

Diş Minesinde Bulunan Eser Elementlerin Mine Yapısı Üzerindeki Etkisi

Effect of Trace Elements in Dental Enamel on Enamel Structure

Çiçek KORKMAZ TORUN¹, Furkan Alp TORUN², Zeynep ÖKTE³

ABSTRACT

Hydroxyapatite crystals are not pure and consist mainly of calcium, phosphate, and hydroxyl ions, along with various trace elements found in enamel. Studies have identified up to 16 trace elements, some enhancing resistance to dental caries while others increase susceptibility. Chromium, cobalt, and nickel can substitute for calcium in the crystal structure. Molybdenum and iron exhibit anticariogenic effects, whereas selenium, copper, boron, and magnesium are associated with greater caries risk. Manganese, especially at high levels, is linked to increased caries prevalence due to its association with oral streptococci. Titanium has been reported to improve enamel by making it whiter and harder. Lead exposure is associated with enamel hypoplasia and a higher incidence of caries, with salivary lead levels showing a positive correlation with decay in children. Potassium is also linked to higher caries rates, while zinc enhances enamel resistance to acid. Aluminum is found in higher concentrations in sound enamel and dentin compared to carious tissues, whereas sodium levels are lower in carious samples. Strontium may help prevent caries formation, and there is currently insufficient evidence regarding the role of sulfur.

ÖZET

Hidroksiapatit kristalinin saf halde olmadığı ve temelde kalsiyum, fosfat ve hidroksil iyonlarından oluştuğu ve minenin birçok inorganik element de içerdiği görülmektedir. Bunlar eser elementlerdir. Yapılan çalışmalar diş minesinde 16 eser elementin varlığını göstermiştir. Bunların bir kısmı minenin çürüğe direncini arttırırken diğerleri mineyi çürüğe duyarlı hale getirmektedir. Krom, kobalt ve nikel; hidroksiapatitte kalsiyum ile yer değiştirebilir. Molibdenin dişler üzerinde karyostatik etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Mangan, doğrudan oral streptokoklarla ilişkili bir mikro besindir ve bu elementin yüksek konsantrasyonları, artan çürük prevalansı ile ilişkilendirilmiştir. Titanyumun diş minesini daha beyaz ve sert hale getirerek faydalı olduğu bildirilmiştir. Kurşuna maruz kalan çocuklarda mine hipoplazisi yüksek bulunmuştur. Çürük dişe sahip çocuklarda tükürük kurşun seviyeleri ile çürük gelişimi arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Selenyumun dişleri çürük saldırısına karşı daha duyarlı hale getirebileceği bildirilmiştir. Demir, antikaryojenik etkiye sahiptir. Bakır, çürük oluşumuna destek bir madde olarak tanımlanmıştır. Borun dişleri çürük oluşumuna duyarlı hale getirdiği öne sürülmüştür. Sağlam mine ve dentinde, çürük olanlara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek alüminyum görülmüştür. Potasyum, yüksek çürük insidansı ile ilişkilendirilmiştir. Çinko, asitlere karşı karşı direnci arttırmaktadır. Magnezyumun diş minesinin çürüğe arttırmaktadır. Kükürt ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Çürüklü örneklerde sodyum konsantrasyonunun sağlıklı örneklerle göre daha düşük olduğu görülmüştür. Stronsiyumun çürük oluşumunu engellediği öne sürülmektedir.

Geliş Tarihi

16.02.2026

Kabul Tarihi

11.04.2026

Yayın Tarihi

30.04.2026

Keywords

Trace elements;
Dental enamel;
Hydroxyapatite

Submit Date

16.02.2026

Accept Date

12.03.2026


Publish Date

11.04.2026

Anahtar Kelimeler

Eser element,
Diş minesini,
Hidroksiapatit

* Makale hakkında ek bilgiler / Additional information about the article.

1  Karedent Denatal Health, Ankara, Turkey, cicekkorkmaz@gmail.com

2  İncirli Denatal Health, Ankara, Turkey

3  Ankara University, Faculty of Dentistry, Department of Pedodontology, Ankara, Turkey



Bu çalışma Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.
This study is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 License

Giriş

İnsan vücudunun en sert dokusu olan diş minesi, yüksek oranda mineralize bir yapıdır. Yapısında %92-96 inorganik, %1-2 organik ve %3-4 su bileşenleri içermektedir (Qamar, 2019). İnorganik olarak çoğunlukla $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ (kalsiyum hidroksiapatit) formülüne sahip hidroksiapatit (HAp) kristallerinden oluşmaktadır (Qamar, 2019). Mine oluşumu sırasında ortamda mevcutsa, çeşitli iyonlar -stronsiyum, magnezyum, kurşun ve florür vb.- kristallere dahil olabilmektedirler (Nanci, 2017). Yaşam boyunca diş etkenlerle yapıya dahil olan, flor, magnezyum, sodyum ve kanıtlanan diğer 40 kimyasal element sayesinde HAp kristali, karma ve düzensiz bir yapı şeklini almaktadır (Berkowitz vd., 1992, s. 479).

1. Mine Yapısına Katılan Eser Elementler

HAp kristalinin saf halde olmayıp ve temel olarak kalsiyum (Ca), fosfat (PO_4^{3-}) ve hidroksil (OH) iyonlarından oluştuğu ve minenin gelişimi sırasında kristal yapıya katılan çok küçük miktarlarda birçok inorganik element de içerdiği görülmektedir (Shashikiran vd., 2007, s. 157). Bunlara eser element adı verilmekte ve diş gelişimde rol oynayan oral epitel ve mezenşimal hücrelerde depolanarak mineralizasyon sırasında apatit ağı içerisine dahil olmaktadır. Bu nedenle dişin eser element yapısı, diş gelişim döneminde içinde bulunduğu biyolojik ortamla, sürme sonrası içinde bulunduğu oral çevrenin bir yansıması olarak kabul edilir (Sarkar ve Roychowdhury, 1997, s. 121).

Yapılan çalışmalar diş minesinde 16 eser elementin varlığını göstermiştir (potasyum (K), flor (F), sodyum (Na), demir (Fe), alüminyum (Al), çinko (Zn), magnezyum (Mg), klor (Cl), bakır (Cu), vanadyum (V), molibden (Mo), stronsiyum (Sr), titanyum (Ti), bor (B), kurşun (Pb), lityum (Li)). Bunların bir kısmı minenin çürüğe karşı direncini artırırken diğerleri mineyi çürüğe duyarlı hale getirmektedir. Apatit yapı için “yabancı cisim” olarak kabul edilen eser elementler, kristal yapının asitler karşısındaki stabilitesini değiştirerek minenin çözünürlüğünü etkilemektedirler (Besic vd., 1975, s. 594).

1.1.Molibden

Molibden(Mo) ve çürük üzerindeki rolünü değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmaların birçoğunda Mo'nun dişler üzerinde karyostatik etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Macaristan'da yaşayan çocuklar üzerinde yapılan bir çalışmada, suda Mo bulunan bölgede, bulunmayan bölgedeki çocuklara kıyasla daha az diş çürüğü prevalansı kaydedilmiştir (Adler ve Straub, 1953, s. 221).

Mo'nun çürük önleyici etki şekli kesin olarak bilinmemekle beraber Mo, mine çözünürlüğünü, bakteriyel asit üretimini ve/veya dişlerin morfolojisini etkileyebilir. Sürme öncesi ve sürme sonrası dönemde minenin yapısına katılabilir ve böylece fiziksel, kimyasal özelliklerini etkileyebilir (Zohoori ve Duckworth, 2019).

1.2.Mangan

Yapılan çeşitli çalışmalar, Mangan(Ma)'nın alan boyutunu koruyarak sentetik HAp'nin yapısına dahil olabildiğini göstermiştir (Li vd., 2012, s. 754).

Mn, doğrudan oral streptokoklarla ilgili bir mikro besindir ve bu elementin yüksek konsantrasyonlarda bulunması, artan çürük yoğunluğu ile ilişkilendirilmiştir (Rolerson vd., 2006, s. 5033). Arirachakaran ve ark. yaptıkları bir çalışmada, Mn'nin bazı *Streptococcus mutans* (*S. mutans*) virülans genlerinin ekspresyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Glukan bağlayıcı protein C (GbpC) geninin ekspresyonu üzerine ve bu genin ekspresyonunun artmasına Mn'nin etkisi ortaya konmuş olup ilgili elementin karyojenik potansiyele sahip olduğu öne sürülmektedir (Arirachakaran vd., 2007, s. 503). Çürük lezyonu mevcut olan çocuk grubunda Mn düzeyleri, olmayan gruba göre daha yüksek bulunmuş olan Poletto ve ark. yaptıkları çalışmanın sonuçları da bu çalışmayı destekler niteliktedir (Poletto vd., 2021, s. 63).

İçme suyundaki yüksek Mn konsantrasyonunun önceki çalışmalarla uyumlu olarak, aynı sosyo-ekonomik geçmişe sahip, süt veya daimi dişlere sahip çocuklarda diş çürüğü yoğunluğunu arttırdığı tespit edilmiştir (Tsanidou vd., 2015, s. 404).

Poletto ve ark. yaptıkları çalışmada Mn konsantrasyonu, çürük mevcut olan grupta olmayan gruba göre anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur (Poletto vd., 2021, s. 63). Bu eser elementin çürük prevalansındaki rolü tam netlike kazanmamış olsa da, seviyesi ile diş çürükleri arasında bir ilişki olduğunu öne sürmek için yeterli kanıt mevcuttur (Sekhri vd., 2018a, s. 135).

1.3. Titanyum

Biyoy-uygulamalar alanında yaygın olarak kullanılan bir metal olan Titanyum (Ti) (Niinomi, 2002, s. 477), şeker, tatlı ve sakız gibi yiyecekler yoluyla vücut tarafından emilmektedir (Weir vd., 2012, s. 2242).

Ghadimi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada minedeki Ti konsantrasyonu ile diş sertliği, hafifliği ve apatit kristal alan boyutu arasında güçlü bir pozitif ilişki tespit edilmiştir (Ghadimi vd., 2013, s. 499).

Yapılan çalışmalar, kristaller ve alan boyutu ile Ti'nin optik özellikleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kristal alan boyutu ne kadar büyük olursa, şeffaflığın o kadar yüksek olduğunu belirtir. Bunun nedeni, küçük kristallerden oluşan minenin daha fazla ışık saçabilmesidir (Eimar vd., 2012, s. 3400). Kristal alan ve nanokristal boyutu arasında ters bir ilişki olması sebebiyle minenin boyut, dolayısıyla sertliğini artırır (Qamar vd., 2017, s. 116).

1.4. Kurşun

Gerlach tarafından yapılan araştırmalar, yüksek kurşun (Pb) konsantrasyonlarına maruz kalan dişlerin, olgun ve gelişmekte olan minedeki makroskopik varyasyonlar göstermediğini açıklamıştır (Gerlach vd., 2002, s. 175). Düşük konsantrasyonda HAp tarafından Pb absorpsiyonu kristal boyutunu azaltmaktadır (Qamar vd., 2017, s. 116). Brudevold, diş minesinde daha yüksek Pb bulunan kişilerde, normal bireylere göre flor oranının yüksek olmasına karşın, diş çürüğü belirtilerinin daha yaygın olduğunu tespit etmiştir (Brudevold vd., 1977, s. 1165).

Needleman ve ark.'nın yaptıkları bir çalışmada, süt dişlerinde yeni çürük lezyonlarının gelişiminde Pb'nin rolü tespit edilmiştir (Needleman vd., 1972, s. 111). Erken çocukluk çağı çürüklerinde tükürükte bulunan Pb seviyeleri ile çürük gelişimi arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur (Pradeep ve Hegde, 2013, s. 71).

1.5. Selenyum

Selenyum(Se), insan vücudunun hücresel fonksiyonları için önemli bir eser elementtir. Antioksidan enzimlerde ve fonksiyonel protein moleküllerindeki oksidatif stresi azaltmada önemli bir rol oynamaktadır (Xu vd., 2022, s. 5809).

Yapılan bir çalışmada, Se'nin dişleri çürük saldırısına karşı daha duyarlı hale getirebileceği tespit edilmiştir (Hadjimarkos vd., 1952, s. 451).

Eser elementlerin diş çürüğünün önlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada Se iyonlarının diş çürüğü riskini azalttığı tespit edilmiştir (Curzon ve Crocker, 1978, s. 647). Sekhri vd., (2018a, s. 135). yaptıkları çalışmada; Se, çürük aktif grupta daha fazla miktarda bulunmasına rağmen, çürüksüz ve çürük aktif grup arasında değerler açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır.

1.6. Demir

Demir(Fe) diğerleriyle karşılaştırıldığında dentinde daha fazla mevcuttur. Minede ise farklı katmanlarda farklı miktarlarda bulunmaktadır. Diş katmanda, alt ve iç katmanlara göre daha fazla bulunmakla birlikte, bu durum Fe

elementinin mineye dış ortamdaki dahil olup kalsifikasyon sırasında birikmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir (Qamar vd., 2017, s. 116).

S. mutans, biyofilmde bulunan en karyojenik bakterilerden biri olarak kabul edilirken, (Hamada vd., 1984, s. 407) sükröz en karyojenik diyet şekeri olarak kabul edilmektedir (Paes vd., 2006, s. 878). Fe bu faktörlerin her ikisine de etki ederek antikaryojenik bir etkiye sahiptir (Ribeiro vd., 2012, s. 300).

Etki mekanizması açısından, Fe'nin, *S. mutans*'ın F-ATPaz'ını inhibe etmesiyle antikaryojenik etkiye sahip olabileceği ileri sürülmüştür (Dunning vd., 1998, s. 27). Sonuç olarak, Fe, *S. mutans*'ın asidojenitesi ile birlikte asitlik derecesini de etkileyebilmektedir. Bununla birlikte Fe, sükröz metabolizmasına müdahale ederek, *S. mutans*'ın virülans faktörleri olarak kabul edilen hücre dışı polisakaritlerin üretimini azaltabilmektedir (Bowen ve Koo, 2011, s. 69).

Fe'nin, dış biyofilmindeki şeker metabolizmasının yanı sıra, mine yüzeyinde bakteri kolonizasyonu üzerinde de etkiye sahip olabileceği ve laktik asit üretimini azaltabileceği ileri sürülmüştür (Dunning vd., 1998, s. 27). Kemirgenler üzerinde yapılan bir çalışmada Fe'nin ağız boşluğundaki *streptokokların* kolonizasyonuna müdahale edebildiği görülmüştür (Emilsson ve Krasse, 1972; Miguel vd., 1997; Rosalen vd., 1996).

1.7. Bakır

Bakır (Cu), çürük oluşumuna sebep olan bir element olarak tanımlanmıştır (Peetikail vd., 2013.). Sağlıklı dişlere kıyasla çürük olanlarda daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Artan çürük prevalansının su, gıda, toprak veya sebzelerde Cu bulunmasıyla ilişkili olduğu öne sürülmüştür (Pathak vd., 2016, s. 12). Riyat ve Sharma'nın yaptıkları çalışmada çürük dişlerde Cu elementinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır (Riyat ve Sharma, 2009, s. 129).

Öte yandan, Sekhri vd. (2018a, s. 135), çürük lezyonu olmayanlarda, çürük lezyonu olanlarla karşılaştırıldığında yüksek Cu seviyeleri bulmuşlar ve Cu diş yüzeyinin çürüğe karşı direncini değişme kabiliyeti nedeniyle, eser elementlerin çürüğe karşı duyarlılığı etkileyebileceğini öne sürmüşlerdir.

Ayrıca, Hedge vd. (2014, s. 170), erişkinlerde Cu konsantrasyonundaki artışın, aktif çürük lezyonlarının varlığında antioksidan enzimlerin artan aktivitesi ile ilişkili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

1.8. Bor

Borun (B) dişin mine, dentin ve sement dokusundaki etkisi belirsizdir (Hakkı vd., 2015, s. 208). Riyat ve Sharma (2009, s. 129)'nın yaptıkları çalışmaya göre çürük oluşumu sırasında meydana gelen mineral kaybına karşın çürük dişlerde B miktarında önemli bir artış tespit edilmiştir. Bu durum, B'nin dişleri çürük oluşumuna duyarlı hale getirme olasılığına sahip olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Haro-Durand vd. (2010, s. 242), B eksikliğinin diş minesinin kalınlığı ve kimyasal yapısı üzerindeki etkisini araştırmak için yaptıkları çalışmada B-eksikliği olan bir diyetle (0,07 mg B/kg) beslenenlerde, mine kalınlığında bir azalma izlenmiştir, ancak gelişen diş minesinin mineralizasyonunda önemli bir değişiklik görülmemiştir.

1.9. Alüminyum

Alüminyum (Al), vücutta mevcut olan ve çeşitli yollarla vücut tarafından emilebilen elementlerden biridir (Oke, 1964, s. 1266). Yüksek Al içeriği mine renginde değişikliğe neden olabilmektedir (Alfrey vd., 1976, s. 184).

Ghadimi vd. (2013, s. 499) Tarafından Al konsantrasyonu ile mine çatlaklarının uzunluğu arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Buna göre daha düşük Al konsantrasyonuna sahip minenin, daha uzun çatlaklara sahip olma eğiliminde olduğunu iddia etmişlerdir. Ancak bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

314 süt dişi üzerinde yapılan bir çalışmada, sağlam mine ve dentinde, çürük mevcut olanlara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek Al konsantrasyonu tespit edilmiştir (Tanaka vd., 2004, s. 149).

Al'nin potansiyel karyostatik etkisinin birincil mekanizması, hem sağlam hem de demineralize mine yüzeyine sabit bir şekilde dahil olmasıyla ilişkilidir (Rupesh vd., 2010; Putt ve Kleber, 1985a). Bu durum sert dokuda, bu dokuya sıkı bir şekilde bağlanmış, asitte kolaylıkla çözünmeyen $AlPO_4$ tipi bileşiklerin oluşumuyla sonuçlanmaktadır (Kleber ve Putt, 1985b, s. 1374).

Asidik koşullarda Ca eksikliği olan bir HAP kafes ortamı oluşması sebebiyle, Al ve apatit fosfat arasındaki etkileşimin daha kararlı, çözünmez bir mineral oluşumundan dolayı tercih edilebileceği ileri sürülmüştür (Ten Cate ve Duijsters, 1982, s. 201). Bu sebeple Al, sağlam mine yüzeyi veya yeni başlayan lezyonlar içinde asitte kolayca çözünmeyen reaksiyon ürünleri oluşturarak çürüğün başlamasını ve ilerlemesini engelleyebilmektedir (Kleber ve Putt, 1994, s. 401).

1.10. Potasyum

Potasyum(K), minenin tüm kalınlığı boyunca eşit dağılıma sahip olmakla birlikte (Cardenas vd., 2014), yüksek çürük insidansı ile ilişkilendirilmiştir. Bu eser elementin çürük prevalansındaki rolü tam netlik kazanmamış olsa da, miktarı ile diş çürüğü arasında bir ilişki olduğunu öne sürmek için yeterli kanıt mevcuttur (Sekhri vd., 2018; Hussein vd., 2013; Duggal vd., 1991; Borella vd., 1994).

1.11. Çinko

Dış mine tabakasında yüzey altına göre daha yüksek oranda çinko (Zn) bulunmakta (Brudevold vd., 1963, s. 135) ve dişin farklı yüzeylerinde değişen 430 ila 2100 ppm aralığındadır. Minedeki Zn'nin büyük bir kısmı diş sürmeden önce birikir ve sürme sonrasındaki birikme düzensizdir (Qamar vd., 2017, s. 116).

Sentetik l eyer yapılan çalışmalar, Zn'nin Ca l eyer değiştirerek apatit tarafından kolayca alındığını ve apatit kristaline yerleşerek Hap'I asit çözünmesine karşı dirençli hale getirdiğini göstermiştir (Fatima vd., 2016, s. 1019).

Bakteri hücrelerinin sitoplazma ve glikolitik enzimlerinin Zn ortak hedefleri olduğu öne sürülmektedir. Phan ve ark., yaptıkları çalışmada, Zn'nin *S. Mutans*'in glikoliz sürecini engelleme yeteneği tespit edilmiştir (Phan vd., 2004, s. 31).

1.12. Magnezyum

Ca'nın Magnezyum (Mg) ile sınırlı yer değiştirmesinin kristallerin stabilitesini değiştirebileceği ve kristal boyutunu ve kristallığı azalttığı öne sürülmektedir (Ren vd., 2010, s. 2787).

Dış minesinin yaklaşık %1'i organik ve Robins ve ark. tarafından Mg'nin bu bölümle ilişkili olabileceği iddia edilmektedir. Mg'nin mine proteini ile ilişkili olma olasılığının üzerinde durmuşlar, ancak doğrudan bir ilişki ispat edememişlerdir; bununla beraber diş minesindeki Mg dağılımı, protein dağılımı modeline benzer görünmektedir ve yüksek Mg konsantrasyonları, genellikle yüksek protein konsantrasyonları ile ilişkilendirilen düşük yoğunluklu bölgelerde oluşma eğilimindedir (Robinson vd., 1981, s. 70).

Mine yoğunluğu ve Mg içeriği arasında negatif bir ilişki olması dikkat çekmektedir (Robinson vd., 1981, s. 70). Diş minesinin çürüğe duyarlılığı ilişkili olduğundan bahsedilmektedir (Hallsworth vd., 1972 ve Weatherell vd., 1974, s. 180).

1.13. Sodyum

Sodyum (Na) benzeri çeşitli eser elementler, mine oluşumu sırasında ağız ortamında mevcut olduklarında. mine prizmalarının yapısına dahil olabilmektedir (Cardenas vd., 2014).

M. A. Amr (2011, s. 6)'ın yaptığı çalışmada, çürüklü dişlerde Na konsantrasyonunun sağlıklı olanlara kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Na ile ilgili bu alanda yeterli çalışma mevcut değildir.

1.14. Stronsiyum

Bir element olarak, kimyasal ve fiziksel özelliklerde Ca'ya yakın benzerliğe sahip olan stronsiyum (Sr), benzer iyonik yarıçapa ve değerliğe sahiptir. Bu sebeple hidroksiapatitin yapısını bozmadan Ca'nın yerini alabilmektedir (Ngo vd., 2006, s. 608). Yapılan birçok epidemiyolojik çalışma, bu benzerlikleri nedeniyle, HAp'de Ca'nın yerini alabilen Sr'nin (Fujimoto vd., 2010; Hodge vd., 1946; Elliott, 1973), antikaryojenik etkisini ileri sürmüşlerdir (Little ve Barrett, 1976; Curzon ve Losee, 1977; Athanassouli vd., 1983). Dedhiya vd. (1973, s. 1097) tarafından yapılan bir çalışmada sentetik Hap üzerinde karyojenik saldırılar oluşturulmuş ve Ca-Sr apatit yüzey kompleksinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durumun yüzey kompleksinin çözünme reaksiyonunun yönetebileceği öne sürülmüştür.

Sr'nin mine HAP'ına dahil olmasının kristallerin toplam yüzey alanını azalttığı ve bunun kristallerin asit demineralizasyonuna karşı daha az duyarlı hale getirebileceği öne sürülmüştür (Legeros vd., 1976, s. 362).

Yüksek Sr içeriğinin diş çürüğü insidansını düşürdüğü öne sürülmektedir (Curzon ve Losee, 1977, s. 321). Yapılan başka bir epidemiyolojik çalışmada da insanda yüksek Sr içeriği olması durumunda düşük çürük insidansı olduğu kanıtlanmıştır (Barnes vd., 1970, s. 769).

Sonuç

Eser elementler insan vücuduna çeşitli kaynaklardan girmektedirler (Kampa ve Castanas, 2008; Malczewska ve Phosphorus, 2012). Diş minesini yapısına dahil olurlar ve minenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilerler (Ghadimi vd., 2013, s. 499). Eser elementler, çok küçük miktarlarda bile, mine dayanıklılığını ve çürüğe karşı hassasiyeti etkileyebilirler (Sekhri vd., 2018b, s. 135).

Kaynakça

1. Qamar Z, Haji Abdul Rahim ZB, Neon GS, Chew HP, Zeeshan T. Effectiveness of poly-γ-glutamic acid in maintaining enamel integrity. Arch Oral Biol. 2019;106:104482.. Published online 2019 July 15. doi:10.1016/j.archoralbio.2019.104482
2. Nanci A. Ten Cate's Oral Histology-e-book: development, structure, and function. 10th ed. Elsevier Health Sciences; 2017. vol. Series.
3. Berkovitz BK, Robinson S, Moxham BJ, Patel D. Ultrastructural quantification of collagen fibrils in the central region of the articular disc of the temporomandibular joint of the cat and the guinea pig. Arch Oral Biol. 1992;37(6):479-481
4. Shashikiran ND, Subba Reddy VV, Hiremath MC. Estimation of trace elements in sound and carious enamel of primary and permanent teeth by atomic absorption spectrophotometry: an *in vitro* study. Indian J Dent Res. 2007;18(4):157-162.
5. Sarkar S, Roychowdhury P. Chemical analysis of sound and carious enamel of permanent tooth. J Indian Soc Pedod Prev Dent. 1997;15(4):121-123.

6. Besic FC, Bayard M, Wiemann MR, Jr., Burrell KH. Composition and structure of dental enamel: elemental composition and crystalline structure of dental enamel as they relate to its solubility. *J Am Dent Assoc.* 1975;91(3):594-601.
7. Adler P, Straub J. A water-borne caries-protective agent other than fluorine. *Acta Med Acad Sci Hung.* 1953;4(3-4):221-7.
8. Zohoori FV, Duckworth RM. Chapter 5: Microelements: Part II: F, Al, Mo and Co. *Monogr Oral Sci.* 2020;28:48-58. Accepted manuscript. Published online 2019 November 07.
9. Li Y, Widodo J, Lim S, Ooi C. Synthesis and Cytocompatibility of Manganese (II) and Iron (III) Substituted Hydroxyapatite Nanoparticles. *Journal of Materials Science.* 2012;47:754-763.
10. Rolerson, E., Swick, A., Newlon, L., Palmer, C., Pan, Y., Keeshan, B., Spatafore, G. The SloR/Dlg metalloregulator modulates *Streptococcus mutans* virulence gene expression. *Journal of Bacteriology.* 2006;188(14):5033-5044.
11. Arirachakaran P, Benjavongkulchai E, Luengpailin S, Ajdić D, Banas JA. Manganese affects *Streptococcus mutans* virulence gene expression. *Caries research.* 2007;41(6):503-511. Published online 2007 November 08.
12. Poletto AC, Singi P, Barri RM, Casanova AA, Garbelini CCD, Silva CCD, Venancio, EJ. Relationship of levels of trace elements in saliva and dental caries in preschool children using total reflection X-ray fluorescence technique (TXRF)★. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* 2021;63:126663.
13. Tsanidou E, Nena E, Rossos A, Lendengolts Z, Nikolaidis C, Tselebonis A. Caries prevalence and manganese and iron levels of drinking water in school children living in a rural/semi-urban region of North-Eastern Greece. *Environ Health Prev Med.* 2015;20(6):404-409. Published online 2015 July 19.
14. Sekhri P, Sandhu M, Sachdev V, Chopra R. Estimation of Trace Elements in Mixed Saliva of Caries Free and Caries Active Children. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry.* 2018;42(2):135-139.
15. Niinomi M. Recent metallic materials for biomedical applications. *Metallurgical and Materials Transactions A.* 2002;33(3):477-486.
16. Weir A, Westerhoff P, Fabricius L, Hristovski K, von Goetz N. Titanium Dioxide Nanoparticles in Food and Personal Care Products. *Environmental Science & Technology.* 2012;46(4):2242-2250.
17. Ghadimi E, Eimar H, Marelli B, Nazhat SN, Asgharian M, Vali H, Tamimi, F. Trace elements can influence the physical properties of tooth enamel. *SpringerPlus.* 2013;2:499.
18. Eimar H, Ghadimi E, Marelli B, Vali H, Nazhat SN, Amin WM, Torres, J, Ciobanu, O, Albuquerque Junior, RF, Tamimi, F. Regulation of enamel hardness by its crystallographic dimensions. *Acta Biomater.* 2012;8(9):3400-3410. Published online 2012 June 08.
19. Qamar Z, Rahim Z, Chew HP, Fatima T. Influence of trace elements on dental enamel properties: A review. *J Pak Med Assoc.* 2017;67(1):116-120.
20. Gerlach RF, Cury JA, Krug FJ, Line SR. Effect of lead on dental enamel formation. *Toxicology.* 2002;175(1-3):27-34.
21. Brudevold F, Aasenden R, Srinivasian BN, Bakhos Y. Lead in enamel and saliva, dental caries and the use of enamel biopsies for measuring past exposure to lead. *J Dent Res.* 1977;56(10):1165-1171.
22. Needleman HL, Tuncay OC, Shapiro IM. Lead levels in deciduous teeth of urban and suburban American children. *Nature.* 1972;235(5333):111-112.
23. Pradeep KKN, Hegde AM. Lead exposure and its relation to dental caries in children. *The Journal of clinical pediatric dentistry.* 2013;38(1):71-74.
24. Xu VW, Nizami MZI, Yin IX, Lung CYK, Yu OY, Chu CH. Caries Management with Non-Metallic Nanomaterials: A Systematic Review. *Int J Nanomedicine.* 2022;17:5809-5824. Published online 2022 November 30.
25. Hadjimarkos DM, Storvick CA, Remmert LF. Selenium and dental caries; an investigation among school children of Oregon. *J Pediatr.* 1952;40(4):451-455.
26. Curzon ME, Crocker DC. Relationships of trace elements in human tooth enamel to dental caries. *Arch Oral Biol.* 1978;23(8):647-653.
27. Hamada S, Koga T, Ooshima T. Virulence factors of *Streptococcus mutans* and dental caries prevention. *J Dent Res.* 1984;63(3):407-411.
28. Paes Leme AF, Koo H, Bellato CM, Bedi G, Cury JA. The role of sucrose in cariogenic dental biofilm formation--new insight. *J Dent Res.* 2006;85(10):878-887.

29. Ribeiro CC, Ccahuana-Vásquez RA, Carmo CD, Alves CM, Leitão TJ, Vidotti LR, et al. The effect of iron on *Streptococcus mutans* biofilm and on enamel demineralization. *Braz Oral Res.* 2012;26(4):300-305.
30. Dunning JC, Ma Y, Marquis RE. Anaerobic killing of oral streptococci by reduced, transition metal cations. *Appl Environ Microbiol.* 1998;64(1):27-33.
31. Bowen WH, Koo H. Biology of *Streptococcus mutans*-derived glucosyltransferases: role in extracellular matrix formation of cariogenic biofilms. *Caries Res.* 2011;45(1):69-86.. Published online 2011 February 23.
32. Emilson CG, Krasse B. The effect of iron salts on experimental dental caries in the hamster. *Arch Oral Biol.* 1972;17(10):1439-1443.
33. Miguel JC, Bowen WH, Pearson SK. Effects of iron salts in sucrose on dental caries and plaque in rats. *Arch Oral Biol.* 1997;42(5):377-383.
34. Rosalen PL, Pearson SK, Bowen WH. Effects of copper, iron and fluoride co-crystallized with sugar on caries development and acid formation in deslivated rats. *Arch Oral Biol.* 1996;41(11):1003-1010.
35. Peedikayil FC, Kumar SK, Thangavelu M. Estimation of trace elements in sound and carious enamel of primary teeth by atomic emission spectrometry. *Health Sciences.* 2013;2(1):JS005B. PMID: 17938490
36. Pathak MU, Shetty V, Kalra D. Trace elements and oral health: A systematic review. *Journal of Advanced Oral Research.* 2016;7(2):12-20.
37. Riyat M, Sharma DC. Analysis of 35 inorganic elements in teeth in relation to caries formation. *Biol Trace Elem Res.* 2009;129(1-3):126-129. Published online 2009 January 08.
38. Hegde MN, Hegde ND, Ashok A, Shetty S. Biochemical indicators of dental caries in saliva: an *in vivo* study. *Caries Res.* 2014;48(2):170-173. Published online 2014 February 04.
39. Hakki SS, Siddik M., Dundar N, Kayis SA, Hakki EE, Hamurcu M, Baspinar, N, Basoglu, A, Nielsen, FH, Götz, W. Dietary boron does not affect tooth strength, micro-hardness, and density, but affects tooth mineral composition and alveolar bone mineral density in rabbits fed a high-energy diet. *J Trace Elem Med Biol.* 2015;29:208-215.
40. Haro Durand LA, Mesones RV, Nielsen FH, Gorustovich AA. Histomorphometric and microchemical characterization of maturing dental enamel in rats fed a boron-deficient diet. *Biol Trace Elem Res.* 2010;135(1-3):242-252. Published online 2009 September 15.
41. Oke OL. Chemical studies on corchorus. *Indian J Med Res.* 1964;52:1266-1272.
42. Alfrey AC, LeGendre GR, Kaehny WD. The dialysis encephalopathy syndrome. Possible aluminum intoxication. *N Engl J Med.* 1976;294(4):184-188.
43. Tanaka T, Maki K, Hayashida Y, Kimura M. Aluminum concentrations in human deciduous enamel and dentin related to dental caries. *J Trace Elem Med Biol.* 2004;18(2):149-154.
44. Rupesh S, Winnier JJ, Nayak UA, Rao AP, Reddy NV. Comparative evaluation of the effects of an alum-containing mouthrinse and a saturated saline rinse on the salivary levels of *Streptococcus mutans*. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2010;28(3):138-144.
45. Putt MS, Kleber CJ. Dissolution studies of human enamel treated with aluminum solutions. *J Dent Res.* 1985;64(3):437-440.
46. Kleber CJ, Putt MS. Uptake and retention of aluminum by dental enamel. *J Dent Res.* 1985;64(12):1374-1376.
47. ten Cate JM, Duijsters PP. Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res.* 1982;16(3):201-210.
48. Kleber CJ, Putt MS. Aluminum uptake and inhibition of enamel dissolution by sequential treatments with aluminum solutions. *Caries Res.* 1994;28(6):401-405.
49. Cardenas JM, Cantu FJG, Rodriguez, RO, Murga HM, Gutierrez FO, Preciado RM, Meraz WS, Barrera, ALG. Concentration and distribution of trace elements in dental enamel using the energy-dispersive x-ray spectroscopy technique. *European Scientific Journal, ESJ.* 2014;10(18).
50. Hussein AS, Ghasheer HF, Ramli NM, Schroth RJ, Abu-Hassan MI. Salivary trace elements in relation to dental caries in a group of multi-ethnic schoolchildren in Shah Alam, Malaysia. *Eur J Paediatr Dent.* 2013;14(2):113-118.
51. Duggal MS, Chawla HS, Curzon ME. A study of the relationship between trace elements in saliva and dental caries in children. *Arch Oral Biol.* 1991;36(12):881-884.

52. Borella P, Fantuzzi G, Aggazzotti G. Trace elements in saliva and dental caries in young adults. *Sci Total Environ.* 1994;153(3):219-224.
53. Brudevold F, Steadman LT, Spinelli MA, Amdur BH, Gron P. A study of zinc in human teeth. *Arch Oral Biol.* 1963;8:135-144.
54. Fatima T, Haji Abdul Rahim ZB, Lin CW, Qamar Z. Zinc: A precious trace element for oral health care? *JPKMA. The Journal of the Pakistan Medical Association.* 2016;66(8):1019-1023.
55. Phan TN, Buckner T, Sheng J, Baldeck JD, Marquis RE. Physiologic actions of zinc related to inhibition of acid and alkali production by oral streptococci in suspensions and biofilms. *Oral Microbiol Immunol.* 2004;19(1):31-38.
56. Ren F, Leng Y, Xin R, Ge X. Synthesis, characterization and ab initio simulation of magnesium-substituted hydroxyapatite. *Acta Biomater.* 2010;6(7):2787-2796. Published online 2009 December 29.
57. Robinson C, Weatherell JA, Hallsworth AS. Distribution of magnesium in mature human enamel. *Caries Res.* 1981;15(1):70-77.
58. Hallsworth AS, Robinson C, Weatherbell JA. Mineral and magnesium distribution within the approximal carious lesion of dental enamel. *Caries Res.* 1972;6(2):156-168.
59. Weatherell JA, Robinson C, Hallsworth AS. Variations in the chemical composition of human enamel. *J Dent Res.* 1974;53(2):180-192.
60. Amr M. Trace elements in Egyptian teeth. *African Journal Of Business Management.* 2011;6.
61. Ngo HC, Mount G, Mc Intyre J, Tuisuva J, Von Doussa RJ. Chemical exchange between glass-ionomer restorations and residual carious dentine in permanent molars: an *in vivo* study. *J Dent.* 2006;34(8):608-613. Published online 2006 March 15.
62. Fujimoto Y, Iwasa M, Murayama R, Miyazaki M, Nagafuji A, Nakatsuka T. Detection of ions released from S-PRG fillers and their modulation effect. *Dent Mater J.* 2010;29(4):392-397. Published online 2010 July 02.
63. Hodge HC, Gavett E, Thomas I. The adsorption of strontium at forty degrees by enamel, dentin, bone, and hydroxyapatite as shown by the radioactive isotope. *J Biol Chem.* 1946;163:1-6.
64. Elliott JC. The Problems of the Composition and Structure of the Mineral Components of the Hard Tissues. *Clinical Orthopaedics and Related Research®.* 1973;93:313-345.
65. Little MF, Barrett K. Strontium and fluoride content of surface and inner enamel versus caries prevalence in the Atlantic coast of the United States of America. *Caries Res.* 1976;10(4):297-307.
66. Curzon ME, Losee FL. Strontium content of enamel and dental caries. *Caries Res.* 1977;11(6):321-326.
67. Athanassouli TM, Papastathopoulos DS, Apostolopoulos AX. Dental caries and strontium concentration in drinking water and surface enamel. *J Dent Res.* 1983;62(9):989-991.
68. Dedhiya MG, Young F, Higuchi WI. Mechanism for the retardation of the acid dissolution rate of hydroxapatite by strontium. *J Dent Res.* 1973;52(5):1097-1109.
69. Legeros RZ, Miravite M, Quirolego GB, Curzon MEJ. The effect of some trace elements on the lattice parameters of human and synthetic apatites. *Calcified Tissue Research.* 1976;22:362-367.
70. Barmes DE, Adkins BL, Schamschula RG. Etiology of caries in Papua-New Guinea. Associations in soil, food and water. *Bull World Health Organ.* 1970;43(6):769-784.
71. Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environ Pollut.* 2008;151(2):362-367. Published online 2007 July 23.
72. Malczewska-Toth B. Phosphorus, Selenium, Tellurium, and Sulfur. Bingham E, Cohrsen B, Powell CH editor. *Patty's Toxicology.* 5. Baskı. John Wiley & Sons, Inc. 2012. 841-884.
73. Sekhri P, Sandhu M, Sachdev V, Chopra R. Estimation of Trace Elements in Mixed Saliva of Caries Free and Caries Active Children. *J Clin Pediatr Dent.* 2018;42(2):135-139. Published online 2017 October 31.

