durdurmak, fonksiyonu ve estetiği geri kazandırmak, ağız hijyeninin sağlanmasını kolaylaştırmak ve pulpanın canlılığını mümkün olduğunca korumak olmaktadır.⁽²⁹⁾

Diş Çürüğünün Etiyolojisi

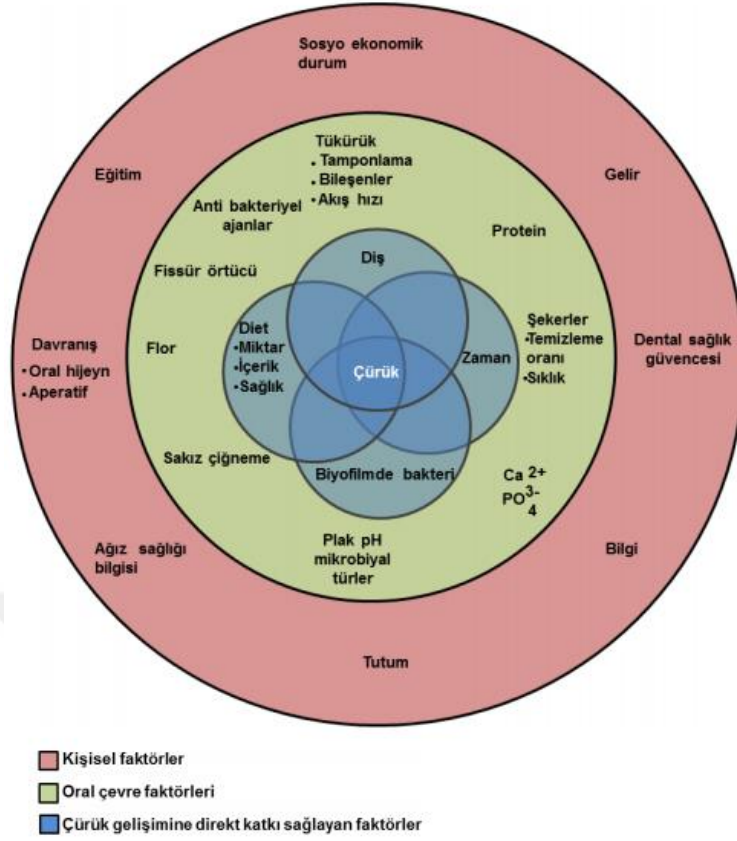
Çürüğün oluşumu ve ilerleme hızı; oral bakteriler ve plak oluşumu, fermente olabilen karbonhidratlar, diş yüzeyinin varlığı ve zaman olarak bilinen dört ana faktörün yanı sıra, ağız hijyeni alışkanlıkları, dişin morfolojisi ve anatomik yapısı, yüzey özellikleri, tükürüğün tamponlama kapasitesi ve miktarı, beslenme alışkanlıkları ve sosyoekonomik durum gibi birçok ek faktörün etkisiyle belirlenmekte, bu nedenle çürük ‘multifaktöriyel’ bir hastalık olarak tanımlanmaktadır^(26,30). Modern anlayış, çürüğü tek bir patojenle açıklayan “tek etken, tek hastalık” paradigmasını terk ederek, mikrobiyal ekosistemdeki ekolojik dengesizliği (ekolojik plak hipotezi) temel almaktadır. Bu modele göre, düşük pH ile tetiklenen çevresel değişiklikler, biyofilmdeki simbiyotik dengeyi bozar ve çürükle ilişkili aside dirençli mikroorganizmaların çoğalmasına neden olur ⁽³¹⁾. Diş çürüğü sadece bakteriyel bir enfeksiyon olarak değil, konak, çevresel faktörler ve mikrobiyal dengenin birlikte şekillendirdiği karmaşık bir biyofilm hastalığı olarak değerlendirilmelidir (Şekil 2.3.).⁽³¹⁾ Plak içerisinde kolonize olan bakteriler diyetle alınan karbonhidratları

fermente ederek çürük oluşumunu başlatır. Diyet alışkanlıklarının çürüğe etkisi, alınan karbonhidratın zamansal olarak sıklığına, miktarına ve formuna bağlıdır.⁽³²⁾ Fermente olabilen karbonhidratların sık tüketimi, diş çürüklerinin başlaması ve ilerlemesi konusunda oldukça önemli bir role sahiptir. Sık karbonhidrat tüketimi, düşük pH durumunu kalıcı hale getirerek asidojenik/asidürik bakterilerin mikrobiyal dental plak içerisinde baskın hale gelmesine neden olmaktadır.⁽³¹⁾ Basit bir şeker olan sükroz glikoz ve fruktozdan oluşur ve ağızdaki bakteriler tarafından çürük oluşturulmasında oldukça önemli bir role sahiptir. *Streptococcus mutans* (*S.mutans*), sükrozu hem enerji üretimi hem de biyofilm oluşumu amacıyla çift yönlü şekilde kullanma kapasitesine sahiptir. Söz konusu biyofilm, tükürüğün tamponlayıcı etkisini sınırlayarak plağın iç kısmında kalıcı asidik bir ortam yaratır.^(32,33) Fermente olabilen karbonhidratların ağızda kalma süresi de diş çürüğünün başlaması ve ilerlemesi açısından önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Uzun temas süresi, oral bakterilere kompleks karbonhidratları basit karbonhidratlara (sükroz) dönüştürmek için yeterli zamanı sağlar ve böylece çürük oluşumunu tetikler ve ilerletir. Yapışkan ve sert yapıdaki şekerler diş yüzeyinde daha uzun süre kalarak tükürüğün yıkayıcı ve tamponlayıcı etkisini engeller, mekanik olarak daha etkili ve uzun temizleme ihtiyacı gerektirir, bu nedenle çürük oluşumunda sıvı formu ve kolay çözünen şekerlere göre daha etkilidir.⁽³²⁾ Stephan'ın yaptığı bir çalışmada glikoza maruz kalma sonrasında pH'ın 2-4 dk içerisinde 6,5'tan kritik ph değeri olan 5,5 un altına düştüğü gözlemlenmiştir. 40 dk sonra ise pH eski değerine yavaş bir şekilde dönmüştür. Bu durum stephen eğrisi ile ifade edilmektedir (Şekil 2.2.).⁽³⁴⁾



Şekil 2.2. Stephen Eğrisi ⁽³⁴⁾

Tükürük, %99'dan fazlası su ve %1'den azı katı maddelerden (çoğunlukla elektrolitler ve proteinler) oluşan bir sıvıdır. Tükürük; pelikül oluşumuna katılımı, diş yüzeyini yıkayıcı etkisi, yiyecek ve bakteri temizliği sağlayarak diş yüzeyinde biriken ve plak oluşumuna sebebiyet veren artıkları seyreltmesi, diş yüzeylerinin kayganlaştırılması, asidik ortamı tamponlayarak nötralize etme etkisi, HA açısından doygunluğu koruma ve antimikrobiyal savunma sağlaması gibi birçok önemli işlevi ile çürük oluşumu ve ilerleme sürecinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Sağlıklı bireylerde tükürük pH'ı genellikle 6,0 ile 7,5 arasında değişir. Tükürüğün, ağız ortamını HA açısından doygun halde tutma yeteneği, dişler için koruyucu ve onarıcı bir ortam sağlar. Bu doygunluğu sürdüren temel tükürük bileşenleri kalsiyum ve fosfat iyonlarıdır. Fizyolojik koşullar altında, tükürüğün tamponlama kapasitesi, bu iyonlarla birlikte çalışarak ağız ortamında pH'ı nötr seviyeye yakın tutar ve böylece HA çökmesini ve remineralizasyonu destekleyerek diş minesinin korunmasına yardımcı olur. Diş yüzeyinde anatomik olarak bulunan pit ve fissür yüzeyleri gibi girintili-çıkıntılı alanlar, tükürüğün yıkayıcı ve tamponlayıcı etkisinden düz yüzeylere oranla daha az oranda yararlanabilmekte ve ulaşılması zor olan bölgeler oldukları için mekanik olarak temizliği de zor olmaktadır. Bu durum plak oluşumu ve birikimi açısından düz yüzeylere oranla daha elverişli bir ortam yaratmaktadır.⁽²⁶⁾



Şekil 2.3. Diş çürüğü gelişiminde etkili olan faktörlerin şematik olarak gösterilmesi⁽³⁵⁾

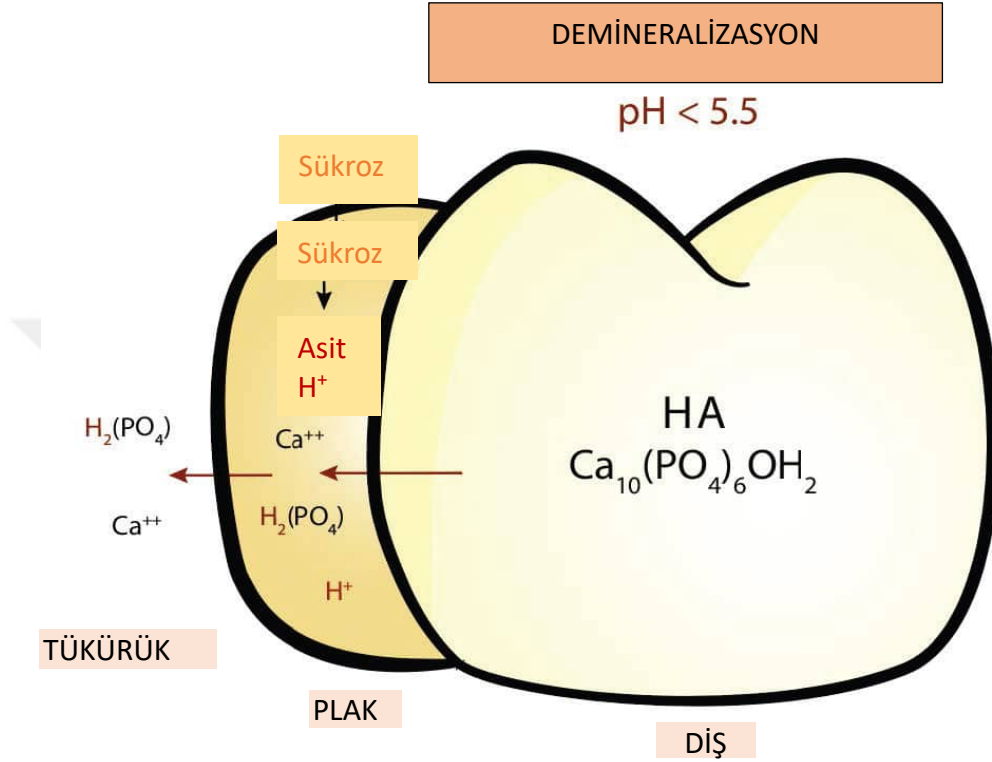
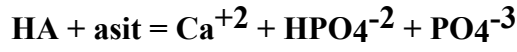
Diş Çürüğünün Oluşum Mekanizması

Dişin sert ve yumuşak dokularında oluşan bir bakteriyel biyofilm olan diş plağı, çürükler ve periodontal hastalıkların başlıca nedenini oluşturmaktadır. Plak oluşumu çürük oluşumunun ilk basamağı olarak kabul edilmektedir.⁽¹⁾ Bireyler yeni doğduklarında oral kavimleri steril haldedir. İlk kolonizasyon doğumdan sonraki birkaç saat içerisinde başlar ve kaynağını annenin mikrobiyotasından alır. Beslenmenin başlaması ve dişlerin sürmesi ile mikroorganizma çeşitliliği artmakta ve plak oluşumu için gerekli şartlar sağlanmış olmaktadır.⁽¹⁾

Plak oluşumunda ilk aşama, diş yüzeyine tutunan ve gözle görülemeyen pelikül formasyonudur. Pelikül, dişler fırçalandıktan hemen sonra oluşmaktadır ve glikoprotein içermektedir. Bu yapı bağlanma reseptörleri sunarak oral florada bulunan bakterilerin tutunmasına zemin oluşturur.^(36,37) İlk tutunan ve ilk kolonizasyon dönemini oluşturan mikroorganizmalar başta, *S.mutans* olmak üzere *Streptococcus sanguinis*, *Streptococcus gordonii*, *Actinomyces naeslundii* ve *Streptococcus mitis* gibi gram+ fakültatif anaerob koklardır.⁽³⁷⁾ Bunlardan *S.mutans* çürük oluşumunda birinci derecede rol oynamaktadır.⁽³⁸⁾ Erken kolonizasyon bakterileri, pelikül üzerindeki özgül

glikoprotein yapılarla yüzey adezinleri aracılığıyla etkileşime girerek dişe tutunur. *S. mutans* gibi bakteriler, sukrozu metabolize ederek ekstrasellüler glukanlar üretir ve bu yapı biyofilmin temelini oluşturur.^(37,38) Bu ekstrasellüler polisakkaritler, bakterilerin substrata ve birbirlerine tutunmasını artıran ve biyofilmi koruyan viskoelastik, yapışkan bir matriks görevi görür.⁽³⁸⁾ Bakterilerin birbirine bağlanarak çok hücreli yapılar oluşturması 'koagregasyon' olarak tanımlanır ve biyofilm stabilitesini artırır. Bu aşamada bakteriler arasında yoğun metabolik etkileşim gözlenmese de, gelecekteki koloniler için uygun bir yapı inşa edilir.⁽³⁷⁾ İkincil kolonizasyon (veya geç kolonizasyon) döneminde, dental plağın mikrobiyal yapısı daha kompleks hale gelir ve bu aşamada çürük ilerlemesinde önemli rol oynayan bakterilerden biri olan *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*) plak matriksine dahil olmaya başlar.⁽³⁹⁾ Bu bakteriler, düşük pH koşullarına dayanıklı olmaları nedeniyle asidik ortamda hayatta kalabilir ve organik asit üretimi yoluyla demineralizasyon sürecini derinleştirirler. Yerleşen mikroorganizmalar, uygun çevresel koşullar altında çoğalarak mikrokoloniler oluşturur; bu süreç, farklı *Lactobacillus* türlerinin yanı sıra farklı *Actinomyces* türleri gibi diğer karyojenik bakterilerin de plağa eklenmesiyle ilerler.⁽⁴⁰⁾ Bu bakteriler, mevcut biyofilm tabakasına koagregasyon yoluyla tutunarak asidik ortamın sürdürülmesine katkıda bulunurlar ve böylece çürük lezyonunun ilerlemesine zemin hazırlarlar ⁽³⁷⁾. *S. mutans* ve *L. acidophilus* gibi başlıca bakteriler asit üreten özelliklere sahiptir. Fermente olabilen karbonhidratların varlığında, bu bakterilerin ürettiği asit mine tabakasının yüzeyini aşındırmaya başlar.⁽⁴⁾ Yüzeyden, HA kristallerinin mineral iyonları uzaklaşmaya başlar bu durum demineralizasyon olarak adlandırılır. Fizyolojik koşullar altında tükürük ve ağız sıvıları HA ve fluoroapatite doymuş durumdadırlar. Eğer herhangi bir sebebe bağlı olarak ya da olmaksızın ağız sıvılarındaki apatit saturasyonu azalırsa, bu kaybolan apatit yapısı diş sert dokularından karşılanır ve bu da diş sert dokusundaki kayıpla yani demineralizasyonla sonuçlanır. Bu durum oral kavitedeki HA varlığı için gereklidir. Ne zaman ki pH döngüsü kritik pH (pH=5,5) değerinin altına düşerse, HA çözünürlüğü önemli oranda artar.⁽¹⁾ Fermente edilebilen herhangi bir karbonhidrat, asidojenik bakteriler tarafından metabolize edilebilir ve yan ürünler olarak organik asitler oluşturabilir, bu durum ortam pH'nın çürük oluşumu için kritik değer olan 5,5'un altına düşüşüyle sonuçlanır. Fermentasyon sonucu açığa çıkan asitler hidrojen iyonları (H⁺) üretmek üzere ayrışırlar.⁽⁵⁾ Hidrojen iyonu, minerali kolayca çözerek kalsiyum ve fosfatı serbest hale getirir (Şekil 2.4.). Ph düştükçe, asitler alt tabakalardaki mine ve dentine difüze olur.

Erken aşamalarda HA kristallerinin bütünlüğü bozulmasa da önemli miktarda mineral kaybı meydana gelebilir.⁽⁵⁾



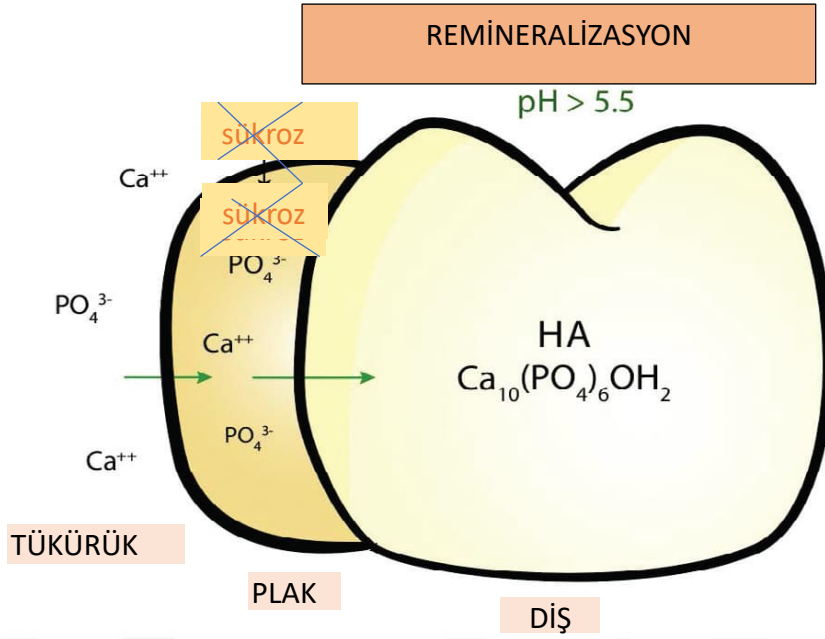
Şekil 2.4. Demineralizasyon mekanizmasının şematik olarak gösterilmesi ⁽⁴¹⁾

Tükürükte sürekli olarak bulunan kalsiyum ve fosfat iyonları, diş yüzeyi üzerine çökerek remineralizasyonu sağlamaktadır. Remineralizasyon, demineralizasyon süreci boyunca diş yüzeyinden kaybedilen kalsiyum ve fosfat gibi minerallerin, diş yüzeyine tükürükte bulunan veya dışarıdan kaynak alan mineral içeriği açısından yüksek doygunluktaki bir ajanın uygulanması sayesinde tekrar geri alınması ve depolanması olarak izlenir ve aktif çürük oluşum sürecinin bir parçasıdır (Şekil 2.5.).⁽⁶⁾

Asit, diş yüzeyi ile uzun süre temas halinde kalırsa, başlangıç aşamasında mineral kaybına neden olarak dişin demineralizasyonuna yol açar. Mine tabakasındaki bu mineral kaybı, beyaz leke (beyaz lezyon) olarak gözlemlenebilir. Başlangıç mine çürüğü çeşitli remineralizan ajanlarla remineralize edilerek demineralizasyon ve çürük oluşum sürecinin ilerlemesi önlenir. Demineralizasyon ve remineralizasyon dengesi remineralizasyon lehine çevrildiğinde kısmen demineralize olmuş HA

kristalleri eski boyutlarına dönebilir ve dokuların sertliği ile dayanıklılığı geri kazanılabilir. Başlangıç, mine lezyonunun remineralizasyonunda, demineralize olmuş dokuya mineralin geri kazandırılması ve çürüklere karşı daha dirençli alanların elde edilmesi amaçlanmaktadır. Yeni oluşan kristaller ortamda bulunan iyonların özellikleri ile ilişkili olarak gerçek kristal boyutundan küçük ya da daha büyük olabilir. Kristallerin birleşmesiyle hekzagonal, büyük ve sağlam bir yapı oluşur. Böylece minenin asit ataklarına karşı geçirgenliği azalır ve çürüğe karşı direnci artar.⁽⁴²⁾ Başlangıç mine çürüğü kontrol altına alınamaz ve demineralizasyon-remineralizasyon dengesi demineralizasyon lehine bozulursa mine tabakasındaki süreklilik bozulur ve çürük dentine ilerlemeye başlar süreç kavite oluşumu ile sonuçlanır.⁽⁵⁾ Mine ve dentinin demineralizasyon-remineralizasyon süreçleri dokuların özelliklerinin birbirinden farklı olmasından dolayı değişiklik göstermektedir. Dentindeki HA kristalleri minedekilere oranla çok daha küçük boyuta ve daha yüksek karbonat içeriği ile birlikte, mineye oranla daha yüksek organik içeriğe de sahiptir. Bu nedenle asitlere maruz kaldığında demineralizasyon süreci mineye oranla daha hızlı ve şiddetli gerçekleşir. Remineralizasyon süreci ise mineye oranla daha karmaşık bir yapıya sahiptir.⁽¹⁾

Dentin çürüğü, dışta bakteriyel enfekte bir tabakayı ve altında "etkilenmiş dentin" olarak adlandırılan demineralize bölgeyi içerir. Çürükten etkilenmiş ve demineralize olmuş, fakat enfekte olmamış dentin, fizyolojik olarak remineralize edilebilir bir tabakadır. Çürük, mine-dentin birleşimine ulaştığında; dentindeki demineralizasyonun ilk belirtisi kahverengi renklenmedir. Bu renklenme, dentin kolajenindeki biyokimyasal değişikliğinin bir sonucudur.⁽⁴³⁾ HA çözünmesini takiben dentinin organik kısmı, yani kolajen fibriller, enzimatik olarak bozunur. Bakteriyel kolajenazlar ve matriks metallo proteinazlar gibi konak kaynaklı proteolitik enzimler, dentin organik matriksin yıkımından sorumludur.⁽⁴⁴⁾ Demineralize dentinin remineralizasyonunda, özellikle intrafibriler HA oluşturulmasıyla kolajen matriksinin remineralize edilmesi, açık dentin tübüllerinin tıkanması ve dentin mikro yapısının yeniden organize edilmesi ve sertleşip güçlendirilmesi amaçlanmaktadır ⁽⁴⁵⁾.



Şekil 2.5. Remineralizasyon mekanizmasının şematik olarak gösterilmesi⁽⁴¹⁾

2.2.1 Mine ve Dentin Çürüğü

Diş çürüğü, dişin farklı dokularında farklı özellikler göstermekte ve mine, dentin ve sementi etkileyebilmektedir. Bu durum diş dokularının yapısal bileşenlerindeki farklılıklardan ve histolojik özelliklerinden kaynaklanmakta ve lezyon klinik olarak çeşitli şekillerde kendini gösterebilmektedir.^(10,46) Sağlıklı bir oral kavitede normal şartlarda dentin dokusu sağlam mine dokusu ve sağlıklı periodontal dokular ile çevrilidir ve dolayısıyla da tükürük ve mikroorganizmalardan izole halde bulunmaktadır. Çürük oluşum süreci mine yüzeyinde başlamakta ve mine yüzeyi çevresinde karyojenik koşullar devam ettiği sürece daha derin katmanlara ilerleyerek önce mine dentin sınırına sonra da dentine ulaşmaktadır.^(6,10)

Mine Çürüğü

Mine çürüğü, özellikle temiz ve kuru diş yüzeylerinde gözlenen tebeşir beyazı renk değişiklikleri ile kendini gösteren, başlangıç düzeyindeki mineral kaybıyla karakterizedir. Bu lezyonlar genellikle su ile ıslatıldığında kaybolabilmekte, bu durum, mineda henüz yüzeysel bütünlüğün korunduğunu ancak yüzey-altı düzeyde önemli bir mineral kaybı meydana geldiğini göstermektedir. Başlangıç aşamasındaki bu lezyonlar, yüzeyde herhangi bir pürüz ya da kavitasyon olmadan ilerleyebilmekte; ancak süreç devam ettikçe, yüzeyde yumuşama ve sondlama ile tespit edilebilecek çürük lezyonları oluşmaktadır.^(8,26) Bu erken dönemde, remineralizasyon mekanizmaları, çürüğün kontrolünde ve durdurulmasında etkin bir şekilde rol

oynamaktadır. Tükürükte bulunan kalsiyum, fosfat ve florür iyonları, lezyon bölgesine penetre olarak minerallerin geri kazanımını sağlar. Özellikle ortamda florür varlığı, aside daha dirençli olan florapatitin oluşumunu teşvik ederek çürük ilerleme sürecini durdurmaktadır. Klinik olarak remineralize olmuş alanlar, genellikle kahverengi veya siyah renkte gözlenen, yüzey bütünlüğü korunmuş, sert bölgeler olarak izlenmekte ve minimal invaziv diş hekimliği prensiplerine göre restoratif müdahale gerektirmemektedir.⁽²⁶⁾

Mine çürüğü lezyonları, histolojik olarak diş yüzeyinden pulpaya doğru dört karakteristik bölgeye ayrılır:^(14,26)

1. Yüzey Bölgesi: Lezyonun en dış, sert ve dayanıklı tabakasıdır ve nispeten iyi korunmuştur. Gözenek hacmi %5'in altındadır ve yüzey, artan florür konsantrasyonu ve tükürüğün remineralizan etkisiyle hipermineralize olmuştur. Kristal boyutları sağlam mineden daha büyüktür. Bu sağlam yüzey, bakteriyel invazyonu geciktiren doğal bir bariyer işlevi görür. Ancak süreç ilerledikçe yüzeyde konik şekilli mikrodefektler oluşabilir ve bu alanlar bakteriler için giriş noktaları haline gelir.⁽¹⁴⁾

2.Lezyon Gövdesi: En fazla mineral kaybının gerçekleştiği bölgedir. Gözenek hacmi periferde %5'ten merkezde %25'e kadar çıkar. Bu bölgede özellikle retzius çizgileri boyunca belirgin mineral kaybı izlenir. Gözenek boyutunun yeterince büyümesi durumunda bakteriyel invazyonun da bu bölgede başladığı gösterilmiştir. Elektron mikroskobu çalışmaları, bakteri kolonilerinin mine prizmaları arasına penetre olduğunu göstermektedir. Radyografik olarak radyolusent izlenmektedir.^(14,32)

3.Karanlık Tabaka: Saydam tabakanın hemen üzerinde yer alır ve ışığın polarize olarak geçmesini engelleyen çok sayıda küçük por içerir, bu nedenle karanlık gözükmektedir. Gözenek hacmi %2-4 arasında değişir. Karanlık bölgenin büyüklüğü, çürük ilerlemesi sırasında remineralizasyon girişimlerinin başladığının histolojik bir göstergesi olarak kabul edilir.⁽⁴³⁾

4.Saydam Tabaka: Lezyonun en derin kısmıdır ve mine demineralizasyonunun ilerleme sınırını temsil eder. Sağlam mineye oranla yaklaşık on kat daha fazla gözeneklilik ve geçirgenlik gösterir. Saydam tabaka, mine çürüklerinin yaklaşık %50'sinde gözlenmektedir.⁽²⁶⁾

Dentin Çürüğü

Dentinin yapısal özellikleri mineden farklıdır, dolayısıyla dentin çürüğünün oluşumu ve ilerlemesi mineden farklı ve daha karmaşıktır.⁽⁴³⁾ Dentin yaklaşık %20 oranında organik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu nedenle inorganik yapının bakterilerin organik asitleri ile yıkımıyla birlikte, dentinin organik yapısının yıkımı da görülmektedir. Organik yapının yıkımında bakterilerin proteolitik enzimleri ile birlikte dentin ve tükürükten kaynak alan matriks metallo proteinazlar sorumludur.⁽⁴⁴⁾ Dentinde çürüğün ilerlemesiyle birlikte üç önemli değişiklik meydana gelmektedir. Önce organik asitler nedeniyle dentin demineralize olmakta, sonra dentindeki organik materyal, özellikle de kolajenin yapısı denatüre olmakta ve çözünmektedir. Son olarak da bakterilerin dokuya invazyonu nedeniyle dentin dokusu yıkıma uğrar.⁽²⁶⁾

Dentin çürüğünün oluşumu ve ilerlemesinde önemli olan faktörler; dentinin histolojik yapısı, mineral miktarı ve oranı, kolajen yapısı, bakteri penetrasyonu ve tübül yapısıdır. Dentinde mineye oranla inorganik içeriğin daha az olması ve mikroorganizmaların yayılması için ortam sağlayan ve dentin boyunca uzanan tübüllerin varlığı nedeniyle dentin, karyojenik bakterilere ve çürük oluşumuna mineden daha dayanıksızdır. Çürük, dentinde, dentin tübülleri doğrultusunda derin katmanlara ilerlemektedir.⁽⁴³⁾

Dentin çürüğünün yapısal özelliklerinde meydana gelen değişiklikler histolojik ve mikroskopik olarak incelendiğinde pulpaya doğru beş farklı tabakanın mevcut olduğu gözlenmektedir.⁽⁴⁷⁾

1)Enfekte Dentin

En dışta bulunan bakterilerin invaze olduğu ve bakteri ve bakteri ürünleri açısından zengin olan tabakadır. Kolajen yapısı tamamen denatüre olmuştur, mineral içermemektedir. Yumuşak ve mantarimsı bir görüntüye sahiptir. Remineralizasyon kabiliyeti yoktur ve restorasyon öncesi tamamen uzaklaştırılmalıdır.^(1,35)

2)Bulanık Dentin

Dentin tübülleri bakteri doludur ve tübülerdeki mineral yoğunluğu çok azdır. Bu tabaka bakteri invazyon tabakası olarak da adlandırılmaktadır. Remineralizasyon için iskelet görevi yapacak olan kolajen de yıkıma uğradığı için bir tamir prosedüründen

bahsedilemez. Bu nedenle, bulanık dentinin de restorasyon işleminden önce uzaklaştırılması önerilmektedir.^(1,14,35)

3) Saydam Dentin

Yüzey sertliği normal dentinden daha az olan bu tabakada intertübüler olarak büyük oranda mineral kaybı vardır. Dentin tübüllerinin lümenine büyük kristal yapıların çöktüğü gözlenmektedir. Bu bölge uyarıldığında hassasiyet meydana gelmekte ve ağrı hissi oluşmaktadır. Kolajen çapraz bağları bozulmamıştır ve remineralizasyon için iskelet oluşumunu sağlamaktadır. Bu tabakanın pulpa canlı kaldığı sürece remineralizasyon kabiliyeti vardır.⁽¹⁾

4) Yarı Saydam Dentin

Bu tabaka normal dentin tabakasının üzerinde yer almakta ve demineralizasyona uğramaktadır. Dentin tübüllerinin lümeninde küçük boyutlu kristaller gözlenmektedir. Remineralizasyona uğrayabilmektedir.⁽¹⁴⁾

5) Normal Dentin Tabakası

Çürük dentinin en derin tabakasıdır. Dentinin organik yapısı korunmuştur. Tübüllerin yapısı ve kolajen çapraz bağları bozulmamıştır. İnorganik yapı da korunmakla birlikte HA kristallerinin yoğunluğu değişmemiştir.⁽¹⁴⁾

Dentin çürüğü tabakaları birbirinden net ve mutlak sınırlar ile ayrılmamıştır. Tabakaların genişliği lezyondan lezyona değişebilmekte aynı lezyon içerisinde bile yer yer değişkenlik göstermektedir. Tüm tabakalar tüm dentin çürüklerinde bulunmamaktadır.⁽¹⁴⁾

Güncel çürük yönetimi yaklaşımlarında, dentin dokusu “enfekte” ve “etkilenmiş” olmak üzere iki klinik tabaka şeklinde incelenmektedir (Tablo 2.1.).⁽¹⁴⁾

Çürükle Enfekte Dentin

Dentin çürüğünün en dış tabakasını oluşturmaktadır. Bakteri yoğunluğu oldukça fazladır. Karyojenik bakterilerin asit saldırısına uğrayarak yüksek oranda demineralize olmuş ve inorganik içeriği azalmıştır. Dentinin tübüler yapısı ve kolajen matriksi bozulmuş ve yapısı oldukça düzensiz durumdadır. Klinik olarak, nemli-ıslak, açık kahve görünümlü ve çok yumuşak bir yapıda olup, keskin uçlu bir sond ile üzerine hafif bir kuvvet uygulandığında kolayca bütünlüğü bozulmakta ve belirgin bir ıslaklık

ve yapışkanlık hissi vermektedir. Ekskavatör ile çok az kuvvet uygulanarak kolayca uzaklaştırılabilmektedir.⁽⁴⁸⁾ Geçmişte, enfekte dentin tabakasının geri dönüşsüz ve remineralize olamaz olduğu düşünülerek tamamen uzaklaştırılması gerektiği savunulmuştur.^(1,14) Günümüzde yapılan çalışmalarda, enfekte dentinin varlığının lezyonun ilerlemesinde belirleyici olmadığını, asıl itici gücün lezyonun üzerindeki biyofilm olduğu gösterilmektedir. Enfekte dentin tabakasının dış ortamdan sızdırmaz bir restorasyon ile tamamen izole edilmesi halinde sınırlı bir remineralizasyon gösterebileceğini belirten çalışmalar da literatürde bulunmaktadır.^(7,48-50)

Çürükten Etkilenmiş Dentin

Dentin çürüğünün iç tabakasında ve enfekte dentinin altında bulunmaktadır. Klinik olarak enfekte dentinden daha koyu renkli izlenmekte, daha az nem içermekte, daha sert hissedilmekte ve el aleti ile temizlenmeye karşı direnç göstermektedir. Sondlama gibi uyaranlara karşı duyarlı olabilmektedir. Bakteri yoğunluğu enfekte dentinden daha az olmakla birlikte anaerobik bakteri popülasyonu varlığını devam ettirmektedir. Remineralize olabilmektedir, fakat yine de demineralizasyon sonucu mineral kaybına uğradığı için sağlam dentinden daha yumuşak bir yapısı vardır.⁽¹⁾ Dentinin asit atağı sonucu bozulan organik yapısı ve kolajen ağı protein yıkım sürecinden kısmen etkilenmekte ve dentin-pulpa kompleksi tarafından onarılmaktadır. Bu tabakadaki remineralizasyon, kolajen fibrilleri ve canlı odontoblastlar sayesinde proteinli yapı iskeleti korunarak ve bu sayede mineral birikimi için elverişli bir ortam oluşturularak gerçekleşmektedir. Dentinin tübüler yapısı derin katmanlarda aşamalı olarak tekrar izlenmektedir.⁽⁵¹⁾

Tablo 2.1. Enfekte ve Etkilenmiş Dentin Karşılaştırılması

Özellik	Enfekte Dentin	Etkilenmiş Dentin
Lokalizasyon	Lezyonun dış kısmında yer alır	Lezyonun iç kısmında, pulpaya yakın bölgede bulunur
Bakteri Varlığı	Yüksek düzeyde bakteri içerir	Bakteri içeriği azdır veya yoktur
Kolajen Yapısı	Denatüre olmuştur, yapısı bozulmuştur	Kolajen yapısı korunmuştur, tamir edilebilir
Mineral İçeriği	Ciddi şekilde demineralize	Kısmen demineralize
Sertlik	Yumuşaktır	Daha serttir, kösele kıvamındadır
Renk	Genellikle daha açık renktedir	Daha koyu renktedir
Nem Oranı	Yüksek nem içerir	Daha düşük nem içerir
Duyarlılık	Duyarsızdır	Duyarlı olabilir
Mikroskobik Görünüm	Düzensiz, boşluklu yapı	Düzenli ve kompakt yapı
Klinik Tanımlama	Yapışkan kıvamlı, ekskavatörle kolayca kaldırılabilir	Ekskavatörle kazınırken direnç gösterir
Remineralizasyon Potansiyeli	İzole edilse dahi remineralizasyon kapasitesi sınırlıdır	İzole edilip uygun materyalle kapatıldığında remineralizasyon potansiyeli vardır

2.3. Diş Çürüğünün Tedavisi

Diş çürüklerinin tedavisinde uzun yıllar boyunca, 1891’de G.V. Black’in ortaya koyduğu "Korumak için genişletme" kavramı temel ilke olarak benimsenmiş ve öncelikle sert bir kavite tabanı elde edene kadar, tüm demineralize dentini ve desteksiz mine tabakasını da içerecek şekilde renklenmiş diş dokusunun tamamının uzaklaştırılması ve pulpa perforasyonuna neden olsa dahi yumuşak dentinin tamamen kaldırılması gerektiği savunulmuştur.⁽⁵²⁾ Bu sayede enfeksiyöz bir hastalık olarak düşünülen çürükteki tüm mikroorganizmaların uzaklaştırılacağı düşüncesi benimsenmiştir. Ardından defektin amalgam gibi mekanik tutuculuk gerektiren bir restoratif materyalle restore edilmesine odaklanılmıştır.⁽⁵³⁾ Bu yaklaşımın temelini oluşturan mekanik diş preperasyonu, sağlam diş dokusunu korumaktan uzak, yıkıcı ve geri dönüşü olmayan bir işlemdir ve pulpal yaralanmalara sebebiyet verebilmektedir.

Bu yaklaşımı temel alan uygulamalarda renklenmiş tüm dokunun temizlenmesi aslında remineralize bir tamir dokusu olan etkilenmiş dentinin de gereksiz bir madde kaybı yaratılarak uzaklaştırılması ile sonuçlanmaktadır.^(1,53) Süt dişlerinde, pulpa boynuzlarının oklüzal yüzeye daha yakın konumlanmış olması ve pulpa odalarının kron boyutlarına oranla geniş yapıda bulunması nedeniyle, çocuk hastalarda uygulanan aşırı mekanik preperasyon işlemleri sonucunda pulpanın ekspoz olma riski artmaktadır. Bu anatomik özellikler, çürüklerin uzaklaştırılması sırasında iatrojenik pulpa ekspozu olasılığını arttırmakta ve tedavi planlamasında daha konservatif yaklaşımların tercih edilmesini gerektirmektedir.^(29,54)

Günümüzde çağdaş çürük yönetimi felsefesi ise adeziv sistemlerin gelişmesi ve amalgam gibi mekanik tutuculuğa dayalı materyallerin kullanımının azalmasıyla birlikte, sağlam diş dokusunun korunmasını hedefleyen gereksiz madde kaybını önlemeye yönelik değişen tıbbi bir modele doğru evrilmiştir ve minimal invaziv yaklaşım prensipleri ön plana çıkmıştır.⁽¹⁰⁾ Minimal invaziv yaklaşımların temelinde; çürük lezyonunun remineralizasyon kabiliyeti olan, onarılabilir ve geri kazanılabilir tabakalarının varlığının korunup çeşitli ajanlarla remineralizasyon süreçlerine destek olunması ve sonuçta geçmişte uygulanan ‘korumak için genişletme’ prensibini temel alan uygulamalar sonucu oluşan gereksiz madde kaybının önüne geçilmesi yer almaktadır. Remineralizasyon ajanları sayesinde pulpa-dentin kompleksi uyarılmakta ya da dışarıdan mineral takviyesi yapılarak yüzey sertliği ve dayanıklılığı artırılmaktadır. Bakterilerin derine invazyonu engellenmekte, fiziksel olarak restore edilebilirliği arttırılan, mineral açısından doygun, temizlenebilir ve dayanıklı bir dentin yüzeyi elde edilmektedir.⁽⁵⁵⁾ Son yirmi yılda yapılan çürük araştırmaları, çürük lezyonların remineralizasyonu üzerine odaklanmıştır. Çalışmalar günümüzde, klasik kavite preperasyonu gerektiren yaklaşımlardan çok, minimal invaziv diş hekimliği uygulamalarına kaymıştır ve yeni yöntemler geliştirilmeye devam etmektedir.^(9,56-59)

2.3.1 Çocuklarda Diş Çürüğünün Tedavisinde Minimal İnvaziv Diş Hekimliği Yaklaşımları

Minimal invaziv diş hekimliği, diş çürüklerini önlemeye ve oluşan çürükleri durdurmaya, karyojenik bakterileri azaltmaya ve dişleri minimum madde kaybı ile tedavi etmeye odaklanmaktadır. Diş hekimliğinde kullanılan materyallerdeki gelişmeler minimal invaziv diş hekimliğinin gelişimini ve uygulanabilirliğini

artırmıştır. Minimal invaziv yaklaşımlar, daha az doku kaybına yol açmaları, biyolojik uyumu yüksek materyallerle uygulanması, işlem süresinin kısa olması, hasta konforunu artırmaları ve pulpa perforasyon riskinin oldukça düşük olması gibi nedenlerle özellikle çocuk hastalarda giderek daha fazla tercih edilmektedir.⁽⁵⁴⁾ Ayrıca bu yaklaşımlar, anksiyetesi yüksek, kooperasyonu sınırlı ya da tedaviye toleransı düşük, özel gereksinimli çocuk ve yetişkin hastalarda hekim için daha yönetilebilir bir seçenek olmaktadır.⁽⁶⁰⁾ Anestezi kullanımı gibi çocuğun ağrı duyacağı işlemleri gerektirmemesi ve ek aşamalar içermemesi sebebiyle çocuklar tarafından daha kolay kabul edilen uygulamaları içermektedir. Minimal invaziv diş hekimliği, çürüğün erken teşhisinin ve tedavisinin büyük önem taşıdığı bir prensibi benimser. Bu sayede gereksiz diş dokusu kaybı önlenir ve koruyucu tedavi yöntemleri belirlenir. Mikro düzeyde tedavi ile geri dönüşümsüz hasarın onarımı, minimal invaziv diş hekimliğinin temelini oluşturmaktadır.⁽⁹⁾

Bu yaklaşımlar göz önüne alındığında, minimal invaziv diş hekimliğinin temel ilkeleri şu şekilde özetlenebilir: ^(56,60)

1. Diş çürüğü oluşumuna neden olan risk faktörlerinin belirlenmesi,
2. Karbonhidrat alım sıklığının azaltılması, etkin plak kontrolünün sağlanması, tükürük akış hızının düzenlenmesi gibi hastanın eğitimi ve yaşam tarzının düzenlenmesini içeren yaklaşımlarla çürük oluşumunun önüne geçilmesi,
3. Ağız ortamındaki karyojenik bakterilerin azaltılması, demineralizasyonun durdurulması,
4. Kavite içeren ya da içermeyen, gözle muayenede tespit edilebilen ya da henüz tespit edilemeyen tüm lezyonların remineralizasyonunun, remineralizan ajanlar ile desteklenmesi.
5. Kavite içeren dişlerde, sağlam dokuyu kaldırmadan minimal madde kaybı ile lezyonun tedavisi
6. Problemlerle restorasyonların öncelikli olarak tamiri ve tamir olması mümkün değilse değiştirilmesi
7. Çocuğun ağız sağlığının ve yaşam koşullarının düzenli olarak takip edilmesi.

Tüm bu yaklaşımlar içerisinde özellikle remineralizasyon uygulamaları koruyucu diş hekimliğinin temelini oluşturmaktadır. Geçmişte çürük süreci, mine demineralizasyonu ile başlayıp ardından protein (özellikle kolajen) yıkımı ile devam

eden geri dönüşümü mümkün olmayan bir dizi olay olarak kabul edilmekteydi.⁽⁵²⁾ Bu anlayışa göre, çürüğün tamamen ve aşırı mekanik preperasyon ile uzaklaştırılması ve restoratif bir materyalle kavitenin doldurulması gerekmektedir. Ancak günümüzde, mine ve dentin demineralizasyonunun geri döndürülebilir bir süreç olduğu anlaşılmıştır. Diş yapısının ortam koşullarına bağlı olarak kalsiyum ve fosfat iyonlarını kaybedip yeniden kazandığı bir demineralizasyon-remineralizasyon döngüsünün mevcut olduğu kabul edilmektedir.^(47,50,61,62)

Remineralizasyonun sağlanması amacıyla birçok ajan kullanılabilmekle birlikte, en yaygın olarak florür içerikli ajanlar tercih edilmektedir. Flor, yüksek elektronegatifliğe sahip reaktif bir gazdır ve bu sebeple doğada serbest halde bulunmamakta, bileşikler oluşturarak flor tuzları (floridler) şeklinde bulunmaktadır.⁽⁶³⁾ Flor vücutta çeşitli enzimatik olaylarda ve özellikle mineralizasyonda rol oynamaktadır. Vücuda alınan flor iyonunun büyük bir kısmı gastrointestinal sistemden emilmekte ve floroapatit ya da florid formunda sert ve yumuşak dokularda (en çok kemik, diş, tırnak ve saçlarda) depolanmakta; çok az bir kısmı ise tükürük içerisinde yer almaktadır.⁽⁶³⁾

Florür uygulamaları koruyucu ve durdurucu tedaviler kapsamında altın standart olarak kabul edilen minimal invaziv diş hekimliği uygulamalarıdır. DSÖ, 2007 yılında yayınladığı bildiride çürüğü önleme amacıyla florüre evrensel erişimin insan sağlığına yönelik temel bir hak olması gerektiğine karar vermiştir.⁽⁶⁴⁾ Flor iyonu farklı mekanizmalarla demineralizasyonun engellenerek remineralizasyonun arttırılmasını sağlamaktadır. Florun dişler üzerine etkisi, sürme öncesinde mineye sistemik uygulamalar yoluyla gerçekleşirken; diş sürdükten sonra ise mine dokusu, plak oluşumu ve dentin üzerine topikal uygulamalar ya da sistemik uygulamaların topikal etkileri aracılığıyla ortaya çıkmaktadır.⁽⁶⁵⁾ Sürme öncesi dönemde, florür eksikliği mine matriks proteinlerinin sentezinde bozukluklara yol açabilirken, aşırı florür alımı florozis ile sonuçlanabilmektedir. Kalsiyum fosfatın en ideal formu olan HA'ya dönüşümünde katalizör olarak rol oynamaktadır. Flor, bu aşamada sağlıklı, mineral açısından zengin ve çürüğe dayanıklı bir mine oluşması için önemli bir işleve sahiptir.⁽⁶³⁾ Kristal formasyonu sırasında ise; serbest kalmış kristaller arası boşlukları doldurur, HA yapısında bulunan hidroksil iyonlarının kristal yüzeyine yakın olanları ile yer değiştirir, kristal stabilitesini arttırarak olgunlaşmakta olan apatit kristallerinin yapısına katılır. Flor, hidroksil iyonlarının bir kısmı ile yer değiştirdiğinde apatit

kristali asitlere karşı en dirençli halini almış olur. Bu kristal yapısı floroapatit olarak adlandırılır. Floroapatit, HA'e kıyasla daha düşük pH'larda çözünür; yani HA pH 5,5 civarında çözünmeye başlarken, floroapatit ancak pH 4,5 civarında demineralize olur. Bu durum, dişlerin asit saldırılarına karşı daha dirençli olmasını sağlar.⁽⁶⁶⁾

Florür uygulamaları sürme sonrası dönemde topikal ajanlarla yapılabilir. Bu uygulamalarla ortaya çıkan ürün kalsiyum florür (CaF_2) olmaktadır. CaF_2 'ün tükürükteki çözünürlüğü HA ve floroapatitten yüksektir, fakat CaF_2 plak, tükürük ve bazı oral dokularda depolanarak ağız ortamındaki pH kritik değer olan 5,5 un altına düştüğünde flor salgılayan bir depo görevi görür. Üzerinin fosfat ve proteinden oluşan bir örtü ile kaplı olmasından dolayı da kontrollü salınım yapabilir.⁽⁶⁶⁾ CaF_2 , başlangıç mine çürüğünün remineralizasyonunda ve ilerlemesinin durdurulmasında önemli rol oynar; mine yüzeyindeki demineralize alanları onararak kalsiyum ve fosfat iyonlarının dişe yeniden bağlanmasını sağlar. Ayrıca, ortamdaki kalsiyum iyonları birleşerek mine yüzeyine çöker, böylece minenin iç tabakalarında serbest halde bulunan minerallerin dışarıya çıkışını engeller. Başlangıç mine çürüğü aşamasında, demineralizasyon sırasında ortamda flor varsa, hidrojen iyonları ile birleşir ve mine içerisine girer. Bu şekilde asit etkisini azaltarak demineralizasyonu engellemiş olur. Demineralizasyon sonrası ise ortamda çözünmüş halde bulunan kalsiyum ve fosfat iyonlarının HA'dan daha dirençli olan floroapatite dönüşmesine yardımcı olur. Bununla birlikte florür, karyojenik bakterilerin glikoliz aktivitesini inhibe ederek şekeri asite dönüştürmelerini engeller; böylece çürüğe neden olan bakterilerin çoğalması ve zararlı enzim üretimi azalır, plak pH'ı yükselerek çürük oluşumu önlenir. Yüksek konsantrasyonlarda ise çürüğe neden olan bakteriler üzerinde bakterisidal bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir.⁽⁶⁶⁻⁶⁸⁾ Flor, demineralize olmuş dentin yüzeyinde de benzer etkiler gösterir; lezyonun remineralizasyonunda HA kristallerini güçlendirir, kalsiyum ile birleşerek dentin tübüllerini tıkar ve dentin üzerinde bakteriyostatik ile bakterisidal etkiler oluşturarak rol oynar.^(66,69) Tüm bu etkileri sayesinde florür, yalnızca sistemik ve topikal uygulamalarla değil, aynı zamanda florür salabilen restoratif materyaller aracılığıyla da remineralizasyon sürecine katkı sağlayabilmektedir. Bu nedenle, florür içeriği sayesinde remineralizan etki gösterebilen ve diş dokularına kimyasal bağlanma özelliği bulunan cam iyonomer simanlar (CİS), koruyucu ve durdurucu minimal invaziv tedavi yaklaşımlarında giderek daha sık tercih edilmeye başlanmıştır.⁽⁷⁰⁾

Cam İyonomer Simanlar (CİS)

CİS'ler, 1972 yılında Wilson ve Kent tarafından ilk kez tanıtılan ve gün geçtikçe mekanik ve kimyasal özellikleri geliştirilmeye devam eden restoratif materyallerdir.⁽⁷¹⁾ CİS'lerin toz kısmı bazik floro-alümino silikat taneciklerinden oluşurken; likit kısmı ise poliakrilik asit; itakonik, maleik ve trikarboksilik asit kopolimerlerinden oluşmaktadır. CİS'ler silikat simanların sertlik, dayanıklılık ve flor salınımı yapabilme özellikleri ile poliakrilik asit likitinin adezyon ve biyolojik uyum özelliklerinin birleştiği materyallerdir.^(72,73) Florür içeren silikat cam ve polialkenoik asitlerin arasında gerçekleşen asit-baz reaksiyonu ile sertleşirler. Sertleşme reaksiyonu sırasında cam fazdan florür de dahil olmak üzere çeşitli iyonik bileşenler ortama salınmaktadır. CİS'lerden sulu ortama florür salınımını açıklamak için iki mekanizma önerilmiştir. Birinci mekanizma, yüzeyden çözeltiye hızlı çözünmeyi içeren kısa süreli bir reaksiyondur. İkinci mekanizma ise daha yavaş gerçekleşir ve iyonların siman kütlesi boyunca sürekli difüzyonu ile karakterizedir.^(74,75) CİS'lerden ilk 24 saat içerisinde ani ve patlama şeklinde yüksek dozda flor salınımı gerçekleşir. Yüksek dozda flor salınımı 8-10 hafta içerisinde düşmektedir.^(75,76) Yapılan bir çalışmada simanın toz ve likitinin karıştırılmasından itibaren ilk 4 saat içerisinde 1.6–1.8 µg/mm² florür salındığı gösterilmiştir.⁽⁷⁷⁾ Bir başka in vitro çalışmada ise yapay tükürük solüsyonuna daldırmadan sonraki ilk on dakika içerisinde 1 ppm florür salındığı ve ilk 24 saatte toplam 15 ppm florür salınımı gerçekleştiği bulunmuştur.⁽⁷⁸⁾ Başlangıçta yüksek miktarda olan florür salınımı 24–72 saat içinde hızla azalır^(77,79) ve 10–20 gün içinde neredeyse sabit bir seviyeye ulaşır.^(77,80) Salınan toplam florür miktarı ise 5–10 gün sonra, yaklaşık 0.3–3 µg/mm²'dir.^(77,80)

CİS'ler hafif nemli mine ve dentin dokularına bir adeziv ajana ihtiyaç duymadan kimyasal olarak bağlanabilir. Termal genleşme katsayısı dişin termal genleşme katsayısıyla uyumludur bu da mikrosızıntıyı minimal seviyeye indirir. Düşük sitotoksikite gösterir ve biyouyumludur. Sertleşme reaksiyonu sırasında pH düşmekte bu da antibakteriyel etki sağlamaktadır. En önemli özelliklerinden biri ise gerekli durumlarda flor salınımı yapabilmesi ve ortamda fazla florür olduğunda flor geri alımı yaparak bir flor deposu olarak işlev görebilmesidir. Dolayısıyla remineralizasyon sağlayan antikaryojenik restoratif materyal olma özelliğini taşımaktadır. Bu özelliklerinden dolayı CİS'ler biyoaktif materyal olarak kabul edilirler.^(76,81) Bu olumlu özelliklerinin yanında kırılmaya karşı düşük mekanik direnç göstermesi, düşük

sertlik ve aşınma direnci gibi zayıf mekanik özellikler, yoğun okluzal kuvvetlere maruz kalan posterior dişlerde kullanımını sınırlandırmaktadır.⁽⁸¹⁾ CİS'ler ilk karıştırıldığında erken olgunlaşma aşamasında neme oldukça hassastır, bu da beraberinde ilk dehidrasyon ve nem alımından rezin içerikli bir örtücüyle korunması gerekliliği gibi bazı dezavantajları getirmektedir.⁽⁸²⁾

Geleneksel Cam İyonomer Simanlar (GCİS)

GCİS'ler toz ve likitten oluşmaktadır. Üç boyutlu silikat yapısı ile tetrahedral bir yapıya sahiptir. Bileşimine flor eklenmiştir bu sayede flor rezervuarı olarak görev yapmaktadır.⁽⁸³⁾ Antikaryojenik olması, remineralizasyon potansiyeline sahip olması, izolasyon kontrolüne resin içerikli materyaller kadar hassas olmaması ve kolay uygulanabilmesi sebebiyle süt dişlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Posterior bölgelerde kullanımı ise okluzal kuvvetlere karşı gösterdikleri düşük mekanik direnç gibi dezavantajları sebebiyle sınırlıdır. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla CİS'ler sürekli geliştirilmeye devam etmektedir.⁽⁸³⁾

Cam İyonomer Simanlardaki Gelişmeler

Metal ilave edilmiş CİS'ler (Sermet Simanlar)

CİS'lerin toz kısmına, fiziksel ve mekanik özelliklerini güçlendirmek amacıyla altın, gümüş, titanyum dioksit ve amalgam gibi metal tozları ilave edilmiştir ve elde edilen materyale Sermet siman adı verilmiştir. Fakat bu ilave, materyalin renginde grileşmeye sebep olmuş ve materyalin kırılabilirliğinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Posterior dişlerde kullanılabilen 'Sermet' (Seramik/metal) simanların geleneksel CİS'ler kadar dayanıklılık göstermediği ve flor salımının ise neredeyse yok denecek kadar düşük seviyede olduğu bildirilmiştir.^(70,76)

Zirkonyum ilave edilmiş CİS'ler (Zirconomer)

İçeriği, zirkonyum oksit, cam tozu, %1-10 oranında tartarik asit, %20-50 oranında poliakrilik asit ve deiyonize sudan oluşmaktadır. CİS'lerin flor salınımı ve biyoyumluluğu ile amalgam restorasyonların dayanıklılığını birleştirmeyi amaçlayan yeni nesil yüksek dayanımlı bir restoratif materyaldir. Zirkonyum oksit, beyaz kristal yapıda olup yüksek mekanik dayanıklılık göstermekte ve suda çözünmez özelliktedir. Zirkonyum hem geleneksel CİS partiküllerinden hem de HA'dan daha yüksek dayanıklılığa sahiptir bu nedenle bu materyalin özellikle posterior bölgelerde

karşılaşılan yüksek oklüzal kuvvetlere karşı oldukça dayanıklı olduğu bildirilmiştir. Cıva içermemesi nedeniyle sitotoksosite göstermemesi de avantajları arasındadır.⁽⁸⁴⁾

Seramik İlave Edilmiş CİS'ler (Amalgomer)

Amalgomer, GCİS'lerde olduğu gibi asit-baz reaksiyonu ile sertleşir, ancak içeriğine eklenen partikül boyutunda seramik takviyeler sayesinde mekanik dayanıklılığı önemli ölçüde artırılmıştır. Seramik katkısı, materyalin aşınma ve erozyon direncini güçlendirirken, aynı zamanda radyoopaklık ve fiziksel dayanıklılık açısından da iyileşmeler sağlar. Bu materyal, estetik uyumu, biyouyumluluğu, diş dokularına kimyasal bağlanma kapasitesi ve minimal kavite preperasyonu gerektirmesi gibi CİS'lerin avantajlarını taşıırken, aynı zamanda yüksek düzeyde florür salınımı sağlamaktadır.⁽⁸⁴⁾

Fiber ile Güçlendirilmiş CİS'ler

CİS'lerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla toz kısmına alümina ve silikon dioksit içeren seramik liflerin eklenmesi, eğilme direnci, aşınma dayanımı ve sertleşme derinliği gibi özelliklerde anlamlı iyileşmeler sağlamaktadır. Bu tür materyaller genellikle ışıkla sertleşen CİS'ler olup, restoratif uygulamalarda daha uzun ömürlü ve dirençli çözümler sunmayı hedeflemektedir. Alümina fiberlerin CİS tozuna eklenmesi, simanın polimerizasyon sırasında oluşan büzülmesini azaltırken, aynı zamanda yük taşıma kapasitesini de arttırmaktadır. Bu seramik lifler, oluşan hidrojel yapı içinde fiziksel destek sağlayarak bağlayıcı bir iskelet görevi üstlenmektedir.⁽⁸⁴⁾

Cam Karbomer Simanlar

Son yıllarda geliştirilen cam karbomerler, fluoroapatit ve HA gibi biyoaktif partiküller içeren, nano boyutta karbomize cam yapısında bulunan bir CİS türüdür. Nanopartiküllerin eklenmesi ile mine benzeri bir yapı oluşturulması amaçlanmıştır. Eklenen bu partiküller simanı kırılgan bir hale getirmiştir ve bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla toz içeriğine silikon yağı ilavesi yapılmıştır. Bu materyalde bulunan nano partiküller, poliakrilik asit bazlı likit ile daha geniş bir yüzeyde temas ederek, GCİS'lere kıyasla daha hızlı sertleşme reaksiyonu göstermesini ve remineralizasyon sürecinin daha erken başlamasını sağlamaktadır. Cam karbomerlerin aşınma direnci, kırılma dayanımı ve estetik performansı GCİS'lere göre daha yüksek düzeydedir.⁽⁷⁶⁾ Cam karbomerler, diş dokularına bağlanmak için bir asit uygulamasına ihtiyaç duymaz ancak tam polimerizasyonun sağlanması ve mekanik olarak

dayanıklılığının artırılması amacıyla materyal uygulandıktan sonra yüzeyin koruyucu bir ajan ile kaplanması ve ışık cihazı ile kısa süreli ısı uygulanması önerilmektedir. Cam karbomerlerin içeriğinde metal, monomer rezin ve Bisfenol-A bulunmamaktadır. Işık cihazının uygulanma amacı sadece ısı etkisinden faydalanabilmektir.⁽⁸⁵⁾

Resin Modifiye CİS'ler (RMCİS)

GCİS'lerin yapısına %18-20 oranında Bis-GMA ya da HEMA eklenerek RMCİS'ler elde edilmiştir. RMCİS'lerde, ışık aktivasyonu ile polimerizasyon, kimyasal polimerizasyon ve asit- baz reaksiyonu olmak üzere üç çeşit sertleşme reaksiyonu görülmektedir.⁽⁸³⁾ Bu sayede materyalin sertleşme süresi kısalmış, nem hassasiyeti azalmış ve mekanik dayanıklılığı da artırılmıştır. RMCİS'lerin fiziksel ve mekanik özellikleri, GCİS ile kompozit rezinler arasındadır. RMCİS'ler %23 oranında flor içerir. ⁽⁸³⁾ RMCİS'ler kapsül ve toz-likit formlarında bulunabilirler. Klinik uygulama kolaylığı açısından süt dişlerinde daha çok kapsül formu tercih edilmektedir. Dentine ve mineye adezyonu GCİS'lerden iyidir. GCİS'lerle kıyaslanıldığında, okluzal kuvvetlere karşı basma dayanımı, çekme kuvvetlerine karşı direnci ve elastisite modülünün artmış olduğu bildirilmiştir.^(76,83) İçerdikleri HEMA dolayısıyla artık monomerler oluşmaktadır ve bu da pulpal enflamasyon ya da alerjik reaksiyonlara yol açarak biyouyumluluğunu azalttığı gösterilmiştir.⁽⁸⁶⁾

Giomerler

Giomerler, pre-reaktif cam iyonomer partikülleri içeren, flor salabilen ve ışıkla polimerize olabilen rezin esaslı restoratif materyallerdir. "Giomer" terimi, cam iyonomer ve polimer bileşenlerini ifade eder. S-PRG ve F-PRG olmak üzere iki farklı formda bulunan bu partiküller, materyale flor salınımı özelliği kazandırmakta ve giomerin demineralizasyonu önleme ve remineralizasyonu artırma kabiliyetini güçlendirmektedir.⁽⁸³⁾ Flor salınımı açısından giomerler, GCİS ve RMCİS'lere kıyasla daha düşük, kompomerlerden ise daha yüksek performans göstermektedir.⁽⁸⁷⁾ Klinik çalışmalar, giomerlerin antibakteriyel etkinliklerinin RMCİS ve kompomerler arasında yer aldığını ortaya koymuştur.⁽⁸⁸⁾ Bununla birlikte, giomerlerin su emilimi ve renklenme eğilimleri nanohibrit kompozitlere göre daha yüksek olup, estetik özelliklerini olumsuz etkileyebilir. ⁽⁸⁹⁾ Uzun dönemli çalışmalarda, giomerlerin Sınıf I ve II restorasyonlarda kabul edilebilir klinik performans sunduğu ve kompomer ile RMCİS'lere göre daha iyi yüzey özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir. ⁽⁹⁰⁾

Nano-İyonomerler

GCİS ve RMCİS'lere ek olarak nano teknolojinin gelişmesiyle nano partiküllerin CİS'lere eklenmesi ile nano dolduruculu RMCİS'ler (nano-iyonomer) elde edilmiştir. Nano-iyonomerlerde mekanik dayanıklılık artarken polimerizasyon büzülmesi azalmıştır. Nano-iyonomerlerin CİS'lerden temel farkı, içeriklerindeki dolgu partiküllerinin yaklaşık %69'unun nano partiküllerden oluşmasıdır. RMCİS'ler ile benzer şekilde ilk polimerizasyon reaksiyonu ışık yoluyla olmaktadır. Dentin ve mine yüzeylerine bağlanma özellikleri ise CİS'lerle benzerlik göstermektedir.⁽⁸³⁾

Yüksek Viskoziteli CİS'ler (YVCİS)

GCİS'lerin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek, okluzal streslere karşı dayanıklılığını artırmak ve aşınmayı minimuma indirmek, daha geniş endikasyon alanı sağlamak ve posterior bölge restorasyonlarında başarılı sonuçlar elde edebilmek amacıyla geliştirilmişlerdir. "Kondanse edilebilen cam iyonomer simanlar" olarak da adlandırılmaktadırlar. GCİS'lerdeki toz likit oranı 3:1 veya 4:1 iken; YVCİS'da bu oran 6:1 veya 7:1'dir.⁽⁸³⁾ YVCİS'lerin sertleşme mekanizmaları GCİS'ler ile aynıdır. GCİS'lerin cam partiküllerinin yüzeyinde bulunan fazla kalsiyum iyonları elimine edilerek ve toz/ likit oranı, partikül boyutları ve dağılımı değiştirilerek ve toz kısmına poliakrilik asit ilave edilerek aşınma direnci, yüzey sertliği, basma ve çekme dayanıklılıkları artırılmıştır. Neme hassasiyeti ve çözünürlükleri azalmıştır. Ayrıca, flor salınımları GCİS'lerle aynı orandadır ve biyouyumlulukları da benzerdir. ⁽⁹¹⁾ Yüksek toz/likit oranı, kolay kullanımı, uygun ve homojen kıvamı ve kapsül formunda üretilmesi gibi avantajlara sahip olmaları nedeni ile arka grup dişlerde kompozit rezinlere alternatif olarak hem süt hem de daimi dişlerde kullanılabilirler. Kolay kullanımı ve hızlı sertleşmesi sebebiyle koopere edilemeyen çocuklar, özel gereksinimli hasta grupları veya ART veya interim terapötik restorasyon uygulamalarında da sıklıkla tercih edilmektedirler. Dentinle termal genleşme katsayısının benzer olmasından dolayı mikrosızıntının az olacağı, bu durumda beraberinde başarılı kenar uyumu getireceği düşünülmektedir. Kütlesel olarak yerleştirilebilir olması ve oldukça yüksek oranda flor salabilmesi ve flor depolayabilmesi diğer önemli avantajlarındandır.^(76,83)

YVCİS'lerin, özellikle yoğun okluzal kuvvetlere maruz kalan sınıf II restorasyonlardaki başarı oranını arttırabilmek, fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesini sağlamak amacıyla toz kısmına alümina, zirkonya, nano TiO₂ ve çinko

ilave edilmesiyle daha dayanıklı formları geliştirilmiştir.⁽⁹²⁾ YVCİS'lerin daha çok ART restorasyonlarında tercih edilmesi antibakteriyel özelliklerinin de geliştirilmesi ve sekonder çürük oluşumunun önüne geçilmesi gibi amaçları da beraberinde getirmiştir. Bu amaçla YVCİS'lerin içerisine Klorheksidin veya siprofloksasin, metronidazol ve minosiklin içeren üçlü antibiyotik patları eklenerek antibakteriyel etkinliği yüksek formları elde edilmiştir. Bu CİS'lerin *S. mutans*in büyümesini inhibe ettiği bildirilmiştir, fakat zamanla materyalin mekanik özelliklerinde zayıflamaya yol açacağı da düşünülmektedir.^(76,84)

2.4 Kavitasyon Oluşmuş Çürük Lezyonunun Tedavisinde Minimal İnvaziv Diş Hekimliği Uygulamaları

Kavitasyon oluşmuş çürük lezyonlarında, çürük dokunun tamamen uzaklaştırılması sıklıkla pulpal perforasyonlara neden olmaktadır.⁽⁹³⁾ Böyle durumlarda direkt kuafaj, amputasyon veya kanal tedavisi gibi invaziv, ek seans gerektiren, maliyetli ve çocuk hastalarda kooperasyon gerektiren pulpal tedavilerin uygulanması gerekmektedir. Ancak, vital pulpa dokusunun, çürük lezyonlarının ilerlemesine karşı doğal bir savunma mekanizmasına sahip olduğu ve bu nedenle pulpa vitalitesinin korunmasının, remineralizasyona da yardımcı pulpa-dentin kompleksinin fizyolojik bütünlüğünü sürdürebilmesi açısından kritik önem taşıdığı bildirilmektedir. Ayrıca, pulpaya komşu dentin tabakasının bakteri invazyonuna karşı biyolojik bir bariyer oluşturma işlevi göz önünde bulundurularak, bu bölgedeki dentin dokusunun olabildiğince korunmasının klinik olarak anlamlı olduğu vurgulanmaktadır ^(62,93,94)

Günümüzde minimal invaziv diş hekimliğinin benimsenmesi ile birlikte, çürük oluşum sürecine ilişkin mekanizmaların daha iyi anlaşılması, enfekte dentin ile etkilenmiş dentin dokusunun klinik olarak ayrımının daha net yapılabilmesi ve restoratif materyallerde sağlanan gelişmeler doğrultusunda, geleneksel kavite tasarım prensiplerinin uygulanmasına ve çürüğün tamamının temizlenmesine artık gerek duyulmamaktadır.⁽¹⁰⁾ Bu gelişmeler ışığında, özellikle çocuk hastalarda pulpa açılma riskinin yüksek olması dolayısıyla dentin çürüklerinin tedavisinde, pulpaya zarar verme riskini azaltmak ve olası komplikasyonların önüne geçmek amacıyla, çürüğün aşamalı veya selektif temizlenmesi gibi daha koruyucu yaklaşımlar içeren minimal invaziv tedavi uygulamaları önerilmektedir.^(93,95,96) Kavite preperasyonu gerektiren durumlarda, kaviteyi tamamen örterek izole eden bir restorasyonun, karyojenik

bakterileri karbonhidratlardan yoksun bırakarak lezyon aktivitesini kontrol ettiği belirtilmiş, restorasyon yapmadan önce tüm çürük lezyonunun kaldırılmasının gerekli olmadığı yapılan çalışmalarda bildirilmiş, ve çürüğün tamamen temizlenmesini benimseyen uygulamalar aşırı tedavi olarak nitelendirilmiştir. (49,96,97) Kavite preperasyonu gerektirmeyen tedavilerde ise çürüğün hiç temizlenmeden sızdırmaz ve biyouyumlu bir restorasyon ile dış ortamdan izole edildiği tedavi uygulamaları veya çürüğün yüksek konsantrasyonda flor içerikli remineralizan ajanların maruziyetine tabii tutularak demineralizasyonunun durdurulması ve remineralizasyonun etkin bir şekilde sağlanması, bu sayede ileride oluşabilecek pulpal semptom ve komplike tedavilerin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. (9,10)

2.4.1. Aşamalı çürük uzaklaştırılması (Step-Wise)

Aşamalı çürük uzaklaştırma, derin çürük lezyonlarında pulpayı koruyarak tedavi etmeyi amaçlayan iki aşamalı bir minimal invaziv yaklaşımdır. İlk seansta, periferdeki tüm çürük dokusu temizlenmekte ve sadece pulpa odasına yakın bölgede bir miktar yumuşak çürük dokusu bırakılarak geçici bir restorasyon uygulanmaktadır. Uygulanan restoratif materyalin remineralizasyonu ve tersiyer dentin oluşumunu destekleyen flor salınımı yapan bir materyal olması önem taşımaktadır. Diş en fazla 12 ay boyunca takip edilmektedir. İkinci seansta, geçici restorasyon kaldırılarak kalan yumuşak çürük dokusu uzaklaştırılmakta ve nihai restorasyon yapılmaktadır.⁽⁹⁸⁾ Geçici restorasyon sürecinde, altta kalan dentin tabakasının bakteriyel yükü azalmakta, ortam pH'ı dengelenmekte ve dentin dokusunda remineralizasyonu destekleyen fizyolojik süreçler başlamaktadır. Özellikle tersiyer dentin oluşumu gibi savunma mekanizmaları aktive olmakta ve zamanla altta kalan dentin daha sert ve daha az geçirgen hale gelmektedir. Belirlenen sürenin sonunda, geçici restorasyon kaldırılarak altta kalan dentin klinik görünüm ve sertlik açısından yeniden değerlendirilmekte; sert, kuru ve koyu renk gözlenen dentin yerinde bırakılmakta ve kalıcı restorasyon uygulanmaktadır. Bu yaklaşım, minimal invaziv diş hekimliği ilkelerine uygun olarak doğal dentin dokusunun korunmasına katkı sağlamaktadır. ⁽⁴⁸⁾ Ancak aşamalı çürük uzaklaştırılması yönteminin, restorasyonun yeniden kaldırılmasını gerektirmesi, ek klinik seanslara ihtiyaç duyması, maliyet artışına yol açması ve pulpa perforasyonu riskini tamamen ortadan kaldıramaması gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle, özellikle fizyolojik kök rezorpsiyonu süreci nedeniyle ağızda sınırlı süre kalacak olan süt dişlerinde, bu yöntemin uygulanabilirliği sınırlı olmaktadır ve tercih

edilmemektedir. Süt dişleri için pulpa perforasyon riskinin daha az olduğu, enfekte dentinin selektif olarak tek seansta uzaklaştırıldığı ‘yumuşak dentinin selektif uzaklaştırılması’ yöntemi daha uygun ve klinik olarak tercih edilir yöntemler arasında yer almaktadır.⁽⁹⁹⁾

2.4.2. Selektif Çürük Uzaklaştırılması

Selektif çürük temizleme yöntemi, derin dentin çürüğüne sahip dişlerde minimal invaziv yaklaşımlardan biri olarak benimsenmekte ve pulpanın ekspoz riskinin azaltılması ve vitalitesinin korunmasını amaçlamaktadır.⁽⁴⁸⁾ Genellikle süt dişlerinde tercih edilmektedir. Derin kavitelerde (dentinin pulpaya yakın olduğu 1/3 veya 1/4’lük kısım) önerilmektedir. Bu yöntemde, kavitenin periferindeki yumuşak enfekte dentin dokusu mümkün olduğuunca uzaklaştırılırken, pulpa ile komşu bölgede yer alan, ekskavatöre karşı mekanik direnç gösteren etkilenmiş dentin tabakası yerinde bırakılmaktadır.⁽¹⁰⁰⁾ Pulpada istenmeyen basınç sonucu oluşabilecek fizyolojik stresi ve ekspozu önlemek amacıyla pulpa üzerinde bilinçli olarak yumuşak enfekte dentinin de bir kısmının bırakılabileceği bildirilmektedir.⁽¹⁰¹⁾ Selektif çürük uzaklaştırma yöntemi, çürük oluşum mekanizmasını açıklayan ekolojik plak hipotezi ile uyum göstermektedir. Bu hipoteze göre, diş çürüğü; karbonhidrat alımının artmasıyla ağız mikroflorasının dengesi bozulduğuunda, asidojenik ve asidürik bakterilerin baskın hale gelmesi sonucu ortaya çıkmaktadır.⁽¹⁰²⁾ Selektif çürük temizleme yönteminde, yumuşak dentinin seçici uzaklaştırılmasından sonra kavite boşluğunun sızdırmaz ve biyouyumlu bir restoratif materyal ile kapatılması sayesinde, kalan bakterilerin karbonhidrata ulaşımı engellenmekte ve böylece çürük süreci biyolojik olarak durdurulmaktadır. Bu süreçte, karyojenik bakteri yükünün azaltılmasıyla birlikte proteolitik yıkımın önüne geçilmekte ve pulpa-dentin kompleksinde tersiyer dentin oluşumu gibi onarım mekanizmaları aktive olmaktadır.⁽¹⁰³⁾

AAPD’nin güncel kılavuzlarında da derin dentin çürüklerinin yönetiminde bu yaklaşım önerilmekte; iyi bir restoratif izolasyon sağlandığı takdirde, tek seansta selektif çürük uzaklaştırma yönteminin pulpa vitalitesini koruma açısından güvenli ve etkili olduğu belirtilmektedir. Mevcut literatür, kalan dentin dokusunun tekrar açılarak uzaklaştırılmasına gerek olmadığını; dişin bakteri kontaminasyonundan izole edildiği sürece çürüğün ilerlemesinin durdurulduğunu ve dentin-pulpa kompleksinin doğal savunma ve tamir kapasitesinin desteklendiğini ortaya koymaktadır.⁽⁹⁶⁾

2.4.3. Atravmatik Restoratif Tedavi(ART)

ART, ilk olarak 1990'lı yılların başında Dr. Frencken tarafından tanımlanmıştır. ⁽¹⁰⁴⁾ DSÖ 'nün 1994 yılında yayınladığı bir bildiride demineralize çürük dokusunun döner alet kullanmadan sadece el aletleri ile temizlenmesini ve restoratif materyal uygulanmasını içeren minimal invaziv bir yaklaşımdır. ART kavramı Uluslararası Çürük Konsensüsü İş birliği tarafından da minimal invaziv yaklaşımlar arasında kabul edilmektedir.⁽⁵⁸⁾ ART özellikle az gelişmiş ülkelerde ideal dental tedavilerin yapılamadığı ve malzeme yetersizliğinin yaşandığı durumlarda tercih edilmektedir. Enfekte dentin, döner alet kullanılmadan ve lokal anesteziye ihtiyaç duyulmadan sadece keskin bir el aletiyle kaldırılmakta ve restorasyon flor salınımı özelliği nedeniyle CİS materyali ile tamamlanmaktadır. ⁽⁵⁸⁾ Bu yöntem döner aletleri tolere edemeyen, ilk kez tedavi olacak ve koopere edilemeyen, lokal anesteziden korkan çocuk hastalar ve engelli hastaların tedavi edilmesinde iyi bir alternatif olmaktadır. Yüksek çürük riskli bireylerde geçici bir tedavi seçeneği olarak, ağız ortamındaki aktif karyojenik yükü azaltmayı hedefleyen ve toplum temelli halk sağlığı çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir tedavi yöntemi olarak da kabul görmektedir. ⁽⁹⁾ ART'nin çok sayıda çürük lezyonu olan hastalarda karyojenik yükü azaltmak ve aktif çürüğün ilerlemesini önlemek ve kontrol altına almak için çok sayıda çürük lezyonuna tek seansta uygulanması 'interim terapötik restorasyonlar' olarak adlandırılmaktadır. ^(11,105) İnterim terapötik restorasyonlarda, uygulanan restoratif materyalin belirli bir süre sonra daimi restorasyon ile değiştirilmesi gerekmektedir.⁽¹¹⁾ AAPD, interim terapötik restorasyon uygulamalarının, geleneksel tedavi yöntemlerini ve ek tedavi seanslarını tolere edemeyecek koopere olamayan hastalarda çok sayıda çürük lezyonu olan durumlarda çürüğün ilerlemesini önlemek ve kontrol altına almak için kullanılmasını önermektedir. ⁽¹⁰⁵⁾

2.4.4. Hall Tekniği

Hall tekniği, özellikle kooperasyon problemi olan 3-10 yaş arası çocuk hastalarda, derin çürüklerin yönetiminde AAPD tarafından önerilen, süt azı dişlerinde görülen çürük lezyonlarının herhangi bir uzaklaştırma işlemi yapılmadan, biyouyumlu ve sızdırmaz prefabrik metal kuronlar ile kaplanarak dış ortamdan izole edilmesini amaçlayan noninvaziv bir minimal invaziv tedavi yöntemidir.⁽⁹⁶⁾ İlk aşamada, ilgili dişe uygun boyutta bir hazır metal kron seçilmekte ve uyumlama yapıldıktan sonra kuron CİS ile dişe simante edilmektedir. Bu teknikte, diş dokusunun preperasyonu ya

da lokal anestezi uygulanması gerekmediğinden, işlemin çocuk hastalar tarafından daha rahat tolere edildiği bildirilmektedir.⁽⁴⁸⁾

2.4.5. Florür Uygulamaları

Florür uygulamaları, genel olarak sistemik ve topikal uygulama yöntemleri olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Sistemik olarak çok düşük dozlarda ve uzun süreli uygulanan florür, daha çok sürme öncesi dönemde, diş gelişimi sürecinde etkili olarak dişlerin sağlıklı şekilde mineralize olmasına katkı sağlamakta ve bu sayede diş dokularının çürüğe karşı direnci artmaktadır.⁽⁶⁸⁾ Topikal florür uygulamaları ise, profesyonel olarak diş hekimleri tarafından ve bireysel olarak hastanın kendisi tarafından uygulanabilen yöntemler olmak üzere iki ayrı kategoriye ayrılmaktadır.⁽¹⁰⁶⁾ Klinikte uygulanan topikal flor uygulamaları; florür solüsyonlarını, florürlü jelleri, florürlü vernikleri, flor iyonoferezi ve intraoral flor salan cihazları kapsamaktadır. Bireysel uygulanan flor içerikli ürünler arasında ise; diş hekiminin tavsiyesiyle reçete edilen veya bireyin kendisi tarafından alınan florlu gargara ve diş macunu gibi ürünler sayılmaktadır.⁽⁶⁵⁾ Topikal florür uygulama ajanları daha çok başlangıç düzeyindeki, kavite oluşmamış mine çürüğü lezyonların durdurulmasında ya da çürük oluşumunun önlenmesinde etkili olmaktadır. Ancak GDF gibi yüksek doz florür içeren ajanlar ilerlemiş ve kavite oluşmuş çürüklerin de durdurulması ve kontrolünün sağlanmasında etkili olmaktadır.^(65,107,108)

Profesyonel Topikal Florür Uygulamaları

Profesyonel topikal flor uygulamaları erken çocukluk çağı çürüğüne sahip ve yüksek çürük riskli çocuklarda ve yetişkinlerde endike olan uygulamaları kapsamaktadır. Uygulamanın sıklığı hastanın çürük riskine bağlı olarak değişebilmekte ve genellikle en az altı ayda bir uygulamayı gerektirmektedir.⁽¹⁰⁹⁾ Profesyonel florür uygulamaları için en sık kullanılan ajanlar, %5 sodyum florür verniği; (%2,26 florür, 22.600 ppm florür içermektedir.) ve asidüle fosfat florürdür. (%1,23 florür, 12.300 ppm florür içermektedir.).⁽¹⁰⁶⁾

Florür Solüsyonları

Yaklaşık 1940'lı yılların başından beri, topikal florür uygulamalarında kullanılan ajanlardan biri, %2'lik sodyum florür (NaF) solüsyonudur. NaF, nötr pH'dır, saf ve kontaminasyondan uzak bir formda kullanıldığında etkili olup, AAPD tarafından önerilmektedir.⁽¹⁰⁶⁾ Zamanla NaF'a alternatif olarak kalay florür, asidüle fosfat florür

ve amin florür gibi farklı florür bileşikleri geliştirilmiştir. Kalay florür, %8-10 oranında kullanılarak minenin asitlere karşı çözünürlüğünü azaltma kapasitesiyle dikkat çekmiş; ancak kimyasal olarak kararsız oluşu, kötü tadı ve restoratif materyallerde renk değişimlerine yol açması nedeniyle kullanımı sınırlı kalmıştır. Asidüle fosfat florür ise 12.300 ppm florür içeriği, düşük pH'ı ve kimyasal stabilitesi sayesinde klinik kullanıma elverişli olup, etkinliği artırmak amacıyla sodyum florür ve fosforik asit kombinasyonu ile formüle edilmiştir. Günümüzde bu solüsyonların büyük ölçüde yerini, tüm dişlere tek seferde uygulanabilen jel formları almıştır ^(106,110).

Florür Jeller

Klinik ortamda topikal olarak uygulanmakta olup, en sık kullanılan formlar arasında %8–10 oranındaki kalay florür, %2 sodyum florür ve %1.23 asidüle fosfat florür yer almaktadır. Yapılan klinik çalışmalar, bu ajanların çürük oluşumunu yaklaşık %30 oranında azalttığını göstermiştir. Florür jelleri, genellikle abraziv olmayan, viskozitesi selüloz ilavesiyle artırılmış formülasyonlardır. ⁽¹⁰⁶⁾ Asidüle fosfat florür jelleri 1968'den bu yana kabul görmekte olup, 12.300 ppm florür içeriğine ve pH 3–4 arasında değişen asidik yapıya sahiptir. Düşük pH seviyesinin mine tarafından florür alımını artırdığı düşünülmektedir. ^(68,106) Bu jellerin köpük formları, daha düşük florüt yutma riski nedeniyle özellikle tükürme yetisi sınırlı bireylerde tercih edilmektedir. ⁽¹¹¹⁾ Klinik uygulamada önerilen maksimum doz 5 ml olup, jelin 4 dakika süreyle uygulanması tavsiye edilmektedir. Literatürde, florürün en yoğun alımının ilk 4 dakika içinde gerçekleştiği bildirilmektedir ^(68,112). Jeller, asite dirençli florapatit oluşumunu desteklemektedir ve rutin kullanımda çürük riskine bağlı olarak 6 ayda bir uygulanmaları önerilmektedir. ⁽¹¹²⁾

Florürlü Vernikler

Florürlü vernikler ilk kez 1960'lı yılların başında Avrupa'da tanıtılmış ve o tarihten bu yana yapılan klinik çalışmalar, bu ürünlerin diş çürüklerini önlemede güvenli, etkili ve sıklıkla tercih edilen ürünler olduğunu ortaya koymuştur. Florür verniklerinin sıklıkla tercih edilme nedenleri arasında, uygulama kolaylığı, hasta kabulü ve yutma riskinin azlığı gibi nedenler sayılabilmektedir. ^(106,112,113) Klinik bulgular, florürlü verniklerin kullanımıyla çürük oranında %25 ila %75 arasında değişen azalmalar sağlandığını göstermektedir. ⁽¹¹²⁾ Bu vernikler, florürün diş yüzeyi ile 12 saat veya daha uzun süreli temasını mümkün kılarak, yüzey tabakaları içine daha fazla florür penetrasyonu

sağlamayı amaçlamaktadır. Uygulama genellikle küçük fırçalar ya da enjektörler aracılığıyla gerçekleştirilir ve formülasyonlarında %5 sodyum florür (yaklaşık 22.000 ppm F⁻) bulunur.⁽¹¹²⁾ Araştırmalar, florürlü verniklerin karyostatik etkisinin esasen antibakteriyel aktiviteden ziyade erken evre çürük lezyonlarının remineralizasyonuna dayandığını ortaya koymaktadır.⁽¹¹⁴⁾ Kullanım alanları; dentin hassasiyeti, erken çocukluk çağı çürükleri, kök çürükleri, ortodontik tedavi gören bireyler, başlangıç çürük lezyonları ile medikal veya fiziksel desteğe ihtiyaç duyan hastaları kapsamaktadır. Klinik kılavuzlara göre, yüksek çürük riski taşıyan bireylerde florürlü verniklerin her 3–6 ayda bir uygulanması, orta risk grubundaki bireylerde ise yıllık uygulama yeterli görülmektedir ^(111,112,115). Yılda dört kez uygulanan protokollerle çürük önleyici etkinliğin en üst düzeye ulaştığı bildirilmektedir. ⁽¹¹²⁾.

Bireysel Topikal Florür Uygulamaları

Bireysel uygulanabilen topikal florür ajanları arasında diş macunları, florürlü diş ipleri, ağız gargaraları ve bunların kombine şekilde uygulanması sayılmaktadır.⁽¹⁰⁶⁾ Çocuklar için bireysel uygulanabilen topikal florür ajanlarının amacı, düşük dozda ve yüksek sıklıkta uygulamalarla, florürün diş yüzeyiyle doğrudan temas süresini en üst düzeye çıkarmaktır. Başlangıçta çürük riski yüksek olan çocuklarda, daha yüksek konsantrasyonda florür içeren diş macunlarının kullanılması, dişlerin daha sık fırçalanması ve fırçalamanın bir yetişkin gözetiminde yapılması, daimi dişlerde çürük görülme sıklığını azaltmada etkili bulunmuştur.^(116,117) Ayrıca, okul öncesi çocuklarda yapılan bir meta analiz çalışmasında, sekiz klinik çalışma incelenmiş ve florürlü diş macunu ile diş fırçalamanın, süt dişlerinde çürük prevalansını anlamlı şekilde azalttığı gösterilmiştir.⁽¹¹⁷⁾ Üç yaşından küçük çocuklar için florürlü diş macunu kullanılırken, en fazla bir pirinç tanesi kadar (yaklaşık 0.1 mg florür) miktarda uygulanması, florozis riskini azaltmaktadır. Üç ile altı yaş arasındaki çocuklar için ise bezelye tanesi büyüklüğünde (yaklaşık 0,25 mg florür) florürlü diş macunu kullanımı uygun görülmektedir.⁽⁶⁵⁾ Florürün diş macunundaki yararlı etkisinden en iyi şekilde faydalanabilmek için dişlerin günde iki kez ve ebeveyn gözetiminde fırçalanması; fırçalama sonrasında ise ağız çalkalamanın en aza indirilmesi veya hiç yapılmaması önerilmektedir. ⁽⁶⁵⁾

Diğer topikal florür ürünleri (örneğin; reçeteli %0.5 florür içeren ev tipi jeller ve macunlar ile %0.09 florür içeren gargaralar), yüksek çürük riski taşıyan bireylerde

(adolesanlar, özel sağlık gereksinimi olan gençler veya sabit ortodontik aparey kullanan hastalar) çürük oluşumunu azaltmada fayda sağlamaktadır. Bu ürünler genellikle altı yaş ve üzeri çocuklar için önerilmektedir.⁽¹¹⁵⁾

Çocukların fırçalama sonrası tükürmelerinin sağlanması ve ebeveynlerin çocuklara verilen macun miktarını kontrol etmesi, aşırı yutmayı önleyecek ve toksik doz alımının önüne geçilmiş olacaktır. Florürlü diş macununun aşırı yutulması ve buna diyetle alınan diğer florür kaynaklarının da eklenmesi, önerilen günlük alım düzeyinin aşılmasına ve buna bağlı olarak dental florozis gelişimine yol açabilmektedir. ⁽¹⁰⁶⁾ Toksikoloji kontrol merkezlerine her yıl 20.000'den fazla florür alımıyla ilgili bildirim yapılmakta; bu vakaların %80'inden fazlası altı yaş altı çocukları kapsamaktadır. ⁽¹¹⁸⁾ Florür için potansiyel olarak toksik doz, vücut ağırlığı başına 5 mg'dır. Daha düşük dozlar mide-bağırsak sisteminde rahatsızlıklara ve abdominal ağrılara neden olurken, daha yüksek dozlarda merkezi sinir sistemi etkilenecek nöbet veya tetani gibi belirtiler ortaya çıkabilir. Vücut ağırlığı başına 15 mg florür ise küçük bir çocuk için ölümcül olabilir.⁽¹⁰⁶⁾ Amerikan Diş Hekimleri Birliği tarafından onaylanmış reçetesiz diş macunları, en az 1000 ppm ve en fazla 1500 ppm florür içermektedir. Reçeteli florürlü diş macunları ise 5000 ppm (100 ml'de yaklaşık 605 mg florür) içerebilir.⁽⁶⁵⁾ Florürlü diş macununun üç yaş altı çocuklarda ebeveyn tarafından verilmesi, tükürmeyi başaramayan tüm çocukların fırçalanmasının ebeveyn gözetiminde yapılması ve florür içeren reçeteli ürünlerin küçük çocukların erişemeyeceği yerlerde saklanması; hem akut (toksik) hem de kronik (florozis) etkileri olan istenmeyen yutmaları önlemeye yardımcı olacaktır.⁽¹⁰⁶⁾

2.4.6. Gümüş Diamin Florür (GDF)

Gümüş amonyum florür olarak da adlandırılan GDF ($\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{F}$); gümüş ve florür içeren, amonyak ile kompleks oluşturan, renksiz, berrak, alkali bir solüsyondur. Amonyum iyonları, gümüş iyonları ile birleşerek gümüş-diamin iyonu adı verilen kompleks bir iyon oluşturmakta ve bu kompleks, gümüş florüre kıyasla daha kararlı bir yapı göstermektedir. GDF, yalnızca gümüş, amonyum ve florür iyonlarının basit bir tuzu olarak değil; aynı zamanda ağır metal halojenür koordinasyon kompleksi olarak da tanımlanmaktadır. Gümüş-diamin kompleksinde gümüşün antibakteriyel etkileri ile florürün remineralizasyon gücü birleştirilmiştir.⁽¹¹⁹⁾ GDF; köpük, jel ve vernik formlarında yaygın olarak bulunan sodyum florür, kalay florür veya asidüle

fosfat florür gibi maddelere kıyasla iki ila üç kat daha fazla florür salınımı yapmaktadır. ⁽¹²⁰⁾ AAPD'nin güncel klinik kılavuzuna göre GDF, süt dişlerinde ve daimi dişlerde çürük oluşumuna elverişli bölgelerde ve başlangıç mine çürüğü lezyonlarında koruyucu ve durdurucu bir tedavi yöntemi olarak, kavitasyon oluşmuş dentin çürüklerinde ise çürüğün ilerlemesini durdurmak amacıyla kullanılabilmektedir. ⁽¹²¹⁾

AAPD, özel sağlık bakım ihtiyacı olan çocuklar da dahil olmak üzere çocuk ve adolesanlarda çürük yönetimi için GDF kullanımını tavsiye etmektedir ve GDF uygulamasını, daha kapsamlı ve pahalı prosedürlerin gerekliliğini önleyebilecek veya invaziv-restoratif tedavi prosedürlerine olan ihtiyacı geciktirecek veya ortadan kaldıracak, minimal invaziv bir yaklaşım olarak tanımaktadır.⁽¹²²⁾ Yapılan in vivo ve in vitro çalışmalarda, gümüş florür bileşiklerinin çürük lezyonlarını durdurmadaki etkinliğini gösterilmiştir.^(123–126) DSÖ tarafından 2021 yılında yayınlanan çocuklar için esansiyel ilaçlar listesinde de GDF çürük durdurucu ilaç olarak kabul edilmiştir.⁽¹²⁷⁾ GDF solüsyonu piyasada %12, %30, %38 gibi farklı konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Şekil 2.6.). En yaygın olarak %38'lik formu kullanılmaktadır.⁽¹²⁸⁾ %38'lik GDF solüsyonlarının, belirgin antibakteriyel potansiyele sahip olduğu bilinmektedir.⁽¹²⁹⁾ GDF konsantrasyonunun ve uygulama sıklığının çürük kontrolü üzerindeki etkisinin incelendiği iki randomize kontrollü çalışmada, %38 konsantrasyondaki GDF'nin %12'lik GDF'den daha etkili olduğu bulunmuştur.^(124,130) Bir başka çalışmada; %38'lik GDF konsantrasyonunun, kolajenaz aktivitesinin inhibe edilerek kolajen bozulmasının önlenmesinde düşük konsantrasyonlara göre daha etkili olduğu bildirilmektedir. ⁽¹³¹⁾

Ürün İsmi	GDF konsantrasyonu	Florür Konsantrasyonu	Üretici Firma	Ülke
Advantage Arrest	%38	44.800 ppm	Elevate Oral Care	Amerika Birleşik Devletleri
Cariestop	%12	14.000 ppm	Biodinamica	Brezilya
	%30	35.400 ppm		
fAgamin	%38	44.800 ppm	Tedequium S.R.L	Arjantin
Fluoroplat V	%38	44.800 ppm	Laboratorios Naf	Arjantin
Saforide	%38	44.800 ppm	J,Morita; Toyo Seiyaku Kasei Ltd.	Japonya
Rivastar	%35-40	44.800 ppm	SDI dental Ltd.	Avustralya
Carlostasul	%10	11.809 ppm	Iodontosul	Brezilya
	%12			
	%30			
Ancarie	%12	14.100 ppm	Maquira	Brezilya
	%30	35.400 ppm		

Şekil 2.6. Gümüş diamin florür solüsyonunun piyasa formlarının gösterilmesi ⁽¹³²⁾

GDF'nin Etki Mekanizması

GDF'nin çürük önleyici mekanizması, bakteriler üzerinde ve diş dokusu üzerinde doğrudan etkisi olarak iki yönlü incelenmektedir. ⁽¹³³⁾

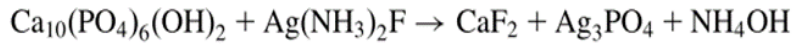
Bakteriler üzerinde etkisi;

GDF içerisinde bulunan florür ve gümüş iyonlarının ikisinin de karyojenik biyofilm oluşumunu inhibe etme yeteneğine sahip oldukları bilinmektedir. ⁽¹³⁴⁾ GDF içerisinde yüksek konsantrasyonda bulunan florür, bakterilerin hücresel bileşenlere bağlanarak bakterilerin glikoliz enzimlerini inhibe etmekte, karbonhidratların sindirimini ve asit oluşturmasını engellemekte ve biyofilm oluşumunu önlemektedir. ⁽¹³⁵⁾ Gümüş iyonları ise antibakteriyel etkilerini; bakteri hücre duvarlarını tahrip ederek, enzimatik aktiviteleri inhibe ederek ve bakteriyel DNA'nın replikasyonunu engelleyerek göstermektedir. ⁽¹³⁶⁾ GDF, gümüş amonyum nitrat ve sodyum florür içerikli koruyucu ajanlara kıyasla çok daha düşük konsantrasyonlarda *S. mutans*'ın büyümesini inhibe etmekte ve hatta *S. mutans* üzerinde bakterisidal etki göstermektedir. GDF, *A. naeslundii* ve *L. acidophilus* suşlarına karşı da güçlü inhibe edici etki göstermektedir. ^(137,138) Bazı araştırmacılar, karyojenik bakterilerin çoğunu yok etmek için 10-40 ppm gümüş iyonunun yeterli olduğunu belirtmişlerdir. ⁽¹³⁹⁾ Bir çalışmada, gümüş iyonlarının *S. mutans* için anında öldürücü olduğu bulunmuştur. ⁽¹⁴⁰⁾ Gümüş ile etkisiz

hale getirilen ölü bakterilerin, canlı bakteriler için öldürücü “gümüş iyonu rezervuarı” olduğu da belirtilmektedir. ⁽¹⁴¹⁾

Diş Dokusu Üzerinde Etkisi;

GDF, mine ve dentin dokularının her ikisi içerisine de nüfuz etmekte olup, dentin içerisine 50-200 mikrometre derinliğe kadar nüfuz edebildiği bilinmektedir. ⁽¹²⁶⁾ GDF, diş dokuları üzerinde doğrudan etkisini, dişin inorganik yapısını oluşturan mineral yapıları üzerinde remineralizasyon sağlayarak ve organik kolajen matriksin bozulmasını önleyerek göstermektedir. ⁽¹⁰⁸⁾ GDF'nin %38'lik konsantrasyondaki solüsyonu, 44.800 ppm florür içermekte ve bu konsantrasyon, piyasadaki mevcut florür ajanları arasında en yüksek olanıdır. Yapılan bazı çalışmalarda GDF ile durdurulan çürüklerde sertlik artışının bilinen florür kaynaklı remineralizasyondan ziyade gümüş ile olan reaksiyonlardan kaynaklandığı ileri sürülmektedir. ^(12,142) GDF ile minedeki HA kristalleri arasında bir kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir ve bu reaksiyon sonucu gümüş fosfat (Ag₃PO₄) ve kalsiyum florür (CaF₂) meydana gelmektedir. Oluşan bu son ürünler pH'ın yükselmesini sağlamakta ve florür depolarının oluşumuna da yardımcı olmaktadır. ⁽¹⁴³⁾



Dentin yüzeyindeki sertlik artışının daha çok kalsiyum fosfat çökeltileri kaynaklı olduğu düşünülmektedir. ⁽¹⁴⁴⁾ Kalsiyum fosfatlar, kalsiyum, florür ve fosfor içeren iğne benzeri çökeltilerdir. ⁽¹²⁾ Çökelen parçacıklar köşeli ve daha büyük yapıdadır, bu durumda tekrarlayan bir kristalleşmeden bahsedilmektedir. ⁽¹⁴⁵⁾ GDF ile HA arasında gerçekleşen reaksiyonun sonucunda, HA kristallerine bağlı metalik gümüş parçacıkları da oluşmaktadır. ⁽¹⁴³⁾ Gümüş parçacıklarının HA'ya bağlı bulunması, sekonder çürük gelişimini önleyebilmesi açısından önem taşımaktadır. ⁽¹⁴⁶⁾ Bu reaksiyon sonucu ortaya çıkan ve diş yüzeyinde gevşek bağlı bir şekilde bulunan CaF₂ bir flor deposu görevi yapmaktadır ve asidik bir ortamda floroapatit oluşturmak için iyonlarına ayrışmaktadır. ⁽¹⁴⁷⁾ Böylece HA'ya göre aside daha dirençli floroapatit oluşmaktadır ve diş yüzeyini asit saldırısına karşı daha dayanıklı hale getirmektedir. ⁽⁵⁾ CaF₂ ve floroapatit, remineralizasyon ve çürük lezyonlarına karşı koruma mekanizmalarında önemli bir rol oynamaktadır. ⁽¹⁴⁸⁾ GDF, tükürük içerisinde yer alan kalsiyum ve fosfat ile de reaksiyona girmekte ve sonucunda yine floroapatit oluşturmaktadır ⁽¹⁴²⁾.

GDF hem dentin demineralizasyonunu inhibe etmekte hem de kolajenin fibriler yapısının bozulmasını önlemektedir.⁽¹³¹⁾ GDF bu özellikleriyle dentin yüzeyi üzerinde de remineralizasyon sağlamaktadır.^(147,149,150) GDF'nin, demineralizasyonu önleyici etkisi ile lezyon derinliğini ve mineral kaybını diğer florür içerikli ajanlara oranla çok daha fazla azaltarak dentin mikrosertliğini ve dayanıklılığını arttırdığı bildirilmiştir.⁽¹⁵¹⁾ Rosenblatt ve ark.⁽¹⁵²⁾ GDF'nin çürüğü durdurma ve önlemede %96 başarı gösterdiğini, %5 NaF vernik kullanımının ise %55,7 başarı yüzdesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. GDF çürük kontrolündeki etkinliği nedeniyle, farklı evrelerdeki çürük lezyonlarına sıklıkla uygulanmaktadır. GDF'nin, orta derecede kaviteasyon gösteren ya da daha ileri derecede çürük lezyonlarına uygulanması, dişin dentin-pulpa kompleksi tarafından bir yanıt oluşmasına neden olmaktadır.⁽¹⁵³⁾ GDF ile hafif ve orta derece pulpal irritasyon sağlanarak tersiyer/reperatif dentin oluşumu uyarılmaktadır.⁽¹⁵⁴⁾ Yapılan çalışmalarda, pulpa üzerine indirekt olarak uygulanan GDF'nin tersiyer dentin oluşumunu indüklediği gözlenmiştir.^(155,156) GDF'nin %38'lik formunun, pulpaya yakın derin çürüklü dişlerde ağrı oluşumunu, pulpa ekspozyonunu ve pulpa dejenerasyonunu önlediği belirtilmiştir.⁽¹⁵⁶⁾ Yapılan çalışmalarda, GDF'nin, matriks metallo proteinazlar, sistein katepsinler ve katepsinler üzerinde inhibitör etki gösterdiği ortaya koyulmuştur.⁽¹⁵⁷⁾ GDF, bu enzimleri inhibe ederek kolajen yıkımını önlemekte ve dentin çürüğünün ilerlemesini yavaşlatmakta veya durdurmaktadır.⁽¹⁴³⁾ Yapılan bir çalışmada matriks metallo proteinazların kolajen üzerindeki in vitro yıkıcı etkisi GDF, gümüş nitrat (AgNO_3) ve NaF varlığında incelenmiştir. Bu çalışmada, GDF'nin, eşdeğer florür ve gümüş iyonu içeren NaF ve AgNO_3 çözeltilerine kıyasla matriks metallo proteinazlar üzerinde anlamlı derecede daha yüksek bir inhibisyon etkisi gösterdiği bulunmuştur.⁽¹⁵⁷⁾ Yapılan bir başka çalışmada Mei ve ark.⁽¹⁵⁷⁾ GDF'nin katepsin B ve K enzimlerinin aktivitesini anlamlı şekilde inhibe ettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, yapılan bir in vitro çalışmada, GDF'nin kolajen yıkımını önemli ölçüde azaltabildiği gösterilmiştir.⁽¹⁴³⁾

GDF'nin Çürük Yönetiminde Kullanım Endikasyonları ⁽¹²¹⁾

1. Yüksek çürük riskine sahip bireylerde, özellikle anterior veya posterior bölgelerde aktif kavite içeren çok sayıda çürük lezyonların varlığında,

2. Genel anestezi altında diş tedavisi yapılması gereken kooperasyon güçlüğü veya tıbbi yönetim zorlukları bulunan bireylerde (örneğin, özel sağlık gereksinimi olan çocuklar), geleneksel dental tedavilerin uygulanmasının güç olduğu durumlarda,
3. Birden fazla kavite içeren ve zaman sınırlaması olan, acil müdahale ihtiyacı olan durumlarda tek seansta tüm çürük lezyonlarının tedavi edilmesinin mümkün olmadığı hastalarda,
4. Klinik erişimi zor olan bölgelerdeki çürük lezyonlarında,
5. Diş hekimliği hizmetlerine erişimi kısıtlı olan veya hiç erişimi olmayan hastalarda, (örneğin, kırsal bölgelerde yaşayanlar, sosyoekonomik dezavantajlı gruplar)
6. Pulpal semptomlar göstermeyen aktif orta-derin kavitasyon oluşmuş lezyonlarda kullanılabilmektedir.

GDF'nin Kullanım Kontrendikasyonları

1. Gümüş bileşiklerine veya amonyağa karşı bilinen alerjisi olan bireylerde kullanılmamalıdır. Bu durum kesin kontrendikasyon olarak bildirilmektedir.⁽¹²⁶⁾
2. Pulpa ekspozu olan veya klinik olarak pulpal semptomu olan dişlere uygulanmamalıdır. ⁽¹²¹⁾
3. Estetik kaygısı olan hastalarda ve ebeveynlerde, ön bilgilendirme olmadan ve onay alınmadan uygulanmamalıdır. ⁽¹²¹⁾
4. İlerlemiş gingivitisi olan hastalarda, apse ya da fistül varlığında kullanılmamalıdır.⁽¹²¹⁾
5. Hamile veya emziren hastalarda dikkatli kullanılması önerilmektedir. ⁽¹²¹⁾
6. Astım veya solunum yolu rahatsızlıkları olan bireylerde, amonyak kokusu rahatsızlık verebileceğinden dikkatli kullanılması önerilmektedir. ⁽¹²¹⁾

GDF'nin Klinik Uygulama Alanları

GDF solüsyonu en sık, remineralizasyon tedavileri kapsamında çürüğü durdurma amaçlı kullanılsa da dentin hassasiyetini önlemek, kök kanal dezenfeksiyonu sağlamak, hipomineralize dişleri remineralize etmek, dental erozyona bağlı hassasiyeti azaltmak ve diş eti enflamasyonunu azaltmak gibi amaçlarla da tercih edilmektedir.⁽¹³²⁾

GDF uygulaması, hipomineralize dişlerde hassasiyetin yönetimi için ağrısız ve girişimsel olmayan bir tedavi seçeneği olduğu için özellikle posterior dişlerde tercih edilmektedir. Silva ve ark. ⁽¹⁵⁸⁾ tarafından molar insizör hipomineralizasyon defekti bulunan posterior dişlerde yapılan bir çalışmada, tekrarlanan GDF uygulamalarının dentin hassasiyetini azalttığı ve çürük gelişimini önlediği sonucuna ulaşılmıştır. GDF ve Potasyum İyodür kombinasyonlarının dentin hassasiyetini azaltmada önemli katkıları olduğu bilinmektedir.^(132,159) Ag iyonları, dentin yüzeyinde ve dentin tübüllerinde gümüş tuzları olarak çökelmekte ⁽¹⁶⁰⁾ ve dentin tübülleri içerisinde proteinlerin çökmesine neden olmaktadır ve bu sayede dentinde hassasiyet azaltılmaktadır.⁽¹⁵⁹⁾ Ayrıca GDF tarafından yapımı indüklenen floroapatit kristalleri de dentin tübüllerini tıkayarak yine hassasiyetin azaltılmasını sağlamaktadır.⁽¹⁶¹⁾

Tübüllerin içerisine çökelen gümüş bileşikler kök-kanal dezenfeksiyonunu sağlamak açısından da önemli bir yere sahiptir. GDF bileşikler kademeli olarak salınarak diğer irriganlara göre daha uzun süreli antimikrobiyal etki göstermekte ve dentin tübüllerinin yeniden enfekte olmasını önlemektedir.⁽¹⁶²⁾ GDF'nin kök kanalının geçirgenliğini azalttığı, yüzey mikrosertliğini artırdığı ve kırılmaya karşı direnç sağladığı bildirilmiştir.⁽¹⁶³⁾ GDF'nin %38'lik formu ve %2'lik klorheksidin solüsyonlarının kök kanallarındaki bakteriyel etkinliklerinin karşılaştırıldıkları bir çalışmada, *Enterococcus faecalis*'in %38'lik GDF çözeltisine 60 dakika maruz kaldıktan sonra %100 olarak etkisiz hale geldiği gösterilmiştir. ⁽¹⁶⁴⁾

GDF'nin remineralizasyon ajanı olması sebebiyle dental erozyonu da belli bir ölçüde baskılayabileceği düşünülmektedir. Süt dişleriyle yapılan bir in vitro çalışmada; GDF'nin dental erozyona karşı koruyuculuğunun kazein fosfopeptid amorf kalsiyum fosfat florür ve NaF vernikler kadar etkili olduğu belirtilmektedir. ⁽¹⁶⁵⁾

GDF'nin antibakteriyel özellikleri dolayısıyla gingival enfeksiyonlarda tedavi edici bir ajan olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Bir klinik çalışmada gingivitisi olan geriatric hastalar 1 yıl takip edilmiş ve yan etki olmaksızın GDF uygulanan hastalarda diş etlerinde belirgin bir iyileşme gözlenmiştir.⁽¹⁶⁶⁾

Çocuk Hastada GDF Kullanımının Avantajları

Güncel AAPD kılavuzuna göre;⁽¹²¹⁾

1. Yüksek remineralizasyon etkinliği göstermektedir. Yapılan çalışmalar, GDF'nin içeriğindeki yüksek flor oranı ve gümüşün antimikrobiyal özellikleri sayesinde özellikle süt dişlerindeki kavitasyon oluşmuş çürüklerde, 2 yıllık takip sonucu %68-76 durdurma oranına sahip olduğunu göstermektedir. ⁽¹²⁸⁾ Diğer florür içeren ajanlara kıyasla çürüğü durdurmada daha başarılı olduğu belirtilmektedir. ^(149,155)
2. Minimal invaziv bir tedavi yöntemidir. Çürüğü mekanik olarak temizleme ve lokal anestezi ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve herhangi bir restorasyona gerek olmadan da uygulanabilmektedir. Özellikle kooperasyon kurulamayan çocuklar ve özel sağlık gereksinimi olan bireyler için ideal bir tedavi seçeneğidir. ⁽¹⁵⁵⁾
3. Uygulama süresi kısadır, ek seans veya aşama gerektirmez, çocuk diş hekimi tarafından tek seansta rahatça uygulanabilir, teknik ekipman ihtiyacı azdır. Maliyet açısından ucuzdur ve hem hastaya hem de diş hekimine ekonomik yük oluşturmamaktadır. ⁽¹⁶⁷⁾
4. Cerrahi girişim gerektirmediğinden ve kısa sürede tüm dişlere uygulanabilir olmasından dolayı genel anestezi veya sedasyon ihtiyacını ortadan kaldırabilmektedir. Bu, özellikle anesteziye tolere edemeyen tıbbi engeli olan hastalarda önemli bir avantaj oluşturmaktadır. ⁽¹⁶⁸⁾
5. Diş hekimi koltuğunda kooperasyonu sınırlı olan çocuklar için uygulanabilirliği yüksektir. Klinik uyumu zayıf hastalarda bile uygulanabilir. ⁽¹²¹⁾
6. Diş hekimliği hizmetlerine düzenli erişimi olmayan hastalar için kısa sürede uygulanabilen ve çürük kontrolü sağlayan radikal bir çözüm sunmaktadır. ⁽¹⁶⁹⁾
7. Toksisite açısından doğru uygulandığında güvenlidir. 4.000'den fazla çocuk üzerinde yapılan klinik bir çalışmada herhangi bir sistemik yan etki ya da toksisite bildirilmemiştir. ⁽¹⁷⁰⁾
8. Klinik ortamda veya toplum sağlığı programlarında kolaylıkla uygulanabilmekte, yüksek çürük riskli bireylerde, yıllık veya altı aylık periyotlar halinde tekrarlanarak etkinliği sürdürülebilmekte ve artırılabilir. ⁽¹²¹⁾

9. Hastanın genel sağlık durumu düzelinceye veya kooperasyonu sağlanıncaya kadar lezyonun kontrolünde etkili bir çözüm sağlamaktadır. ⁽¹²⁵⁾

Çocuk Hastada GDF kullanımının Dezavantajları

- 1.Estetik açıdan kalıcı siyah renklenme oluşturmakta, hastalar ve ebeveynler tarafından estetik kaygılar nedeniyle kabul grmeyebilmektedir. ⁽¹⁷¹⁾

GDF'nin en sık bildirilen yan etkilerinden biri renklenmedir. Bu renklenme genellikle siyah ya da koyu kahverengi olmakta ve GDF uygulandığında oluşan gümüş fosfat bileşiği ile ilişkilendirilmektedir. Gümüş fosfat, güneş işığına veya indirgen bir ajana maruz kaldığında kolaylıkla siyaha dönmektedir. Renklenme sorununu azaltmak amaçlı GDF uygulamasından sonra potasyum-iyodür tuzu içeren bir solüsyon uygulanabilmektedir. Potasyum-iyodür tuzu, kalan serbest gümüş iyonlarıyla reaksiyona girerek gümüş fosfat oluşumunu ve dolayısıyla renklenmeyi engellemektedir. Reaksiyon ürünü olarak gümüş iyodür oluşturmakta ve yeterli uygulama sonrasında renklenme daha az belirgin hale gelebilmektedir. Ancak, potasyum-iyodürün uzun vadede renklenmeyi azaltmadaki etkinliğini kanıtlayan klinik veriler bulunmamakta ve yapılan çalışmalar, potasyum-iyodür uygulansa bile renklenmenin (daha az belirgin olsa da) yine de oluşabileceğini öngörmektedir. ⁽¹⁷²⁾ Renklenme, polisajla ya da daha invaziv işlemlerle giderilebilmektedir. Ancak zaman zaman, özellikle restorasyon kenarlarında, polisaja rağmen renklenme kalıcı olabilmektedir. Metalik yapısından dolayı, diş beyazlatma işlemleri bu renklenmeyi giderememektedir. Yapılan bir anket çalışmasında, ebeveynlerin yaklaşık üçte biri tedaviyi estetik olarak uygun bulmadıkları için reddetmiştir. ⁽¹⁷¹⁾ Bu nedenle, özellikle restoratif sınırlar dahilinde oluşabilecek renklenmeler hakkında hastalara işlem öncesinde mutlaka bilgi verilmesi önerilmektedir. ⁽¹⁵⁵⁾

2. Ciltle temasında ve giysilerde geçici veya kalıcı leke oluşturabilmektedir.

Ciltle temas ederse geçici “dövme benzeri” lekelenme oluşmakta; bu pigmentasyon epidermisin döngüsüyle genellikle 14 gün içerisinde kaybolmaktadır. Giysi, nit kreşuarı veya tablası gibi yüzeylerde ise kalıcı leke oluşturabilmektedir. ⁽¹²⁶⁾

- 3.Mukoza iritasyonu ve acı metalik tat gibi hafif yan etkiler oluşturabilmektedir.

Yanlışıklıkla ağız mukozasıyla temas ederse geçici tahrişe neden olabilmekte, genellikle 48 saat içinde iyileşme görülmektedir. Uygulama sonrası acı/metalik tat da yaygın görülen bir yan etki olarak rapor edilmiştir.⁽¹²⁶⁾

4.Pulpal semptomu olan, pulpası ekspoz olmuş dişlerde uygulanamamaktadır. Derin çürüklü dişlerde detaylı klinik ve radyolojik muayene yapılması önerilmektedir.⁽¹²⁶⁾

5. Uygulamanın etkisi zamanla azalabilmektedir.

Tek seferlik uygulamalarda çürük durdurma etkisi zaman içinde azalabilmektedir. Yapılan bir çalışmada, 6.ayda inaktif olan çürük lezyonlarının %50'sinin, 24. ayda tekrar aktif hale geldiği görülmektedir. Bu nedenle tekrarlayan uygulamaların çürük yönetiminde daha kalıcı etkiler yaratabileceği düşünülmektedir.⁽¹³⁰⁾

6.Yüksek plak birikimi olan ve ağız hijyeni yetersiz bireylerde etki daha düşük olabilmektedir.

Plak varlığı, GDF'nin çürük ile temasını azaltacağı için çürüğü durdurma etkinliğini de bu oranda azaltabilmektedir. Bu nedenle plak kontrolü önemlidir ve hasta ve ebeveyne uygulama öncesi bir hazırlık aşaması olarak ağız hijyen motivasyonu verilmesi önerilmektedir.⁽¹⁷³⁾

GDF Toksisitesi

GDF'nin klinik kullanımında toksikolojik açıdan en çok önem verilen konu, uygulama sırasında kullanılan doz miktarının ve uygulama sıklığının hem lokal hem de sistemik düzeyde olumsuz etkilere yol açmayacak güvenli sınırlar içinde tutulmasıdır. Bu kapsamda, özellikle çocuk hastalarda, GDF solüsyonunun uygulanan dozunun, ölümcül doz ile karşılaştırıldığında güvenli bir aralıkta kalması ve güvenlik marjının yüksek olması beklenmektedir. FDA onay sürecinde gerçekleştirilen hayvan çalışmalarında, GDF'nin oral yoldan uygulandığında ortalama ölümcül doz değerinin 520 mg/kg, subkutan uygulamada ise 380 mg/kg olduğu belirlenmiştir. Klinik uygulamada, bir damla (25 µL) solüsyon yaklaşık 9,5 mg GDF içermektedir ve bu miktarın 5 dişi tedavi etmek için yeterli olduğu kabul edilmektedir. Yapılan çalışmalarda ölümcül doz değerinin uygulanan dozların oldukça üzerinde olduğu ve dolayısıyla GDF'nin güvenlik sınırının da oldukça yüksek olduğu gösterilmiştir. GDF'nin önerilen doz ve sıklıkta kullanılması durumunda sistemik toksisite ve

florozis komplikasyonlarının gözlenmediği, oluşan bölgesel yan etkilerin ise kısa süreli ve geçici olduğu yapılan uzun süreli çalışmalarla ortaya koyulmuştur.⁽¹⁷⁴⁾

GDF'nin Klinik olarak Uygulanması

Uygulama öncesinde hasta klinik ve radyolojik olarak dikkatle muayene edilmeli ve pulpal semptomu olan veya pulpası ekspoz durumdaki dişler uygulama dışında bırakılmalıdır. Hastadan veya ebeveyninden bilgilendirilmiş onam alınması önemlidir. Onamda özellikle uygulanan çürük lezyonlarının renklenebileceği, solüsyonun yanlışlıkla cilt veya kıyafetlere teması sonucu geçici gri-siyah lekelere neden olabileceği veya ihtiyaç olması durumunda tekrarlayan uygulamaların gerekebileceği konularının özellikle vurgulanması önerilmektedir. Hazırlık aşamasında; öncelikle evrensel korunma önlemleri olan eldiven, maske ve gözlük uygulanmalıdır. Hastanın giysilerini korumak amaçlı plastik astarlı önlük ve koruyucu gözlük kullanılmalıdır. İzolasyon rubber dam veya uygulama kitinin içerisinden çıkan likit dam ile sağlanmalı, temin edilememesi durumunda vazelin ve pamuk rulolar yardımıyla yumuşak dokular izole edilmeli ve korunmalıdır. GDF, cam ve metali aşındırdığı için plastik bir kap tercih edilmelidir ve her zaman kendi koyu renkli plastik kabı içerisinde muhafaza edilmelidir.

Uygulanması; GDF uygulaması öncesi çürük uzaklaştırılması gerekli değildir ancak estetik olarak renklenmenin daha az olması gibi bir beklenti varsa, çürük doku el aletleri kullanılarak enfekte dentini kapsayacak şekilde uzaklaştırılabilir.⁽¹⁷⁵⁾ GDF'nin etkili olduğunun göstergesi siyah renklenmenin oluşmasıdır.

Uygulama basamakları;

1. Kavite içindeki ve diş yüzeyindeki gıda artıkları, plak ve diş taşları GDF'nin dentin yüzeyi ile temasını azaltacağından uygulama öncesi temizlenmelidir.
2. Dişeti ve ağız mukozası ile teması azaltmak amacıyla ve olası pigmentasyon ve tahrişi önlemek için yumuşak dokulara kakao yağı veya vazelin sürülebilir ve pamuk rulolar ile izole edilebilir. Ancak, uygulama yapılacak yüzeyin üzerine bu maddelerin yanlışlıkla uygulanmamasına dikkat edilmelidir.
3. Diş yüzeyi hafif basınçlı hava uygulanarak veya pamuk rulo ve spançlar yardımıyla kurutulmalıdır.

4. Mikro fırça bükülmeli, GDF'ye batırılmalı ve solüsyonun fazlası plastik kabın kenarına alınmalıdır. ⁽¹²⁶⁾ GDF sadece etkilenen yüzeye 1 damla olacak şekilde uygulanmalıdır.
5. Uygulama sonrası yüzey hafif hava basıncıyla en az bir -üç dakika arası kurutulmalıdır.
6. Fazla GDF sistemik emilimi önlemek amacıyla spanç, pamuk rulo veya pamuk pelet ile alınmalıdır. Hastanın kooperasyonu iyiye uygulanan bölge üç dakika daha izole edilmelidir. ⁽¹⁷⁶⁾

AAPD; GDF tedavisinden sonra, tüm dişlere %5'lik sodyum florür verniği uygulanmasını tavsiye etmektedir. ⁽¹²¹⁾ Üretici firmalar GDF uygulamasından sonra herhangi bir yeme-içme kısıtlaması olmadığını belirtmişlerdir. Fakat yapılan bazı klinik çalışmalarda çürük durdurma etkinliğinin artması amacıyla uygulamadan sonra 30 dakika ile bir saat arasında yeme-içme ve su ile çalkalama yapılmamasını önerilmiştir. ^(130,177)

GDF'nin geleneksel formları genellikle amonyak bazlı taşıyıcılarla hazırlanmakta olup, bu durum uygulama sırasında keskin bir kokuya neden olmakta ve özellikle çocuk hastalarda toleransı azaltabilmektedir. Ayrıca, amonyak içeren formlar dentin yüzeylerinde belirgin gri-siyah renklenmelere yol açabilmektedir. Bu nedenlerle, son yıllarda amonyak içermeyen ve su bazlı taşıyıcılarla formüle edilen alternatif ürünler geliştirilmiştir. Bu ürünlerden biri, %38 oranında gümüş florür içeren ve renklenmeyi önleyen potasyum iyodür ile kombine kullanılan, amonyak içermeyen bir solüsyon olarak piyasaya sunulmuştur. Amonyak içermeyen bu yeni nesil GF formu, hem daha biyoyumlu bir alternatif sunmak hem de renklenme riskini azaltmayı amaçlamaktadır. Yapılan bir çalışmada da bu ürünün pulpadaki hücre canlılığını koruması ve sitotoksosite açısından amonyak içeren GDF formuna kıyasla daha güvenli olduğu gösterilmiştir. ⁽¹⁷⁸⁾ Çürüğü durdurma açısından ise GDF formu ile benzer etkinlik gösterdiği süt dişleri ile yapılan bir in vitro çalışmada belirtilmiştir. ⁽¹⁷⁹⁾

2.4.7. GMART (Gümüş Modifiye Atravmatik Restoratif Tedavi)

Günümüzde çağdaş çürük yönetimi felsefesi, diş çürüklerinin yönetiminde minimal invaziv tedavi yaklaşımlarına yönelmiş ve klasik mekanik preperasyon gerektiren restoratif tedavi anlayışını geride bırakmıştır. Bu anlayışın bir ürünü olarak geliştirilen ve minimal invaziv bir yaklaşım olarak kabul edilen GMART yöntemi çürük yönetiminde hem etkinlik hem de hasta konforu açısından önemli avantajlar sunmaktadır.⁽¹⁸⁰⁾ GMART, klasik ART'den farklı olarak, el aletleriyle enfekte-yumuşak dentin tabakasının minimal olarak uzaklaştırılması sonrası, kaviteye %38 GDF uygulanması ve ardından YVCİS ile restorasyon yapılmasını kapsamaktadır. Bu protokol, çürük lezyonlarının ilerlemesini durdurmayı, mevcut lezyonları remineralize etmeyi ve dişin yapısal bütünlüğünü mümkün olduğunca korumayı hedeflemektedir.^(13,180) Diğer tüm minimal invaziv yaklaşımlarda olduğu gibi, GMART uygulamasında da yalnızca enfekte ve yumuşak dentinin seçici olarak uzaklaştırılması, sağlam veya potansiyel olarak remineralize olabilecek etkilenmiş dentin dokusunun ise korunması amaçlanmaktadır.⁽¹⁸¹⁾ Bu yaklaşım, özellikle süt dişlerinde pulpanın ekspoz olma riskini azaltırken, dişin vitalitesini koruma şansını artırmaktadır.^(180,181) Orta ve derin çürük kavitasyonu oluşmuş dişlerin tedavisinde, ART ile GDF'nin kombine bir şekilde uygulanmasının, GDF'deki florürün remineralize edici, gümüşün ise antibakteriyel etkisinden yararlanılarak çürük aktivitesini durdurma konusunda etkili bir tedavi seçeneği olabileceği düşünülmektedir. YVCİS'le ise dişin kurununun restore edilmesi ve kurunun oklüzyona dahil edilmesiyle çiğneme fonksiyonunun yeniden sağlanması, çürük lezyonun sızdırmazlık sağlanarak ağız ortamıyla temasının kesilmesi, böylece karyojenik bakterilerin besin erişiminin kısıtlanması ve bakteriyel çoğalmanın önüne geçilmesi sonucunda süt dişlerinin pulpal sağlığının korunması amaçlanmaktadır.^(13,180) YVCİS'in remineralizasyona etkisi GDF'nin sağladığı yüzeysel mineral artışından farklı olarak daha derin katmanlarda yoğunlaşmakta ve bu da dişin yapısal dayanıklılığına ve bütünlüğüne katkı sunmaktadır.⁽¹⁸²⁾ YVCİS'in yüksek ve devamlı flor salınımı sayesinde sekonder çürüklerin de önüne geçilmektedir. GDF'nin gri-siyah renginin YVCİS tarafından maskelenmesi ise tedavinin estetik olarak kabul edilebilirliği artırmaktadır.^(13,182)

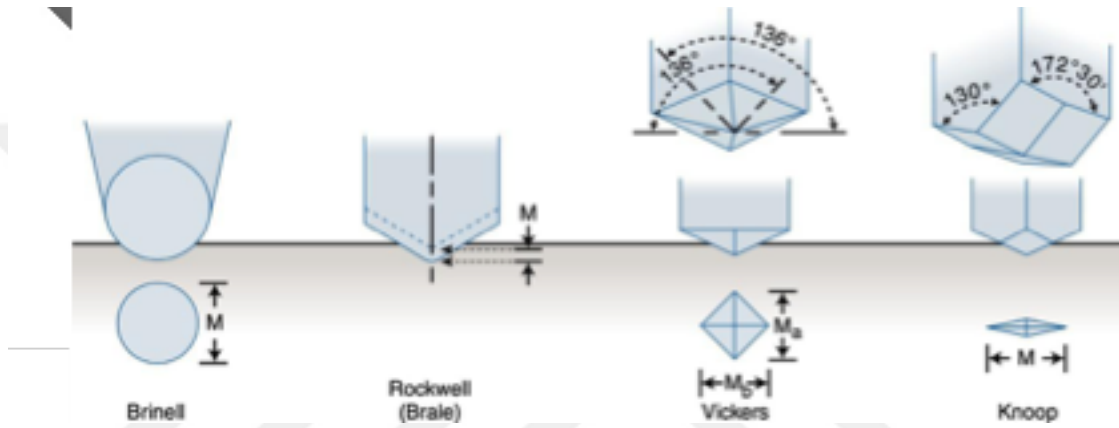
Çocuk hastalarda yapılan randomize kontrollü bir klinik çalışmada GMART tekniği, YVCİS'in restoratif materyal olarak kullanıldığı geleneksel yöntemle göre çeşitli

yönlerden üstünlük göstermiştir. Süt dişlerinde yapılan 24 ay takipli bir çalışmada, restorasyonların başarı oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmasa da, GMART tedavisinin çocuklar tarafından çok daha yüksek oranda kabul edildiği gösterilmiştir (GMART %79 kabul, geleneksel %56 kabul).⁽¹⁸⁰⁾ Özellikle sedasyon veya genel anestezi ihtiyacını azaltması, ağrıya neden olmayan bir tedavi olması, tek seansta uygulanabilmesi, maliyet açısından alternatif tedavilere göre daha kabul edilebilir olması, dişi oklüzyonda tutması ve çiğneme fonksiyonunu koruması, GMART'ı özellikle küçük yaş gruplarında, özel gereksinimi olan ve kooperasyon zorluğu gösteren hastalarda klasik yöntemlere alternatif olarak güçlü bir tedavi seçeneği haline getirmektedir. GMART, döner alet sistemlerine veya lokal anesteziye ihtiyaç duymadan uygulanabilmesi sayesinde kapsamlı diş tedavilerine erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde ve saha uygulamalarında da etkili bir tedavi alternatifi olarak değerlendirilmektedir.⁽¹⁸⁰⁾

2.5. Diş Hekimliğinde Yüzey Sertliği Ölçümü

Sertlik, genel kabul gören tanımıyla, belirli bir malzemeden üretilmiş, iyi tanımlanmış bir girinti geometrisi kullanılarak, bir materyalin 'delinmeye karşı gösterdiği direnci' ifade etmektedir. Bu özellik, malzemenin plastik deformasyona karşı koyma kapasitesi ile ilişkilidir ve diş hekimliğinde hem doğal sert dokuların hem de restoratif materyallerin mekanik dayanıklılığının değerlendirilmesinde temel bir parametre olarak kullanılmaktadır.⁽¹⁸³⁾ Yüzey sertliği ölçümü, diş hekimliği alanında çürük oluşumu, remineralizasyon etkinliği, dental materyallerin dayanıklılığı ve beyazlatıcı ajanların etkilerinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.⁽⁸⁾ Dental materyallerin sertliğini belirlemek amaçlı kullanılan testler Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop, Shore, Mohs, Barcol, Nanoİndentasyon testleridir.⁽¹⁸³⁾ Dentin sertlik ölçümleri genellikle Vickers ve Knoop kullanılarak yapılmakta, bu testler dentin örneğinde minimum hasarla tekrarlanabilir veri sonuçları elde edilmesine olanak tanımaktadır.^(184,185) Tüm yüzey sertliği testlerinde temel yaklaşım, belirli bir geometriye sahip küçük ve standart bir ucun, materyal yüzeyine kontrollü bir kuvvet altında penetre edilmesi ve oluşan izin derinliği, genişliği veya boyutunun bir mikroskop altında ölçülmesi sonucu sertlik değerinin elde edilmesidir. Uygulanan kuvvet çok küçük ve gram ile ifade edilen değerlerden 120 kg'lara kadar değişebilen geniş bir skaladadır. Kullanılan test yöntemleri arasında uç materyali, geometrisi ve uygulanan kuvvetin büyüklüğü farklılık gösterebilmektedir. İz oluşturan uç; çelik,

tungsten karbür veya elmas gibi yüksek sertlikte malzemelerden üretilmekte olup, geometrik formu küresel, konik, piramidal veya çubuk şeklinde tasarlanabilmektedir (Şekil 2.7.). Sertlik testi seçiminde, değerlendirilmek istenen materyalin yapısal özellikleri, kullanım amacı ve beklenen sertlik aralığı belirleyici faktörleri oluşturmaktadır. Bu nedenle diş hekimliğinde kullanılacak sertlik testi, ölçülecek dokunun (örneğin mine veya dentin) veya restoratif materyalin özelliklerine göre dikkatle seçilmelidir.⁽¹⁸⁶⁾



Şekil 2.7. Girinti ucu şekilleri (üst sıra) ve malzeme yüzeylerinde kalan izlerin (alt sıra) gösterilmesi.
(183)

Brinell ve Rockwell sertlik testleri; genelde metal içerikli materyallerde sertlik ölçümlerinde kullanılmaktadır. Düşük kuvvetlerle sertlik değerleri ölçülebilen, hassasiyet gerektiren, ince ve kırılğan materyallerin testlerinde tercih edilmemektedir. Rockwell sertlik testi diş hekimliğinde daha çok viskoelastik materyallerin sertlik değerini ölçmek için tercih edilmektedir.^(183,187) Knoop ve Vickers mikrosertlik testleri, hassas ölçüm gerektiren diş sert dokuları ve restoratif materyallerin yüzey sertliğini değerlendirmek için sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Knoop mikrosertlik testi, düşük yükler altında yüzeyde izler oluşturmak amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Piramit şeklindeki elmas bir uç kullanılarak oluşturulan girintinin boyutları mikroskop altında ölçülür ve sertlik değeri hesaplanır. Uygulanan yük 0,1 kg'dan 1 kg veya üzerine kadar olan geniş bir aralıkta değiştirilebildiğinden hem son derece sert hem de yumuşak materyaller bu test yoluyla değerlendirilebilmektedir. Bu test hem diş sert dokuları hem de metal ve alaşımlar gibi geniş bir materyal grubunun değerlendirilmesine uygundur. Ancak düzgün ve pürüzsüz yüzey hazırlığı gerektirmesi ve diğer yöntemlere kıyasla daha uzun test süresi dezavantajları arasında sayılmaktadır.⁽¹⁸⁷⁾

Vickers sertlik testi, prensip olarak Brinell ve Knoop test yöntemlerine benzerlik göstermekle birlikte, kullanılan uç yapısı ve uygulama detayları açısından bazı farklılıklar içermektedir. Bu test metodunda, 136 derece tepe açısına sahip elmas kare piramit şeklinde bir uç kullanılır. Vickers sertlik değeri (HV veya VHN olarak kısaltılmaktadır), uygulanan yükün oluşturulan girinti alanına bölünmesi prensibine dayanmaktadır.⁽¹⁸³⁾ Test sırasında, materyale uygulanan yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin iki köşegen uzunluğu, cihaza entegre edilmiş bir mikroskop yardımıyla, ölçüm ekranında hareketli cetveller manuel olarak izin köşelerine hizalanarak ölçülmekte ve ortalamaları alınarak sertlik değeri hesaplanmaktadır. Vickers testi, özellikle kırılğan malzemelerin sertliğini değerlendirmek için uygundur. Bu nedenle, dental döküm alaşımlarının ve diş sert dokularının (mine ve dentin gibi) sertlik ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Testte uygulanan yük, test edilen materyalin özelliklerine bağlı olarak 10 gram ile 120 kg arasında değiştirilebilmektedir. Vickers sertlik değeri, şu formül ile hesaplanmaktadır:

$$HV=1.854 \times F / (d)^2$$

Burada F uygulanan kuvveti, d ise iz alanındaki taban köşegeninin ortalama uzunluğunu (mm) temsil etmektedir. İz alanı küçüldükçe, elde edilen Vickers sertlik değeri artmakta ve bu durum test edilen materyalin daha sert olduğunu göstermektedir. Vickers mikrosertlik testinin önemli avantajları arasında son derece doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar üretmesi, kullanılan elmas ucun zamanla deformasyona uğramaması ve geniş bir materyal ve yüzey çeşitliliğine uygulanabilir olması yer almaktadır. Ayrıca, Vickers testi aynı numunenin farklı bölgelerinden (örneğin üst yüzey, merkez ve alt yüzey) ölçümler alınmasına da imkan sağlamaktadır, bu durum örnek içindeki sertlik dağılımını detaylı şekilde analiz etmeyi mümkün kılmaktadır.^(183,186)

2.6. Diş Hekimliğinde Mineral Densitesi Ölçümü

Diş sert dokularının mineral içeriğindeki değişiklikler, genellikle çürük, erozyon, abrazyon ya da demineralizasyon gibi patolojik süreçlerin göstergesi olmaktadır. Özellikle, çürük oluşum sürecinde, mine ve dentin dokularında HA kristallerinin çözünmesiyle kalsiyum, fosfor, flor gibi yüzey dayanıklılığını ve sertliğini sağlayan minerallerin kaybı görülmektedir. Günümüz diş hekimliğinde çeşitli nedenler sonucu kaybedilen bu minerallerin geri kazanımı oldukça önemlidir. Reparatif süreçler ya da

remineralizan ajanların uygulanması sonrası yeniden mineral kazanımı izlenebilmektedir. Bu değişimleri kantitatif olarak izlemek, özellikle in vitro ya da in vivo çalışmalarda tedavi etkinliğini değerlendirmek açısından önemli olmaktadır.⁽¹⁸⁸⁾ Mineral densitesi, diş sert dokularının belirli bir hacmindeki mineral miktarını ifade etmekte ve tipik olarak gr/cm³ veya mg/cm³ birimleriyle ifade edilmektedir. Bu parametre, özellikle çürük lezyonlarının teşhisi ve sınıflandırılması, topikal florür ajanları, GDF, CİS gibi remineralizan ajanların dentin üzerindeki etkilerinin mineral yoğunluk farkları ile analiz edilmesi, restoratif materyallerin biyolojik etkilerinin analizi ve endodontik tedavi sonrası kök dentininde mineral yoğunluğundaki azalmaya bağlı olarak oluşan kırılma artışıının değerlendirilmesi açısından önemlidir. ⁽¹⁸⁹⁾

Mineral densitesinin ölçülmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar, Mikroradyografi, Mikro-Bilgisayarlı Tomografi (mikro-BT), Dual-Energy X-ray Absorptiometry, Raman Spektroskopisi ve FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) ve SEM-EDX (Taramalı Elektron Mikroskobu – Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi) olarak sıralanabilmektedir.⁽¹⁸⁹⁻¹⁹¹⁾ Tüm bu yöntemler arasında, SEM-EDX hem morfolojik hem de elementel düzeyde bilgi sağlaması açısından diğer yöntemlerden ayrılmaktadır. SEM-EDX tıp bilimlerinde biyolojik sert dokuların hem morfolojik hem de kimyasal bileşimini yüksek çözünürlükte analiz etmeyi mümkün kılan güçlü bir görüntüleme ve element analizi tekniğidir. Diş sert dokularındaki karbon, oksijen, fosfor, flor, klor, gümüş ve kalsiyum gibi ana elementlere ek olarak, sodyum, magnezyum, alüminyum, silikon, çinko, sülfür gibi minerallerin kantitatif dağılımını da doğrudan analiz edebilme olanağı sağlamaktadır.⁽¹⁹²⁾ Özellikle çizgi ve haritalama şeklinde uygulanabilmesi sayesinde, minerallerin, dentin veya mine içerisindeki derinliğe bağlı dağılımını hassas bir şekilde ölçme avantajı sunar. Ayrıca, SEM görüntüleme özelliği sayesinde yüzeydeki çatlaklar, mikroyapısal değişimler ve restoratif materyal ile doku arasındaki arayüz gibi ultrastrüktürel morfolojik özellikler ayrıntılı olarak incelenebilir. Diğer yöntemlerin çoğu yalnızca hacimsel ya da dolaylı bilgiler sunarken, SEM-EDX hedef bölgelere yönelik noktasal analizlerle hem kalitatif hem de kantitatif veri sağlayarak detaylı bir değerlendirme yapılmasına olanak tanımaktadır. Numune hazırlığı ve vakum ortamında çalışma gerektirmesi nedeniyle canlı dokularda kullanılamamakta fakat in vitro koşullarda bu durum bir dezavantaj oluşturmamaktadır, çünkü örnekler kesilerek, sabitlenerek ve iletken tabaka ile kaplanarak analiz için uygun hale getirilebilmektedir. Tüm bu nedenlerle,

remineralizasyonun, çürük ilerlemesinin veya materyal-doku etkileşiminin mineral densitesindeki değişimin gözlemlenerek değerlendirilmesi gereken in vitro çalışmalarda SEM-EDX yöntemi güçlü ve tercih edilir bir seçenek olmaktadır.^(189,193,194) Bu teknik, yüzeye yönlendirilen yüksek enerjili elektron demeti ile örnek atomlarının uyarılmasını ve bu uyarım sonucu yayılan karakteristik X-ışınlarının algılanarak elementlerin kalitatif ve kantitatif düzeyde tanımlanmasını sağlamaktadır. Bu analizin temel prensibi, X ışını yardımıyla her bir elementin kendine özgü atomik yapısının karakteristik özelliklerinin diğer elementlerden ayrılmasına dayanmaktadır.⁽¹⁹⁵⁾ SEM, çizgisel tarama modeliyle, yüksek enerjili elektronların örnek yüzeyini taraması sonucu genellikle üç boyutlu algı uyandıran kontrastlı yüzey haritaları şeklinde görüntülerin elde edildiği elektron mikroskobudur. Yüzeye yönlendirilen odaklanmış bir elektron demeti, örnek yüzeyinde ikincil ve geri saçılmış elektronların oluşmasına neden olmaktadır. Bu elektron sinyalleri sayesinde yüzeyin morfolojisi ve yapısal detayları mikron altı çözünürlükte görselleştirilmektedir.⁽¹⁹⁶⁾ EDX ile ise, örnekten yayılan karakteristik X-ışınları algılanmaktadır. Bu X-ışınları, her elemente özgü enerji düzeylerine sahip olduğundan, sistem tarafından tanımlanabilmekte ve analiz edilebilmektedir. Böylece, yüzeyde veya yüzeye yakın bölgelerde bulunan elementlerin türü ve yaklaşık ağırlıkça yüzdesi tespit edilebilmektedir. Bu analiz, noktasal, çizgisel doğrultuda ya da geniş yüzeylerden haritalama şeklinde yapılabilmektedir. ⁽¹⁹⁴⁾

Bu özellikleri sayesinde SEM-EDX diş hekimliğinin birçok alanında etkili bir yüzey analizi yöntemi olarak tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalarda, Gümüş diamin florür gibi topikal florür ajanlarının dentin yüzeyine penetrasyonu, remineralizasyon etkisi ya da tedavi sonrası yüzeyde ya da dentin tübülü içerisinde kalan gümüş partiküllerinin takibi gibi çalışmalarda kullanıldığı görülmüştür.^(197,198) Analizin hassasiyeti ve doğruluğu, örnek hazırlığına büyük ölçüde bağlı olmaktadır. Örnek yüzeyinin kuru olması, düzgün, temiz ve iletken olması gerekmektedir. Yalıtkan materyallerin yüzeyi genellikle ince bir altın, karbon veya paladyum tabakasıyla kaplanarak elektron iletkenliği sağlanmaktadır. SEM-EDX analizlerinde genellikle 10–20 kV arasında hızlandırılmış elektron enerjisi kullanılmakta; bu enerji, yüzeyin alt tabakalarına kadar nüfuz ederek anlamlı bir elementel sinyal üretimi sağlamaktadır. ⁽¹⁹⁹⁾

Çalışmamızda, üç farklı minimal invaziv tedavi yönteminin, yapay çürük oluşturulmuş süt dişi dentin yüzeyleri üzerinde oluşturduğu mikrosertlik ve mineral densitesi değişiminin incelenmesi ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



3.GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamız, Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun, 25.07.2024 tarih ve TBAEK-501 numaralı kararı ile etik açıdan onaylanmıştır.

Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından TDH-2025-6727 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bu çalışmanın örnek hacmi, Sunny ve ark.⁽²⁰⁰⁾ yapmış oldukları çalışmada yer alan sonuçlar kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada yeterli örnek hacminin belirlenmesi aşamasında GPOWER 3.1.9.4 programı kullanılmıştır. Yapılan güç analizinde 0,494 etki büyüklüğü, 0,05 duyarlılık ve 0.80 güçte minimum örneklem sayısının toplam 56 adet olması gerektiği sonucuna varılmış olup, vickers mikrosertlik analizi için her grup için 20 örnek olacak şekilde toplamda 60 diş ile çalışmaya başlanmasına karar verilmiştir.

3.1. Dişlerin Toplanması

Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi ve Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalları'nda fizyolojik veya ortodontik nedenlerle çekilmiş sağlam süt azı dişleri kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılacak dişlerin Dahil Edilme Kriterleri:

- Çürüksüz veya yalnızca mine seviyesinde çürüğe sahip olması
- En az 1/3 oranında kök yapısının sağlam olması
- Hipomineralizasyon, hipoplazi veya gelişimsel defekt içermemesi
- Kuronda internal rezorpsiyon bulunmaması

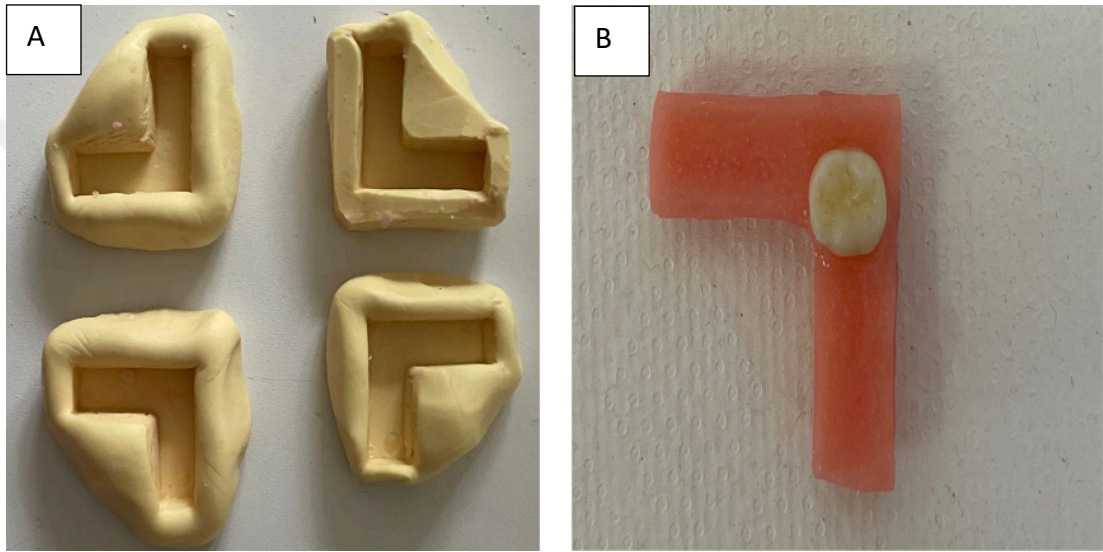
Hariç Tutulma Kriterleri:

- Önceden restorasyon yapılmış olması
- Çatlak, kırık vb. deformasyonlar içermesi

3.2. Örneklerin Hazırlanması

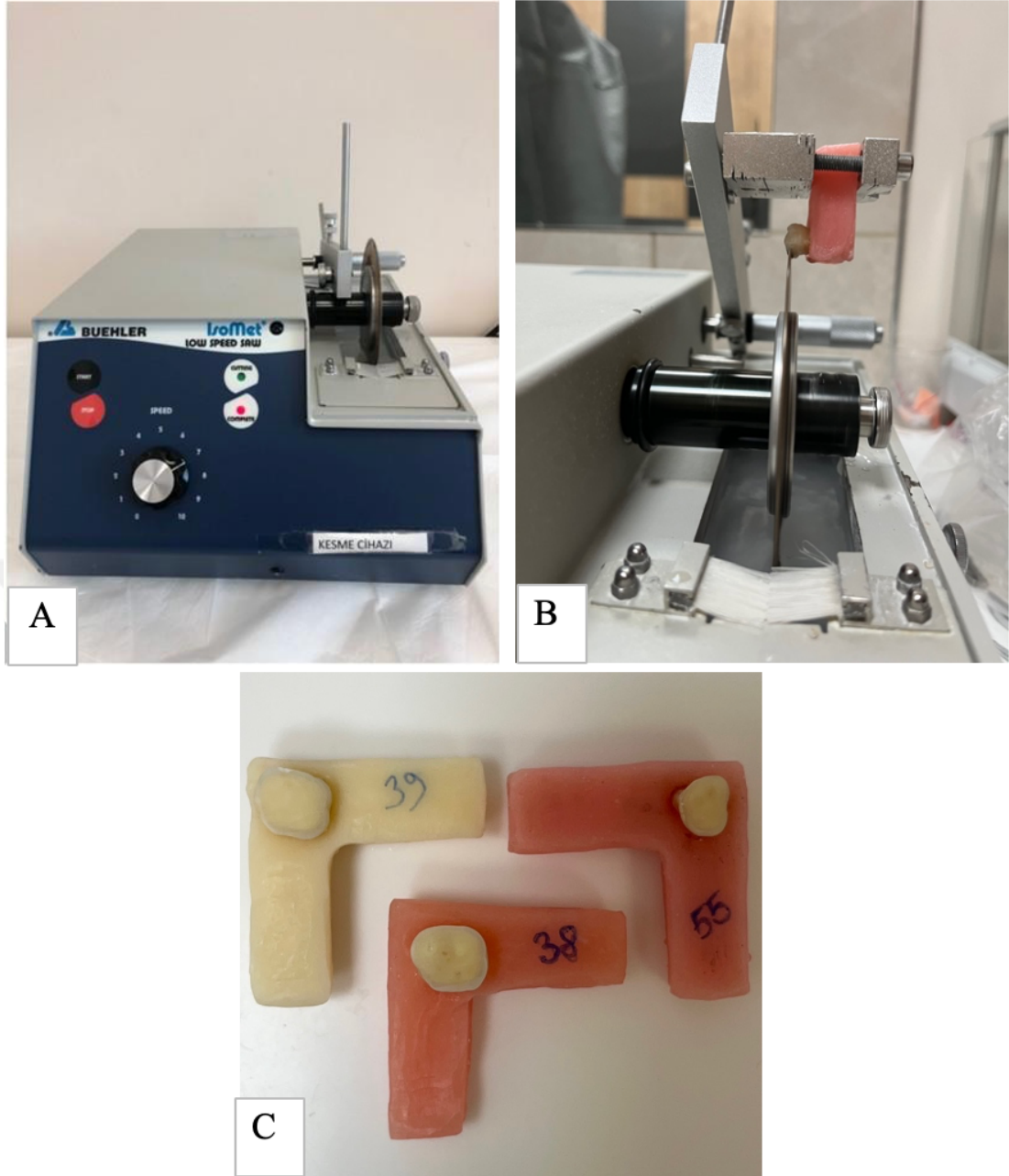
Toplamda 76 adet süt azı dişi, çekimden sonra en geç 6 ay içerisinde kullanılmak üzere, her diş yumuşak doku artıklarından ekskavatör yardımıyla temizlendikten sonra oda sıcaklığında %0,1'lik timol solüsyonu içerisinde saklanmıştır. Kökü olmayan

dişlere akrilik içerisinde sabit kalabilmesi ve gömülebilmesi amacıyla kompozit rezin (Filtek P60 posterior kompozit rezin, 3M Solventum, ABD) restorasyon materyalleri kullanılarak kökler hazırlanmıştır. Daha sonra distile su ile 1 dk boyunca yıkanan tüm dişler, c silikon ölçü materyali (Zetaplus C Silicone; Zhermack, Italy) ile ‘L’ şeklinde bir kalıp hazırlanarak, akrilik rezin (Imicryl SC Soğuk Tamir Akrilik Kit; Imicryl Dental, Konya, Türkiye) içerisine servikal ve koronal kısım açıkta kalacak ve okluzal yüzey tabana paralel olacak şekilde gömülmüştür. Sertleşen akrilik kaideler, silikon kalıptan çıkartıldıktan sonra klinik piyasamen kullanılarak, canavar frez ile düzeltilmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. A: silikon kalıp, B: çalışmada kullanılan süt molar diş örneği

Daha sonra 76 adet dişin tüm oklüzal mine yüzeyleri su soğutması altında hassas kesme cihazına (Isomet testere, Buehler, Düsseldorf, Almanya) takılı yüksek konsantrasyonlu elmas kaplamalı hassas kesme diski (DIMOS 19-100; 100 mm × 0,38 mm; Metkon Instruments, Bursa, Türkiye) kullanılarak kesilmiştir (Şekil 3.2.). Hazırlanmış olan 76 adet süt azı dişi 1’den 76’ya kadar rastgele numaralandırılmıştır. Vickers mikrosertlik testinde, kesilen yüzeyin tabana paralelliğinin sonuçların doğruluğu ve oluşan izin homojenliği açısından oldukça önemli olduğu göz önünde bulundurularak horizontal doğrultuda paralellik sağlanmasına dikkat edilmiştir. Preparasyon sonrasında okluzal yüzeylerden pulpanın perfore olup olmadığı ve ölçüm yapılacak dentin yüzeyinde mine kalıntısı bırakılmadığı kontrol edilmiştir.



Şekil 3.2. A: Hassas kesme cihazı B: Hassas kesme cihazı ile okluzal mine yüzeyinin kesilmesi C: Mine yüzeyi uzaklaştırılmış ve dentin yüzeyi açığa çıkartılmış diş örneği

Kesilmiş tüm dişlerin yüzey standardizasyonunun sağlanabilmesi ve analize hazır düz bir yüzey elde edilmesi amacıyla, sırası ile 800, 1000, 1200 gritlik silikon karbit zımparalar kullanılarak su soğutması altında cila işlemi yapılmıştır.

3.3. Örneklerin Gruplandırılması

Hazırlanan dişlerden 60 (1-60) tanesi Vickers mikrosertlik ölçümleri, 16 tanesi (61-76) ise SEM-EDX analizi gerçekleştirilmek üzere ayrılmıştır. Vickers mikrosertlik ölçümleri için ayrılan dişlerin tamamı (1-60) ve SEM-EDX analizi içi ayrılan dişlerden

12'si (61-73), uygulanan tedavi protokolüne göre üç ana gruba eşit ve dengeli dağılım gösterecek şekilde rastgele ayrılmıştır. Sadece sağlam dentin yüzeyinin ve yapay çürük oluşturulmuş dentin yüzeyinin SEM-EDX analizinde değerlendirilmesi planlanan 4 adet diş (73-76) ise gruplara dahil edilmemiştir.

Çalışma grupları:

- **GF Grubu (1-20 ve 61-64):** Yapay çürük oluşturulmuş demineralize dentin yüzeyi üzerine, yalnızca %38'lik GF (Riva Star Aqua-SDI, Bayswater, Avustralya) solüsyonunun 1. aşama solüsyonu uygulanmıştır.
- **ART Grubu (21-40 ve 65-68):** Yapay çürük oluşturulmuş demineralize dentin yüzeyi üzerine, yalnızca yüksek viskoziteli cam iyonomer siman (Fuji IX, GC) uygulanmıştır.
- **GMART Grubu (41-60 ve 69-72):** Yapay çürük oluşturulmuş demineralize dentin yüzeyi üzerine, önce GF ardından CİS uygulanarak GMART protokolü taklit edilmiştir.

3.4. Çalışma Prosedürü

Çalışmanın başlangıcında, her gruptan 20 adet olmak üzere toplam 60 adet süt azı dişinin (1-20, 21-40, 41-60) sağlam dentin yüzeylerinden vickers mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sağlam dentin yüzeyinde analiz yapılmak üzere ayrılan 2 dişte de (73-74) SEM-EDX analizleri yapılmıştır. Bu aşamada elde edilen veriler, başlangıç verisi olarak T₀ aşaması olarak kaydedilmiştir. Ardından, 73 ve 74 numaralı örnekler dışındaki tüm örnekler 7 gün boyunca pH siklusuna tabii tutulmuştur. Bu aşamadan sonra yine her gruptan aynı 20şer örnekte 1-20, 21-40, 41-60) mikrosertlik ölçümü yapılmış ve yapay çürük oluşturulmuş dentin yüzeyinde analiz yapılmak üzere ayrılan 2 örnekte de (75-76) SEM-EDX analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler T₁ aşaması olarak kaydedilmiştir. T₁ aşamasını takiben, her gruba ait örnekler kendi grubuna özel materyal (GF, CİS veya GF+CİS) uygulanmıştır (şekil 3.3.). Materyal ve içerikleri Tablo 3.1. de gösterilmiştir. Materyal uygulamasının ardından örnekler tekrar 7 günlük pH siklusuna tabii tutulmuştur. Ph siklusunun ardından ART grubu ve GMART grubundaki CİS materyalleri uzaklaştırılmıştır. Materyal uzaklaştırılmasının ardından, her gruptan 20 şer örneğin (1-20, 21-40, 41-60) mikrosertlik vickers ölçümleri ve ek olarak her gruptan farklı 2 şer örneğin (61-62, 65-66, 69-70) SEM-EDX analizleri yapılmıştır ve bu aşamadaki veriler T₂ aşaması olarak kaydedilmiştir.

Son aşamada, örnekler üçüncü kez 7 günlük pH siklusuna tabii tutulmuş ve 7 gün sonunda her gruptan 20 şer örneğin (1-20, 21-40, 41-60) vickers ölçümleri ve her gruptan farklı 2 şer örneğin (63-64, 67-68, 71-72) SEM-EDX analizi yapılmış olup değerler T₃ aşaması olarak kaydedilmiştir. Çalışma prosedürü şekil 3.4.'te şematize edilerek özetlenmiştir.

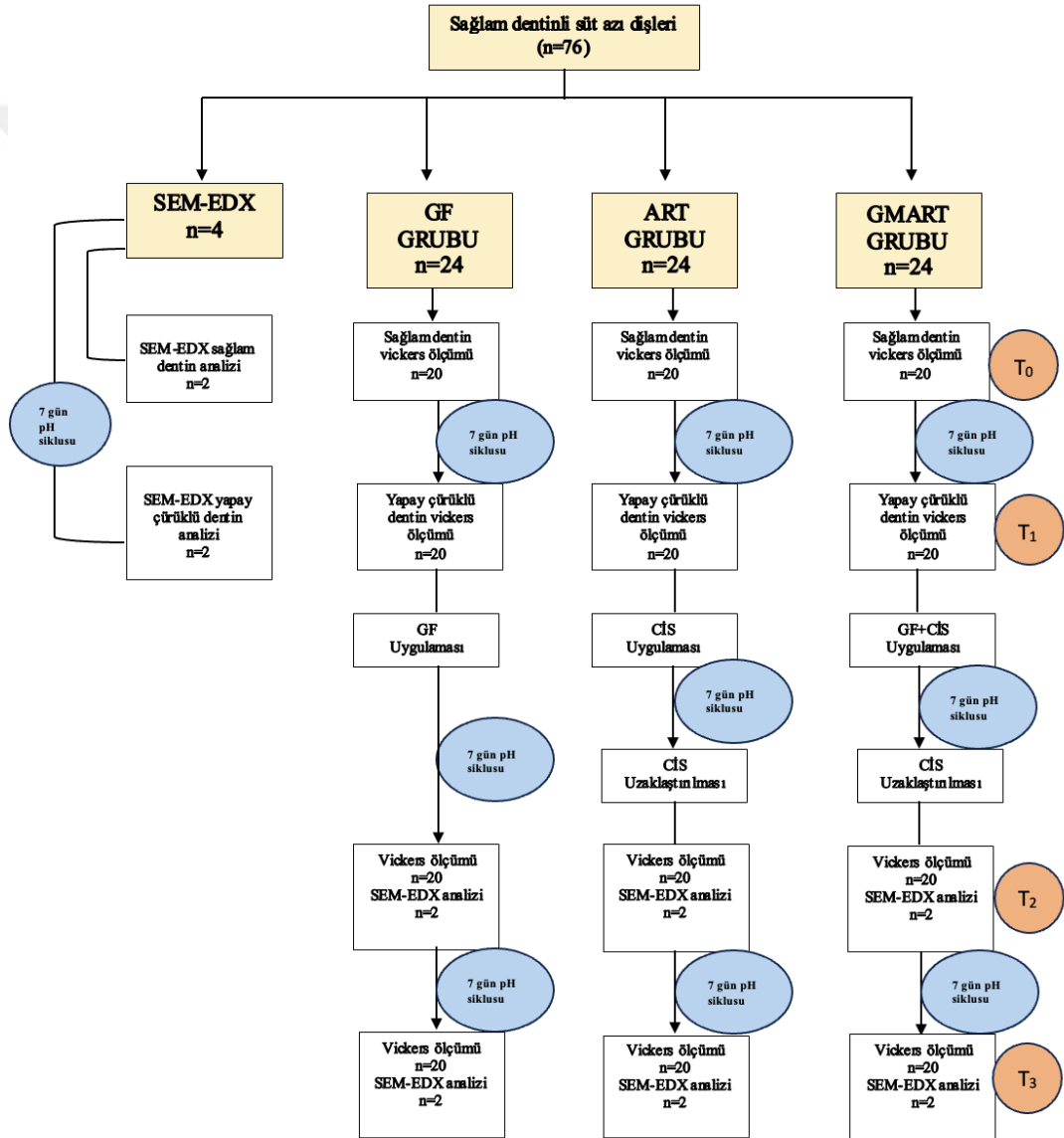
SEM-EDX analizine ayrılan diş örnekleri yalnızca elemental içerik ve mineral densitesi değerlendirmesi amacıyla kullanılmış olup, bu örneklerde mikrosertlik ölçümü gerçekleştirilmemiştir. Benzer şekilde, mikrosertlik testi için kullanılan örnekler de SEM-EDX analizine dahil edilmemiştir. Her analiz türü için ayrı diş örnekleri kullanılmıştır. Ayrıca, SEM-EDX analizine tabi tutulan her bir aşamadaki (T₀, T₁, T₂, T₃) iki örnek, diğer zaman noktalarında analiz edilen örneklerden bağımsız olarak seçilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan materyaller (**A:** Riva Star Aqua-SDI, Bayswater, Avustralya **B:** Riva Star Aqua-SDI, Bayswater, Avustralya 1. Aşama solüsyonu, **C:** Fuji IX GP, GC Corp, Tokyo, kapsül)

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan materyaller ve içeriklerinin gösterilmesi

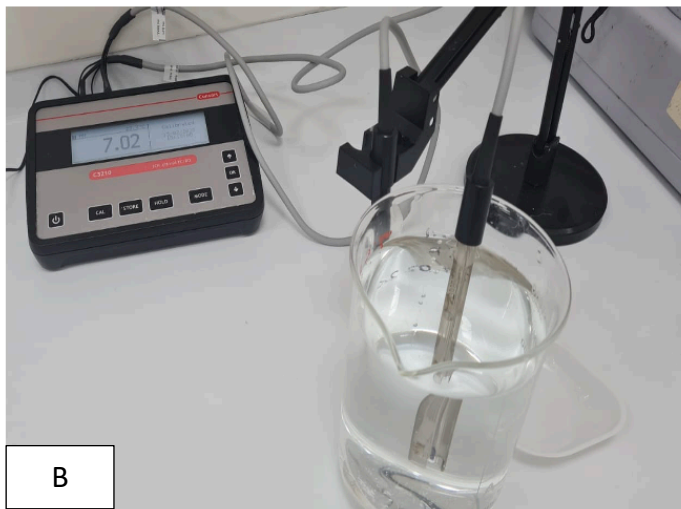
Materyal	Marka / Üretici Firma	İçerik
Gümüş Florür (GF) 1.aşama Solüsyonu	Riva Star Aqua, SDI, Bayswater, Avustralya	%38 gümüş florür, saf su 0.06 g/mL florür konsantrasyonu
Yüksek Viskoziteli Cam İyonomer Siman	Fuji IX GP (kapsül), GC Corp, Tokyo, Japonya	Fluoroaluminosilikat cam, polialkenoik asit, tartarik asit.



Şekil 3.4. Çalışma prosedürünün şematik olarak gösterilmesi

3.5. Yapay çürük Oluşturma prosedürü

Yapay çürük oluşturma prosedüründe, Markezan ve arkadaşlarının⁽²⁰¹⁾ 2009 yılında yaptığı çalışma temel alınmıştır. PH değerleri, kalibrasyonu yapılmış bir pH metre ile ölçülmüştür (Consort C3210, Consort bvba, Turnhout, Belçika). Demineralizasyon çözeltisi 2.2 mM CaCl_2 , 2.2 mM NaH_2PO_4 ve 50 mM asetik asit içerecek şekilde hazırlanmış ve pH değeri 4.5'e ayarlanmıştır (Şekil 3.5. A.). Örnekler her gün 8 saat boyunca bu solüsyonda bekletilmiş, ardından distile su ile yıkanarak kurutulmuş ve remineralizasyon aşamasına geçirilmiştir. Remineralizasyon çözeltisi 1.5 mM CaCl_2 , 0.9 mM NaH_2PO_4 ve 0.15 M KCl içerecek şekilde hazırlanarak pH 7.0'e ayarlanmıştır (şekil 3.5. B.), örnekler bu solüsyonda 16 saat süreyle bekletilmiştir. Böylece toplamda 24 saatlik bir pH döngüsü tamamlanmış ve bu süreç her gün taze solüsyonlar kullanılarak 7 gün boyunca tekrar edilmiştir.



Şekil 3.5. A: Demineralizasyon çözeltisinin pH'ının pH ölçülmesi, **B:**Remineralizasyon çözeltisinin pH'ının ölçülmesi

3.6. Materyallerin Uygulanması

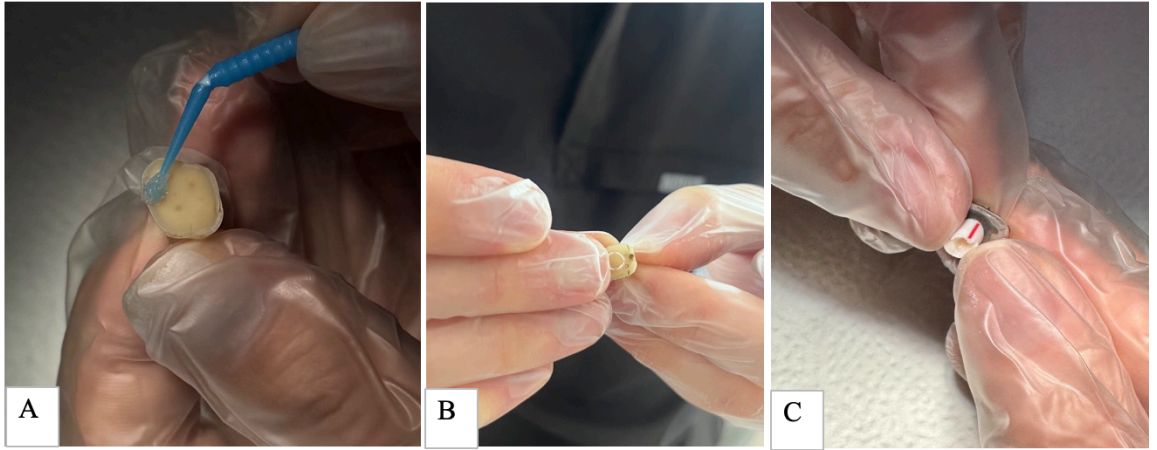
Tüm örnekler materyal uygulaması öncesi distile su ile yıkanmış ve hava-su spreyi ile kurutulmuştur.

GF grubunda, yalnızca 1. aşama solüsyonu olan gümüş florür içeriğiyle formüle edilmiş çözeltisi kullanılmış olup; renklenmeyi önleyen potasyum iyodür içerikli 2. aşama solüsyonu ise çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Üretici talimatlarına uygun şekilde, kurutulan dentin yüzeyine, orta kalınlıkta bir bond fırçası yardımıyla, tüm yüzeyin krem-sarımsı bir renk alması sağlanana dek yaklaşık 1 dakika süreyle temas ettirilmiştir (Şekil 3.6. A.). Uygulamanın ardından yüzey distile su ile 1 dakika süresince yıkanmıştır. Ardından, solüsyonun fazlalığının uzaklaştırılması ve tüm yüzeye eşit şekilde yayılımın sağlanması amacıyla yüzey, basınçlı hava ile 3 dakika boyunca kurutulmuştur.

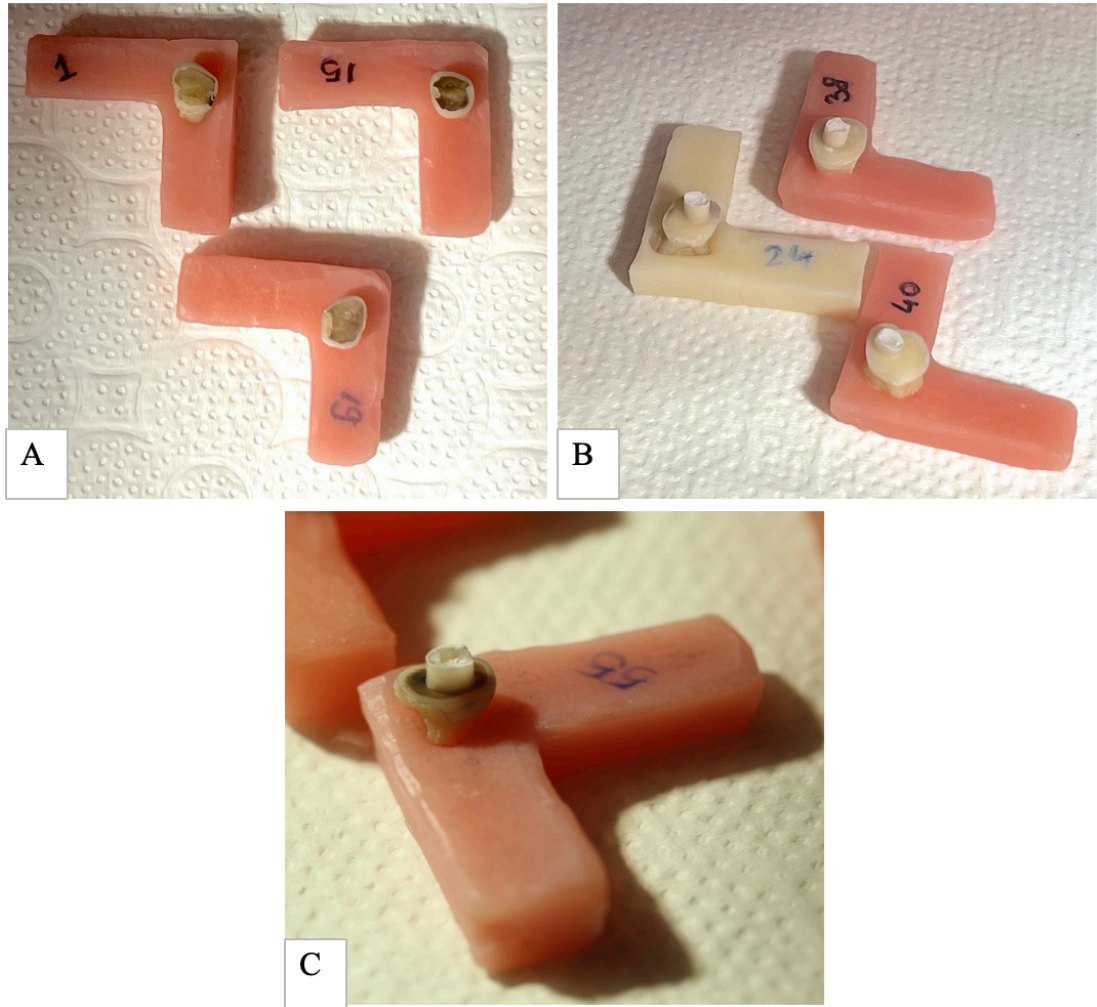
ART grubunda, kurutulmuş dentin yüzeyine, 4 mm çapında olan polipropilen pipetleri 5 mm uzunluğunda kesilerek uygulama kalıbı olarak yerleştirilmiştir. Pipetler, yüzeye tam temas sağlayacak biçimde iki kenarından parmak basıncı ile sabitlenmiştir (Şekil 3.6. B.). Fuji IX kapsülleri, üretici talimatlarına uygun olarak 10 saniye süreyle kapsül karıştırıcı cihazda karıştırılmış (Ultramat 2, SDI, Bayswater, Avustralya) ve ardından özel uygulama tabancası ile pipetlerin iç kısmına doldurulmuştur (Şekil 3.6. C.). Materyalin dentin yüzeyiyle maksimum temasını ve tutuculuğunu sağlamak amacıyla bir siman fulvarı yardımıyla kondanse edilmiş ve uygulama sonrası 20 saniye süreyle LED ışık cihazı (Woodpecker Medical Instrument Co., Çin) ile polimerize edilmiştir. Simanın sertleşmesi tamamlandıktan sonra, yüzeyde kalan pipet, dentin-CİS arayüzeyinin de pH siklusunda solüsyonla temasını sağlayabilmek amacıyla bir bistüri yardımıyla dikkatlice kesilerek uzaklaştırılmıştır.

GMART grubunda, sırasıyla GF grubunda tanımlanan GF uygulaması ve ART grubunda tanımlanan CİS uygulama prosedürleri ardışık şekilde aynı örneklerle uygulanmıştır. Tüm materyal uygulamaları tamamlandıktan sonra, örnekler 24 saat boyunca distile su içerisinde bekletilmiş ve ardından pH siklusuna dahil edilmiştir.

Materyal uygulaması sonrası örnek görüntüleri şekil 3.7.' de gösterilmiştir.



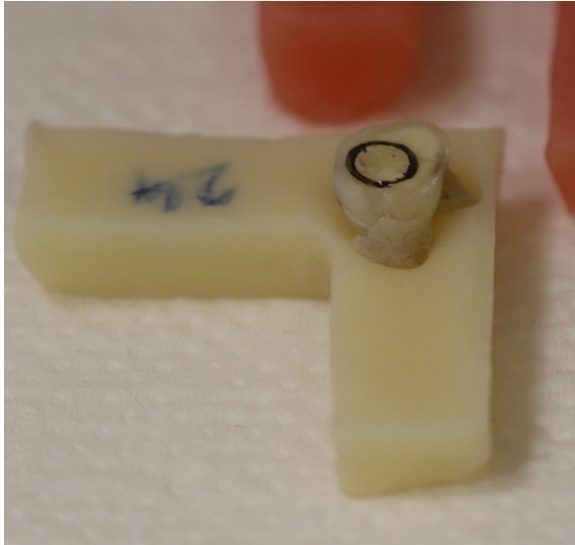
Şekil 3.6. A: GF'nin bond fırçası ile dentin yüzeyine uygulanması B: Pipetin dentin yüzeyine yerleştirilmesi C: Pipetin parmak basıncı ile dentin yüzeyine sabitlenmesi



Şekil 3.7. A: GF uygulaması sonrası örnek görüntüleri, B: CİS uygulaması sonrası örnek görüntüleri, C: SMART uygulaması sonrası örnek görüntüleri

3.7. CİS Materyalinin Uzaklaştırılması

ART grubu ve GMART grubu örneklerinde, ikinci pH döngüsünün tamamlanmasının ardından (T_2 aşaması öncesinde), uygulanmış olan CİS materyali, mikrosertlik ve SEM-EDX analizlerinin doğrudan CİS ile temas eden dentin yüzeyinden yapılabilmesini sağlamak amacıyla uzaklaştırılmıştır (Şekil 3.8.). CİS uzaklaştırılmadan önce, ölçüm yapılacak bölgenin belirlenebilmesi için etrafı suya dayanıklı kalem ile çizilmiştir. Uzaklaştırma işlemi sırasında herhangi bir döner alet sistemi kullanılmamış; materyal, parmak basıncı yardımıyla dikkatlice manuel olarak kaldırılmıştır. Ardından yüzey, basınçlı hava-su spreyi ile temizlenmiş, distile su ile 60 saniye süreyle yıkanarak kurutulmuştur. CİS materyalinin uzaklaştırılmasını takiben örnekler, T_2 ölçümleri için hazırlanmış ve yeni ölçümlerin kaydedilmesinin ardından yeniden pH döngüsüne alınmıştır.



Şekil 3.8. CİS materyalinin uzaklaştırıldığı örnek görüntüsü

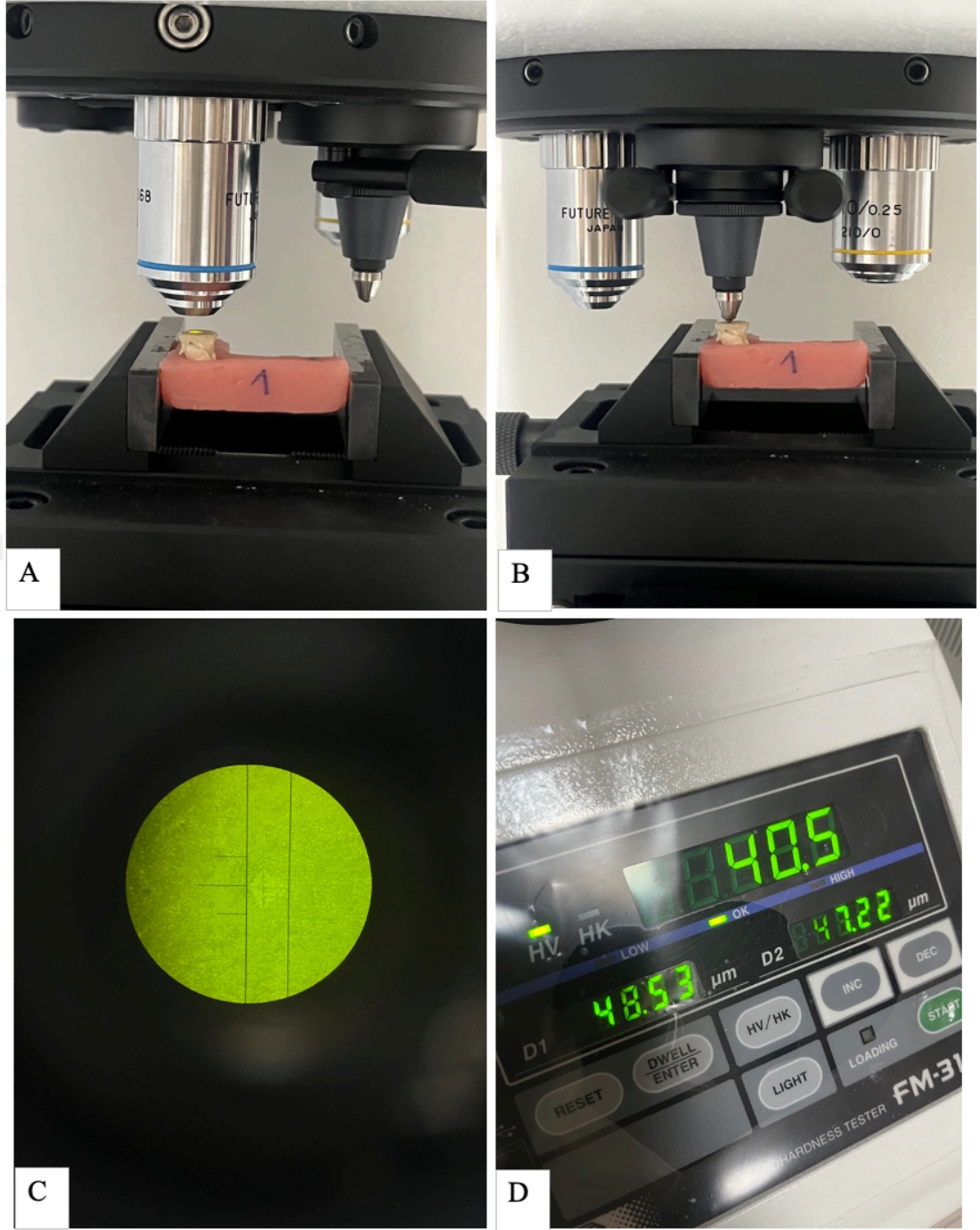
3.8. Mikrosertlik Testinin Uygulanması

Mikrosertlik ölçümü amacıyla, vickers elmas ucu ile birlikte Vickers mikrosertlik testi cihazı (Future-Tech, FM-310e, Japonya) kullanılmıştır (Şekil 3.9.). Örnekler teste tabii tutulmadan önce distile su ile yıkanarak hava-su spreyi yardımıyla kurutulmuş ve yüzeydeki nemin uzaklaştırılması sağlanarak doğru ölçüm için hazır hale getirilmiştir. Örnekler, Vickers cihazına horizontal doğrultuda tam paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. İz oluşturulacak bölge, öncelikle x50 büyütme lensi yardımıyla en net görüntü alınan alan olarak belirlenmiştir (Şekil 3.10. A.) Tüm örneklerle, 15 saniye boyunca 50 gramlık yük uygulanarak, sağlam dentin örneklerinde rastgele seçilen üç

noktada iz oluşturulmuştur (Şekil 3.10. B.) Yapay çürük oluşturulmuş ve CİS uygulanmış dentin örneklerinde iz oluşturulacak alanlar CİS kalıntısı olmayan dentin yüzeylerinden seçilmiştir. Her uygulama sonrasında, vickers ucunun bıraktığı izin diagonal uzunlukları, cihazın x-y-z düzleminde hareket eden kolları yardımıyla manuel olarak ölçülmüş ve cihaz tarafından otomatik olarak vickers sertlik değeri hesaplanmıştır (Şekil 3.10. C.). Her örnek için elde edilen üç ayrı değer ve bu değerlere ait ortalamalar her aşama sonunda kaydedilmiştir.



Şekil 3.9. Vickers mikrosertlik cihazı



Şekil 3.10. A: Vickers mikrosertlik cihazı ile ölçülecek alanın x50 büyütmede belirlenmesi B: 15 sn boyunca 50 gr yük uygulanması C: Oluşan vickers izinin görüntülenmesi (x50) ve diyagonal uzunlukların ölçülmesi D: Elde edilen vickers değerinin gösterilmesi

3.9. SEM-EDX Analizi için örnek hazırlığının yapılması

SEM-EDX analizinde kullanılmak üzere, toplam 16 adet süt azı dişi belirlenmiştir. T₀ aşamasında sağlam dentin yüzeyinin mineral yoğunluğunu değerlendirmek amacıyla 2 örnek (73-74), T₁ aşamasında yapay çürük oluşturulmuş dentin yüzeyinin analizinde kullanılmak üzere 2 örnek (75-76) seçilmiştir. T₂ ve T₃ aşamalarında ise her bir tedavi grubunu temsil edecek şekilde 2'şer örnek olmak üzere toplam 12 adet örnek (61-72) analize dahil edilmiştir. Daha önce horizontal doğrultuda kesilmiş örnekler, elmas separe kullanılarak meziodistal doğrultuda longitudinal olarak tekrar kesilerek ikiye bölünmüştür. Dişlerin bir yarısı SEM-EDX analizinde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Daha sonra ayrılan örneklerin longitudinal kesit alınan yüzeyi 1200 grenli silikon-karbit zımpara kullanılarak su altında cilalanmıştır. Örneklerin işlem öncesinde 24 saat süresince 37 °C'de etüv (EN300 Nüve , Türkiye) cihazında bekletilerek neminin uzaklaştırılarak kurutulması ve analize hazır hale getirilmesi sağlanmıştır.

3.10. SEM-EDX analizinin Uygulanması

16 adet örneğin SEM görüntülemeleri ve SEM-EDX analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan SEM cihazı (LEO 1430 VP, Zeiss, USA) ve EDX dedektörü (RÖNTEC QX2) ile gerçekleştirilmiştir. Örnekler incelenmeden önce, iletkenliğin sağlanması amacıyla kaplama cihazında (Leica EM ACE600, USA) 5 – 15 nm kalınlığında, %80 altın ve %20 paladyum oranında kaplanmıştır (Şekil 3.11.) Örneklerin görüntülenmesi, düşük vakum, yüksek voltaj tekniği kullanılarak 20.000 kV ve dentin yüzeyinin materyalin uygulandığı alanın sınırına yakın bölgesi belirlenerek x250, x500, x1000 büyütmelerde incelenmiş ve SEM görüntüleri elde edilmiştir. Şekil 3.12.'de analizin yapıldığı SEM-EDX cihazı görülmektedir. Her örnek için materyalin uygulandığı yüzeyden uygulanma sınırına yakın olacak şekilde x500 lük büyütmede en geniş alan seçilerek kalsiyum (Ca), fosfor (P), flor (F), karbon (C), gümüş (Ag), magnezyum (Mg), sodyum (Na) elementlerine ait haritalama analizi yapılmış ve her bir mineral için mineral densitesi değerleri elde edilmiş ve kaydedilmiştir. Longitudinal yüzeyde ise mineral densitesi analizi x500'lük görüntülemelerde materyalin uygulandığı horizontal yüzey sınırından pulpal boşluğa doğru çizgisel doğrultuda (0-350 µm) ve aynı yüzeye x500'lük büyütmede yüzey sınırı da dahil edilerek en geniş alan (524 x 393 µm²) belirlenmiş ve alan-haritalama analizi yapılmış ve bulgular kaydedilmiştir.



Şekil 3.11. %80 altın ve %20 paladyum kaplanmış dentin örnekleri



Şekil 3.12. SEM-EDX cihazının gösterilmesi

3.11. Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Analizi

Bu çalışmada elde edilen veriler, SPSS paket programı (SPSS 18.00 for Windows, Chicago, IL, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler kapsamında her bir zaman noktasına ait ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler hesaplanmıştır. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk ve Kolmogorov-Smirnov testleri ile değerlendirilmiş, tüm gruplarda normal dağılım gözlendiği için parametrik testler kullanılmıştır. Her bir zaman noktasındaki ortalamalar arasında anlamlı fark olup olmadığını belirlemek için ANOVA tek yönlü varyans analizi kullanılmıştır. Varyansların homojenliği Levene testi ile kontrol edilmiş, homojenlik varsayımı sağlanmayan durumlarda ise post-hoc testi uygulanmıştır. Varyans homojenliğinin sağlandığı zaman noktalarında ise Tukey HSD testi ile ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı grup içinde zamanlar arası değişikliklerin değerlendirilmesinde; tekrarlı ölçümler için ANOVA uygulanmıştır.

Tüm analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

4.BULGULAR

Çalışmamızda, farklı minimal invaziv tedavi yaklaşımlarının yapay çürük oluşturulmuş süt dişi dentin yüzeyi üzerindeki etkileri, vickers mikrosertlik testi ve SEM-EDX analizleri ile değerlendirilmiştir. Mikrosertlik değerleri, tüm örneklerde tedavi öncesi (T₀) ve farklı zaman noktalarında (T₁, T₂, T₃) ölçülerek meydana gelen sertlik değişimleri kaydedilmiş ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her bir tedavi grubunda gözlenen mineral içerik ve densitesi değişimleri SEM-EDX ile incelenmiş ve SEM ile görüntülenmiştir. Aşağıda her analiz yöntemi için elde edilen bulgular, ölçüm zamanlarına ve tedavi gruplarına göre ayrı ayrı sunulmuştur.

4.1. Mikrosertlik Ölçüm Bulguları

Her bir tedavi grubuna ait dentin yüzeyinde yapılan vickers mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen veriler sunulmuştur. Her grup için zaman içi değişimler ayrı ayrı değerlendirilmiş; ardından grup içi ve gruplar arası karşılaştırmalar yapılarak elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

4.1.1 T₀ Aşamasına Ait Bulgular

Her üç grupta da başlangıç vickers mikrosertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek ortalama değer, ART grubunda (49,30 ± 1,58 VHN) ve en düşük ortalama değer GMART grubunda (48,85 ± 1,59 VHN) kaydedilmiştir. İstatistiksel değerlendirme sonucunda, gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür (p>0,05) (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. T₀ aşamasına ait mikrosertlik bulgularının gösterilmesi

Grup	n	Ortalama±SS (VHN)	Minimum (VHN)	Maksimum (VHN)
GF	20	48,87±3,06 ^a	48,1	52,93
ART	20	49,30±1,57 ^a	45,96	51,70
GMART	20	48,85±1,59 ^a	46,43	52,13

Farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05)

4.1.2 T₁ Aşamasına Ait Bulgular

Bu aşamada, en yüksek VHN değeri ART grubunda ($30,23 \pm 6,01$ VHN), en düşük değer ise GMART grubunda ($29,44 \pm 5,32$ VHN) kaydedilmiş olup, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür ($p>0,05$) (Tablo 4.2.).

Tablo 4.2. T₁ aşamasına ait mikrosertlik bulgularının gösterilmesi

Grup	n	Ortalama $\pm$ SS (VHN)	Minimum (VHN)	Maksimum (VHN)
GF	20	30,14 $\pm$ 4,32 ^a	22,20	35,90
ART	20	30,23 $\pm$ 6,01 ^a	21,00	44,00
GMART	20	29,44 $\pm$ 5,32 ^a	18,76	38,93

Farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$)

4.1.3 T₂ Aşamasına ait bulgular

En yüksek ortalama sertlik değeri GF grubunda ($39,54 \pm 3,13$ VHN), en düşük ortalama sertlik değeri ise ART grubunda ($34,41 \pm 3,09$ VHN) kaydedilmiş olup, ART grubunda elde edilen değerlerin GF ($p<0,001$) ve GMART ($p=0,002$) gruplarına oranla istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak, GF ve GMART grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p=0,669$) (Tablo 4.3.).

Tablo 4.3. T₂ aşamasına ait bulgularının gösterilmesi

Grup	n	Ortalama $\pm$ SS (VHN)	Minimum (VHN)	Maksimum (VHN)
GF	20	39,54 $\pm$ 3,13 ^a	35,00	45,93
ART	20	34,41 $\pm$ 3,09 ^b	28,60	39,76
GMART	20	38,56 $\pm$ 4,46 ^a	28,33	46,90

Farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$)

4.1.4 T₃ Aşamasına ait bulgular

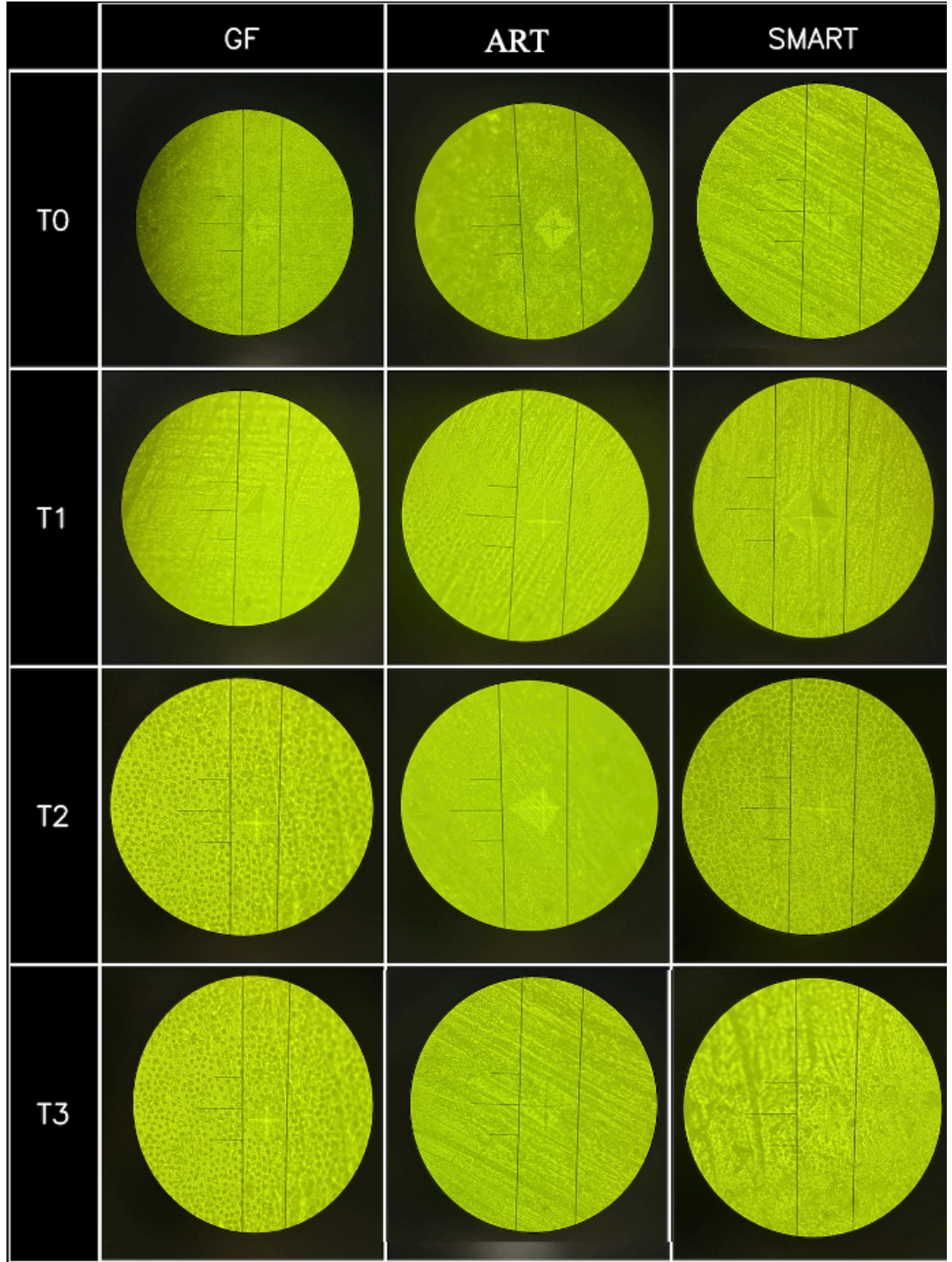
Bu aşamada en yüksek ortalama değer GMART grubunda ($36,27 \pm 3,64$ VHN), en düşük ortalama değer ise ART grubunda ($26,72 \pm 2,35$ VHN) kaydedilmiştir. ART grubundan elde edilen değerlerin, GF ($p < 0,001$) ve GMART ($p < 0,001$) gruplarına oranla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük olduğu görülmüştür. Ancak, GF ve GMART grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p = 0,672$) (Tablo 4.4.).

Tablo 4.4. T₃ aşamasına ait mikrosertlik bulguları

Grup	n	Ortalama $\pm$ SS (VHN)	Minimum (VHN)	Maksimum (VHN)
GF	20	$35,5 \pm 3,10^a$	29,50	42,20
ART	20	$26,72 \pm 2,35^b$	23,70	33,70
GMART	20	$36,27 \pm 3,64^a$	31,23	43,26

Farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$)

Gruplara ait, vickers mikrosertlik cihazı optik mikroskobunda x50 büyütmede elde edilen iz görüntüleri şekil 4.1. de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Vickers mikrosertlik cihazı optik mikroskobunda x50 büyütmede elde edilen iz görüntülerinin gösterilmesi

4.1.5. GF Grubuna Ait Mikrosertlik Değerlerinin İncelenmesi

GF grubuna ait farklı zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek sertlik değeri sağlam dentin yüzeyinden alınan T_0 ölçümlerinde gözlenmiş ($48,87 \pm 3,06$ VHN), T_1 aşamasında önemli düzeyde bir düşüş görülmüş olup en düşük ortalama sertlik değerleri ($30,14 \pm 4,32$ VHN) kaydedilmiştir. T_1 'den T_2 'ye geçişte ise bir artış gözlenmiş ($39,54 \pm 3,13$ VHN), T_3 aşamasında tekrar düşüş olduğu görülmüştür ve ortalama değer $35,50 \pm 3,10$ VHN olarak ölçülmüştür. GF grubunda en fazla değişim, T_0 ile T_1 zaman aralığında gözlenen $18,74 \pm 5,72$ VHN azalma ile gerçekleşmiştir. En az değişim ise T_2 ile T_3 aralığında $4,09 \pm 4,21$ VHN azalma olarak kaydedilmiştir. Zaman noktaları arası yapılan istatistiksel analizler sonucunda; tüm zaman noktaları arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde anlamlı farklılık olduğu kaydedilmiştir ($p_{T_0-T_1} < 0,001$, $p_{T_0-T_3} < 0,001$, $p_{T_1-T_2} < 0,001$, $p_{T_1-T_3} = 0,002$, $p_{T_2-T_3} = 0,002$) (Tablo 4.5.) (Tablo 4.6.).

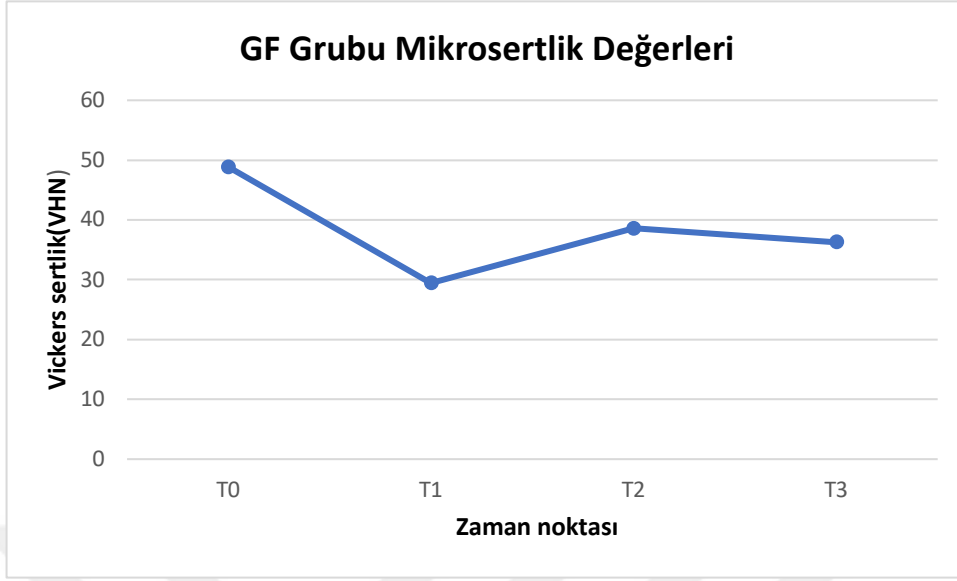
Tablo 4.5. GF grubuna ait zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik verilerinin gösterilmesi

Zaman Noktası	Ortalama $\pm$ SS (VHN)
T_0	$48,87 \pm 3,06^a$
T_1	$30,14 \pm 4,32^b$
T_2	$39,54 \pm 3,13^c$
T_3	$35,50 \pm 3,10^d$

Farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$)

Tablo 4.6. GF grubuna ait mikrosertlik değerlerinin farklı zaman noktaları arasındaki değişimlerinin gösterilmesi

Zaman aralığı	GF Ortalama Değişim $\pm$ SS (VHN)
$T_0 - T_1$	$-18,74 \pm 5,72$
$T_1 - T_2$	$9,41 \pm 6,60$
$T_2 - T_3$	$-4,09 \pm 4,21$
$T_1 - T_3$	$5,36 \pm 5,49$
$T_0 - T_3$	$-13,37 \pm 3,71$



Şekil 4.2. GF grubu mikrosertlik değerlerinin çizgi grafiği ile gösterilmesi

4.1.6. ART Grubuna Ait Mikrosertlik Değerlerinin İncelenmesi

ART grubuna ait zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek ortalama sertlik değeri sağlam dentin yüzeyinden alınan T₀ ölçümlerinde ($49,30 \pm 1,57$ VHN) gözlenmiş olup, T₁ aşamasında ($30,23 \pm 6,01$) sertlik değerlerinin düştüğü, T₂ aşamasında ($34,41 \pm 3,09$ VHN) tekrar yükseldiği izlenmiş ve T₃ aşamasında ($26,72 \pm 2,35$ VHN) tekrar bir düşüş olduğu görülmüş ve bu değer en düşük ortalama mikrosertlik değeri olarak kaydedilmiştir. ART grubunda, en fazla değişim ortalama $22,58 \pm 3,43$ VHN ile T₀–T₃ zaman aralığında gözlenmiş olup en az değişim ise ortalama $3,51 \pm 6,36$ VHN ile T₁–T₃ aralığında meydana gelmiştir. Zaman noktaları arası yapılan istatistiksel analizler sonucunda; T₀ ile T₁, T₂ ve T₃ arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p_{T_0-T_1, T_2-T_3} < 0,001$). Ancak, T₁ ile T₂ ($p=0,116$) ve T₁ ile T₃ ($p=0,141$) zaman noktaları arasındaki değişimin istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı görülmüştür (Tablo 4.7.)(Tablo 4.8.).

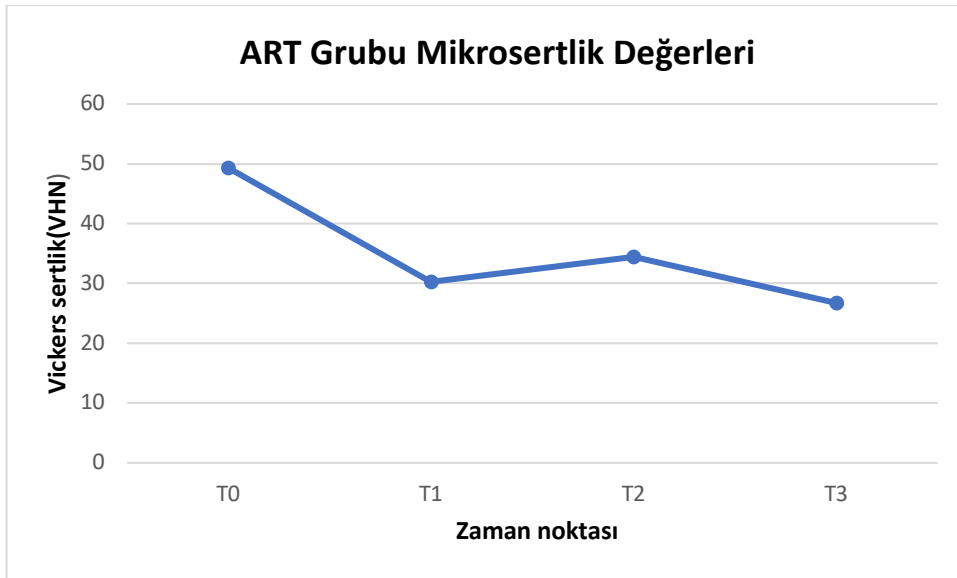
Tablo 4.7. ART grubuna ait zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik verilerinin gösterilmesi

Zaman Noktası	Ortalama $\pm$ SS (VHN)
T ₀	49,30 $\pm$ 1,57 ^c
T ₁	30,23 $\pm$ 6,01 ^{a,b}
T ₂	34,41 $\pm$ 3,09 ^a
T ₃	26,72 $\pm$ 2,35 ^b

Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ($p < 0,05$)

Tablo 4.8. ART grubuna ait mikrosertlik değerlerinin farklı zaman noktaları arasındaki değişimlerinin gösterilmesi

Zaman aralığı	ART Ortalama Değişim $\pm$ SS (VHN)
T ₀ – T ₁	-19,07 $\pm$ 6,67
T ₁ – T ₂	4,18 $\pm$ 7,32
T ₂ – T ₃	-7,69 $\pm$ 3,72
T ₁ – T ₃	-3,51 $\pm$ 6,36
T ₀ – T ₃	-22,58 $\pm$ 3,43



Şekil 4.3. ART grubu mikrosertlik değerlerinin çizgi grafiği ile gösterilmesi

4.1.7. GMART Grubuna Ait Mikrosertlik Değerlerinin İncelenmesi

GMART grubuna ait zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek sertlik değeri sağlam dentin yüzeyinden alınan T_0 ölçümlerinde gözlenmiş ($48,85 \pm 1,59$ VHN) olup, T_1 aşamasında önemli düzeyde bir düşüş görülmüş ve en düşük ortalama değerler $29,44 \pm 5,32$ VHN olarak bu aşamada kaydedilmiştir. T_2 aşamasında artış olmuş ($38,56 \pm 4,46$ VHN) , T_3 aşamasında ($36,27 \pm 3,64$ VHN) ise tekrar bir düşüş izlenmiştir. SMART grubunda en fazla değişim, T_0 ile T_1 zaman aralığında gözlenen $19,41 \pm 5,40$ VHN azalma ile gerçekleşmiştir. En az değişim ise T_2 ile T_3 aralığında $2,28 \pm 5,78$ VHN azalma olarak kaydedilmiştir. Zaman noktaları arası yapılan istatistiksel analizler sonucunda; T_0 ile T_1 , T_2 ile T_3 , T_1 ile T_3 ve T_0 ile T_3 arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p_{T_0-T_1} < 0,001$, $p_{T_2-T_3} < 0,001$, $p_{T_1-T_3} < 0,001$, $p_{T_0-T_3} < 0,001$). Ancak, T_2 ile T_3 zaman noktaları arasındaki değişimin istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı görülmüştür ($p = 0,561$) (Tablo 4.9.) (Tablo 4.10.).

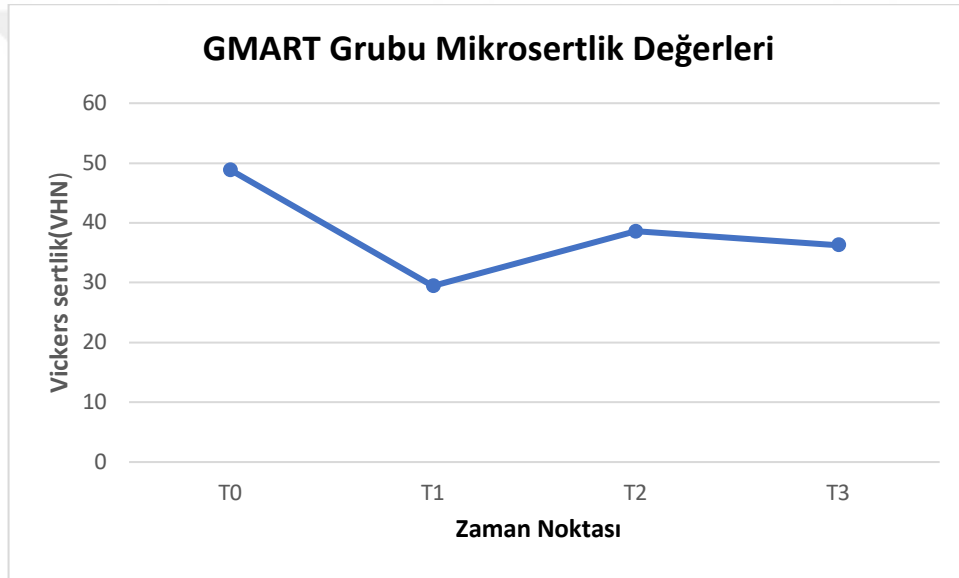
Tablo 4.9. GMART grubuna ait zaman noktalarındaki ortalama mikrosertlik verilerinin gösterilmesi

Zaman Noktası	Ortalama $\pm$ SS (VHN)
T_0	$48,85 \pm 1,59^b$
T_1	$29,44 \pm 5,32^c$
T_2	$38,56 \pm 4,46^a$
T_3	$36,27 \pm 3,64^a$

Farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$)

Tablo 4.10. GMART grubuna ait mikrosertlik değerlerinin farklı zaman noktaları arasındaki değişimlerinin gösterilmesi

Zaman aralığı	GMART Ortalama Değişim (VHN)
$T_0 - T_1$	$-19,41 \pm 5,40$
$T_1 - T_2$	$9,11 \pm 6,45$
$T_2 - T_3$	$-2,28 \pm 5,78$
$T_1 - T_3$	$6,83 \pm 6,32$
$T_0 - T_3$	$-12,58 \pm 3,35$



Şekil 4.4. GMART grubu mikrosertlik değerlerinin çizgi grafiği ile gösterilmesi

4.1.8. Gruplar Arası Mikrosertlik Değişimlerinin Zamansal Olarak Karşılaştırılması

Gruplar arasında mikrosertlik değerlerinin ikili karşılaştırmalarına ait sonuçlar Tablo 4.11.' de gösterilmektedir.

T₀–T₁ zaman aralığında, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (p>0,05).

T₁–T₂ zaman aralığında; GF ile ART grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilirken (p = 0,047), GF ile GMART (p = 0,990) ve ART ile GMART (p = 0,065) grupları arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır.

T₂–T₃ zaman aralığında GF ile ART (p = 0,046) ve ART ile GMART (p = 0,002) grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunurken, GF ile GMART grupları arasında ise anlamlı fark bulunmamaktadır (p = 0,441).

T₁–T₃ zaman aralığında GF ile ART (p < 0,001) ve ART ile GMART (p < 0,001) grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunurken, GF ile GMART grupları arasında anlamlı fark gözlenmemiştir (p = 0,712)

Tablo 4.11. Gruplar Arası Mikrosertlik Değişimlerinin Zamansal Olarak Karşılaştırılması

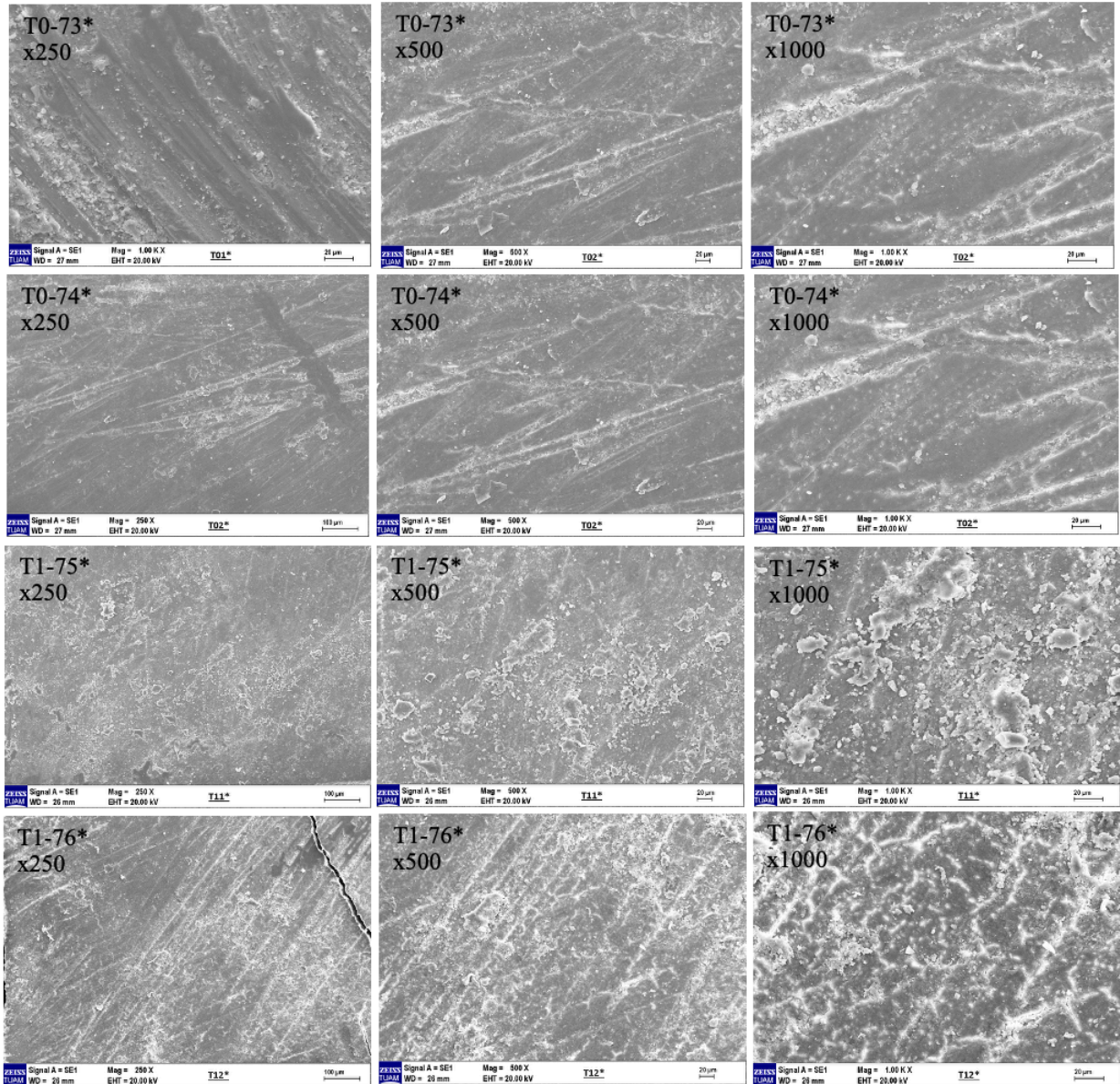
Zaman Aralığı	Karşılaştırılan Gruplar	GF ΔVHN	ART ΔVHN	GMART ΔVHN	p değeri
T ₀ –T ₁	GF – ART	-18,74±5,72	-19,07±6,67	–	0,984
T ₀ –T ₁	GF – GMART	-18,74±5,72	–	-19,41±5,40	0,934
T ₀ –T ₁	ART– GMART	–	-19,07±6,67	-19,41±5,40	0,982
T ₁ –T ₂	GF – ART	9,41±6,60	4,18±7,32	–	0,047
T ₁ –T ₂	GF – GMART	9,41±6,60	–	9,11±6,45	0,990
T ₁ –T ₂	ART–GMART	–	4,18±7,32	9,11±6,45	0,065
T ₂ –T ₃	GF – ART	-4,09±4,21	-7,69±3,72	–	0,046
T ₂ –T ₃	GF – GMART	-4,09±4,21	–	-2,28±5,78	0,441
T ₂ –T ₃	ART–GMART	–	-7,69±3,72	-2,28±5,78	0,002
T ₁ –T ₃	GF – ART	5,36±5,49	-3,51±6,36	–	<0,001
T ₁ –T ₃	GF – GMART	5,36±5,49	–	6,83±6,32	0,712
T ₁ –T ₃	ART–GMART	–	-3,51±6,36	6,83±6,32	<0,001

Koyu punto ile yazılan p değerleri istatistiksel açıdan anlamlıdır (p < 0,05)

4.2.SEM-EDX Görüntü ve Bulguları

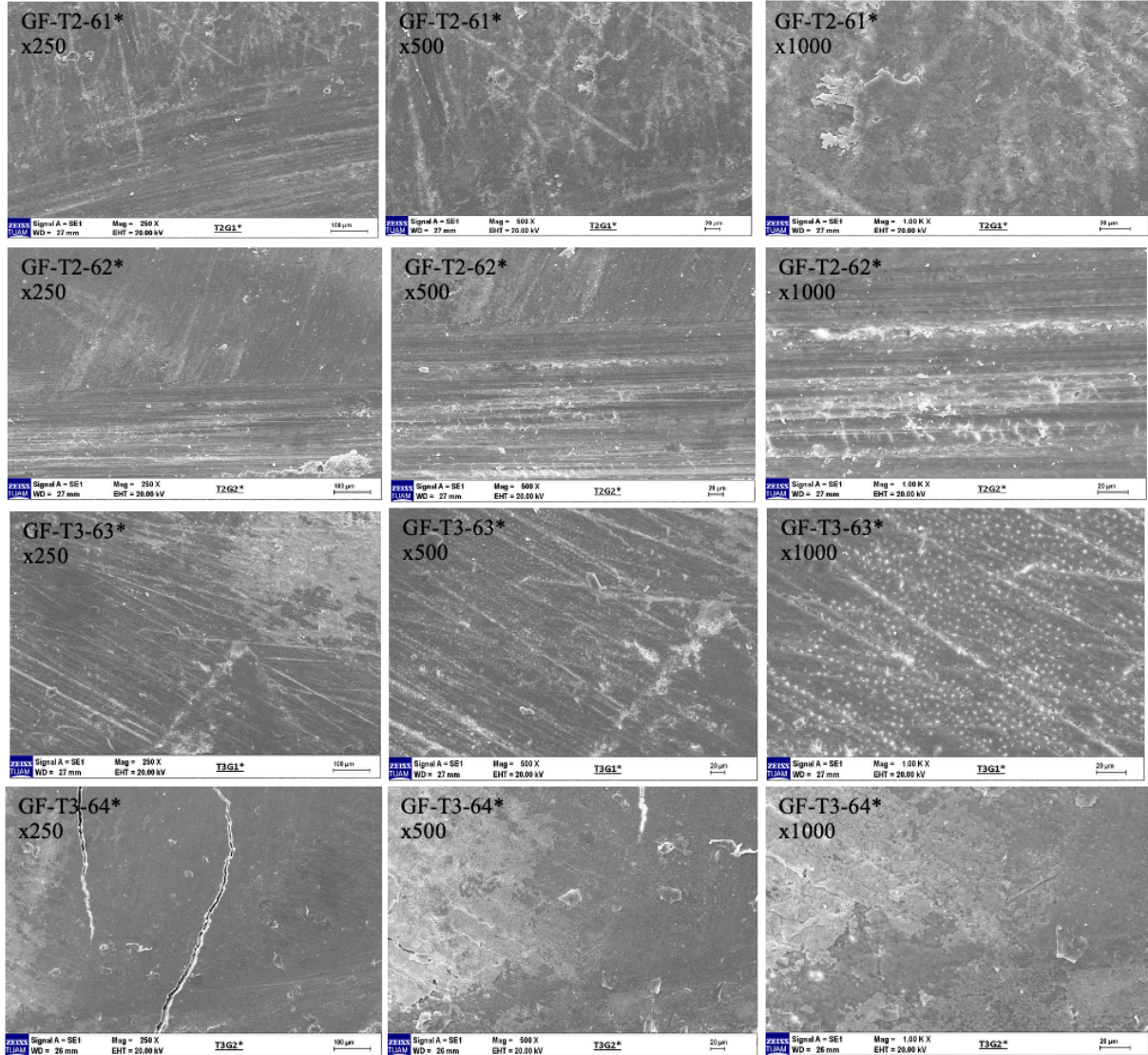
4.2.1. Horizontal Yüzey Görüntü ve Bulguları

T₀ örneklerinde x250 ve x500 büyütmelemede dentin yüzeyi genel olarak düzgün ve homojen bir görünüm sergilemiştir. Çizgisel yapılar ve düzenli hatlar izlenmiş, intertübüler bölgelerde bütünlüğün korunduğu gözlenmiştir. Yüzeyde x1000 büyütmede yalnızca sınırlı düzeyde düzensizlikler görülmüş, dentin tübülleri belirgin şekilde açığa çıkmamıştır. T₁ örneklerinde x250 büyütmede yüzeyde düzensizliklerin arttığı ve homojenliğin azaldığı dikkat çekmiştir. Yüksek büyütmelemede yüzeyde belirgin bozulmalar, pürüzlülük artışı ve granüler yapılar gözlenmiştir. Ayrıca bu aşamada dentin tübüllerinin daha görünür hale geldiği ve tübül çevresinde mineral kaybı ile uyumlu düzensizlikler oluştuğu dikkati çekmiştir (Şekil 4.5.).



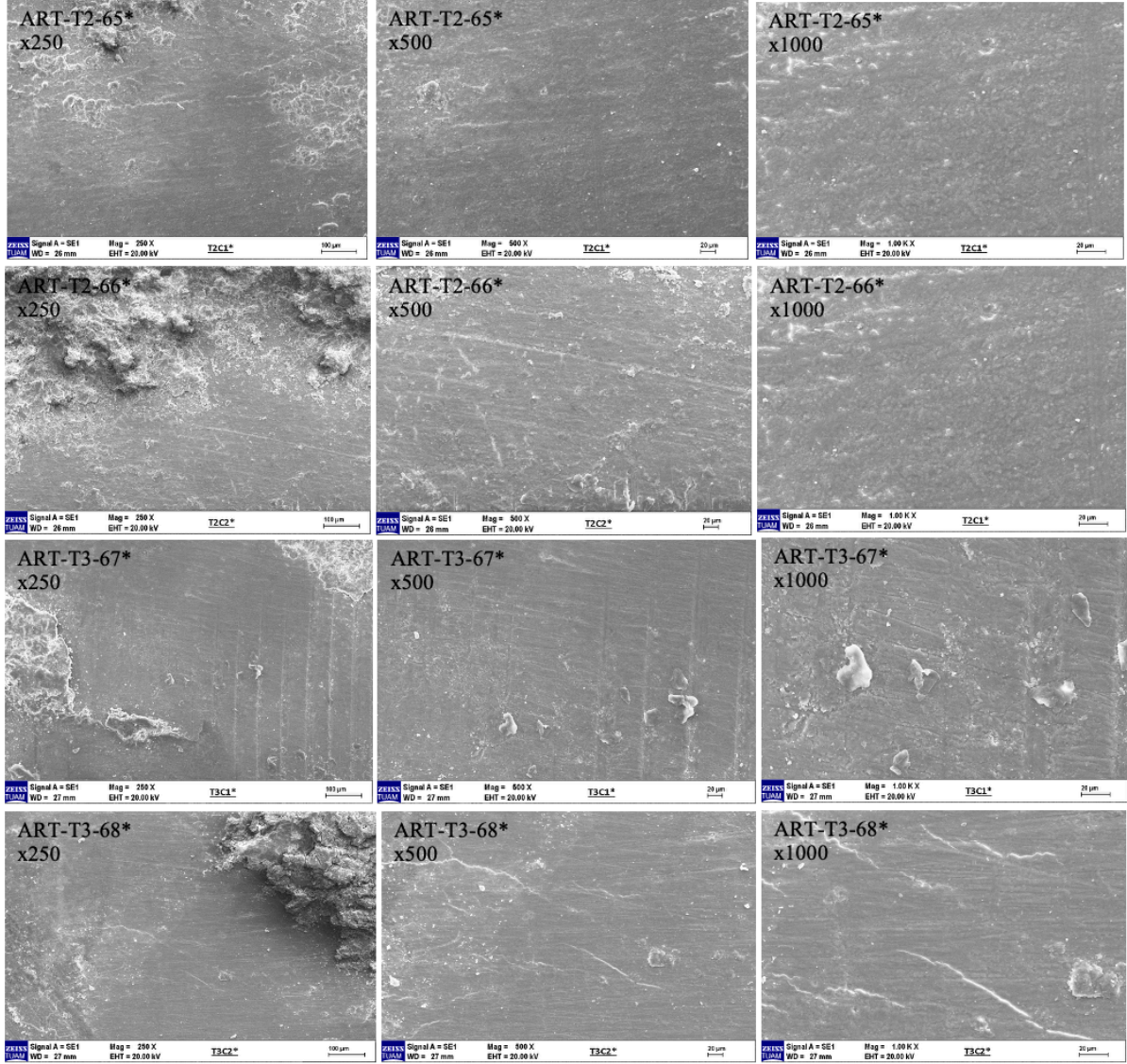
Şekil 4.5. Horizontal yüzey(*), T₀ ve T₁ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütme SEM görüntüleri

GF grubuna ait T₂ ve T₃ örneklerinde x250 büyütmede yüzeyde çizgisel yapılar ve belirgin düzensizlikler izlenmiştir. Yüzey üzerinde x500 ve x1000 büyütmelerde partikül kümelenmeleri dikkati çekmiştir. Özellikle T₃ aşamasında dentin yüzeyinde yoğun düzensizlikler gözlenmiş, yüksek büyütmelerde dentin tübüllerinin daha belirgin hale geldiği ve tübül açıklıklarının ortaya çıktığı görülmüştür (Şekil 4.6.).



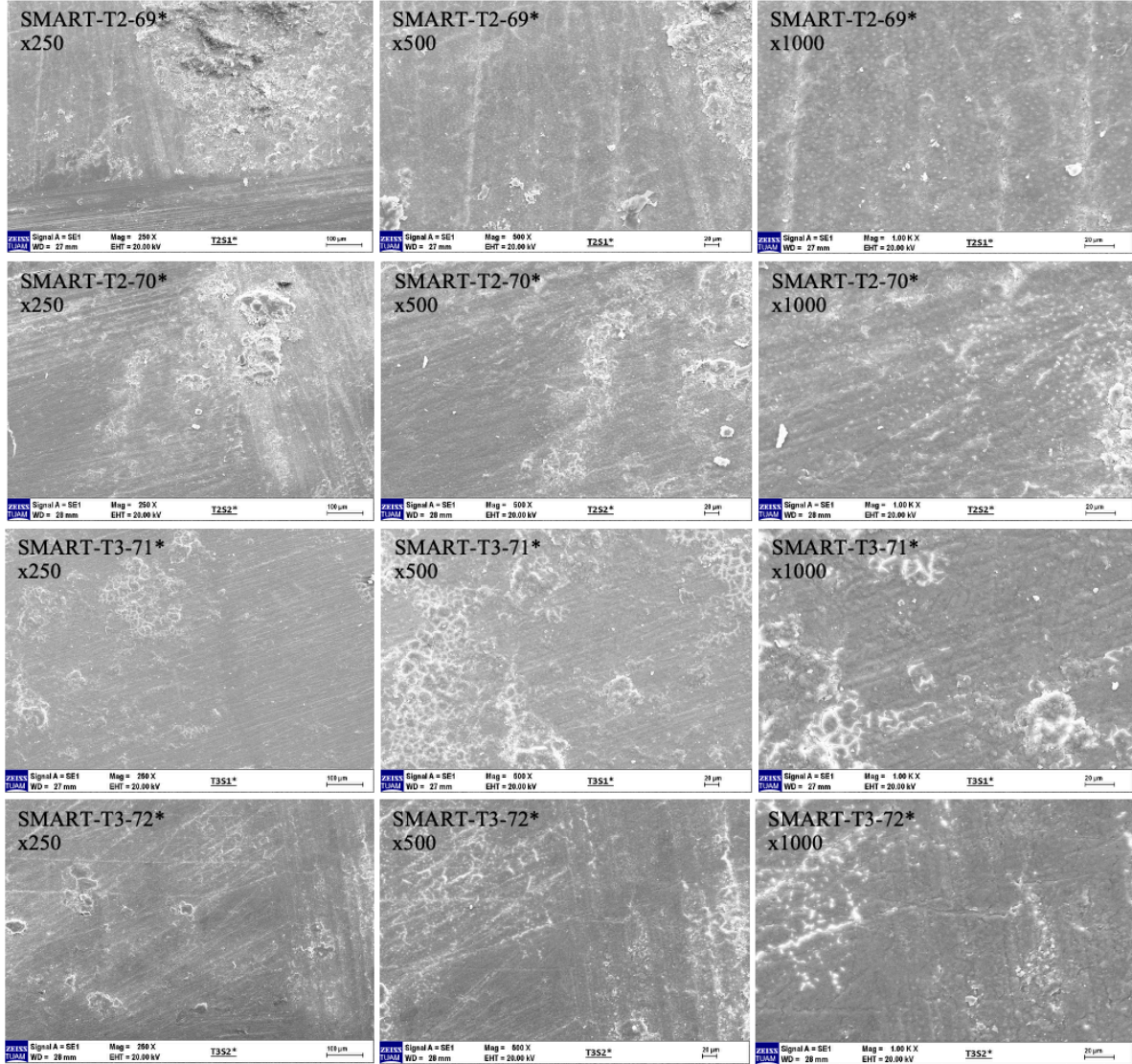
Şekil 4.6. Horizontal yüzey(*), GF Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

ART grubuna ait T₂ ve T₃ örneklerinde x250 büyütmede yüzeyde homojen olmayan yapılar ve çizgisel düzensizlikler izlenmiştir. yüzey topografyasında x500 ve x1000 büyüttmelerde yer yer materyal kalıntılarına benzer oluşumlar gözlenmiş, bazı bölgelerde dağınık partiküller dikkat çekmiştir. T₃ aşamasında yüzey bozulmasının daha belirgin olduğu ve düzensizliklerin arttığı izlenmiştir (Şekil 4.7.).



Şekil 4.7. Horizontal yüzey(*), ART Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyüttmelerde SEM görüntüleri

GMART grubuna ait T₂ ve T₃ örneklerinde x250 büyütmede yüzeyde geniş alanlarda düzensizlikler ve materyal kalıntıları görülmüştür. Daha yüksek büyütmelerde bu bölgelerde partikül kümelenmeleri ve yoğun çökelmeler izlenmiştir. T₃ aşamasında yüzeyin genelinde düzensizliklerin arttığı ve bazı bölgelerde yapının homojenliğini kaybettiği dikkati çekmiştir (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Horizontal yüzey(*), GMART Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Horizontal Yüzey Haritalama Analizi Bulguları

Tablo 4.12.'de, materyallerin uygulandığı horizontal yüzeye ait SEM-EDX haritalama analizi elementel dağılım sonuçları sunulmaktadır. T₀ aşaması değerlendirildiğinde Ca/P oranı 1,42 olarak, T₁ aşamasında ise bu oran daha düşük bir değerde (1,38) kaydedilmiştir. T₂ aşamasına ait sonuçlar değerlendirildiğinde, Ca/P oranının en yüksek ART grubunda, en düşük GF grubunda izlendiği saptanmıştır. T₂ aşamasında, Ag, en yüksek GF grubunda (20023) en düşük ise GMART grubunda (4236) izlenmiş olup, ART grubunda tespit edilememiştir. F her üç grupta da mevcut olup en yüksek GMART (2167) grubunda görülmüş en düşük ise ART grubunda (41) saptanmıştır. T₃ aşamasında ise, Ca/P oranının en yüksek GMART grubunda (1,42), en düşük ise ART grubunda (1,28) olduğu belirlenmiştir. Ag elementi GF grubunda (14443) en yüksek, GMART grubunda en düşük (5644) olarak izlenmiş olup ART grubunda tespit edilmemiştir. F elementi, en yüksek ART (2358), en düşük ise GF grubunda izlenmiştir. Gruplar kendi içlerinde karşılaştırıldığında, GF grubunda Ca/P oranının ve Ag'nin T₂'den T₃'e geçişte azaldığı, F'nin ise T₂'den T₃'e geçişte arttığı izlenmiştir. ART grubunda, Ca/P oranının T₂'den T₃'e geçişte azaldığı, F'nin ise arttığı tespit edilmiştir. GMART grubunda, Ca/P oranının T₂'den T₃'e geçişte sınırlı düzeyde azaldığı, Ag ve F'nin ise arttığı tespit edilmiştir.

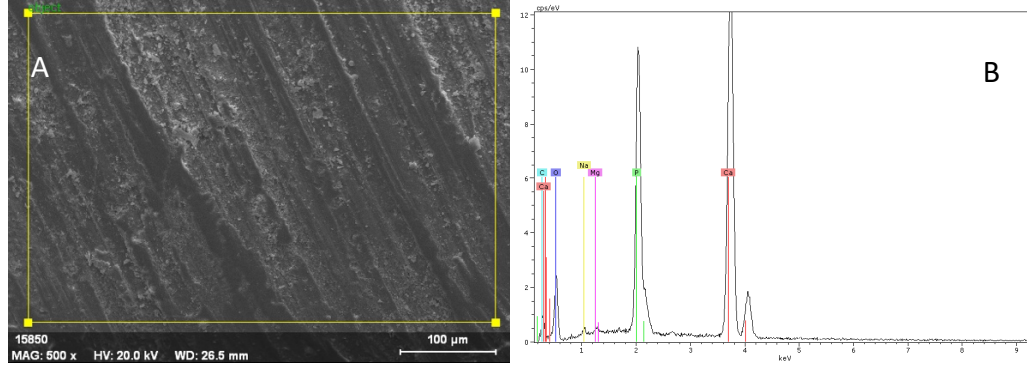
Tablo 4.12. Horizontal Yüzey Haritalama Analizi Bulguları

GRUP	ÖRN	Ca	P	F	O	Ag	C	Na	Mg	Ca/P
	T0	44375	31237	-	5240	-	1530	507	415	1,42
	T1	69515	50353	-	10056	-	3100	1321	1333	1,38
GF	T2	42089	30268	932	5297	20023	3847	847	531	1,39
	T3	54300	41712	1276	5895	14443	1339	1436	1717	1,31
ART	T2	44742	30856	41	5166	-	930	413	218	1,45
	T3	67785	52680	2358	14322	-	2744	2265	2413	1,28
GMART	T2	50050	34930	1685	8528	4236	2797	1296	1379	1,43
	T3	34814	24352	2167	5473	5644	851	945	990	1,42

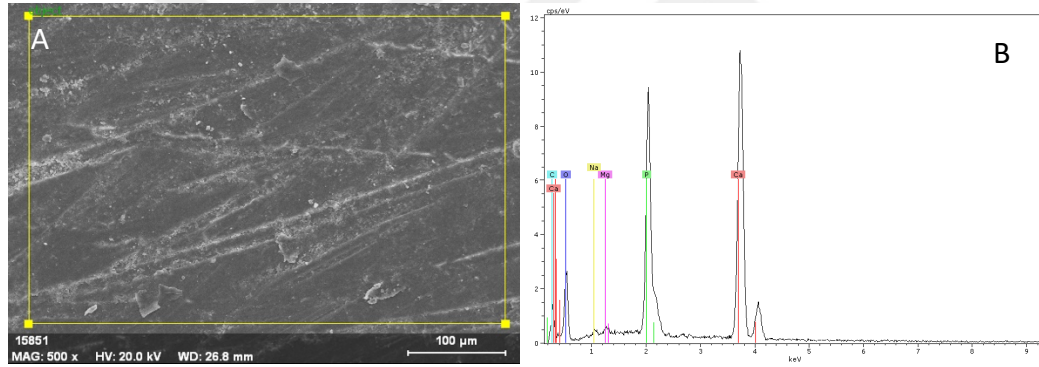
(*Ca:Kalsiyum, P:Fosfor, F:Flor, O:Oksijen, Ag:Gümüş, C:Karbon, Na:Sodyum, Mg:Magnezyum, Ca/P: Kalsiyum fosfor oranı)

Horizontal Yüzey Haritalama Analizine Ait Yüzey Görüntüleri ve Grafikleri

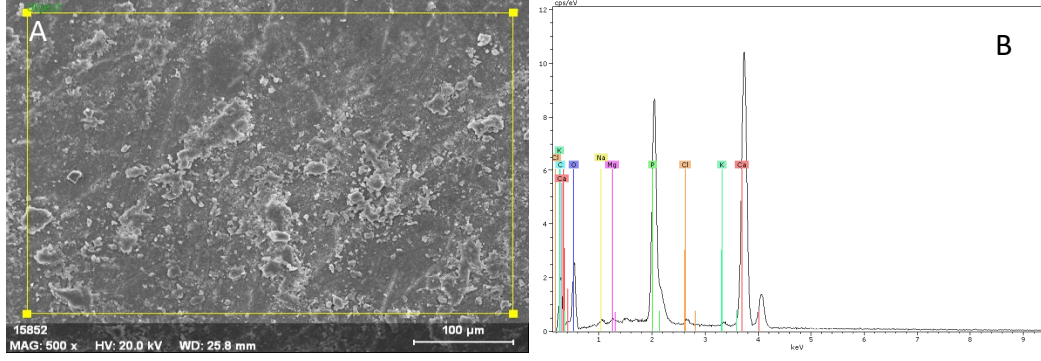
Horizontal yüzey haritalama analizine ait görüntü ve grafikler Şekil 4.9 ile Şekil 4.24 arasında görülmektedir.



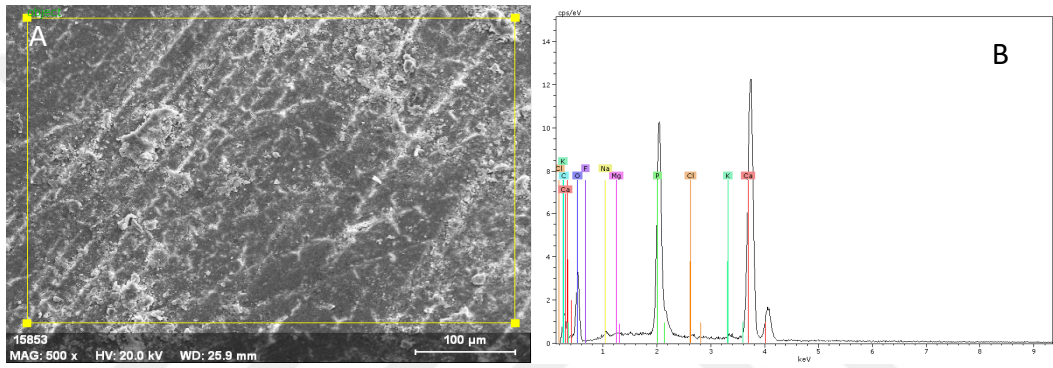
Şekil 4.9. A. T_0 aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_0 aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



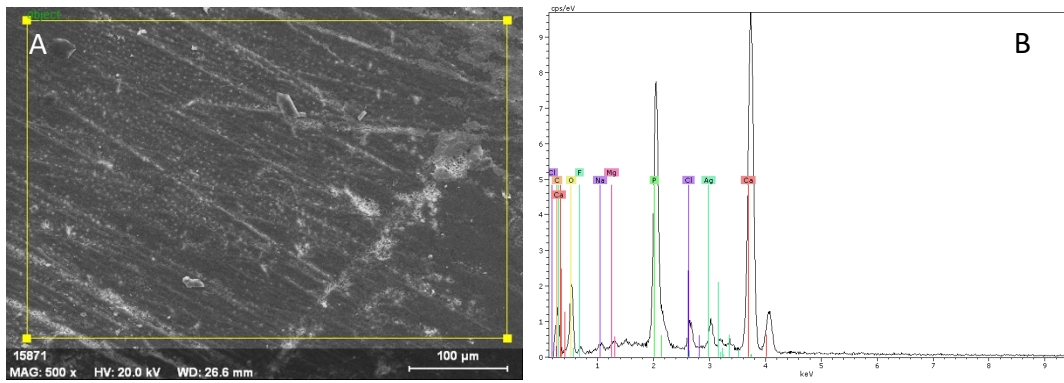
Şekil 4.10. A. T_0 aşamasının 2.örneği olan 74 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T_0 aşamasının 2. örneği olan 74 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



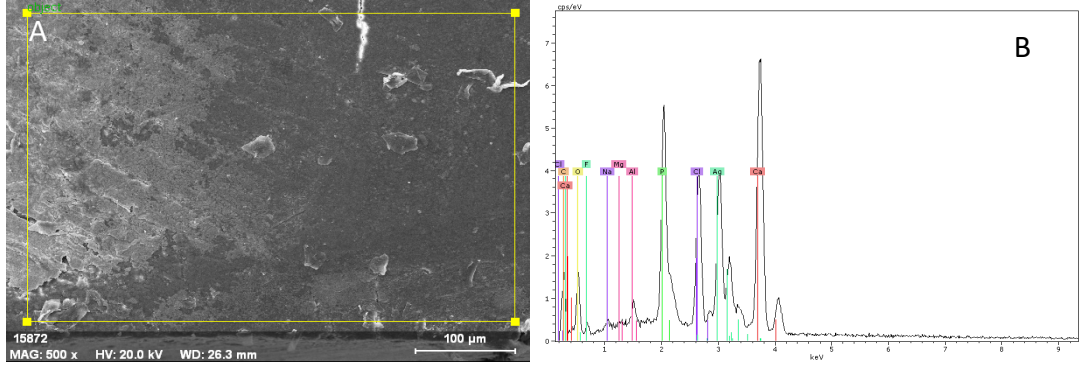
Şekil 4.11. A.T₁ aşamasının 1.örneği olan 75 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₁ aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



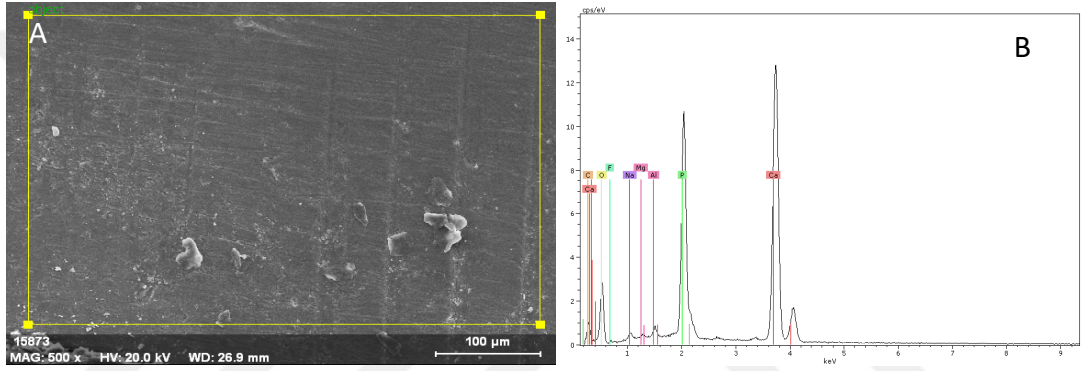
Şekil 4.12. A. T₁ aşamasının 2.örneği olan 76 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. . T₁ aşamasının 2. örneği olan 76 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



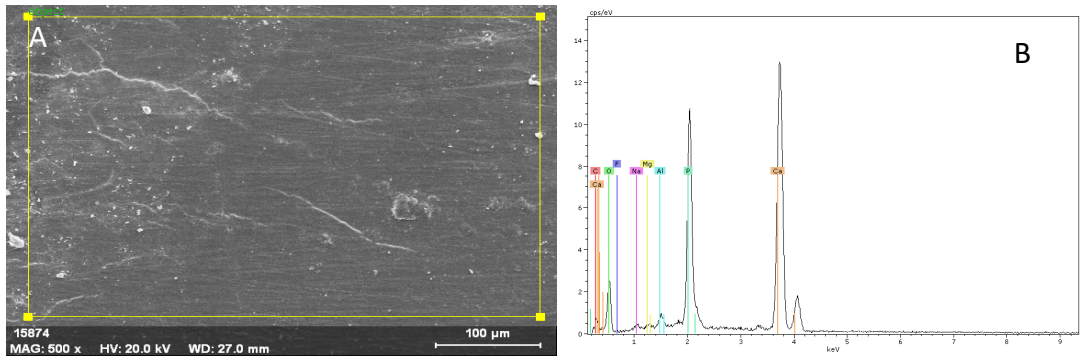
Şekil 4.13. A.GF grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 61 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 61 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



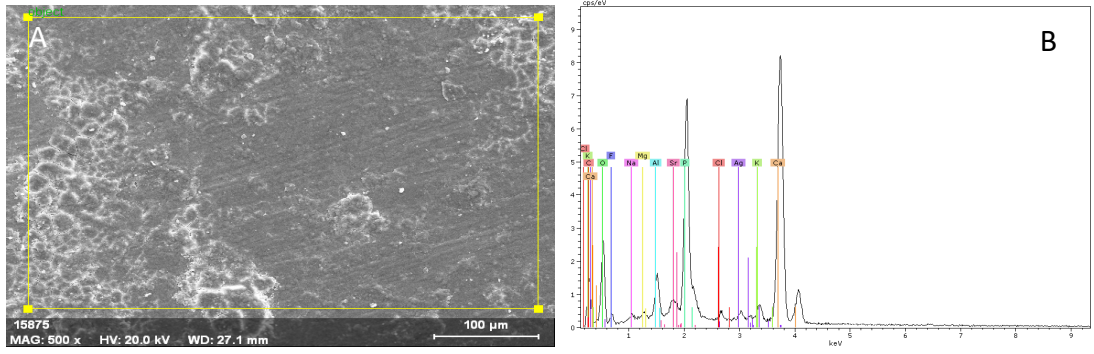
Şekil 4.14. A.GF grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 62 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 62 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



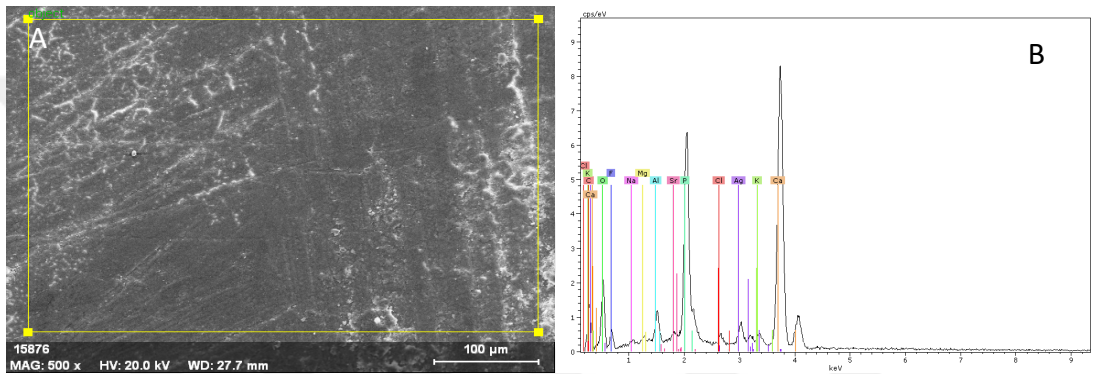
Şekil 4.15. A.ART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 65 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 65 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



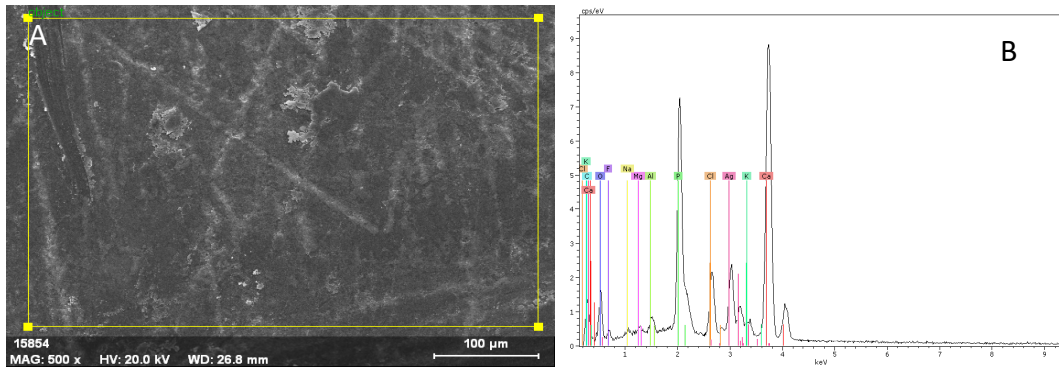
Şekil 4.16. A.ART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 66 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 66 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



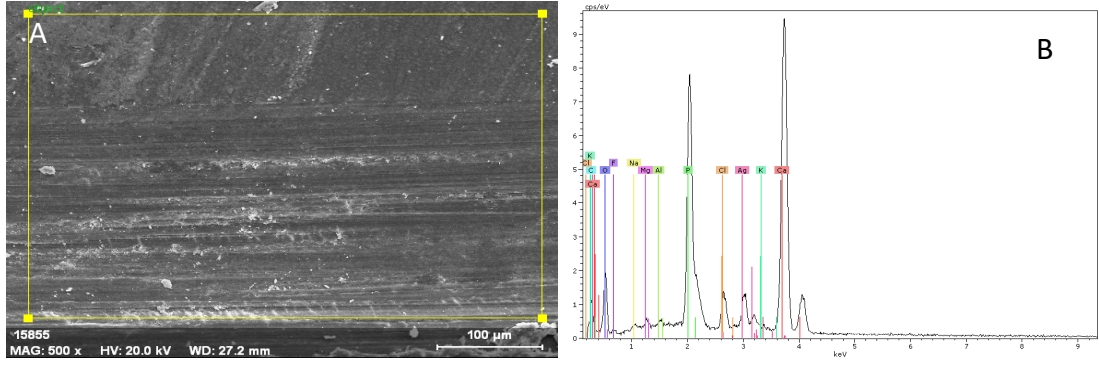
Şekil 4.17. A.GMART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 69 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 69 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



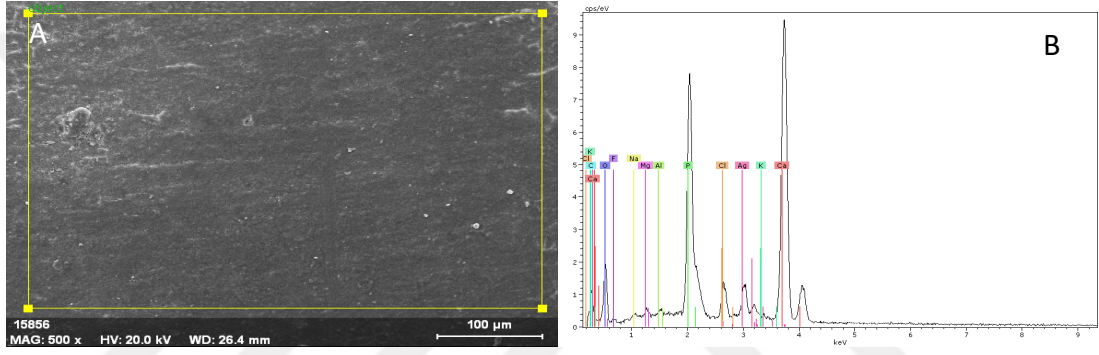
Şekil 4.18. A.GMART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 70 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 70 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



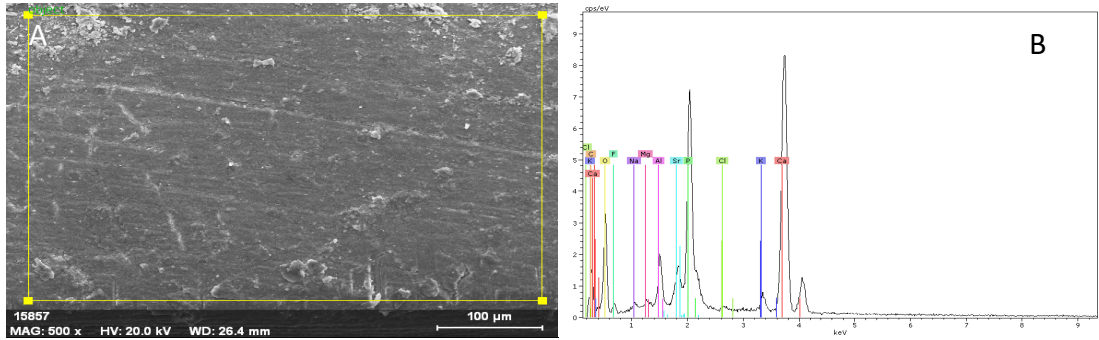
Şekil 4.19. A.GF grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 63 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 63 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



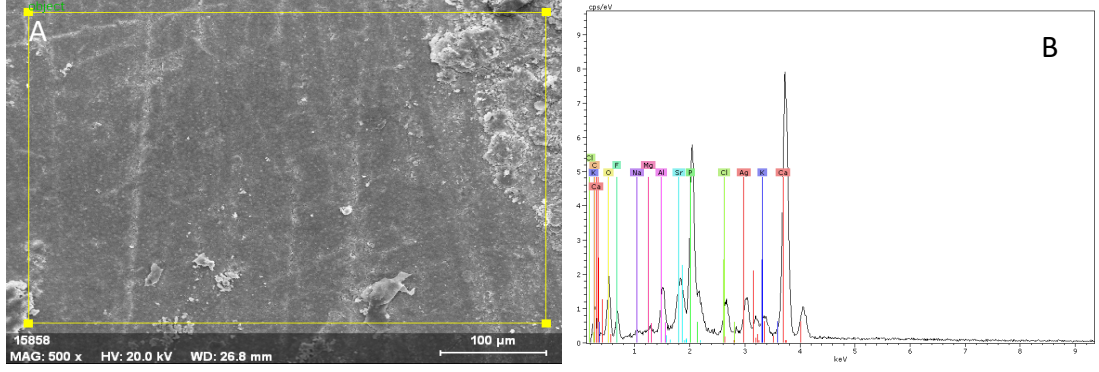
Şekil 4.20. A.GF grubu T₃ aşamasının 2..örneği olan 64 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 64 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



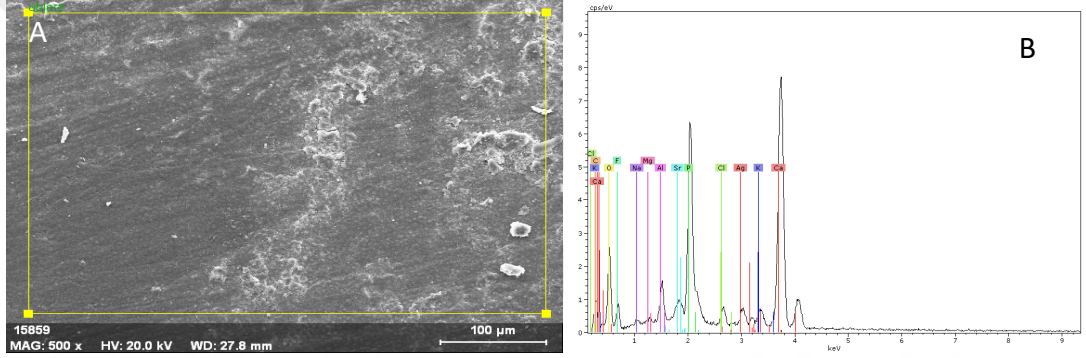
Şekil 4.21. A.ART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 67 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 67 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



Şekil 4.22. A.ART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 68 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 68 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



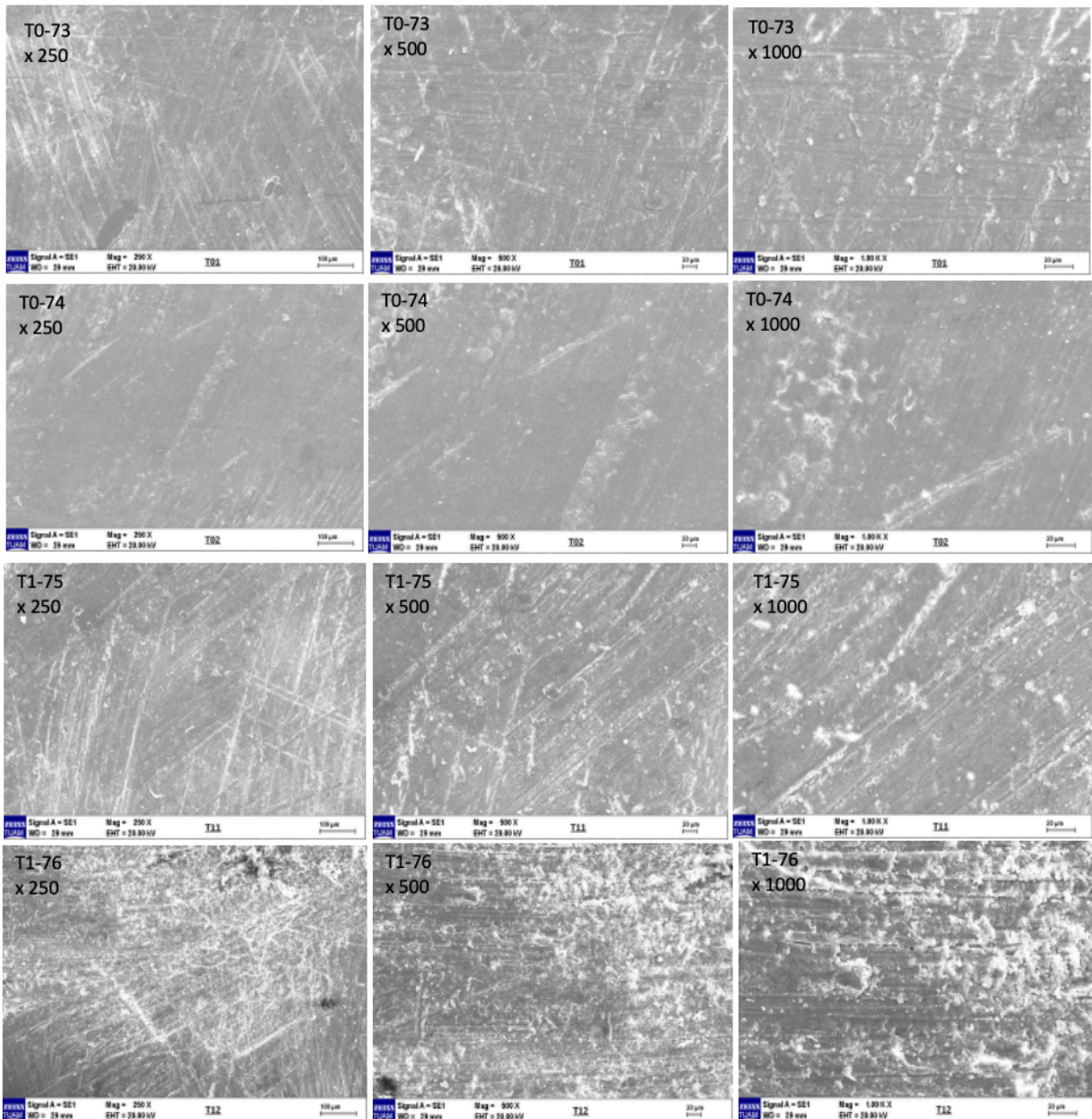
Şekil 4.23. A.GMART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 71 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 71 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



Şekil 4.24. A. GMART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 72 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 72 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

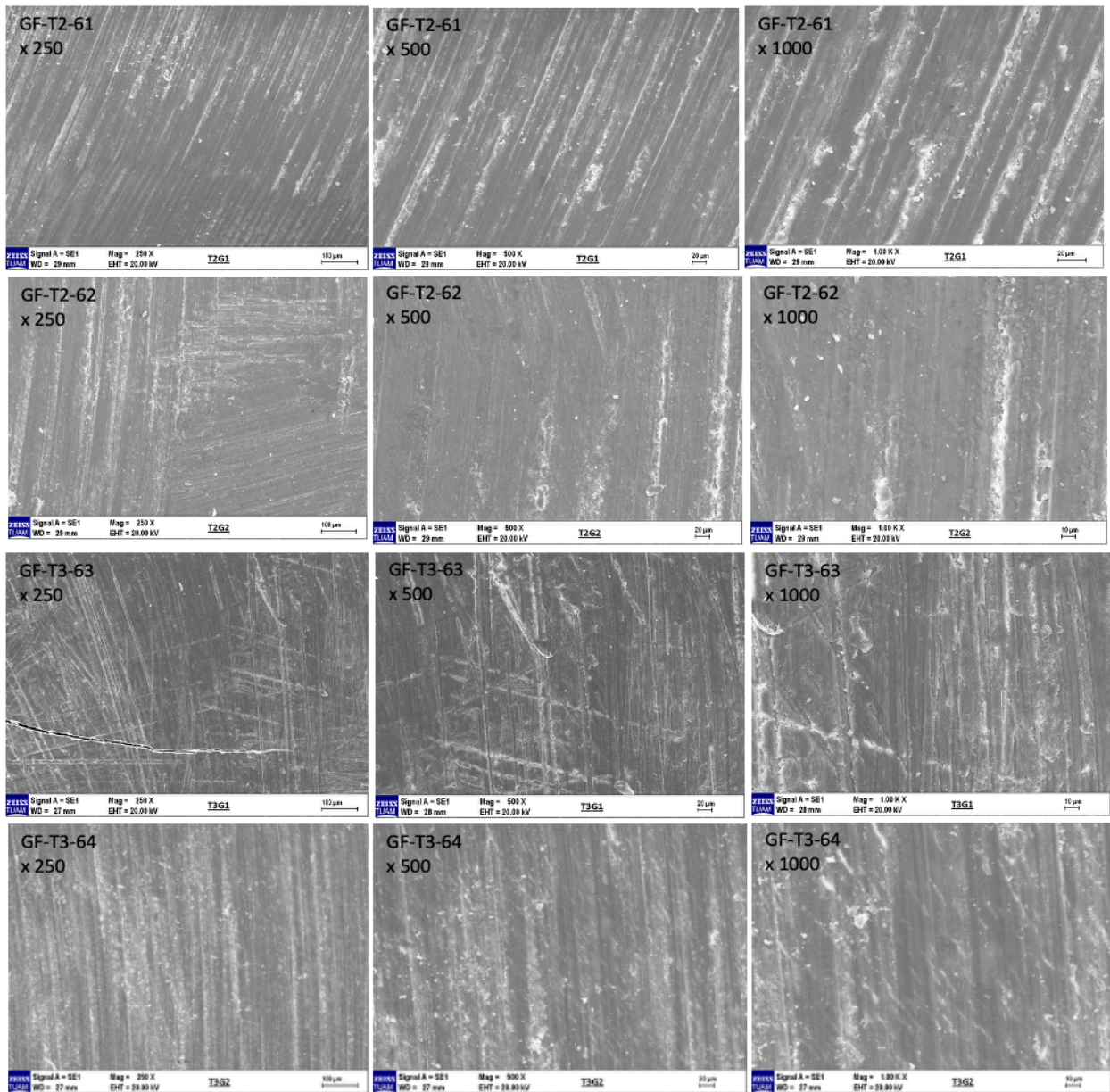
4.2.2. Longitudinal Yüzey SEM Görüntüleri ve Bulguları

T₀ örneklerinde x250 ve x500 büyütmelerde, longitudinal yüzeyde dentin yüzeyinin genel bütünlüğünün korunduğu gözlenmiştir. Daha büyük büyütmelerde yüzeyde sınırlı düzensizlikler bulunmakla birlikte dentin tübülleri belirgin olarak seçilememiştir. T₁ örneklerinde x250 büyütmede yüzeyde düzensizlikler ve pürüzlülüğün arttığı dikkati çekmiştir. yüzeyde granüler yapılar, mineral kaybına bağlı düzensizlikler ve bazı bölgelerde tübül açıklıklarının belirginleştiği x500 ve x1000 büyütmelerde gözlenmiştir. Ayrıca intertübüler bölgelerde yüzey bütünlüğünün bozulmaya başladığı izlenmiştir (Şekil 4.25.).



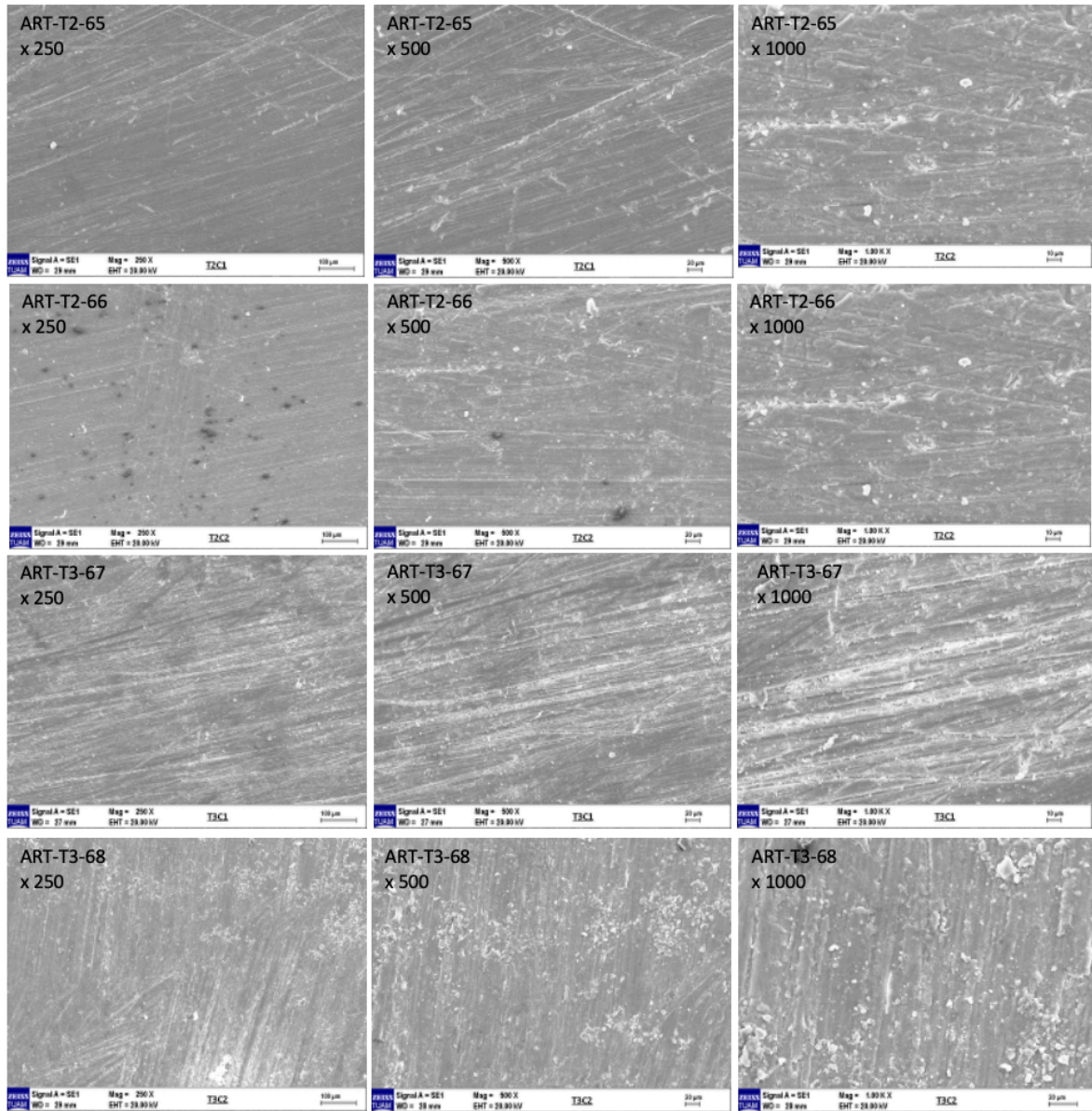
Şekil 4.25. Longitudinal yüzey T₀ ve T₁ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

GF grubuna ait T₂ ve T₃ örneklerinde, ×250 büyütmede, longitudinal yüzey morfolojisinde çizgisel düzensizlikler, pürüzlülük artışı ve intertübüler bölgelerde yüzey bütünlüğünde bozulmalar gözlenmiştir. Daha yüksek büyütmelerde dentin yüzeyi üzerinde parlak beyaz noktacıklar dikkati çekmiş, bu partiküller T₂ ve T₃ aşamalarında farklı yoğunluklarda ve dağılımlarda izlenmiştir. Yüksek büyütmelerde dentin tübüllerinin girişleri daha net seçilmiş olup, yüzey boyunca küçük partiküler oluşumların dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Özellikle T₃ aşamasında dentin tübüllerinin daha belirgin hale geldiği ve tübül çevresinde düzensizliklerin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.26.).



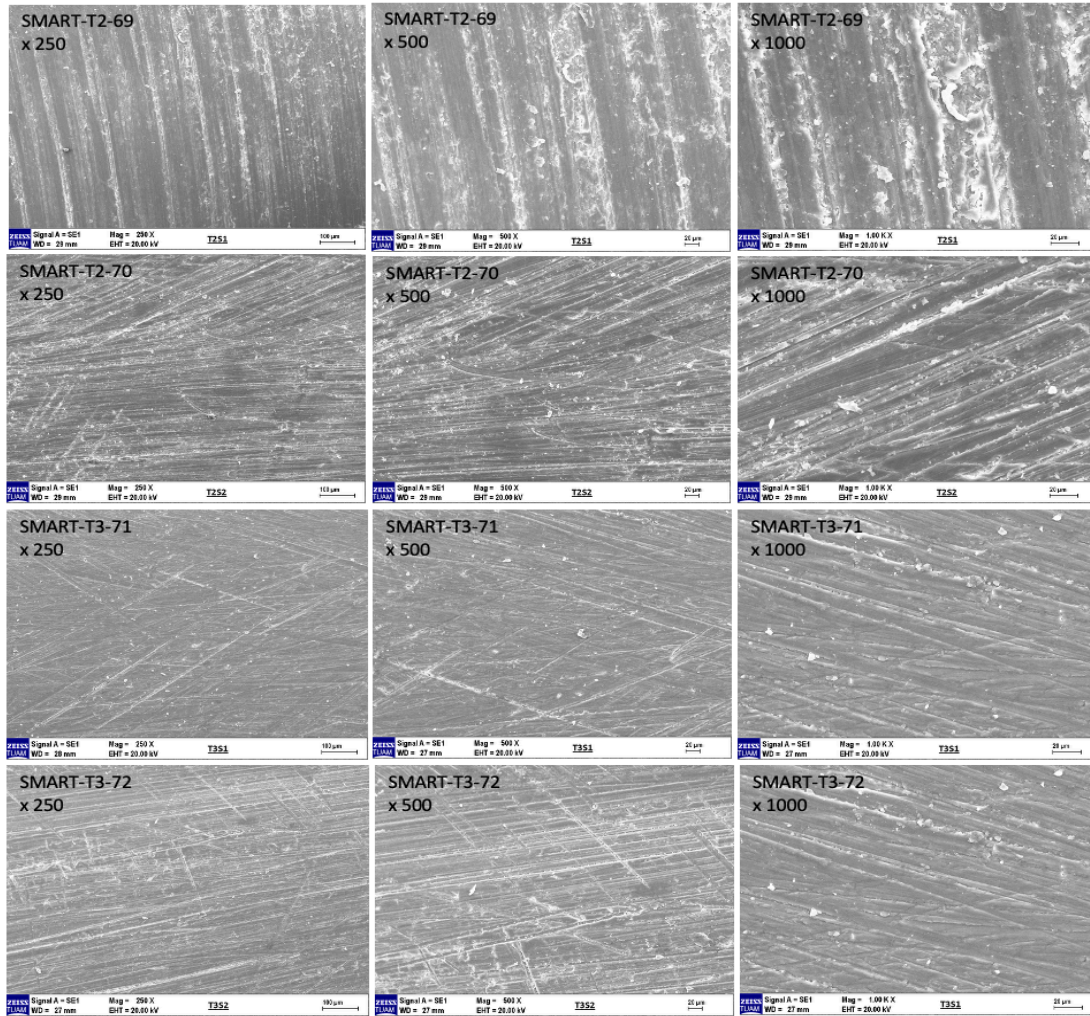
Şekil 4.26. Longitudinal yüzey, GF Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

ART grubuna ait T₂ aşamasında, longitudinal dentin yüzeyinde çizgisel yapılar belirgin şekilde korunmuş olup düşük büyütmelerde yüzeyin genel olarak homojen bir görünüm sergilediği gözlenmiştir. Daha yüksek büyütmelerde (x500 ve x1000) ise yüzeyde düzensizliklerin arttığı ve yer yer partikül benzeri oluşumların bulunduğu saptanmıştır. T₃ aşamasında longitudinal yüzeylerde belirgin çizgilenmeler ve pürüzlülük artışı dikkati çekmiş, ayrıca farklı büyütmelerde yüzey üzerinde dağınık partiküler yapılar izlenmiştir. Yüksek büyütmelerde (x1000) dentin tübüllerinin daha görünür hale geldiği ve tübül çevresinde boşluk oluşumlarının izlendiği görülmüştür (Şekil 4.27.).



Şekil 4.27. Longitudinal yüzey, ART Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Longitudinal kesitlerden elde edilen SEM görüntülerinde, GMART grubunun T₂ aşamasında dentin yüzeyinin çizgisel morfolojisini koruduğu, tübül yönelimlerinin belirgin şekilde izlendiği ve yüzeyde düzensiz yapıda granüler partiküllerin bulunduğu görülmektedir. Yüksek büyütmelerde (x1000) dentin tübüllerinin girişleri daha net seçilmiş olup bazı alanlarda yoğun kontrastlı partiküller dikkati çekmiştir. T₃ aşamasına ait görüntülerde yüzeyin genel olarak daha homojen bir görünüme sahip olduğu, tübül yapılarının devam ettiği ve yer yer küçük granüler oluşumların bulunduğu gözlenmiştir. T₂ ve T₃ aşamalarının her ikisinde de düşük büyütmelerde (x250, x500) yüzey boyunca uzanan çizgisel yapıların korunduğu, yüksek büyütmede ise tübül açıklıkları ve yüzeydeki partiküler oluşumların daha belirgin hale geldiği saptanmıştır (Şekil 4.28.).



Şekil 4.28. Longitudinal yüzey, GMART Grubu T₂ ve T₃ aşamalarına ait x250, x500, x1000 büyütmelerde SEM görüntüleri

Longitudinal Yüzey Haritalama Analizi Bulguları

Tablo 4.13.'te longitudinal yüzey SEM-EDX haritalama analizine ait elemental dağılım sonuçları verilmiştir. T₀ aşaması değerlendirildiğinde Ca/P oranı 1,51 olarak, T₁ aşamasında ise bu oran daha düşük bir değerde (0,82) kaydedilmiştir. T₂ aşamasına ait sonuçlar değerlendirildiğinde, Ca/P oranının en yüksek GMART grubunda kaydedilmiş olup GF ve ART gruplarında (1,48) eşit değerde izlenmiştir. T₂ aşamasında, Ag, en yüksek GF grubunda (512) en düşük ise GMART grubunda (141) izlenmiş olup, ART grubunda tespit edilememiştir. F, en yüksek ART (61) grubunda görülmüş olup en düşük ise GMART grubunda (26) saptanmıştır. GF grubunda ise tespit edilememiştir. T₃ aşamasında ise, Ca/P oranının en yüksek ART grubunda (1,45), en düşük ise GMART grubunda (1,39) olduğu belirlenmiştir. Ag elementi GF grubunda (1701) en yüksek, GMART grubunda en düşük (1) olarak izlenmiş olup ART grubunda tespit edilmemiştir. F elementi, en yüksek GF (298), en düşük ise ART grubunda (113) izlenmiştir. Gruplar kendi içlerinde karşılaştırıldığında, GF grubunda Ca/P oranının ve Ag'nin T₂'den T₃'e geçişte arttığı izlenmiştir. ART grubunda, Ca/P oranının T₂'den T₃'e geçişte azaldığı, F'nin ise arttığı tespit edilmiştir. GMART grubunda, Ca/P oranının ve Ag'nin T₂'den T₃'e geçişte azaldığı, F'nin ise arttığı tespit edilmiştir.

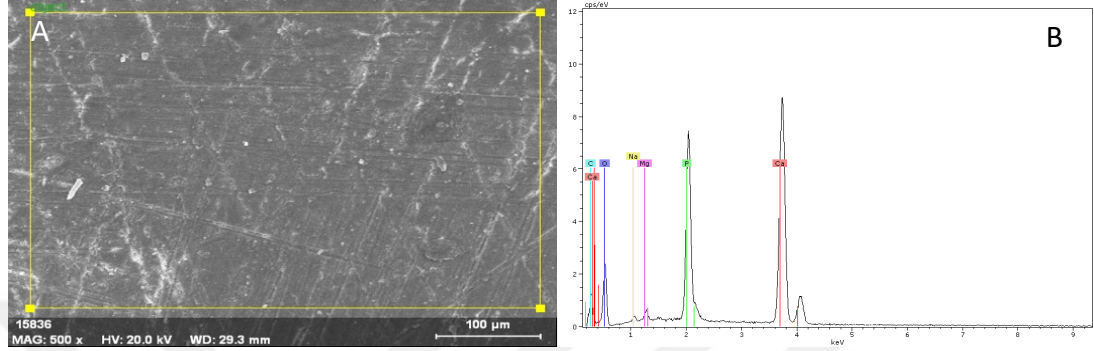
Tablo 4.13. Longitudinal yüzey haritalama analizi

GRUP	ÖR N	Ca	P	F	O	Ag	C	Na	Mg	Ca/P
	T0	55453	36808		8067		3443	744	1448	1,51
	T1	28413	34519		7068		2582	680	592	0,82
GF	T2	65172	44109		9353	512	2999	605	1776	1,48
	T3	58715	41524	298	8292	1701	2712	1105	2415	1,41
ART	T2	45547	30794	61	8392		3014	726	1366	1,48
	T3	47736	32846	113	7504		2171	614	1216	1,45
GMART	T2	45196	30139	26	6776	141	2192	414	1089	1,50
	T3	51559	37023	205	9350	1	3157	731	1598	1,39

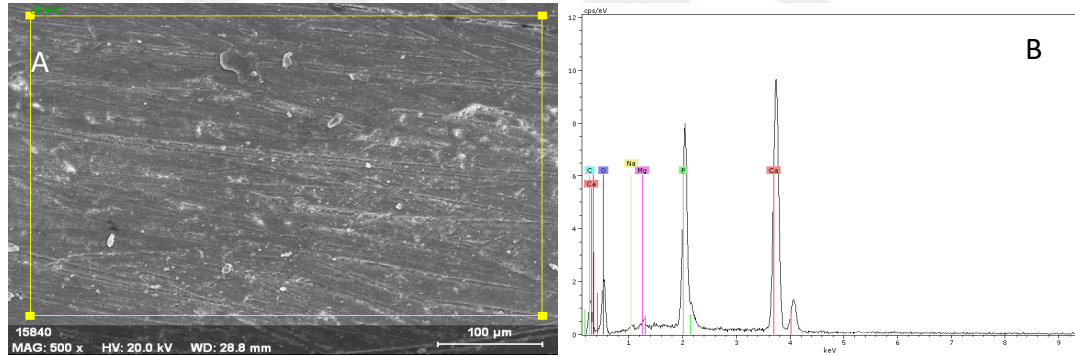
(*Ca:Kalsiyum, P:Fosfor, F:Flor, O:Oksijen, Ag:Gümüş, C:Karbon, Na:Sodyum, Mg:Magnezyum,Ca/P: Kalsiyum fosfat oranı)

Longitudinal Yüzey Haritalama Analizine Ait Yüzey Görüntüleri ve Grafikleri

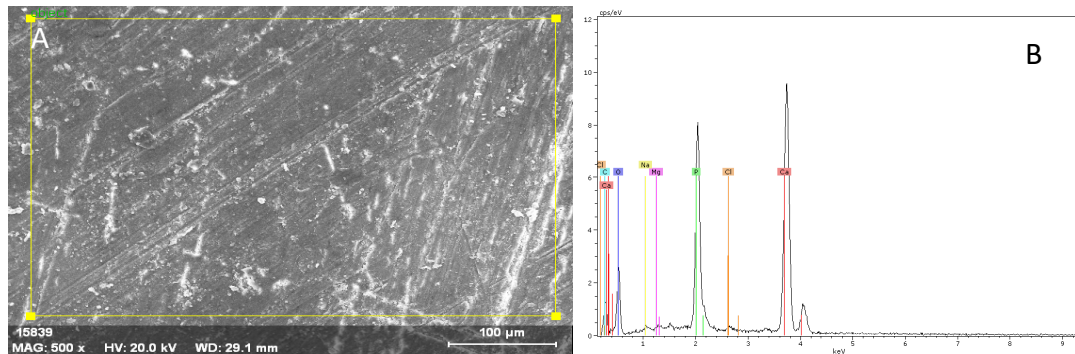
Tüm zaman noktalarına ait örneklerin longitudinal yüzeyde x500 büyütmede alınan, SEM-EDX haritalama analizi görüntü ve grafikleri şekil 4.29-4.44 arasında görülmektedir.



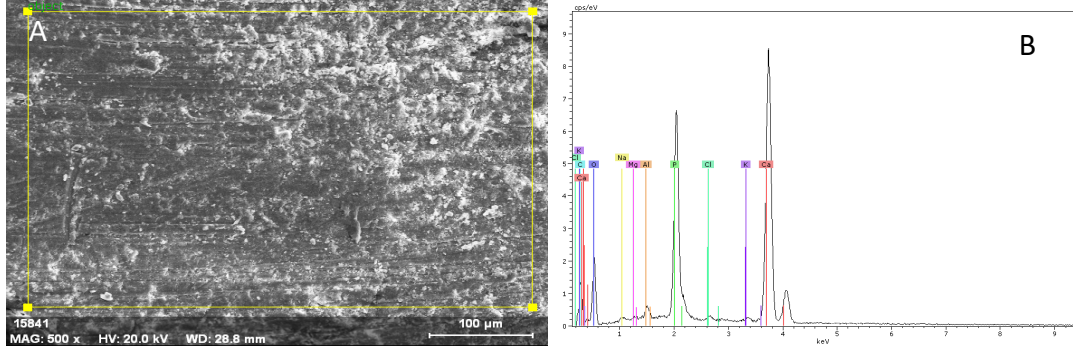
Şekil 4.29. A. T₀ aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₀ aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin horizontal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



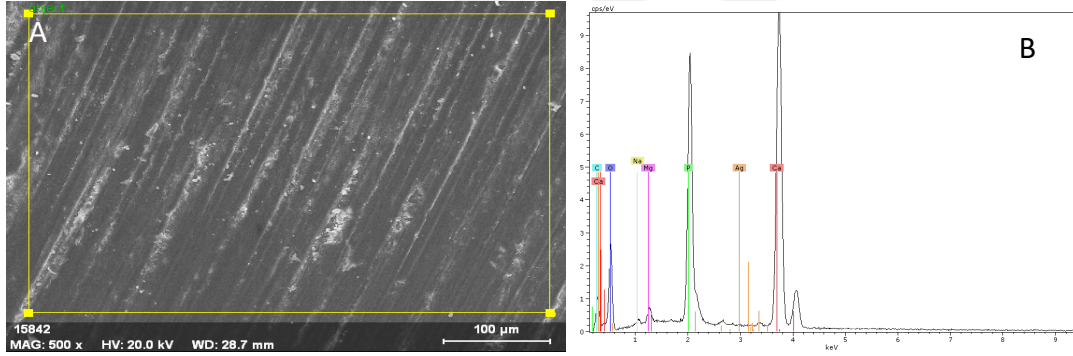
Şekil 4.30. A. T₀ aşamasının 2.örneği olan 74 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₀ aşamasının 2. örneği olan 74 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



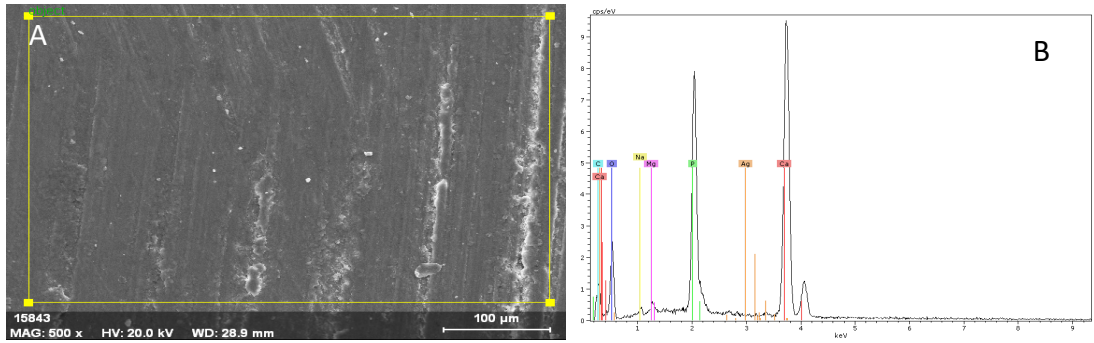
Şekil 4.31. A.T₁ aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi B. T₁ aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



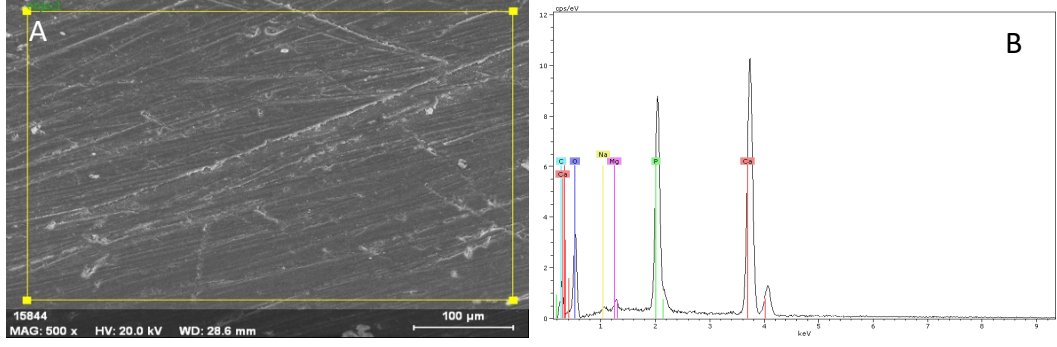
Şekil 4.32. A.T₁ aşamasının 2.örneği olan 76 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₁ aşamasının 2. örneği olan 76 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



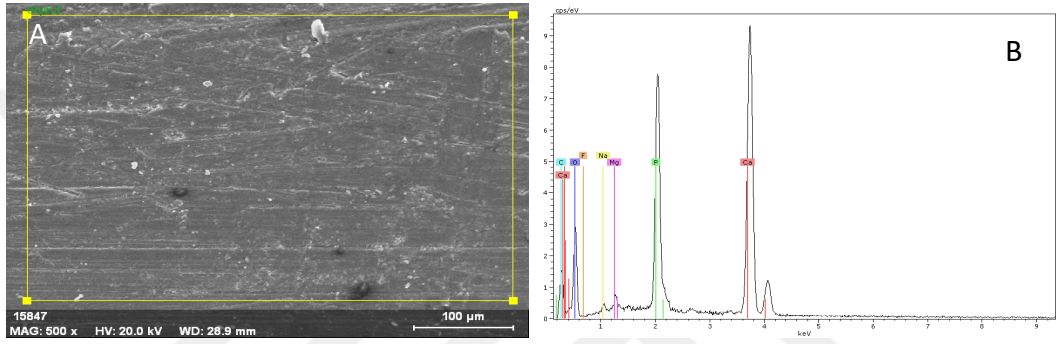
Şekil 4.33. A.GF grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 61 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 61 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



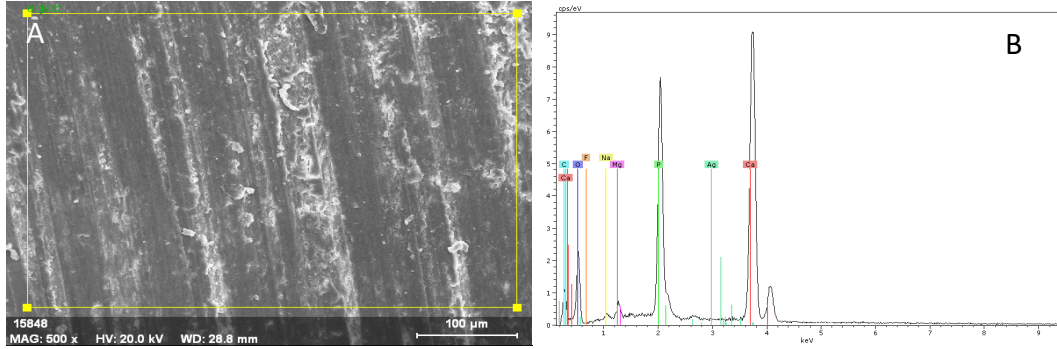
Şekil 4.34. A.GF grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 62 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 62 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



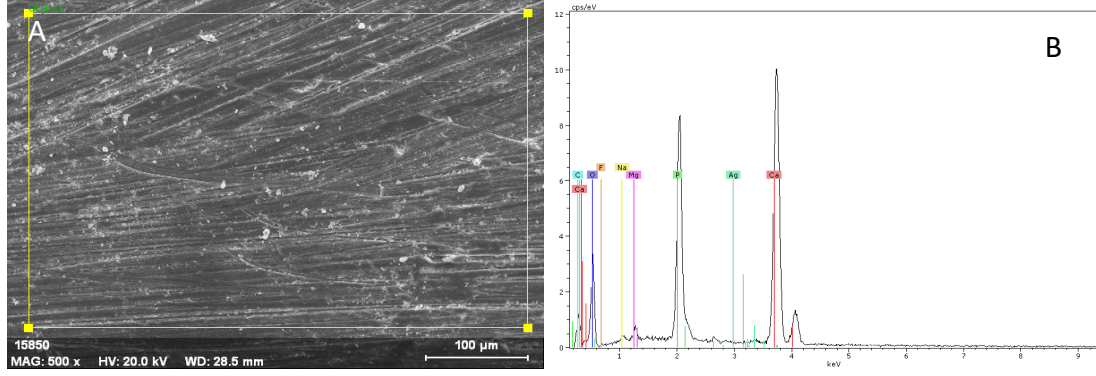
Şekil 4.35. A. ART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 65 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 65 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



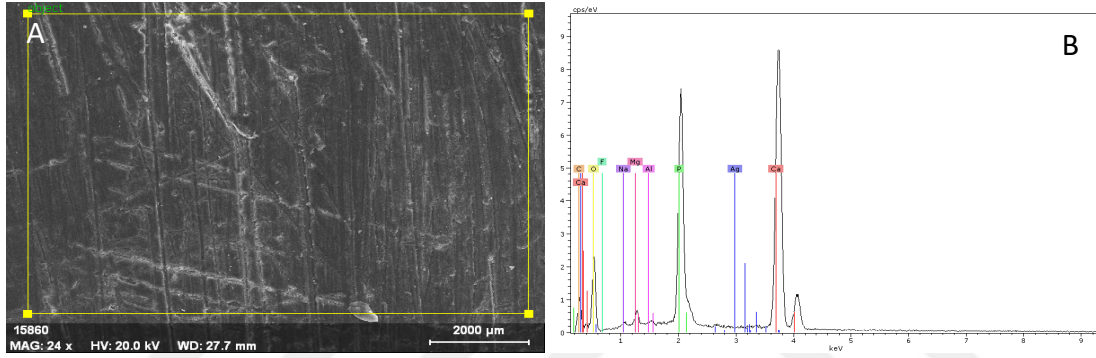
Şekil 4.36. A.ART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 66 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 66 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



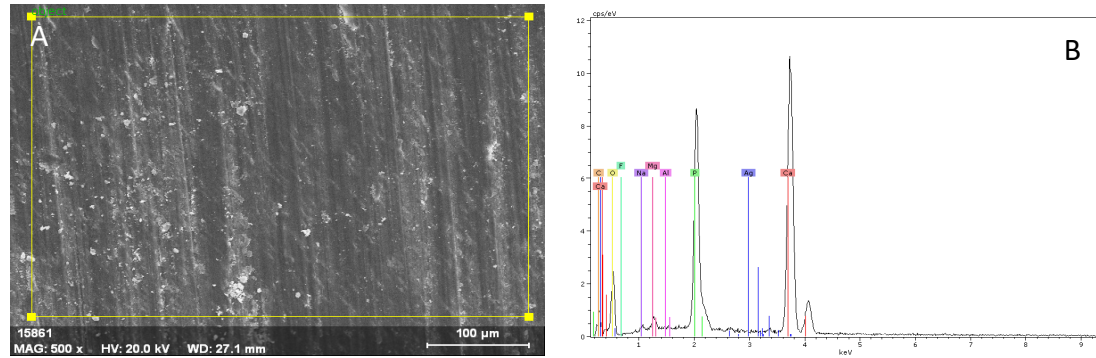
Şekil 4.37. A.GMART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 69 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 69 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



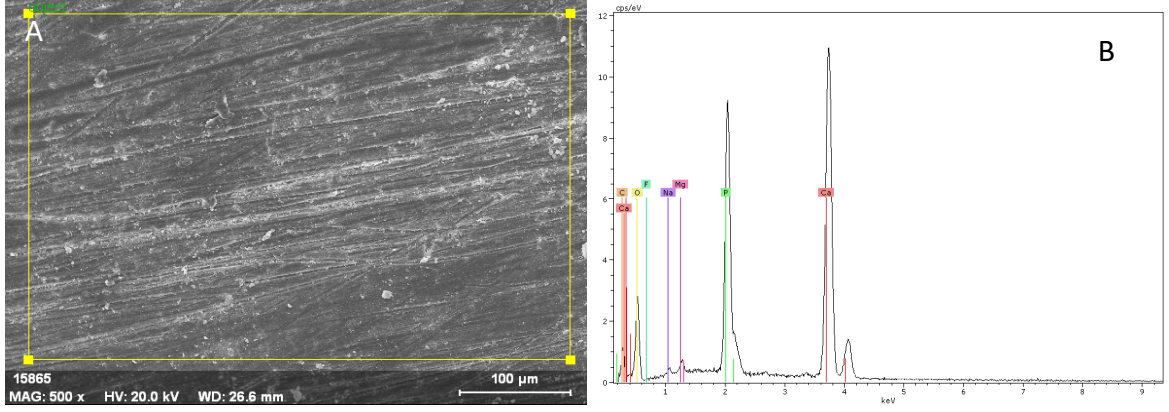
Şekil 4.38. A.GMART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 70 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 2. örneği olan 70 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



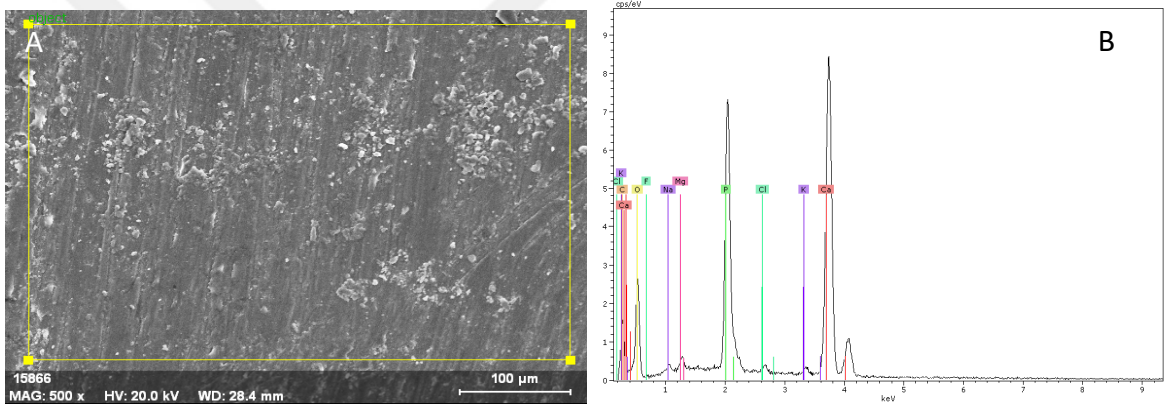
Şekil 4.39. A.GF grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 63 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 63 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



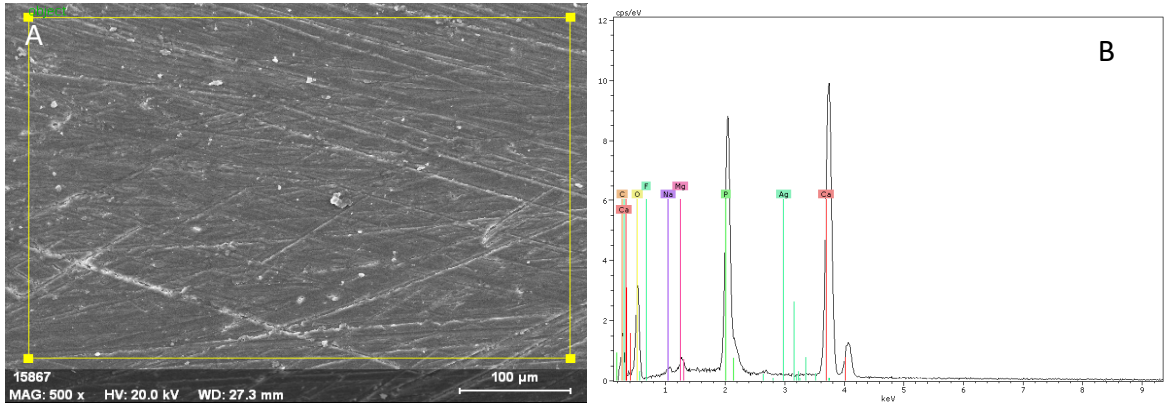
Şekil 4.40. A. GF grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 64 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 64 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



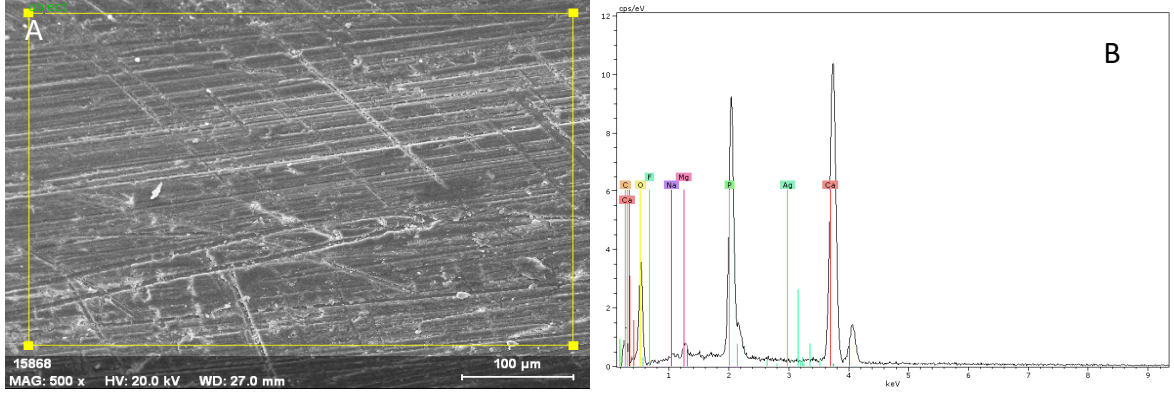
Şekil 4.41. A.ART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 67 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 67 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



Şekil 4.42. A.ART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 68 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 68 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



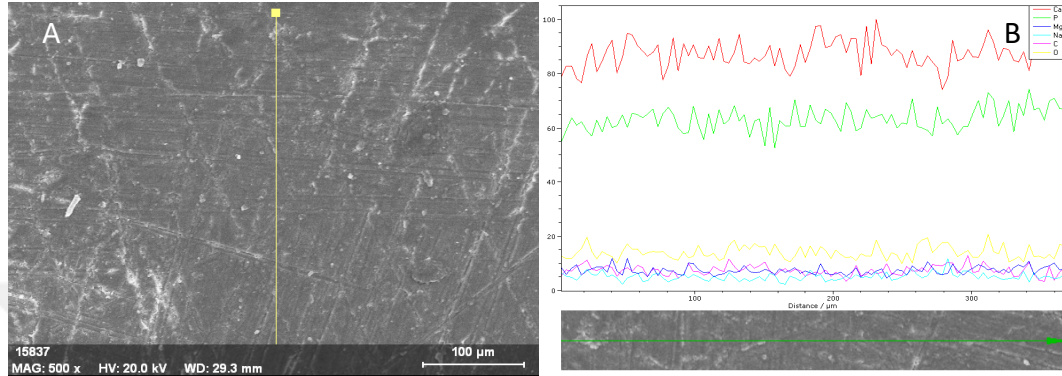
Şekil 4.43. A. GMART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 71 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₃ aşamasının 1. örneği olan 71 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi



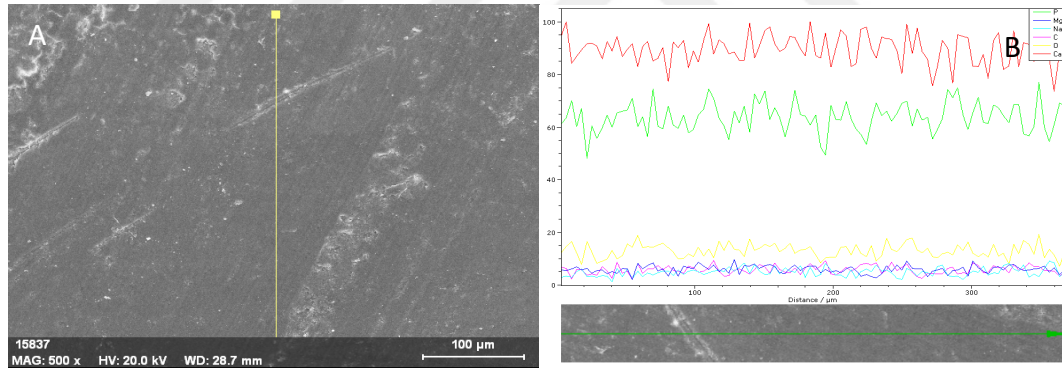
Şekil 4.44. A.GMART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 72 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B.GMART grubu T₃ aşamasının 2. örneği olan 72 numaralı örneğin longitudinal yüzey haritalama analizine ait elementel dağılım grafiğinin gösterilmesi

Longitudinal Yüzey Çizgisel Analiz Görüntü ve Grafikleri

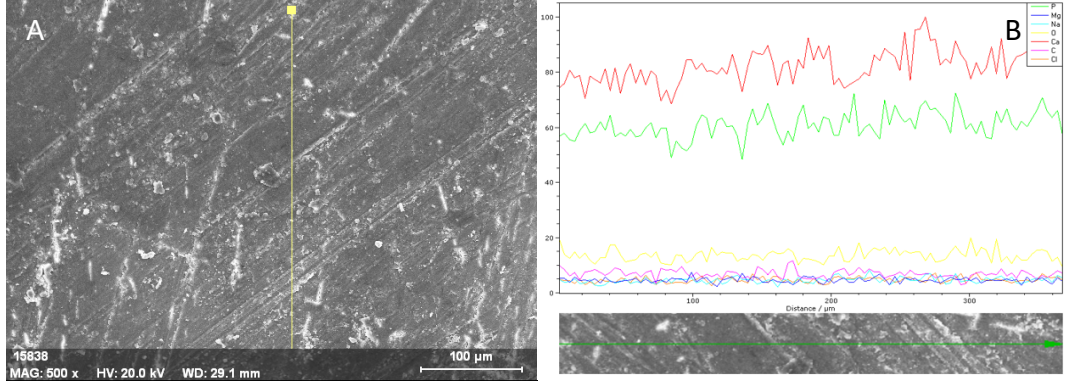
Tüm zaman noktalarına ait örneklerin longitudinal yüzeyde x500 büyütmede alınan,SEM-EDX çizgisel analizi görüntü ve grafikleri Şekil 4.45. ile Şekil 4.60. arasında görülmektedir.



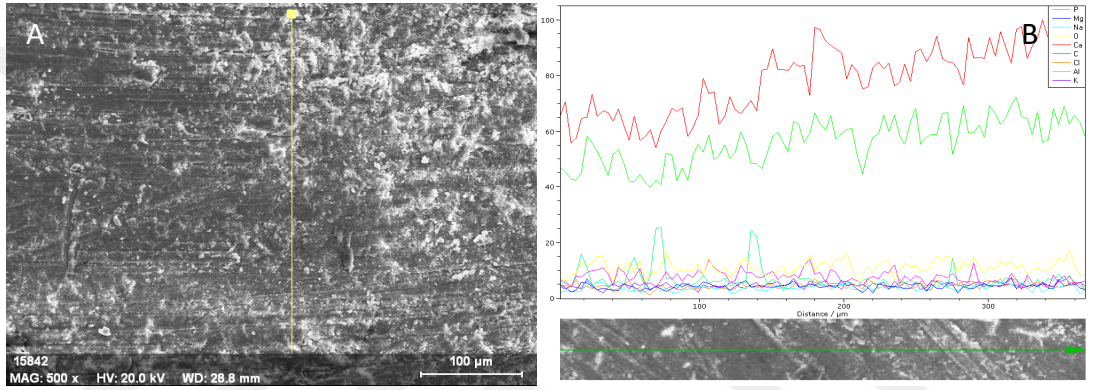
Şekil 4.45. A. T₀ aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₀ aşamasının 1. örneği olan 73 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



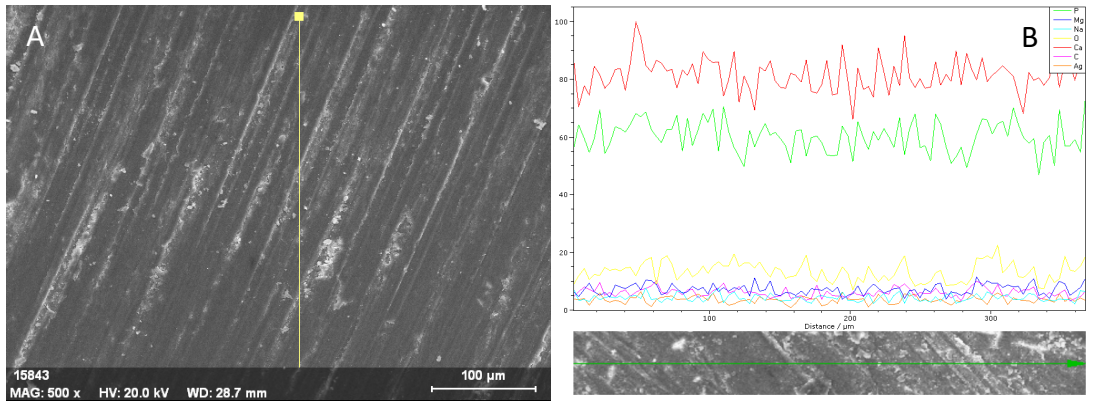
Şekil 4.46. A.T₀ aşamasının 2. örneği olan 74 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₀ aşamasının 2. örneği olan 74 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



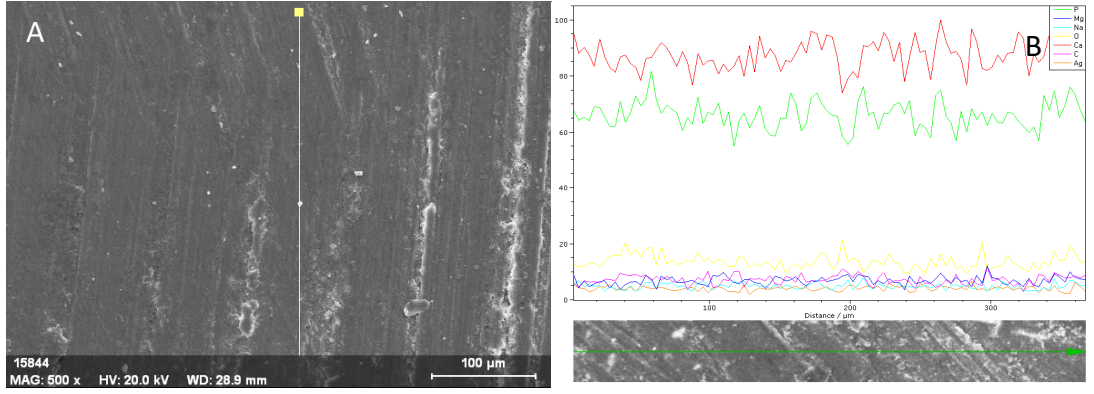
Şekil 4.47. A. T₁ aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₁ aşamasının 1. örneği olan 75 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



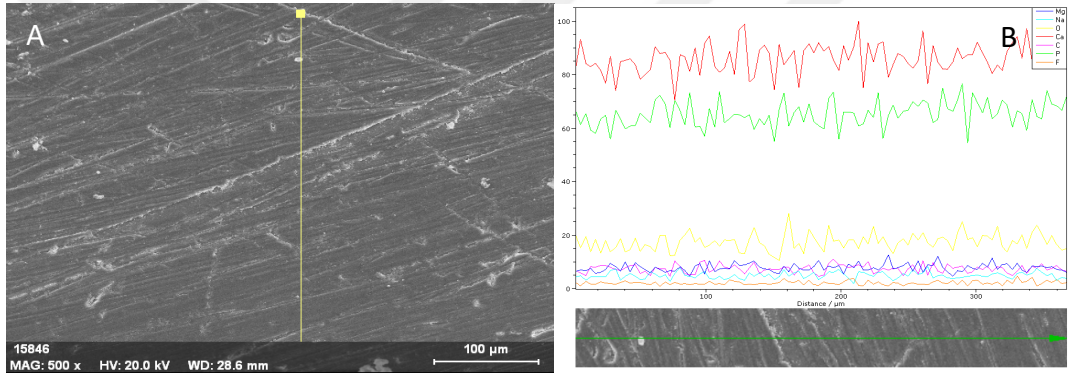
Şekil 4.48. A. T₁ aşamasının 2. örneği olan 76 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. T₁ aşamasının 2. örneği olan 76 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



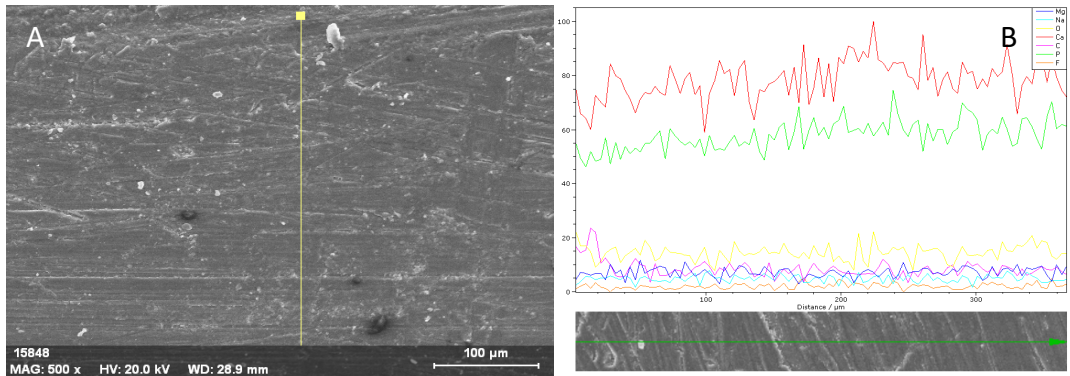
Şekil 4.49. A. GF grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 61 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 1. örneği olan 61 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



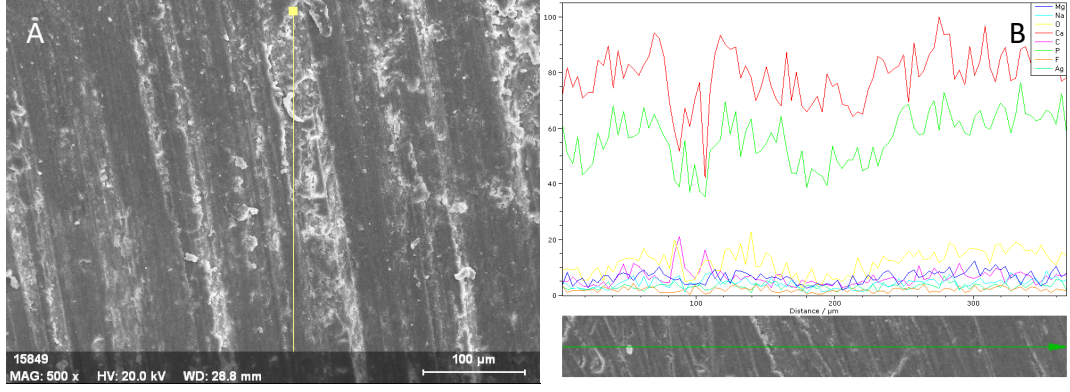
Şekil 4.50. A.GF grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 62 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 62 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



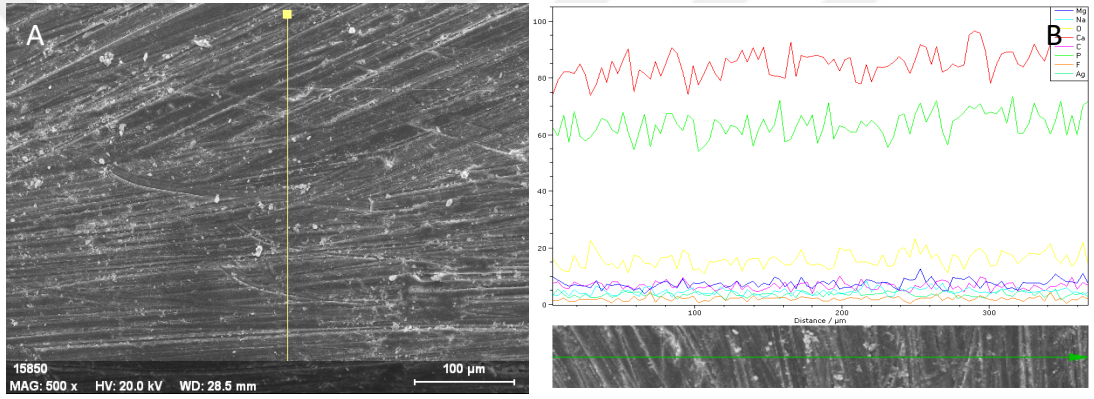
Şekil 4.51. A.ART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 65 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 65 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



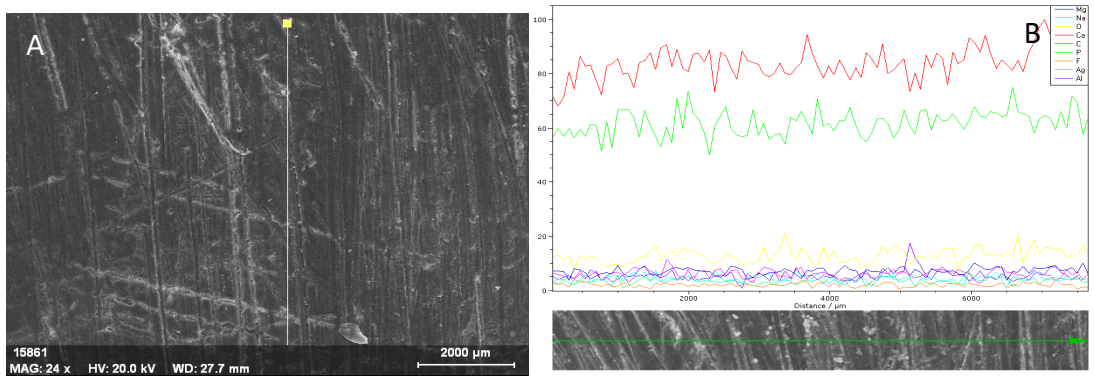
Şekil 4.52. A.ART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 66 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. ART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 66 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



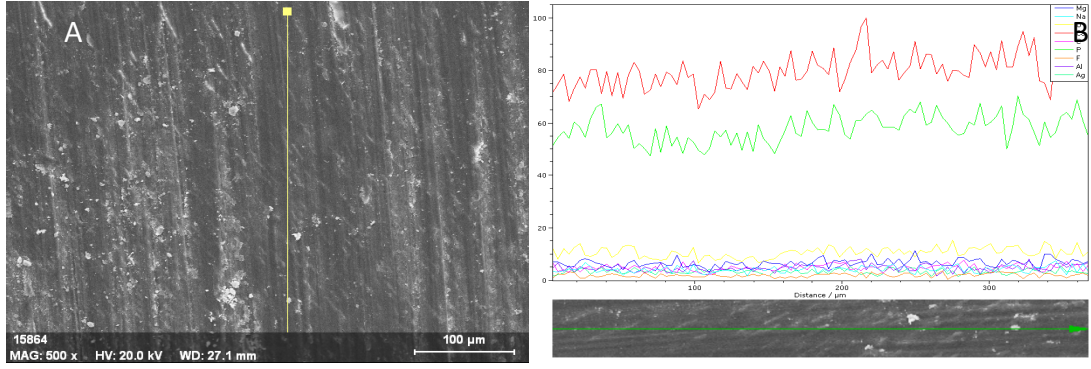
Şekil 4.53. A.GMART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 69 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 1.örneği olan 69 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



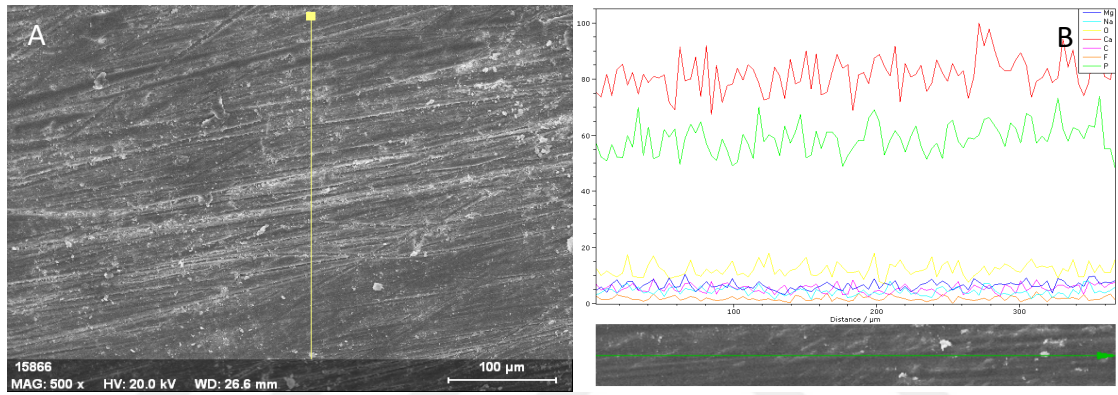
Şekil 4.54. A.GMART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 70 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₂ aşamasının 2.örneği olan 70 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



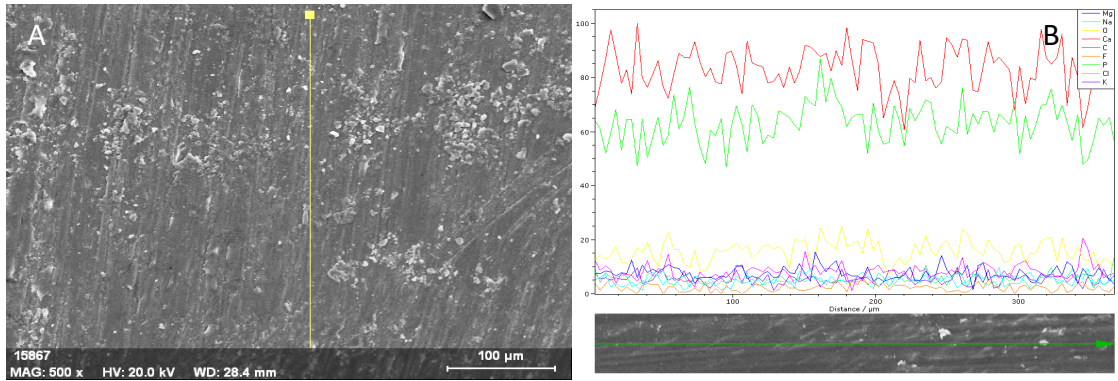
Şekil 4.55. A.GF grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 63 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GF grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 63 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



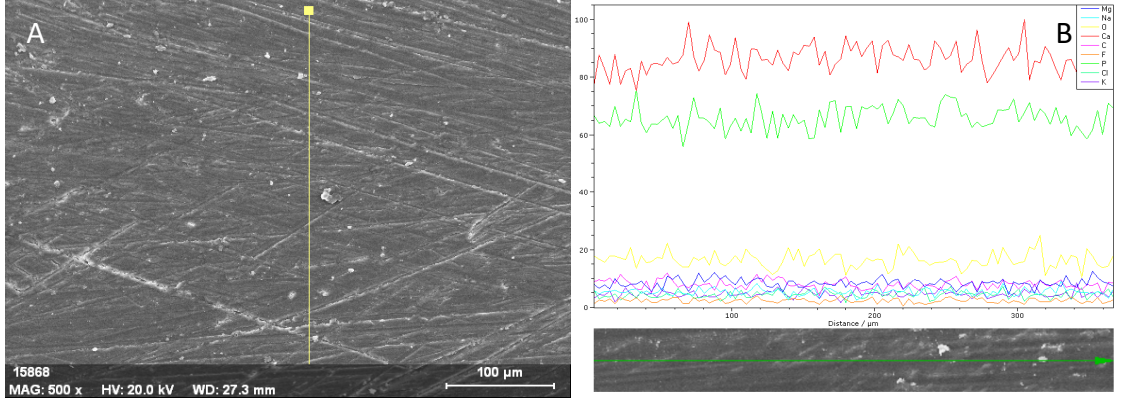
Şekil 4.56. A.GF grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 64 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü **B.** GF grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 64 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



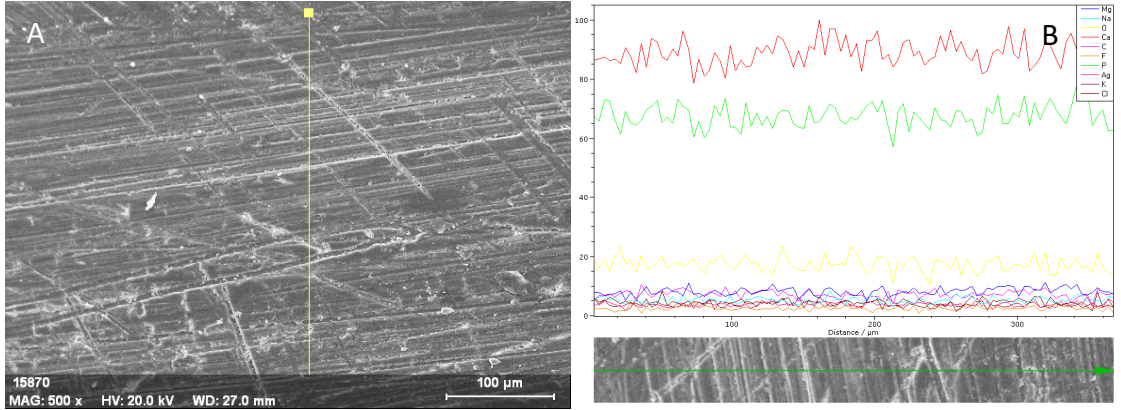
Şekil 4.57. A.ART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 67 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü **B.** ART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 67 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



Şekil 4.58. A.ART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 68 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü **B.** ART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 68 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



Şekil 4.59. A.GMART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 71 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 71 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi



Şekil 4.60. A.GMART grubu T₃ aşamasının 2.örneği olan 72 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait x500 büyütmede SEM görüntüsü B. GMART grubu T₃ aşamasının 1.örneği olan 72 numaralı örneğin longitudinal yüzey çizgisel analizine ait grafiğin gösterilmesi

5.TARTIŞMA

Çocuklarda tedaviye uyumun sağlanması ve kooperasyon problemleri, diş hekimliği pratiğinde en sık karşılaşılan zorluklardan biridir. Kooperasyon problemleri, çoğunlukla dental korku ve kaygıdan kaynaklanmaktadır, çocuğun psikolojik gelişim düzeyi, iğne korkusu, ebeveynin davranış ve tedaviye karşı tutumu, önceki tedavi deneyimleri sırasında karşılaştığı ağrı veya rahatsızlık hissi ve diş hekimi ekibinin yaklaşımı gibi faktörler de bu durumu etkileyebilmektedir. Kooperasyon zorlukları ve kaygı problemleri, genellikle küçük yaş grubu çocuklar ve özel gereksinimli bireylerde ortaya çıkmakta olup dental tedavilerin ertelenmesine sebep olmakta ve sonuçta komplike, zaman alıcı ve maliyetli tedavi gereksinimleri ortaya çıkmaktadır. İsveç'te 4-6 ve 9-11 yaşlarındaki toplam 4505 çocuğu içeren kapsamlı bir çalışmada, dental kaygı ve tedaviye uyum problemleri, dental muayene kayıtları ve randevuya gelme devamlılığı incelenerek değerlendirilmiştir. Çalışmada, diş çürüğü, restoratif tedavi, lokal anestezi kullanımı, davranış yönetimi problemleri ve planlanmış randevuya gelmeme gibi veriler toplanmış ve analiz edilmiştir. Kooperasyon ve tedaviye uyum problemleri, çocukların %10,5'inde tespit edilmiş olup bu problemlerin, daha küçük yaştaki ve tedaviyi reddeden, kaygılı çocuklar arasında daha yaygın olduğu bildirilmiştir. Çalışmada, tedaviye uyumsuz çocukların %27,8'inin bir veya daha fazla kez randevuya gelmediği, bu oranın uyum sağlayan çocuklara göre anlamlı şekilde daha yüksek olduğu belirtilmiş, ağrılı tedavilerin dental kaygıyı artırdığı ve randevu devamlılığını anlamlı şekilde azalttığı vurgulanmıştır. Bu nedenle, tedavilerin ağrı duyulmayacak şekilde yapılması gerektiği belirtilmiştir.⁽²⁰²⁾

Ye Park ve ark.larının⁽²⁰³⁾ yaptığı bir çalışmada, yüksek kaygı düzeyine sahip 76 otizm spektrum bozukluğu bulunan çocukta dental kaygının en yaygın nedenleri arasında diş etinde şişlik hissi, ağrı duyma korkusu ve ağızda garip tat hissi olduğu bildirilmiştir. Bu tür korkular, geleneksel diş tedavilerinde kullanılan lokal anestezi ve döner aletlerin yarattığı baskı ve ağrı hissi ile ilişkilidir ve tedaviye engel teşkil edebilmektedir. Çalışma, dental kaygıyı azaltmak için daha etkili tedavi yaklaşımlarına ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır. Bu bulgular, kooperasyon zorluğu olan çocuklarda ve özel gereksinimli bireylerde, dental kaygının etkin bir şekilde yönetimi ve tedaviye uyumun sağlanmasının, tedavinin başarısı ve ileride oluşabilecek komplike tedavi gereksinimlerinin önüne geçilebilmesi açısından oldukça önemli

olduğunu doğrulamaktadır. Yüksek kaygı düzeyi ve kooperasyon problemleri; preperasyon, izolasyon kontrolü, uzun işlem süresi, ek tedavi seansları ve lokal anestezi gerektiren ağırlı geleneksel restoratif tedavi yaklaşımlarının uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı, günümüzde çağdaş çürük yönetimi felsefesi, diş çürüklerinin yönetiminde minimal invaziv tedavi yaklaşımlarına yönelmiş ve klasik mekanik preperasyon gerektiren restoratif tedavi anlayışını geride bırakmıştır.⁽⁵⁶⁾ Minimal invaziv tedavi yöntemlerinin düşük maliyetli oluşu, işlem süresini kısaltması, lokal anestezi gereksinimini ortadan kaldırması, ağrı ve kaygı düzeyini en aza indirmeleri gibi avantajlarının yanı sıra, klinik başarı açısından da geleneksel restoratif tedavilerle benzer düzeyde sonuçlar sağladığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur.^(204,205)

Bir meta-analiz çalışmasında, 26 randomize kontrollü klinik çalışma incelenmiş ve minimal invaziv tedavi yaklaşımlarının uyum sağlaması güç olan çocuklarda, klinik başarı açısından geleneksel restoratif tedavilerle benzer etkinlik gösterdiği ve çocuklar tarafından daha iyi tolere edilebilen tedavi seçenekleri olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca çalışma, minimal invaziv yaklaşımların lokal anestezi uygulaması ve döner aletlerin çıkardığı ses gibi çocuklarda dental kaygıyı tetikleyen faktörleri ortadan kaldırarak tedaviye uyumu kolaylaştırdığını, riskli ve ek maliyete neden olan genel-anestezi sedasyon uygulamalarına olan ihtiyacı azalttığını da desteklemektedir.⁽²⁰⁶⁾

Abreu ve ark.⁽²⁰⁷⁾ tarafından yapılan bir çalışmada, 6–7 yaşlarındaki çocuklarda geleneksel tedavi grubunda lokal anestezi gereksiniminin daha sık olduğu, koruyucu yaklaşımların ise daha az invaziv işlem ve lokal anestezi ihtiyacı ile ilişkili olarak çocuklar tarafından daha iyi tolere edildiği bildirilmiştir.

Rios Caro ve ark.⁽²⁰⁴⁾ tarafından yapılan randomize kontrollü klinik bir çalışmada, 7 yaşındaki çocuklarda Papacarie™ temelli kemomekanik çürük uzaklaştırma ve ART uygulamalarının, döner alet ve amalgam ile gerçekleştirilen geleneksel restoratif tedavilere göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha kısa operasyon süresi gerektirdiği ve işlem sırasında bildirilen ağrı düzeylerinin belirgin şekilde azaldığı rapor edilmiştir. Aynı çalışmada, ART uygulamalarının daha düşük maliyetli olduğu da vurgulanmıştır.

Sosyoekonomik seviyesi düşük ülkelerde, sağlık hizmetlerine ve diş tedavilerine erişim genellikle sınırlı olmaktadır. Teknik ekipman eksiklikleri ve geleneksel restoratif tedavilerin yüksek tedavi maliyetleri nedeniyle, hastalar tedavi edilememekte ve mevcut diş sağlığı sorunları daha komplike hale gelmektedir. Bu bağlamda, minimal invaziv tedavi yöntemleri, maliyet-etkinlik ve teknik ekipman olmadan kısa sürede uygulanabilmesi açısından geleneksel restoratif tedavilere kıyasla daha uygun tedavi seçenekleri sunmaktadır. Güney Afrika'da, 5-15 yaş arası okul çağındaki 10.000 çocukla yapılan çalışmada, beş farklı minimal invaziv tedavi yaklaşımının, hiçbir tedavi uygulamamaya kıyasla maliyet etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada tüm tedavi yaklaşımlarının özellikle ART ve fissür örtücü gibi uygulamaların, "hiçbir tedavi uygulamama" seçeneğiyle karşılaştırıldığında daha maliyet etkin olduğu gösterilmiştir.⁽²⁷⁾ Bir sistematik derlemede, erken çocukluk çağı çürüğü tedavisinde minimal invaziv tedavi uygulamalarının geleneksel restoratif tedavilere kıyasla özellikle sosyo-ekonomik seviyesi düşük toplumlarda teknik ekipman gereksiniminin az olması ve daha az klinik süreyle uygulanabilir olması sayesinde maliyet-etkinlik açısından öne çıktığı vurgulanmıştır.⁽²⁸⁾

Süt dişlerinin anatomik ve fizyolojik özellikleri nedeniyle çürük ilerlemesi daha hızlı seyretmekte, dentin çürüklerinin mekanik olarak tamamen uzaklaştırılması durumunda pulpal perforasyon riski artmaktadır.⁽⁵⁴⁾ Bu durum, daha koruyucu ve konservatif tedavi yaklaşımlarının tercih edilmesini gerekli kılmakta ve remineralizasyonu hedefleyerek çürüğün ilerlemesini durduran, invaziv çürük temizleme gerektirmemesi sayesinde pulpa canlılığını koruyan ve gereksiz madde kaybını önleyen selektif çürük temizleme, aşamalı çürük tedavisi, ART, GDF gibi minimal invaziv yaklaşımları öne çıkarmaktadır. Yapılan bir meta analiz çalışmasında, geleneksel total çürük temizleme yöntemine kıyasla seçici çürük temizleme ve stepwise tekniğinin pulpal perforasyon riskini anlamlı düzeyde azalttığı bildirilmiştir.⁽⁹⁸⁾ Derin dentin çürüğü lezyonları olan fakat irreversible pulpitis bulguları göstermeyen toplam 154 diş (94 süt ikinci molar ve 60 genç daimi birinci molar diş) üzerinde yapılan bir çalışmada, bir ve iki aşamada uygulanan aşamalı çürük tedavisi ile total çürük temizleme yöntemleri pulpa açılımı ve klinik başarı oranları açısından karşılaştırılmıştır. Total çürük uzaklaştırma yapılan gruptaki dişlerin pulpa

açılma oranı (%22), bir (%6) ve iki seansta (%8) uygulanan aşamalı çürük temizleme yöntemlerine göre anlamlı şekilde daha yüksek bulunmuştur.⁽²⁰⁸⁾

Yapılan bir anket çalışmasında da diş hekimlerinin çoğunluğunun, süt dişlerinde çürük lezyonlarına müdahaleyi ileri aşamalara bırakmayı veya yalnızca minimal invaziv müdahaleler ile sınırlı kalmayı tercih ettiği görülmektedir. Bu tutum, minimal invaziv yaklaşımların klinik kullanımını desteklemektedir.⁽⁶⁰⁾

Kooperasyon güçlüğü yaşanan çocuk hastalarda, tükürük kontrolünün zor olması, etkin izolasyon gerektiren nem hassasiyeti, adeziv sistemlerin kullanıldığı restoratif tekniklerin başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle çocuk hastalarda, kısa sürede ve tek aşamada uygulanabilen, daha az hassasiyet gerektiren ve izolasyon problemlerinden daha az etkilenen tedavi yaklaşımları bu konuda da avantaj sağlamaktadır. Crystal ve ark.⁽¹²¹⁾ GDF uygulamasının kavite preperasyonu veya diğer restoratif tedavilere kıyasla daha az izolasyon hassasiyeti gerektirmeleri nedeniyle özellikle kooperasyon zorluğu yaşayan çocuklarda kolaylık sağladığını bildirmiştir. Ayrıca, Sidhu ve ark.⁽⁷³⁾ da CİS materyallerinin adeziv sistemlere ihtiyaç duymadan kimyasal adezyon gösteren yapısının ve nem toleransının, izolasyon zorluklarının üstesinden gelinmesinde önemli bir avantaj sunduğunu vurgulamışlardır.

Bu nedenle özellikle kooperasyon problemi yaşanan hasta gruplarında, daha az hassasiyet gerektiren, maliyet-etkin ve daha kısa sürede uygulanabilen minimal invaziv tedavi yaklaşımlarının yaygınlaşması ve yeni tedavi alternatiflerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmamızda; üç farklı minimal invaziv tedavi yönteminin, yapay çürük oluşturulmuş süt dişi dentin yüzeyleri üzerinde oluşturduğu mikrosertlik ve mineral densitesi değişiminin incelenmesi ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Topikal florür ajanları, çürüğün önlenmesi ve durdurulmasında uzun yıllardır altın standart olarak kabul edilmekte ve uygulanmaktadır. NaF içerikli topikal florür uygulamaları, düşük florür konsantrasyonlarıyla daha çok başlangıç seviyesindeki çürüklerde etkili olurken, GDF, gümüş iyonlarının antimikrobiyal özellikleri, yüksek florür kapasitesi ve dentin yüzeyindeki bariyer etkisiyle sadece başlangıç seviyesindeki çürükleri değil kavitasyon oluşmuş ileri düzeydeki çürükleri de durdurarak ilerlemesini engellemektedir. Okul öncesi 3–5 yaş aralığındaki çocuklarda

yapılan bir çalışmada, %38'lik GDF ile %5'lik NaF verniğinin dentin çürüklerini durdurma etkinliği karşılaştırılmış ve 30 aylık takip sonunda çürük durdurma oranlarının GDF grubunda %84,8, NaF grubunda ise %34,8 olduğu bildirilmiştir. Bu bulgular, GDF'nin NaF verniğine kıyasla özellikle dentin çürüklerinde daha üstün çürük durdurma etkisine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.⁽¹⁵⁵⁾

Mei ve ark.⁽¹⁴²⁾ da, GDF uygulaması sonrası dentin yüzeyinde floroapatit formasyonunu SEM ve XRD analizleri ile doğrulamış ve bu kristallerin HA'ya kıyasla daha düşük çözünürlük göstererek asidik koşullara karşı daha yüksek direnç sağladığını bildirmiştir. Bu doğrultuda, GDF'nin dentin yüzeyini asit saldırılarına karşı daha dirençli hale getirdiği görülmektedir.

Korwar ve ark.⁽²⁰⁹⁾ larının 2015 yılında yaptığı bir çalışmada tip VII CİS, GDF ve CaOH, indirekt pulpa kaplaması materyali olarak kullanılmış ve pulpa üzerindeki etkileri karşılaştırılmış olup hiçbir grupta inflamasyon bulgusuna rastlanmamıştır. GDF ve tip VII CİS'in kontrol grubuna kıyasla tersiyer dentin oluşumunu anlamlı oranda artırdığı bildirilmiştir.⁽²⁰⁹⁾ GDF'nin kavitasyon oluşmuş derin dentin çürüklerinde güvenle kullanılabileceği görülmektedir.

Yapılan bir sistematik derlemede, farklı konsantrasyonlardaki GDF formları karşılaştırılmış ve %38'lik GDF'nin çürük durdurmada %12 ve %30'luk formlara kıyasla anlamlı derecede daha yüksek etkinlik gösterdiği bildirilmiştir.⁽¹²⁸⁾ Benzer şekilde, Horst ve ark.⁽¹²⁶⁾ ve Yee ve ark.⁽¹³⁰⁾'ın yaptığı çalışmalarda %38'lik GDF'nin düşük konsantrasyondaki formlarına kıyasla çürük durdurmada yüksek başarı oranları sağladığını bildirmişlerdir. Bu bulgular, özellikle daha derin dentin lezyonlarında yüksek konsantrasyonlu GDF kullanımının klinik etkinliği artırdığını desteklemektedir.⁽¹²⁴⁾ Amonyaksız GF formları, özellikle çocuk hastalarda keskin koku ve iritan özelliklerin azaltılması, uygulama sırasında hasta kooperasyonunu kolaylaştırması ve klinik kabul edilebilirliği artırması açısından avantajlı bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada, amonyaksız GF'nin pulpal hücreler üzerinde daha düşük sitotoksositeye sahip olduğu ve geleneksel amonyak içeren formlara göre biyouyumluluğunun daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada amonyaksız GF ürünlerinin, amonyak içeren GDF ile aynı aktif bileşenlere (38 % gümüş florür, 5 % florür) sahip olduğu ve remineralizasyon etkinliği açısından anlamlı bir fark göstermediği de bildirilmiştir.⁽¹⁷⁸⁾ Randomize kontrollü klinik bir çalışmada, %38'lik

amonyaklı GDF ile amonyaksız gümüş florür formlarının çürük durdurmadaki etkinliklerinin karşılaştırıldığı ve her iki formülün de benzer klinik başarı gösterdiği bildirilmiştir.⁽²¹⁰⁾ Bu bulgular, amonyaksız GF formunun amonyaklı GDF'ye eşdeğer remineralizasyon kapasitesine sahip olduğunu, çocuk hastalarda kullanımının daha az rahatsızlık hissi yarattığını ve tercih edilebilir olduğunu ve klinik açıdan güvenli bir alternatif sunduğunu desteklemektedir. Bu doğrultuda, çalışmamızda amonyaksız %38'lik GF formunun kullanımı tercih edilmiştir.

Çocuk diş hekimliğinde restoratif materyal seçimi yapılırken; özellikle sınırlı dikkat süresine ve kooperasyon güçlüğüne sahip çocuk hastalarda, kullanılan materyalin çürük önleyici özellik göstermesi, klinik olarak yeterli performans sunması ve tek basamakta uygulanabilir olması önem taşımaktadır. Bu bağlamda, YVCİS'ler, yüksek oranda florür ve kalsiyum gibi terapötik iyonlar salarak demineralize dentinde remineralizasyonu desteklemeleri, uygulama kolaylığı sunmaları ve adeziv sistemlere ihtiyaç duymadan diş dokusuna kimyasal olarak bağlanabilmeleri sayesinde çocuk diş hekimliğinde sıklıkla tercih edilen materyaller arasında yer almaktadır.^(73,76)

Arka grup dişlerde yapılan 6 yıllık bir prospektif çalışmada, YVCİS ile yapılan restorasyonların %86,8 hayatta kalma oranı gösterdiği ve başarılı sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir.⁽²¹¹⁾ Benzer şekilde, 6-7 yaş grubunda yürütülen üç yıllık çalışmada ise YVCİS restorasyonlarının %90'ların üzerinde retansiyon, marjinal adaptasyon ve anatomik form başarıları gösterdiği raporlanmıştır.⁽²¹²⁾ Bir başka çalışma, YVCİS ve rezin kompozit restorasyonlarını süt dişlerinde karşılaştırmış ve her iki materyalin sınıf I ve II kavitelere uygulandığında klinik başarı oranlarının benzer olduğunu bildirmiştir. Özellikle YVCİS ile yapılan restorasyon uygulamalarının sağ kalım oranlarının, tek yüzey restorasyonlarda %94'lerin üzerinde gözlemlendiği belirtilmiştir.⁽²¹³⁾

Yapılan bir sistematik derlemede, çocuklarda YVCİS ile yapılan ART uygulamalarının yüksek klinik başarı oranlarına sahip olduğu ve düşük maliyetli, tek seansta uygulanabilen bir yöntem olarak öne çıktığı bildirilmiştir.⁽⁹¹⁾ Diş hekimine erişimi sınırlı ve sosyo-ekonomik seviyesi düşük toplumlarda ART ile birlikte YVCİS kullanımının başarılı sonuçlar verdiği yapılan çalışmalarda görülmektedir.^(27,214,215) Kırsal bir toplumda, 3-8 yaş arası çocuklarda posterior bölgede yapılan bir çalışmada, YVCİS ile restore edilen ART uygulamalarının 1 yıllık takipte yüksek başarı oranı

sergilediği rapor edilmiştir.⁽²¹⁴⁾ Bu doğrultuda çalışmamızın bir diğer grubunda YVCİS ile uygulanan ART yaklaşımının uygulanması tercih edilmiştir.

Son yıllarda, çürük aktivitesini durdurma ve dişi restore ederek fonksiyonel hale getirme hedeflerini bir araya getiren GMART, minimal invaziv tedavi yöntemleri arasında öne çıkan bir yaklaşım haline gelmiştir. GMART, klasik ART'den farklı olarak, enfekte-yumuşak dentinin el aletleriyle uzaklaştırılmasının ardından kaviteye %38'lik GDF uygulanması ve sonrasında YVCİS ile restorasyon yapılmasını kapsamakta olup GDF'nin antibakteriyel ve remineralize edici özellikleri ile YVCİS'in restoratif ve uzun süreli flor salınımına bağlı antikaryojenik etkilerini bir araya getirerek çürük aktivitesini durdururken dişin yapısal bütünlüğünü de korumayı ve dişe çiğneme fonksiyonunu yeniden kazandırmayı hedeflemektedir.^(13,180) Özellikle son yıllarda GMART tekniğinin etkinliğini değerlendiren çalışmalar, bu yöntemin klinik başarısını destekleyen önemli kanıtlar sunmaktadır.^(13,59,180,216)

Mohapatra ve ark.⁽⁵⁹⁾ tarafından yapılan sistematik bir derlemede, 3–13 yaş aralığındaki çocukları kapsayan dört randomize kontrollü çalışma incelenmiş, GMART uygulamasının özellikle daha kısa uygulama süresi ve düşük maliyet avantajı ile öne çıktığı, ayrıca çocuklar tarafından kabul edilebilirliğinin de geleneksel yöntemlere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu vurgulanmıştır. Tüm bu avantajlarıyla birlikte, GMART'ın klinik başarı oranlarının geleneksel yöntem ve ART ile benzer düzeyde olduğu da bildirilmiştir. Bir başka randomize kontrollü çalışmada da, GMART'ın restoratif başarı açısından geleneksel yöntemlerle benzer sonuçlar verdiği, ancak çocuklar tarafından kabul edilebilirlik oranının anlamlı derecede daha yüksek olduğu bildirilmiştir⁽¹⁸⁰⁾.

GMART'ın başarısı, çürüğün antimikrobiyal olarak kontrol altına alınması ve remineralizasyon ile dentin yapısının güçlendirilmesi ile de doğrudan bağlantılıdır. Yapılan bir çalışmada, COVID-19 pandemisi sırasında aerosol üretmeyen, biyolojik temelli bir yaklaşım olarak GMART'ın çocuk diş hekimliğinde güvenli ve etkili bir seçenek sunduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, %38'lik GDF'nin güçlü antibakteriyel etkisinin kavitasyonlu dentin çürüklerinde mikrobiyal yükü belirgin şekilde azalttığı ve florür içeriği sayesinde demineralize dentinde floroapatit oluşumunu teşvik ettiği belirtilmiştir. Ayrıca, GDF sonrası YVCİS uygulaması ile karyojenik bakterilerin besin kaynağının kesildiği, kavitenin biyolojik olarak dış ortamdan izole edilmesi ile

çürük aktivitesinin durduğu ve remineralizasyon sürecinin derin dentin tabakalarına kadar desteklendiği ifade edilmiştir. Bu sinerjistik etki, yalnızca lezyonun durdurulmasını değil, aynı zamanda dişin fonksiyonel ve yapısal bütünlüğünün korunmasını da mümkün kılmaktadır.⁽²¹⁷⁾ Tüm bu avantajlar göz önünde bulundurularak çalışmamızın son grubunda, %38 amonyaksız GF formu ile birlikte YVCİS kullanılarak GMART yaklaşımı uygulanmıştır.

İn vitro çalışmalarda, çekilmiş diş örneklerinin dentin yüzeylerinin uygun şekilde korunabilmesi için çeşitli saklama solüsyonları kullanılmıştır. Bu amaçla tercih edilen ajanlar arasında timol, distile su, formalin, glutaraldehit ve sodyum azid yer almaktadır.⁽²¹⁸⁻²²⁰⁾ Yılmaz ve arkadaşlarının yaptığı kısa süreli (2 aylık) çalışmada, %0,1 timol, distile su ve kuru ortamda saklanan premolar diş örneklerinin dentin mikrosertlik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.⁽²¹⁹⁾ Benzer şekilde, Aydın ve ark.'nın saklama solüsyonu olarak %0,1 timol, distile su ve glutaraldehidi karşılaştırdığı çalışmada, 2 aylık verilerde anlamlı bir fark bulunmazken, 12 aylık verilerde %0,1 timol ve distile suyun mikrosertlikte anlamlı bir düşüşe yol açmadığı, ancak glutaraldehitin mikrosertlikte anlamlı bir düşüşe neden olduğu bildirilmiştir.⁽²²⁰⁾ Bu bulgular, kısa dönemli saklama koşullarında kullanılan ajanların mikrosertlik üzerinde belirgin bir fark yaratmazken, uzun süreli saklama gerektiren durumlarda %0,1'lik timol ve distile suyun dentin dokusunun yapısal bütünlüğünü korumada daha güvenilir seçenekler olabileceğini ortaya koymaktadır. Yapılan bir başka çalışmada, farklı saklama çözeltilerinde (%0,1 timol, distile su, sodyum azid) mine örneklerinin incelenmesi sonucunda, %0,1 timol çözeltisinin mine yüzey bütünlüğünü koruyarak diğer yöntemlere göre mikrosertlik kaybının daha az görüldüğü ve diş sert dokularının yapısal bütünlüğünü distile suya kıyasla daha etkin şekilde koruduğu bulunmuştur. Ayrıca, hiçbir yöntemin tam sterilizasyon sağlamadığı, ancak %0,1 timol çözeltisinin bakteriyel kontaminasyonu sınırlı bir şekilde azalttığı da vurgulanmıştır.⁽²¹⁸⁾ Bu doğrultuda, çalışmamızda da çekilmiş süt azı dişlerinin uzun dönem (6 ay içerisinde kullanılmak üzere) saklanması amacıyla %0,1'lik timol çözeltisi kullanılmıştır.

Salam ve ark.larının⁽²²¹⁾ yaptığı bir çalışmada, pH siklusu ile yapay çürük oluşturulması yönteminin, dentin mineral yoğunluğu, lezyon derinliği, kristal yapısı, yüzey morfolojisi ve mikrosertlik gibi birçok parametreyi değerlendirmek için en sık

kullanılan model olduğu belirtilmiştir. Çalışmamızda da bu doğrultuda mikrosertlik ve mineral densitelerindeki değişimin değerlendirilmesi amacıyla yapay çürük oluşturma yöntemi olarak pH siklusu modelinin kullanımı tercih edilmiştir.

Mine ve dentin yüzey özelliklerinin değerlendirildiği çalışmalarda genellikle 14 günlük pH siklus modelinin kullanıldığı görülmüş ancak bu çalışmaların sıklıkla daimi dişlerde yapıldığı tespit edilmiştir.^(222,223) Çalışmamızda çekilmiş süt molar dişleri kullanılmış olup, süt dişi dentininin mineral içeriğinin ve başlangıç sertlik değerlerinin daimi dişlere kıyasla daha düşük olduğu bilinmektedir. Ayrıca, süt dişlerinde dentin tübüllerinin daha geniş ve mineralize yapısının daha zayıf olması, demineralizasyonun daha hızlı ilerlemesine yol açmaktadır. Literatürde, bu yapısal özelliklerin çürüğe yatkınlığı ve asit ile pürüzlendirme karakteristiklerini etkilediği, bunun sonucunda süt dişleri için daha düşük başlangıç sertlik değerleri elde edildiği bildirilmektedir.⁽²²⁴⁾ Yapılan çalışmalarda, süt dişlerinin yapısal özellikleri göz önüne alındığında pH siklus süresinin 7-10 güne kadar indirilmesinin önerildiği belirtilmiştir.^(221,224) Kısa süreli pH sikluslarının, klinik olarak gözlenen mineral kaybını temsil etmek için yeterli olduğu ve aşırı demineralizasyonu önleyerek daha güvenilir remineralizasyon değerlendirmeleri sağladığı rapor edilmiştir.⁽²²¹⁾ Bu nedenle, çalışmamızda pH siklus süresinin belirlenmesi önemli bir aşama olmuş ve dentin bütünlüğünü korumak ve üç aşamalı döngüde ölçümlerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla süre 7 gün olarak belirlenmiştir.

Lenzi ve ark.larının⁽²²⁾ yaptığı bir çalışmada süt ve daimi dişlerde pH siklusu protokolü ile yapay olarak oluşturulan etkilenmiş dentinin, doğal çürük lezyonu ile mineral kaybı açısından benzer sonuçlar verdiği gösterilmiştir ve bu durum pH siklusu modelinin her iki dişte etkilenmiş dentin oluşturmak için uygun ve geçerli bir yöntem olabileceğini desteklemektedir. Bu bağlamda, çalışmamızda uygulanan pH siklusu protokolü, dentinin tekrarlayan asidik ve bazik ortamlara maruz bırakılmasıyla ağız içindeki doğal demineralizasyon-remineralizasyon döngüsünü taklit etmeyi ve homojen bir etkilenmiş dentin tabakası elde etmeyi amaçlamaktadır.^(201,225)

Yapay çürük oluşturmak amacıyla kullanılan pH döngüsü yöntemine ek olarak literatürde asitle jel ve mikrobiyolojik yöntemler de tanımlanmıştır. Marquezan ve ark.⁽²⁰¹⁾ 2009 yılında yaptığı bir çalışmada bakteriyel kültürlerin kullanılmasıyla yapay çürük oluşturulması prensibine dayanan mikrobiyolojik yöntemin özellikle 100 µm

derinliğe kadar olan bölgelerde süt dişlerinde pH döngüsüne kıyasla daha agresif olduğu bildirilmiştir; ancak bu yöntemin, bakteriyel aktivitenin varlığı nedeniyle daha çok çürük dentinin enfekte tabakasını taklit etmekte ve klinik olarak bağlanma ve remineralizasyon çalışmalarında hedeflenen etkilenmiş dentini temsil etmede yetersiz kaldığı da belirtilmiştir. Aynı çalışmada, asitle jel yöntemi ise, kimyasal olarak asidik bir jel ile dentin yüzeyinde demineralizasyon sağlanması olarak tanımlanmaktadır; ancak bu yöntemin yüzeyle sınırlı, daha ince ve düzensiz lezyonlar oluşturduğu ve dentin tübüllerinin açılmasını yeterince sağlayamadığı bildirilmiştir.

Literatür incelendiğinde, in vitro çalışmaların bir kısmında minimal invaziv tedavi yöntemleri sağlam dentin yüzeyine uygulanarak demineralizasyon ve remineralizasyon süreçlerini taklit eden pH döngüsüne maruz bırakılmış^(226,227), diğer bir kısmında ise öncelikle yapay çürük lezyonları oluşturulup ardından materyallerin lezyon üzerindeki remineralizan ve çürük durdurucu etkileri değerlendirilmiştir.^(228,229) Bizim çalışmamızda ise, önce yapay çürük lezyonları oluşturulmuş ardından ilgili materyaller uygulanmış ve sonrasında tüm gruplar ikinci kez pH siklusuna tabi tutularak materyallerin hem mevcut lezyonlar üzerindeki remineralizasyon potansiyeli hem de lezyon ilerlemesine karşı koruyucu etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmamızda CİS materyallerinin ilgili gruplardan uzaklaştırılmasının ardından tüm grupların 3. kez pH siklusuna maruz bırakılmasıyla CİS'in uzaklaşma sonrası devam eden etkisi, GF'nin ise uzun dönem pH siklusu maruziyeti sonrası rezidüel etkisi incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu çok aşamalı ve ardışık pH siklusu modeli, klinik koşulları daha gerçekçi şekilde taklit ederek değerlendirme imkanı sunmakta ve çalışmamıza literatürdeki benzer araştırmalara kıyasla önemli bir yöntemsel üstünlük kazandırmaktadır.

Çalışmamızda, GF, ART ve GMART yöntemlerinin dentin üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla mikrosertlik analizleri tercih edilmiştir. Diş hekimliğinde kullanılan testler Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop, Shore, Mohs, Barcol, Nanoİndentasyon testleridir.⁽¹⁸³⁾ Diş sert dokularının yüzey sertlik ölçümlerinde ise minimum hasarla tekrarlanabilir ölçümler yapılmasına olanak sağlayan Vickers ve Knoop testleri tercih edilmektedir. Knoop testlerinin, daha hassas yüzey hazırlığı gerektirmesi ve diğer yöntemlere kıyasla daha uzun test süresi gibi dezavantajları dolayısıyla çalışmamızda dentin yüzeyi mikrosertliğinin ölçülmesi amacıyla vickers

mikrosertlik analizinin kullanılması tercih edilmiştir.^(187,230) Vickers mikrosertlik testlerinin, dokuya zarar vermeden uygulanabilmesi, tekrarlanabilir ve kantitatif veriler sunması ve remineralizasyon derecesini dolaylı olarak gösterebilmesi, çalışmamızın hedeflerine uygun bir değerlendirme yöntemi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.⁽¹⁸³⁻¹⁸⁵⁾

Mikrosertlik testleri, çürük lezyonlarında meydana gelen mineral kaybı veya tedavi sonrası mineral kazanımlarıyla doğru orantılı olarak demineralizasyon-remineralizasyon süreçlerini objektif olarak gösterebilmesi nedeniyle in vitro çalışmalarda güvenilir bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.^(181,231-234) Dentin dokusunda sertlik değerlerinin mineral içeriği ile doğrudan ilişkili olduğu ve çürük oluşumu sırasında sertlikte meydana gelen düşüşün mineral kaybını yansıttığı bilinmektedir. Ogawa ve ark.⁽¹⁸⁵⁾ çürük dentini belirlemek için mikrosertlik testlerinden yararlandıkları çalışmaları sonucunda sertlik değerlerinin, lezyonun yumuşak ve enfekte yüzeyel kısmından pulpaya doğru kademeli olarak arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Banerjee ve ark.⁽¹⁸⁴⁾ knoop mikrosertlik testleriyle yaptıkları çalışmada, enfekte ve etkilenmiş dentin ayrımını mikrosertlik testleri ile belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalarda, remineralizan ajanların uygulanmasını takiben sertlik değerlerinde gözlenen artışın, mineral kazanımı ve dentin bütünlüğünün yeniden sağlanmasıyla paralel olduğu bildirilmiş, mikrosertlik ölçümlerinin yalnızca çürük oluşumunu değerlendirmek için değil, aynı zamanda restoratif materyallerin ve remineralizan ajanların dentin dokusuna etkisinin belirlenmesinde de yaygın şekilde kullanıldığı görülmüştür.⁽²³⁵⁻²⁴⁰⁾

Çalışmamızda Vickers mikrosertlik testi için 50 g yük ve 15 saniye uygulama süresi tercih edilmiş olup, her örnekten 3 farklı ve birbirinden uzak noktada ölçümler yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır. Değerlerimiz daha önce yapılan çalışmalar referans alınarak belirlenmiştir.^(228,230,241,242) Chuenarrom ve ark.⁽²³⁰⁾ tarafından yapılan bir çalışmada, mine ve dentin mikrosertlik değerlerinin farklı yük ve süre koşulları altında değişimi incelenmiştir. Çalışmada dentin için 10, 20 ve 50 g yük değerleri ile 10, 20 ve 30 saniye yükleme süreleri karşılaştırılmıştır. Uygulanan 50 g yük değerinde çıkan izlerin diyagonal uzunluklarının cihazın ölçüm kapasitesini aşmadığı ve yük arttıkça sertlik değerlerinde değişim gözlenebileceği, ancak 50 g'lık yükün dentin için doğru ölçüm açısından optimal aralıkta olduğu belirtilmiştir. Çalışmada diş sert

dokularında kalıcı izin oluşması için 10 saniyelik sürenin yeterli olduğu ortaya koyulmuş olup, çalışmamızda kullanılan 15 saniyelik süre bu standardın üzerinde güvenli bir değer olarak tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda, mikrosertlik değerlerinin yük değişiminden anlamlı şekilde etkilendiği, ancak uygulama süresinin istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmadığı bildirilmiştir.⁽²³⁰⁾

Mikrosertlik analizleri, dentin sertliğinde meydana gelen mineral kaybı veya kazanımını dolaylı olarak değerlendirebilmesi açısından güvenilir bir yöntem olsa da bu yöntem yalnızca mekanik dirençteki değişimi yansıtmakta ve doğrudan mineral içeriğine ilişkin nesnel bilgi sunmamaktadır. Bu nedenle çalışmamızda, mikrosertlik ölçümlerini desteklemek ve dentin yüzeyinde meydana gelen mineral değişimlerini elementel düzeyde değerlendirmek amacıyla SEM-EDX analizi de tercih edilmiştir. SEM-EDX, dentin yüzeyinin morfolojisini yüksek büyütmelelerde görüntüleme ve aynı anda Ca, P, F, Ag gibi elementlerin kantitatif dağılımını belirleme imkanı sağlayarak, remineralizasyon süreçlerinin doğrudan ve ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.^(192,193) Özellikle demineralize dentinde mineral kaybının HA çözünmesine bağlı olarak kalsiyum ve fosfor içeriğinde azalma ile karakterize olduğu ve remineralizasyonun bu elementlerin geri kazanımı ile ilişkili olduğu göz önünde bulundurulduğunda, SEM-EDX analizleri çalışmamızda kullanılan minimal invaziv tedavi yöntemlerinin dentin üzerindeki etkilerini objektif olarak destekleyen önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca SEM görüntüleme, remineralizasyon süreci sırasında yüzey morfolojisinde oluşan kristal yapı değişimlerini ve restoratif materyallerle doku arasındaki arayüz özelliklerini de yüksek çözünürlükte inceleme olanağı sağlamaktadır. Çalışmamızda da yüzey x250, x500 ve x1000 büyütmelelerde incelenmiş ve görüntüler alınmıştır. SEM-EDX'in en önemli avantajlarından biri, mineral dağılımının noktasal, çizgisel ve yüzey haritalama analizleriyle değerlendirilebilmesidir. Bu özellik, dentin tübülleri boyunca elementlerin derinliklerine bağlı dağılımını inceleme ve yüzeyde tedaviye bağlı olarak meydana gelen yapısal değişiklikleri görsel olarak doğrulama imkânı sunmaktadır.⁽¹⁹²⁾ Çalışmamızda, bu doğrultuda haritalama analizleri, derinliğe bağlı yoğunluklarının incelenebilmesi için ise longitudinal yüzeyde çizgisel analiz yöntemi tercih edilmiştir. Mineral analizi amacıyla literatürde farklı yöntemlerin de tercih edildiği görülmüştür bunlardan biri olan, mikro-CT, mineral yoğunluğunu üç boyutlu olarak değerlendirme avantajı sunsa da, element spesifikliği sağlamaması, florür veya gümüş gibi spesifik

iyonların kantitatif ölçümünde yetersiz kalması ve daha yüksek maliyet ile uzun analiz süresi gerektirmesi nedeniyle çalışmamızın amacı ve kapsamı açısından uygun bulunmamıştır.⁽²⁴³⁾ Benzer şekilde, X-ışını floresans yöntemi de daha geniş ve derin bölgelerin elementel analizini yapabilmesine karşın, mikron düzeyinde bölgesel değişimleri haritalama kapasitesinin sınırlı olması ve dentin tübülleri gibi mikro yapıların değerlendirilmesinde yeterli çözünürlük sunmaması, sodyumdan daha hafif elementleri analiz edememesi gibi dezavantajları nedeniyle çalışmamızda tercih edilmemiştir.⁽²⁴⁴⁾ Çalışmamızda da bu doğrultuda, minerallerin horizontal ve longitudinal yüzeyde homojen dağılımlarının belirlenebilmesi amacıyla dentin yüzey sınırından başlanarak x500 büyütmede seçilen alanın ($\approx 500-600 \mu m^2$) görüntülenmesi ve haritalama analizi, minerallerin dentin tübülleri içerisindeki dağılımının ve difüzyon derinliğinin ölçülmesi amacıyla ise daha önce yaklaşık $350 \mu m$ 'lik bir doğrultuda longitudinal yüzeyde çizgisel EDX analizi yapılmıştır.

Yapılan çalışmalarda, SEM-EDX'in, çeşitli remineralizan ajanların mine ve dentin yüzeyine penetrasyonu, kalsiyum, florür ve gümüş iyonlarının difüzyonu ve Ca/P oranındaki değişimlerin analizi amacıyla yaygın olarak kullanıldığı bildirilmektedir. Literatürde, Ca/P oranının HA varlığını gösterdiği ve bu oranın artışının remineralizasyonla ve yüzey sertliği artışıyla paralel olduğu bildirilmiştir.^(236,238) Nano gümüş partiküllerinin remineralizasyon üzerindeki etkinliğinin vickers mikrosertliği ile incelendiği 2023 yılında yapılan bir başka çalışmada nano gümüş partiküllerinin mikrosertliği anlamlı oranda artırdığı ortaya koyulmuştur.⁽²³⁷⁾ Sivapriya ve ark.⁽²³⁶⁾ ları tarafından yapılan bir çalışmada, NaF verniğinin mikrosertliği anlamlı oranda artırdığı ve bunun F salınımı ve florapatit oluşumuyla ilişkili olduğu bildirilmektedir. Bu çalışmalar, mikrosertlik testleriyle elde edilen mekanik direnç artışının elementel düzeydeki mineral geri kazanımıyla paralel olduğunu göstermiştir.⁽²⁴⁵⁻²⁴⁷⁾ Dolayısıyla, çalışmamızda SEM-EDX kullanımı, GF, ART ve GMART uygulamalarının remineralizasyon kapasitesini yalnızca sertlik artışı üzerinden değil, elementel mineral dağılımı ve yüzey morfolojisi düzeyinde de doğrulamaya olanak tanımıştır. Bu yönüyle SEM-EDX, mikrosertlik analizlerini tamamlayıcı nitelikte olup, hem Ca/P oranında ve F miktarında artış hem de GF ve GMART uygulamalarına bağlı olarak dentin yüzeyinde gözlenen Ag birikimi gibi bulguların yarı kantitatif düzeyde doğrulanmasını sağlamış ve tedavi yöntemlerinin dentin üzerinde yarattığı

remineralizasyon etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine katkıda bulunmuştur.

Çalışmamızda başlangıç mikrosertlik değerleri (T_0), literatürdeki mevcut bulgularla uyumlu olup gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır. ⁽²⁴⁸⁾ Yapılan çalışmalarda, sağlam süt dişi ve daimi dentininde bildirilen vickers ve knoop mikrosertlik değerlerinin geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. ^(228,248,249) Bu değişkenliğin; uygulanan yük, ölçüm yeri ve dentin derinliği, tübül yoğunluğu, dişin yaşı ve tipi, yüzey polisajı ile yüzey nemliliği gibi koşul farklılıklardan kaynaklandığı belirtilmektedir; bu nedenle çalışmalar arası karşılaştırmalarda yöntemsel farklar dikkate alınmalıdır. ^(230,250)

Hayashi-Sakai ve ark.larının ⁽²⁴⁸⁾ süt dişlerinin sağlam dentin ve mine yüzeylerinde 100 g yük/ 30sn koşullarında vickers mikrosertlik değerlerini ölçtükleri çalışmada, sağlam dentin ölçümlerinin 55,4–72.8 VHN aralığında olduğu belirtilmiştir. Literatürde, değerlerin yük miktarına duyarlı ancak süreden bağımsız olduğu; yük azaldıkça ölçülen VHN değerinin düşeceği belirtilmektedir. ⁽²³⁰⁾ Bu doğrultuda, 50 g / 15 sn koşullarında elde ettiğimiz 38,8–52,93 VHN aralığı, daha düşük yük ve örnek yüzey/derinlik farklılıkları dikkate alındığında literatürle karşılaştırılabilir niteliktedir.

Literatür incelendiğinde, daha önce yapılan çalışmalarda, tüm dentin örneklerinin gruplara ayrılmadan önce benzer mineralizasyon düzeyine sahip olduğu, bu durumun karşılaştırmaların homojen gruplar üzerinde gerçekleştirilebilmesi ve başlangıç değerlerinin sonuçlar açısından farklılık oluşturmaması açısından önemli olduğu belirtilmiştir. ^(249,251) Bizim çalışmamızda da, gruplar arası sağlam dentin ölçüm değerleri arasında anlamlı fark olmaması, homojen koşullar sağlandığını doğrulamaktadır.

Çalışmamızda, İlk 7 günlük pH siklusu sonrası (T_1) elde edilen mikrosertlik değerleri, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemiş ve tüm grupların ortalama mikrosertlik değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Ancak tüm gruplarda, başlangıç ölçümleri ile pH siklusu sonrası değerler karşılaştırıldığında, istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş olduğu görülmüştür. Çalışmamızda, pH siklusu sonrası elde edilen demineralize süt dişi dentin yüzeyinin, klinikte korunması hedeflenen ‘etkilenmiş dentin’ tabakasını temsil etmesi amaçlanmıştır. Literatürde, pH siklusu

uygulamasını takiben hem süt hem de daimi dişlerde, doğal çürükten etkilenmiş dentine yakın sertlik değerlerinin elde edildiği çeşitli çalışmalarla ortaya koyulmuştur.^(22,201,233)

Yapılan bir çalışmada, oklüzal ve proksimal doğal çürük dentin lezyonlarında mineral ve kollajen değişikliklerini değerlendirmek ve etkilenmiş-enfekte dentin ayrımını yapabilmek amacıyla raman spektroskopisi ve vickers mikrosertlik testleri kullanılmıştır. Çalışmada, 300g yük/15 sn koşullarında, enfekte dentinin en düşük mineral içeriğine ve yaklaşık 20–22 VHN sertlik değerine sahip olduğu, çürükten etkilenmiş dentinin daha yüksek mineral düzeyleri ile yaklaşık 32–34 VHN sertlik gösterdiği, sağlam dentinin ise en yüksek mineral içeriğiyle birlikte 53–54 VHN değerine ulaştığı bildirilmiştir.⁽²⁵²⁾ Çalışmamızda, T₁ aşamasında, 50 g yük/15 sn süre koşullarında ≈30 VHN olarak ölçülen mikrosertlik değeri bu çalışmada doğal lezyonlu dişlerde bildirilen etkilenmiş dentin değerleriyle uyumluluk göstermektedir. Ayrıca, çalışmada mineral içerikleri raman fosfat piki üzerinden değerlendirilmiş ve enfekte dentinin en düşük, çürükten etkilenmiş dentinin orta düzeyde, sağlam dentinin ise en yüksek mineral yoğunluğuna sahip olduğu bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda ise mineral densitesi farklı olarak SEM-EDX analiziyle değerlendirilmiş olup, T₀ hem horizontal hem de longitudinal yüzeyde sağlam dentin Ca/P oranı T₁ aşamasına göre daha yüksek bulunmuştur. Benzer şekilde, Banerjee ve ark.⁽¹⁸⁴⁾ knoop mikrosertlik testleriyle yaptıkları çalışmada, çürük dentin lezyonlarında enfekte dentin sertliğini 25 KHN'nin altında, etkilenmiş dentin sertliğini ise 25–40 KHN arasında ölçmüş ve sertlik değerlerinin bu ayırmda belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, uygulanan pH siklusu sonucu elde ettiğimiz yüzeyin enfekte tabakayı değil, korunması gereken etkilenmiş süt dişi dentinini temsil ettiğini destekler nitelikte olup aynı zamanda farklı gruplara benzer düzeyde etki ederek yüzeylerin homojen koşullar sağladığını göstermektedir.

Çalışmamızda T₁ aşamasının ardından gruplara ilgili materyaller uygulanmış ve tüm gruplar ikinci kez pH döngüsüne tabi tutulmuştur. ikinci pH döngüsü ile, ağız ortamı taklit edilmiş, dentin yüzeyine uygulanan tedavi ajanlarının uygulandıkları yüzeyde oluşturduğu mikrosertlik ve mineral densitesi değişimlerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu yaklaşım, yalnızca materyallerin ilk uygulama sonrası kısa dönem

etkilerini değil, tedavi sonrası asidik koşullara karşı gösterdiği dirençteki değişimleri de inceleme olanağı sunmuştur.

T₂ aşamasında, elde edilen vickers değerleri incelendiğinde, T₁-T₂ zaman noktaları arasında tüm gruplarda anlamlı düzeyde artış olduğu görülmüştür. Bu bulgu, literatürde remineralizasyonu destekleyen minimal invaziv yaklaşımların, mikrosertliği artırdığını ortaya koyan çalışmalarla uyumluluk göstermektedir. (181,231,233,234,245,251,253).

Çalışmamızda T₀ değerleri tüm gruplarda T₂ değerlerine kıyasla yüksek bulunmuş olup bu durum hiçbir grupta tedavi sonrası elde edilen değerlerin sağlam dentin seviyesine ulaşmadığını göstermektedir. Santiago ve ark.⁽²³⁹⁾ ve Darabi ve ark.⁽²²⁸⁾ da sırasıyla ART ve GDF uygulamaları ile yaptıkları çalışmada, tedavi sonrası elde edilen mikrosertlik değerlerinin çürük dentine göre artış gösterse de sağlam dentin değerlerine yaklaşamayacağını bildirmişlerdir.

Prakash ve ark.larının⁽¹⁸¹⁾ 2021 yılında yayınladığı çalışmada GDF'nin doğal çürük dentin mikrosertliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, sağlam ve ICDAS 4-6 skorlu daimi doğal çürüklü dişler kullanılarak, GDF'nin hem sağlam hem de çürük dentin üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Gruplar, kontrol grubu (GDF uygulanmayan), %38 GDF ve GDF + potasyum iyodür kullanılarak belirlenmiştir. Vickers mikrosertlik ölçümleri, tedavi öncesi ve bir hafta sonrası değerler karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, GDF'nin çürük dentin mikrosertliğini sağlam dentin üzerine GDF uygulanan gruplara göre anlamlı olarak daha fazla artırdığını ve her iki GDF grubunda da kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı mikrosertlik artışı olduğunu göstermiştir. Çalışmada mikrosertlik artışının, yüzeyde biriken ve dentin tübüllerini tıkayan gümüş partikülleri ile ve belirli bir derinliğe kadar florür artışı ile ilişkili olabileceği belirtilmektedir. Darabi ve ark.⁽²²⁸⁾ tarafından daimi premolar dişler ile yapılan bir in vitro çalışmada, çeşitli GDF uygulama yöntemlerinin 14 günlük pH siklusu sonrasında dentin mikrosertliğine etkisi incelenmiştir. Vickers ölçümleri, başlangıç, demineralizasyon sonrası ve GDF uygulaması sonrası dönemlerde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, bizim sonuçlarımızla da paralel olarak GDF uygulamasının her yöntemde demineralize dentine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde mikrosertlik artışı sağladığını göstermiştir. Çalışmada mikrosertlik artışının, kalsiyum ve florür iyonlarının remineralizasyon

kapasitesi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Kalsiyum florür ve florapatit oluşumunun mineral içeriğini güçlendirerek dentin sertliğini artırması, bunun da asitlere karşı dirençli ve stabil bir yüzey oluşturması, ayrıca, florür, gümüş ve diğer iyonların dentin yüzeyinde birikerek dentin tübülleri ve yüzey tabakasında mineral tuzlarının çökmesine neden olması ile açıklanabileceği belirtilmiştir. Kongsomjit ve ark.⁽²⁵⁴⁾ larının GDF uygulamasının mineral densitesi ve lezyon derinliği üzerindeki etkisini inceledikleri bir çalışmada, GDF'nin mineral densitesini anlamlı oranda artırdığı, çürük durdurucu etkisi ile ise lezyon derinliğini anlamlı oranda azalttığı belirtilmiştir. Bu durum, GDF'nin yüksek florür konsantrasyonu ve sıvı formu sayesinde tübül içine nüfuz edebilmesi ve Ag elementinin tübül tıkayıcı etkisi ile açıklanmıştır. Bizim çalışmamızda da demineralize dentin yüzeyi üzerine uygulanan GF'nin mikrosertliği artırdığı görülmüştür. Çalışmamızda yaptığımız SEM-EDX analizleri sonucu, bu çalışmalarla uyumlu olarak GF grubunda, T₁ aşamasına kıyasla T₂ de gözlemlediğimiz horizontal yüzeyde Ca/P artışı, T₁ aşamasında F içeriği saptanamaz iken T₂ aşamasında yüzeyde F elementinin varlığı ve yüksek densitede izlenen Ag elementi, anlamlı düzeyde mikrosertlik artışını destekler niteliktedir. Ayrıca, GF grubuna ait, SEM görüntülerinde parlak beyaz noktalar olarak gözlemlediğimiz Ag partiküllerinin tespit edilmesi yüzeyde Ag birikimini doğrulamaktadır.

Çalışmamızda, YVCİS materyali kullanılarak uygulanan ART grubunda da, T₁'e göre T₂ aşamasında, istatistiksel olarak anlamlı bir mikrosertlik artışı olduğu gözlenmiştir. Santiago ve ark.⁽²³⁹⁾ 9-11 yaşları arasındaki hastaların kaviteyonlu süt molar dentin çürüklerini kısmi olarak ekskavatör ile temizlemiş ve ardından ART (Fuji IX) uygulayarak restore etmişlerdir. Daha sonra dişler ağızda kalma sürelerine göre dört gruba ayrılmış ve dolgudan hemen sonra, dolgudan 30 gün sonra, üç ay sonra ve 6 ay sonra; restorasyona komşu, pulpaya komşu ve bu iki noktanın arasında kalacak bir noktadan olmak üzere toplam üç noktadan knoop mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan takiplerde, istatistiksel olarak 1. ve 6. ay ölçümlerinde anlamlı bir sertlik artışı saptanmış ve bu durum florun remineralizasyon mekanizması ve çürüğün durdurulması ile açıklanmıştır. Bizim çalışmamızda da bu çalışmayla uyumlu olarak restorasyon sonrası asidik koşullar devam ettirilmiş ve bu koşullar altında dahi mikrosertlik artışı gözlenmiştir. Süt dişi dentin çürükleri üzerinde, 2024 yılında yapılan bir çalışmada, mikrobiyolojik yapay çürük oluşturma yöntemi kullanılmış, CİS'in remineralizasyon etkisi mikro BT ile mineral densitesi ölçülerek

değerlendirilmiştir. CİS uygulamasının mineral densitesini anlamlı olarak artırdığı belirtilmiş olup bu durum, CİS'in dentin yüzeyinde hipermineralizasyon tabakası oluşturması ile açıklanmıştır.⁽²⁵⁴⁾ Çalışmamızda, yapılan SEM-EDX haritalama analizlerinde, T₁ aşamasında F tespit edilememişken, T₂ aşamasında ise flor varlığı saptanmış, aynı zamanda T₂ aşamasında T₁'e kıyasla, Ca/P oranının arttığı da tespit edilmiş olup bu durum mikrosertlik ve mineral densitesi artışı bulgularıyla uyumluluk göstermektedir.

Çalışmamızda kullandığımız bir diğer minimal invaziv tedavi yöntemi olan GMART'ın T₁ aşamasına kıyasla T₂ aşamasında görülen anlamlı mikrosertlik artışı ve remineralizasyon etkisi literatürdeki çalışmalarla uyumluluk göstermektedir. Eslami ve ark.⁽²⁵⁵⁾ 'larının yaptığı bir çalışmada dentin çürükleri üzerine GMART benzeri bir yaklaşım olarak önce GDF ardından CİS uygulanmıştır. GDF ve CİS'in birlikte uygulanmasının sinerjistik bir etki yaratarak remineralizasyonu anlamlı düzeyde artırdığı vurgulanmıştır. MIH'lı daimi molarlarda yürütülen, 2024 yılında yayınlanan 12 ay takipli bir randomize kontrollü klinik çalışmada, GMART yaklaşımının, derin daimi dentin çürüklerinde oklüzal yüzey alanındaki hipomineralizasyona bağlı kaybı anlamlı olarak azalttığı gösterilmiştir; bu bulgu, remineralizasyon/sertleşme ile uyumlu yapısal dayanıklılık artışını düşündürmektedir. Erken dönemde hipersensitivitede azalma tüm gruplarda izlenmiş olup; bu durum mineral yoğunluğunun artması ve dentin tübüllerinin tıkanması ile açıklanmıştır. Sonuçlar, çalışmamızdaki T₂ mikrosertlik bulgularıyla ve SEM-EDX analizlerinde gözlemlediğimiz yüzeyde Ag ve F varlığı ve Ca/P artışı ile paralel olup, minimal invaziv yaklaşımın klinik karşılığını desteklemektedir.⁽²⁵⁶⁾

Çalışmamızda, T₁-T₂ aşamaları arasındaki mikrosertlik değişimleri gruplar arasında karşılaştırıldığında, GF ve SMART grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamış, GF grubu ART grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha fazla artış göstermiş, GMART ve ART grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemekle birlikte GMART'ın artış değerinin ART'den daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Literatürde mikrosertlik değişimlerini karşılaştıran sınırlı sayıda çalışma bulunmakla birlikte bulgularımız bazı çalışmalarla uyumluluk göstermektedir.

Yapılan bir çalışmada, daimi doğal dentin çürükleri üzerine yalnızca CİS uygulanan gruplara kıyasla, yalnızca GDF veya bir ya da iki kez GDF uygulamasının ardından

CİS uygulanan gruplarda anlamlı düzeyde daha yüksek mineral kazanımı elde edilmiştir. Çalışmada, CİS'in tek başına remineralizasyon sağlayabilmesine rağmen bu etkinin sınırlı kaldığı, GDF'nin ise tek başına dentin remineralizasyonunda CİS'ten anlamlı düzeyde daha etkili olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, GDF ve CİS'in birlikte uygulanmasının sinerjistik bir etki yaratarak remineralizasyonu diğer gruplara kıyasla anlamlı düzeyde artırdığı vurgulanmıştır.⁽²⁵⁵⁾ Bulgularımız bu çalışmayla paralel olmakla birlikte bizim çalışmamızda GMART ve ART grupları arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ancak, GMART grubunda gözlenen mikrosertlik artışı ART grubuna kıyasla daha yüksek olup, p değerinin 0.06 gibi sınırda bir düzeyde olması, daha geniş örneklem büyüklüklerinde bu farkın anlamlı hale gelebileceğini düşündürmektedir.

Süt dişi dentin çürükleri üzerinde, 2024 yılında yapılan bir çalışmada, mikrobiyolojik yapay çürük oluşturma yöntemi kullanılmış, GDF ve CİS'in remineralizasyon etkisi mikro BT ile mineral densitesi ölçülerek değerlendirilmiştir. GDF uygulaması lezyon derinliği anlamlı düzeyde azaltmış ve mineral densitesini anlamlı oranda artırmıştır. CİS uygulaması ise lezyon derinliğine anlamlı düzeyde etki etmemiş ancak mineral densitesini anlamlı olarak artırmıştır. Bu çalışmada, çalışmamızla paralel olarak, GDF'nin mineral densitesini ve remineralizasyonu CİS'den daha fazla artırdığı belirtilmiş olup bu durum CİS'in yüzeyde hipermineralizasyon zonu oluşturmaması ancak derine etki edememesi, GDF'nin ise yüksek florür konsantrasyonu ve sıvı formu sayesinde tübül içine nüfuz edebilmesi ve tübül tıkalı etkisi ile açıklanmıştır.⁽²⁵⁴⁾ Çalışmamızda da ART grubunun GF grubundan daha düşük remineralizasyon etkinliği göstermesi GF grubunda ART grubuna kıyasla yüksek densitede Ag elementi dağılımı izlenmesi ve Ag'nin yüzey mikrosertliğini Cabellan ve ark. ⁽²³⁷⁾'nin çalışmasında belirtildiği gibi anlamlı düzeyde artırması ile ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Yapılan bir çalışmada, mine yüzeyine uygulanan ve uzun süreli eroziv pH siklusuna maruz bırakılan CİS'lerin, yalnızca yapay tükürükte bekletilen kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde mikrosertlik kaybına uğradığı ve bu durumun materyalin çevresindeki mine dokusunu remineralize etme kapasitesini sınırladığı bildirilmiştir.⁽²²⁶⁾ Benzer şekilde, Ab-Ghani ve ark ⁽²⁵⁷⁾ Fuji IX Fast materyalini 24 gün süreyle demineralizasyon/remineralizasyon döngülerine tabi tutarak mineral densitesi değişimlerini elektron prob mikroanalizi ile incelemiş, çalışmada, CİS materyallerinin

pH döngülerine maruz kaldığında yüzeysel fakat klinik açıdan önemli şekilde iyon değişimlerine uğradığı ortaya koyulmaktadır. CİS'in yüzey bozulmasının, çürüğe yatkın bireylerde remineralizasyon kapasitesini etkileyebileceği belirtilmiştir. Zanata ve ark.larının⁽²⁵⁸⁾ 10 yıllık takipli çalışması, YVCİS'in mikrosertlik değerlerinin 180 güne kadar sürekli artış gösterdiğini, CİS'in olgunlaşması ve daha stabil ve dirençli bir hale gelmesi için uzun süreli bir zaman gerektiğini ortaya koymaktadır. Aynı çalışmada, SEM-EDX analizi bulgularımızla da paralel olarak, Ca, K, P, F açısından zengin bir tabaka gözlenmiş; bu bulgunun uzun dönemde iyon değişimi ve mineral alımı ile kimyasal olgunlaşmayı desteklediği ve Wilson ve ark.⁽²⁵⁹⁾ tarafından önerilen 'ara tabaka' teorisini doğruladığı belirtilmiştir. Bu bulgulara bağlı olarak, çalışmamızda Fuji IX ile uygulanan ART restorasyonlarında gördüğümüz mikrosertlik artışının GF ve GMART yöntemlerine göre daha az olması, kısa sürede CİS'in olgunlaşmasının henüz tamamlanmaması, GF'de gördüğümüz gümüş kaynaklı tübül tıkaçıcı özelliklerinin bulunmaması, pH siklusu sırasında erken dönemde asit çözünürlüğüne duyarlılığı ve flor salınımindaki değişkenlikler ile açıklanabilir. ART'nin remineralizasyon üzerindeki asıl etkisinin Zanata ve ark.larının⁽²⁴⁵⁾ çalışmalarında da açıklandığı gibi koruyucu ve mineral içeriğinden zengin bir ara tabaka oluşturma ve flor salınımı kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Literatürde benzer materyalleri incelemesine karşın yöntem ve değerlendirme biçimlerindeki farklılıklar nedeniyle çalışmamızdan farklı bulgular bildiren çalışmalar da mevcuttur.

Basra ve ark.⁽²⁴⁰⁾, 2025 yılında yaptıkları çalışmasında, restorasyon materyali olarak CİS uygulanmasından önce dentin yüzeyine GDF uygulanmasının mikrosızıntıyı artırdığını buna ek olarak mikrosertliği ise azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, GDF uygulanan CİS grubunda kontrol CİS grubuna kıyasla mikrosertlik değerlerinde düşüş gözlemlemişler ve bu durumun istatistiksel olarak anlamlı olduğunu rapor etmişlerdir, bu durumu, GDF'nin CİS ile birlikte veya tek başına kullanıldığında kısa dönemde güçlü remineralizasyon etkisi gösterebilirken, uzun dönemde materyalin yapısal dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkilere yol açabileceği şeklinde açıklamışlardır. Çalışmada, 30 günlük mikrobiyolojik yapay çürük modeli ve 400 siklus termosiklus uygulanmış uzun dönem yaşlanma koşulları taklit edilmiştir. Buna

karşılık, çalışmamızda yalnızca 7 günlük pH döngüsü modelinin uygulanmış ve materyallerin kısa dönemdeki remineralizasyon etkileri karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızın T₃ aşamasında elde edilen bulgular, CİS restorasyonunun kaybı ve asidik koşulların daha uzun dönem devam etmesi halinde minimal invaziv tedavi yaklaşımlarının koruyucu etkinliği açısından önemli veriler sunmaktadır. CİS materyalinin uzaklaştırılmasının ardından tüm grupların 3.kez pH siklusuna tabi tutulması sonucunda gerçekleştirilen T₃ ölçümlerinde, GMART grubunun en yüksek ortalama mikrosertlik değerine sahip olduğu görülmekle birlikte GF grubu ile istatistiksel açıdan anlamlı bir fark saptanmamıştır. ART grubu ise GMART ve GF gruplarının her ikisinden de anlamlı oranda daha düşük mikrosertlik değerleri göstermiştir. T₂-T₃ aşamaları arasındaki değişimin grup içi yapılan analizlerle değerlendirilmesi sonucu ise GF ve ART gruplarında anlamlı olarak mikrosertlik düşüşü gözlenmiş olup, GMART grubundaki mikrosertlik düşüşünün anlamlı düzeyde olmadığı görülmüştür.

Darabi ve ark.larının⁽²²⁸⁾ iki aşamalı şekilde gerçekleştirdiği çalışmasında ilk aşamada farklı GDF uygulama yöntemlerinin mikrosertlik üzerindeki etkisi pH siklusu altında incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise GDF uygulanan bir grup seçilmiş ve yalnızca bu grup 14 gün daha pH siklusuna tabii tutulmuştur. Son ölçülen mikrosertlik değerleri GDF uygulanan grupta GDF uygulanmayan kontrol grubuna göre büyük ölçüde korunmuştur ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Çalışmada, GDF'nin zorlu koşullar altında dahi demineralizasyona karşı bir miktar koruma sağladığı belirtilmiştir. Ancak çalışmada, Iovan ve ark.⁽²⁶⁰⁾ sonuçlarıyla da paralel olarak koruyucu tabakanın sürekli asit ataklarına maruz kalındığında dentini tamamen korumak için yeterli olmayabileceği ve uzun dönem etkisini geliştirmek için ek stratejilerin geliştirilmesi gerektiği de vurgulanmaktadır. Bizim çalışmamızda GF grubunda, T₂-T₃ zaman aralığında gözlenen anlamlı mikrosertlik düşüşü, bu çalışmanın bulgularıyla paralel olarak GDF'nin asidik koşulların devam etmesi halinde koruyuculuğunun devam ettiğini ancak daha uzun vadede demineralizasyon etkisinin remineralizasyon kapasitesini aşabileceğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, Yee ve ark.⁽¹³⁰⁾larının klinik çalışmasında, GDF uygulaması sonrasında çürük durdurma etkisinin 6. aya kadar arttığı, ancak 12. ay ve 24. ayda bu oranın düştüğünü bildirilmiştir. Çalışmamızda GF grubunda, SEM-EDX analizlerinde, T₂-T₃ aşamaları

arasında Ca/P oranının ve Ag densitesinin düşmesi de mikrosertlik düşüşünü destekler niteliktedir.

Çalışmamızda, ART grubunda T₂'ye kıyasla T₃ aşamasında anlamlı mikrosertlik düşüşü görülmüştür. Bu durum, Zanata ve ark.⁽²⁴⁵⁾ bulgularıyla da uyumlu olarak, ART yaklaşımının başarısının büyük ölçüde CİS materyalinin retansiyonunun korunması ve sürekli flor salınımı sağlaması ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. CİS'in uzaklaştırılması durumunda, dentin yüzeyi tekrar asidik saldırılara karşı savunmasız hale gelmektedir. T₁-T₃ arası mikrosertlik değişimleri incelendiğinde ise, diğer gruplar ile karşılaştırıldığında yalnızca ART grubunda T₃ değerlerinin T₁ değerlerinden daha düşük olduğu görülmüş, başlangıçta sertlik artışı izlenmiş olsa da CİS'in retansiyon kaybı ve asidik koşulların devam etmesi durumunda koruyuculuk ve remineralizasyon etkisinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Literatürde de, CİS materyallerinin flor salınımının zamanla azaldığı ve özellikle asidik koşullarda materyalin çözünebilirliğinin arttığı bildirilmektedir.^(77,78) Yamakami ve ark.⁽²⁶¹⁾ FTIR/Raman analizleri ile YVCİS ile dentin arasında YVCİS 'in zamanla olgunlaşmasına ve materyal-dentin etkileşimine bağlı olarak iyon değişimi temelli yeni bağların oluştuğunu göstermişlerdir. Bu bulgular, çalışmamızdaki T₃ aşamasında CİS'in uzaklaştırılmasını takiben gözlenen mikrosertlik düşüşünü açıklamaktadır. Çalışmamızda T₂ aşamasının ardından CİS'in uzaklaştırılmasının, olgunlaşmakta olan iyon-değişim arayüzeyini ve bariyer etkisini kesintiye uğratarak, asit döngüsü altında dentinin korunmasız kalmasına ve ART grubunda mikrosertlik kaybının belirginleşmesine yol açtığı düşünülmektedir. SEM-EDX analizlerinde, ART grubunda, T₂ aşamasına kıyasla T₃ aşamasında, Ca/P oranının bariz bir biçimde düştüğü görülmüş olup F'nin ise artması dikkat çekici olmuştur. SEM görüntülemesi sırasında yüzeyde CİS parçacıkları tespit edilmiş olup parçacıkların olmadığı yüzeylerden analiz yapılmasına dikkat edilmiş olup, gözlenemeyen CİS parçacıklarının F artışına neden olabileceği düşünülmüştür.

T₂-T₃ zaman aralıklarındaki mikrosertlik değişimleri karşılaştırıldığında, GF ve GMART grupları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark görülmemekle birlikte GMART grubunun CİS materyali uzaklaştırılmasına karşın GF grubundan daha az mikrosertlik kaybına uğradığı dikkati çekmektedir. Bu durum, çalışmamızın koşullarında iki yaklaşımın remineralizasyon etkinliği açısından benzer performans

sergilediğini ancak Chen ve ark.⁽²⁶²⁾ bulgularıyla paralel olarak CİS retansiyonunun korunması durumunda, GMART grubunun remineralizasyon etkinliğinin daha kalıcı olabileceğini ortaya koymakta ve GF grubuna oranla daha iyi remineralizasyon etkinliği sağlayabileceğini düşündürmektedir. Literatürde de, GDF'nin remineralizasyon kapasitesi ile CİS'in flor salınımı ve biyouyumluluğunun birlikte kullanıldığında daha etkili sonuçlar verdiği bildirilmektedir.^(13,262)

Chen ve ark. ⁽²⁶²⁾, 2023 yılında yaptıkları bir çalışmada, pH siklusu ile oluşturulmuş demineralize dentin yüzeyine yalnızca YVCİS, Yalnızca GDF ve YVCİS+ GDF uygulamışlardır. Mineral içeriğinin zaman içindeki değişimini mikro-BT ile yedi farklı zaman noktasında değerlendirmişler, ancak zaman noktaları arasında tekrar pH siklusu uygulamamışlardır. Tedavinin uzun dönemli sonucunu temsil eden 3. ayda ise bulguları SEM-EDX ile değerlendirmişlerdir. Tedaviyi takiben tüm gruplarda başlangıçta artış görülmüş, ancak GDF grubunda tedavi sonrası hemen izlenen bu artış zaman geçtikçe azalmış, CİS ve GDF+CİS gruplarında ise zamanla artmıştır. En belirgin ve kalıcı artış GDF+CİS'te saptanmış; bu grupta derinde 'hipermineralizasyon zonu' rapor edilmiştir. SEM-EDX'de GDF ve GDF+CİS'te Ag partikülleri gözlenmiş, GDF+CİS'te partiküllerin daha küçük olduğu, bazı tübüllerin F ve Ca'dan zengin kristaller ile tıkanmış gözlenmiştir. GDF+CİS'te Ag konsantrasyonu ise bizim çalışmamızda olduğu gibi GDF'ye göre daha düşük bulunmuştur. Ancak bizim çalışmamızda bu çalışmadan farklı olarak zaman noktaları arasında pH siklusu devam etmiş ve ART ve GMART gruplarında CİS uzaklaştırılmıştır. GMART grubunda Ca/P oranı az miktarda düşmüş buna karşın F densitesi artmıştır. Bu durumun CİS materyalinin uzaklaştırılması sonrası yüzeyde kalan parçacıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Yöntemsel farklılığın bizim çalışmamızda tüm gruplarda T₂-T₃ arası gözlemlediğimiz anlamlı mikrosertlik düşüşünü açıklar nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Çalışmamızda uyguladığımız materyallerin dentin yüzeyinde ve dentin tübülleri içerisine nüfuz ederek meydana getirdiği değişimlerin izlenebilmesi amacıyla SEM-EDX analizinde longitudinal yüzeyde çizgisel analizler de yapılmıştır.

GDF kullanılarak çürüklerin durdurulmasına yönelik UCSF protokolü, gümüş ve florür iyonlarının mineye yaklaşık 25 µm, dentine ise 50–200 µm kadar nüfuz edebileceğini belirtmektedir.⁽¹⁷⁴⁾ Çalışmamızda da GF uygulamasını takiben yapılan

T₂ aşamasına ait SEM-EDX çizgisel analizinde, minerallerin dentine nüfuz etme derinlikleri incelenmiş, Ca ve P değerleri ölçüm aralığımız boyunca yüksek miktarda gözlenmiş olup Ag'nin ise aynı ölçüm aralığında dalgalanma gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmamızda gözlemlediğimiz dentin yüzeyindeki anlamlı mikrosertlik artışının bu çalışmayla da paralel olarak longitudinal yüzeyde çizgisel analizlerle de doğruladığımız mineral çökeltileri ve Ag'nin dentin tübüllerini tıkayıcı etkisi kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Daimi dentin örnekleri ile gerçekleştirilen bir çalışmada, GDF solüsyonunun dentin yüzeyine difüzyonu incelenmiştir. Ölçümler öncesinde smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla tüm örnekler 60 saniye boyunca %36'lık fosforik aside maruz bırakılmış ve yıkanmıştır. Mineral yoğunluğu, bizim çalışmamızdan farklı olarak elektron ışını mikroprob analizörü ile değerlendirilmiş, ayrıca iki örnek SEM ile incelenmiştir. Bu çalışmada Ag yoğunluğu 5–40 µm arasındaki derinliklerde belirlenmiş olup, dentin yüzeyinde %1,7 ($\pm 0,7$), 20 µm derinlikte ise %0,3 ($\pm 0,1$) bulunmuştur. 40 µm'den daha derin bölgelerde Ag konsantrasyonu tespit edilememiştir. SEM görüntülerinde ise dentin tübüllerinde mineral çökeltileri gözlenmiştir. Ölçüm tekniği farklı olmakla birlikte, Ag'nin yüzeye yakın tabakalarda yoğunlaştığı ve derinlere doğru azaldığı görülmüştür. Bizim çalışmamızda ise Ag iyonlarının tüm ölçüm aralığı boyunca dalgalanma göstererek izlendiği tespit edilmiştir. Sonuçlardaki farklılığın ölçüm ve yöntem farklılıkları ile birlikte süt ve daimi dişler arasındaki yapı farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.⁽²⁶³⁾

François ve ark. ⁽²⁶⁴⁾ larının çalışmasında, dentin yüzeyine GDF, Potasyum iyodür ve poliakrilik asit ön uygulamasının YVCİS (Equia)'ın dentine bağlanması üzerine etkisi karşılaştırılmak istenmiş ve SEM-EDX analizi ile grupların dentin ile arayüzeyindeki mineral değişiklikleri incelenmiştir. Örnekler, materyal uygulamasından sonra 48 saat bekletilmiş olup çalışmada kısa dönemli etkiler değerlendirilmiştir. Yalnız YVCİS uygulanan grup kontrol grubu olarak belirlenmiş ve dentin ara yüzü sürekli ve dentin tübülleri ise açık bir şekilde izlenmiştir. Materyal uygulaması sonrası, EDX analizi ile, bizim bulgularımızla da uyumlu olarak, oksijen, kalsiyum, fosfor, alüminyum, florür, silisyum ve sodyum bileşiklerinin varlığı ortaya koyulmuştur. GDF ardından YVCİS uygulanan gruplarda ise dentin arayüzü süreklilik göstermeye devam etmiş, ancak dentin tübüllerinde çeşitli derinliklerde yoğun çökelti gözlenmiştir. Daha önce

bildirilen elementlere ek olarak gümüş bileşiklerinin varlığı da ortaya koyulmuş olup gümüş çökeltileri tübüllerde izlenmiştir. Mineral analizi bulguları SEM-EDX çizgisel analizi bulgularımızla uyumluluk göstermektedir.



6.SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Başlangıç sertlik değerleri ile karşılaştırıldığında (T_0), pH siklusu sonrasında (T_1), tüm gruplarda etkilenmiş dentini temsil edecek şekilde anlamlı düzeyde sertlik kaybı meydana gelmiştir ($p<0,05$).
2. T_2 aşamasına ait bulgular incelendiğinde; GF, ART ve GMART uygulamaları, demineralize dentin yüzeyinde anlamlı olarak sertlik artışı sağlamışlardır. T_1 - T_2 arası mikrosertlik değişimleri incelendiğinde, GF ve GMART grupları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0,990$). ART grubunda görülen mikrosertlik artışı ise GF grubu ile karşılaştırıldığında anlamlı olarak daha düşük bulunmuş ($p=0,047$), GMART grubu ile karşılaştırıldığında ise anlamlı bir fark görülmemiştir ($p=0,65$).
3. T_1 - T_3 arası mikrosertlik değişimleri incelendiğinde, yalnızca ART grubunda T_3 değerlerinin T_1 değerlerinden daha düşük olduğu görülmüş, ve bu düşüşün anlamlı olduğu görülmüştür ($p=0,141$). Başlangıçta sertlik artışı izlenmiş olsa da materyal uzaklaştırıldığında ve asidik koşullar devam ettiğinde koruyuculuk ve remineralizasyon etkisinin azaldığı tespit edilmiştir.
4. GF grubunda T_2 'den T_3 'e geçişte gözlenen azalma istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,002$) ancak; T_1 - T_3 zaman aralığında mikrosertlik değerlerinin anlamlı olarak arttığı gözlenmiştir ($p=0,002$). Bu durum, GF'nin tek başına uygulandığında dahi koruyucu ve remineralizan etkisinin asidik koşullar altında devam ettiğini göstermektedir.
5. GMART grubunda T_2 'den T_3 'e geçişte gözlenen mikrosertlik düşüşü ($p=0,561$), GF ($p=0,002$) ve ART ($p<0,001$) gruplarından farklı olarak anlamlı düzeyde değildir. Bu durum GMART'ın devam eden asidik koşullara GF ve ART gruplarından daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.
6. SEM-EDX analizlerinde, T_1 - T_2 aşamaları arasında, Ca/P oranının en fazla GMART grubunda arttığı, GMART ve GF uygulamasında gümüş iyonlarının tedavi sonrası haritalama ve çizgisel analizlerin her ikisinde de tespit edildiği belirlenmiştir ve bu durum bize gümüş partiküllerinin dentin içerisine diffüze olduğunu göstermektedir. ART ve GMART gruplarında yüzeyde F varlığı belirlenmiştir. Bu bulgular remineralizasyon sürecinin elementel düzeyde de desteklendiğini ve mineral densitesi ölçümlerinin mikrosertlik bulgularını destekler nitelikte olduğunu göstermektedir.

7. Çalışmamızda tüm zaman noktaları arasında pH siklusu yöntemiyle ağız ortamı taklit edilmiş olup minimal invaziv tedavi yöntemlerinin klinik koşullara uyarlanabilirliği desteklenmiş, hem de çalışmanın bulgularının klinik pratikle ilişkilendirilebilirliği artırılmıştır.

Tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek remineralizasyon potansiyelinin GMART ve GF uygulamalarında, en az ise ART uygulamalarında gözlemlendiği belirlenmiştir. GMART yaklaşımı, yalnızca remineralizasyonu desteklemekle kalmayıp aynı zamanda dişi restore ederek fonksiyonel hale getirmesi gibi ek avantajları sayesinde özellikle kooperasyon güçlüğü yaşayan, yüksek çürük riskine sahip veya özel gereksinimli çocuk hastalarda; minimal invaziv, hızlı, maliyet etkin olması nedeniyle öncelikli tercih edilebilecek bir tedavi seçeneği olarak önerilebilir.

YVCİS materyalleri, flor salınımı ve biyouyumluluk özellikleri sayesinde remineralizasyonu desteklemekle birlikte, tek başına uygulandığında özellikle asidik koşulların devam ettiği yüksek çürük riskine sahip hastalarda etkinliği sınırlı kalabilmektedir. ART restorasyonlarında marjinal sızıntı veya materyal kaybı görüldüğünde dentin yüzeyinin korunabilmesi için ek tedavi önlemleri gerekebilir. Bu nedenle CİS restorasyonlarının bütünlüğünün düzenli olarak korunmasının ve gerektiğinde yenilenmesinin, ART yaklaşımının uzun dönem başarısı açısından önem taşımaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, farklı pH döngülerinde, daha geniş örneklem aralığında, klinik hasta grupları üzerinde ve daha uzun dönem takipli olarak gerçekleştirilmesinin, bu tedavi yöntemlerinin uzun dönem başarısı hakkında daha kapsamlı bilgi sağlayacağı kanısındayız.

KAYNAKLAR

1. Fejerskov O, Nyvad B. Dental Caries the Disease and its Clinical Management. 3rd ed. Wiley Blackwell; 2015. 7–10 p.
2. World Health Organization. Global oral health status report: towards universal health coverage for oral health by 2030. Geneva: World Health Organization; 2022.
3. BaniHani A, Deery C, Toumba J, Munyombwe T, Duggal M. The impact of dental caries and its treatment by conventional or biological approaches on the oral health-related quality of life of children and carers. *Int J Paediatr Dent*. 2018 Mar 30;28(2):266–76.
4. Valm AM. The Structure of Dental Plaque Microbial Communities in the Transition from Health to Dental Caries and Periodontal Disease. *J Mol Biol*. 2019 Jul;431(16):2957–69.
5. Featherstone J. Dental caries: a dynamic disease process. *Aust Dent J*. 2008 Sep 18;53(3):286–91.
6. Hicks J, Garcia-Godoy F, Flaitz C. Biological factors in dental caries enamel structure and the caries process in the dynamic process of demineralization and remineralization (part 2). *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2005 Jan 1;28(2):119–24.
7. Kidd E, Fejerskov O, Nyvad B. Infected dentine revisited. *Dent Update*. 2015 Nov 2;42(9):802–9.
8. Yıkılğan İ. Diş çürüğü ve diş sert dokuları. *Türkiye Klinikleri Journal of Restorative Dentistry-Special Topics* . 2016;2(1):5–8.
9. Alp Ünlü Ö, Sengun Berber E, Keleş Gülbahçe E, Aykut Yetkiner A. Minimal Invasive Treatment Approaches in Pediatric Dentistry. *Journal of Ege University School of Dentistry*. 2023;44(50):55–64.
10. Banerjee A, Watson T. Pickard's Guide to Minimally Invasive Operative Dentistry. 3rd ed. 2015.
11. Saber AM, El-Housseiny AA, Alamoudi NM. Atraumatic Restorative Treatment and Interim Therapeutic Restoration: A Review of the Literature. *Dent J (Basel)*. 2019 Mar 7;7(1):28.
12. Mei ML, Lo ECM, Chu CH. Arresting Dentine Caries with Silver Diamine Fluoride: What's Behind It? *J Dent Res*. 2018 Jul 16;97(7):751–8.
13. Ballikaya E, Ünverdi GE, Cehreli ZC. Management of initial carious lesions of hypomineralized molars (MIH) with silver diamine fluoride or silver-modified atraumatic restorative treatment (SMART): 1-year results of a prospective, randomized clinical trial. *Clin Oral Investig*. 2022 Feb 6;26(2):2197–205.
14. Heymann H/ SE/ RA. Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry. In: 7th ed. Missouri: Mosby Elsevier; 2019.
15. Sarna-Boś K, Skic K, Boguta P, Adamczuk A, Vodanovic M, Chałas R. Elemental mapping of human teeth enamel, dentine and cementum in view of their microstructure. *Micron*. 2023 Sep;172:103485.
16. Kunin AA, Evdokimova AY, Moiseeva NS. Age-related differences of tooth enamel morphochemistry in health and dental caries. *EPMA Journal*. 2015 Dec 29;6(1):3.
17. Williams C, Wu Y, Bowers DF. ImageJ analysis of dentin tubule distribution in human teeth. *Tissue Cell*. 2015 Aug;47(4):343–8.

18. De Menezes Oliveira MAH, Torres CP, Gomes-Silva JM, Chinelatti MA, De Menezes FCH, Palma-Dibb RG, et al. Microstructure and mineral composition of dental enamel of permanent and deciduous teeth. *Microsc Res Tech*. 2010 May 23;73(5):572–7.
19. Nanci A, editor. *Ten Cate's Oral Histology*. 9th ed. Elsevier; 2016.
20. Ruschel H, Ligoocki G, Flaminghi D, Fossati A. Microstructure of Mineralized Tissues in Human Primary Teeth. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2011 Apr 1;35(3):295–300.
21. Sumikawa DA, Marshall GW, Gee L, Marshall SJ. Microstructure of primary tooth dentin. *Pediatr Dent*. 1999;21(7):439–44.
22. Lenzi TL, Soares FZM, Tedesco TK, Rocha R de O. Is It Possible to induce Artificial Caries-affected Dentin using the Same Protocol to Primary and Permanent Teeth? *J Contemp Dent Pract*. 2015 Aug;16(8):638–42.
23. Chowdhary N, Subba Reddy V. Dentin comparison in primary and permanent molars under transmitted and polarised light microscopy: An in vitro study. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*. 2010;28(3):167.
24. Koutsi V, Noonan RG, Horner JA, Simpson MD, Matthews WG, Pashley DH. The effect of dentin depth on the permeability and ultrastructure of primary molars. *Pediatr Dent*. 1994;16(1):29–35.
25. Agematsu H, Abe S, Shiozaki K, Usami A, Ogata S, Suzuki K, et al. Relationship between large tubules and dentin caries in human deciduous tooth. *Bull Tokyo Dent Coll*. 2005 May;46(1–2):7–15.
26. Roberson T/ HH/ SJEJ. *Cariology: The Lesion, Etiology, Prevention, and Control*. In: *Sturdevant's art and science of operative dentistry*: Elsevier Health Sciences. 4th ed. 2006. p. 79.
27. Boachie MK, Molete M, Hofman K, Thsehla E. Cost-effectiveness of dental caries prevention strategies in South African schools. *BMC Oral Health*. 2023 Oct 28;23(1):814.
28. Wolf TG, Campus G. Cost-Effectiveness of Treatment Decisions for Early Childhood Caries in Infants and Toddlers: A Systematic Review. *Medicina (B Aires)*. 2023 Oct 20;59(10):1865.
29. American Academy on Pediatric Dentistry Clinical Affairs Committee- Restorative Dentistry Subcommittee, American Academy on Pediatric Dentistry Council on Clinical Affairs. Guideline on pediatric restorative dentistry. *Pediatr Dent*. 2024;30(7 Suppl):452–65.
30. Meyer F, Schulze zur Wiesche E, Amaechi BT, Limeback H, Enax J. Caries Etiology and Preventive Measures. *Eur J Dent*. 2024 Jul 31;18(03):766–76.
31. Pitts NB, Twetman S, Fisher J, Marsh PD. Understanding dental caries as a non-communicable disease. *Br Dent J*. 2021 Dec 17;231(12):749–53.
32. Meyer F, Schulze zur Wiesche E, Amaechi BT, Limeback H, Enax J. Caries Etiology and Preventive Measures. *Eur J Dent*. 2024 Jul 31;18(03):766–76.
33. Lemos JA, Palmer SR, Zeng L, Wen ZT, Kajfasz JK, Freires IA, et al. The Biology of *Streptococcus mutans*. *Microbiol Spectr*. 2019 Feb 8;7(1).
34. Stephan RM. Intra-Oral Hydrogen-Ion Concentrations Associated With Dental Caries Activity. *J Dent Res*. 1944 Aug 1;23(4):257–66.
35. Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB. Dental caries. *The Lancet*. 2007 Jan;369(9555):51–9.

36. Hannig M, Joiner A. The Structure, Function and Properties of the Acquired Pellicle. In: *The Teeth and Their Environment*. Basel: KARGER; 2005. p. 29–64.
37. Jakubovics NS, Goodman SD, Mashburn-Warren L, Stafford GP, Cieplik F. The dental plaque biofilm matrix. *Periodontol* 2000. 2021 Jun 10;86(1):32–56.
38. Bowen WH, Koo H. Biology of *Streptococcus mutans*-derived glucosyltransferases: role in extracellular matrix formation of cariogenic biofilms. *Caries Res*. 2011;45(1):69–86.
39. Zhang J, Xu X. [Research Progress in the Relationship Between *Lactobacillus* and Dental Caries]. *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2022 Sep;53(5):929–34.
40. Akbar P, Salahuddin N, Ahmad Z, Shah SZ, Shah F, Maknoon D. Role of *Actinomyces* species in oral biofilm formation and dental plaque-related diseases. . *Innovative Research in Applied, Biological and Chemical Sciences*. 2024 Jun 30;2(1):120–5.
41. Bachand WR/ FOL. The Delicate Balance of Remineralization and Demineralization. *Decisions in Dentistry*. 2022 Sep;8(9):32–5.
42. Uysal S, Öz T. Derleme: Başlangıç Mine Lezyonlarının Remineralizasyonunda Kullanılan Ajanlar. *AÜDiş hekFak Derg*. 2018;45(3):201–10.
43. Buchalla W. Histological and Clinical Appearance of Caries. . In: Kretz FJ, Becke K, editors. *Caries Management: Science and Clinical Practice*. 1st ed. 2013. p. 39–55.
44. Mazzoni A, Tjäderhane L, Checchi V, Di Lenarda R, Salo T, Tay FR, et al. Role of Dentin MMPs in Caries Progression and Bond Stability. *J Dent Res*. 2015 Feb 22;94(2):241–51.
45. Mattos J, Soares GM, Ribeiro A de A. Current status of conservative treatment of deep carious lesions. *Dent Update*. 2014 Jun 2;41(5):452–6.
46. Mathur VP, Dhillon JK. Dental Caries: A Disease Which Needs Attention. *The Indian Journal of Pediatrics*. 2018 Mar 23;85(3):202–6.
47. Bjørndal L, Mjör IA. Pulp-dentin biology in restorative dentistry. Part 4: Dental caries--characteristics of lesions and pulpal reactions. *Quintessence Int*. 2001 Oct;32(9):717–36.
48. Banerjee A, Frencken JE, Schwendicke F, Innes NPT. Contemporary operative caries management: consensus recommendations on minimally invasive caries removal. *Br Dent J*. 2017 Aug 11;223(3):215–22.
49. Schwendicke F. Contemporary concepts in carious tissue removal: A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2017 Nov 12;29(6):403–8.
50. Maltz M, Garcia R, Jardim JJ, de Paula LM, Yamaguti PM, Moura MS, et al. Randomized Trial of Partial vs . Stepwise Caries Removal. *J Dent Res*. 2012 Nov 14;91(11):1026–31.
51. GÜÇLÜ ÖZKAYA ZA, HİDAYET Z. DENTİNİN BİYOMİMETİK REMİNERALİZASYONU. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2019 Dec 31;
52. Black GV. A work on operative dentistry. The technical procedures in filling teeth *Medico-Dental Publishing Company*. 1908;2.
53. Osborne JW, Summitt JB. Extension for prevention: is it relevant today? *Am J Dent*. 1998 Aug;11(4):189–96.
54. American Academy of Pediatric Dentistry. Policy on minimally invasive dentistry. *Pediatr Dent*. 2021;43(6):94–8.

55. Banerjee A/ WT. Pickard's guide to minimally invasive operative dentistry. In Oxford; 2015.
56. Cenci MS, Laske M, Mendes FM. Minimally invasive caries treatment. Ned Tijdschr Tandheelkd. 2024 Oct 7;131(10):421–8.
57. Frencken JE, Peters MC, Manton DJ, Leal SC, Gordan V V., Eden E. Minimal intervention dentistry for managing dental caries – a review. Int Dent J. 2012 Oct;62(5):223–43.
58. Holmgren CJ, Roux D, Doméjean S. Minimal intervention dentistry: part 5. Atraumatic restorative treatment (ART) – a minimum intervention and minimally invasive approach for the management of dental caries. Br Dent J. 2013 Jan 11;214(1):11–8.
59. Mohapatra S, Mohandas R. Clinical Outcome Success of Silver-Modified Atraumatic Restorative Treatment (SMART) in Treating Children with Dental Caries in Primary Teeth: A Systematic Review. Journal of Health and Allied Sciences NU. 2025 Jan 29;15(01):004–10.
60. Moskovitz M, Elkesslasy T, Shmueli A, Halperson E, Ram D, Fux-Noy A. Minimal intervention dentistry for treating primary teeth: a survey study among members of the Israeli Society of Paediatric Dentistry. European Archives of Paediatric Dentistry. 2025 Feb 9;26(1):119–29.
61. Rao A, Malhotra N. The role of remineralizing agents in dentistry: a review. Compend Contin Educ Dent. 2011;32(6):26–33; quiz 34, 36.
62. Thompson VT, Craig RG, Curro FA, Green WS, Ship JA. Treatment of deep carious lesions by complete excavation or partial removal. The Journal of the American Dental Association. 2008 Jun;139(6):705–12.
63. Küçükeşmen ÇSH. Diş Hekimliğinde Florun, insan vücudu ve dişler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi. SDÜ Tıp fak Derg. 2008;15(3):43–53.
64. O'Mullane DM, Baez RJ, Jones S, Lennon MA, Petersen PE, Rugg-Gunn AJ, et al. Fluoride and Oral Health. Community Dent Health. 2016 Jun;33(2):69–99.
65. Fluoride: Topical and systemic supplements. . American Dental Association Oral Health Topics . 2023 Mar 12;
66. Schiffner U. Verwendung von Fluoriden zur Kariesprävention [Use of fluorides for caries prevention]. . Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz. 2021 Jul 11;64(7):830–7.
67. Nassar Y, Brizuela M. The Role of Fluoride on Caries Prevention. 2025.
68. Buzalaf MAR, Pessan JP, Honório HM, ten Cate JM. Mechanisms of Action of Fluoride for Caries Control. In 2011. p. 97–114.
69. Petersson LG. The role of fluoride in the preventive management of dentin hypersensitivity and root caries. Clin Oral Investig. 2013 Mar 28;17(S1):63–71.
70. Nezir M/ ÖS. Restoratif Diş Hekimliğinde Cam İyonomerler. ADO Klinik Bilimler Dergisi . 2021 Nov;90–1.
71. WILSON AD, KENT BE, MESLEY RJ, MILLER RP, CLINTON D, FLETCHER KE. Formation of Dental Silicate Cement. Nature. 1970 Jan;225(5229):272–3.
72. Mount GJ. An Atlas of Glass-Ionomer Cements. 3rd ed. CRC Press; 2001. 13 p.
73. Sidhu S, Nicholson J. A Review of Glass-Ionomer Cements for Clinical Dentistry. J Funct Biomater. 2016 Jun 28;7(3):16.

74. Kumari PD, Khijmatgar S, Chowdhury A, Lynch E, Chowdhury CR. Factors influencing fluoride release in atraumatic restorative treatment (ART) materials: A review. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2019 Oct;9(4):315–20.
75. Sidhu S. Glass-ionomer cement restorative materials: a sticky subject? *Aust Dent J.* 2011 Jun 13;56(s1):23–30.
76. Elmacı İ/ TM. Restoratif Diş Hekimliğinde Cam İyonomer Simanlar ve Yeni Gelişmeler. . *NEU Dent J.* 2020;2(2):69–75.
77. Karantakis P, Helvatjoglou-Antoniades M, Theodoridou-Pahini S, Papadogiannis Y. Fluoride release from three glass ionomers, a compomer, and a composite resin in water, artificial saliva, and lactic acid. *Oper Dent.* 2000;25(1):20–5.
78. Bell A, Creanor SL, Foye RH, Saunders WP. The effect of saliva on fluoride release by a glass–ionomer filling material. *J Oral Rehabil.* 1999 May 25;26(5):407–12.
79. DeSchepper EJ, Berr EA, Cailleteau JG, Tate WH. A comparative study of fluoride release from glass-ionomer cements. *Quintessence Int.* 1991 Mar;22(3):215–9.
80. Vermeersch G, Leloup G, Vreven J. Fluoride release from glass–ionomer cements, compomers and resin composites. *J Oral Rehabil.* 2001 Jan 20;28(1):26–32.
81. Bahsi E, Sagmak S, Dayi B, Cellik O, Akkus Z. The evaluation of microleakage and fluoride release of different types of glass ionomer cements. *Niger J Clin Pract.* 2019;22(7):961.
82. Türkün L, Kanik Ö. A Prospective Six-Year Clinical Study Evaluating Reinforced Glass Ionomer Cements with Resin Coating on Posterior Teeth: Quo Vadis? *Oper Dent.* 2016 Nov 1;41(6):587–98.
83. Kanik Ö/. Restoratif Cam iyonomer simanlarda güncel yaklaşımlar. *Ege Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi* . 2016;37(2):54–65.
84. KARAKAŞ S. Reinforced glass ionomer cement types. *Curr Res Dent Sci.* 2022;32(4):297–304.
85. Menne-Happ U, Ilie N. Effect of gloss and heat on the mechanical behaviour of a glass carbomer cement. *J Dent.* 2013 Mar;41(3):223–30.
86. NICHOLSON J, CZARNECKA B. The biocompatibility of resin-modified glass-ionomer cements for dentistry. *Dental Materials.* 2008 Dec;24(12):1702–8.
87. Bansal R. A Comparative Evaluation of the Amount of Fluoride Release and Re- Release after Recharging from Aesthetic Restorative Materials: An in Vitro Study. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH.* 2015;
88. Tarasingh P. Comparative Evaluation of Antimicrobial Efficacy of Resin-Modified Glass Ionomers, Compomers and Giomers – An Invitro Study. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH.* 2015;
89. Gonulol N, Ozer S, Sen Tunc E. Water Sorption, Solubility, and Color Stability of Giomer Restoratives. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* 2015 Sep 21;27(5):300–6.
90. Gordan V V., Blaser PK, Watson RE, Mjör IA, McEdward DL, Sensi LG, et al. A clinical evaluation of a giomer restorative system containing surface prereacted glass ionomer filler. *The Journal of the American Dental Association.* 2014 Oct;145(10):1036–43.

91. MOLINA GF, CABRAL RJ, MAZZOLA I, LASCANO LB, FRENCKEN JoE. Mechanical performance of encapsulated restorative glass-ionomer cements for use with Atraumatic Restorative Treatment (ART). *Journal of Applied Oral Science*. 2013 Jun;21(3):243–9.
92. Zoergiebel J, Ilie N. Evaluation of a conventional glass ionomer cement with new zinc formulation: effect of coating, aging and storage agents. *Clin Oral Investig*. 2013 Mar 2;17(2):619–26.
93. RITTER A V., BROWNING WD, SWIFT JR, EJ. Partial Caries Excavation. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2012 Apr 23;24(2):148–52.
94. Gruythuysen R, van Strijp G, Wu MK. Long-term Survival of Indirect Pulp Treatment Performed in Primary and Permanent Teeth with Clinically Diagnosed Deep Carious Lesions. *J Endod*. 2010 Sep;36(9):1490–3.
95. Hayashi M, Fujitani M, Yamaki C, Momoi Y. Ways of enhancing pulp preservation by stepwise excavation—A systematic review. *J Dent*. 2011 Feb;39(2):95–107.
96. American Academy of Pediatric Dentistry. Pediatric restorative dentistry. . In: *The Reference Manual of Pediatric Dentistry* . Chicago, Ill.: American Academy of Pediatric Dentistry; 2024. p. 452–65.
97. Segura-Egea JJ. Complete excavation or removal of carious tissues to hard dentin: Overtreatment. *Journal of Oral Research*. 2017 Feb 28;6(2):30–1.
98. Ricketts D, Lamont T, Innes NP, Kidd E, Clarkson JE. Operative caries management in adults and children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2019 Jul 24;2019(7).
99. Maltz M, Garcia R, Jardim JJ, de Paula LM, Yamaguti PM, Moura MS, et al. Randomized Trial of Partial vs . Stepwise Caries Removal. *J Dent Res*. 2012 Nov 14;91(11):1026–31.
100. Elhennawy K, Finke C, Paris S, Reda S, Jost-Brinkmann PG, Schwendicke F. Selective vs stepwise removal of deep carious lesions in primary molars: 24 months follow-up from a randomized controlled trial. *Clin Oral Investig*. 2021 Feb 28;25(2):645–52.
101. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, et al. Managing Carious Lesions. *Adv Dent Res*. 2016 May 20;28(2):58–67.
102. Marsh PD. Dental plaque as a biofilm and a microbial community – implications for health and disease. *BMC Oral Health*. 2006 Jun 10;6(S1):S14.
103. Lula ECO, Monteiro-Neto V, Alves CMC, Ribeiro CCC. Microbiological Analysis after Complete or Partial Removal of Carious Dentin in Primary Teeth: A Randomized Clinical Trial. *Caries Res*. 2009;43(5):354–8.
104. Frencken JE. Atraumatic restorative treatment and minimal intervention dentistry. *Br Dent J*. 2017 Aug 11;223(3):183–9.
105. Policy on Interim Therapeutic Restorations (ITR). American Academy of Pediatric Dentistry. 2024;107–8.
106. Fluoride therapy. *The Reference Manual of Pediatric Dentistry*. . American Academy of Pediatric Dentistry. 2024;351–7.
107. Weyant RJ, Tracy SL, Anselmo T (Tracy), Beltrán-Aguilar ED, Donley KJ, Frese WA, et al. Topical fluoride for caries prevention. *The Journal of the American Dental Association*. 2013 Nov;144(11):1279–91.
108. Zhao IS, Gao SS, Hiraishi N, Burrow MF, Duangthip D, Mei ML, et al. Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: a literature review. *Int Dent J*. 2018 Apr;68(2):67–76.

109. Øgaard B, Seppä L, Rolla G. Professional Topical Fluoride Applications—Clinical Efficacy and Mechanism of Action. *Adv Dent Res.* 1994 Jul 1;8(2):190–201.
110. Brambilla E. Fluoride – Is It Capable of Fighting Old and New Dental Diseases? *Caries Res.* 2001;35(Suppl. 1):6–9.
111. Jiang H, Bian Z, Tai BJ, Du MQ, Peng B. The Effect of a Bi-annual Professional Application of APF Foam on Dental Caries Increment in Primary Teeth: 24-month Clinical Trial. *J Dent Res.* 2005 Mar 1;84(3):265–8.
112. Professionally applied topical fluoride. *The Journal of the American Dental Association.* 2006 Aug;137(8):1151–9.
113. Beltrán-Aguilar ED, Goldstein JW, Lockwood SA. Fluoride Varnishes. *The Journal of the American Dental Association.* 2000 May;131(5):589–96.
114. Gao SS, Zhang S, Mei ML, Lo ECM, Chu CH. Caries remineralisation and arresting effect in children by professionally applied fluoride treatment – a systematic review. *BMC Oral Health.* 2016 Dec 1;16(1):12.
115. Slayton RL, Urquhart O, Araujo MWB, Fontana M, Guzmán-Armstrong S, Nascimento MM, et al. Evidence-based clinical practice guideline on nonrestorative treatments for carious lesions. *The Journal of the American Dental Association.* 2018 Oct;149(10):837-849.e19.
116. Adair SM. Evidence-based use of fluoride in contemporary pediatric dental practice. *Pediatr Dent.* 2006;28(2):133–42; discussion 192-8.
117. dos Santos APP, Nadanovsky P, de Oliveira BH. A systematic review and meta-analysis of the effects of fluoride toothpastes on the prevention of dental caries in the primary dentition of preschool children. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2013 Feb 10;41(1):1–12.
118. Gummin DD, Mowry JB, Beuhler MC, Spyker DA, Bronstein AC, Rivers LJ, et al. 2020 Annual Report of the American Association of Poison Control Centers' National Poison Data System (NPDS): 38th Annual Report. *Clin Toxicol.* 2021 Dec 2;59(12):1282–501.
119. Greenwall-Cohen J, Greenwall L, Barry S. Silver diamine fluoride - an overview of the literature and current clinical techniques. *Br Dent J.* 2020 Jun 12;228(11):831–8.
120. Rosenblatt A, Stamford TCM, Niederman R. Silver Diamine Fluoride: A Caries “Silver-Fluoride Bullet.” *J Dent Res.* 2009 Feb 1;88(2):116–25.
121. Crystal YO, Marghalani AA, Ureles SD, Wright JT, Sulyanto R, Divaris K, et al. Use of Silver Diamine Fluoride for Dental Caries Management in Children and Adolescents, Including Those with Special Health Care Needs. *Pediatr Dent.* 2017 Sep 15;39(5):135–45.
122. Policy on the Use of Silver Diamine Fluoride for Pediatric Dental Patients. *The Reference Manual of Pediatric Dentistry.* American Academy of Pediatric Dentistry . 2024;104–6.
123. Nishino M, Yoshida S, Sobue S, Kato J, Nishida M. Effect of topically applied ammoniacal silver fluoride on dental caries in children. *J Osaka Univ Dent Sch.* 1969 Sep;9:149–55.
124. Fung MHT, Duangthip D, Wong MCM, Lo ECM, Chu CH. Randomized Clinical Trial of 12% and 38% Silver Diamine Fluoride Treatment. *J Dent Res.* 2018 Feb 28;97(2):171–8.
125. Crystal YO, Niederman R. Silver Diamine Fluoride Treatment Considerations in Children’s Caries Management. *Pediatr Dent.* 2016 Nov 15;38(7):466–71.

126. Horst JA, Ellenikiotis H, Milgrom PL. UCSF Protocol for Caries Arrest Using Silver Diamine Fluoride: Rationale, Indications and Consent. J Calif Dent Assoc. 2016 Jan;44(1):16–28.
127. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-MHP- HPS-EML-2021.03>. [Internet]. 2021. World Health Organization. .
128. Gao SS, Zhao IS, Hiraishi N, Duangthip D, Mei ML, Lo ECM, et al. Clinical Trials of Silver Diamine Fluoride in Arresting Caries among Children: A Systematic Review. JDR Clin Trans Res. 2016 Oct;1(3):201–10.
129. de Almeida L de FD, Cavalcanti YW, Valença AMG. In vitro antibacterial activity of silver diamine fluoride in different concentrations. Acta Odontol Latinoam. 2011;24(2):127–31.
130. Yee R, Holmgren C, Mulder J, Lama D, Walker D, van Palenstein Helder W. Efficacy of Silver Diamine Fluoride for Arresting Caries Treatment. J Dent Res. 2009 Jul 29;88(7):644–7.
131. Mei ML, Li QL, Chu CH, Yiu CKY, Lo ECM. The inhibitory effects of silver diamine fluoride at different concentrations on matrix metalloproteinases. Dental Materials. 2012 Aug;28(8):903–8.
132. UÇAR Z, AKYILDIZ BM. ÇOCUK DİŞ HEKİMLİĞİNDE GÜMÜŞ DİAMİN FLORÜR KULLANIMI. Selcuk Dental Journal. 2022 Aug 24;9(2):652–61.
133. Rosenblatt A, Stamford TCM, Niederman R. Silver Diamine Fluoride: A Caries “Silver-Fluoride Bullet.” J Dent Res. 2009 Feb 1;88(2):116–25.
134. Knight G, McIntyre J, Craig G, Mulyani, Zilm P, Gully N. An *in vitro* model to measure the effect of a silver fluoride and potassium iodide treatment on the permeability of demineralized dentine to *Streptococcus mutans*. Aust Dent J. 2005 Dec 12;50(4):242–5.
135. Mei ML, Li Q li, Chu CH, Lo EM, Samaranayake LP. Antibacterial effects of silver diamine fluoride on multi-species cariogenic biofilm on caries. Ann Clin Microbiol Antimicrob. 2013 Jan 26;12(1):4.
136. Peng JJY, Botelho MG, Matinlinna JP. Silver compounds used in dentistry for caries management: A review. J Dent. 2012 Jul;40(7):531–41.
137. CHU CH, MEI L, SENEVIRATNE CJ, LO ECM. Effects of silver diamine fluoride on dentine carious lesions induced by *Streptococcus mutans* and *Actinomyces naeslundii* biofilms. Int J Paediatr Dent. 2012 Jan 27;22(1):2–10.
138. Mei ML, Chu CH, Low KH, Che CM, Lo ECM. Caries arresting effect of silver diamine fluoride on dentine carious lesion with *S. mutans* and *L. acidophilus* dual-species cariogenic biofilm. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2013;e824–31.
139. Lansdown ABG. Silver in Health Care: Antimicrobial Effects and Safety in Use. In: Biofunctional Textiles and the Skin. Basel: KARGER; 2006. p. 17–34.
140. Thibodeau EA, Handelman SL, Marquis RE. Inhibition and Killing of Oral Bacteria by Silver Ions Generated with Low Intensity Direct Current. J Dent Res. 1978 Sep 1;57(9–10):922–6.
141. Wakshlak RBK, Pedahzur R, Avnir D. Antibacterial activity of silver-killed bacteria: the “zombies” effect. Sci Rep. 2015 Apr 23;5(1):9555.
142. Mei ML, Nudelman F, Marzec B, Walker JM, Lo ECM, Walls AW, et al. Formation of Fluorohydroxyapatite with Silver Diamine Fluoride. J Dent Res. 2017 Sep 18;96(10):1122–8.

143. Mei ML, Ito L, Cao Y, Li QL, Lo ECM, Chu CH. Inhibitory effect of silver diamine fluoride on dentine demineralisation and collagen degradation. *J Dent*. 2013 Sep;41(9):809–17.
144. Buchalla W, Imfeld T, Attin T, Swain MV, Schmidlin PR. Relationship between Nanohardness and Mineral Content of Artificial Carious Enamel Lesions. *Caries Res*. 2008;42(3):157–63.
145. Kiesow A, Menzel M, Lippert F, Tanzer JM, Milgrom P. Dentin tubule occlusion by a 38% silver diamine fluoride gel: an in vitro investigation. *BDJ Open*. 2022 Jan 13;8(1):1.
146. Greenwall-Cohen J, Greenwall L, Barry S. Silver diamine fluoride - an overview of the literature and current clinical techniques. *Br Dent J*. 2020 Jun 12;228(11):831–8.
147. ten Cate JM. Contemporary perspective on the use of fluoride products in caries prevention. *Br Dent J*. 2013 Feb 22;214(4):161–7.
148. PRADO RSG. In vitro efficiency of fluoride-containing compounds on remineralization of carious enamel lesions under cyclic pH conditions. *Rev Odont Mex [online]*. 2014;18(2):96–104.
149. Yu OY, Zhao IS, Mei ML, Lo ECM, Chu CH. Caries-arresting effects of silver diamine fluoride and sodium fluoride on dentine caries lesions. *J Dent*. 2018 Nov;78:65–71.
150. Zhao IS, Yin IX, Mei ML, Lo ECM, Tang J, Li Q, et al. <p>Remineralising Dentine Caries Using Sodium Fluoride with Silver Nanoparticles: An In Vitro Study</p>. *Int J Nanomedicine*. 2020 Apr;Volume 15:2829–39.
151. THANATVARAKORN O, ISLAM MDS, NAKASHIMA S, SADR A, NIKAIIDO T, TAGAMI J. Effects of zinc fluoride on inhibiting dentin demineralization and collagen degradation <i>in vitro</i>; A comparison of various topical fluoride agents. *Dent Mater J*. 2016;35(5):769–75.
152. Rosenblatt A, Stamford TCM, Niederman R. Silver Diamine Fluoride: A Caries “Silver-Fluoride Bullet.” *J Dent Res*. 2009 Feb 1;88(2):116–25.
153. Zaeneldin A, Yu OY, Chu CH. Effect of silver diamine fluoride on vital dental pulp: A systematic review. *J Dent*. 2022 Apr;119:104066.
154. Klinge RF. Further Observations on Tertiary Dentin in Human Deciduous Teeth. *Adv Dent Res*. 2001 Aug 1;15(1):76–9.
155. Chu CH, Lo ECM, Lin HC. Effectiveness of Silver Diamine Fluoride and Sodium Fluoride Varnish in Arresting Dentin Caries in Chinese Pre-school Children. *J Dent Res*. 2002 Nov 1;81(11):767–70.
156. Bimstein E, Damm D. Human Primary Tooth Histology Six Months after Treatment with Silver Diamine Fluoride. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2018 Jan 1;42(6):442–4.
157. Mei ML, Li QL, Chu CH, Yiu CKY, Lo ECM. The inhibitory effects of silver diamine fluoride at different concentrations on matrix metalloproteinases. *Dental Materials*. 2012 Aug;28(8):903–8.
158. Da COSTA-SILVA CM, AMBROSANO GMB, JEREMIAS F, De SOUZA JF, MIALHE FL. Increase in severity of molar-incisor hypomineralization and its relationship with the colour of enamel opacity: a prospective cohort study. *Int J Paediatr Dent*. 2011 Sep;21(5):333–41.
159. Craig G, Knight G, McIntyre J. Clinical evaluation of diamine silver fluoride/potassium iodide as a dentine desensitizing agent. A pilot study. *Aust Dent J*. 2012 Sep 23;57(3):308–11.

160. Zhao IS, Gao SS, Hiraishi N, Burrow MF, Duangthip D, Mei ML, et al. Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: a literature review. *Int Dent J*. 2018 Apr;68(2):67–76.
161. Li Y, Liu Y, Psoter WJ, Nguyen OM, Bromage TG, Walters MA, et al. Assessment of the Silver Penetration and Distribution in Carious Lesions of Deciduous Teeth Treated with Silver Diamine Fluoride. *Caries Res*. 2019;53(4):431–40.
162. Greenwall-Cohen J, Greenwall L, Barry S. Silver diamine fluoride - an overview of the literature and current clinical techniques. *Br Dent J*. 2020 Jun 12;228(11):831–8.
163. YOKOYAMA K, MATSUMOTO K, MURASE J. Permeability of the Root Canal Wall and Occlusion of Dentinal Tubules by $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{F}$: A Comparison of Combined Use with Pulsed Nd:YAG Laser or Iontophoresis. *J Clin Laser Med Surg*. 2000 Feb;18(1):9–14.
164. LAW A, MESSER H. An Evidence-Based Analysis of the Antibacterial Effectiveness of Intracanal Medicaments. *J Endod*. 2004 Oct;30(10):689–94.
165. Gadallah LK, Safwat EM, Saleh RS, Azab SM, Azab MM. Effect of silver diamine fluoride/potassium iodide treatment on the prevention of dental erosion in primary teeth: an in vitro study. *BDJ Open*. 2023 Jul 6;9(1):24.
166. Alshehri W. Effect of Silver Diamine Fluoride on the Treatment of Gingivitis in Geriatric Patients, Unpublished Doctoral Thesis. Texas A&M University. 2020;
167. Available at: “<http://www.allianceforacavityfreefuture.org/en/us/technologies/silver-diamine/>”. Accessed July 10, 2017. [Internet]. 2017. Alliance for Cavity Free Future. Silver fluoride and silver diamine fluoride.
168. Nagarkar SR, Kumar J V, Moss ME. Early childhood caries-related visits to emergency departments and ambulatory surgery facilities and associated charges in New York state. *J Am Dent Assoc*. 2012 Jan;143(1):59–65.
169. Liu J, Probst JC, Martin AB, Wang JY, Salinas CF. Disparities in Dental Insurance Coverage and Dental Care Among US Children: The National Survey of Children’s Health. *Pediatrics*. 2007 Feb 1;119(Supplement_1):S12–21.
170. Vasquez E, Zegarra G, Chirinos E, Castillo JL, Taves DR, Watson GE, et al. Short term serum pharmacokinetics of diammine silver fluoride after oral application. *BMC Oral Health*. 2012 Dec 31;12(1):60.
171. Crystal YO, Janal MN, Hamilton DS, Niederman R. Parental perceptions and acceptance of silver diamine fluoride staining. *The Journal of the American Dental Association*. 2017 Jul;148(7):510-518.e4.
172. Knight G, McIntyre J, Craig G, Mulyani. Ion uptake into demineralized dentine from glass ionomer cement following pretreatment with silver fluoride and potassium iodide. *Aust Dent J*. 2006 Sep 12;51(3):237–41.
173. Fung MHT, Duangthip D, Wong MCM, Lo ECM, Chu CH. Arresting Dentine Caries with Different Concentration and Periodicity of Silver Diamine Fluoride. *JDR Clin Trans Res*. 2016 Jul 10;1(2):143–52.
174. Horst JEHP. UCSF Protocol for Caries Arrest Using Silver Diamine Fluoride: Rationale, Indications and Consent. *J Calif Dent Assoc* . 2016 Jan;44(1):16–28.

175. Lo ECM, Chu CH, Lin HC. A Community-based Caries Control Program for Pre-school Children Using Topical Fluorides: 18-month Results. *J Dent Res*. 2001 Dec 1;80(12):2071–4.
176. "http://www.nationalacademies.org [Internet]. Institute of Medicine. Clinical Practice Guidelines We Can Trust. 2011.
177. Zhi QH, Lo ECM, Lin HC. Randomized clinical trial on effectiveness of silver diamine fluoride and glass ionomer in arresting dentine caries in preschool children. *J Dent*. 2012 Nov;40(11):962–7.
178. López-García S, Sanz JL, Oñate-Sánchez RE, Forner L, García-Bernal D, Murcia L, et al. In vitro biocompatibility of ammonia-free silver fluoride products on human dental pulp stem cells. *Tissue Cell*. 2024 Feb;86:102283.
179. Turton B, Horn R, Durward C. Caries arrest and lesion appearance using two different silver fluoride therapies on primary teeth with and without potassium iodide: 12-month results. *Clin Exp Dent Res*. 2021 Aug 28;7(4):609–19.
180. Bansal K, Shamoo A, Mani K, K PD, Verma A, Mathur VP, et al. Silver diamine fluoride modified atraumatic restorative treatment compared to conventional restorative technique on carious primary molars—A randomized controlled trial. *J Dent*. 2023 Nov;138:104698.
181. Prakash M, Kang YH, Jain S, Zandona AF. In-vitro Assessment of Silver Diamine Fluoride Effect on Natural Carious Dentin Microhardness. *Frontiers in Dental Medicine*. 2021 Dec 17;2.
182. Nantanee R, Santiwong B, Trairatvorakul C, Hamba H, Tagami J. Silver diamine fluoride and glass ionomer differentially remineralize early caries lesions, in situ. *Clin Oral Investig*. 2016 Jul 23;20(6):1151–7.
183. Shen CRH. Phillips' Science of Dental Materials. In: Shen C/ RH, editor. *Phillips' Science of Dental Materials*. 13th ed. Elsevier Health Sciences; 2021.
184. Banerjee A, Cook R, Kellow S, Shah K, Festy F, Sherriff M, et al. A confocal micro-endoscopic investigation of the relationship between the microhardness of carious dentine and its autofluorescence. *Eur J Oral Sci*. 2010 Feb 3;118(1):75–9.
185. Ogawa K, Yamashita Y, Ichijo T, Fusayama T. The Ultrastructure and Hardness of the Transparent of Human Carious Dentin. *J Dent Res*. 1983 Jan 1;62(1):7–10.
186. Hanke L. Materials Evaluation and Engineering Inc. In: *Handbook of analytical methods for materials* Materials Evaluation and Engineering Inc. Plymouth; 2001. p. 25–38.
187. TÜREL V. RESTORATİF DENTAL MATERYALLERİN YÜZEY MEKANİK ÖZELLİKLERİ. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2015 Oct 7;11(11).
188. FEATHERSTONE JDB. THE SCIENCE AND PRACTICE OF CARIES PREVENTION. *The Journal of the American Dental Association*. 2000 Jul;131(7):887–99.
189. Bauer LJ, Mustafa HA, Zaslansky P, Mantouvalou I. Chemical mapping of teeth in 2D and 3D: X-ray fluorescence reveals hidden details in dentine surrounding fillings. *Acta Biomater*. 2020 Jun;109:142–52.
190. Al Hezaimi K, Berdan Y, Rotstein I. Assessment of dentin mineral density of human teeth using micro-computed tomography in two kilovoltage levels. *Odontology*. 2023 Oct 30;111(4):904–9.
191. ten Cate JM. Remineralization of Caries Lesions Extending into Dentin. *J Dent Res*. 2001 May 1;80(5):1407–11.

192. Li Y, Liu Y, Psoter WJ, Nguyen OM, Bromage TG, Walters MA, et al. Assessment of the Silver Penetration and Distribution in Carious Lesions of Deciduous Teeth Treated with Silver Diamine Fluoride. *Caries Res*. 2019;53(4):431–40.
193. Raj R. Comparative evaluation of remineralizing potential of four enamel remineralising agents using SEM-EDX – An in-vitro study. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2025 Jan;15(1):183–7.
194. Newbury* DE, Ritchie NWM. Is Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (SEM/EDS) Quantitative? *Scanning*. 2013 May 9;35(3):141–68.
195. Goldstein JI/ NDE/ MJR. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. In: *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. 4th ed. Springer; 2018.
196. Reimer L. Scanning Electron Microscopy Physics of Image Formation and Microanalysis. In: 2nd ed. springer; 1998.
197. Mulder R, Potgieter N, Noordien N. Penetration of SDF and AgF from the infected dentine towards the unaffected tooth structure. *Frontiers in Oral Health*. 2023 Dec 11;4.
198. Sayed M, Matsui N, Uo M, Nikaido T, Oikawa M, Burrow MF, et al. Morphological and elemental analysis of silver penetration into sound/demineralized dentin after SDF application. *Dental Materials*. 2019 Dec;35(12):1718–27.
199. Egerton RF. Physical Principles of Electron Microscopy An Introduction to TEM, SEM, and AEM. 1st ed. SPRINGER; 2005.
200. Bhat SS, Rao HA, Sargod SS, Sunny S. Comparative Evaluation of Effect of Silver Diamine Fluoride and Glass Ionomer Cement on Microhardness of Artificial Caries Lesion in Primary Teeth: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2024 Feb 1;16(6):858–63.
201. Marquezan M, Corrêa FNP, Sanabe ME, Rodrigues Filho LE, Hebling J, Guedes-Pinto AC, et al. Artificial methods of dentine caries induction: A hardness and morphological comparative study. *Arch Oral Biol*. 2009 Dec;54(12):1111–7.
202. Klingberg G, Löfqvist LV, Bjarnason S, Norén JG. Dental behavior management problems in Swedish children. *Community Dent Oral Epidemiol*. 1994 Jun 29;22(3):201–5.
203. Park Y, Guzik AG, Schneider SC, Fuselier M, Wood JJ, Kerns CM, et al. Dental Anxiety in Children With Autism Spectrum Disorder: Understanding Frequency and Associated Variables. *Front Psychiatry*. 2022 Apr 7;13.
204. Rios caro T. Comparison of operative time, costs, and self-reported pain in children treated with atraumatic restorative treatment and conventional restorative treatment. *Clinical and Experimental Medical Letters*. 2012 Jan;53(4):159–63.
205. MOLINA GF, FAULKS D, FRENCKEN J. Acceptability, feasibility and perceived satisfaction of the use of the Atraumatic Restorative Treatment approach for people with disability. *Braz Oral Res*. 2015 Aug 4;29(1):1–9.
206. Chiu HHC, Lam PPY, Yiu CKY. The Impact of Minimal Intervention Dentistry on Patient-Reported and Observation-Based Outcomes in the Pediatric Population: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare*. 2023 Aug 9;11(16):2241.

207. De Menezes Abreu DM, Leal SC, Mulder J, FRENCKEN JE. Dental anxiety in 6–7-year-old children treated in accordance with conventional restorative treatment, ART and ultra-conservative treatment protocols. *Acta Odontol Scand*. 2011 Nov 27;69(6):410–6.
208. Orhan AI, Oz FT, Orhan K. Pulp exposure occurrence and outcomes after 1- or 2-visit indirect pulp therapy vs complete caries removal in primary and permanent molars. *Pediatr Dent*. 2010;32(4):347–55.
209. Korwar A, Sharma S, Logani A, Shah N. Pulp response to high fluoride releasing glass ionomer, silver diamine fluoride, and calcium hydroxide used for indirect pulp treatment: An in-vivo comparative study. *Contemp Clin Dent*. 2015;6(3):288.
210. Zhi Q, Lo E, Kwok A. An in vitro study of silver and fluoride ions on remineralization of demineralized enamel and dentine. *Aust Dent J*. 2013 Mar 30;58(1):50–6.
211. Heck K, Frasheri I, Diegritz C, Manhart J, Hickel R, Fotiadou C. Six-year results of a randomized controlled clinical trial of two glass ionomer cements in class II cavities. *J Dent*. 2020 Jun;97:103333.
212. Rutar J, McAllan L, Tyas MJ. Clinical evaluation of a glass ionomer cement in primary molars. *Pediatr Dent*. 2000;22(6):486–8.
213. Kalaskar R, Kalaskar A, Krishnakumar K, Bhadule S, Joshi S. Clinical Effectiveness of High-viscosity Glass Ionomer Cement and Composite Resin as a Restorative Material in Primary Teeth: A Systematic Review of Clinical Trials. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2024 Apr 22;17(2):221–8.
214. Prokshi R, Gjorgievska E, Prokshi B, Sopi M, Sejdiu M. Survival Rate of Atraumatic Restorative Treatment Restorations in Primary Posterior Teeth in Children with High Risk of Caries in the Republic of Kosovo—1-Year Follow-up. *Eur J Dent*. 2023 Jul 13;17(03):902–9.
215. Mickenautsch S, Frencken JE, Van't Hof MA. Atraumatic Restorative Treatment and Dental Anxiety in Outpatients Attending Public Oral Health Clinics in South Africa. *J Public Health Dent*. 2007 Jun 10;67(3):179–84.
216. Aly AAM, Aziz AMA, Elghazawy RK, El Fadl RKA. Survival Analysis and Cost Effectiveness of Silver Modified Atraumatic Restorative Treatment (SMART) and ART Occlusal Restorations in Primary Molars: a randomized controlled trial. *J Dent*. 2023 Jan;128:104379.
217. Natarajan D. Silver Modified Atraumatic Restorative Technique: A Way Towards “SMART” Pediatric Dentistry During the COVID-19 Pandemic. *Front Dent*. 2022 Apr 17;
218. FREITAS AR de, AZNAR FD da C, SILVA AL da, SALES-PERES A, SALES-PERES SH de C. Assessment of the effects of decontamination and storage methods on the structural integrity of human enamel. *Rev Odontol UNESP*. 2016 Jan 19;45(1):59–64.
219. Yilmaz F, Guvenc P, Pamir T, Demirbas A, Sen B. Effects of Different Storage Media on Dentin Moisture, Microhardness, and Bond Strength of Resin Composite. *Niger J Clin Pract*. 2023 Feb;26(2):211–6.
220. Aydın B, Pamir T, Baltaci A, Orman MN, Turk T. Effect of storage solutions on microhardness of crown enamel and dentin. *Eur J Dent*. 2015 Apr 4;09(02):262–6.
221. Salam AEA, Ismail HS, Hamama H. Evaluation methods of artificial demineralization protocols for coronal dentin: a systematic review of laboratory studies. *BMC Oral Health*. 2025 Apr 24;25(1):621.

222. Zuluaga-Morales JS, Bolaños-Carmona MV, Cifuentes-Jiménez CC, Álvarez-Lloret P. Chemical, Microstructural and Morphological Characterisation of Dentine Caries Simulation by pH-Cycling. *Minerals*. 2021 Dec 21;12(1):5.
223. Marquezan M, da Silveira BL, Burnett Jr LH, Delgado Rodrigues CRM, Kramer PF. Microtensile Bond Strength of Contemporary Adhesives to Primary Enamel and Dentin. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2007 Dec 1;32(2):127–32.
224. Buzalaf MAR, Hannas AR, Magalhães AC, Rios D, Honório HM, Delbem ACB. pH-cycling models for in vitro evaluation of the efficacy of fluoridated dentifrices for caries control: strengths and limitations. *Journal of Applied Oral Science*. 2010 Aug;18(4):316–34.
225. ten Cate JM, Duijsters PP. Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res*. 1982;16(3):201–10.
226. Francisconi LF, Honório HM, Rios D, Magalhães AC, Machado MAAM, Buzalaf MAR. Effect of Erosive pH Cycling on Different Restorative Materials and on Enamel Restored with These Materials. *Oper Dent*. 2008 Mar 1;33(2):203–8.
227. Čulina MZ, Rajić VB, Šalinović I, Klarić E, Marković L, Ivanišević A. Influence of pH Cycling on Erosive Wear and Color Stability of High-Viscosity Glass Ionomer Cements. *Materials*. 2022 Jan 25;15(3):923.
228. Darabi F, Farzam P, Ghavami-Lahiji M. Effect of Silver Diamine Fluoride Application Methods on Dentin Microhardness and Durability Under pH Cycling: An In Vitro Study. *Clin Exp Dent Res*. 2025 Aug 31;11(4).
229. Theerarath T, Sriarj W. An alkaline restorative material effectively remineralized artificial interproximal enamel caries in vitro. *Clin Oral Investig*. 2022 Jun 21;26(6):4437–45.
230. Chuenarrom C, Benjakul P, Daosodsai P. Effect of indentation load and time on knoop and vickers microhardness tests for enamel and dentin. *Materials Research*. 2009;12(4):473–6.
231. Sivapriya E, Sridevi K, Periasamy R, Lakshminarayanan L, Pradeepkumar A. Remineralization ability of sodium fluoride on the microhardness of enamel, dentin, and dentinoenamel junction: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*. 2017;20(2):100.
232. Fuentes V, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Microhardness of superficial and deep sound human dentin. *J Biomed Mater Res A*. 2003 Sep 15;66A(4):850–3.
233. Chu CH, Lo ECM. Microhardness of dentine in primary teeth after topical fluoride applications. *J Dent*. 2008 Jun;36(6):387–91.
234. Ghanim Rahman R, Diab BS. Efficacy of different remineralization agents on microhardness and chemical composition of enamel white spot lesion. *F1000Res*. 2024 Sep 3;13:505.
235. Ferreira AC, de Lima Oliveira RF, Amorim AA, Geng-Vivanco R, de Carvalho Panzeri Pires-de-Souza F. Remineralization of caries-affected dentin and color stability of teeth restored after treatment with silver diamine fluoride and bioactive glass–ceramic. *Clin Oral Investig*. 2022 Jul 17;26(7):4805–16.
236. Sivapriya E, Sridevi K, Periasamy R, Lakshminarayanan L, Pradeepkumar AR. Remineralization ability of sodium fluoride on the microhardness of enamel, dentin, and dentinoenamel junction: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2017;20(2):100–4.

237. Cabalén MB, Molina GF, Piscitelli V, Rossa M, Aranguren JP, Palma SD, et al. Application of 20% silver nanoclusters in polymethacrylic acid on simulated dentin caries; its penetration depth and effect on surface hardness. *Sci Rep*. 2023 Nov 30;13(1):21126.
238. Zhou Z, Ge X, Bian M, Xu T, Li N, Lu J, et al. Remineralization of dentin slices using casein phosphopeptide–amorphous calcium phosphate combined with sodium tripolyphosphate. *Biomed Eng Online*. 2020 Dec 3;19(1):18.
239. Santiago BM, Ventin DA, Primo LG, Barcelos R. Microhardness of dentine underlying ART restorations in primary molars: an in vivo pilot study. *Br Dent J*. 2005 Jul 23;199(2):103–6.
240. Basra AS, Sedani S, Phaye L, Khetan R. Addition of silver diamine fluoride to restorative materials: effect on microhardness and microleakage. *Biomater Investig Dent*. 2025 Feb 14;12:12–6.
241. Kufiyah AK, Bagasi AMH, Nawlalili SM, Bazaid DS, Marghalani AA, Fathi A. Effect of Zamzam Water on Microhardness of Primary Tooth Enamel After Erosion Induced by Claritin Syrup. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2021 Mar;11(2):173–8.
242. Meshki R, Ghahramani N, Kouchak M, Taravati S. Comparison of the Effect of Bioglass, Chitosan, and SDF Compounds on Remineralization of Primary Caries Lesions in Primary Teeth: An in vitro Study. *J Dent (Shiraz)*. 2024 Sep;25(3):229–35.
243. Erpaçal B, Adıgüzel Ö, Cangül S. The use of micro-computed tomography in dental applications. *International Dental Research*. 2019 Aug 31;9(2):78–91.
244. Oprea C, Szalanski PJ, Gustova MV, Oprea IA, Buzguta V. XRF detection limits for dental tissues of human teeth. *Vacuum*. 2009 May;83:S166–8.
245. Zanata RL, Magalhães AC, Lauris JRP, Atta MT, Wang L, Navarro MF de L. Microhardness and chemical analysis of high-viscous glass-ionomer cement after 10 years of clinical service as ART restorations. *J Dent*. 2011 Dec;39(12):834–40.
246. Ramar K, Ravi P V, Sekar R. Evaluation of Remineralization Potential of Natural Substances on Artificially Induced Carious Lesions in Primary Teeth: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2023 May 12;16(2):244–50.
247. Reddy VS, Surakanti JR, Sharma DK. A comparative evaluation of human enamel remineralization ability of biomimetic nacre against casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry and endodontics*. 2024 Sep;27(9):954–61.
248. S HAYASHI-SAKAI. the Gradient of microhardness in cross-sectioned sound primary molars. *Journal of JSEM*. 2006;1(6).
249. Dalpian D, Casagrande L, Franzon R, Dutra G, Araujo F. Dentin Microhardness of Primary Teeth Undergoing Partial Carious Removal. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2012 Jul 1;36(4):363–7.
250. Price RB, Sullivan B. Effect of Indenter Load on Vickers Microhardness and Indentation Depth of One Resin Composite. *Materials*. 2024 Dec 17;17(24):6156.
251. Phonghanyudh A, Thana-olarn C, Teanchai C, Jirarattanasopha V. Microhardness of sub-restoration dentine in primary molars after carious tissue removal to soft and firm dentine. *Pediatric Dental Journal*. 2021 Apr;31(1):60–6.

252. Al-Shareefi S, Addie A, Al-Tae L. Biochemical and Mechanical Analysis of Occlusal and Proximal Carious Lesions. *Diagnostics (Basel)*. 2022 Nov 25;12(12).
253. Heshmat H, Kazemi H, Hoorizad Ganjkar M, Chaboki F, Shokri M, Kharazifard MJ. Effect of Two Remineralizing Agents on Dentin Microhardness of Non-Caries Lesions. *J Dent (Shiraz)*. 2023 Dec;24(4):417–21.
254. Kongsomjit M, Punyanirun K, Tasachan W, Hamba H, Tagami J, Trairatvorakul C, et al. Material of choice for non-invasive treatment of dentin caries: An in vitro study using natural carious lesions. *Int J Dent Hyg*. 2024 Aug 25;22(3):689–95.
255. Panahpour Eslami N, Chan DCN, Sadr A. Effect of silver diammine fluoride and glass ionomer on remineralisation of natural dentine caries. *J Dent*. 2021 Mar;106:103578.
256. Saad AE, Alhosainy AY, Abdellatif AM. “Evaluation of Silver Diamine Fluoride Modified Atraumatic Restorative Treatment (SMART) on hypomineralized first permanent molar”- a randomized controlled clinical study. *BMC Oral Health*. 2024 Oct 4;24(1):1182.
257. Ab-Ghani Z, Ngo H, McIntyre J. Effect of remineralization/demineralization cycles on mineral profiles of Fuji IX Fast *in vitro* using electron probe microanalysis. *Aust Dent J*. 2007 Dec 12;52(4):276–81.
258. Zanata RL, Magalhães AC, Lauris JRP, Atta MT, Wang L, Navarro MF de L. Microhardness and chemical analysis of high-viscous glass-ionomer cement after 10 years of clinical service as ART restorations. *J Dent*. 2011 Dec;39(12):834–40.
259. Wilson AD, Prosser HJ, Powis DM. Mechanism of Adhesion of Polyelectrolyte Cements to Hydroxyapatite. *J Dent Res*. 1983 May 1;62(5):590–2.
260. Iovan A, Benchea M, Stoleriu S, Tărăboanță I, Cimpoeșu N, Nica I, et al. Effects of Acidic Challenge on Demineralized Root Surface Treated with Silver Diamine Fluoride and Potassium Iodide. *Diagnostics*. 2023 Feb 1;13(3):530.
261. YAMAKAMI SA, UBALDINI ALM, SATO F, MEDINA NETO A, PASCOTTO RC, BAESSO ML. Study of the chemical interaction between a high-viscosity glass ionomer cement and dentin. *Journal of Applied Oral Science*. 2018 Jul 16;26(0).
262. Chen X, Inoue G, Ikeda M, Sadr A, Shimada Y. Time-dependent structural changes and hypermineralisation of artificially demineralised dentine following treatment with silver diammine fluoride and glass ionomer cement. *J Dent*. 2023 Apr;131:104452.
263. Willershausen I, Schulte D, Azaripour A, Weyer V, Briseno B, Willershausen B. Penetration Potential of a Silver Diamine Fluoride Solution on Dentin Surfaces. An Ex Vivo Study. *Clin Lab*. 2015;61(11/2015).
264. François P, Greenwall-Cohen J, Le Goff S, Ruscassier N, Attal JP, Dursun E. Shear bond strength and interfacial analysis of high-viscosity glass ionomer cement bonded to dentin with protocols including silver diammine fluoride. *J Oral Sci*. 2020;62(4):444–8.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı		Uyruğu	
Soyadı		Tel no	
Doğum tarihi		e-posta	

Eğitim Bilgileri

Mezun olduğu kurum		Mezuniyet yılı
Lise		
Lisans/Yüksek Lisans		
Doktora		

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (yıl-yıl)

Yabancı Dilleri	Sınav türü	Puanı
İngilizce		

Proje Deneyimi

Proje Adı	Destekleyen kurum	Süre (Yıl-Yıl)

Burslar-Ödüller:

Yayınlar ve Bildiriler: