

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜKETİLEN FARKLI İÇECEKLERİN DİŞ YÜZEYİNDE
OLUŞTURABİLECEĞİ EROZYONUN TARAMALI ELEKTRON
MİKROSKOBU İLE BELİRLENMESİ

MAHER HADI SHAMKHI AL-JAMEEL

Danışman: Prof. Dr. SEVİL DURDAĞI

FİZİK
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2024
Her Hakkı Saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Prof. Dr. SEVİL DURDAĞI danışmanlığında, MAHER HADI SHAMKHI tarafından hazırlanan bu çalışma 01.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Yakup KURUCU

İmza:

Üye : Prof. Dr. Paşa YALÇIN

İmza:

Üye : Prof. Dr. Sevil DURDAĞI

İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun / / 20.... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR

Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

"TÜKETİLEN FARKLI İÇECEKLERİN DİŞ YÜZEYİNDE OLUŞTURABİLECEĞİ EROZYONUN TARAMALI ELEKTRON MİKROKOBU İLE BELİRLENMESİ" isimli "Yüksek Lisans" tezini tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim. Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 01.02.2024

MAHER HADI SHAMKHI AL-JAMEEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜKETİLEN FARKLI İÇECEKLERİN DİŞ YÜZEYİNDE OLUŞTURABİLECEĞİ EROZYONUN TARAMALI ELEKTRON MİKROKOBU İLE BELİRLENMESİ

MAHER HADI SHAMKHI AL-JAMEEL

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. SEVİL DURDAĞI

Diş erozyonu mine ve dentin kaybına yol açan, asit çözünmesini içeren, bakteri varlığıyla ilgisi olmayan ve tüm yaş gruplarını etkileyebilen çok faktörlü bir süreçtir. Diş hekimliğinde giderek daha önemli bir konu hale gelmektedir. Öyle ki son yıllarda, diş erozyonu ve buna bağlı olarak erozif diş aşınması, diş hasarı için bir risk faktörü olup bilim adamlarının giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Çürüksüz diş kayıplarının sınıflandırılması ve tanısında ülkeler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Erozyon, dişin yapısal özellikleri, tükürüğün fizyolojik özellikleri, dış ve iç asit kaynakları ve alışkanlıkları gibi özelliklerin katkıda bulunduğu ve dikkatle değerlendirilmesi gereken bir süreçtir. pH, kalsiyum ve fosfat konsantrasyonları tarafından belirlenen içeceklerdeki doygunluk derecesi, diş sert dokusunun çözünmesinde artışa neden olmaktadır. Plak sıvısındaki kalsiyum ve fosfat konsantrasyonları ile birlikte, minenin çözündüğü ‘kritik pH’ değeri ise yaklaşık 5 ila 5,5 arasındadır. Dental erozyon düşük pH değerli içeceklerin alımı ile başlayan, mine yüzeyinin başlangıçta yumuşaması, ardından hacim kaybının görüldüğü bir süreçtir. Dentin erozyonu tam olarak anlaşılamamıştır, bu nedenle daha ileri in vivo çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada erozyonun kimyasal mekanizmaları incelenecek olup, tüketilen farklı içeceklerin diş yüzeyinde oluşturabileceği farklı erozyon düzeyi taramalı elektron mikroskobu ile görüntülecek ve incelenecektir.

Şubat 2024, 93 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Diş aşınması, Diş erozyonu, Dişin yapısı, Etiyoloji, Taramalı elektron mikroskobu.

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF THE EROSION THAT MAY BE CAUSED ON THE TOOTH SURFACE BY DIFFERENT BEVERAGES CONSUMED, USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPE

MAHER HADI SHAMKHI AL-JAMEEL

Erzincan Binali Yıldırım University

Institute of Science

Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. SEVİL DURDAĞI

Tooth erosion is a multifactorial process that involves acid dissolution leading to enamel and dentin loss, is unrelated to the presence of bacteria, and can affect all age groups. It is becoming an increasingly important issue in dentistry. So much so that in recent years, tooth erosion and therefore erosive tooth wear is a risk factor for tooth damage and has attracted increasing attention from scientists. There are differences between countries in the classification and diagnosis of non-carious tooth loss. Erosion is a process to which features such as structural features of the tooth, physiological features of saliva, external and internal acid sources and habits contribute and should be evaluated carefully. The degree of saturation in beverages, determined by pH, calcium and phosphate concentrations, causes an increase in the dissolution of dental hard tissue. Together with the calcium and phosphate concentrations in the plaque fluid, the ‘critical pH’ value at which enamel dissolves is approximately between 5 and 5.5. Dental erosion is a process that begins with the intake of low-pH drinks, where the enamel surface initially softens and then volume loss is observed. Dentin erosion is not fully understood, so further in vivo studies are needed. In this study, the chemical mechanisms of erosion will be examined, and the different levels of erosion that may be caused by different beverages consumed on the tooth surface will be imaged and examined with a scanning electron microscope.

February 2024, 93 Pages

Keywords: Tooth wear, Tooth erosion, Tooth structure, Etiology, Scanning electron microscope.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu akademik çalışmanın hazırlanmasında destek ve yardımlarını esirgemeyen, her aşamasında fikir ve görüşleriyle yol gösteren çok kıymetli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Sevil DURDAĞI'na en kalbi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım. Size çok minnettarım ve kelimelerle ifade edemem. Sizi kalbimde bir öğretmen, bilge bir danışman ve iyi bir dost olarak taşıyacağım. Saygıdeğer hocam, size tüm hayatınızda başarı ve mutluluk diliyorum.

Akademik çalışmalarım sırasında öneri ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Tuba AKKUŞ hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana destek olan Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Dış Hekimliği Fakültesinden Dr. Öğr. Üyesi Serhat KARACA ve Dr. Öğr. Üyesi Fatih TAŞKESEN'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Ahmed M. A. ALAİKHARLU çok teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleriyle hayatıma her zaman anlam ve güzellik katan başta babam ve annem olmak üzere ailemdeki herkese minnettarım.

Bu çalışma boyunca her türlü yardım, sabır ve desteği sağlayan hayatımın ilk ve son aşkı olan eşime tüm sevgimi, takdirimi ve şükranlarımı sunmak isterim.

MAHER HADI SHAMKHI AL-JAMEEL
şubat, 2024

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. KURAMSAL TEMELLER.....	11
3.1. Diş (Dental) Aşınmasına Genel Bir Bakış	11
3.2. Diş Aşınmasının Etiyolojisi	11
3.2.1. Aşınma (Abrasio)	12
3.2.2. Mekanik kayıp (Abfraksiyon)	12
3.2.3. Yıpranma (Attrition)	13
3.2.4. Erozyon.....	15
3.2.4.1. Dışsal erozyon.....	18
3.2.4.2. İçsel erozyon	21
3.3. Erozyonun Etiyolojisi	22
3.3.1. Demineralizasyon ve diş erozyonu arasındaki farkı anlamak	23
3.3.2. Dişte asit hasarının kaynağı.....	24
3.3.3. Hasarın yeri	24
3.3.4. Hasarın geri döndürülebilirliği.....	24
3.4. Değiştirici Bir Faktör Olarak Tükürük	25
3.5. Risk Faktörleri	25
3.5.1. Hasta değerlendirmesi	26
3.5.2. Tıbbi geçmiş	28
3.5.3. Diyet anketi	28
3.5.4. Diş tarihi	29
3.5.5. Mesleki / eğlence geçmişi	29

3.5.6. Baş ve boyun/ağız muayenesi.	29
3.5.7. Tükürük fonksiyon değerlendirmesi	30
3.6. Erozyon Yönetim Etiyolojisi ve Tedavisi	31
3.7. Restoratif Teda	31
4. MATERYAL ve YÖNTEM	34
4.1. Taramalı Elektron Mikroskopunun Temelleri	34
4.1.1. Giriş	34
4.1.2. Çözünürlük ve abbe denklemi	37
4.1.3. Elektronun numunelerle etkileşimi.....	38
4.1.4. İkincil elektronlar.....	41
4.1.5. Geri saçılan elektronlar	42
4.1.6. Karakteristik X-ışınları.....	43
4.1.7. Diğer elektronlar.....	44
4.1.7.1. Auger elektronları.....	44
4.1.7.2. Katodoluminesans.....	44
4.1.7.3. İletilen elektronlar.....	45
4.1.7.4. Numune akımı.....	45
4.2. Taramalı Elektron Mikroskoplarının Konfigürasyonu.....	45
4.2.1. Elektron tabancaları.....	46
4.2.1.1. Tungsten elektron tabancaları.....	46
4.2.1.2. Lantan hexaboride tabancası.....	49
4.2.1.3. Alan emisyonlu tabancalar.....	50
4.2.2. Elektron mercekleleri.....	52
4.3. Görüntü Oluşumu.....	52
4.3.1. Sinyal üretimi.....	53
4.3.2. Bobinleri tarama.....	53
4.3.3. İkincil elektron dedektörleri.....	54
4.4. Numune bileşimi.....	56
4.4.1. Numune topografisi.....	56
4.4.2. Numune büyütme.....	57
4.5. Vakum Sistemi.....	57
4.5.1. Mekanik pompalar.....	58
4.5.2. Difüzyon pompaları.....	58
4.5.3. İyon pompaları.....	58

4.5.4. Turbo pompalar.....	58
4.6. SEM Quanta 450 FEG Cihazı.....	59
4.7. Numune Hazırlama.....	63
4.8. Etik Beyanı.....	68
5. ARAŞTIRMA ve BULGULAR.....	69
6. SONUÇ ve ÖNERİ.....	82
KAYNAKLAR	86



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Aşırı fırçalama nedeniyle aşınma	12
Şekil 3.2. Dişlerin servikal bölgesindeki kırılmalar	13
Şekil 3.3. Dişlerin gelişmiş aşınması, ileri evrelerde pulpa odası/kök kanal sistemi görülebilir	14
Şekil 3.4. Dişlerin gelişmiş aşınması, ileri evrelerde pulpa odası/kök kanal sistemi görülebilir	15
Şekil 3.5. Maksiller ön dişlerin damak tarafında açıkça görülebilen eroziv aşınma	15
Şekil 3.6. Arka dişlerin oklüzalinde çukurlaşma görülür	16
Şekil 3.7. Kolanın aşırı tüketimine bağlı olarak yüzeylerde oluşan eroziv kusurlar	16
Şekil 3.8. Anoreksiya bulimialı bir hastada sık sık kusmaya bağlı aşınma olarak kendini gösteren diş aşınması olup tepenin aşındırıcı aşınmadan nasıl kurtulduğuna dikkat edin	23
Şekil 3.9. Diş erozyonunun tanısı ve yönetimi	24
Şekil 4.1. Farklı görüntüleme tekniklerinin çözünürlük sınırı, ilgili radyasyon ve biyolojik nesnelerin boyutu	34
Şekil 4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü	36
Şekil 4.3. (a) Havalı disk ve (b) dalga cephesindeki çözünürlüğün gösterimi	38
Şekil 4.4. Taramalı elektron mikroskobunda elektron demeti-numune etkileşimi tarafından üretilen çeşitli sinyallerin ve sinyallerin tespit edilebileceği bölgelerin gösterimi	39
Şekil 4.5. Hızlanma voltajının ve numune atom numarasının birincil uyarma hacmi üzerindeki etkisi: (a) düşük atom numarası ve (b) yüksek atom numarası	40
Şekil 4.6. CaF ₂ sıkışık opal yapısının farklı hızlanma voltajları altında çekilmiş taramalı elektron mikrografları: (a) 1 kV ve (b) 20 kV	40
Şekil 4.7. Yüzey topografyasının etkisinin ve dedektörün konumunun ikincil elektron algılaması üzerindeki gösterimi	42
Şekil 4.8. (a) ikincil elektron sinyali ve (b) geri saçılan elektron sinyali tarafından oluşturulan Ni/Au nanoçubuk görüntüleri	43

Şekil 4.9. Bir taramalı elektron mikroskopunun şematik diyagramı	47
Şekil 4.10. Termiyonik tungsten elektron tabancasının şeması (Wehnelt silindirinin negatif eğiliminin elektron yörüngesi üzerindeki etkisi gösterilmiştir)	48
Şekil 4.11. Aşırı ısınma nedeniyle "patlamış" bir tungsten filamanın SEM görüntüsü olup kırık filamanda küresel erimiş uç açıktır	49
Şekil 4.12. (a) LaB ₆ elektron tabancasının SEM görüntüsü ve (b) daha yüksek bir büyütme görüntüsü, küçük kirlenme noktaları kolayca belirlenebilir	50
Şekil 4.13. (a) Aşırı keskin uçlu alan emisyon kaynağı; (b) daha yüksek büyütmeli bir görüntü (c) tipik bir alan emisyonlu elektron kaynağının şematik diyagramı	51
Şekil 4.14. Tipik bir taramalı elektron mikroskopunda görüntü oluşturma sistemi.....	54
Şekil 4.15. Keskin uçlarda geliştirilmiş emisyon (a) Bir zirvenin ucundaki emisyon artışının şeması (b) ZnO nanoiğnelerin SEM görüntüsü (iğnelerin uçlarında emisyon artırılır)	57
Şekil 4.16. Quanta 450 taramalı elektron spektrometresi (SEM)	61
Şekil 4.17. Gömülü 20 yaş dişlerin içicelere daldırıldıktan önceki fotoğrafları	65
Şekil 5.1. Fanta içeceğinin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü (a) Bir numaralı (TS1) diş numunesinin içeceğe temas ettirilmesinden Önce (b) 7 gün boyunca temastan sonra (c) 14 gün boyunca temastan sonra diş örnek kesitinin SEM görüntüsü	72
Şekil 5.2. Coca Cola içeceğinin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü	72
Şekil 5.3. Limon aromalı gazozun neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü	73
Şekil 5.4. Maltana içeceğinin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü	73
Şekil 5.5. Didi soğuk çayın neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü	75
Şekil 5.6. Cappy Portakallı içeceğin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü ..	74
Şekil 5.7. Coca Cola Light içeceğinin neden olduğu diş erozyonunun SEM Görüntüsü.....	75
Şekil 5.8. Akmina C vitaminli sodanın neden olduğu diş erozyonunun SEM	

Görüntüsü.....	75
Şekil 5.9. Limonatanın neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü	76
Şekil 5.10. Cappy karışık meyve suyunun neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü	76
Şekil 5.11. Juss-Fesleğen içeceğin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü	77
Şekil 5.12. CocaCola içerisine daldırılı dişe ait karakteristik x-ışını spektrumu	79



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. İçeceklerin pH değerleri.....	17
Tablo3.2 . Yaygın yiyecek ve içeceklerin asitliği.	20
Tablo 3.3 Diş erozyonu için risk faktörleri	26
Tablo 3.4 Dental erozyon tanı protokolü	27
Tablo 3.5 Erozyonun ilerlemesini önleme protokolü.	32
Tablo 4.1. 20 yaş gömülü dişlerin maruz bırakıldığı içeceklerde daldırmadan önce kütlesi m_1 , daldırdıktan sonra kütlesi m_2 ,dişin uzunluğu ve dişin kanlılığını gösteren tablo.....	65
Tablo 4.2. Dişlerin daldırıldığı içeceklerin PH'şları ve içeriklerini gösteren tablo	67
Tablo 4.2. Dişlerin daldırıldığı içeceklerin pH değerlerini ve içerikleri	
Tablo 5.1. SEM-Edax ile alınan kalsiyum (Ca) ve fosfor (P) için yarı kantitatif değerler.....	79

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

a	Objektif tarafından kabul edilen numune düzleminden ışıık
d	Çözünürlük
E	Enerji
h	Planck Sabiti
m	Kütle
M	Büyütme
NA	Objektif Sayısal Açıklıktır.
pH	Kavramı ise Bir addenin Asitlik Veya Bazlığının Ölçüsüdür
r	konisi açısının yarısı (radyan cinsinden yarı açıklık açısı)
U	Vücut Ölçüsü
U	Nesne Mesafesi
v	Parçacıkların Hızı
V	Parçacıkların Hızı
V	Görüntü Mesafesi
λ	Parçacıkların Dalga Boyu

Kısaltmalar

ACE	Anterior Clinical Eroziv
ACP	Dişin Sürekli Asitlere Maruz Kalan Dış Kısmı
ACP (GC)	Potasyum ve Diş Köpüğü İçeren Diş Macunlarının
BEWE	Temel aşınma ve yıpranma denetimi
BPE	Temel Diş Erozyonu Muayenesi
BSRD	İngiliz Restoratif Diş Hekimliği Derneği (BSRD) Konseyi
CRT	Katot Işın Tüpü
EBSD	Yeni Geliştirilen Bir Elektron Geri Saçılım Kırınım Tekniği, Çeşitli Numunelerin Kristal Yapısını Belirler
ET	Everhart – Thornley dedektörü
FESEM	Alan Emisyonlu Taramalı Elektron mikroskobu
FWS	Otoyol Boşluğu
GÖRH	Gastroözofageal reflü hastalığının
GC	Aside Maruz Kalan Dişte En Önemli Nokta
GERD	mide asidinin yemek borusuna geri kaçmasıdır
PMT	Fotoçoğaltıcı Tüpe
RVD	Hastanın İstirahat Dikey Boyutunu
SE	İkincil Elektronlar
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi
TFE	termal alan emisyonu kaynaklarıdır
TSL	Temel aşınma ve yıpranma denetimi
TTL	dedektörü numune yükleme etkilerine karşı çok hassastır
TWI	Diş Aşınma İndeksi
VP-SEM	Değişken Basınç Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Diş erozyonu asit atakları sonucunda dişlerin sert dokularında bakteriyel bir bileşene bağlı olmaksızın meydana gelen madde kaybıdır. Sürekli asit maruziyetinin neden olduğu bu durum geri döndürülemez. Diş aşınmasını önlemek için birçok malzeme önerilmektedir. Sodyum florür, kalay florür, kazein fosfopeptitamorf kalsiyum fosfat ve trikalsiyum fosfat, proteaz inhibitörleri, yağlar, kitosan ve multivalan metal iyonları ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Mevcut tüm malzeme ve yöntemlerin ötesinde tedavide en kritik nokta, erozyona neden olan faktörün saptanması ve ortadan kaldırılmasıdır. Bu da ancak eroziv lezyonun erken teşhisi ve iyi bir anamnez ile etiyolojik faktörün saptanıp ortadan kaldırılması ile mümkündür.

Dişlerin sert dokularında görülen aşınmalar günümüzde giderek artan bir sorundur. Toplumların gelişmesiyle birlikte değişen beslenme alışkanlıkları bu artışın temel sebebidir. Bu erozyonların uzun dönemde dişleri olumsuz etkilediği açıktır (Gans vd., 2008). Erozyona bağlı kayıplar ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile doğru orantılı iken diş çürüğü nedeniyle sert dokudaki kayıp oranı ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile ters orantılıdır (Gambon vd., 2012; Yonel vd., 2017).

Araştırmalardaki metodolojik farklılıklara rağmen birçok ülkeden alınan veriler hızla ilerleyen diş erozyonunun çocuklarda ve gençlerde yaygın olduğunu doğrulamaktadır Chan ve Johansson, (2012). Plak sıvısındaki hidrojen konsantrasyonu erozyon oluşumunda ana belirleyici iken net etki diş yüzeyine ulaşan asittir. Ayrıca plak sıvısındaki flor ve fosfat iyonlarının varlığı, özellikle kalsiyum konsantrasyonu, diş plağının doygunluğunu belirler ve kritik pH'ın değişmesine neden olur. Bu nedenle diş aşınmasının ana nedeni asit maruziyetidir. Ancak pH değişimi ile erozyon miktarının orantılı olduğu bildirilmemiştir (Mason vd., 2017; Chan ve Johansson, (2012). Asit atakları devam ederse diş yüzeyinde gözle görülür bir kusur görülür ve ardından dentin açığa çıkar. Ayrıca tükürüğün yapısında ve kalitesinde bozulma, oro-motor fonksiyon eksikliği, çeşitli ilaçlar veya oral solunum da ağız boşluğunda pH düşüşüne neden olarak sekonder dental erozyon gelişimine neden olabilir (Mason vd., 2017; Chan ve Johansson, 2012).

Diş aşınmasının şu faktörlerden bir veya daha fazlasının ve belki de henüz bilinmeyen bazı faktörlerin neden olduğu artık kabul edilmektedir: yeme bozukluklarında meydana gelen regurjitasyon, gastroözofageal reflü hastalığı (GÖRH), sabah bulantısı, kronik alkolizm, hiatus hernisi ve gönüllü ruminasyon (Gilmor, 1993).

Aşırı alınan meyve suyu ve gazlı içecekler, turuncgiller, baharatlı yiyecekler, sirke, vb.diyet öğelerinin diş aşınmasına neden olduğu düşünülmektedir. Asit dumanları ve damlacıklar üreten bazı endüstriyel işlemler, gelişmiş endüstriyel uygulamalarda artık daha az yaygın olmasına rağmen, diş aşınmasına neden olmaktadır. Ayrıca bazı ilaçlar da asittir. Yaygın bir örnek pH değeri yaklaşık 2 olan çiğnenebilir C vitamini tabletleridir. Erozyonun derecesini etkileyen ortak faktörler arasında tükürüğün akış hızı ve tamponlama kapasitesi ile diüretikler ve birçok antidepresan gibi yaygın ilaçların tükürük üzerindeki etkisi yer almaktadır. Mine/dentinin erozyona duyarlılığı florür içeriğinden de etkilenmektedir.

Diş aşınması hastaların dişlerini hayatlarının geri kalanında etkileyen bir durumdur. Bu nedenle kısa vadeli amaca uygun tedavi önlemleri yerine ömür boyu sürecek bir tedavi yaklaşımı benimsenmelidir. Sırasıyla çürüğün önlenmesinde ve ilerleyici periodontal hastalığın yönetiminde diyet kontrolü ve ağız hijyenine vurgu yapılmalıdır. Önleyici tedbirlerin etkililiğini ve müdahaleci tedavinin gerekli olup olmadığına karar vermeden önce aşınmanın daha fazla ilerlemesini değerlendirmek için uzun süreli izleme gereklidir. Restoratif tedavi ancak şu durumlardan biri ile karşılaşıldığında gereklidir: Hasta şu anda görünüşü hakkında endişe duymaktadır, konservatif olarak kontrol edilemeyen diş hassasiyeti veya ağrı vardır, oklüzal dikey boyutu değiştiren veya devam etmesine izin verilirse restorasyonu zorlaştıracak ilerleyici, kontrol edilemeyen aşınma tespit edilmiştir. Aksi süreçte aktif tedavi erkendir. Günümüzde birçok hastada aktif tedaviye çok erken başlandığı düşünülmektedir (Lussi ve Carvalho, 2014).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Son yıllarda diş erozyonu ve buna bağlı mekanik aşınma (erozif diş aşınması) diş hasarı için bir risk faktörü olarak araştırmacıların giderek daha fazla dikkatini çekmektedir. Farklı araştırmacılar ve ayrıca incelenmekte olan farklı numuneler nedeniyle çalışmalarda bildirilen sonuçları karşılaştırmak zor olsa da erozyon yaygınlığının istikrarlı bir şekilde arttığına dair kanıtlar bulunmaktadır (Jaeggi ve Lussi, 2006). Ancak prevalans %30'un üzerinde gibi görünmektedir (Jaeggi ve Lussi, 2006).

Diş tacının erozif demineralizasyonu daldırma süresine ve incelenen asitlere bağlı olarak değişen mine yüzeyinin ilk yumuşaması ile karakterize edilir. Yumuşayan bu tabakanın kalınlığının 0,2 ile 3 mm arasında olduğu bildirilmiştir (Amaechi ve Higham, 2001; Eisenburger vd., 2001; Wiegand vd., 2007; Cheng vd., 2009; Voronets ve Lussi, 2009). Bu işlemi mine kristallerinin sürekli olarak katman katman çözünmesi takip eder ve kalan dokunun yüzeyinde yumuşamış bir katman ile diş hacminde kalıcı bir kayba yol açar. İleri aşamalarda dentin giderek daha açık hale gelir.

Sorumlu asitler içsel (yeme bozuklukları veya gastrik reflü gibi) veya dışsal kaynaklardan kaynaklanır. Eroziv diş aşınmasında önemli bir dış faktör asitli içecek ve yiyeceklerin yüksek tüketimidir. Son yıllarda yaşam tarzlarındaki değişiklikler nedeniyle asit içeren ürünlerin toplam tüketim miktarı ve sıklığı artmıştır (Packer, 2009). Alkolsüz içeceklerin aşırı kullanımının önlenmesi ağız sağlığı eğitiminde bir sorun olsa da potansiyel olarak aşındırıcı ajanların tüm yaşam boyunca dişlerle temas etmesini önlemek imkânsızdır. Bu nedenle erozyonu önlemek için erken teşhis ve yeterli önleyici stratejilere önem verilmelidir.

Diyet dışında hastanın yaptığı meslek ve spor da eroziv yıpranmaya neden olabilir. Kimya endüstrisindeki çalışanlar veya profesyonel şarap tadımcıları artan asit-diş teması nedeniyle daha yüksek erozyon riskine sahiptir (Wiegand ve Attin, 2007). Profesyonel sporcular veya aşırı egzersiz ile ilişkili diş aşınması da zaman zaman rapor edilmiştir (Centerwall vd., 1986). Düşük pH'lı su veya spor içeceklerine aşırı maruz kalma veya yorucu egzersizden kaynaklanan gastroözofageal reflü artışı başlıca spordan dolayı erozyon kaynağı olabilir (Centerwall vd., 1986). Daha da önemlisi meslek ve spor,

erozyonun ortaya çıkmasında ve gelişmesinde birincil faktörlerden ziyade yardımcı faktörler olarak kabul edilebilir çünkü erozyon çok faktörlü bir süreçtir.

Diğer bir faktör kronik kusma veya reflü sonucu ağza giren mide asididir. Reflü mide-bağırsak yolundaki bazı anormallikler nedeniyle mide içeriğinin mideden ağza istemsiz hareket etmesidir. Genel olarak ağza giren asidik mide içeriği diş sert dokuları üzerinde düzenli olarak bir süre etki etmişse dişleri aşındırabilir. Reflü semptomsuz da ortaya çıkabileceği akılda tutulmalıdır. Bu nedenle şiddetli erozyonu olan hastalar gastroözofageal reflü hastalığı açısından incelenmelidir. Hastayla ilgili risk faktörleri de dikkate alınmalıdır ve fizikokimyasal faktörler vurgulanarak tartışılmalıdır.

Diyet asitlerinin ağza verilme şekli (yudumlama, emme, pipetli/kamışlı) asit saldırısının süresini ve lokalizasyonunu belirler (Millward vd., 1997; Edwards vd., 1998; Johansson vd., 2004). Ayrıca dilin neden olduğu mekanik aşınmanın da aşınmaya katkıda bulunan bir faktör olduğu düşünülmüştür (Holst ve Lange, 1939). Asit saldırılarının sıklığı ve süresi erozyonla yakından ilişkilidir ve bu nedenle profilaktik önlemlerin benimsenmesi için çok önemli faktörlerdir (Järvinen vd., 1991; Lussi ve Schaffner, 2000; O'Sullivan ve Curzon, 2000; Johansson vd., 2002). Tükürük üretiminin azalması nedeniyle dişlerin gece boyunca asitlerle teması erozyona neden olabilir. Örneğin çürük lezyonları dışında bazı bebeklerin gece boyunca sürekli olarak biberonlarından içtikleri asitli, tatlı içeceklerin tüketimine bağlı olarak büyük eroziv diş yapısı tahribatı olabilir.

Tükürük akışı bozulmuş hastalarda erozyon şiddetli olabileceğinden klinik deneyim tükürüğün önemini göstermektedir. Aşındırıcı bir maddenin ağızdan seyreltilmesi ve temizlenmesi, asitlerin nötralizasyonu ve tamponlanması, edinilmiş zar (film) oluşumu gibi tükürükle ilgili çeşitli koruyucu mekanizmalar eroziv bir meydan okuma sırasında devreye girer (Zero ve Lussi, 2000). Glikoproteinler, proteinler, lipidler ve birkaç enzimden oluşan kazanılmış zar da önemli bir faktör olarak kabul edilir (Hannig vd., 2005). Bu filmin asitler ve diş yüzeyi arasında doğrudan teması önleyen bir difüzyon bariyeri veya seçici olarak geçirgen bir zar görevi görerek erozyona karşı koruduğu varsayılmaktadır ve en azından bazal yapısının nispeten şiddetli asit maruziyetine dayandığı gösterilmiştir (Hannig ve Balz, 1999).

İn vitro deneyler gerçekten de nispeten hafif asit yüklemelerinden sonra koruyucu etkiler göstermiştir (Amaechi vd., 1999; Wetton vd., 2006; Wiegand vd., 2008) ancak daha ağır koşullar altında daha az ölçüde (Hara vd., 2006a; Cheaib ve Lussi, 2011) koruyucu etki gözlemlenmiştir. Ancak hiçbir durumda aşındırıcı çözünmeye karşı koruma tam değildi. Son zamanlarda yapılan bir çalışma diş yüzeyinde pelikül yapıların hayatta kalmasına rağmen, sadece 20 saniye boyunca alkolsüz içecek tüketiminin yüzey mikrosertliğinde bir azalmaya yol açtığını göstermiştir (Hannig vd., 2009).

Özet olarak tükürüğün eroziv demineralizasyona karşı koruma için önemli olduğu açıktır ancak tükürük faktörlerini belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Tükürüğün tamponlama kapasitesinin yanı sıra uyarılmış ve uyarılmamış akış hızlarının testleri bireyin diş erozyonuna duyarlılığı hakkında bazı bilgiler sağlayabilir (Lussi ve Schaffner, 2000; Holbrook vd., 2009). Bununla birlikte bu özellikler çok faktörlü bir durumun yalnızca iki yönüdür. Sialometrik değerlendirmeler sirkadiyen döngü nedeniyle birey içi değişkenliği önlemek için sabahları sabit bir zaman noktasında veya sınırlı bir zaman aralığında yapılmalıdır. Çalışmalar normal uyarılmamış akış hızına kıyasla ekşi gıda maddesinin beklenen tükürük akışı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Christensen ve Navazesh, 1984; Lee ve Linden, 1992).

Bir gıda maddesinin asiditesinin yanı sıra düşük sıcaklık ve mekanik stimülasyon tükürük akışını daha da artıracaktır (Dawes vd., 2000). Hipersalivasyon aynı zamanda beynin 'kusma merkezinden' bir yanıt olarak kusmadan önce de meydana gelir (Feldman vd., 1998) ve sıklıkla anoreksiya, bulimia nervosa, ruminasyon veya kronik alkolizmden mustarip kişilerde görülür. Bunun mide kaynaklı asitlerin neden olduğu erozyonu azaltabileceği ileri sürülmektedir.

Öte yandan gastro-özofageal semptomları olan hastalarda tükürük çıkışının mide suyu reflüsünden önce artmasını beklememelidir çünkü bu otonom sinir sistemi tarafından koordine edilmeyen istemsiz bir tepkidir (Hara vd., 2006b). Bu nedenle erozyon meydana gelmeden önce tükürüğün harekete geçmesi için yeterli zaman olmayabilir. Eroziv ajanların klirens hızı dişlerin ve yumuşak dokuların anatomisinden, dilin hareketinden ve vestibüler mukozanın yanı sıra yutma modelinden etkilenebilir.

Dişler asitte çözünen hidroksiapatitin çözündüğü asitli içecekler ve yiyecekler tarafından düzenli olarak saldırıya uğrar. Daha sonra ideal olarak kayıp hidroksiapatiti geri kazandıran tükürükten remineralizasyon yoluyla meydana gelir. Bu asidik atağı mekanik abrazyondan ayırt etmek için genellikle dental erozyon terimi kullanılır (Moretto vd., 2010; Lelli vd., 2014). Tanım olarak diş çürüğü ve erozyon farklı süreçlerdir çünkü diş çürüğü bakteriler tarafından üretilen asitlerin neden olduğu bir hastalıktır ve diş erozyonu bakterilerden kaynaklanmayan asitlerin (örneğin gıdalardan) neden olduğu bir süreçtir.

Schlueter ve ark. yakın zamanda eroziv diş aşınması ile ilgili terimleri tanımlamıştır (Schlueter vd., 2020). Kimyasal bir bakış açısından gıda asitlerinin saldırısı (erozyon) ile bakterilerin ürettiği asitler (çürük) arasında temel bir fark yoktur. Bununla birlikte bu demineralizasyon işlemlerinin süresi genellikle farklıdır (erozyon: asidik içeceklerin, yiyeceklerin veya mide suyunun varlığına bağlı olarak kısa süreli ölçektir (Lussi, 2014), çürük ise uzun süreli ölçektir (Walsh vd., 2019; Thierens vd., 2019) örneğin biyofilmelerde olduğu gibi (Meyer vd., 2021; Cate, 2009).

Diş macunu esas olarak diş biyofilmlerini ve birikintileri (plak) mekanik olarak uzaklaştırma ve dişin yeniden mineralizasyonunu destekleme işlevine sahiptir (Epple vd., 2018; Enax vd., 2018). Florür 20. yüzyılın başlarında diş koruması için önem kazanmıştır (Limeback, 2012). Diş macunu, gargara ve diş cilalarının ortak bir bileşenine dönüşmüştür. Diş çürüğü son yıllarda önemli ölçüde azalmasına rağmen hala insanlardaki en önemli hastalıklardan biridir (Kassebaum vd., 2015). Walsh tarafından yakın zamanda yapılmış "Diş çürüklerini önlemek için farklı konsantrasyonlarda florürlü diş macunları" başlıklı kapsamlı bir incelemede bilinen literatürü kanıta dayalı bir düzeyde tartışmaktadır (Walsh vd., 2019).

Genel olarak florürlü diş macunu florür içermeyen diş macunlarına kıyasla (florür konsantrasyonları 1000 ila 1250 ppm) çocuklarda, ergenlerde ve yetişkinlerde çürükleri önlemektedir. Koruma artan florür konsantrasyonu ile artar. Bununla birlikte çok yüksek florür seviyeleri küçük çocuklarda florozu indükleyebilir (Walsh vd., 2019). Florürün etkinliği makul şüphelerin ötesinde kanıtlanmıştır ancak altta yatan kimyasal reaksiyonlar hala net değildir. Florürler ve çürüklerle ilgili klinik çalışmalar çalışmaların çoğunun (yaklaşık %80) Walsh ve ark. tarafından yapılmıştır. Oral kavitede florürün farklı etki biçimleri önerilmiştir (Lussi vd., 2012; Buzalaf vd., 2011). Bununla birlikte kimyasal ve

analitik bakış açılarından florür etkisinin kesin in vivo mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır.

Dünyadaki çeşitli gelişmeler son yıllarda diş erozyonunun yaygınlığının artmasına katkıda bulunmaktadır. Çocukları erken yaşta ekşi tada maruz bırakmak daha sonraki yaşamlarında asitli yiyecek ve içecek tercihinin artırmaktadır. Ayrıca asitli meyve ve içecekler ekonomik refah nedeniyle artık daha yaygın olarak bulunur hale gelmiştir. Bazıları çok uzun süre ağızda tutulan yeni asitli şeker türlerinin sayısı ve cazibeside artmıştır. Çocuklar süpermarketlerde ve okul kantinlerinde yaygın olarak bulunan bu asitli ürünlerin yoğun bir şekilde pazarlanmasına maruz kalmaktadır. Eroziv diş aşınması prevalansı özellikle genç yaş gruplarında hala artmaktadır. Erken çocukluk dönemindeki yiyecek ve içeceklerin tüketim kalıpları ve tercihleri yaşamın sonraki dönemlerinde ki tercihlerini ve besin alımını etkileyebilir (Skinner vd., 2002).

Erken dönemlerinde alkolsüz içecek tüketimine başlayanlar çocuklarda daha sonra tüketmeye başlayan çocuklara kıyasla, ileriki yaşlarında daha fazla içecek alımı gösterdiği bulunmuştur (Kvaavik vd., 2005; Fiorito vd., 2010). 8900 çocuk ve genç arasında yapılan büyük bir araştırma kızların tatları erkeklerden daha iyi anladığını göstermiştir. Erkeklerin tadı tanıyabilmeleri için yaklaşık %10 daha fazla ekşi ve %20 daha fazla tatlıya ihtiyaçları vardır. Kızlar genellikle çok sert olmayan tatları tercih ederlerken erkeklerin daha aşırı tatları sevmeye eğiliminde oldukları en ekşi içeceklere en iyi notları verdikleri ve çok tatlı meşrubatı diğer içeceklere tercih ettikleri bulunmuştur (Allesen-Holm vd., 2009). Bu nedenle tat algısının diş erozyonunun gelişiminde rol oynayabileceği araştırmalarca da gösterilmiştir. Tat tercihinin asitli gıdaların tüketimi ile ilişkili olması diş dokusu kaybının erkeklerde neden kadınlara göre daha sık görüldüğünü de açıklayabilir (Al-Dlaigan vd., 2001; Dugmore ve Rock, 2004). Diş kayıplarının ilerlemesi erkeklerde kızlara göre daha hızlı gelişir ve alkolsüz içecek tüketimi erkekler arasında daha popülerdir. Ayrıca kızlardan daha yüksek bir ortalama tüketime sahiptirler. Erkeklerin ayrıca daha fazla sporcu içeceği ve enerji içeceği tükettiği de unutulmamalıdır (Al-Dlaigan vd., 2001; Davies, 2008).

Araştırmalar aşındırıcı alkolsüz içeceklerin tüketimindeki artışın, diş erozyonu gelişimine yol açan en önemli nedenlerden biri olduğunu göstermektedir (Abbassy vd., 2021). Alkolsüz içeceklerde sıklıkla bulunan bileşenlerden biri de eroziv potansiyellerini artıran

sitrik asittir. Bu içeceklerin alımını sınırlamak diş erozyonu insidansını azaltmak için etkili araçlardan biridir (Abbassy vd., 2021). Diğer önleyici tedbirler, alkolsüz içeceklerin kalsiyum, fosfat, demir, gıda onaylı polimerler (Beyer vd., 2012; Abbassy vd., 2021) ve florür (Bakry vd., 2013) ile desteklenmesini içermektedir. Ancak içeceklerin tat kalitesinde değişiklikler ve bu ürünlerin raf ömürlerinde azalma (pH'nın artması nedeniyle) bildirilmiştir (Bakry vd., 2019).

Özellikle ortodontik hastalarda ve dentin aşırı duyarlılığı olan hastalarda mine ve dentini erozyondan korumak için birçok başka strateji önerilmiştir. Bu stratejiler arasında reçineli emaye örtücüler ve dentin duyarsızlaştırıcıların uygulanması olup önceki raporlarda diyetteki asidik gıdaların bu maddeler üzerinde uyguladığı zararlı etkileri gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Yu vd., 2009). 60'lı yıllarının sonlarında Larry Hench biyoaktif seramiği tanıtmış ve bu malzemelerin vücut sıvılarının mevcudiyetinde sert ve yumuşak vücut dokularına bağlanabilen yüksek miktarlarda kalsiyum ve fosfat salma kabiliyetini göstermiştir (Par vd., 2018).

Son birkaç yılda birçok araştırma faaliyeti çeşitli diş sert dokularının tedavisinde biyoaktif seramiklerin olası kullanımını bildirmiştir (Bakry vd., 2016; Abbassy ve Bakry, 2019). Daha sonra yapılan araştırmalar yaygın olarak kullanılan SiO_2 ağının yerini bir B_2O_3 ağının aldığı camların, borat camları hızla bozulduğu ve daha reaktif olduğu için bazı silika bazlı biyocamların biyoaktivitesini aşabilecek biyoaktif aktivitelere sahip olabileceğini göstermiştir. Ayrıca önceki çalışmalar 37 C°'de fosfatça zengin sıvılara daldırılan borat camlarının, vücut sıvılarına maruz kaldığında silis açısından zengin bir tabaka oluşturan biyocama kıyasla daha kısa sürede tamamen hidroksiapatite dönüşebildiğini göstermiştir.

Ek olarak borat camları şu anda doku mühendisliği yapı iskelelerinin imalatında kullanılmaktadır ve çeşitli vücut dokularıyla mükemmel uyumluluğunu düşündüren yara iyileştirme pansumanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Borat camının tüm bu benzersiz özellikleri bu malzemenin dental reçine malzemeleriyle birleştirilmesinin, bu malzemelerin erozyona karşı dayanıklılığını artırabilen yeni bir diş malzemeleri kategorisinin geliştirilmesi için temel olabileceği önerebilir. Simüle edilmiş ortodontik ve dentin aşırı duyarlılığı vakalarında kompozitin tedavi edilen yüzeylere bağlanma kuvvetini etkilemeden dentin ve mine yüzeylerini erozyondan korumak için yeni bir borat

bazlı adeziv sisteminin yeteneğini test etmektir. Test edilen borat adeziv materyali dentin tübül deliklerini tamamen tıkadığı ve dentin tübüllerinin lümeni içinde florapatit birikintileri oluşturduğu iddia edilen, ticari olarak temin edilebilen bir dentin hassasiyet giderici ile karşılaştırılmıştır. Bazı hipotezler ise borat camın kompozitin işlem görmüş yüzeylere bağlanma mukavemeti değerlerini olumsuz etkileyeceği ve borat cam adeziv sisteminin mine ve dentin yüzeyini erozyondan korumayacağı şeklindedir.

Kolalı içeceklerinin formülleri ve içerikleri yakından korunan endüstriyel sırlardır ve tüketici ambalajlarında asitlik hakkında çok az bilgi verilmektedir. Hidroksiapatit için kritik pH değerinin ve ayrıca asitli içeceklerin diyet asidini nötralize etmek için çok miktarda alkali tükürük akışı gerektirdiğinin bilinmesinin ışığında, kolalı içeceklerinin pH'ını, asitlerinin gücünü, özellikle pH'larını değiştirmek için ne kadar alkaliye ihtiyaç duyulduğuna dair tamponlama kapasitelerini bilmek çok önemlidir.

İçeceklerin dişler üzerindeki ultramikroskopik etkilerini değerlendirmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında: yüzey sertliği ölçümleri, yüzey profilometrisi, iyodür geçirgenlik testleri, çözünmüş minerallerin kimyasal analizi, mikroradyografi, konfokal tarama mikroskobu, kantitatif ışık kaynaklı floresans, atomik kuvvet mikroskobu, katı numunelerin element analizi, nanoindentasyon, ultrasonik ölçümler ile taramalı elektron mikroskobu (SEM) yer almaktadır (Attin, 2006).

Diş erozyonunu değerlendirmek için birçok yöntem ve teknik kullanılmıştır. Emaye ve dentin erozyonunu incelemek için mevcut yöntemlerin avantajları, sınırlamaları ve potansiyel uygulamaları gözden geçirilmiştir. Aşınmış diş dokusundaki morfolojik değişiklikler genellikle taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Grenby, 1996; Schlueter vd., 2011) ile karakterize edilmiştir. SEM'de minimum numune hazırlığı gerekir, ekonomiktir ve artefakt risklerini en aza indirir. Ayrıca SEM doğal yüzeylerin karbon veya metal kaplaması olmadan aynı test dişi malzemesinin aşamalı olarak değerlendirilmesine izin verir (Attin, 2006). SEM ile karakterize edilen doğal olarak aşınmış minedeki morfolojik değişiklikler diş erozyonunun aşamalarına bağlıdır. Erken evrelerinde mine yüzeyleri aşınır ve bal peteği görünümü gösterir. İleri aşamalarında eroziv süreç altta yatan dentini içerir. Remineralizasyon kanıtı doğal diş erozyonunun erken aşamasında görülür.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesi farklı lezyon türlerinin görüntülenmesine olanak tanıyan ve numune yapısı ile ilgili üstün bilgiler sağlayan diş hekimliği ve biyofizik araştırmaları büyük olumlu katkılar vaat eden bir yöntemdir. Bu alanda artan sayıda deneysel in vitro ve in situ araştırma yayınlanmakta buna metodoloji ve çalışma tasarımı hakkında tartışmalar eşlik etmektedir. Bununla birlikte diş erozyonunun teşhisi, etiyolojisi, patolojisi ve histolojisi, temel olarak çürükten o kadar farklıdır ki, erozyon araştırmalarında metodolojiye ilişkin özel hususlar gereklidir. Diş erozyonu çok faktörlü bir durumdur ve karmaşık bir etiyolojiye sahiptir. Erozyonun oluşmasında veya önlenmesinde her faktör rol oynar. Aside maruz kalmanın en önemli dışsal kaynağı karmaşık bileşime ve eroziv hasar potansiyeline sahip çok sayıda bileşen ve ürünü içerebilen diyetlerdir.

Bu çalışma Kohort araştırması (Prospektif veya Retrospektif ve İnsidans Araştırmaları) ve Deneysel Araştırma tipinde olup araştırma Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Fen Edebiyat Fakültesi ve Temel Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılacaktır. Bu çalışmada Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM) kullanılarak insan diş minesinde (in vitro) aşınma kaybı araştırılacak ve yıpranma-korozyon süreci ve aşınma mekanizması, aşınma izi ve yüzey analizleri ile aydınlatılmaya çalışılacaktır. Tüketilen farklı sıvılar içerisinde (kola, soda, portakal suyu, limon suyu vb.) daha önce erozyona uğramamış gömülü 20 yaş dişleri diye bilinen dişler bekletilecektir. 20 yaş dişlerinin temini Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi doktorları tarafından sağlanacaktır. Diş yüzeylerindeki erozyon miktarı ve kalsiyum kaybı tahribatsız, hızlı, elemental haritalama ve yüzey taramasını yapabileceğimiz SEM'e bağlı EDAX-XRF spektrometresi ile yapılacaktır. Ayrıca SEM ile yüzeydeki deformasyon da görüntülenmeye çalışılacaktır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Diş (Dental) Aşınmasına Genel Bir Bakış

Diş aşınması diş sert dokularının diş çürüğü travma veya gelişim bozuklukları dışındaki nedenlerle yüzey kaybını tanımlamak için kullanılabilen genel bir terimdir. Makroskopik olarak geri döndürülemez olan normal bir fizyolojik süreçtir. Lambrechts fizyolojik aşınmadan kaynaklanan normal dikey mine kaybının yılda yaklaşık 20-38 µm olduğunu bildirmiştir (Lambrechts vd., 1989). Nispeten yavaş ilerlemesi ve bu durumun geliştiği semptomların olmaması nedeniyle hastalar genellikle aşınan dişlerin varlığından haberdar olmazlar. Genellikle ileri bir aşamada estetik ve/veya işlev bozukluğundan şikâyet ederek tedavi için başvururlar.

Diş aşınmasının sonuçları şunlardır:

- 1- Oklüzyonun dikey boyutunun kaybı, dento-alveoler kompanzasyona veya istirahatte oklüzal boşlukta artışa neden olabilir.
- 2- Diş hassasiyeti gelişebilir.
- 3- Ağız sağlığı ile ilişkili yaşam kalitesinde azalma yaşayabilir.
- 4- Gülümseme çizgisinin konumu, yatay oklüzal düzlem ve insizal kenar konumu gibi estetik sorunlar olabilir.
- 5- Arka dişler üzerindeki yatay baskıları artırabilen ön kılavuz ve köpek diş kayıpları yaşanabilir.

3.2. Diş aşınmasının etiyolojisi:

Diş aşınması süreci çok faktörlü bir etiyolojiye sahip olup bireysel etiyolojik faktörler alt gruplara ayrılır: Aşınma (Abrasion), Mekanik Kayıp veya Abfraksiyon (Abfraction) ve Yıpranma (Attrition), Erozyon (Erosion).

3.2.1. Aşınma (Abrasion)

Aşınma diş yapısının oklüzyondan bağımsız olarak anormal bir mekanik süreçle fiziksel olarak hasar görmesidir. Lezyonlar tipik olarak sement-mine birleşim bölgesinde bukkal/dudak yüzeylerinde görülen yuvarlak veya 'V' şeklinde hendeklerdir (Şekil 3.1). Üst orta kesici dişlerde kesici kenarların çentiklenmesi genellikle toplu iğne, raptiye, çivi ısıрма gibi alışkanlıkların bir sonucu olarak görülür.



Şekil 3.1. Aşırı fırçalama nedeniyle aşınma

Aşınma prevalansının yapılan çalışmalarla %5-%85 aralığında olduğu bildirilmiştir Khan vd. (1999). Aşınma genellikle aşındırıcı diş macunları ile aşırı hevesli diş fırçalama, diş arası temizleme yardımcılarının yanlış kullanımı veya tırnak yeme, kalem çiğneme veya dil piercingi gibi hasta alışkanlıklarından da aşınma kaynaklanabilir. Ayrıca elbise dikmek, cam üfleme ve müzisyenlik gibi bazı işlerle ilgili mesleki tehlikelerin olduğu da ileri sürülmektedir. Diş tedavisi de örneğin doğal bir dişe karşı parlatılmamış seramik restorasyonlar gibi uygun olmayan malzemeler kullanılırsa aşınmaya neden olabilir. (Kelleher ve Bishop, 1999). Ayrıca günümüzün "sağlıklı diyetlerinin" özellikle "meyve suyu sıkma"dan kaynaklanan yüksek eroziv içeriğin yanı sıra kabuklu yemişler ve tohumlar gibi aşındırıcı gıdaların artması durumunda da diş aşınmasında artış olabileceği vurgulanmıştır. Fizyolojik aşınma için neyin kabul edilebilir olduğunu belirlemek için beslenme, sosyal ve demografik kalıpları dikkate almak gerekmektedir.

3.2.2. Mekanik kayıp (Abfraksiyon)

Abfraksiyon dişin servikal dayanak bölgesinde basınç ve çekme gerilmelerine yol açan eksantrik oklüzal yüklere bağlı olarak gelişen sert doku kaybıdır. Genellikle mine-sement

birleşiminde keskin kenarlı klasik kama şeklindeki defektlerle kendini gösterir (Şekil 3.2.).

Abfraksiyonun kabul edilen bir diş aşınması tipi olup olmadığı konusunda birçok tartışma bulunmaktadır. Diş aşınması genellikle çok faktörlü bir süreç olduğundan, abfraksiyonun erozyon, abrazyon ve aşınmanın bir kombinasyonunun sonucu olduğu tartışılmaktadır (Shah ve Bartlett, 2006). Eroziyon süreçler diş yüzeyinin yumuşamasına yol açan yüzey altı mineral kaybına yol açabilir. Aşınma ve mekanik kayıp servikal bölgede diş aşınma süreçlerinin hızlanmasına neden olabilir. Diş aşınması etkilenen diş sayısına bağlı olarak lokalize veya genelleştirilmiş diş dokusu kaybı olarak ortaya çıkabilir. Hastalar özellikle sürecin erken evrelerinde diş aşınmasının varlığından habersiz olabilirler. Bununla birlikte çoğu zaman hastalar estetiğin azalmasından şikâyet ederler. Nadiren hastalar alt yüz yüksekliğinin azalmasından şikâyet ederler ancak alveoler kompanzasyon nedeniyle bu durum genellikle ortaya çıkan bir özellik değildir. Diş hekimleri restorasyonlar için azalmış interoklüzal boşluk fark edebilir. Mine kırılabilir ve dişler daha kısa görünebilir. Minenin kaybı veya incelmesi alttaki dentinin parlamasına veya açığa çıkmasına neden olarak dişlerin optik özelliklerini ve rengini değiştirebilir. (Hemmings ve Gow, 2000). Hastalar dentin hassasiyeti ve işlev bozukluğu semptomlarından şikâyet edebilirler (Zafersoy vd., 2002.).



Şekil 3.2. Dişlerin servikal bölgesindeki kırılmalar

3.2.3. Yıpranma (Attrition)

Atrizyon çiğneme olduğu gibi dişlerin dişe teması sonucunda olası aşındırıcı madde müdahalesi ile diş yapısının aşınmasıdır. En sık insizal ve oklüzal temas yüzeylerinde

görülür. Aşınma antagonistik dişlerin hareketinden kaynaklanır (örneğin gıcırdatma) ve eşleşen yüzlere yol açar. Lezyonlar tipik olarak düz, keskin kenarlı ve parlaktır. Genellikle bir antagonist diş ile simetri vardır ancak bu genellikle sınır konumlarından birindedir ve sıklıkla alışılmış interküspal konumlarında değildir. Spesifik aşınma modeli hastanın parafonksiyon sırasında dişlerini nasıl ve nerede birbirine sürttüğü ile örtüşür. Atrizyonun erken klinik tezahürü bir doruk veya çıkıntı üzerinde küçük cilalı bir faset görünümü veya bir insizal kenarın hafif düzleşmesidir. Lezyon ilerledikçe dentin açığa çıkmasıyla birlikte doruk yüksekliğinde azalma ve oklüzal eğimli düzlemlerde düzleşme eğilimi vardır (Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.). Smith ve Knight (Al-Sabbagh, 2014)” yıpranmayı vakaların %11’inde diş aşınmasının baskın patolojik nedeni olarak bulmuşlar ve diş aşınmasının birleşik etiyojisinin üçte ikisinden sorumlu olduğunu hesaplamışlardır. Diş aşınma seviyesinin normal olduğunu ve fizyolojik olarak yaşla birlikte arttığını ancak parafonksiyonel bir alışkanlığa patolojik olarak ikincil hale gelebileceğini kabul etmek önemlidir. Parafonksiyonel aktivitenin teşhisi zordur ve hastaların kendileri genellikle durumun farkında değildir. Aslında brüksist popülasyonunun sadece yarısının bu durumun farkında olduğu öne sürülmüştür (Johansson vd., 2011). Bildirilen brüksizm yaygınlığı %5 ile %96 arasında değişmektedir.



Şekil 3.3. Dişlerin gelişmiş aşınması, ileri evrelerde pulpa odası/kök kanal sistemi görülebilir



Şekil 3.4. Dişlerin gelişmiş aşınması, ileri evrelerde pulpa odası/kök kanal sistemi görülebilir

3.2.4. Erozyon

Erozyon bakteriyel etki içermeyen kimyasal bir işlemle diş yüzeyinin kaybıdır. Diş sert dokularının, içsel veya dışsal bir kaynak olabilen asidik substratlara kronik olarak maruz kalmasından kaynaklanır. Eroziv lezyonlar tipik olarak bakteriyel asit dekalsifikasyonu ile ilişkili tebeşirlenme veya pürüzlülük olmadan iki taraflı içbükey kusurlar olarak ortaya çıkar. Erken evrelerinde erozyon dentin açığa çıktıktan sonra gözlemlenecek ve mine tabakasını etkileyerek sıg, pürüzsüz, sırlı bir yüzeye neden olacaktır (Şekil 3.5.). Hem arka dişlerin oklüzal yüzeylerinde hem de ön dişlerin kesici kenarlarında "çukurlaşma" genellikle gözlemlenir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.5. Maksiller ön dişlerin damak tarafında açıkça görülebilen eroziv aşınma



Şekil 3.6. Arka dişlerin oklüzalinde çukurlaşma görülür

Ekstrinsik erozyonun genellikle maksiller ön dişlerin labiyal yüzeylerinde tipik olarak oyulmuş çöküntüler meydana getirdiği görülmektedir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Kolanın aşırı tüketimine bağlı olarak yüzeylerde oluşan eroziv kusurlar

Ekstrinsik asit maruziyetleri asitli yiyeceklerin (örn. turunçgiller, meşrubatlar, şarap, salata sosları), asitli ilaçların (örn. asetilsalisilik asit, demir tabletler, C vitamini takviyeleri) yanı sıra mesleki asit maruziyetinden kaynaklanabilir (Tablo 3.1.). Dental sert doku erozyonunun kapsamı erozyona neden olan solüsyonun erozivitesi (pH, tampon kapasitesi ve mineral konsantrasyonu) ve ayrıca tüketim sıklığı ve türü ile belirlenmektedir. Tabii ki günde tüketilen eroziv ürün miktarı ne kadar fazlaysa ve ne kadar sık tüketilirse risk o kadar artacaktır.

Buna karşılık intrinsek erozyon en sık maksiller ön dişlerin palatal yüzeylerinde ve arka dişlerin oklüzal yüzeyinde görülür ve tüm palatal yüzeyde içbükey bir çöküntü ile sonuçlanır.

Tablo 3.1. İçeceklerin pH değerleri

pH GRAFİĞİ			
Ham Olarak Özgürce Tüketin En İvsi	10	Çiğ Ispanak, Brüksel Lahanası, Karnabahar, Yonca Çimi, Deniz Yosunları.	Çiğ Brokoli, Kırmızı Lahana, Havuçlar, Salatalıklar, Kuşkonmaz.
	9.0	Zeytinyağı, Çiğ Kabak, Filizlenmiş Tahıllar, Çiğ Yeşil Fasulye, Mango, Mandalina, Üzüm.	Marul Çeşitleri patates, çiğ patlıcan, yaban mersini, papaya, kavun.
	8.0	Elma, Domates, Turp, Biber, Ananas, Yabani Pirinç, Kavun, Portakal.	Badem, Taze Mısır, Zeytin, Turp, Kiraz, Çilek, Kavun, Greyfurt.
Alkalın pH			Enginarlar, Çiğ Kereviz, Patates Kabukları, Karalahana, Limonlar
Çoğu yiyecek pişirildiğinde daha asidik hale gelir			Boraj Yağı, Çiğ Bezelye, Yonca Filizleri, Armut, İncir ve Hurmalar, Kivi.
			Avokado, Mantar, Soya Fasulyesi, Rezene, Darı, Kayısı, Şeftali, Muz.
Nötr pH İnsan kanının optimum pH değeri	7.0	Çoğu musluk suyu belediyeler tarafından ± 7.0 olacak şekilde ayarlanır. İnsan kanının optimum pH değeri ise 7.365'tir.	
	6.0	Süt, Yoğurt, Tahıl Çeşitleri, Yumurta, Böbrek Fasulyesi, Şişe Sular Çeşitleri Kahverengi Pirinç, Filizlenmiş Buğday Ekmeği, İstakoz.	Meyve suları Soya Sütü, Keçi Sütü, Balık Lima fasulyesi Çavdar ekmeği kakao
	5.0	Pişmiş Fasulye Şeker, Konserve Meyve, Kabuklu Patates Tuzlu Tereyağı, Buğday Kepeği.	Tavuk & Hindi, Konserve Meyve Pinto Fasulye Pirinç Kek Rübarb.
Vücutta, 1 birim ASİDLİĞİ nötrleştirme k için 20 birim ALKALİNLİK gereklidir.			Pişirilmiş Ispanak, Hindistancevizi, Çay, Erik, Eskibugday, Pirinç ve Badem Unu, Karaciğer, Somon, Ton balığı.
			Bira Beyaz Pirinç Donanma Fasulyesi Siyah Fasulye Haşlanmış Mısır Melas.
Asidik pH	4.0	Ters ozmoz suyu Kahve Antep Fıstığı Kızılçık Buğday Patlamış Mısır.	Damıtılmış ve Aritılmış Su Beyaz Ekmek Sığır Eti Kurutulmuş Erik Fındık Çeşitleri Fıstık.
			Şişe Suları Çeşitleri ve Spor İçecekler Böğürtlen, Şekerli Meyve Suları Domates Sosu.
Az tüketin veya hiç tüketmeyin	3.0	Kuzu Eti Deniz Mahsulleri Keçi Peyniri Makarna	Domuz Eti Hamur İşleri Soda Turşu Cikolata.
			Şarap, Peynir, Siyah Çay, Stres, Aşırı Çalışma, Sirke, Mikrodalgada Fırında Isıtılmış Yiyecekler.
	2.3	Kola! (Grafik Dışı)	

Çoğunlukla bozulmamış bir mine halkası korunur ve dişlerin diş eti bölgesi çevresinde mevcut kalır ki bu mine halkası muhtemelen asidin dişeti oluğu sıvısı tarafından nötralize edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Mandibular ön dişler erozyon sürecinden maksiller ön dişlere göre nispeten daha az etkilenir. İntrinsik erozyona, örneğin bulimia (bulimia nervosa), gastroözofageal reflü hastalığı veya alkol kötüye kullanımı olan hastalarda ağız boşluğu ile temas eden asidik mide sıvısı neden olur. Reflü hastalarında dental erozyon prevalansı %17 ila %68 arasındadır. Tersine erozyonlu tüm hastaların %25 ila %83'ü reflüden muzdariptir (Wilder-Smith vd., 2015). Mide sıvısının pH değeri yaklaşık bir olup yüksek miktarda serbest asit olduğundan eroziv potansiyeli oldukça yüksektir.

Dental sert dokunun demineralizasyonunun dental erozyona yol açtığı ağız boşluğunun pH'ının kritik pH'ın altına yani 5–5,5 altına düşmesinin ardından meydana geldiği belgelenmiştir (Rochette, 1973; Smith ve Knight, 1973). Şiddetli yıpranma nedeniyle sevk edilen hastaların neredeyse %89'unda sevk nedeninin bir parçası olarak eroziv etiyojolojiyi bulmuşlardır. Asidik nedensel ajanın doğasına bağlı olarak erozyon genellikle "dışsal" veya "içsel" olarak alt kategorilere ayrılmaktadır.

Çok çeşitli hastalıklar ve sendromlar erozyonla ilişkilidir. Örneğin: pH değeri 4,3 (Bricanyl, toz formu) ila 9,3 (Ventolin, aerosol formu) arasında değişen, steroid veya efervesan ilaç içeren astım inhalerlerinin sık kullanımı gibi çeşitli ilaçlar, azalmış tükürük miktarı ve kalitesi (tükürük bezi agenezisi, Sjögren sendromu dâhil), asitli yiyecek ve içeceklerin dişlerden temizlenmesini etkileyen azalmış motor fonksiyon (serebral palsi dâhil) gibi bazı erozyona yol açan içsel ve dışsal faktörler sıralanabilir.

3.2.4.1. Dışsal erozyon

Ekstrinsik asit kaynakları çevreden veya endüstriyel işlemlerden kaynaklanan asidik yiyecekleri, içecekleri ve ilaçları içerebilir. Aspirin (bir salisilik asit), demir tonikler, çiğnenebilir C vitamini ve ikame hidroklorik asit gibi ilaçlar eroziv diş aşınmasına neden olabilir (Cheng vd., 2011). Epidemiyolojik çalışmalar asidik diyetler ile eroziv diş aşınmasının oluşumu arasında bir korelasyon gözlemlemiştir (Touyz, 1994). Asidik yiyecek ve içeceklerin tüketimindeki zaman içerisindeki artışla birlikte diyet içeceklerin

ve ‘meyve suyu sıkma’ tüketiminin artması, sağlıklı bir yaşam tarzı sürmeye yönelik nüfus eğilimlerindeki artış ve tüketim alışkanlıklarımızın değişmesi ile bildirilen erozyon vakalarının sayısı da artmıştır. Gazlı içeceklerin, turunçgillerin, meyve sularının, bitki çaylarının artan tüketimi ile erozyon arasında güçlü bir bağlantı olduğu iyi bilinmektedir. Hem gazlı hem de gazsız içecekler benzer bir aşındırıcı potansiyel sergilemektedir.

Tablo 3.2.’de yaygın bazı gıdaların asitlikleri verilmiştir. Bu gıdalarda yaygın olarak fosforik, sitrik ve malik asit bulunur ancak gıdalarda aşındırıcı potansiyele sahip başka birçok asit de vardır. Toplam asit içeriğinin bir ölçüsü olan titre edilebilir asitliğin içeceklerin aşındırma potansiyelinin belirlenmesinde gerçek pH değerinden daha önemli bir gösterge olduğu kabul edilmektedir (Pollack vd., 2003). İş yerinde aside maruz kalmak çevresel erozyona neden olabilir. Şarap tadımı (Grobler SR, 1990) ve pil asidi üretimi gibi sektörlerde çalışanlarda da erozyon oluşumu bildirilmiştir (Chan ve Johansson, 2012).

Yüzme gibi boş zaman aktiviteleri de düşük pH’lı gaz gaz klorlu yüzme havuzu suyu nedeniyle bir başka etken olabilir (Hughes vd., 2000). Bu nedenle iş yerinden kaynaklanan çevresel erozyonun etkilerini azaltmak için koruyucu hava yolu maskeleri takmak gibi sağlık ve güvenlik alanında iyileştirmeler geliştirilmiştir. Kronik alkolizm hem dışsal hem de içsel diş erozyonunun bir kaynağıdır. Dışsal olarak tüketilen alkolün asidik bir bileşeni vardır ve bu da regürjitasyon, kusma ve gastrit etkilerinin yanı sıra erozyona neden olmaktadır (Harding vd., 2003). İçeceklerin aşındırıcı potansiyeli yalnızca pH’a bağlı değildir. Kalsiyum, fosfat ve florür gibi bazı elementler içeceklerin aşındırıcı potansiyeli azaltabilir. Ayrıca asitli içeceklerin alım sıklığı ve şekli ile alımdan sonra diş fırçalamanın yakınlığı gibi faktörler erozyona yatkınlığı etkileyebilir. Örneğin kamışla içmek bardağından içmekle kıyaslandığında içeceğin dişlerle temas süresini azaltır. Bu nedenle asitli içecek alımı ile diş erozyonu arasındaki ilişkiyi açıklığa kavuşturmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Asidik yapıda olan ilaçlar da, ilaç çiğnendiğinde veya yutulmadan önce ağızda tutulduğunda dişlerle doğrudan temas yoluyla aşınmaya neden olabilir. C vitamini müstahzarlarının veya hidroklorik asit takviyelerinin çiğnenmesine ikincil olarak yaygın erozyonu açıklayan çok sayıda vaka raporu mevcuttur (Gow ve Hemmings, 2002; Elias ve Sheiham, 1998).

Tablo 3.2. Yaygın yiyecek ve içeceklerin asitliği

Meyveler	pH Aralığı	Meyveler	pH Aralığı
Elma	2,9 - 3,5	Limon,Misket Suyu	1,8 - 2,4
Kayısı	3,5 - 4,0	Portakal/meyve suyu	2,8 - 4,0
Üzüm	3,3 - 4,5	Ananas suyu	3,3 - 4,1
Şeftali	3,1 - 4,2	Yaban mersini	3,2 - 3,6
Armut	3,4 - 4,7	Kiraz	3,2 - 4,7
Erik	2,8 - 4,6	Çilek	3,0 - 4,2
Greyfurt	3,0 - 3,5	Ahududu	2,9 - 3,7
İçecekler	pH Aralığı	İçecekler	pH Aralığı
Elmadan yapılan bir içecek	2,9 - 3,3	Greyfurt Suyu	2,9 - 3,4
Kahve	2,4 - 3,3	Seven up	3,5
Çay (siyah)	4,2	Pepsi	2,7
Bira	4,0 - 5,0	Kola	2,7
Şarap	2,3 - 3,8	Kök bira	3,0
Zencefilli gazoz	2,0 - 4,0	Portakal Nektarı	2,0 - 4,0
Çeşniler	pH Aralığı	Çeşniler	pH Aralığı
Mayonez	3,8 - 4,0	Kızılıcak sosu	2,3
Sirke	2,4 - 3,4	Lâhana turşusu	3,1 - 3,7
Sos	3,4	Zevk	3,0
Hardal	3,6	Ketçap	3,7
İtalyan salata sosu	3	Ekşi krema	4,4
Diğer	pH Aralığı	Diğer	pH Aralığı
Yoğurt	3,8 - 4,2	Domates	3,7 - 4,7
Turşu	2,5 - 3,0	Sebze/fermente	3,9 - 5,1

Ekstrinsik eroziv asitlerin daha az yaygın kaynakları mesleki ve eğlence amaçlı maruz kalma ile ilgilidir. Aşınmaya neden olan asit buharları olarak kromik, hidroklorik, sülfürik ve nitrik asitler tanımlanmıştır. Endüstriyel elektrolitik işlemler sırasında çalışma ortamına salınırlar. Ancak mevcut iş güvenliği standartları bu tür erozyonu çok nadir kılmaktadır. Düzenli olarak aşırı asitli havuzlarda egzersiz yapan yüzücülerde ve mesleki olarak şarap tadımı yapan kişilerde diş aşınması bildirilmiştir.

3.2.4.2. İçsel erozyon

İntrinsik erozyon mide içeriğinin ağız boşluğuna girmesinden kaynaklanmaktadır (Johansson vd., 1996) Çeşitli bilerek veya istemsiz alışkanlıklardan ve hastalıklardan olabilmektedir. Hamileliğin bir sonucu olarak, bazı ilaçların yan etkisi olarak, alkolizm, sindirim sistemi bozuklukları ve yeme bozuklukları dâhil psikosomatik durumlar nedeniyle kusma hem istemli hem de istemsiz olabilir. Mide asitlerinin istemsiz olarak geri kaçması, hamilelik sırasındaki mide-bağırsak rahatsızlıkları, gastro-özofageal reflü hastalığı (GÖRH), kusma, hiatus hernisi veya ruminasyon gibi durumlarda içsel erozyon gözlemlenebilir.

Lokal ön diş aşınması olan hastaların yaklaşık yarısında gastrik reflü olduğu bildirilmiştir. GÖRH’de alt özofageal sfinkterdeki gevşeklik nedeniyle mide içeriğinin mideden özofagusa hareket etmesiyle sonuçlanmaktadır. Artık çocuklar/ergenler için daha önce düşünülen daha yaygın bir durum olarak kabul edilmektedir. Mide asidinin pH’ı yaklaşık 2’dir ve dişler için oldukça aşındırıcıdır. Özellikle damak yüzeyleri olmak üzere dişler de büyük oranda zarar görebilir.

Sessiz reflü hastaların diş erozyonuna yol açan uzun süredir devam eden asemptomatik GÖRH olduğunun farkında olmadığı durumlarda ortaya çıkabilir. Bulimia ve anoreksiya nervoza gibi yeme bozukluklarının artan insidansına bağlı olarak istemli regürjitasyon artmaktadır. Bu durumun en yaygın belirtisi üst kesici dişlerin damak yüzeylerinde eroziv lezyonlar olan perimoliz lezyonlarıdır (Carr ve Brown, 2011). Diş erozyonunun gelişiminde kendi kendine kusmaya yol açan bu tür bozuklukların etkileri belgelenmiştir (Hussey ve Linden, 1986).

Bulimia insidansı hızla artmakta olup şu anda popülasyondaki 100.000 kişiden yaklaşık 7'sinin anoreksiyadan etkilendiği düşünülmektedir. Bu artış, 'ideal' vücut şekli ve boyutunu tasvir eden medyaya daha fazla maruz kalınmasından kaynaklanıyor olabilir. Ruminasyon ağırlıklı olarak zihinsel engelli hastaları etkilemektedir. Yutulan gıdanın daha sonra tekrar çiğnenip tekrar yutulmak üzere ağız boşluğuna istemli veya istemsiz olarak geri çıkması ile birlikte ne yazık ki buna bağlı erozyonun yaygınlığı tam olarak bilinmemektedir.

Serebral palsili çocuklarda GÖRH insidansı yüksektir ve bu durum bruksizm eğilimiyle birleştiğinde onları özellikle diş aşınması açısından risk altına sokar.⁴⁰ Kronik, aşırı kusmanın dişlerin aşınmasına neden olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Anoreksiya nervoza veya bulimia gibi yeme bozukluğu olan hasta bunun klasik örneğidir. Sorun ilk olarak 1977'de Hellstrom ve Hurst tarafından bildirilmiştir (Cleaton-Jones, 1989; Jugale vd., 2014). O zamandan beri konuyla ilgili birçok rapor ve inceleme yayınlanmıştır (Lifante-Oliva vd., 2008).

Kusmanın neden olduğu erozyon tipik olarak maksiller dişlerin damak yüzeylerini etkilese de, yeme bozukluğu olan bireylerin çok miktarda asitli içecek ve taze meyve tüketmesi de yaygındır. Bu durum öncelikle dişlerin labiyal yüzeylerini etkileyen başka bir asit maruziyeti kaynağı ile sonuçlanır. Ek olarak bulimia tedavisi, tükürük hipofonksiyonuna neden olabilecek antidepressanların veya diğer psikoaktif ilaçların kullanımını içerebilir. Bu nedenle erozyonun nedeni güvenilir bir şekilde belirlenemez (Manevski vd., 2020). Alkolizmle ilişkili erozyona sık sık kusma neden olur. (Manevski vd., 2020; Milosevic vd., 1997). Erozyona neden olabilecek diğer kusma nedenleri arasında peptik ülser veya gastrit gibi gastrointestinal bozukluklar, gebelik, ilaç yan etkileri, diyabet veya sinir sistemi bozuklukları yer alır.

3.3. Erozyonun Etiyolojisi

Genellikle erken eroziv lezyonlar hasta tarafından fark edilmez. Yeri ve şiddeti farklı olabileceğinden erozyonun nedeni bir dereceye kadar klinik tabloyla belirlenebilir (Carlsson ve Kanno, 2006) . Eroziv süreç şu anda aktifse dişlerde genellikle lekelenme olmaz. Dentin açığa çıkarsa ve lekelenirse genellikle aşındırıcı unsur artık oluşmaz. Genel

olarak eroziv lezyonlar klinik olarak minedeyken yüzey konturunun kaybıyla sadece yuvarlak ve pürüzsüz lezyonlar olarak ortaya çıkar. Mine tabakası bir kez kaybedildiğinde açığa çıkan dentin asidik saldırılara ve diş aşınma faktörlerinin birikmesine karşı daha hassastır ve bu da diş maddesinin daha hızlı kaybına yol açar. Bu çukurlaşmaya veya lekeli lezyonlara yol açabilir. Dişler öndeki minenin incilmesi nedeniyle yarı saydam veya açıkta kalan dentinden dolayı daha koyu görünebilir. Ekstrinsik erozyonda, örneğin diyet alımından, maksiller dişlerin bukkal servikal yüzeylerinde ve mandibular arka dişlerin oklüzal yüzeylerinde diş aşınması sıklıkla gözlenir (Kay ve Abes, 1976).

Eroziv aşınma abrazyonla ilişkili keskin tanımlanmış sınırlara kıyasla daha geniş bombeli sığ lezyonlar oluşturma eğiliminde olduğundan, servikal bölgede eroziv ve abrazyon diş aşınmasının ayırt edilebileceği öne sürülmüştür (Rytömaa vd., 1998). İntrinsik erozyonda diş aşınması maksiller dişlerin damak yüzeylerinde ortaya çıkma eğilimindedir. Dil yüzeyleri ve alt ön dişler asit saldırısına maruz kalmaktan onları kaplayan dilin koruyucu doğası nedeniyle genellikle etkilenmez (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Anoreksiya bulimialı bir hastada sık sık kusmaya bağlı aşınma olarak kendini gösteren diş aşınması olup tepenin aşındırıcı aşınmadan nasıl kurtulduğuna dikkat edin

3.3.1. Demineralizasyon ve Diş Erozyonu Arasındaki Farkı Anlamak

Hem diş demineralizasyonu hem de erozyon ağızdaki asidik ortamın bir sonucu olarak meydana gelse de bazı önemli farklılıklar vardır. Üç ana fark; hasara neden olan asidin kaynağı, hasarın meydana geldiği yer ve hasarın geri döndürülebilirliğidir.

3.3.2. Dişte asit hasarının kaynağı

Ağızdaki bazı bakteriler dişlere yapışan karbonhidratlarla beslenir ve yan ürün olarak laktik asit salar. Bu asit dişi demineralize eder ve yapısını zayıflatarak boşluk oluşmasına neden olur. Bu soda, meyve suyu veya asit reflü gibi diğer kaynaklardan gelen asidin bir sonucu olarak meydana gelen erozyonun tersidir.

3.3.3. Hasarın yeri

Diş üzerindeki bakteriler diş yüzeyinin altına asit saldıığında, yapıyı zayıflattığında ve destek eksikliği nedeniyle diş minesinin çökmesine neden olduğunda bir boşluk oluşur. Öte yandan erozyon yüzeydeki mine asitle zayıfladığında ve dişin zayıflamış yüzeyinde hareket eden bir şeyin sadece dil bile olsa aşındırmasıyla meydana gelir.

3.3.4. Hasarın geri döndürülebilirliği

Demineralizasyonun ilk aşaması tersine çevrilebilir. Florür tedavisi sadece dişleri remineralize etmekle kalmaz aynı zamanda onları aside eskisinden daha az duyarlı hale getirir. Öte yandan erozyon geri döndürülemez ve minenin altındaki daha az sert olan dentin tabakasının açığa çıkmasına neden olabilir.



Şekil 3.9. Diş erozyonunun tanısı ve yönetimi

Diş erozyonunun erken tanınması dişlerde geri dönüşü olmayan ciddi hasarları önlemek için önemlidir. Bu durum ise diğer diş aşınma biçimlerine kıyasla erozyonun klinik

görünümünün farkında olmayı gerektirir. Erozyonun etiyolojilerini ve risk faktörlerini anlamak da önemlidir. Bunlar diş aşınmasının çok faktörlü doğasını ele alan bir teşhis protokolü ve yönetim stratejisinin temelini oluşturur.

3.4. Değiştirici bir faktör olarak tükürük

Tükürüğün tamponlama kapasitesi bir asit eklendiğinde pH'daki değişikliğe direnme kabiliyetini ifade eder. Bu özellik büyük ölçüde tükürüğün akış hızına bağlı olan tükürüğün bikarbonat içeriğinden kaynaklanmaktadır. Bikarbonat konsantrasyonu da tükürük pH'ını düzenler. Bu nedenle tükürüğün pH'ı, tamponlama kapasitesi ve akış hızı arasında bir ilişki vardır ve akış hızı arttıkça pH ve tampon kapasitesi artar (Saramet vd., 2021).

Normalde ister içsel ister dışsal bir kaynaktan olsun bir asit ağza girdiğinde tükürük akış hızı, pH ve tampon kapasitesi ile birlikte artar. Birkaç dakika içinde asit nötralize edilir, ağız boşluğundan temizlenir ve pH normale döner. Erozyonlu hastalar çeşitli çalışmalarda kontrollerle karşılaştırıldığında daha düşük tükürük tampon kapasitesine sahip olduğu bulunmuştur. Bu nedenle tükürük fonksiyonu erozyon etiyolojisinde önemli bir faktördür. Birçok yaygın ilaç ve hastalık tükürük akış hızını azaltabileceğinden erozyonlu bir hastayı değerlendirirken tükürüğün bu özelliklerini değerlendirmek önemlidir.

3.5. Risk faktörleri

Çok sayıda olası erozyon etiyolojisi göz önüne alındığında bir hastanın hangi risk faktörlerine sahip olabileceğini klinik olarak değerlendirmek önemlidir. Tablo 3.3.'de çeşitli çalışmalarla belirlenen risk faktörleri listelenmiştir. Finlandiya'da 106 erozyon vakasının rastgele seçilmiş 100 kontrolle karşılaştırıldığı bir çalışmada, sonuçlar turuncgillerin günde iki defadan fazla tüketilmesinin 37 kat daha fazla erozyon riski ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Featherstone, (1999). Haftalık sporcu içecekleri veya günlük meşrubat tüketimi bu içecek türlerini tüketmeyenlere göre erozyon riskini 4 kat arttırdığı bildirilmiştir. Haftada bir veya daha fazla kusma, gastroözofageal reflü semptomları ve düşük uyarılmamış tam tükürük akış hızı (<0.1 mL/dak) da önemli risk faktörleridir. 14 yaşındaki çocuklarda yapılan bir çalışmada maksiller ön dişlerin takibi ile bu dişlerin 18 yaşında devam eden eroziv aşınmış halinin öngülebeceği belirtilmiştir

(Shimizu vd., 2013). Bir başka çalışmada ortodontik tedavi görmüş 223 vakanın kayıtları yetişkin kayıtlarıyla karşılaştırılmıştır (Tulek vd., 2020). İstatistiksel bir analize göre, süt dişlerinde gözlemlenen diş aşınmasının yetişkin iken ne kadar olabileceğinin tahmin edilebileceğini göstermiştir. Yazarlar bruksizmi olası ortak etiyolojik mekanizma olarak görmelerine rağmen, diş aşınması için skorlama sisteminin erozyonunkine çok benzer olduğunu ve bunun da eroziv faktörlerin diş aşınmasının etiyolojik mekanizması olabileceği sorusunu gündeme getirmiştir. Bu çalışmaların sonuçlarını yorumlarken henüz tanımlanmamış faktörlerin belirli bir bireyin erozyona karşı duyarlılığını değiştirebileceğini akılda tutmak önemlidir. Bu faktörler tükürüğün özelliklerini, diş minesinin yapısını ve sıvı/gıda bolus hareketi ile ilgili ağız boşluğu içindeki mikroçevreleri içerebilir.

Tablo 3.3. Diş erozyonu için risk faktörleri

Risk faktörleri	
Turuncgil tüketimi (günde ikiden fazla)	Spor içecekleri alımı (haftalık veya daha sık)
Alkolsüz içeceklerin tüketilmesi (haftada 4-6 veya daha fazla)	Elma sirkesi alımı (haftalık veya daha sık)
Yeme bozukluğu	Kusma (haftalık veya daha sık)
Bruksizm alışkanlığı	Aşırı yıpranma
Tüm tükürüğün uyarılmamış akış hızı ($\leq 0,1$ mL/dak)	Gastroözofageal reflü belirtileri veya hastalık geçmişi

3.5.1. Hasta değerlendirmesi

Erozyonun nedenlerine ilişkin mevcut bilgi durumu göz önüne alındığında ve yıpranma ile aşınmanın sık sık bir arada olduğu akılda tutularak, diş yüzeyi kaybıyla başvuran hastaların değerlendirilmesi ve yönetimi için bir protokol Tablo 3.4.'te sunulmaktadır.

Tablo 3.4. Dental erozyon tanı protokolü

• Tarihsel veriler elde edin. Aşağıdaki öğeleri kontrol edin:	
Tıbbi geçmiş • Aşırı kusma, derin düşüncelere dalma • Yeme bozukluğu • Gastroözofageal reflü hastalığı • Reflü belirtileri (Tablo 3) • Antiasitlerin sık kullanımı • Alkolizm • Otoimmün hastalık (Sjögren) • Baş ve boyuna radyasyon tedavisi • Ağız kuruluğu, göz kuruluğu • Tükürük hipofonksiyonuna neden olan ilaçlar • Asidik ilaçlar	Diş Tarihi • Bruksizmin geçmişi (gıcırdatma veya diş sıkma) - Uyku sırasında gıcırdayan bruksizm sesleri kaydedildi - yatak arkadaşı tarafından mı? - Sabah çiğneme kaslarında yorgunluk veya ağrı var mı? • Oklüzal koruma kullanımı
Diyet Tarihi • Asitli yiyecek ve içecek sıklığı • Yutma yöntemi (hışırta, yutkunma?)	Ağız Hijyeni Yöntemleri • Diş fırçalama yöntemi ve sıklığı • Diş macunu türü (aşındırıcı?) • Gargara kullanımı • Topikal florürlerin kullanımı
Mesleki/Eğlence Tarihi • Düzenli yüzücü müsünüz? • Şarap tadımı? • Çevresel iş tehlikeleri?	
Fiziksel değerlendirme yapın	Aşağıdaki özellikler için gözlemleyin:
Baş ve Boyun Muayenesi • Hassas kaslar (bruksizm?) • Massesterik kas hipertrofisi (bruksizm?) • Büyümüş parotis bezleri (otoimmün hastalık, anoreksiya, alkolizm) • Alkolizmin yüz belirtileri: - Yüzde kızarma, şişlik - Derideki örümcek anjiyomları	Ağız İçi Muayene • Tükürük hipofonksiyonunun belirtileri: - Mukozal inflamasyon - Mukozal kuruluk - Bez kanallarından tükürüğün dışarı çıkarılamaması • Restorasyonlarda parlak yüzeyler veya aşınma (bruksizm?) • Restorasyonlarda parlak yüzeyler veya aşınma (bruksizm?) • Diş aşınmasının yeri ve derecesi (fotoğraflar, modeller, radyograflar içeren belge)
Genel denetleme • Düşük kilo (anoreksiya)	Tükürük fonksiyon değerlendirmesi • Akış hızı • pH, tampon kapasitesi (araştırmada)

3.5.2. Tıbbi geçmiş

İlk değerlendirme tüm reçeteli ve reçetesiz ilaçların ve takviyelerin bir listesi dâhil olmak üzere kapsamlı bir tıbbi geçmiş incelemesiyle başlar. Erozyon sorunuyla ilgili öğeler arasında tükürük hipofonksiyonuna neden olabilecek ilaçlar ve GERD tedavisinde kullanılanlar yer alır. Asitli ilaçlar veya C vitamini gibi takviyeler ve alım yöntemi de not edilmelidir.

Tükürük hipofonksiyonuna neden olan hastalıkları da not etmek önemlidir (Moisset vd., 2016). Sjögren sendromu, tükürük ve gözyaşı bezlerinin kronik iltihaplanmasının ağız ve göz kuruluşuna neden olduğu otoimmün bir durumdur. Baş ve boyun radyasyon tedavisi öyküsü de geri dönüşü olmayan ağız kuruluşuna yol açar. Mekanik boşluğun olmaması ve asitlerin tükürük tarafından tamponlanması asidin kaynağı ne olursa olsun erozyon riskini artırabilir. Ek olarak hasta artık tükürük akışını uyarmak ve ağız nemli tutmak için asidik sıvılar kullanabilir. Azalan tükürük akışıyla birlikte bu erozyon riskini artırır. Bununla birlikte, daha önce açıklandığı gibi GÖRH varlığı ile erozyon arasında anlamlı bir ilişki vardır. Bu nedenle semptomların varlığının sorulması (Tablo 3.4.) ve hastanın bu durum için ilaç alıp almadığına dikkat edilmesi önemlidir. Ortaya çıkarmak için duyarlılık gerektiren birkaç önemli tıbbi geçmiş ögesi, yeme bozuklukları veya alkolizmle ilişkili kusma sıklığıdır. (Lee GS vd., 2019). Bütünlük adına bahsetmeyi gerektiren nadir bir alışkanlık ruminasyondur. Ruminasyon yeniden yutmadan önce kusan mide içeriğinin çiğnenmesidir. Bu alışkanlık motivasyonu yüksek profesyonellerde olduğu kadar öğrenme güçlüğü çeken kurumsallaşmış bireylerde de strese bir tepki olarak tanımlanmıştır (Adamo vd., 2018; Galli vd., 2017).

3.5.3. Diyet Anketi

Erozyon için risk faktörlerini araştıran birçok çalışma erozyonu olan kişilerde olmayanlara göre daha fazla asitli yiyecek ve içecek alımını tanımlamıştır. Bu nedenle asitli yiyecek ve içeceklere odaklanan bir diyet anketi hasta tarafından doldurulmalıdır. Alım sıklığına ek olarak alım şekli de dâhil edilmelidir. Uzun süre ağızda tutulan veya uzun süre ağızda tutulan asitli içecekler dişlerde ciddi hasarlara neden olabilir. Asitli içecekleri içmek için pipet kullanmanın, sıvının büyük kısmının dişleri atlamasına izin

vererek olası aşındırıcı etkileri en aza indirebileceği öne sürülmüştür (Eisenburger vd., 2001). Şarap ve bira gibi birçok alkollü içecek asitli olduğundan alkol alımını dâhil etmek önemlidir. Karışık içeceklerde kullanılan içecekler de genellikle çok asitlidir. Yüksek düzeyde tüketim sık kusma ve GÖRH riskini artıran alkolizmi de gösterebilir.

3.5.4. Diş Tarihi

Çene parafonksiyonu ve bruksizm öyküsü, erozyona ek olarak aşınma olasılığını artırabilir. Bir bruksizm alışkanlığı olup olmadığını belirlemeye yardımcı olması için hastanın uyku sırasında gıcırdama sesleri çıkarıp çıkarmadığını ve sabahları çene kaslarında hassasiyet veya yorgunluk yaşayıp yaşamadığını sorulmalıdır (Lavigne vd., 1996). Diş fırçalama alışkanlıklarının diş aşınmasına ne ölçüde katkıda bulunabileceğini belirlemek için kullanılan diş macununun yanı sıra fırçalama sıklığı ve yöntemi hakkında da bilgi edinilmelidir. Asitli gıdaların tüketiminden hemen sonra diş fırçalamak veya kusma da diş yapısı kaybını hızlandırabilir çünkü mine asit varlığında yumuşar. Emaye erozyon nedeniyle incelirken alttaki dentin görüldüğü için dişler daha sarı görünebilir. Bir hasta daha aşındırıcı olan bir diş macunuyla (örneğin sigara içenlere reklamı yapılan diş macunu) daha sıkı fırçalayarak dişleri beyazlatmaya çalışabilir ve bu da erozyonu aşındırmayla birleştirir. Florür kullanımı değerlendirilmelidir.

3.5.5. Mesleki / eğlence geçmişi

Mevcut endüstriyel güvenlik standartları çalışma alanında çevresel tehlikelerle ilişkili erozyon oluşumunu azaltmıştır. Ancak klorlu havuzlarda sık yüzen kişilerin havuz suyu asitliği hakkında bilgi edinmeleri gerekmektedir. Hastanın çalışma ortamının karakteri veya şarap tadımı gibi hobileri tarihsel sorgulamaya dâhil edilmelidir.

3.5.6. Baş ve Boyun/Ağız Muayenesi

Baş ve boyun muayenesi yapılırken çiğneme kaslarında bruksizm alışkanlığına işaret edebilecek herhangi bir hassasiyet veya hipertrofi belirtisine dikkat edilmelidir (Chu CH vd., 2009). Yüz derisindeki genişlemiş yüzeysel kılcal damarlar (örümcek anjiyomları) veya nefeste sık sık alkol kokusu gibi kronik alkolizm belirtileri not edilmelidir. Parotis

tükürük bezlerinin büyümesi, Sjögren sendromu, kronik alkolizm veya buliminin bir işareti olabilir. Tükürük akışının azaldığının mukozal belirtileri arasında iltihaplanma, kuruluk ve bez deliklerinden tükürük salgılayamama yer alır. Bununla birlikte bazı çalışmalarda tükürük akışının azalması erozyonla ilişkilendirilmiş olsa da erozyonlu hastalarda normal akış hızlarının bulunması alışılmadık bir durum değildir. Bu nedenle oral mukozanın normal görünmesi muhtemeldir. Bununla birlikte bukkal mukozanın belirgin bir linea alba ve lateral dil girintileri brüksizm alışkanlığına işaret edebilir. Çürük genellikle erozyonlu hastalarda nadir görülen bir durumdur. Ek olarak erozyonlu dişler plak tutma eğiliminde değildir. Sık görülen bir bulgu diş eti çatlağı içinde bir mine kafının korunmasıdır. Diş yüzeyi kaybının yeri, derecesi ve tipi dikkatli bir şekilde tanımlanarak belgelenmelidir. Bilimsel literatürde birçok ölçüm indeksi tanımlanmış olup epidemiyolojik çalışmalar için önemlidir (Shetty vd., 2010; Cummings ve VandenBos, 1981). Bununla birlikte birkaç yıl boyunca muayenehanede bir hastayı yönetirken, hastanın dişlerinin ölçülerini alarak ve modellerini yaparak diş aşınmasını belgelemek daha kolay ve daha doğru olabilir. Modeller daha sonra çeşitli yeniden değerlendirme zamanlarında mevcut modellerle görsel karşılaştırma için alınabilir. Ağız içi fotoğraflar erozyonun belgelenmesi ve önleyici tedbirlerin başarısının izlenmesi için de yararlıdır. Radyografilerdeki dişlerin karşılaştırılması da diş yüzeyindeki kaybı ortaya çıkarabilir.

3.5.7. Tükürük Fonksiyon Değerlendirmesi

Subjektif oral kuruluk hissi gerçek tükürük bezi fonksiyonunu yansıtmayabilir. Bu nedenle erozyonlu hastaları değerlendirirken tükürük akış hızını değerlendirmek önemlidir. Tükürüğün düşük tampon kapasitesi erozyonla ilişkilendirilmesine rağmen bu hastalarda tükürük pH'ını ve tampon kapasitesini ölçmenin faydası henüz doğrulanmamıştır ancak daha fazla araştırma için önemli bir alan olmaya devam etmektedir. Avrupa çalışmalarında tampon kapasitesini ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntem (Dentobuff, Orion Diagnostica) yalnızca ABD'de araştırma amacıyla mevcuttur.

3.6. Erozyon Yönetim Etiyolojisi ve Tedavisi

Etiyolojinin tanımlanması erozyon yönetiminde ilk adım olarak önemlidir. Asitli yiyecek veya içeceklerin aşırı diyet alımı keşfedilirse hasta eğitimi ve danışmanlığı önemlidir. Hastanın GERD semptomları varsa tam bir değerlendirme için bir tıp doktoruna sevk edilmeli ve tedaviye başlanmalıdır. Tükürük hipofonksiyonu olan bir hasta artık tükürük akışını artırmak için şekersiz sakız veya nane kullanımından fayda görebileceği belirtilmelidir. Oral pilokarpin (Salagen) kullanımı Sjögren sendromunun neden olduğu ağız kuruluğu veya terapötik baş ve boyun radyasyonu sonrası hastalarda faydalı olabilir. Yeme bozukluğundan şüphelenilen bir hasta değerlendirme için bir tıp doktoruna sevk edilmelidir. Bazı durumlarda etiyolojik bir ajan tanımlanamaz. Diğer durumlarda alkolizm sorunu gibi etiyolojik ajanı kontrol etmek zor olabilir. Ancak nedeni ne olursa olsun erozyonun ilerlemesini önlemek için önleyici tedbirlere uymak önemlidir (Edgar vd., 2004). Diş erozyonunu kontrol altına almak için alınabilecek birkaç önleyici tedbir vardır. Bunlar Tablo 3.5.'de listelenmiştir. Hasta eğitimi çok önemlidir. Erozyonun önlenmesinin çoğu hastanın diyet değişikliğine uyumuna, topikal florürlerin kullanımına, oklüzal splint kullanımına vb. bağlıdır.

3.7. Restoratif Tedavi

Diş aşınmasının derecesine bağlı olarak restoratif tedavi birkaç izole erozyon alanına bonded kompozitlerin yerleştirilmesinden harap olmuş diş yapısı durumunda tam ağız rekonstrüksiyonuna kadar değişebilir. Belirli restorasyon tekniklerinin açıklaması bu makalenin kapsamı dışındadır. Sağlanan restoratif tedavinin türü ne olursa olsun erozyonun ilerlemesinin önlenmesi erozyonlu hastanın yönetiminin temeli olmalıdır. Bu restoratif tedavinin başarılı uzun vadeli sonuçlarının olasılığını artıracaktır.

Tablo 3.5. Erozyonun ilerlemesini önleme protokolü

Önleyici tedbirler:

Asit tehdidinin sıklığını ve şiddetini azaltın.

- * Asitli yiyecek ve içeceklerin miktarını ve sıklığını azaltın.
- * Asitli içecekler yudumlanarak değil hızlı içilmelidir. Pipet kullanımı alkolsüz içeceklerin aşındırıcı potansiyelini azaltacaktır.
- * Tanı konmamış veya kötü kontrol edilen gastroözofageal reflüden şüpheleniliyorsa bir doktora başvurun. Bulimia durumunda bir doktor veya psikolog sevki uygundur.
- * Alkol bağımlısı bir hastaya rehabilitasyon programlarında tedavi arayışında yardımcı olunmalıdır.

Vücudun savunma mekanizmalarını geliştirin (tükürük akışını artırın).

- * Tükürük asit saldırılarına direnen tamponlama kapasitesi sağlar. Bu tamponlama kapasitesi tükürük akış hızı ile artar.
- * Tükürük ayrıca diş yapısının demineralizasyonunu engelleyen kalsiyum ve fosfor ile aşırı doymuştur.
- * Şekersiz pastil, şeker veya sakız kullanılarak tükürük akışının uyarılması önerilir.

Diş yüzeylerinin asit direncini, remineralizasyonunu ve yeniden sertleşmesini artırın.

- * Hastaya evde günlük topikal florür kullandırın.
- * Yılda 2-4 kez ofiste florür uygulayın. Bir florür verniği tavsiye edilir.

Kimyasal korumayı geliştirin.

- * Özellikle içsel veya dışsal asit yüklemesinden sonra günde 5 kez şekersiz antasit tabletleri çözerek ağızdaki asitleri nötralize edin.
- * Sert peynir (kalsiyum ve fosfat sağlar) gibi diyet bileşenleri, asidik zorlamadan sonra ağızda tutulabilir (örneğin, bir meyve salatası yedikten sonra peyniri birkaç dakika ağızda tutun).

Aşındırıcı kuvvetleri azaltın.

- * Yumuşak diş fırçaları ve aşındırıcılığı düşük diş macunlarını nazik bir şekilde kullanın.
- * Ağıza asit uygulandıktan hemen sonra dişleri fırçalamayın çünkü dişler kolayca aşınır.
- * Suyla durulamak asitli bir uygulamadan hemen sonra fırçalamaktan daha iyidir.

Mekanik koruma sağlayın.

- * Ağıza çıkan dentini korumak için uygun olduğunda kompozitlerin ve doğrudan yapıştırmanın uygulanmasını düşünün.
- * Bruksizm alışkanlığı varsa okluzal koruyucu yapılması önerilir.

Kararlılığı izleyin

- * Diş aşınma durumunu belgelemek için dökümler veya fotoğraflar kullanın.
- * Diyet, ağız hijyeni yöntemleri, ilaçlara uyum, topikal florür ve splint kullanımını gözden geçirmek için düzenli hatırlama muayeneleri yapılmalıdır.

Erozyonun erken tanınması hastalığın ilerlemesini başarılı bir şekilde yönetmek ve önlemek için önemlidir. Etiyolojik faktörlerin kısa bir incelemesi sunulmuş ve erozyonlu hastanın değerlendirilmesi ve tedavisi için önerilerde bulunulmuştur. Bunlar diğer diş aşınma biçimleri için olanlar da dâhil olmak üzere olası risk faktörlerini belirlemeyi amaçlayan eksiksiz bir sorun ve tıbbi geçmişi içerir. Bu etiyolojiyi belirlemek ve doğrudan tedaviye yardımcı olmak için önemlidir. GÖRH değerlendirmesi gibi özel testler uygun olabilir ve sevk gerektirebilir. Bir etiyoloji belirlenebilsin veya belirlenemesin erozyonun ilerlemesinin önlenmesi için bir önleme protokolü başlatılmalıdır. Tedavi uyumunu ve başarısını belirlemek için hasta düzenli aralıklarla dişlerin fotoğrafları veya izlenimleri ile izlenmelidir. Birincil diş bakımı ekibi, diş aşınması ve diğer diş aşınması biçimleri olan hastalarına bu bakımı sağlamak için ideal bir konumdadır.

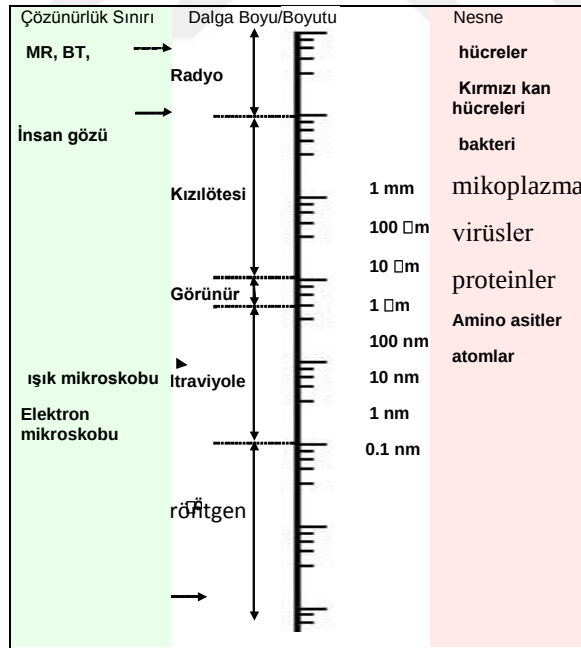
4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Taramalı Elektron Mikroskobunun Temelleri

4.1.1. Giriş

Mikroskopi; organizmaların, dokuların, hücrelerin, organellerin, moleküler düzeneklerin ve hatta tek tek proteinlerin "doğrudan" görüntülenmesini sağlar. Moleküler biyolojide kullanılan analitik teknikler, hücresel süreçleri soyut bir şekilde temsil eden bir veri seti sağlar. Bu nedenle mikroskopi, makro ve/veya mikroskobik yapıyı görselleştirmek için tamamlayıcı bir tekniktir.

Mikroskopi teknikleri, çözünürlük limitleri, ölçekler ve ilgili nesneler Şekil 4.1.'de gösterilmektedir. Ökaryotik hücrelerin tipik boyutları 10-20 mikrometredir ve hücre altı bileşenleri çıplak gözle görülemez. Ayrıca hücreler renksiz ve şeffaftır. Işık mikroskobunda görülebilmeleri için organellerin veya diğer bileşenlerin boyanması gerekir. Çeşitli histolojik boyalar ve flüoresan belirteçler geliştirilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı görüntüleme tekniklerinin çözünürlük sınırı, ilgili radyasyon ve biyolojik nesnelerin boyutu

Hücresel bileşenlerin ince yapısını görüntülemek, ışık mikroskoplarından çok daha yüksek bir çözme gücüne sahip elektron mikroskopları gerektirir. Elektron mikroskoplarının fiziksel özellikleri (örn. yüksek vakum), hücrelerin ve dokuların ince yapısını ortaya çıkarmak için özel hazırlık ve boyama teknikleri gerektirir.

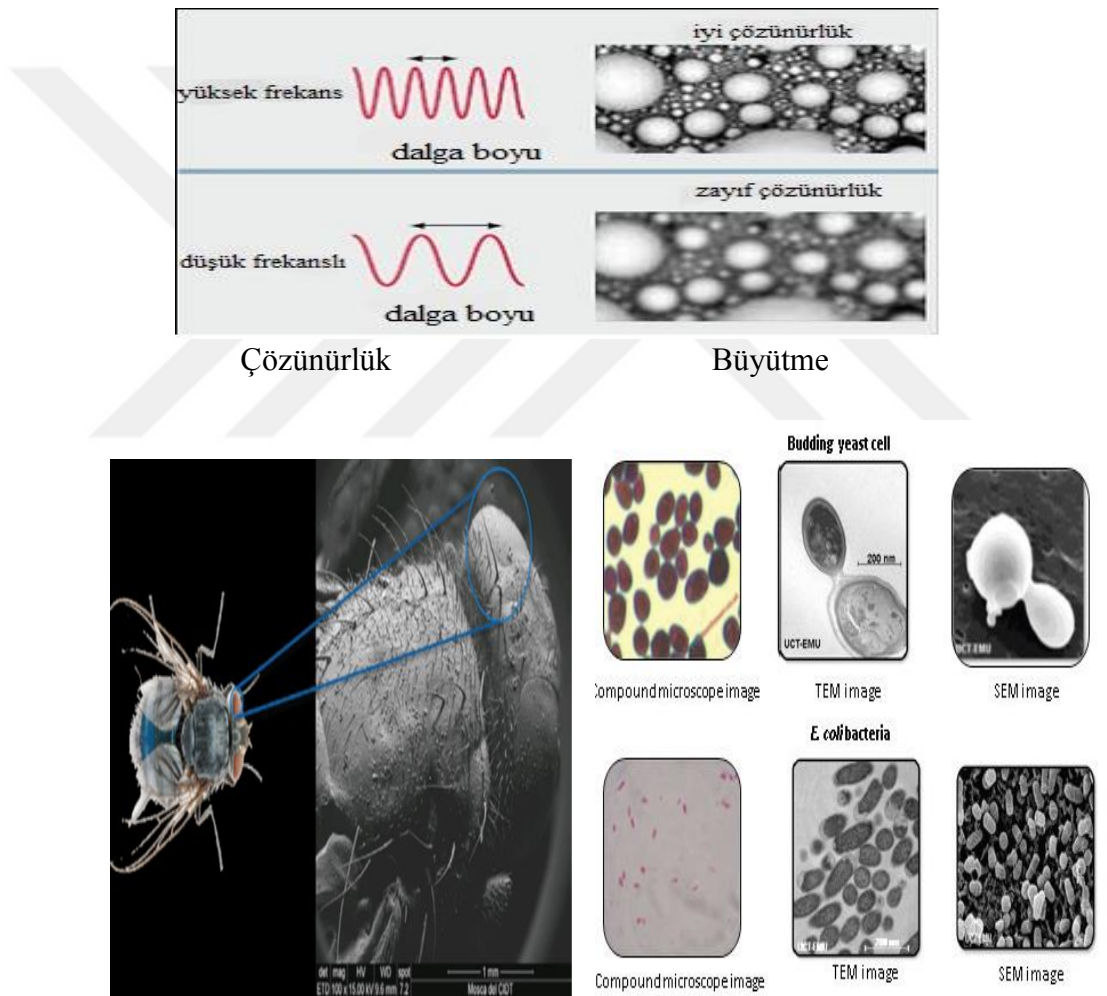
Bir optik sistemin çözünürlük sınırı, sayısal açıklığa ve ışığın dalga boyuna bağlıdır (Ernst Abbé Yasası). Bu yasa hızlarının dalga boylarını belirlediği elektronlar için de geçerlidir: elektronların hızı ne kadar yüksekse dalga boyu o kadar küçük ve çözünürlük o kadar iyi olur. 100 kV'da (hızı belirleyen hızlanma voltajı) çalışan bir transmisyon elektron mikroskobunun (TEM) pratik çözünürlüğü yaklaşık 0,5 nm'dir ve ışık mikroskoplarının çözünürlüğünü açık ara aşar. Taramalı elektron mikroskoplarında (SEM) etkin çözünürlük 1 nm civarındadır. Modern elektron mikroskoplarının çözünürlüğü hazırlanmış bir biyolojik numunenin hazırlama nedeniyle sağlayabileceği çözünürlükten çok daha iyidir.

Taramalı Elektron Mikroskobu numuneyi "görüntülemek", yapısı ve bileşimi hakkında bilgi edinmek için ışık yerine odaklanmış bir elektron demeti kullanması dışında tam olarak optik muadilleri gibi işlev görür. Yeterli ışık verildiğinde yardımsız insan gözü birbirinden 0,2 mm uzaklıktaki iki noktayı ayırt edebilir. Noktalar birbirine daha yakınsa tek bir nokta olarak görünürler. Bu mesafeye gözün çözme gücü veya çözünürlüğü denir. Benzer şekilde ışık mikroskopları kırmızı kan hücresi (7 µm) veya insan saçı (100 µm) gibi yaklaşık bir mikrometre (metrenin milyonda biri) kadar küçük nesneleri görmek için görünür ışık (400-700nm) ve şeffaf lensler kullanın. Işık mikroskobu yaklaşık 1000x büyötmeye sahiptir ve gözün 200 nm ile ayrılmış nesneleri çözmesini sağlar. Elektron Mikroskopları ışık fiziğı ile sınırlı olan ışık mikroskoplarının sınırlamaları nedeniyle geliştirilmiştir. Elektron Mikroskopları çok daha yüksek büyötmeye yeteneğıne sahiptir ve bir ışık mikroskobundan daha büyük bir çözme gücüne sahip olup bu da onun hücre altı, moleküler ve atomik düzeyde çok daha küçük nesneleri görmesine izin verir. Aydınlatıcı kaynakların en küçük dalga boyu mikroskobun en iyi çözünürlüğüdür.

De Broglie hareket eden parçacıkların (elektron) dalga boyunu $\lambda = h/mv$ şeklinde tanımlamıştır. Burada λ =parçacıkların dalga boyu, h =Planck sabiti, m =parçacığın (elektron) kütlesi, v =parçacıkların hızı. Bilinen değerleri yerlerine yazdıktan sonra $\lambda = 12,3 (\text{\AA})/V$ haline dönüşür. Bir optik mikroskobun çözünürlüğü bir numune

üzerindeki iki nokta arasındaki gözlemci veya kamera sistemi tarafından ayrı varlıklar olarak hala ayırt edilebilen en kısa mesafe olarak tanımlanır. Çözünürlük (r) = $\lambda / (2NA)$ olup λ 'nın görüntüleme dalga boyu olduğu yerde NA objektif sayısal açıklıktır.

Büyütme bir şeyin fiziksel boyutu değil görünümünü büyütme işlemidir. Büyütme görüntü mesafesinin nesne mesafesine oranı olarak tanımlanır ve $M = v/u$ olarak verilmektedir (M = büyütme, u = nesne mesafesi, v = görüntü mesafesi). Büyütme gözün çözme gücünün mikroskobun çözme gücüne (δ) oranı $M = \delta_{\text{göz}} / \delta_{\text{mikroskop}}$ olarak da tanımlanır.



Şekil 4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) mikro yapı morfolojisi ve kimyasal bileşim karakterizasyonlarının incelenmesi ve analizi için mevcut olan en çok yönlü araçlardan

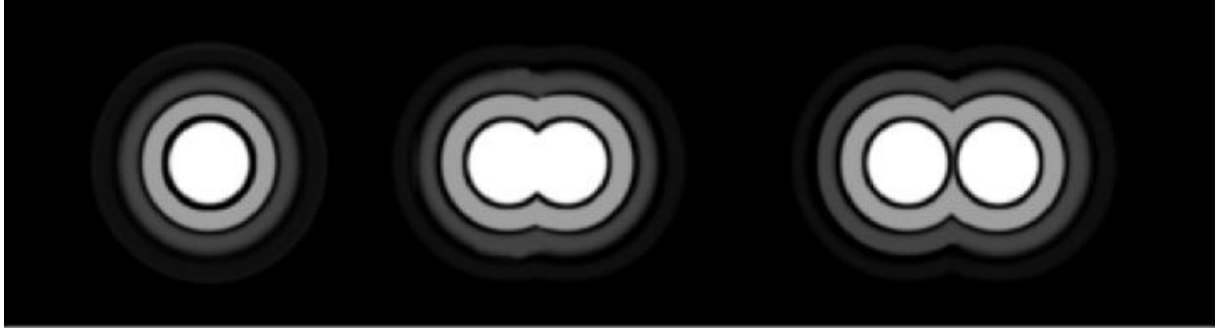
biridir. Elektron mikroskobunun temellerini anlamak için ışık optiğinin temel ilkelerini bilmek gerekir. Çıplak göz $\sim 0,1$ mm çözünürlüğe karşılık gelen (25 cm'lik optimum görüş mesafesinde) yaklaşık $1/60^\circ$ görüş açısına sahip nesneleri ayırt edebilir. Optik mikroskopi görsel açıyı optik lens aracılığıyla genişleterek $\sim 2000 \text{ Å}$ çözünürlük sınırına sahiptir. Işık mikroskobu bilimsel araştırmalar için büyük önem taşıyor ve olmaya devam ediyor. 1890'larda çok sayıda deneyde elektronların manyetik alan tarafından saptırılabilmesinin keşfedilmesinden bu yana ışık kaynağının yüksek enerjili elektron ışını ile değiştirilmesiyle elektron mikroskobu geliştirilmiştir.

4.1.2. Çözünürlük ve Abbe Denklemi

Çözünürlük sınırı iki yapının ayrılabilmesi ve yine de iki farklı nesne olarak görünebileceği minimum mesafeler olarak tanımlanır. Ernst Abbe çözünürlük sınırının aydınlatma kaynağının dalga boyuna bağlı olduğunu kanıtlamıştır. Belirli bir dalga boyunda çözünürlük sınırı aşıldığında büyütülmüş görüntü bulanıklaşır.

Kırınım ve girişim nedeniyle bir ışık noktası mükemmel bir nokta olarak odaklanamaz. Bunun yerine görüntü yoğunluğu azalan eşmerkezli dairelerden oluşan bir diskten oluşan kaynaktan daha büyük çaplı bir görünüme sahip olacaktır. Bu Airy diski olarak bilinir ve Şekil 4.3.a.'da gösterilmektedir. Birincil dalga cephesi ışık enerjisinin yaklaşık %84'ünü içerir ve ikincil ve üçüncül dalga cephelerinin yoğunluğu daha yüksek mertebelerde hızla azalır. Genel olarak Airy diskinin yarıçapı Şekil 4.3.3.a.'da gösterildiği gibi birinci dereceden tepe noktası ile birinci dereceden çukur arasındaki mesafe olarak tanımlanır. İki birincil tepe noktasının merkezi Airy diskinin yarıçapına eşit bir mesafeyle ayrıldığında, Şekil 4.3.3.b.'de gösterildiği gibi iki nesne birbirinden ayırt edilebilir.

Mükemmel bir optikte çözünürlük sistem matematiksel olarak Abbe denklemi ile açıklanabilir. Bu denklemde $d = 0,612\lambda / n \sin \alpha$ olup d =çözünürlük, n =boş alana göre nokta kaynağı ve mercek arasındaki ortamın kırılma indeksi, α =objektif tarafından kabul edilen numune düzleminden ışık konisi açısının yarısı (radyan cinsinden yarı açıklık açısı), $n \sin \alpha$ genellikle sayısal açıklık (NA) olarak adlandırılır.



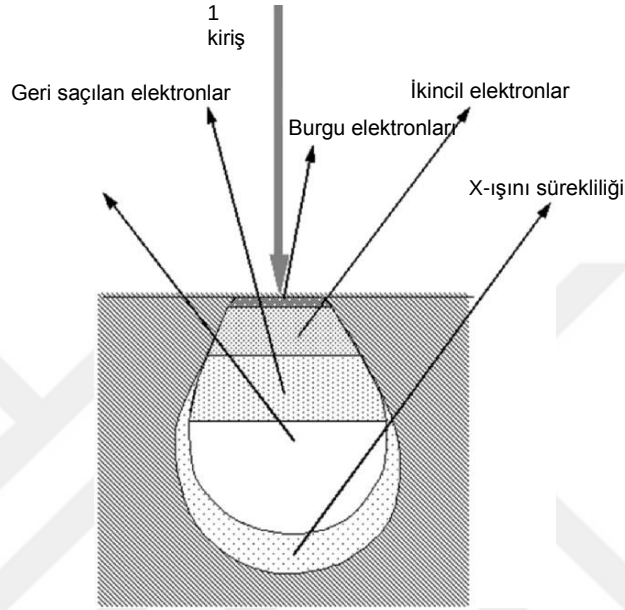
Şekil 4.3. (a) Havalı disk ve (b) dalga cephesindeki çözünürlüğün gösterimi

Işık mikroskoplarında aydınlatma kaynağı ve yoğunlaştırıcı merceğin yerine elektron ışını ve elektromanyetik bobinlerin kullanılması sırasıyla ilk transmisyon elektron mikroskobu (TEM) 1930'larda yapılmıştır. Burada elektron demeti bir elektromanyetik yoğunlaştırıcı mercek tarafından numune düzlemine odaklanmıştır. SEM numunenin yüzeyini sistematik olarak taramak için odaklanmış bir elektron ışını kullanır ve daha sonra ayrıntılı olarak tartışılacak olan çok sayıda sinyal üretir. Bu elektron sinyalleri sonunda bir katot ışını tüpünde (CRT) görüntülenen görsel bir sinyale dönüştürülür.

4.1.3. Elektronun Numunelerle Etkileşimi

SEM'de görüntü oluşumu elektron demetinden ve numune etkileşimlerinden üretilen sinyallerin elde edilmesine bağlıdır. Bu etkileşimler iki ana kategoriye ayrılabilir: elastik etkileşimler ve elastik olmayan etkileşimler. Elastik saçılma gelen elektronun numune atom çekirdeği veya benzer enerjiye sahip dış kabuk elektronları tarafından saptırılmasından kaynaklanır. Bu tür bir etkileşim çarpışma sırasında ihmal edilebilir enerji kaybı ve saçılan elektronun geniş açılı yön değişikliği ile karakterize edilir. 90° 'den daha büyük bir açıyla elastik olarak saçılan gelen elektronlara geri saçılan elektronlar (BSE) denir ve numuneyi görüntülemek için yararlı bir sinyal verir. Elastik olmayan saçılma, gelen elektronlar ile numunenin elektronları ve atomları arasındaki çeşitli etkileşimler yoluyla meydana gelir ve birincil ışın elektronunun bu atoma önemli miktarda enerji aktarmasıyla sonuçlanır. Enerji kaybı miktarı numune elektronlarının tek başına mı yoksa topluca mı uyarıldığına ve elektronun atoma bağlanma enerjisine bağlıdır. Sonuç olarak numune atomlarının iyonlaşması sırasında numune elektronlarının uyarılması geleneksel olarak 50 eV'den daha az enerjiye sahip olarak tanımlanan ve

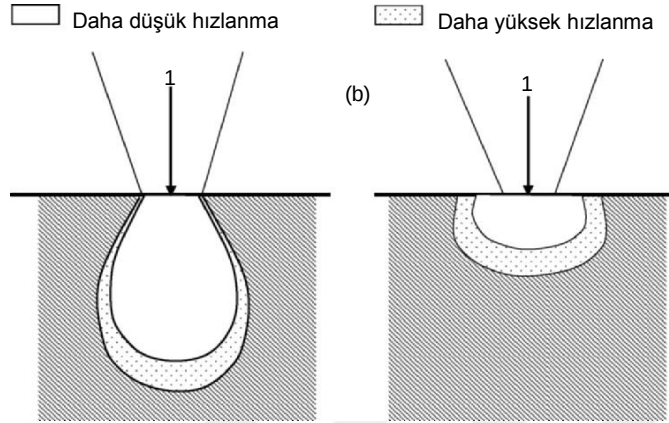
numuneyi görüntülemek veya analiz etmek için kullanılabilen ikincil elektronların (SE) üretilmesine yol açar. Bir görüntü oluşturmak için kullanılan sinyallere ek olarak bir elektron ışını bir örneğe çarptığında karakteristik x-ışınlarının emisyonu, Auger elektronları ve katodoluminesans dahil olmak üzere bir dizi başka sinyal üretilir. Şekil 4.4. farklı sinyallerin algılandığı bölgeleri göstermektedir.



Şekil 4.4. Taramalı elektron mikroskopunda elektron demeti-numune etkileşimi tarafından üretilen çeşitli sinyallerin ve sinyallerin tespit edilebileceği bölgelerin gösterimi.

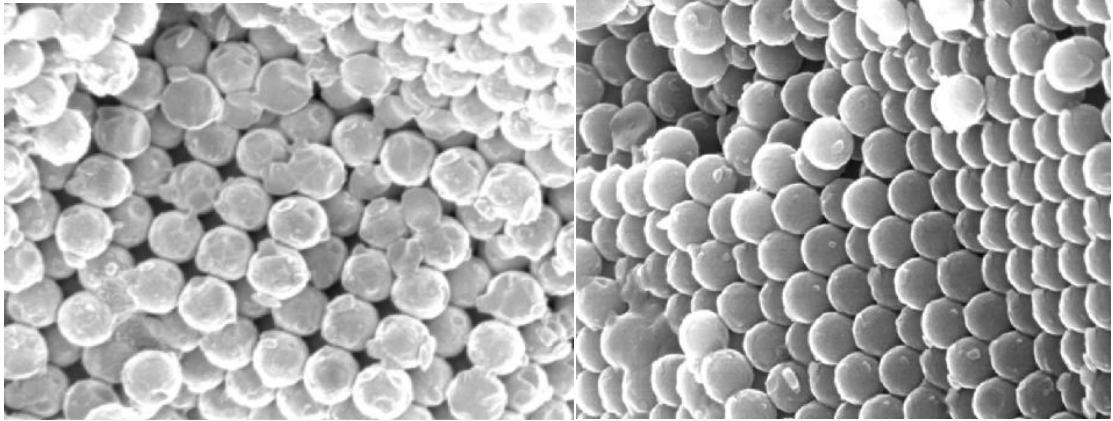
Çoğu durumda gelen elektron numune yüzeyine çarptığında, hemen geri sekmek yerine enerjik elektronlar bir numune atomuyla karşılaşır ve çarpışmadan önce numuneye bir miktar nüfuz eder. Bunu yaparken birincil elektron ışını, çeşitli sinyallerin üretildiği birincil uyarım bölgesi olarak bilinen şeyi üretir. Bu bölgenin boyutu ve şekli büyük ölçüde numunenin ışın elektron enerjisine ve atom numarasına ve dolayısıyla yoğunluğuna bağlıdır. Şekil 4.5. farklı hızlanma voltajı ve atom numarasına göre etkileşim hacminin değişimini göstermektedir. Belirli hızlandırma voltajlarında etkileşim hacminin şekli düşük atom numaralı numune için "gözyaşı damlası" ve yüksek atom numaralı numuneler için yarımküre şeklindedir. Penetrasyonun hacmi ve derinliği ışın enerjisinin artmasıyla artar ve artan numune atom numarasıyla düşer çünkü daha yüksek atom numarasına sahip numunelerde elektron penetrasyonunu durdurmak için daha fazla parçacık vardır. Etkileşim hacminin sinyal edinimi üzerindeki etkilerinden biri yüksek

hızlandırıcı voltajın kullanılmasının derin penetrasyon uzunluğuna ve büyük bir birincil uyarım bölgesine neden olması ve sonuçta ayrıntılı sinyal kaybına neden olmasıdır.



Şekil 4.5. Hızlanma voltajının ve numune atom numarasının birincil uyarım hacmi üzerindeki etkisi: **(a)** düşük atom numarası ve **(b)** yüksek atom numarası

Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) tarafından farklı hızlanma voltajlarında gözlemlenen sıkışık bir opal yapısı Şekil 4.6.'da gösterilmektedir. 1 kV altında çekilen görüntüler 20 kV'a göre daha fazla yüzey detayı verdi. Yüksek hızlanan voltajlarda yüzey çözünürlüğü kaybolur ve kürelerin yüzeyi düzgün görünür.

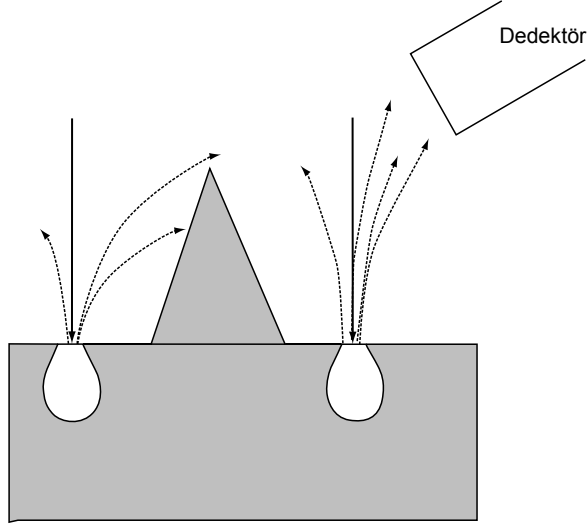


Şekil 4.6. CaF₂ sıkışık opal yapısının farklı hızlanma voltajları altında çekilmiş taramalı elektron mikrografları: **(a)** 1 kV ve **(b)** 20 kV

4.1.4. İkincil Elektronlar

Birincil elektron demetinin numune ile etkileşimi tarafından üretilen en yaygın kullanılan sinyal ikincil elektron emisyon sinyalidir. Birincil ışın numune yüzeyine çarparak

numune atomlarının iyonlaşmasına neden olduğunda gevşek bağlı elektronlar yayılabilir ve bunlara ikincil elektronlar denir. Tipik olarak ortalama 3-5 eV gibi düşük enerjiye sahip olduklarından, malzeme yüzeyinin yalnızca birkaç nanometre içindeki bir bölgeden kaçabilirler. Böylece ikincil elektronlar ışının konumunu doğru bir şekilde işaretler ve iyi bir çözünürlükle topografik bilgi verir. Düşük enerjileri nedeniyle ikincil elektronlar bazı uygulamalı sapmalar taşıyan bir detektöre kolayca çekilir. Everhart–Thornley (ET) dedektörü çoğu SEM’de ikincil elektronlar için standart toplayıcı olan bu nedenle hem sintilatöre bir sapma (+10 kV) hem de detektörü tarayan Faraday kafesine daha düşük bir sapma (+300 V) uygular. İkincil elektronları tespit etmek için bir sintilatör elektronların enerjisini fotonlara (görünür ışık) dönüştürür. Üretilen fotonlar daha sonra bir Pleksiglas veya parlatılmış kuvars ışık borusundan geçerek numune odası duvarından dışarı ve fotonların kuantum enerjisini tekrar elektronlara dönüştüren bir fotoçoğaltıcı tüpe (PMT) doğru hareket eder. PMT’den gelen çıkış voltajı SEM’in görüntü ekranında parlaklık modülasyonu olarak çıkmadan önce daha da yükseltilir. İkincil elektronlar esas olarak SEM’deki topografik kontrast için yani yüzey dokusunun ve pürüzlülüğünün görselleştirilmesi için kullanılır. Topografik görüntü ikincil elektronların kaçının gerçekte dedektöre ulaştığına bağlıdır. İkincil bir elektron sinyali yüzey yapılarını 10 nm mertebesine veya daha iyisine kadar çözebilir. Numune birincil ışın etkileşiminin bir sonucu olarak eşdeğer sayıda ikincil elektron üretilbilse de yalnızca dedektöre ulaşabilenler nihai görüntüye katkıda bulunacaktır. Dedektöre ulaşması engellenen ikincil elektronlar dedektöre engelsiz bir elektron yolu olan bölgelere göre gölgeler oluşturacak veya daha koyu olacaktır. Diyagramda topografyanın ikincil elektron emisyon bölgesini de etkilediği açıktır. Numune yüzeyi kırıke dik olduğunda ikincil elektronların yayıldığı bölge yüzey eğimli olduğunda bulunandan daha küçüktür. Şekil 4.7. numune topografyasının etkisini ve detektörün konumunun ikincil elektron sinyalleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Alçak gerilim gelen elektronlar tam yüzey bölgesinden ikincil elektronlar üretecek ve bu da numune yüzeyinde daha ayrıntılı yapı bilgileri ortaya çıkaracaktır.



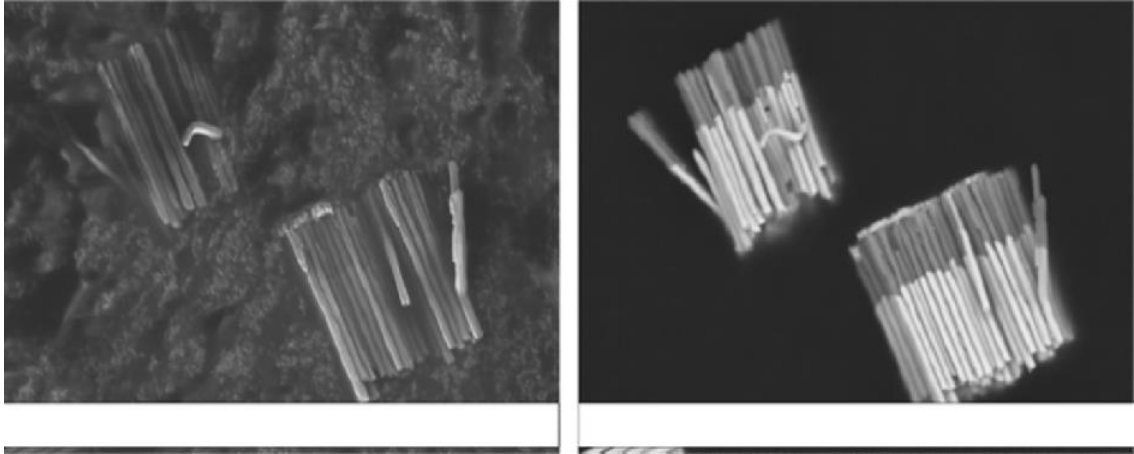
Şekil 4.7. Yüzey topografyasının etkisinin ve dedektörün konumunun ikincil elektron algılaması üzerindeki gösterimi

4.1.5. Geri Saçılan Elektronlar

SEM’de bir görüntü üretmenin bir diğer değerli yöntemi, SEM’de hem kompozisyon hem de topografik bilgi sağlayan BSE’lerin saptanmasıdır. Bir BSE tek veya çoklu saçılma olaylarına maruz kalan ve 50 eV’den daha büyük bir enerji ile yüzeyden kaçan olarak tanımlanır. Bir elektron ile numune atom çekirdeği arasındaki elastik çarpışma elektronun geniş açılı yön değişikliği ile geri sekmesine neden olur.

Işın elektronlarının kabaca %10-50’si kaynaklarına doğru geri saçılır ve ortalama olarak bu elektronlar başlangıç enerjilerinin %60-80’ini korur. Daha yüksek atom numarasına sahip elementlerin çekirdek üzerinde daha fazla pozitif yükü vardır ve sonuç olarak daha fazla elektron geri saçılır ve sonuçta ortaya çıkan geri saçılan sinyalin daha yüksek olmasına neden olur. Bu nedenle numune tarafından yeniden yayılan gelen elektronların yüzdesi olarak tanımlanan geri saçılan verim, numunenin atom numarasına bağlıdır ve SEM görüntülerinde atom numarası kontrastı sağlar. Örneğin karbon gibi hafif bir element için BSE verimi ~%6 iken tungsten veya altın gibi daha ağır bir element için ~%50’dir. BSE’lerin numune tarafından absorbe edilmelerini önleyen büyük bir enerjiye sahip olmaları nedeniyle numunenin BSE’lerin üretildiği bölgesi ikincil elektronlara göre önemli ölçüde daha büyüktür. Bu nedenle de bir BSE görüntüsünün yanal çözünürlüğü, ikincil bir elektron görüntüsüne (10 nm) göre çok daha kötüdür (1.0 μm). Ancak oldukça geniş bir kaçış derinliği genişliğine sahip olan BSE’ler yüzeyin derinliklerinde bulunan

özellikler hakkında bilgi taşır. Nispeten düz numuneleri incelerken bazı BSE'ler numunenin ikincil elektronların çekilebileceği bölgeleri tarafından bloke edildiğinden, ikincil elektronlar tarafından üretilenden farklı bir topografik görüntü üretmek için BSE'ler kullanılabilir. BSE'ler için dedektör ikincil elektronlar için kullanılanlardan farklıdır çünkü elektronları çekmek için öngerilimli bir Faraday kafesi kullanılmaz. Aslında Faraday kafesi herhangi bir ikincil elektronun dedektöre ulaşmasını engellemek için genellikle negatif olarak eğilimlidir. Yalnızca numuneden dedektöre düz bir yolda ilerleyen elektronlar geri saçılan görüntüyü oluşturmaya doğru gider. Şekil 4.8. Ni/Au heteroyapılı nanoçubukların görüntülerini göstermektedir. İkincil elektron sinyali kullanılarak üretilen görüntüdeki kontrast farklarını yorumlamak zordur (Şekil 4.8.a.) ancak BSE sinyali tarafından oluşturulan kontrast farkı kolaylıkla ayırt edilebilir (Şekil 4.8.b.). Yeni geliştirilen elektron geri saçılan kırınım (EBSD) tekniği nano boyutlu kristaller de dahil olmak üzere çeşitli numunelerin kristal yapısını belirleyebilir.



Şekil 4.8. (a) ikincil elektron sinyali ve **(b)** geri saçılan elektron sinyali tarafından oluşturulan Ni/Au nanoçubuk görüntüleri

4.1.6. Karakteristik X-ışınları

Birincil elektron demetinin numune ile etkileşimi tarafından üretilen diğer bir sinyal sınıfı karakteristik x-ışınlarıdır. Kimyasal bilgi sağlamak için karakteristik x-ışınlarının analizi SEM'de en yaygın kullanılan mikroanalitik tekniktir. Bir iç kabuk elektronu birincil elektronla çarpışma sonucu yer değiştirdiğinde bir dış kabuk elektronu iç kabuğa düşerek elektronu yeniden kurabilir. Böylece bir x-ışını fotonunun yayımlanmasıyla iyonize olmuş atom temel duruma geri döner. Karakteristik x-ışını tepe noktalarına ek olarak

yüksek enerjili elektronların elektron bulutu ve numunedeki atom çekirdekleri ile etkileşime girerken yavaşlaması yoluyla sürekli bir arka plan üretilir. Bu bileşen Bremsstrahlung veya Continuum x-ışını sinyali olarak adlandırılır. Bu bir arka plan gürültüsü oluşturur ve yayılan spektrumun uygun şekilde anlaşılması ve miktarının belirlenmesi için gerekli olan bilgileri içermesine rağmen genellikle analizden önce spektrumdan çıkarılır.

4.1.7. Diğer Elektronlar

BSE'ler ikincil elektronlar ve karakteristik x-ışınları dâhil olmak üzere en sık kullanılan sinyallere ek olarak numune elektron demeti etkileşimi sırasında üretilen ve mikro yapı analizi için kullanılabilecek birkaç başka sinyal türü vardır. Bunlar Auger elektronları, katodolüminesans iletilen elektronlar ve numune (veya soğurulan) akımdır.

4.1.7.1. Auger Elektronları

Burgu elektronları bir atomun gelen elektron ışını tarafından iyonlaştırılmasını ve bir iç kabuk boşluğunu doldurmak için bir dış kabuk elektronunun geri düşmesini takiben üretilir. Bu işlem tarafından salınan fazla enerji bir Auger elektronu tarafından taşınabilir. Bu elektron karakteristik bir enerjiye sahiptir ve bu nedenle kimyasal bilgi sağlamak için kullanılabilir. Düşük enerjileri nedeniyle Auger elektronları yalnızca yüzeye yakın bir yerden yayılır. Yalnızca birkaç nanometrelik kaçış derinliklerine sahiptirler ve temel olarak yüzey analizinde kullanılırlar.

4.1.7.2. Katodolüminesans

Katodolüminesans ışın numunesi etkileşimini takiben enerji stabilizasyonu için başka bir mekanizmadır. Elektronlar birincil ışının numune ile çarpışmasıyla oluşan boşlukları doldurmak için yeniden birleştiğinde bazı malzemeler kızılötesi, görünür veya ultraviyole dalga boylarına sahip fotonlar şeklinde fazla enerji salacaktır. Bu fotonlar ikincil elektron detektörü tarafından kullanılanlara benzer bir ışık borusu ve fotoçoğaltıcı kullanılarak saptanabilir ve sayılabilir. Bu yaklaşımı kullanarak mümkün olan en iyi görüntü çözünürlüğünün yaklaşık 50 nm olduğu tahmin edilmektedir.

4.1.7.3. İletilen Elektronlar

İletilen elektronlar numune birincil ışın elektronlarının geçmesi için yeterince inceyse (genellikle $1\ \mu$ 'den az) SEM'de bir görüntü oluşturmak için kullanılabilir başka bir yöntemdir. İkincil ve BSE detektörlerinde olduğu gibi iletilen elektron detektörü sintilatör hafif boru (veya kılavuz) ve bir fotoçoğaltıcıdan oluşur ancak numunenin alt tarafına bakacak şekilde konumlandırılır (mikroskopun optik eksenine dik). Bu teknik SEM'in ince numunelerin iç ince yapısını incelemesine izin verir. X-ışını mikroanalizi ile birleştiğinde iletilen elektronlar temel bilgilerin elde edilmesi ve dağıtılması için kullanılabilir. Taramalı elektron demetinin bir transmisyon elektron mikroskobu detektörü ile entegrasyonu taramalı transmisyon elektron mikroskobu oluşturur.

4.1.7.4. Numune Akımı

Numune akımı birincil ışın akımı ile toplam yayıcı akım (geri saçılan, ikincil ve Auger elektronları) arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu nedenle daha güçlü emisyon akımlarına sahip numuneler daha zayıf numune akımlarına sahip olacaktır ve bunun tersi de geçerlidir. Numune akımı görüntülemenin bir avantajı numunenin kendi detektörü olmasıdır. Bu nedenle numune merceğe istenildiği kadar yakinken bu modda görüntülemeye sorun yoktur.

4.2. Taramalı Elektron Mikroskoplarının Konfigürasyonu

Şekil 4.9. geleneksel bir SEM'in kolon yapısını göstermektedir. Kolonun tepesinde bulunan elektron tabancası elektronları üretir ve onları 0,1–30 keV enerji seviyesine kadar hızlandırır. Saç tokası tungsten tabancası tarafından üretilen elektron ışınının çapı yüksek çözünürlüklü bir görüntü oluşturmak için çok büyüktür.

Bu nedenle elektron ışınını odaklamak ve tanımlamak ve numune üzerinde küçük bir odaklanmış elektron noktası oluşturmak için elektromanyetik mercekler ve açıklıklar kullanılır. Bu işlem elektron kaynağının boyutunu (bir tungsten filamanı için $\sim 50\ \mu\text{m}$) gereken son nokta boyutuna (1–100 nm) kadar küçültür. Hava tarafından saçılmadan elektron hareketine izin veren yüksek vakumlu bir ortama ihtiyaç vardır. Numune tablası,

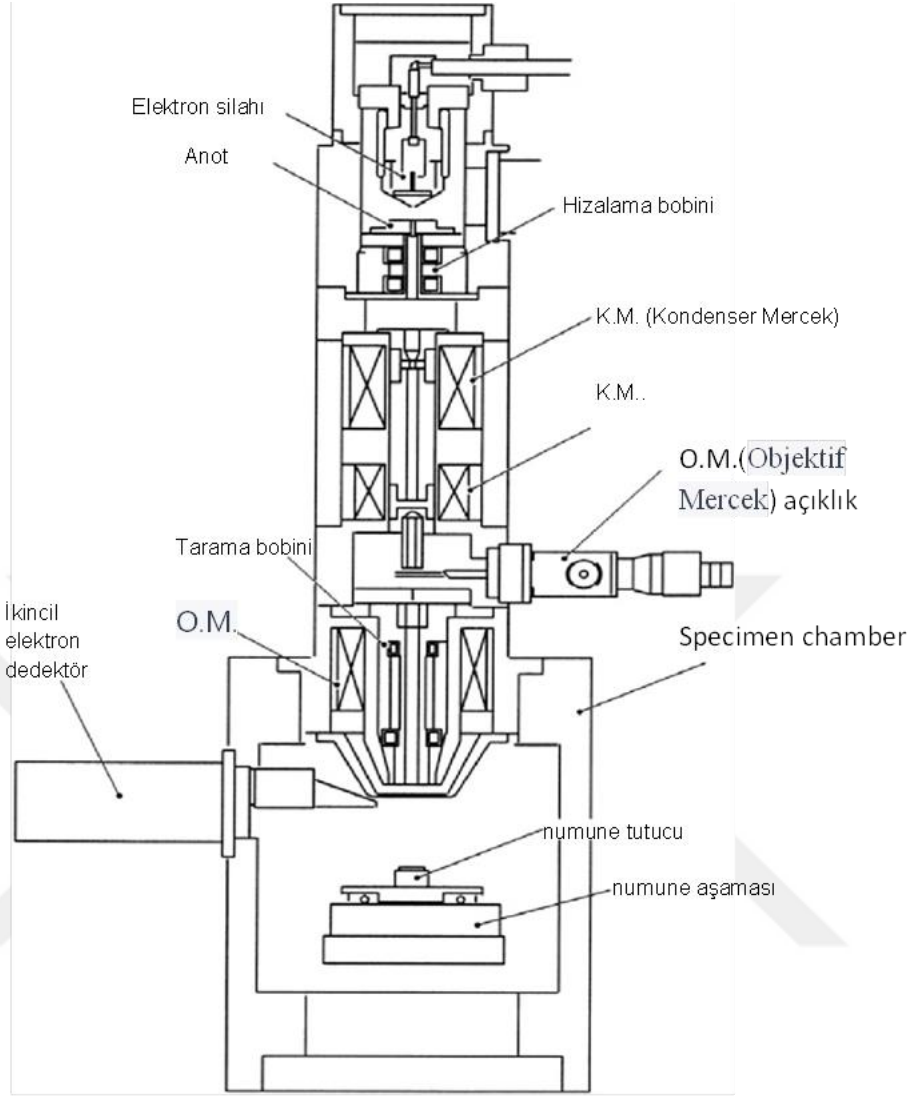
elektron ışını tarama bobinleri, sinyal algılama ve işleme sistemi, numune yüzeyinin gerçek zamanlı gözlemini ve görüntü kaydını sağlar.

4.2.1. Elektron Tabancaları

Modern SEM sistemleri elektron tabancasının yüksek akım, küçük nokta boyutu, ayarlanabilir enerji ve küçük enerji dağılımı ile kararlı bir elektron ışını üretmesini gerektirir. SEM sisteminde birkaç tip elektron tabancası kullanılmaktadır ve ürettikleri elektron demetinin nitelikleri önemli ölçüde değişmektedir. İlk SEM sistemlerinde genellikle tungsten "saç tokası" veya lantan hekzaborit (LaB₆) katotları kullanılmakta olup modern SEM'ler için eğilim, gelişmiş akım ve daha düşük enerji dağılımı sağlayan alan emisyon kaynaklarını kullanmaktır. Emitör ömrü elektron kaynaklarının seçiminde dikkate alınması gereken bir diğer önemli husustur.

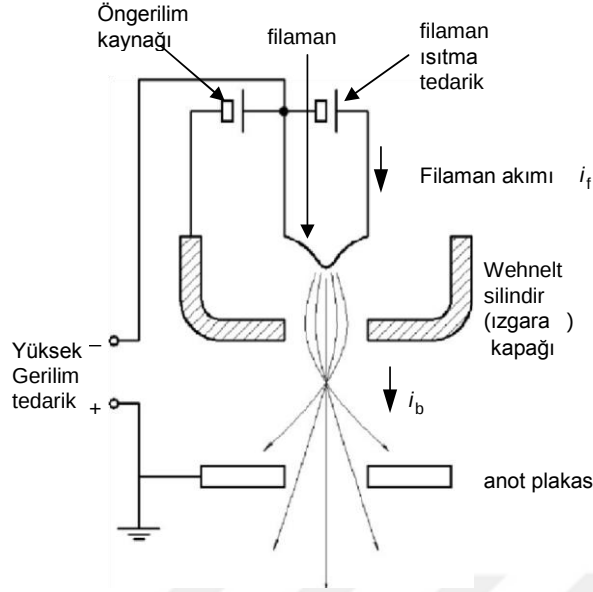
4.2.1.1. Tungsten Elektron Tabancaları

Tungsten elektron tabancaları 70 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır ve güvenilirlikleri ve düşük maliyetleri, özellikle düşük büyütme görüntüleme ve x-ışını mikroanalizleri olmak üzere birçok uygulamada kullanımlarını teşvik etmektedir. En yaygın olarak kullanılan elektron tabancası üç parçadan oluşur: Şekil 4.9.'da gibi V-şekilli bir firkete tungsten filaman (katot) bir Wehnelt silindiri ve bir anot gösterilmektedir. Tungsten filamanın çapı yaklaşık 100 µm'dir. V şeklindeki filaman elektronların filaman ucunun yüzeyinden kaçabilmesi için bir filaman akımı uygulanarak 2,800 K'den daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılır.



Şekil 4.9. Bir taramalı elektron mikroskobunun şematik diyagramı

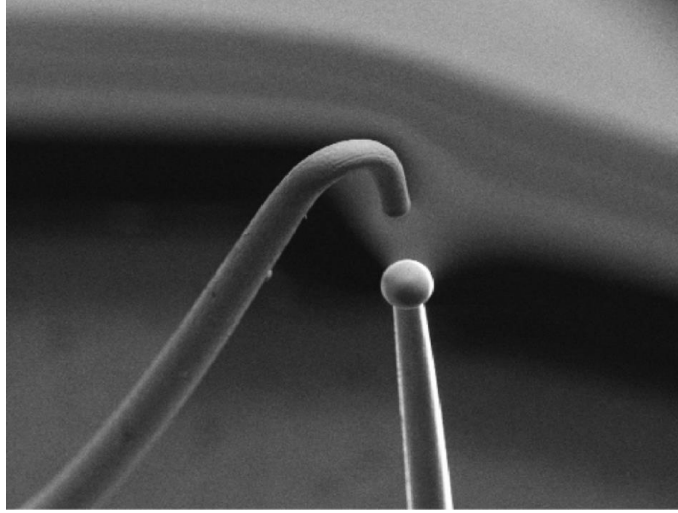
Tungsten ve Wehnelt silindirine 0,1–30 kV aralığında değişen negatif bir potansiyel yüksek voltaj kaynağı ile uygulanır. Anot topraklandığında filaman ile anot plakası arasındaki elektrik alanı elektronları çeker ve anoda doğru hızlandırır. İçinde termiyonik emisyon elektronlar filament ucundan geniş bir şekilde yayılmış yörüngelere sahiptir. Wehnelt silindiri ile filaman arasındaki "öngerilim" olarak adlandırılan hafif negatif bir potansiyel Wehnelt silindirinin açıklığının yakınında dik bir şekilde eğimli eş potansiyeller sağlar ve bu da elektron ışınının kaba bir şekilde odaklanmasını sağlar. Wehnelt silindirinin elektron ışını üzerindeki odaklama etkisi Şekil 4.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Termiyonik tungsten elektron tabancasının şeması (Wehnelt silindirinin negatif eğiliminin elektron yörüngesi üzerindeki etkisi gösterilmiştir)

Filaman akımı ile elektron emisyonu artar. En etkili elektron emisyonuna sahip olduğumuz (yani en yüksek elektron emisyonu en az miktarda akımla elde edilir) filaman akımının bir "doyma noktası" vardır. Doygunlukta elektronlar sadece filamanın ucundan yayılır ve negatif hızlandırıcı voltaj tarafından sıkı bir demet halinde odaklanır. Filaman akımı daha da artarsa elektron emisyonu yalnızca biraz artar (Şekil 4.10.).

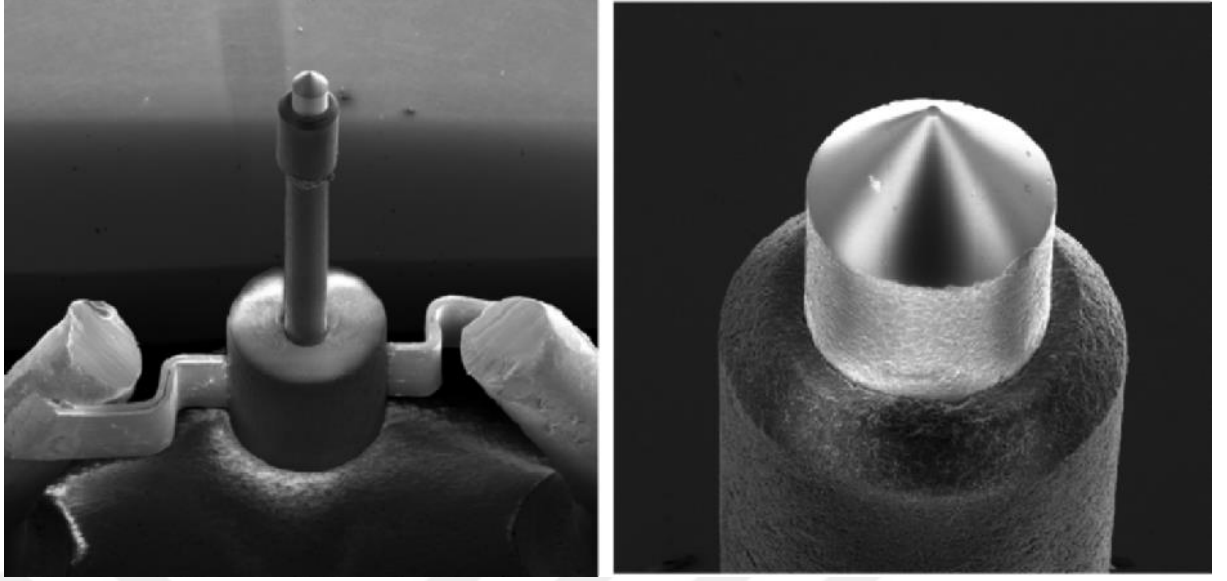
Huzme akımında doyma ile ilişkili olmayan bir tepe noktası ("yanlış tepe noktası" olarak bilinir) olduğunu ve bu karakterin enstrümandan enstrümana hatta filamandan diğerine farklılık gösterdiğini belirtmekte fayda var. Bu yanlış zirve bazen doyma noktasından bile daha büyüktür. Pratik kullanımı çok az olduğundan nedeni açıklanamamıştır ancak varlığı filaman ısıtması sırasındaki tabanca geometrilerinin ve tabanca çaprazının elektrostatik olarak oluşturulmasının bir sonucu olabilir. Filamentin yanlış pikte çalışacak şekilde ayarlanması son derece uzun filament ömrü ile sonuçlanacak ancak aynı zamanda ışının stabilitesini de bozacaktır. Doyma akımından daha yüksek akımla filamanın aşırı ısınması filaman ömrünü önemli ölçüde azaltacaktır. Yanmış filaman Şekil 4.11.'de gösterilmiştir. Aşırı ısınma nedeniyle kırılan filamanın küresel erimiş ucu açıktır. Filament ömrü tabancanın vakum durumu ve temizliğinden de etkilenir.



Şekil 4.11. Aşırı ısınma nedeniyle "patlamış" bir tungsten filamanın SEM görüntüsü olup kırık filamanda küresel erimiş uç açıktır

4.2.1.2. Lantan Hexaboride Tabancası

Tungsten filament için bir alternatif LaB_6 filamentidir. Bu malzeme tungstenden (4,5 eV) daha düşük bir iş fonksiyonuna (2,4 eV) sahiptir. Bu, LaB_6 'nın aynı ısıtma sıcaklığında daha güçlü elektron emisyonu sağlayabileceği anlamına gelir. Bu nedenle LaB_6 elektron tabancaları geleneksel tungsten tabancalarına kıyasla 5 ila 10 kat daha fazla parlaklık ve daha uzun ömür sağlar. Şekil 4.12.a. 100–200 μm çapında ve 0,5 mm uzunluğunda bir LaB_6 tek kristalinin yayıcısını gösterir. Kristal LaB_6 ile kimyasal olarak reaksiyona girmeyen ve aynı zamanda elektronları yayabilmesi için kristalin sıcaklığını yükseltmek için dirençli ısıtıcı görevi gören bir grafit veya renyum desteği üzerine monte edilmiştir. LaB_6 elektron tabancalarının kullanımının çeşitli avantajları vardır. Etkili emisyon alanı elektron ışınının spot boyutunu azaltan geleneksel tungsten elektron tabancalarından çok daha küçüktür. Ek olarak LaB_6 elektron tabancaları tarafından üretilen elektron ışını daha küçük bir enerji yayılımına sahip olup bu da daha küçük bir renk sapması ve SEM görüntülerinin daha yüksek çözünürlüğü anlamına gelir.



Şekil 4.12. (a) LaB₆ elektron tabancasının SEM görüntüsü ve **(b)** daha yüksek bir büyütme görüntüsü, küçük kirlenme noktaları kolayca belirlenebilir

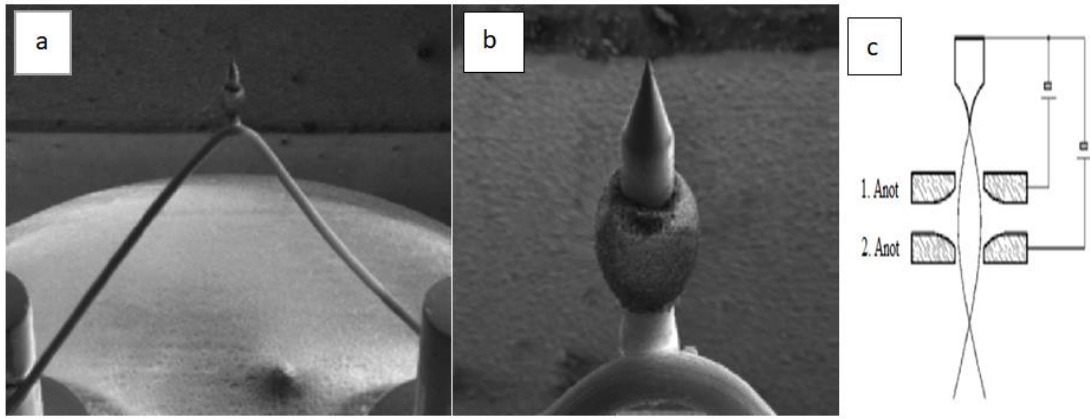
LaB₆ elektron kaynağı geleneksel SEM’lerde doğrudan tungsten elektron tabancalarının yerini alabilir. Bununla birlikte, LaB₆ yüksek sıcaklıklarda kolayca oksitlenir ve geleneksel elektron mikroskoplarının tabanca haznesindeki vakum LaB₆ katodunun kirlenmesini önleyecek kadar yüksek değildir. Bu tabancaların ömrünü önemli ölçüde azaltır. Şekil 4.12.b. kullanılmış bir LaB₆ kristalinin ayrıntılarını göstermekte ve yüzeyinde birkaç kontaminasyon noktası kolayca tanımlanabilmektedir. Bu durumdan kaçınmak için odacıklı elektron tabancasının vakumu 10–8 Torr’dan daha iyi olmalıdır. Genel olarak tabanca bölgesinin diferansiyel pompalamasına ihtiyaç duyulur.

4.2.1.3. Alan Emisyonlu Tabancalar

Termiyonik kaynaklar elektronların katottan kaçabilmesi için metalin iş fonksiyonunun üstesinden gelmek için yüksek bir sıcaklığa bağlıdır. Ucuz olmalarına ve vakum gereksiniminin nispeten düşük olmasına rağmen kısa ömür, düşük parlaklık ve büyük enerji yayılımı gibi dezavantajlar uygulamalarını kısıtlar.

Modern elektron mikroskopları için alan emisyonlu elektron tabancaları (FEG) termiyonik elektron tabancalarına iyi bir alternatiftir. FEG’de elektron kaynağı olarak genellikle elektrolitik dağlama ile hazırlanan çok keskin uçlu tek kristal tungsten tel kullanılır. Şekil 4.13.a. ve b. tipik bir alan emisyon ucunun bir mikrografını ve FEG’in

şematik yapısını göstermektedir. Bu sistemde ince yönlendirilmiş uçta güçlü bir elektrik alanı oluşur ve elektronlar filaman ısıtmasıyla kaynatılmak yerine anotlara doğru çekilir. Şekil 4.13.c.'de gösterilen alan emisyon sisteminde iki anot kullanılır. Uç ile birinci anot arasında birkaç kilovolt olan V_1 gerilimi uçtan elektronları çıkarmak için kullanılır ve V_0 hızlanan gerilimdir. SEM sistemlerinde kullanılan üç tip FEG vardır. Biri soğuk alan emisyonu (CFE) kaynaklarıdır. "Soğuk alan" elektron kaynaklarının oda sıcaklığında çalıştığı anlamına gelir. CFE'den elektron emisyonu tamamen anotlar ve katot arasında uygulanan elektrik alana bağlıdır.



Şekil 4.13. (a) Aşırı keskin uçlu alan emisyon kaynağı; **(b)** daha yüksek büyütmeli bir görüntü **(c)** tipik bir alan emisyonlu elektron kaynağının şematik diyagramı

Yayılan elektron demetlerinin akımı çok küçük olmasına rağmen küçük elektron demeti çapı ve emisyon alanı nedeniyle yine de yüksek bir parlaklık elde edilebilir. Uçta emilen gazı temizlemek için alan emisyon ucunun birkaç saniye boyunca 2.000 K'den daha yüksek bir sıcaklığa ısıtıldığı "yanıp sönme" olarak bilinen bir işlem gereklidir. İkinci sınıf yüksek sıcaklıkta çalıştırılan termal alan emisyonu (TFE) kaynaklarıdır. Yükseltilmiş sıcaklık gaz moleküllerinin emilimini azaltır ve bozulmuş bir vakum meydana geldiğinde bile elektron ışınının emisyonunu dengeler. Modern SEM sisteminde CFE ve TFE kaynaklarının yanı sıra Schottky emitters (SE) kaynakları da kullanılmaktadır. SE ve CFE kaynaklarının performansları parlaklık, kaynak boyutu ve kullanım ömrü açısından termiyonik kaynaklardan daha üstündür. Ancak SE kaynağı daha yüksek kararlılığı ve daha kolay çalışması nedeniyle CFE kaynağına göre tercih edilir. SE kaynağının yayma alanı CFE kaynağınınkinden yaklaşık 100 kat daha büyük

olduğundan benzer bir enerji yayılımında CFE'den 50 kat daha yüksek emisyon akımı sağlama yeteneğine sahiptir.

Ayrıca daha büyük bir emisyon kaynağı boyutu titreşime duyarlılığı azaltır. Termiyonik kaynaklarla karşılaştırıldığında CFE, tipik olarak tipik bir tungsten kaynağından 100 kat daha fazla gelişmiş elektron parlaklığı sağlar. Aynı zamanda renk sapmasını önemli ölçüde azaltan 0,3 eV'lik çok düşük elektron enerji yayılımına sahiptir ve SEM görüntüsü için çok daha yüksek çözünürlük sağlayan 2 nm'den daha küçük bir prob oluşturabilir. Bununla birlikte alan yayıcılar elektron emisyonunu stabilize etmek ve kirlenmeyi önlemek için ultra yüksek vakum altında (10^{-9} Torr'dan daha iyi) çalışmalıdır.

4.2.2. Elektron Mercekleri

Elektron ışınları elektrostatik veya manyetik alanla odaklanabilir. Ancak manyetik alan tarafından kontrol edilen elektron ışını daha küçük sapmaya sahiptir bu nedenle SEM sisteminde sadece manyetik alan kullanılır. Manyetik alan oluşturmak için "elektromıknatıslar" olarak bilinen tel bobinler kullanılır ve elektronların yörüngeleri bu bobinlere uygulanan akımla ayarlanabilir. Elektron ışınını odaklamak için manyetik alanı kullansa bile elektromanyetik mercekler sapmalar açısından cam merceklerle karşılaştırıldığında yine de yetersiz çalışır. Elektron mercekleri elektron ışını çapını büyötmek veya küçöltmek için kullanılabilir çünkü güçleri değışkendir ve bu da değışken bir odak uzaklığı ile sonuçlanır. SEM emisyon kaynağının "görüntüsünü" küçöltmek için her zaman elektron merceklerini kullanır böylece numunenin yüzeyinde dar bir prob oluşturulabilir.

4.3. Görüntü Oluşumu

Karmaşık etkileşimler bir SEM'deki elektron ışını numune yüzeyine çarptığında ve SEM gözlemi için çeşitli sinyalleri harekete geçirdiğinde meydana gelir. İkincil elektronlar, BSE'ler, iletilen elektronlar veya numune akımının tümü toplanabilir ve görüntölenebilir. Bileşimi hakkında bilgi toplamak için numune uyarılmış x-ışını veya Auger elektronları analiz edilir. Bu bölümde elektron demetinin numune yüzeyi ile etkileşimleri ve farklı sinyallerle görüntü oluşturma prensibi kısaca anlatılacaktır.

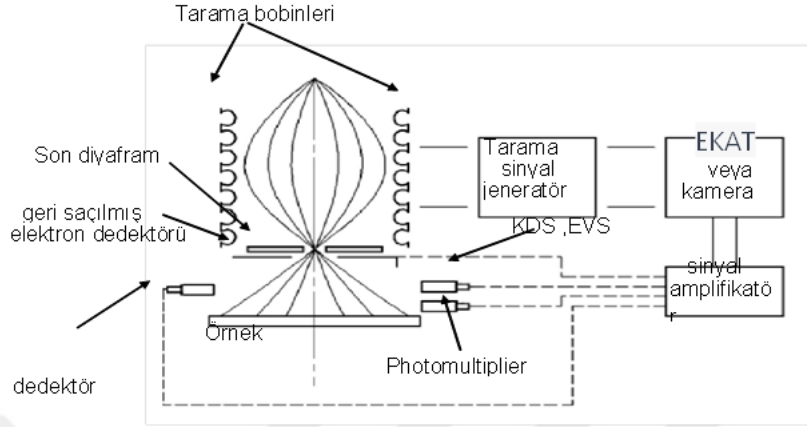
4.3.1. Sinyal Üretimi

Elektron demetinin bir numune ile etkileşimi numune yüzeyinin altındaki bir uyarma hacmi içinde gerçekleşir. Etkileşim hacminin derinliği katı numunenin bileşimine, gelen elektron demetinin enerjisine ve geliş açısına bağlıdır. İki tür saçılma işlemi elastik ve elastik olmayan süreç olarak kabul edilir. Elektronlar elastik bir etkileşimden sonra tüm enerjilerini korurlar ve elastik saçılma numune yüzeyine geri döndüklerinde ve vakuma kaçtıklarında BSE'lerin üretilmesine neden olur. Öte yandan elektronlar elastik olmayan saçılma sürecinde enerji kaybederler ve numune kafesindeki elektronları uyarırlar. Genellikle 50 eV'den daha az enerjiye sahip olan bu düşük enerjili elektronlar boşluğa kaçtıklarında "ikincil elektronlar" olarak adlandırılırlar. İkincil elektronlar etkileşim hacmi boyunca uyarılabilir; ancak yalnızca numune yüzeyine yakın olanlar düşük enerjileri için vakuma kaçabilir ve çoğu numune atomları tarafından emilir. Buna karşılık BSE'ler numune yüzeyinin altında daha büyük derinliklerden gelebilir. İkincil elektronlara ve BSE'lere ek olarak elektron demetinin numune ile etkileşimi sırasında x-ışınları uyarılır. Auger elektronları, katodoluminesans, iletilen elektronlar ve numune akımı gibi görüntüleri oluşturmak veya numunenin özelliklerini analiz etmek için kullanılabilecek çeşitli sinyaller de vardır.

4.3.2. Bobinleri Tarama

Elektron ışını numune yüzeyindeki bir araştırma noktasına odaklanır ve SEM gözlemi için farklı sinyalleri harekete geçirir. Bu sinyallerin büyüklüğünü uygun dedektörlerle kaydederek örneğin topografya ve bileşim gibi numune özellikleri hakkında bilgi edinebiliriz. Ancak bu bilgi elektron ışınının uyardığı tek bir noktadan gelir. Bir görüntü oluşturmak için prob noktasının bir tarama sistemi tarafından bir yerden bir yere taşınması gerekir. SEM'deki tipik bir görüntü oluşturma sistemi Şekil 4.14.'te gösterilmektedir. Tarama bobinleri x veya y eksenini boyunca numune yüzeyinde tarama yapabilmesi için elektron ışını saptırmak için kullanılır. Farklı sinyalleri algılamak için birkaç dedektör kullanılır: BSE'ler için katı hal BSE dedektörleri; ikincil ve BSE'ler için ET dedektörü; karakteristik x-ışınları için enerji dağılımlı x-ışını spektrometresi ve dalga boyu dağılımlı x-ışını spektrometresi; ve katodoluminesans için foto çoğaltıcılar. Algılanan sinyal ayrıca işlenir ve CRT ekranı veya kameraya yansıtılır. CRT veya kameranın tarama işlemi

tarama sinyali üretici tarafından elektron ışını ile senkronize edilir ve böylece tarama alanı için noktadan noktaya bir görüntü üretilir.



Şekil 4.14. Tipik bir taramalı elektron mikroskopunda görüntü oluşturma sistemi.

4.3.3. İkincil Elektron Dedektörleri

Bir SEM oluşturma sisteminin asıl amacı ikincil elektron görüntülerini toplamaktır. İkincil elektronlar düşük enerjiye sahip olduklarından yalnızca elektron ışını altındaki numune yüzeyinden gelebilirler ve bu nedenle numunenin topografyası ve kimyası hakkında zengin çeşitlilikte bilgiler sağlamaları beklenir. Bununla birlikte gelen ışının taranmasına izin verecek kadar yüksek hızda düşük enerjili elektronların küçük bir akımını algılayabilen ve kendine önemli bir gürültü eklemeyen çalışan bir toplama sistemi geliştirmek kolay bir iş değildir. Elektron çarpanında numuneden gelen ikincil elektronlar, daha sonra daha fazla sinyal çoğalmasının meydana geldiği ikinci bir katoda hızlandırılan ek ikincil elektronlar ürettikleri bir katoda hızlandırılmaktadır. Bu işlemi 10 veya 20 kez tekrarlayarak gelen sinyal görüntülenecek görüntüyü oluşturmak için kullanılacak kadar büyük bir seviyeye yükseltilmektedir.

Elektron çoğaltıcı prensipte yeterince hassas olmasına rağmen katot düzeneklerinin pompa yağına, su buharına ve diğer kirletici maddelere maruz kalması gerçeğinden zarar görmekte ve sonuç olarak her yeni numune yerleştirildikten sonra çoğaltıcı temizlenmedikçe hassasiyet hızla azalmaktadır. Bu sorun SEM’de Everhart ve Thornley tarafından çözüme kavuşmuştur. Çözüm olarak cihazlarında üç bileşen kullanmışlardır: elektron sinyalini ışığa dönüştüren bir sintilatör; ışığı aktarmak için bir ışık borusu ve ışık

sinyalini tekrar bir elektron sinyaline dönüştüren bir PMT. Sintilatör tarafından üretilen ışık miktarı hem sintilatör malzemesine hem de ona çarpan elektronların enerjisine bağlı olduğundan, sintilatöre tipik olarak 10 kV'luk bir öngerilim uygulanır ki böylece her elektron önemli bir ışık parlaması oluşturmak için yeterli enerjiyle çarpar.

Bu daha sonra genellikle kuvars veya Perspex'ten yapılan ışık borusu boyunca PMT'ye doğru iletilir. Bir ışık borusunun kullanılması PMT'yi numuneden ve aşamadan güvenli bir şekilde uzak tutmaya devam ederken sintilatörün SE sinyalinin toplamada en etkili olabileceği yere konumlandırılmasını mümkün kılar. Genellikle ışık borusu ışığı numune odasının vakum duvarındaki bir pencereye iletir ve PMT'nin kolonun ve vakumun dışına yerleştirilmesine izin verir. SE'nin önce ışığa ve sonra tekrar elektron sinyaline dönüştürülmesi bir elektron çoğaltıcı biçimi olan PMT'nin özel özelliklerinin kullanılmasını mümkün kılar ancak tamamen kapalıdır ve bu nedenle dış kirletici maddelerden etkilenmez. PMT'nin yüksek amplifikasyon faktörü çok geniş bir yoğunluk aralığını kapsayan sinyali işlemesine izin veren logaritmik bir yanıtı vardır, düşük gürültüdür, sinyal seviyesindeki değişikliklere hızla yanıt verir ve fiyatı düşüktür. Bu genel düzenleme yalnızca yüksek verimlilik ve hız sunmakla kalmaz aynı zamanda uygulanmasında esnektir, yapımı ucuzdur ve en yüksek performansı sürdürmek için çok az rutin dikkat gerektirir.

Yatay bir numuneden ikincil emisyon yüzey normali etrafında izotropiktir ve maksimum yoğunluk yüzeye normal olarak yayılır. Deneysel ölçümler ET dedektörünün bu biçiminin tipik olarak mevcut SE sinyalinin yaklaşık %15-30'unu topladığını göstermektedir. Bu nispeten zayıf performans olup SE'nin birçoğunun merceğin deliğinden kaçması ve sütunda geri gitmesi gerçeğinin sonucudur ve ayrıca dedektörün asimetric konumlandırılması, yayılan SE dağılımının yalnızca yarısından dedektöre doğru bir hız bileşeni ile toplamayı desteklediği içindir.

Genel olarak bu performans ikincil elektron görüntülerinin yorumlanma şeklinden dolayı oldukça tatmin edicidir. Asimetric bir dedektör geometrisi dedektörün göreceli konumuna bağlı olarak topografyanın (örn. kenarlar, köşeler, basamaklar ve yüzey pürüzlülüğü) gölgelendiği veya vurgulandığı bir görüntüyle sonuçlanır. Bu tür görüntü kontrastının yorumlanması sezgisel olarak kolay ve güvenilirdir ve estetik açıdan hoş giden mikrograflar üretir.

Tipik olarak dedektöre giden sinyalin en az yarısı doğrudan geri saçılmalardan veya numune alanında saçılma ile üretilen SE formundadır. Sonuç olarak numuneden alınan SE içeriğinin fraksiyonu seyreltilir, sinyal-gürültü oranı bozulur ve kontrast olarak görüntü detayı azalır. Birçok amaç için dedektörün yeterince büyük bir sinyal üretmesi yeterli olsa da birçok ileri teknik için görüntüye yalnızca belirli elektron sınıflarının katkıda bulunması esastır ve bu durumlarda bu ilk SE tipi optimum olmaktan uzaktır.

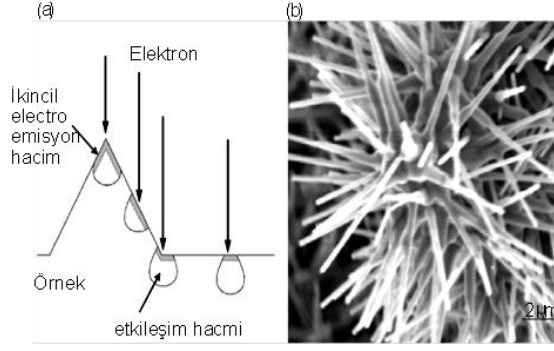
4.4. Numune Bileşimi

İkincil elektronların emisyonu numune atomlarının elektron yoğunluğuna bağlı olduğundan numunenin atom numarası arttıkça ikincil elektronların sayısı da artar. BSE'lerin üretimi numunenin atom numarası ile de artar. Bu nedenle ikincil elektron sinyalinin ve BSE sinyalinin kontrastı numune bileşimi hakkında bilgi verebilir.

Bununla birlikte BSE sinyali numunenin kompozisyon varyasyonu ile ilgili olarak daha iyi kontrast üretir.

4.4.1. Numune Topografisi

İkincil elektron tespit modunda tespit edilen elektronların sayısı numune yüzeyinin topografyasından etkilenir. Topografyanın görüntü kontrastı üzerindeki etkisi detektörün, numunenin ve gelen elektron demetinin göreceli konumunun sonucudur. Şekil 4.15.'te elektron ışını ve detektörün etkileşim hacminin bir yüzey adasının aynı veya farklı taraflarında olduğu basit bir durum gösterilmektedir. Şekil 4.15.a. farklı yüzey topografyasına göre ikincil elektronların etkili emisyon bölgesini göstermektedir. Şekil 4.15.b. ZnO nanoiğne demetlerinin ikincil elektron mikrografıdır. Gelişmiş emisyon nanoiğnelerin uçlarında belirgindir. Elektron ışınının numune yüzeyine geliş açısını değiştirecek olan numunenin eğilmesi uyarılmış bölgeyi değiştirecek ve ayrıca ikincil elektronların etkili emisyon bölgesini değiştirecektir. Genel olarak büyük bir eğim açısı ikincil elektronların gelişmiş emisyonuna katkıda bulunacaktır. Eğik numunenin emisyon artışı eğimli bir yüzeyin elektron ışınının numune yüzeyine eğik olarak çarpmasına neden olduğu ve etkili ikincil elektron emisyon alanını genişlettiği Şekil 4.15.a. ile kolayca anlaşılabilir.



Şekil 4.15. Keskin uçlarda geliştirilmiş emisyon (a) Bir zirvenin ucundaki emisyon artışının şeması (b) ZnO nanoiğnelerin SEM görüntüsü (iğnelerin uçlarında emisyon artırılır)

4.4.2. Numune Büyütme

Büyütme CRT görüntüsünün tarama uzunluğunun numune üzerindeki ilgili tarama çizgisine oranıyla verilir. Tarama bobinleri tarafından kontrol edilen tarama alanının boyutunun değişmesi büyütmenin değişmesine neden olacaktır. Elektron ışını üzerindeki WD ve hızlanan voltaj da tarama alanını etkileyecektir. Bununla birlikte birçok elektron mikroskobu için, yalnızca tarama sinyali büyütme göstergesiyle ilgilidir. Bu nedenle doğru büyütme gerekiyorsa ek kalibrasyon gerekir.

4.5. Vakum sistemi

Elektron ışını üzerindeki saçılmayı ve elektron tabancalarının ve diğer bileşenlerin kirlenmesini önlemek için SEM'ler için ultra yüksek vakum sistemi vazgeçilmezdir. SEM için gerekli vakumu elde etmek için birden fazla tipte vakum pompası kullanılır. Genel olarak odayı atmosferik basınçtan aşağı pompalamak için bir mekanik pompa ve bir difüzyon pompası kullanılır.

4.5.1. Mekanik Pompalar

Mekanik pompalar motor tahrikli bir rotordan oluşur. Dönen rotor büyük hacimli gazı küçük hacme sıkıştırır ve böylece gaz basıncını artırır. Sıkıştırılmış gazın basıncı yeterince büyükse tek yönlü bir valf ile atmosfere atılabilir. Haznenin basıncı arttıkça vakum pompasının verimliliği hızla düşer ancak 5×10^{-5} Torr'dan daha iyi bir vakum

elde edebilir. Uzun pompalama sürelerinden kaçınarak 1×10^{-2} Torr'dan daha düşük basınçlar için pompalama oranını artırmak için difüzyon pompaları kullanılır.

4.5.2. Difüzyon Pompaları

Buharlaşan yağ pompanın üstünden altına dolaşır. Pompanın tepesindeki gaz buharlaşan yağ boyunca aşağıya taşınır ve mekanik pompa ile boşaltılır. Isıtıcı ve soğutucular yağ dairesel olarak kullanılabilmesi için buharlaştırmak ve soğutmak için kullanılır. Difüzyon pompası hızla 5×10^{-5} Torr'a ulaşabilir ancak 1×10^{-2} Torr'dan büyük basınçta çalışamaz. Mekanik veya "destek" pompa hazneyi difüzyon pompasının çalışmaya başlayabileceği basınca kadar pompalamak için kullanılır.

4.5.3. İyon Pompaları

İyon pompaları özellikle LaB⁶ tabancaları (10^{-6} – 10^{-7} Torr) ve alan emisyon tabancaları (10^{-9} – 10^{-10} Torr) için elektron tabancalarının çalışabileceği vakum seviyesini elde etmek için kullanılır. Elektron tabancası odasında püskürtme ile çok reaktif metalin yeni bir yüzeyi üretilir. Hava molekülleri metal yüzey tarafından emilir ve kararlı bir katı oluşturmak için metal ile reaksiyona girer. Bir iyon pompasıyla 10^{-11} Torr'dan daha iyi bir vakum elde edilebilir.

4.5.4. Turbo Pompalar

Turbo pompanın temel mekanizması, dönen kanatların hareketiyle gaz moleküllerini belirli bir yöne itmesidir. Kanatlar döndükçe molekülleri hazne tarafından destek pompası tarafına iterler ve son olarak ön pompa sistemine giderler. Bir yandan, eğer moleküller destek pompası tarafından hazne tarafına geldiyse destek pompası tarafına itilecektir. Bu şekilde tercih edilen bir gaz akış yönü oluşturulur ve kanat diski boyunca bir basınç farkı korunur.

4.6. SEM Quanta 450 FEG Cihazı

Geleneksel mikroskoplarda örnekler metalik boya ile kaplanır ve bu işlem demetin yüzeyindeki incident yük tarafından bir araya getirilir. Bu durum örneği inceleme sürecini

zorlaştırır. Bu işlem örneklerin yüzeylerini iletkenhale getirmek için uygulanır. Quanta 3D mikroskobu suyun iyonlaştırılmış parçacıklarını içeren buharın miktarıyla düşük vakum işlemi yapma özelliğine sahiptir. Örneklerin yüzeyleri elektron demeti tarafından taranabilir ve algılanabilir bölgelere dönüştürülür. Böylece içerisinde sıvı bulunan biyolojik örnekleri inceleme sürecini kolaylaştırır. Bu işleme "işletim ortamı" denir.

Cihaz kristal yapıyı karakterize etmek yönlendirmeleri haritalamak ve kristal ve doku yapısını düz veya taneli olup olmadığına dair detayları vermek amacıyla örneğin nokta nokta difraksiyonunu ölçer. Quanta 3D mikroskopunun bir de iletim işletim modu (STEM modu) vardır. Örnek ince ise STEM dedektörü tarafından parlak ve karanlık alan görüntüleri toplanır. Bu modun (ideal koşullar altında) kazanabileceği en son çözünürlük 0.9 nm'dir.

İki demet mikroskobunun ikinci demeti, 30 kV'ye kadar olan bir güce sahip odaklanmış bir gallium iyon demetidir (FIB). Demet odak ve hızlanma bakımından bir elektron demeti gibidir. İyon demeti örneğin yüzeyini yok edebilir bu nedenle örnek yüzeyi etkili bir şekilde işlenebilir. İyon demeti varlığı, mikroskopun yeteneklerini iki katına çıkarır.

Quanta 3D FEG mikroskop cihazlarında alan emisyon tabancası (elektron kaynağı) de ısınır ki bu kaynağa Schottky kaynağı denir. Filament malzemeleri katot malzemesinin performans fonksiyonunu azaltmak amacıyla zirkonyum oksit (ZrO_2) ile kaplanmış tungsten içerir. Katodun elektronları, tarama elektron mikroskoplarında en büyük elektron gücünün yaklaşık 30 kV olduğu bir elektrik alanı tarafından hızlandırılır ve daha düşük enerji aralıklarına ulaşabilir. Hızlandıktan sonra elektronlar manyetik değişken odak uzunluğu lensleri tarafından odaklanır ve akımı değiştirerek ışın noktası boyutu çeşitlendirilir.

En düşük ışın noktası çapı yaklaşık 1 nm'dir. Işın örneklerin yüzeyini (nokta nokta ve satır satır) taramıştır. Örnek yüzeyinin üzerinde bulunan detektörler tüm SE (tarama elektronları), BSE (geri saçılan elektronlar) ve X-ışını fotonlarını toplar. Normal SEM sadece SE detektörüne sahipken laboratuvarımızda kullandığımız SEM bu üç bölümü de içerir.

Örnek hazırlığı gerektirmeyen bir teknoloji olmasının yanı sıra bu cihazın bir diğer avantajı da yüksek vakum modu, düşük vakum modu ve ESEM modu olmak üzere üç görüntüleme moduna sahip olmasıdır. Ayrıca metal, iletken olmayanlar, cilalanmış kesitler veya hatta yumuşak malzemeler olsun çeşitli şekillerdeki örnekler incelenebilir. Driftleri telafi etmek için cihazda Mart Scantm kullanılarak gürültü minimuma indirilmiştir (DCFI). Daha iyi kontrast ve netlik için histeresis paketi seçeneği eklenmiş hassas tespit seçenekleri düşük-kV performansını artırmak için hassas bir DBS filtresi ve sütun içi detektör hassasiyeti sunmuştur. Şekil 4.16. laboratuvardaki Quanta 450 SEM'i göstermektedir.

Temel Bilimler Araştırma Laboratuvarında kullandığımız Alan emisyonlu FEI Quanta FEG 450 yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu, numune hazırlamaya gerek kalmadan iletken numuneler, iletken olmayan ve ayrıca nanopartikül çözeltileri üzerinde doğal hallerinde SEM ve STEM görüntüleri elde etme imkanı sunmaktadır. 30kV'de ikincil elektronlarla minimum görüntüleme çözünürlüğü: Yüksek vakum çalışma modunda 1 nm veya daha iyi, düşük vakumlu çalışma modunda ise 5 nm veya daha iyi sonuçlar vermektedir. -20 C ile +60 C arasında hassas sıcaklık kontrolü sağlanabilmektedir. Açığı veya enerjik saçılma sinyalini vurgulamak için sahte renklerde bir görüntü elde etmek amacıyla 2 veya 3 bağımsız dedektörden elde edilen görüntülerden renk karışımı alınabilmektedir. Ayrıca tarama süresini azaltmak için farklı kaynaklardan (dedektörler veya aynı dedektörün bölümleri) 4 görüntünün tek bir taramadan eşzamanlı olarak görüntüsü alınabilmektedir. FEI Quanta FEG 450 SEM'de:



Şekil 4.16. Quanta 450 taramalı elektron spektrometresi (SEM) FEI Quanta FEG 450 SEM’de:

1. İkincil elektronların (SE) sinyal tespiti için Everhart-Thornley konvansiyonel dedektörü (SED), polarizasyona bağlı olarak SE ve BSE olmak üzere iki modda çalışabilmektedir.
2. Gazlı ortamda ise geniş görüş alanına sahip ikincil elektron dedektörü, Geniş Alan Dedektörü Dedektörü-Gazlı İkincil Elektronların (LF-GSED) vakumda, hem yüksek hem de düşük voltajda görüntülenmesi yapılabilmektedir.
3. Ultra düşük vakumda (ESEM) ve gazlı ortamda ise ikincil elektron görüntüleme için optimize edilmiş Gazlı İkincil Elektron Dedektörü (GSED)
4. Katı haldeki numunenin geri saçılmış elektronlarını 0° ila 90° arasında farklı açılarda tespit ederek incelenen alanın kompozisyonunu ve topografyasını görüntülemek için Yüksek Vakum ve Düşük Vakumda çalışmak üzere optimize edilmiş Yönlü Geri Saçılımlı Dedektörü (DBS)
5. Sütuna monte edilmiş ikincil elektron dedektörü (SE) ve Sütun İçi Dedektör (ICD), yüksek vakumdaki ışının yavaşlaması sırasında 1,0 nm çözünürlükte sinyali algılama olanağına sahip bir sintilasyon dedektörü
6. TEM (yani kesitsel ışın odaklı iyon) için hazırlanan düşük yoğunluklu numuneler için parlak alanda ve karanlık alanda yüksek çözünürlükte görüntüleme ve kritik boyutların ölçümü için yarı iletkenli STEM dedektörü
7. İnce veya kalın (toplu) numune analizine olanak tanıyan, tamamen hidratlanmış, incelenen numunelerin görüntülenmesi ve analiz edilmesi sırasında hem sıcaklığın hem de basıncın kontrolüne olanak tanıyan Dedektör WetSTEM ve Peltier sıcaklık kontrol cihazı / Aşama Isıtma Kontrol Kiti
8. Silicon Drift teknolojisine (SDD) sahip EDS dedektörü -EDAX Octane Plus
9. Numunenin güvenli bir şekilde görüntülenmesi ve konumlandırılması için IR-CCD kamera kullanılmaktadır.
10. Kolay, sezgisel navigasyon elde etmek amacıyla bir örneği küresel olarak görüntülemek için Nav-Cam 450 adı verilen CCD renkli optik kamera kullanılmaktadır.

4.7. Numune Hazırlama

Kısmen gömülü 20 yaş dişleri ağız ortamına tamamen çıkamamış üzerleri kısmen diş eti ile örtülü 20 yaş dişleridir. Üzerlerini kısmen örten diş eti nedeni ile gıda birikimine ve bakteri plağı oluşumuna uygun bir zemin hazırlayabilmektedirler. Klinik ve radyolojik

muayeneler sonucunda diş çekiminin hangi yöntemlerle yapılacağına diş hekiminin karar vermesi gerekmektedir. Çekilmesi düşünülen 20 yaş dişinin konumu, boyutları ve şekli; normal bir diş çekimi ya da ameliyatla dişin alınmasına karar verilmesini sağlar. 20 yaş dişlerinin çekimi lokal olarak bölgenin uyuşturulması ile gerçekleştirilebileceği gibi hastaya yapılacak işlemin boyutu hastanın genel sağlık durumu veya hastanın diş tedavilerinden korku durumuna göre bilinçli sedasyon ile veya genel anestezi altında bir anestezi doktoru eşliğinde yapılabilmektedir.

Gömülü yirmilik diş çekimi sırasında diş hekimi veya ağız cerrahı, yirmilik dişinizin durumunun karmaşıklığına ve istediğiniz konfor seviyesine bağlı olarak üç tür anesteziden birini kullanabilir. Seçenekler şunlardır:

- **Lokal anestezi:** Diş hekimi veya ağız cerrahı ekstraksiyonların yapılacağı yerlere yakın bir veya birden fazla enjeksiyonla lokal anestezi uygulamaktadır. Enjeksiyondan önce diş hekimi büyük olasılıkla uyuşturmak için diş etlerini de uyuşturucu bir madde uygulayacaktır. Diş çekimi sırasında uyanık olunup biraz baskı ve hareket hissedebilmekte ancak acı hissedilmemektedir.
- **Sedasyon anestezisi:** Diş hekimi veya ağız cerrahı koldaki intravenöz (IV) hattı ile sedasyon anestezisi vermektedir. Sedasyon anestezisi işlem sırasında bilinç baskılanmaktadır. Bunun sonucu olarak prosedür sırasında herhangi bir acı hissedilmemektedir. Ayrıca diş etlerini uyuşturmak için lokal anestezi de alınmalıdır.
- **Genel anestezi:** Özel durumlarda doktorun ameliyatı genel anestezi altında gerçekleştirme seçeneği de sunabilmektedir. Burundan solunacak veya koldaki iv hat aracılığıyla alınan ilaç ile bilinç kaybedilmektedir. Cerrahi ekip ilaçları, nefes alınışını, sıcaklığı, vücut sıvılarındaki değişimi ve kan basıncını bu süreç boyunca yakından izlemektedir. Prosedür boyunca hiç acı hissedilmemektedir.

Bu çalışmada yaşları 20 ile 60 arasında değişen gömülü 20 yaş diş çekimi gerektiren 11 hastaya ait dişler kullanıldı. Tüm dişlerin sağlam yüzeyleri olması, çürük, restorasyon, kırık, noklüzal yüzeyleri, normal görünen mine ile çevrelenen dentin çöküntüleri ile karakterize edilen çukurlaşmış lezyonlar olarak bilinen aşındırıcı lezyonlar göstermeyen dişlerle çalışabilmek için özellikle gömülü 20 yaş dişleri tercih edildi. Tüm numuneler Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş Çene Cerrahisi Anabilim Dalı işbirliği ile toplandı. Çekimlerden sonra tüm dişler gerekli olana kadar %10 formalinde saklandı. Yumuşak doku veya organik maddelerin uzaklaştırılması için oda sıcaklığında 24 saat boyunca destile su içerisinde bekletildi. Bundan sonra numuneler destile suda iyice durulandı tekrar numuneler oda sıcaklığında önceki ve sonraki kütleleri ise Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. 20 yaş gömülü dişlerin maruz bırakıldığı içeceklerde daldımadan önce kütlesi m_1 , daldırdıktan sonra kütlesi m_2 ,dişin uzunluğ ve genişliği .

Numunler	İçecekler	Dişin kütlesi (m)		Dişin uzunluğu	Dişin kalınlığı
		m_1	m_2		
Ts.1	Fanta	2,269	2,0841	1.03	1.95
Ts.2	Kola	1,780	1,6101	1.01	1.95
Ts.3	Limon aormalı gazoz	2,572	2,2989	1.16	1.86
Ts.4	Maltana şevtali ormalı alkolsüz maltic	2,269	1,9475	1.13	2.06
Ts.5	Didi limon aramlı içecek	2,275	2,0378	1.166667	1.78
Ts.6	Cappy portakallı içecek	1,776	1,6130	1.086667	1.98
Ts.7	Coca cola light	2,473	2,2787	1.1	1.91
Ts.8	Akmina C vitamin limon aromalı soda	1,717	1,5196	1.036667	1.98
Ts. 9	Limonata meyve oranı en az %10 limon meyveli içecek	2,103	1,6735	1.133333	1.64
Ts.10	Karışık meyve nektarı (elma,portakal, limon,üzüm, şeftale) meyve oranı en az %50	1,803	1,7654	1.01	1.75
Ts.11	Fesleğen tohumlu Ananas limon Aromalı içecek.	1,827	1,4779	1.03	1.41



Şekil 4.17. Gömülü 20 yaş dişlerin içicекlere daldırıldıktan sonraki fotoğrafları

Test grubu olarak oda sıcaklığında musluk suyu kullanılmıştır. Musluk suyu günlük hayatımızda önemli bir yere sahip olup dişlerimizle sıklıkla temas ettiği için çalışmaya dâhil edildi. Müslüman cemaatinde özellikle abdest alırken, diş fırçalama ve ağız çalkalama sırasında dişlerle temas etmeside çalışmada kullanılması için ayrıca bazı nedenlerdir.

Laboratuvardaki sıcaklığının 21 ± 2 C°'de tutulmasına dikkat edildi. Standart tamponlar olan pH 7,00 ve 4,00 kullanılarak (ölçüm belirsizliği: 0,015 birim, Alla France, Fransa), her deney gününün başında bu tamponlarla kalibrasyon yapıldı. Her içeceğin pH'ı, şişe/paket açıldıktan hemen sonra dijital pH metre (Alla France-pH meter, Fransa) ile 5 kez ölçüldü. Kullanılan içecekler ve ölçülen pH değerleri ile içeceklerin içerikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir. Kullanılan tüm içecekler asidik pH değeri sergilerken Coca-Cola en düşük pH değerine sahipti. İçecekler için ölçülen pH değerleri Coca-Cola'daki gibi çok asidik (2,49) ile Juss-Fesleğenli içecek (3,80) arasında değişiyordu.

Tüm numuneler ayrı ayrı 60 dakika boyunca 50 mL içecek içerisine daldırılmış olup bu işlem iki defa tekrar edilmiştir. İçecekler her maruz kalma periyodundan sonra yenilenmiştir. Diş numuneleri içeceklerden çıkarıldıktan hemen sonra akan su altında 10 saniye yıkanmış ve distile su içeren kaba geri konulmuştur. Tüm diş numuneleri içeceklere maruz bırakılmadan önce diş yüzeyinde belirli bir kesit tespit edildikten sonra SEM görüntüleri çekilmiştir. Bir hafta süresince her gün aynı saatte 11 farklı içeceğe daldırıldıktan sonra yedi günün sonunda kurulanıp tekrar SEM görüntüleri alınarak, bir hafta sonundaki erozyon belirlenmeye çalışılmıştır. Ardından numuneler distile su içerisine konup yeni döngü başlatılıncaya kadar bekletilmiştir. İkinci döngü yine bir hafta süre içerisinde tamamlanıp toplam 15 günlük işlemlerin ardından üçüncü SEM görüntüleri alınmıştır. SEM görüntüleri alınırken numuneler kuruduktan sonra iletken bir yapıştırıcı kullanılarak standart SEM saplamaları üzerine monte edilmiştir. Daha sonra tüm numuneler ikincil elektronlar için bir Everhart-Thornley detektörü ve geri saçılan elektronlar için bir koaksiyel detektör ile donatılmış bir yüksek çözünürlüklü SEM ile gözlemlenmiştir.

Tablo 4.2. Dişlerin daldırıldığı içeceklerin pH değerlerini ve içerikleri

Numunler	pH	İçindekiler
Fanta	3,12	Su, şeker veya fruktoz-glukoz şurubu, karbondioksit, portakal suyu konsantresi (meyve oranı en az %3), asitliği düzenleyiciler (sitrik asit, malik asit, sodyum sitrat), C vitamini, koruyucu (potasyum sorbat), aroma vericiler, tatlandırıcılar (sodyum siklamat, sakkarin).
Kola	2,49	Su, karbondioksit, renklendirici (karamel), asitliği düzenleyiciler (fosforik asit), kafein (maks. 0,150 g/l).
Sprite- Limon aromalı gazoz	2,89	Su, şeker veya fruktoz-glukoz şurubu, karbondioksit, asitliği düzenleyiciler (sitrik asit, sodyum sitrat), tatlandırıcılar (asesülfam K, aspartam), koruyucu (sodyum benzoat), doğal limon aroma vericileri.
Maltana- şeftali aromalı alkolsüz malt içecek	2,78	Su, şeker, arpa malti ekstraktı (%2), aroma verici (şeftali, doğal malt), asitlik düzenleyici (sitrik asit), karbondikat, antioksidan (askorbik asit).
Didi- soğuk çay	3,37	Su, şeker, asitlik düzenleyiciler (sitrik asit, trisodyum sitrat), siyah çay ekstraktı (%0,24), aroma verici (limon), antioksidan (askorbik asit).
Cappy- portakallı içecek	3,46	Su, şeker veya fruktoz-glukoz şurubu, portakal pulpu (%5), portakal suyu konsantresi, asitliği düzenleyiciler (sitrik asit, sodyum sitrat), kıvam arttırıcılar (akasya gamı, ağaç reçinesinin gliserol esterleri), aroma vericiler, antioksidan (askorbik asit), renklendirici (beta karoten).
Coca cola light	2,73	Su, karbondioksit, renklendirici (karamel), asitliği düzenleyiciler (fosforik asit, sitrik asit), doğal aroma vericiler, tatlandırıcılar (aspartam, asesülfam K), koruyucu (sodyum benzoat), kafein (maks. 0,150 g/l).
Akmina- C vitamin limon aromalı soda	3,28	Pancar şekeri, karbondioksit (CO ₂), asitlik düzenleyici (sitrik asit), limon aroma vericisi, C vitamini, tatlandırıcılar (asesülfam K sukraloz), koruyucu (potasyum sorbat), stabilizör (gam arabik, ağaç reçinesinin gliserol esterleri), renklendirici.

Limonata- meyve oranı en az %10 limon meyveli içecek	2,97	Su, şeker, limon suyu konsantresi (%10,6), aroma vericiler, stabilizer (gam aroberleri), antiokidon (askorbik asit), aspiri çiçeği konsantresi.
Cappy- Karışık meyve nektarı (elma, portakal, limon, üzüm, şeftali) meyve oranı en az %50	3,19	Elma, portakal, limon, üzüm, şeftali, su, şeker veya fruktoz-glukoz şurubu, aroma vericiler, asitliği düzenleyici (sitrik asit), A vitamini.
Juss- Fesleğen tohumlu ananas limon aromalı içecek.	3,80	Su, şeker, fesleğen tohum%7, asitik düzenleyiciler (malik asit, tri sodyum sitrat), kıvam arttırıcılar (ksantan gam, keçi boynuzu gamı), aroma vericiler, renklendiriciler.

Tüm mikrograflar, 1424 x 968 piksel, 8bpp TIFF dosyaları olarak doğrudan dijital biçimde elde edilmiştir. 20 kV hızlanma voltajında 500, 1000 ve 5000 arasında değişen bir büyütmede her lezyon için kusurun konumu ve şekli ile mine, dentin, dentin tübülleri ve pulpanın mikro aşınma özellikleri analiz edilmiştir. Her lezyon için kusurun konumu ve şekli ile mine, dentin, dentin tübülleri ve pulpanın mikro aşınma özellikleri analiz edilmiştir.

Her numunenin eğim açısı en iyi görsel sonuçları elde edecek şekilde değiştirilmiştir. Tüm numune bileşenlerinden gelen karakteristik X-ışınlarının enerjisi ve yoğunluğu, yazılım programı kullanılarak bolluğa (%At) dönüştürülmüş ve her numunedeki kalsiyum ve fosfor değerleri belirlenmiştir. Yani SEM-EDAX spektroskopisi ile kalsiyum ve fosfor kaybı belirlenmeye çalışılmıştır.

4.8. Etik Beyanı

20 yaş gömülü diş örnekleri Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anbilidalı'ndan toplandı. Tüm hastalara örnek toplama işlemleri anlatıldı. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik İnceleme Kurulu'ndan (ERC) izin alındı. Çalışma süresince 1975 Helsinki Bildirgesi'nde (2013 yılında yapılan düzenlemelerle) belirtilen ilkelere uyuldu. Gizliliği korumak için hasta kimlikleri silindi ve her dişe yeni bir kod verildi.

5. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

Diş erozyonu (Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sınıflandırmasında K03.2 olarak anılır) dış veya iç faktörlerin neden olduğu kronik ve bakteriyel olmayan bir kimyasal süreçtir. Dış faktörler arasında yiyecek ve asitli içeceklerin tüketimi ve iç faktörler arasında ise regürjitasyon ve mide reflüsü yer alır. Bu faktörlerin etkisinin ancak uzun süre içerisinde etkili olduğunu belirtmekte fayda bulunmaktadır. Alkolsüz içeceklerin tüketimi diş çürüğünün ve diş minesi erozyonunun görünümünü kolaylaştırır. Diş çürüklerinin oluşması ağız hijyeni düzeninin bozulmasıyla bağlantılı olarak bu içeceklerin yüksek şeker içeriğinden kaynaklanmaktadır. Riski azaltmak için şeker yerine geçen yiyecek ve içecekler tavsiye edilmekte olup şekersiz alkolsüz içeceklerin sıklıkla yüksek erozyon potansiyeline sahip olduğu da görülmektedir.

Çürüklerle karşılaştırıldığında diş erozyonunun alkolsüz içecek tüketiminden daha güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Son yıllarda alkolsüz içecekler ve taze meyve-sebzeler gibi asitli içeceklerin tüketiminde dünya çapında önemli bir artış olmuştur. Araştırma çalışmalarında gazlı içeceklerin düşük pH'a (%93'ü $\text{pH} < 4$) ve yüksek tamponlama kapasitesine sahiptir. Rafine edilmiş karbonhidratlar veya şeker ikameleri ile tatlandırıcılar emaye yüzeyinin çözünmesine katkıda bulunabilecek katkı maddeleri içerirler. 4,5'in altındaki herhangi bir pH'ın kritik olduğu ayrıca 4,5'un üzerindeki herhangi bir pH'ın flor yolu oluşumuna ve erozyon potansiyelinin azalmasına neden olacağı bilinmelidir.

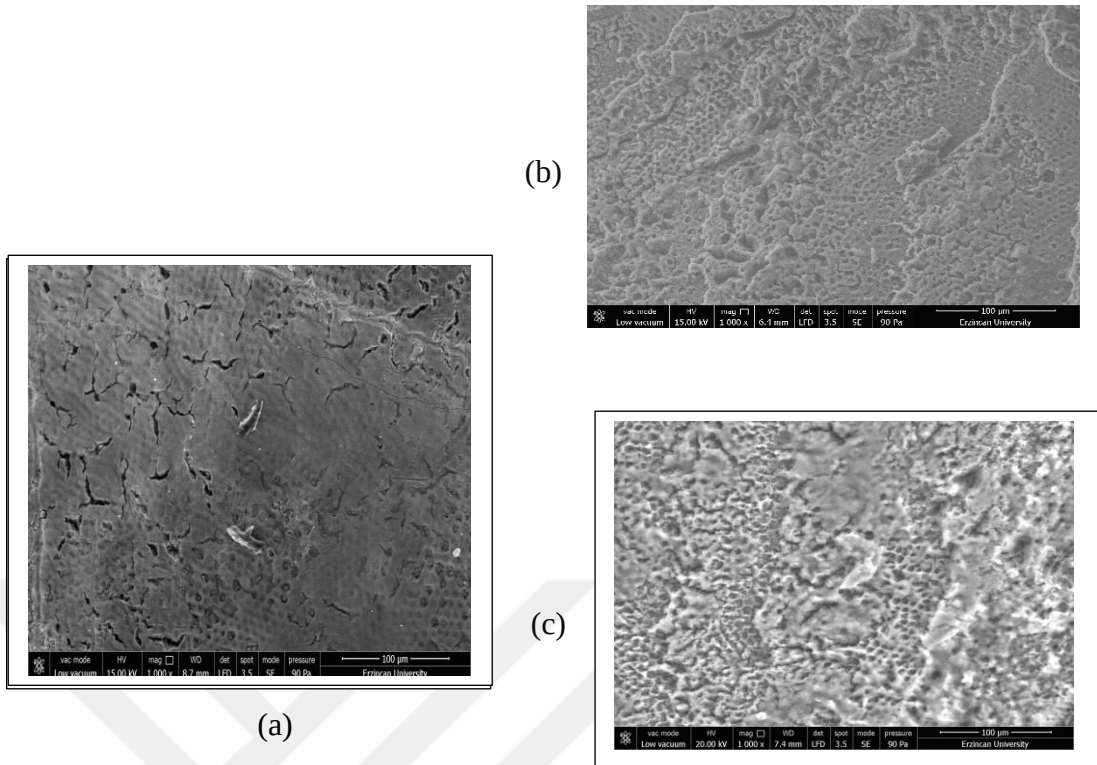
Bunlar rafine edilmiş karbonhidratlar veya şeker yerine kullanılan maddelerle tatlandırılır ve birlikte mine yüzeyinin çözünmesine katkıda bulunabilecek katkı maddeleri içerirler. Mine yüzeyinin çözünmesi ve erozyonun meydana gelmesinde rol oynayan diğer faktörler arasında asitin türü, konsantrasyonu ve miktarı, bileşenlerin şelatlama özellikleri, maruz kalma sıklığı ve süresi, sıcaklık yer alır. Şekerli ve şekersiz asitli içecekler benzer düzeyde diş erozyonuna yol açmaktadır. Limon-portakal gibi meyve sularının, kolalı içecekler gibi bazı asitli ve aromalı içeceklerin sık ve aşırı tüketimi diş erozyonu için bir risk faktörüdür. Erozyonun prevalansı ve insidansı nispeten yüksek olmasına rağmen, ankete dayalı bir araştırma, uygulayıcıların yalnızca üçte birinin konsültasyon sırasında erozyon gözlemlediğini ve çoğunluğunun ise erozyonu gözlemlemediğini bildirerek hastalığın prevalansını hafife almıştır. Bu nedenle diş

yapılarının spesifik kriterler uygulanarak incelenmesini amaçlayan bir tanı protokolünün oluşturulması gerekmektedir. Ancak birçok gelişmiş ülkede dental erozyon prevalansının yüksek olmasına ve artmaya devam etmesine rağmen önemi ve ağız sağlığına etkisi marjinal çürükler ve periodontitlerle kıyaslanamaz. Asit ve şeker içeren içeceklerin asit potansiyeli olmakla birlikte diş erozyonunun oluşması ile asitli içeceklerin tüketimi arasında pozitif bir ilişki vardır. Bir içecek pH'ı 5,5'in altına düştüğünde diş minesine zararlı hale gelir. Gelişmiş ülkelerde asitli aktiviteye sahip fast food gıdalarının yanı sıra gazlı meyve sularının tüketiminin tüm tüketici kategorilerine, özellikle de gençlere yayılması nedeniyle bu çalışmanın amacı, en çok tüketilen bazı içeceklerin diş minesi üzerindeki etkisini ortaya koyarak bir alarm sinyali vermektir.

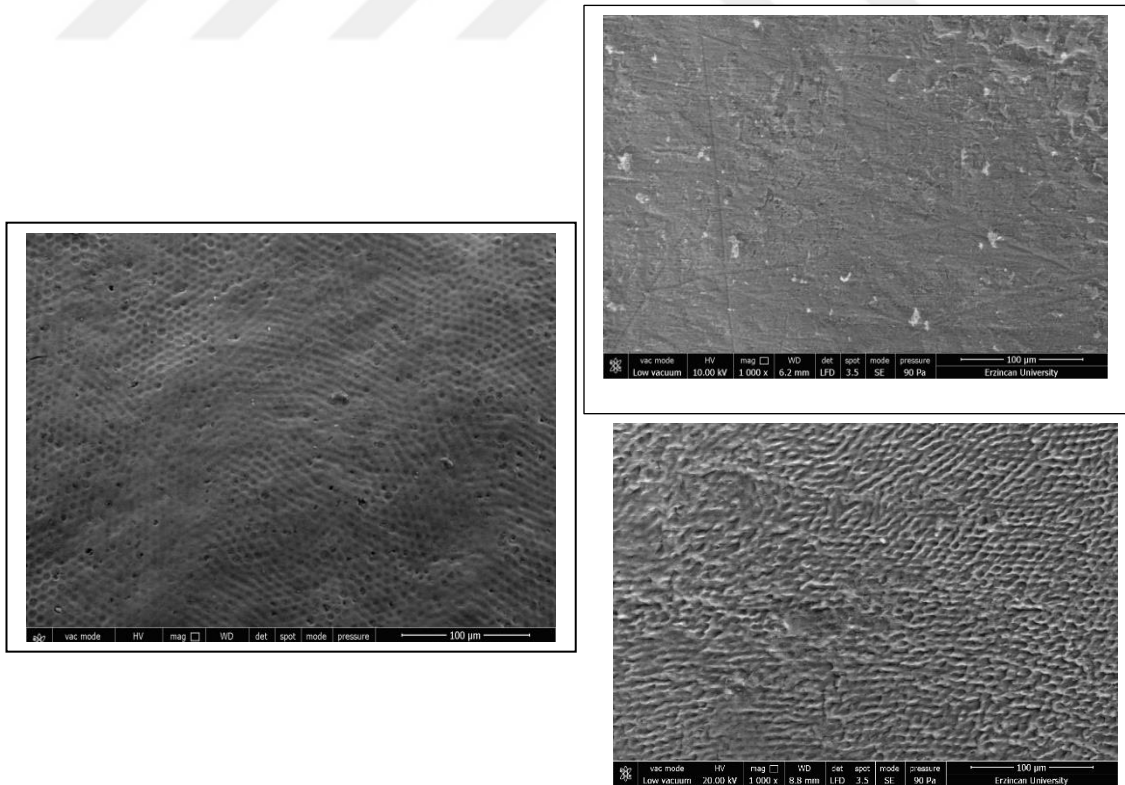
Düşük pH'a ve yüksek titre edilebilir asitliğe (TA) sahip içeceklerin emaye ve kök dentinini çözme potansiyeli daha yüksektir. Öte yandan düşük doygunluk derecesine sahip içecekler minerallerin sızmasını teşvik edebilir. Türkiyede ticari olarak satılan içeceklerin diş erozyonu potansiyelini değerlendirmek için sınırlı bilimsel bilgi bulunmaktadır. Bu araştırma Türkiyede bulunan alkolsüz içeceklerden bazılarının pH değerlerini belirleyerek diş erozyonu potansiyelini karakterize etmeyi amaçlamaktadır. CocaCola ve CocaCola Light gibi asit oranı yüksek içeceklerin yüksek erozyon potansiyeline sahip olduğu, ardından limon, portakal ve meyve sularının geldiği görüldü. Yerel olarak temin edilebilen içeceklerin çoğunun oldukça asitli olduğu tespit edildi. Dişlerin kritik diş aşındırıcı pH değerlerinin altındaki pH değerlerine sahip yiyecek veya içeceklere uzun süre maruz kalması potansiyel diş sert dokusunun erimesine yol açabilir. Meşrubat örneklerinin çoğu düşük pH değerlerine sahip olup kolanin minimum pH değeri 3'ün altındaydı. Alkolsüz içeceklerdeki düşük pH ve yüksek TA seviyesi tükürük sıvısı tarafından dişlerde biriken koruyucu protein katmanlarını çözebilir. Koruyucu protein katmanları çözüldükten sonra içecekler emayenin içine yayılabilir ve minerallerin sızmasına neden olabilir. Meyve suları da doğası gereği asidik bulunmuş (pH 3,4 ila 3,9 arasında değişen) olup bu da meyve sularının yüksek aşındırıcı potansiyeline işaret etmektedir. Tüm içecek örneklerinin pH'ının 4,0'ın altında olması dikkat çekicidir ve mine için (5,2–5,5) ve dentin için (~6,7) kritik aşındırıcı pH değerlerinin çok altında ölçülmüştür.

Diş numunelerinin içeceklere daldırılıp çözündürülmesinden önce ve daldırılma işlemlerini takiben 7. ile 14. gün sonunda SEM görüntüleri alındı (Şekil 5.1-Şekil 5.11.). 1000X büyütmede SEM altında bakıldığında diş yüzeyinde hafif bir değişiklik fark edildi. Değişim 5000X büyütmede daha da belirgindi ve dental erozyonun ve demineralizasyonun erken bir aşamasını gösteriyordu. Fanta, CocaCola ve Sprite'a maruz bırakılan diş örneklerinin aşındığı ve parlak üst tabakayı kaybettiği tespit edildi (Şekil 5.1.-5.3.). Şekil 5.6. ve 5.10. diş numunesinin 14 gün boyunca Cappy portakal ve karışık meyve suyuna maruz bırakılmasının diş yüzeyinin aşınmasına ve çatlamasına neden olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni diş numunesindeki minenin içerde çözünmesi olabilir.

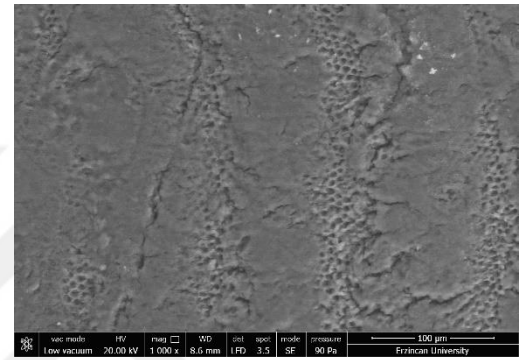
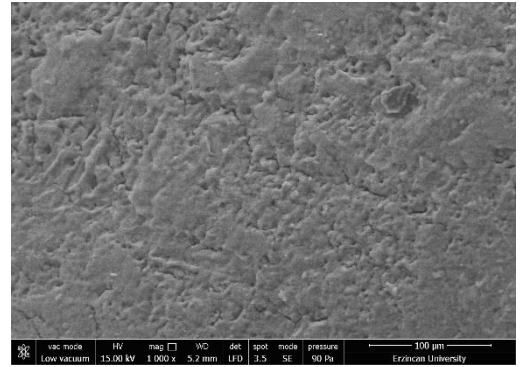
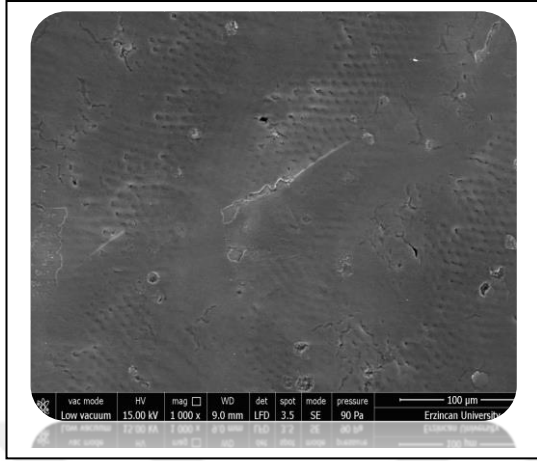
pH seviyelerine dayanarak ilerleyici bir emaye kaybı bu çalışmada bekleniyordu. Florürün varlığının da DE'ye karşı olumsuz bir rol oynamakta olup yeniden mineralizasyonu teşvik etmekte ve CaF_2 formunda birikme yoluyla demineralizasyonu önlemektedir. Hidroksiapatit (HAP) hidroksil iyonları florür iyonlarıyla değiştirildiğinde florapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)\text{F}_2$ 'yi oluşturur. Kafesteki florür iyonlarının varlığı asit tehdidine karşı direnç göstermesini sağlar. Gazlı içecekler, meyve suları, seyreltilmiş meyve suları ve aromalı maden suyu dahil olmak üzere doğası gereği düşük Ph'a sahip herhangi bir içecek veya yiyecek dental erozyona neden olabilir.



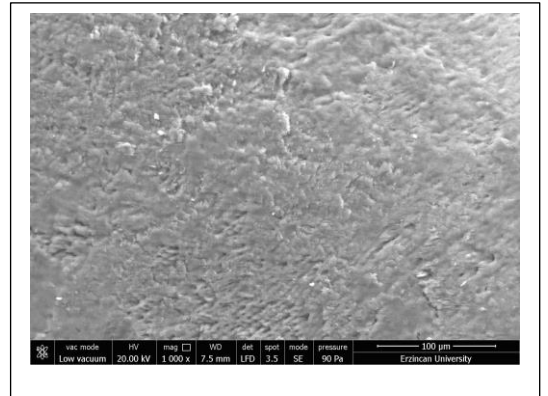
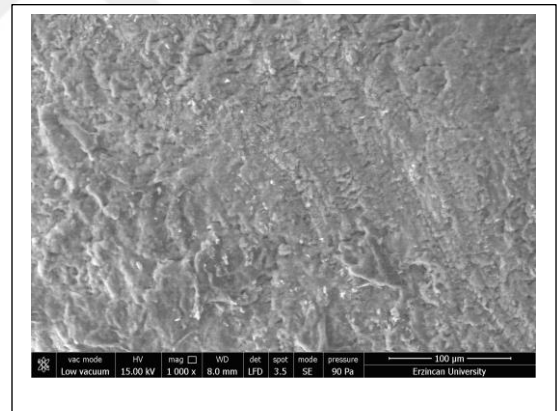
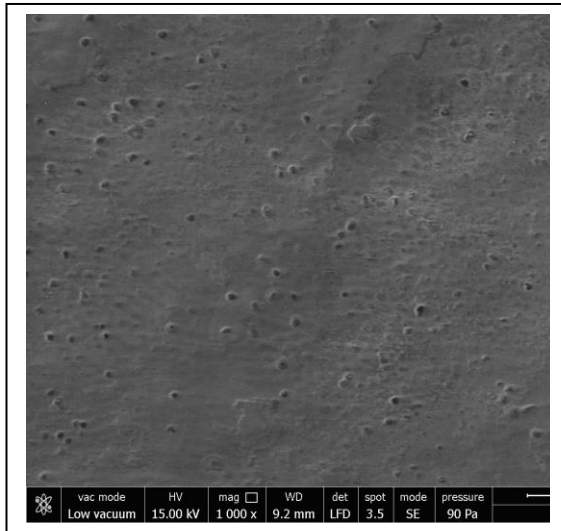
Şekil 5.1. Fanta içeceğinin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü (a) Bir numaralı (TS1) diş numunesinin içeceğe temas ettirilmesinden önce (b) 7 gün boyunca temastan sonra (c) 14 gün boyunca temastan sonra diş örnek kesitinin SEM görüntüsü



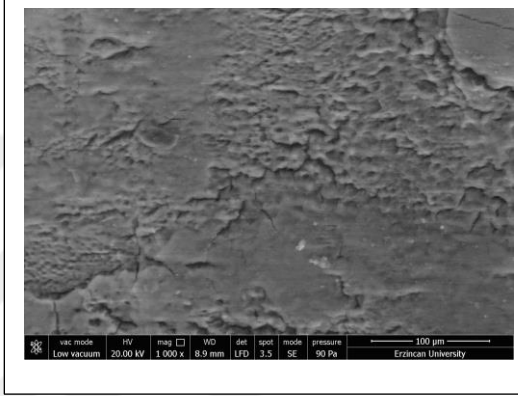
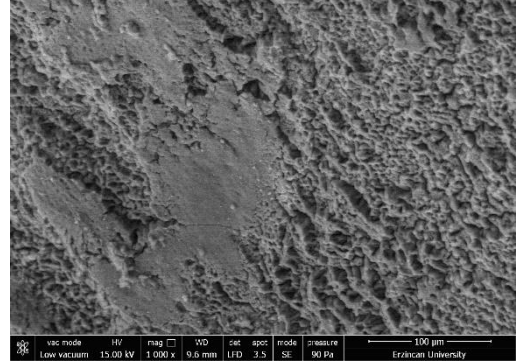
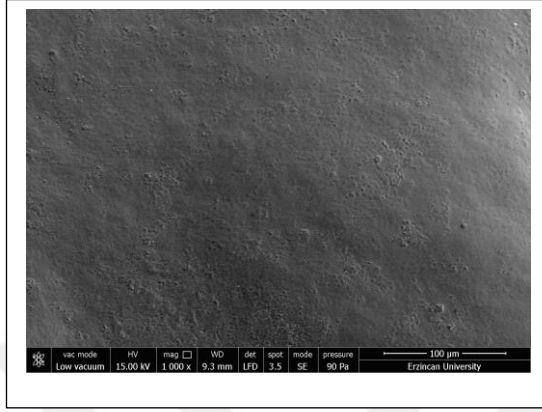
Şekil 5.2. Coca Cola içeceğinin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü



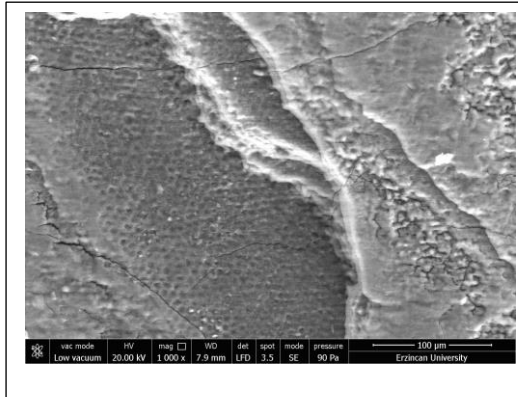
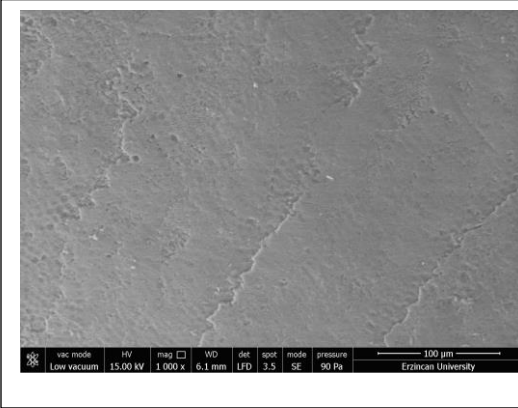
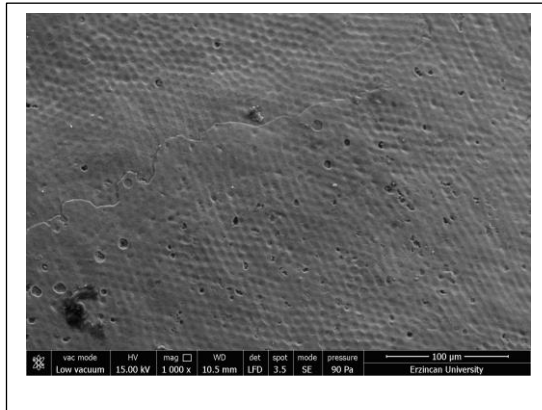
Şekil 5.3. Limon aromalı gazozun neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü



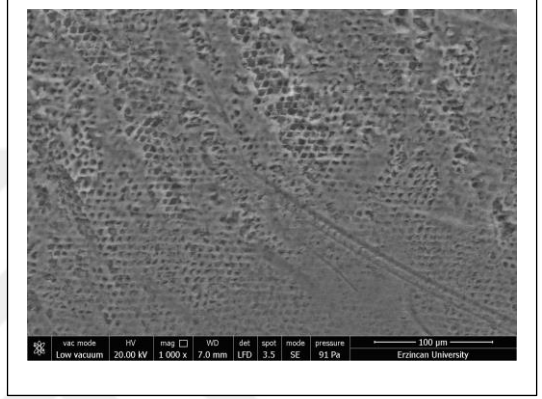
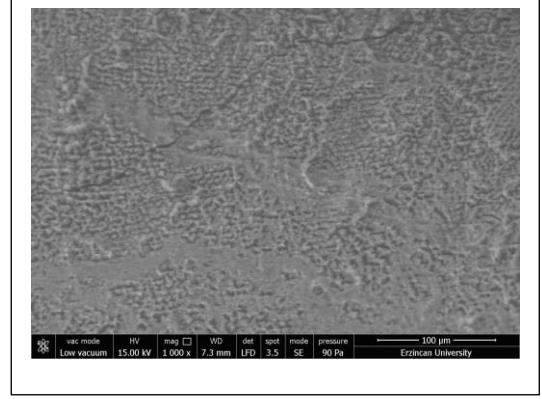
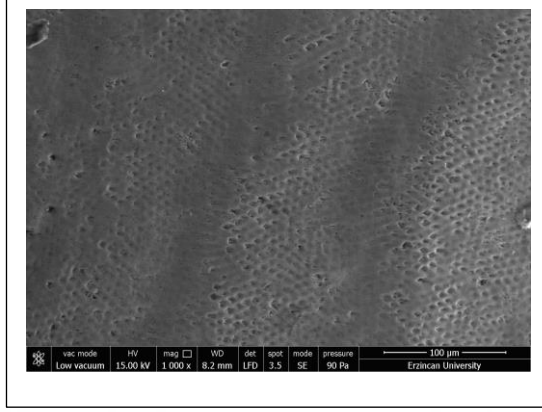
Şekil 5.4. Maltana içeceğinin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü



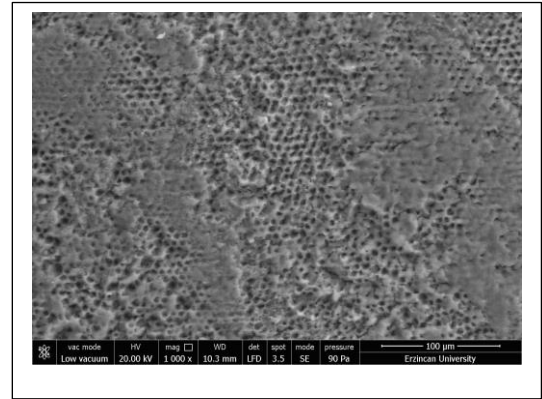
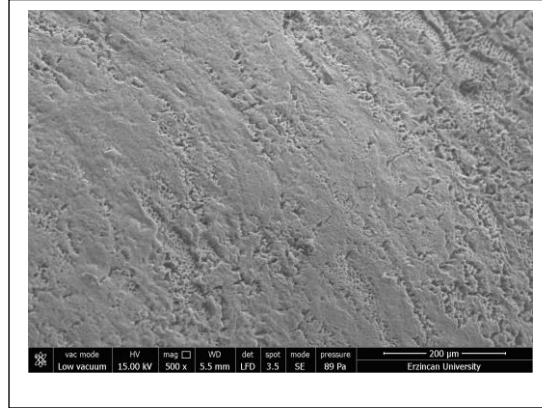
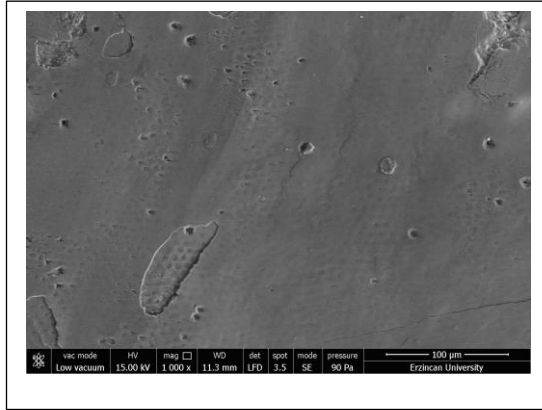
Şekil 5.5. Didi soğuk çayın neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü



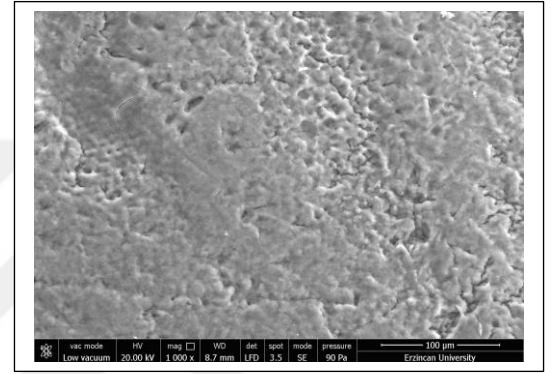
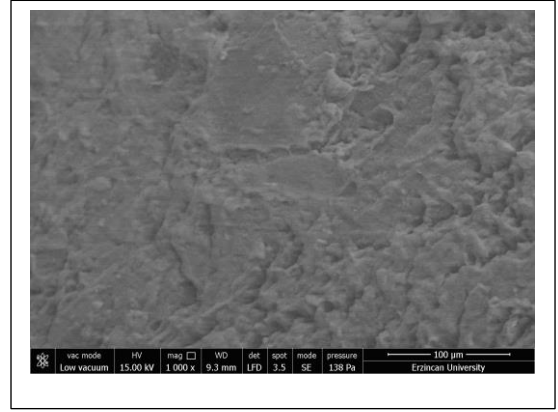
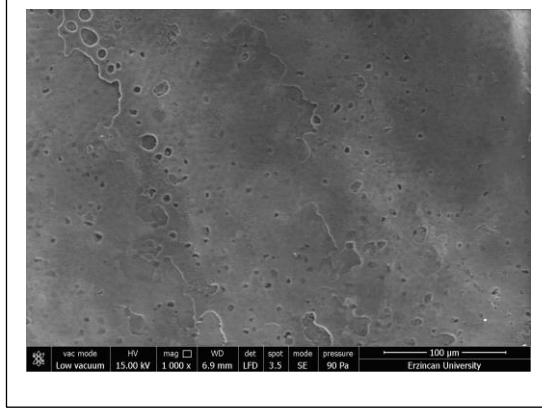
Şekil 5.6. Cappi Portakallı içeceği neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü



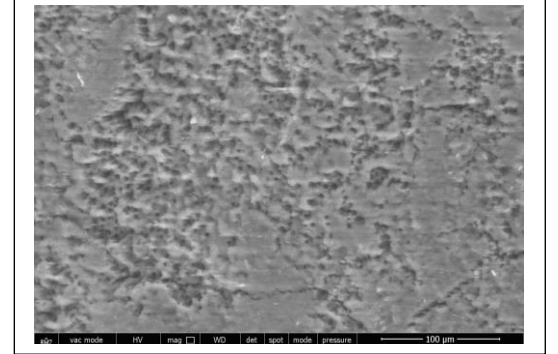
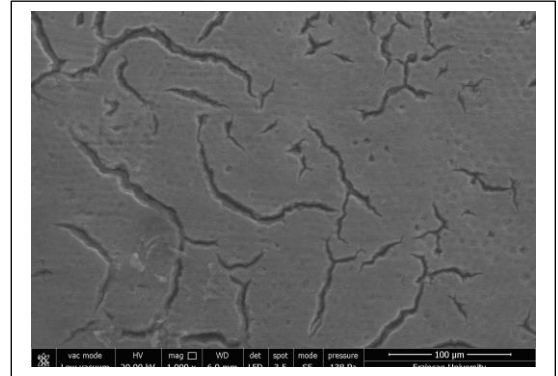
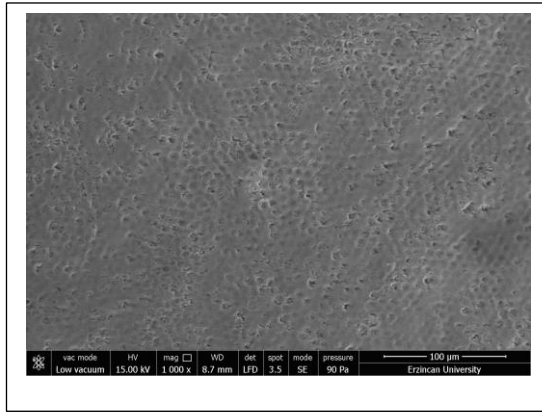
Şekil 5.7. Coca Cola Light içeceğinin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü



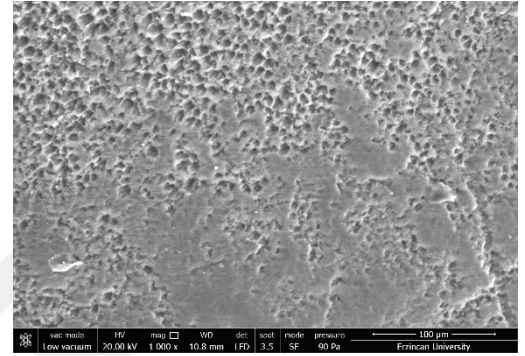
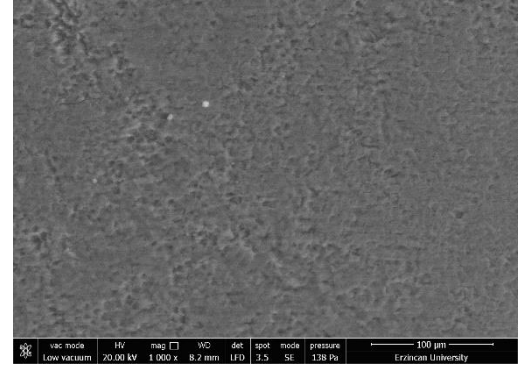
Şekil 5.8. Akmina C vitaminli sodanın neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü



Şekil 5.9. Limonatanın neden olduğu dış erozyonunun SEM görüntüsü



Şekil 5.10. Cappy karışık meyve suyunun neden olduğu dış erozyonunun SEM görüntüsü



Şekil 5.11. Juss-Fesleğen içeceğin neden olduğu diş erozyonunun SEM görüntüsü

Eroziv potansiyelin şiddetinin içeceklerin pH'ı titre edilebilir asitliği tamponlama kapasitesi ve kalsiyum şelatlama özelliği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Titre edilebilir asitlik olarak da adlandırılan diş yüzeyi ile etkileşime girebilen asidik maddelerin hidrojen iyonu konsantrasyonunun (H^+) gerçek pH'dan daha önemli olduğu düşünülmektedir. İçme suyuna maruz kalan dişlerde SEM görüntülerinde neredeyse hiçbir morfolojik farklılık tespit edilememiştir. SEM görüntü analizleri içeceklerin içerik maddeleri (florür içeriği) ve özellikleri (asidik) ile net bir korelasyon sağladığı görünmeyen niteliksel bir değerlendirmedir. Testin örneklem büyüklüğü ve süresi araştırmacıdan araştırmacıya değişir.

Hem Coca-Cola hem de portakal suyuna ilişkin sonuçlarda literatür tarafından da desteklenen pozitif erozyon tepkisi gözlemlendi. Bir saatlik Cola ve portakal suyuna maruz bırakılan dişlerin 7. gün görüntülerine dayanarak SEM analizi ile dişteki erozyonun erken belirtileri ortaya kondu. Özellikle Coca Cola'ya maruz kalan dişlerde emaye çubuklarının ve çubuklar arası alanın açıkta kalan dentin tübülleri ile çözünmesiyle karakterize edilen yüzey düzensizlikleri gözlemlendi. Portakal suyuna

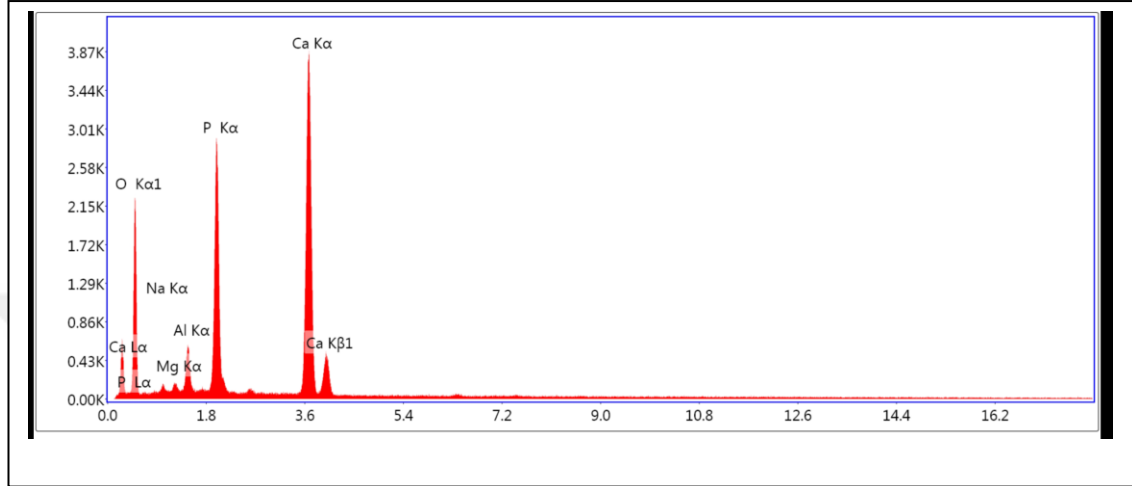
maruz bırakılan tedavi öncesi ve sonrası dişlerin SEM görüntüleri de CocaCola'ya maruz kalan dişlerde gözlemlendiği gibi belirgin değişiklikler gösterdi.

Musluk suyu da 10 dakikalık maruz kalma sonrasında SEM altında topografyada herhangi bir değişiklik göstermedi. İçeceklerdeki bileşenler aşındırıcı kapasitelerinde önemli bir rol oynayabilir. Sitrik asit (portakal suyunda da bulunur) emaye demineralizasyonuna neden olan aşındırıcı potansiyele sahip çeşitli asitli içeceklerin önemli bir bileşenidir. Kalsiyum sitrat oluşumu ve sitrik asidin Ca^{2+} 'yi diş yüzeyi minesinden çeken şelatlayıcı (kalsiyum bağlama) etkisi nedeniyle ortak iyon etkisinin kaybı nedeniyle çözünme eğiliminin artmasına neden olup ayrıca sitrik asidin hidroksiapatit kristallerini çözme potansiyelinin daha yüksek olduğu da belgelenmiştir.

Sitrik asit kalsiyum ile geri dönüşümsüz şekilde şelat oluşturarak diş yapısından kalsiyumun hızlandırılmış kaybının net etkisini gösterir. Bazı içeceklere eklenen şekerler de içeceklerin aşındırıcı potansiyelini artırabilir. Soğuk içeceklerden Fantanın ve limonatanın diş yüzeyine en çok zarar veren içecek olduğu görüldü. SEM'de emaye yüzeyinin görüntüleri yüzeyin tamamında yoğun bir taraklanma olduğunu, döküntülerin görülebildiğini ve yüzeyde tübüllerin açığa çıktığını gösterdi. Soğutulmuş portakal suyunun da SEM görüntülerinde gözlemlenebileceği gibi insan diş minesinde belirgin bir tahribat gösterdiği ortaya çıktı. Bu çalışma SEM'in dişteki erozyonu belirlemede destekleyici bir değerlendirme aracı olabileceğini göstermektedir. Asidik olan içeceklerin pH'nın dental erozyonda rolü olabilir ve içeceklerdeki florür de ilerlemesine müdahale edebilir. Dental erozyonu değerlendirmeye yönelik ölçüm parametresine gelince sertlik diğer niceliksel ölçüm parametreleriyle karşılaştırıldığında güvenilir bir parametre gibi görünmektedir.

CocaCola Light'a 7 ve 14 gün maruz kaldıktan sonra diş yüzeyinde gözle görülür bir etki görüldü. Tedavi sonrası çekilen görüntülerde prizmalar açıkça görülüyordu. Görülen çatlaklar daha belirgindi ve yüzey oldukça pürüzlü görünüyordu ki bu dişteki erozyonun belirgin işaretlerini gösteriyordu. Daha düşük pH ve neredeyse ihmal edilebilir düzeyde florür içeren portakal suyu diş yüzeyinde gözle görülür bir değişiklik gösterdi. Portakal suyuna maruz kaldıktan sonra diş yüzeyinin, açığa çıkan mine prizmalarını etkilediği görüldü ve bu her üç büyütmede de görüldü. Juss fesleğen aromalı içeceğin diğerleri ile kıyaslandığında diş yüzeyi minesini önemli düzeyde pürüzlendirdiği görülmeydi.

Tablo 5.1.'de ise SEM-EDAX ile belirlenen kalsiyum (Ca) ve fosfor (P) için yarı kantitatif analiz sonuçları verilmiştir. Eroziv etkinin Ca ve P elementlerinin ağırlığında, atomik ağırlığında ve net şiddetinde oluşturacağı etkiler de araştırıldı. Şekil 5.12.'de CocaCola için alınan x-ışını spektrumu verilmiştir.



Şekil 5.12. CocaCola içerisine daldırılan dişe ait karakteristik x-ışını spektrumu

Tablo 5.1. SEM-Edax ile alınan kalsiyum (Ca) ve fosfor (P) için yarı kantitatif değerler

Numune ve Daldırılma Periyodu	Element	Ağırlığı %	Atomik Ağırlığı %	Net Şiddet	Hata %
Fanta 0. Gün	Ca	42,59	10,38	656,87	1,84
	P	16,67	8,27	390,83	4,65
Fanta 14. Gün	Ca	41,42	24,66	1222,66	1,98
	P	12,66	12,84	521,44	4,39
Coca Cola 0. Gün	Ca	30,12	16,46	848,34	1,81
	P	16,74	11,84	491,1	4,2
Coca Cola 14. Gün	Ca	26,02	20,35	1162,86	1,86
	P	15,98	11,69	542,97	4,21
Sprite 0. Gün	Ca	54,03	36,66	879,27	1,94
	P	18,03	15,83	427,75	3,39
Sprite 14.gün	Ca	34,52	19,35	1744,93	1,89
	P	15,95	11,57	852,98	4,18

Tablo 5.1'in (devamı) SEM-Edax ile alınan kalsiyum (Ca) ve fosfor (P) için yarı kantitatif değerler

Maltana 0. Gün	Ca	64,35	48,44	628,84	1,93
	P	16,81	0,69	10,79	12,16
Maltana 14. Gün	Ca	34,12	18,99	958,89	2,01
	P	15,51	11,17	458,95	4,34
Didi 0. Gün	Ca	32,9	18,4	922,8	1,88
	P	17,35	12,56	512,31	4,27
Didi 14. Gün	Ca	44,98	27,53	1361,52	1,83
	P	16,02	12,68	512,13	4,28
Cappy portakallı 0. gün	Ca	55,47	38,26	343,55	1,8
	P	16,98	15,15	153,21	3,24
Cappy portakallı 14. gün	Ca	42,18	24,98	409,36	2,19
	P	14,97	11,47	152,04	5,04
Coca Cola light 0. gün	Ca	46,81	30,03	245,62	2,36
	P	19,75	16,39	184,8	3,05
Coca Cola light 14. gün	Ca	41,05	24,44	895,15	2,02
	P	17,11	13,18	396,99	4,44
Akmina soda 0. Gün	Ca	45,3	28,25	765,95	1,95
	P	18,13	14,63	329,95	4,3
Akmina soda 14. gün	Ca	35,63	20,06	1604,99	1,89
	P	15,93	11,61	754,73	4,26
Limonata 0. Gün	Ca	44,08	27,2	756,3	1,93
	P	18,27	14,59	337,05	4,24
Limonata 14. Gün	Ca	40,01	23,59	1528,83	1,93
	P	16,81	12,82	679,77	4,27
Cappy 0. Gün	Ca	53,73	36,48	852,49	1,89
	P	18,45	16,21	427,48	3,25
Cappy 14. Gün	Ca	51,48	32,86	818,24	1,85
	P	13,53	11,18	223,24	4,81
Juss 0. Gün	Ca	48,59	31,09	667,48	1,93
	P	17,42	14,42	255,89	4,44
Juss 14. Gün	Ca	41,24	23,94	880,47	1,7
	P	13,32	10,01	293,6	4,37

İnsan dokuları büyük biyokimyasal moleküllerin katalitik veya yapısal bileşenleri olarak birçok türde mineral ve eser element içerir. Bu nedenle eser elementlerin miktarının, dağılımının ve kimyasal durumunun analizi, örneğin metabolizma analizinde yararlı bilgiler sağlayabilir. Ayrıca dişçilik ve tıbbi malzeme ve cihazlarda çeşitli metalik ve inorganik malzemeler kullanılmaktadır. Dişçilik ve tıp alanlarında element analizi için sıklıkla ıslak ve/veya düşük ısı direncine sahip numuneler talep edilmektedir. Bu nedenle hızlı ve tahribatsız bir element analizi yöntemi gereklidir. X-ışını floresans analizi (XRF) numuneye zarar vermeden veya ekstra numune hazırlığı gerektirmeden numuneler hakkında faydalı temel bilgiler sağlar. X-ışınlarının yüksek penetrasyon derinliği XRF'yi numune yüzeyinin oldukça altında bulunan diş dokularından çıkan bilgilerle değişken bileşimleri tespit etmede oldukça etkili kılar. Bu çalışmada vakum altında kimyasal haritalama SEM'e bağlı enerji dağılımlı x-ışını (EDX) spektrometresi ile yapılmıştır. EDXRF sonuçları tüm içeceklere daldırılan gruplarda fosfatta azalma ($p < 0,05$) gösterdi ve referans yüzey ile aşınmış yüzey arasında kalsiyum içeriğinde önemli farklılıklar kaydedildi.

Dişler bir miktar florür içeren kalsiyum eksikliği olan karbonatlı hidroksiapatitten oluşur. Mine mineralleri için molar Ca/P oranı 1,61'dir (hidroksiapatit için 1,67). Diş mineral bileşiminin basitleştirilmiş bir formülü $\text{Ca}_{10-x}\text{Na}_n(\text{PO}_4)_{6-y}(\text{CO}_3)_z(\text{OH})_{2-u}\text{F}_u$ olup $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ formülü ile verilen stokiometrik hidroksiapatitten farklıdır. Mineral kristal kafesindeki ikameler, özellikle karbonat, emaye yapısını zayıflatır. Sonuç olarak, mine ve dentindeki mineral, hidroksiapatite göre asitte daha fazla çözünü ki bu da $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ formülüne sahip florapatitten daha fazla çözünür. Diş minerali aynı zamanda düşük konsantrasyonlarda sodyum, magnezyum, klorür, potasyum ve çeşitli eser elementleri de içerir.

Kritik pH bir çözeltinin belirli bir katıya göre henüz doymuş olduğu pH'dır. Çözeltinin pH'ı kritik pH'dan düşükse çözelti yetersiz doygunludur ve katıyı çözebilir, pH kritik pH'ın üzerindeyse çözelti aşırı doymuştur ve dolayısıyla daha fazla mineral çökebilir. Kritik pH hem ilgilenilen katının çözünürlüğüne hem de çözeltinin ilgili mineral bileşenlerinin konsantrasyonlarına-aktivitelerine bağlıdır. Diş minerali durumunda ilgili temel bileşenler kalsiyum, fosfat ve daha az ölçüde florür aktivitesidir çünkü bunlar çözünme ve çökmenin itici gücü olan çözeltideki doygunluk derecesini belirler. Tanım olarak diş

erozyonu plak yokluğunda diş mineralinin çözünmesidir. Bu nedenle plak sıvısının bileşiminden belirlenen kritik pH erozyonun meydana gelip gelmeyeceği konusunda bir rehber değildir. Diş mineraline bitişik çözelti plak sıvısından daha yüksek kalsiyum ve fosfat konsantrasyonlarına sahip olabilir ve bu nedenle çürük için kritik pH değerinden daha düşük pH değerlerinde bile diş minerali çözünemez.

SEM görüntüleri diş numunesinin uzun süre içeceğe maruz bırakılmasının diş yüzeyinin aşınmasına ve çatlamasına neden olabileceğini gösterdi. SEM ile karakterize edile minedeki morfolojik değişiklikler diş erozyonunun aşamalarına bağlıdır. Erken evrelerde mine yüzeyleri aşınır ve bal peteği görünümü verir. İleri aşamalarında eroziv süreç altta yatan dentini içerir. Remineralizasyonun kanıtı doğal diş erozyonunun erken evresinde görülür. Deneysel sonuçlar aşındırıcı içeceklere maruz kaldığında diş numunelerindeki fosfat ve kalsiyum içeriğinin çözünmesine neden olabileceğini de gösterdi. İçeceklerin neden olduğu diş erozyonu diş sağlığı için önemli sorunlardan biri olup çok fazla parametreye bağlı olan karmaşık bir süreçtir. Gerçek diş numunesi kullanılarak farklı içeceklerin daha fazla in vitro analizi gerekmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİ

Diş erozyonu diş aşınmasının yaygın bir nedenidir. Kontrolsüz ilerlemesine izin verilirse diş yüzeylerinin aşındırıcı tahribatı dentinin genellikle tedavisi mümkün olmayan aşırı hassasiyete neden olmaktadır. Sonunda pulpanın neredeyse net bir şekilde açığa çıkması meydana gelebilmektedir. Dentine girdikten sonra erozif süreç dentin tübülleri yoluyla devam etmekte ve sonunda pulpa dokusunu da kapsamaktadır. Diş aşınması neredeyse hiçbir zaman tek bir faktörden kaynaklanmamaktadır. Erozyon, yıpranma ve aşınma aynı anda meydana gelmekte ancak değişen zaman ve durumlardan dolayı üçünden biri en belirgin olanı olabilmektedir. Erozif lezyonun yüzeyi hipomineralize olmakta, yumuşamakta böylece diş sert dokusunu mekanik aşınmanın etkilerine karşı daha duyarlı hale gelmektedir. Eroziv lezyonlar aynı zamanda insizal kenarların ve çıkıntıların aşınmasıyla veya muhtemelen mine-sement birleşimindeki abfraksiyonla da ağırlaşabilmektedir. Herhangi bir bireysel vakanın patogenezi çok faktörlü olabileceğinden kimyasal ve mekanik etiyoloji arasında klinik ayırıcı tanı ise genellikle zordur. Diş erozyonunu değerlendirmek için birçok yöntem ve teknik kullanılmaktadır. Mine ve dentin erozyonunu incelemek için mevcut yöntemlerin avantajları, sınırlamaları ve potansiyel uygulamaları gözden geçirilmelidir. Erozyona uğramış diş dokusundaki morfolojik değişiklikler genellikle taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmektedir. Prizmatik minede erozif tahribat ilk olarak prizma kılıf bölgelerinde meydana gelmekte bunu prizma çekirdeklerinin çözünmesi takip etmektedir. Sonunda interprizmatik alanlar da etkilenmeye başlamaktadır. Aprizmatik mine oldukça düzensiz bir şekilde aşınmaktadır. Bal peteği görünümüne yol açan karakteristik bir mine yüzey yapısı kaybı görülmektedir. Hem prizma sınırlarından hem de prizma gövdelerinden mineral kaybı, ince ve ayrı kristal demetlerinin yüzeyinde olmaktadır. Aşınmış yüzeylerin altındaki dentinin, dentin tübüllerindeki mineralize kapanımlarla karakterize edildiği bulunmuştur. Kapanımlar tübül duvarlarında bir ağ örgüsü oluşturan düzensiz çubuk şekilli kristallerden oluşturmaktadır. Diğer kristaller prizma şeklinde olup görünüşte eşkenar dörtgen şeklinde oluşmuşlardır. Ayrıca kesiti altıgen olan kristaller de görülmüştür. İnsan dişlerindeki doğal erozyonun yüzey özellikleri literatürde nadiren rapor edilmiştir. Bugüne kadar doğal diş erozyonu ile çekilmiş dişlerin incelenmesinde SEM'in uygulanmasına ilişkin yayınlanmış az sayıda çalışma bulunmaktadır. Mevcut

araştırmanın amacı taramalı elektron mikroskobu aracılığıyla insan dişlerindeki minedeki erozyonun yüzey ultra yapısını incelemektir.

Diş erozyonu diş sert dokularının mikroorganizmaların katılımı olmadan asitler tarafından kimyasal olarak çözünmesidir. Asidik çözeltilerdeki hidrojen iyonları (H^+) diş minesindeki kalsiyum iyonlarının (Ca^{2+}) yerini alabilir, dolayısıyla diş minesinin kristal yapısını bozabilir ve diş erozyonunu başlatabilir. Eroziv diş aşınması, sertlik ve işlevsellik kaybının yanı sıra ciddi estetik bozulmalara da yol açabilir. Erozif asidik zorlukların kaynakları içsel (yani gastroözofageal reflü hastalığı) ve/veya dışsal (yani asitli yiyecek ve içeceklere maruz kalma) olabilir. Emayenin (5,2-5,5) ve kök dentininin (~6,7) kritik aşındırıcı pH'ından daha düşük pH'a sahip içecek veya yiyeceklerin sürekli alımının diş erozyonundan sorumlu olduğu düşünülmektedir.

Diş erozyonu diş sert dokusunun ana bileşenleri olan mine ve dentinin asidik çözünmesidir. Erozif diş aşınması giderek zararlı diş sağlığı açısından önemli bir endişe verici hale gelmiştir. Diş minesi temel olarak hidroksiapatit $Ca_5(PO_4)_3(OH)$ ve karbonat ve florür gibi yabancı maddelerden oluşur. Diş erozyonu bakteriyel enfeksiyonla ilişkili olmasa da düşük pH'a sürekli maruz kalma altında diş yapısının çözünmesini ifade eder. Minerallerin özellikle de emaye veya hidroksiapatitten gelen kalsiyumun değiştirilmesi, diş yapısının bozulmasına neden olabilir ve uzun süreli maruz kalma durumunda diş estetiği ve güç kaybı gibi işlevsellik üzerinde ciddi zararlı etkilere yol açabilir.

Meyve suları diğer içeceklere göre yüksek oranda kalsiyum içermektedir. Öte yandan Fanta ve Kolalı içeceklerde fosfat düzeyi yüksek diğer içeceklerde ise ihmal edilebilir düzeydeydi. Minerallerin varlığı çözünmeye karşı direnci tetikleyebilir ki bu da erozyon potansiyelini bir miktar değiştirebilir. Mineral ve fosfat içeriğinin düşük olması nedeniyle bu içeceklerin mine ve dentinden minerallerin sızmasına neden olabilecek uyarma potansiyeli vardır. İçeceklerin kalsiyum ve fosfatla desteklenmesi içeceklerin aşındırıcı potansiyelini azaltmak için uygun bir alternatif gibi görünmektedir.

Son yıllarda alkolsüz içecekler ve taze meyveler gibi asitli içeceklerin tüketimi dünya çapında özellikle gençlerde artmaktadır. Bu çalışmanın amacı en çok tüketilen bazı içeceklerin diş minesi üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. Çalışma in vitro olarak çekilmiş 11 diş üzerinde gerçekleştirilmiştir. Koroner mine temizlendikten sonra dişler

en sık kullanılan içeceklerin (Coca Cola, şekersiz Coca Cola, portakal suyu, limon suyu, vb.) bulunduğu hermetik kaplarda bir saat bekletilip sonrasında içecekler yenilenerek bir saat daha bekletildi. Dişler içeceklere daldırılmadan önce asidik erozyona maruz kalmayan emayenin yapısı SEM ile görüntülendi. Daldırılma işlemi 7 gün boyunca aynı saatlerde yapıldı ve sonrasında erozyonun belirlenebilmesi için SEM görüntüsü alındı. Bu işlemler bir kez daha tekrar ettirilerek daldırma süreci 14 güne tamamlandı ve üçüncü kez emayenin mikro yapısı SEM görüntüsü alınarak belirlenmeye çalışıldı. Sonuçlar çalışmada kullanılan içeceklerin asit oranının yüksek olması nedeniyle emaye yüzeyinde prizma değişiklikleri, emayede yapısal kayıpları yanı sıra emayenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin azalmasıyla birlikte çatlaklara ve yapısal parçalanmaya yol açabildiğini gösterdi. Bu in vitro çalışmada elde edilen sonuçlar bakteri plağı ve tükürük tamponlama kapasitesi gibi biyolojik faktörlerin içeceklerin erozyon potansiyelini azaltabileceği in vivo durumla ilişkilendirilerek yeniden yorumlanabilir.

SEM görüntüleri diş numunesinin uzun süre içeceğe maruz bırakılmasının diş yüzeyinin aşınmasına ve çatlamasına neden olabileceğini gösterdi. Deneysel sonuçlar aşındırıcı içeceklere maruz kalındığında, diş numunelerindeki fosfat ve kalsiyum içeriğinin çözünmesine neden olabileceğini gösterdi. İçeceklerin neden olduğu diş erozyonu temel parametrelere ve koşullara bağlı olan karmaşık bir olgudur. Fizikokimyasal parametrelerin yanı sıra biyolojik ve davranışsal faktörlerin de analiz edilmesi önemlidir ve gerçek diş numunesi kullanılarak içeceklerin ve şişelenmiş suların in vitro analizini gerçekleştirilmelidir. Tek bir parametreyi dikkate alarak bir içeceğin gerçek diş erozyonu potansiyelini temsil etmeyebilir. Örnek olarak oldukça nötr veya düşük TA'lı bir içeceğin diş numunelerinin sert dokularını çözme olasılığı daha düşüktür. Ancak içecek düşük derecede doygunluğa sahipse mine tabakası kırılmış veya erimiş diş numunesindeki minerallerin sızmasını uyarabilir.

Dünya çapında diş erozyonu genç ve yetişkin nüfus arasında giderek yaygınlaşmaktadır ancak genç erkekler ve genç kadınlar çok miktarda asitli içecek tüketimi nedeniyle diş erozyonu açısından daha yüksek risk altındadır. Diş erozyonunun farkındalığı ve erken tespiti önleyici tedbirlerin alınmasına olanak sağlayacaktır. Diş erozyonunu azaltmak için diş hijyeninin iyileştirilmesi ve asitli içeceklerin içme alışkanlığının iyileştirilmesi gibi farklı önleyici tedbirler önerilebilir.

Asit (yani asitli içecekler) temasının sıklığı ve süresi diş erozyonunun gelişimi için önemli değişkenlerdir. Yutmadan önce sıvıyı ağızda tutmak veya hareket ettirmek, pipetten çekmek veya şişeden içmek gibi özel içme alışkanlıkları asidik pH'lı sıvının ağız boşluğunda uzun süre kalmasına neden olur. Bu nedenle eroziv atak süresini azaltmak için bu içme alışkanlıklarından uzak durulması tavsiye edilir. Ayrıca tükürük tamponlama ve remineralizasyon kapasiteleri ve diş sert dokuları üzerinde koruyucu bir pelikül tabakası oluşturma yeteneği nedeniyle mine ve dentin erozyonunun azaltılmasında önemli bir rol oynar. Tükürük akışının uyarılması tükürük mineral içeriğinde bir artışa neden olabilir ki bu da kalsiyum ve fosfatın mine ve dentin yüzeyine yeniden birikmesini sağlayabilir ve diş dokusu kaybını en aza indirebilir. Şekersiz sakızların çiğnenmesi tükürük üretimini uyarabilir ve dolayısıyla remineralizasyonu teşvik edebilir. Ayrıca sütle durulamak veya peynir yemek daha yüksek düzeyde kalsiyum ve fosfat içerdiklerinden remineralizasyonu artırabilir. Bu çalışma, Türkiye'deki içeceklerin ve şişelenmiş içme suyunun diş erozyonu potansiyelini karakterize etmek için sistematik bilimsel araştırma yapmayı ve diş örnekleri kullanarak in vitro analiz yapmayı amaçladı. Bu tez çalışması yerel olarak temin edilebilen alkolsüz içeceklerin, pH değerleri ile ilişkilendirilerek diş erozyonu potansiyelini vermektedir. Türkiye'de yerel olarak temin edilebilen alkolsüz içeceklerin diş erozyonu potansiyelini analiz etmek için çok sınırlı birincil veri mevcuttur. Bu nedenle bu çalışma sunulan sonuçlar sağlık profesyonellerine, araştırmacılara, düzenleyici otoritelere ve hükümet politika yapıcılarına gelecekteki çalışmaları yürütmek ve mevcut içeceklerin neden olduğu diş erozyonunu yönetmek ve izlemek için temel veriler olarak hizmet edecektir.

KAYNAKLAR:

- Abbassy, M. A., Bakry, A. S., Almoabady, E. H., Almusally, S. M., & Hassan, A. H. (2021) "Characterization of a novel enamel sealer for bioactive remineralization of white spot lesions", **Journal of Dentistry**, 109, 103663.
- Adamo, D., Sardella, A., Varoni, E., Lajolo, C., Biasotto, M., Ottaviani, G., ... & Mignogna, M. D. (2018) "The association between burning mouth syndrome and sleep disturbance: A case-control multicentre study", **Oral diseases.**, 638-649.
- Al-Dlaigan, Y. H., Shaw, L., & Smith, A. (2001) "Dental erosion in a group of British 14-year-old, school children. Part I: Prevalence and influence of differing socioeconomic backgrounds", **British Dental Journal**, 145-149.
- Allesen-Holm, B. H., Frøst, M. B., & Bredie, W. L. P. (2009) "Taste sensitivity and preferences in Danish school children", **Sensory Science Group Department of Food Science Delegate manual: 8th Pangborn sensory science symposium.**
- Al-Sabbagh, M. (2014) "Etiology and Predisposing Factors to Dentin Hypersensitivity. In Clinician's Guide to the Diagnosis and Management of Tooth Sensitivity", Berlin, Heidelberg: **Springer Berlin Heidelberg**, 23-39.
- Amaechi, B. T., & Higham, S. M. (2001) "In vitro remineralisation of eroded enamel lesions by saliva", **Journal of dentistry**, 29(5), 371-376.
- Şaramet, V., Meleşcanu-Imre, M., Țâncu, A. M. C., Albu, C. C., Ripszky-Totan, A., & Pantea, M. (2021) "Molecular interactions between saliva and dental composites resins: a way forward", **Materials**, 14(10), 2537.
- Attin, T., & Wegehaupt, F. J. (2014) "Methods for assessment of dental erosion", **Erosive Tooth Wear**, 25, 123-142.
- Bakry, A. S., & Abbassy, M. A. (2019) "The efficacy of a bioglass (45S5) paste temporary filling used to remineralize enamel surfaces prior to bonding procedures", **Journal of Dentistry**, 85, 33-38.
- Bakry, A. S., Takahashi, H., Otsuki, M., & Tagami, J. (2013) "The durability of phosphoric acid promoted bioglass-dentin interaction layer", **Dental Materials**, 29(4), 357-364.
- Bartlett, D., Ganss, C., & Lussi, A. (2008) "Basic Erosive Wear Examination (BEWE): a new scoring system for scientific and clinical needs", **Clinical oral investigations**, 12, 65-68.
- Beyer, M., Reichert, J., Sigusch, B. W., Watts, D. C., & Jandt, K. D. (2012) "Morphology and structure of polymer layers protecting dental enamel against erosion", **Dental Materials**, 28(10), 1089-1097.

- Buzalaf, M. A. R., Pessan, J. P., Honório, H. M., & Ten Cate, J. M. (2011) “Mechanisms of action of fluoride for caries control”, *Fluoride and the oral environment*, 22, 97-114.V
- Carr, A. B., McGivney, G. P., & Brown, D. T. (2005) “Removable partial prosthodontics”, *Missouri: Elsevier Mosby*, 11.
- Centerwall, B. S., Armstrong, C. W., Funkhouser, L. S., & Elzay, R. P. (1986) “Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a gas-chlorinated swimming pool”, *American journal of epidemiology*, 123(4), 641-647.
- Chan, M., & Johansson, M. A. (2012) “The incubation periods of dengue viruses”, *PloS one*, 7(11), e50972.
- Cheng, A., Daly, C. G., Logan, R. M., Stein, B., & Goss, A. N. (2009) “Alveolar bone and the bisphosphonates”, *Australian dental journal*, 54, S51-S61.
- Christensen, C. M., & Navazesh, M. (1984) “Anticipatory salivary flow to the sight of different foods”, *Appetite*, 5(4), 307-315.
- Cummings, N. A., & VandenBos, G. R. (1981) “The twenty years Kaiser-Permanente experience with psychotherapy and medical utilization: implications for national health policy and national health insurance”, *Health Policy Quarterly*.
- Davies, R., Hunter, L., Loyn, T., & Rees, J. (2008) “Sour sweets: a new type of erosive challenge? ”, *British dental journal*, 204(2), E3-E3.
- Dawes, C., O'Connor, A. M., & Aspen, J. M. (2000) “The effect on human salivary flow rate of the temperature of a gustatory stimulus”, *Archives of oral biology*, 45(11), 957-961.
- Dugmore, C. R., & Rock, W. P. (2004) “The prevalence of tooth erosion in 12-year-old children”, *British Dental Journal*, 196(5), 279-282.
- Edgar, W. M., O'Mullane, D. M., & Dawes, C. (Eds.). (2004) “Saliva and oral health (Vol. 146) ”, *London: British Dental Association*.
- Edwards, M., Ashwood, R. A., Littlewood, S. J., Brocklebank, L. M., & Fung, D. E. (1998) “A videofluoroscopic comparison of straw and cup drinking: the potential influence on dental erosion”, *British dental journal*, 185(5), 244-249.
- Eisenburger, M., Addy, M., Hughes, J. A., & Shellis, R. P. (2001) “Effect of time on the remineralisation of enamel by synthetic saliva after citric acid erosion”, *Caries research*, 35(3), 211-215.
- Eisenburger, M., Hughes, J., West, N. X., Shellis, R. P., & Addy, M. (2001) “The use of ultrasonication to study remineralisation of eroded enamel”, *Caries research*, 35(1), 61-66.

- Elias, A. C., & Sheiham, A. (1998) "The relationship between satisfaction with mouth and number and position of teeth", *Journal of oral rehabilitation*, 25(9), 649-661.
- Engelen, L., de Wijk, R. A., Prinz, J. F., van der Bilt, A., & Bosman, F. (2003) "The relation between saliva flow after different stimulations and the perception of flavor and texture attributes in custard desserts", *Physiology & behavior*, 78(1), 165-169.
- Featherstone, J. D. (1999) "Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride", *Community dentistry and oral epidemiology*, 27(1), 31-40.
- Fiorito, L. M., Marini, M., Mitchell, D. C., Smiciklas-Wright, H., & Birch, L. L. (2010) "Girls' early sweetened carbonated beverage intake predicts different patterns of beverage and nutrient intake across childhood and adolescence", *Journal of the American Dietetic Association*, 110(4), 543-550.
- Galli, F., Lodi, G., Sardella, A., & Vegni, E. (2017) "Role of psychological factors in burning mouth syndrome: A systematic review and meta-analysis", *Cephalalgia*, 37(3), 265-277.
- Gambon, D. L., Brand, H. S., & Veerman, E. C. I. (2012) "Dental erosion in the 21st century: what is happening to nutritional habits and lifestyle in our society?", *British dental journal*, 213(2), 55-57.
- Gambon, D. L., Brand, H. S., Boutkabout, C., Levie, D., & Veerman, E. C. (2011) "Patterns in consumption of potentially erosive beverages among adolescent school children in the Netherlands", *International dental journal*, 61(5), 247-251.
- Ganss, C., Klimek, J., & Giese, K. (2001) "Dental erosion in children and adolescents—a cross-sectional and longitudinal investigation using study models", *Community dentistry and oral epidemiology*, 29(4), 264-271.
- Ganss, C., Schlueter, N., Hardt, M., Schattenberg, P., & Klimek, J. (2008) "Effect of fluoride compounds on enamel erosion in vitro: a comparison of amine, sodium and stannous fluoride", *Caries research*, 42(1), 2-7.
- Gilmour, A. G., & Beckett, H. A. (1993) "The voluntary reflux phenomenon", *British dental journal*, 175(10), 368-372.
- Gow, A. M., & Hemmings, K. W. (2002) "The treatment of localised anterior tooth wear with indirect Artglass restorations at an increased occlusal vertical dimension. Results after two years", *The European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 10(3), 101-105.
- Grenby, T. H. (1996) "Methods of assessing erosion and erosive potential", *European journal of oral sciences*, 104(2), 207-214.

- Hannig, C., Berndt, D., Hoth-Hannig, W., & Hannig, M. (2009) "The effect of acidic beverages on the ultrastructure of the acquired pellicle—an in situ study", *Archives of oral biology*, 54(6), 518-526.
- Hannig, M., & Balz, M. (1999) "Influence of in vivo formed salivary pellicle on enamel erosion", *Caries research*, 33(5), 372-379.
- Hara, A. T., Ando, M., González-Cabezas, C., Cury, J. A., Serra, M. C., & Zero, D. T. (2006) "Protective effect of the dental pellicle against erosive challenges in situ", *Journal of dental research*, 85(7), 612-616.
- Harding, M. A., Whelton, H., O'Mullane, D. M., & Cronin, M. (2003) "Dental erosion in 5-year-old Irish school children and associated factors: a pilot study", *Community dental health*, 20(3), 165-170.
- Holbrook, W. P., Furuholm, J., Gudmundsson, K., Theodors, A., & Meurman, J. H. (2009) "Gastric reflux is a significant causative factor of tooth erosion", *Journal of dental research*, 88(5), 422-426.
- Holst, J. J., & Lange, F. (1939) "Perimyolysis.: A Contribution Towards the Genesis of Tooth Wasting from Non-Mechanical Causes", *Acta Odontologica Scandinavica*, 1(1), 36-48.
- Hughes, J. A., West, N. X., Parker, D. M., Van Den Braak, M. H., & Addy, M. (2000) "Effects of pH and concentration of citric, malic and lactic acids on enamel, in vitro", *Journal of dentistry*, 28(2), 147-152.
- Hussey, D. L., & Linden, G. J. (1986) "The efficacy of overdentures in clinical practice", *British dental journal*, 161(3), 104-107.
- Jaeggi, T., & Lussi, A. (1999) "Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study", *Caries Research*, 33(6), 455-461.
- Jaeggi, T., & Lussi, A. (2006) "Prevalence, incidence and distribution of erosion. *Dental erosion*, 20, 44-65.
- Hannig, C., Hannig, M., & Attin, T. (2005). Enzymes in the acquired enamel pellicle", *European journal of oral sciences*, 113(1), 2-13.
- Jarvinen, V. K., Rytomaa, I. I., & Heinonen, O. P. (1991) "Risk factors in dental erosion", *Journal of dental research*, 70(6), 942-947.
- Johansson, A. K., Johansson, A., Birkhed, D., Omar, R., Baghdadi, S., & Carlsson, G. E. (1996) "Dental erosion, soft-drink intake, and oral health in young Saudi men, and the development of a system for assessing erosive anterior tooth wear", *Acta Odontologica Scandinavica*, 54(6), 369-378.
- Johansson, A. K., Lingström, P., & Birkhed, D. (2002) "Comparison of factors potentially related to the occurrence of dental erosion in high-and low-erosion groups", *European journal of oral sciences*, 110(3), 204-211.

- Johansson, A. K., Lingström, P., Imfeld, T., & Birkhed, D. (2004) "Influence of drinking method on tooth-surface pH in relation to dental erosion", *European journal of oral sciences*, 112(6), 484-489.
- Jones, R. R. H., & Cleaton-Jones, P. (1989) "Depth and area of dental erosions, and dental caries, in bulimic women", *Journal of dental research*, 68(8), 1275-1278.
- Jugale P.V., Pramila M., Murthy A.K., Rangath S. "Oral Manifestations of Suspected Eating Disorders among Women of 20–25 Years in Bangalore City, India", *J. Health Popul. Nutr*, 2014;32:46–50.
- Kanno T, Carlsson GE. "A review of the shortened dental arch concept focusing on the work by the Kayser/Nijmegen group", *J Oral Rehabil* 2006; 33: 850–862.
- Kassebaum, N. J., Bernabé, E., Dahiya, M., Bhandari, B., Murray, C. J. L., & Marcenes, W. (2015) "Global burden of untreated caries: a systematic review and metaregression", *Journal of dental research*, 94(5), 650-658.
- Kay, W. D., & Abes, M. S. (1976) "Sensory perception in overdenture patients", *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 35(6), 615-619.
- Kelleher, M., & Bishop, K. (1999) "Tooth surface loss: an overview", *British Dental Journal*, 186(2), 61-66.
- Khan F, Young WG, Shahabi S, Daley TJ (1999) "Dental cervical lesions associated with occlusal erosion and attrition", *Aust Dent J* 44:176–186.
- Kvaavik, E., Andersen, L. F., & Klepp, K. I. (2005) "The stability of soft drinks intake from adolescence to adult age and the association between long-term consumption of soft drinks and lifestyle factors and body weight", *Public health nutrition*, 8(2), 149-157.
- Lambrechts, P., Braem, M., Vuylsteke-Wauters, M., & Vanherle, G. (1989) "Quantitative in vivo wear of human enamel", *Journal of dental research*, 68(12), 1752-1754.
- Lavigne GJ, Rompre PH, Montplaisir JY. (1996) "Sleep bruxism: validity of clinical research diagnostic criteria in a controlled polysomnographic study", *J Dent Res.*, 75:546-552.
- Lee, V. M., & Linden, R. W. (1992) "An olfactory-submandibular salivary reflex in humans. *Experimental Physiology*", *Translation and Integration*, 77(1), 221-224.
- Lelli, M., Putignano, A., Marchetti, M., Foltran, I., Mangani, F., Procaccini, M., ... & Orsini, G. (2014) "Remineralization and repair of enamel surface by biomimetic Zn-carbonate hydroxyapatite containing toothpaste: a comparative in vivo study", *Frontiers in physiology*, 5, 333.

- Lennon, A. M., Pfeffer, M., Buchalla, W., Becker, K., Lennon, S., & Attin, T. (2006) "Effect of a casein/calcium phosphate-containing tooth cream and fluoride on enamel erosion in vitro", *Caries research*, 40(2), 154-157.
- Lifante-Oliva, C., López-Jornet, P., Camacho-Alonso, F., & Esteve-Salinas, J. (2008) "Study of oral changes in patients with eating disorders", *International journal of dental hygiene*, 6(2), 119-122.
- Limeback, H. (Ed.). (2012) "Comprehensive preventive dentistry", *John Wiley & Sons*.
- Luk, G. D., Feldman, M., & Scharschmidt, B. F. (1998) Sleisenger/Fodran's Gastrointestinal and Liver Disease.
- Lussi, A. (Ed.). (2006) "Dental erosion: from diagnosis to therapy (Vol. 20)", *Karger Medical and Scientific Publishers*.
- Lussi, A., & Carvalho, T. S. (2014) "Erosive tooth wear: a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge", *Erosive tooth wear*, 25, 1-15.
- Lussi, A., & Schaffner, M. (2000) "Progression of and risk factors for dental erosion and wedge-shaped defects over a 6-year period", *Caries research*, 34(2), 182-187.
- Lussi, A., Hellwig, E., & Klimek, J. (2012) "Fluorides—mode of action and recommendations for use", *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin*, 122(11), 1030.
- Manevski, J., Stojšin, I., Vukoje, K., & Janković, O. (2020) "Dental aspects of purging bulimia", *Vojnosanitetski pregled*, 77(3).
- Mason, E., Yonel, B., & Yazici, B. (2017) "Deep learning for radar", *IEEE Radar Conference (RadarConf)* (pp. 1703-1708).
- Meyer, F., Enax, J., Epple, M., Amaechi, B. T., & Simader, B. (2021) "Cariogenic biofilms: Development, properties, and biomimetic preventive agents", *Dentistry Journal*, 9(8), 88.
- Millward, A., Shaw, L., Harrington, E., & Smith, A. J. (1997) "Continuous monitoring of salivary flow rate and pH at the surface of the dentition following consumption of acidic beverages", *Caries research*, 31(1), 44-49.
- Millward, A., Shaw, L., Harrington, E., & Smith, A. J. (1997) "Continuous monitoring of salivary flow rate and pH at the surface of the dentition following consumption of acidic beverages", *Caries research*, 31(1), 44-49.
- Milosevic, A., Brodie, D. A., & Slade, P. D. (1997) "Dental erosion, oral hygiene, and nutrition in eating disorders", *International Journal of Eating Disorders*, 21(2), 195-199.
- Moisset, X., Calbacho, V., Torres, P., Gremeau-Richard, C., & Dallel, R. (2016) "Co-occurrence of pain symptoms and somatosensory sensitivity in burning mouth syndrome: a systematic review", *PLoS One*, 11(9), e0163449.

- Moretto, M. J., Magalhães, A. C., Sassaki, K. T., Delbem, A. C. B., & Martinhon, C. C. R. (2010) "Effect of different fluoride concentrations of experimental dentifrices on enamel erosion and abrasion", *Caries Research*, 44(2), 135-140.
- O'Sullivan, E. A., & Curzon, M. E. (2000) "A comparison of acidic dietary factors in children with and without dental erosion", *ASDC journal of dentistry for children*, 67(3), 186-92.
- Packer, C. D. (2009) "Cola-induced hypokalaemia: a super-sized problem", *International journal of clinical practice*, 63(6), 833-835.
- Par, M., Tarle, Z., Hickel, R., & Ilie, N. (2018) "Polymerization kinetics of experimental bioactive composites containing bioactive glass", *Journal of Dentistry*, 76, 83-88.
- Rochette, A. L. (1973) "Attachment of a splint to enamel of lower anterior teeth", *The Journal of prosthetic dentistry*, 30(4), 418-423.
- Rytömaa, I., Järvinen, V., Kanerva, R., & P. Heinonen, O. (1998) "Bulimia and tooth erosion", *Acta Odontologica Scandinavica*, 56(1), 36-40.
- Schlueter, N., Amaechi, B. T., Bartlett, D., Buzalaf, M. A. R., Carvalho, T. S., Ganss, C., ... & Lippert, F. (2020) "Terminology of erosive tooth wear: consensus report of a workshop organized by the ORCA and the Cariology Research Group of the IADR", *Caries research*, 54(1), 2-6.
- Schlüter, N., Hara, A., Shellis, R. P., & Ganss, C. (2011) "Methods for the measurement and characterization of erosion in enamel and dentine", *Caries research*, 45(Suppl. 1), 13-23.
- Shetty, S., Pitti, V., Satish Babu, C. L., Surendra Kumar, G. P., & Deepthi, B. C. (2010) "Bruxism: a literature review", *The Journal of Indian prosthodontic society*, 10, 141-148.
- Shimizu, T., Deeley, K., Briseño-Ruiz, J., Faraco Jr, I. M., Poletta, F. A., Brancher, J. A., ... & Vieira, A. R. (2013) "Fine-mapping of 5q12. 1–13.3 unveils new genetic contributors to caries", *Caries research*, 47(4), 273-283.
- Skinner, J. D., Carruth, B. R., Bounds, W., Ziegler, P., & Reidy, K. (2002) "Do food-related experiences in the first 2 years of life predict dietary variety in school-aged children?", *Journal of nutrition education and behavior*, 34(6), 310-315.
- Smith, B. G. (1996) "A personal, historical view of the management of tooth wear", *British Dental Journal*, 180(6), 204-205.
- ten Cate, J. B. (2009) "The need for antibacterial approaches to improve caries control. *Advances in dental research*, 21(1), 8-12.

- Thierens, L. A., Moerman, S., Elst, C. V., Vercruysse, C., Maes, P., Temmerman, L., ... & De Pauw, G. A. (2019) "The in vitro remineralizing effect of CPP-ACP and CPP-ACPF after 6 and 12 weeks on initial caries lesion", *Journal of Applied Oral Science*, 27.
- Touyz, L. Z. (1994) "The acidity (pH) and buffering capacity of Canadian fruit juice and dental implications", *Journal (Canadian Dental Association)*, 60(5), 454-458.
- Tulek, A., Vieira, A. R., Weber, M. L., Bezamat, M., Deeley, K., Stenhagen, K. R., ... & Mulic, A. (2020) "Aquaporins' influence on different dental erosive wear phenotypes in humans", *Caries Research*, 54(2), 165-175.
- Voronets, J., & Lussi, A. (2010) "Thickness of softened human enamel removed by toothbrush abrasion: an in vitro study", *Clinical oral investigations*, 14, 251-256.
- Walsh, T., Worthington, H. V., Glenny, A. M., Marinho, V. C., & Jeroncic, A. (2019) "Fluoride toothpastes of different concentrations for preventing dental caries", *Cochrane database of systematic reviews*, (3).
- Wetton, S., Hughes, J., West, N., & Addy, M. (2006) "Exposure time of enamel and dentine to saliva for protection against erosion: a study in vitro", *Caries research*, 40(3), 213-217.
- Wiegand, A., & Attin, T. (2007) "Occupational dental erosion from exposure to acids—a review", *Occupational Medicine*, 57(3), 169-176.
- Wiegand, A., Bliggenstorfer, S., Magalhaes, A. C., Sener, B., & Attin, T. (2008) "Impact of the in situ formed salivary pellicle on enamel and dentine erosion induced by different acids", *Acta Odontologica Scandinavica*, 66(4), 225-230.
- Wilder-Smith, M. A., Bakry, A. S., Alshehri, N. I., Alghamdi, T. M., Rafiq, S. A., Aljeddawi, D. H., ... & Hassan, A. H. (2019) "45S5 Bioglass paste is capable of protecting the enamel surrounding orthodontic brackets against erosive challenge", *journal of orthodontic science*, 8.
- Yu, H., Wegehaupt, F. J., Wiegand, A., Roos, M., Attin, T., & Buchalla, W. (2009) "Erosion and abrasion of tooth-colored restorative materials and human enamel", *Journal of Dentistry*, 37(12), 913-922.
- Zafersoy Z, Kayaoğlu G, Can H, Üçtaşlı M. "Çürük içeren ve çürük içermeyen servikal lezyonların etiyolojilerinin klinik olarak değerlendirilmesi", *Türkiye Klinikleri J Dental Sci*, 8: 86-91, 2002.
- Zero, D. T., & Lussi, A. (2000) "Etiology of enamel erosion: intrinsic and extrinsic factors", *Tooth wear and sensitivity*, 121-139.