

BÖLÜM 20

FLOR SALINIMI YAPAN MATERYALLERDE GÜNCEL GELİŞMELER

Zehra GÜNER¹
Hazal Deniz KÖSE²

GİRİŞ

Diş çürüğü tüm dünya genelinde insanlarda görülen en yaygın hastalıklardan biridir ve birçok gelişmiş ülkede prevalansı azalmış olsa da hala önemli bir halk sağlığı sorunu olmaya devam etmektedir.(1,2) Çürük sürecinin belirtileri, mine-deki apatit kristallerindeki ilk moleküler değişikliklerden görünür beyaz nokta lezyonuna, daha sonra dentine ilerleyerek nihai kaviteye kadar bir sürekliliği kapsamaktadır.(3) Sağlıklı bir diş minesi, çeşitli yiyecek ve içeceklerle, ağızdaki mikroorganizmalara maruz kaldığında demineralizasyona karşı direnç geliştirebilmektedir. Fakat ağız ortamının pH'ı düştüğünde minede demineralizasyon gerçekleşebilir. pH'daki bu düşüş, minenin hem organik hem de inorganik matris bileşenlerinin kimyasal çözünmesini teşvik etmekte ve böylece Ca^{+2} ve PO_4^{+3} mine yüzeyinden uzaklaşarak demineralizasyonu başlatabilmektedir.(4) Öte yandan, ağız ortamının pH'ının nötrlüğe doğru artması, ortamdaki florür iyonlarının mevcudiyeti, uygun ağız hijyeninin korunması gibi faktörler diş yüzeylerinin remineralizasyonunu teşvik etmektedir.(5) Florür, çoğu araştırmacı tarafından antikaryojenik bir ajan olarak kabul görmektedir. Florürün demineralizasyonu engelleyici, remineralizasyonu teşvik edici etkisinin yanı sıra mikrobiyal metabolizmanın inhibisyonu gibi çeşitli antikaryojenik etkileri mevcuttur. Bu sayede ikincil çürük oluşumunu engellemektedir. Topikal florürün diş macunu ve vernik şeklinde uygulanması hala çürük oluşumunu önlemenin en etkili yöntemlerinden biri olarak kabul görmektedir. Florür, dişteki hidroksiapatit kristalleriyle birleşerek aside dirençli florapatit (FAP) kristalleri oluşturmaktadır. Ek olarak, florür bakteri hücrelerine girmekte ve karbohidrat metabolizmasını engelleyerek bakterilerin inhibisyonunu sağlamaktadır.(2)

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti AD., zehra_sivgan@hotmail.com

² Dr. Öğr. Üyesi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi AD., hzldnzsri@gmail.com

Diş hekimliğinde kinik başarı için restoratif materyal seçimi büyük önem taşımaktadır. İdeal bir restoratif materyal; dişlerin doku kaybını telafi edebilmeli, kaybolan anatomik formu tekrar kazandırabilmeli, kalan diş dokularını desteklemeli, estetik ve fonasyonu sağlamalıdır.(6) Diş hekimliğinde kullanılan restoratif materyallerdeki gelişmeler, sadece amalgam ile restore edilebilen kaviteilerin konservatif yöntemlerle restore edilmesine olanak sağlamıştır.(7) Günümüzde birçok restoratif materyal diş dokularına ve ağız ortamına florür salınımı yapmaktadır. (8) Sekonder çürük oluşumu florür içeren simanlarla restore edilen dişlerde nadiren gözlemlenmiştir. Bu durum florür salan çeşitli restoratif materyallere olan ilginin artmasını beraberinde getirmiştir.(9) Farklı matrisleri ve etki mekanizmaları nedeniyle, bu materyaller florür salma açısından farklılık göstermektedir. (2) Dental restoratif materyallerden salınan florürün, demineralizasyonu azaltabileceği veya önleyebileceği ve diş sert dokularının remineralizasyonunu destekleyebileceği varsayılmaktadır.(10,11) Bugün piyasada cam iyonomerler, rezin modifiye cam iyonomer simanlar, poliasit modifiyeli kompozitler (kompomerler), kompozit rezinler ve amalgamlar dahil olmak üzere birçok florür içeren restoratif materyal bulunmaktadır.(9) Bu restoratif materyaller ağız ortamına yeterli miktarda florür salmakta, böylelikle tükürük, plak ve sert diş dokularındaki florür düzeyini arttırmaktadır.(2) Florür salınımının ayrıca ağız florasındaki bakterilerden özellikle Streptococcus mutans sayısında düşüşe sebep olduğu varsayılmaktadır. (12,13) Bununla birlikte, böyle bir etkiyi elde etmek için gereken florür konsantrasyonlarının, hidroksiapatitin çözünürlüğünü azaltmak için gerekenden önemli ölçüde daha yüksek olduğu düşünülmektedir.(14)

FLORÜR SALINIMI YAPAN RESTORATİF MATERYALLER

Cam iyonomer simanlar

Cam iyonomer simanlar(CİS) 1960'larda Alan Wilson ve iş arkadaşları tarafından hem silikat hem de polikarboksilat simanların avantajlarını kullanmak için geliştirilmiş ve patenti alınmıştır. Daha sonra geleneksel cam iyonomer simanlar 1972'de Wilson ve Kent tarafından tanıtılmıştır. Cam iyonomer simanlar, yüksek düzeyde flor içeren fluoro alüminosilikat cam tozunun poliakrilik asit likit ile reaksiyonuna dayanan materyallerin genel adıdır.(15) Tartarik, itakonik, maleik veya trikarbalik asit gibi diğer poliasitler de reaksiyonu veya materyalin reolojik özelliklerini modüle etmek için poliakrilik asit ile eklenebilir veya hatta değiştirilebilir.(16,17) Toz ve likit karıştırıldığında, klasik bir asit-baz reaksiyonu meydana gelmektedir.(2,18) Sertleşme reaksiyonu sırasında asidik likidin, silikat cam partikülleri çevresindeki kısımları çözmesi sonucunda florür de dahil olmak

üzere kalsiyum, alüminyum ve silikat gibi çeşitli iyonik bileşenler serbest bırakılmaktadır. Fiziksel özellikleri, toz-sıvı oranı veya kimyasal formülasyon değiştirilerek değiştirilebilir.(19,20) Araştırmacılar, bileşime tartarik asit eklenmesinin, sertleştirilmiş simanın opak görünümünü azaltıp, daha yarı saydam görünmesini sağladığını keşfetmişlerdir. Böylelikle opak cam iyonomerlere kıyasla diş rengi uyumunun iyileştirilmesinin yanı sıra, tartarik asidin eklenmesi sertleşme reaksiyonunu daha hızlı ve daha kesin hale getirmektedir. Cam iyonomer simanlar, florür iyonu salınımı, diş yapısınıninkine benzer termal genişleme katsayısı gösterme, biyouyumluluk, ayrıca hem mine hem de dentine kimyasal bağlanma gibi avantajlara sahiptir. Cam iyonomerlerin diş yapısına bağlanması, mine ve dentinin apatit kristallerindeki kalsiyum ile poliakrilik asidin karboksil gruplarının şelatlanması dahil olmak üzere çeşitli mekanizmalardan meydana gelmektedir.(21) Florür iyonu salınımı ise iki farklı mekanizma ile açıklanmaktadır. Birinci mekanizma, simanın dış yüzeyinden florür iyonunun hızlı bir şekilde çözünmesi ile meydana gelen kısa süreli bir reaksiyondur. İkinci mekanizma daha uzun süreli ve kademelidir, siman kütesinden iyonların sürekli difüzyonuyla açıklanmaktadır.(9) Sertleşme süresi boyunca ilk 24 saatte en yüksek düzeyde florür serbest bırakılmaktadır. Başlangıçtaki bu yüksek miktarda florür salınımı, remineralizasyonda ve çürük dentinde kalmış olabilecek mikroorganizmaları inhibe etmede ve sekonder çürükleri önlemede rol oynamaktadır.(22) Florür salınımı 24-48 saat sonra azalmaya başlar ve 10-20 gün içinde oldukça sabit bir düzeyde devam eder. (23) Bir hafta sonra florür salma kapasitesindeki bu azalma, siman kütesindeki cam partiküllerden salınan florürün siman matrisi içinden difüzyonu arasındaki dengeden kaynaklanmaktadır. Geleneksel cam iyonomer simanlarda birkaç aydan beş yıla kadar değişen sürede daha düşük konsantrasyonlarda sürekli bir florür salınımı devam etmektedir.(24) Birkaç in vitro çalışma, cam iyonomerlerden birkaç aylık bir süreden maksimum üç yıllık bir süreye kadar uzun vadeli florür salınımını bildirmiştir.(25,26) Zamanla flor salınımindaki bu düşüş, materyalin ikincil çürük oluşumunu önleme kabiliyetini azalmaktadır, çünkü düşük dozlarda salınan flor, çürük önleyici etki için yeterli değildir.(27) Çalışmaların çoğunda, geleneksel CİS'ler, diş hekimliğinde kullanılan materyaller arasında en yüksek düzeyde florür salan materyallerdir.(28,29) Bu materyal, özellikle ağız ortamından gelen florür iyonları ile kendini yeniden şarj etme yeteneğine sahiptir.(30,31) Birçok in vitro çalışmada iyon salınımının diş sert dokularının remineralizasyonunu indüklediği gösterilmiştir.(32,33) Bu nedenle, geleneksel CİS'ler biyoaktif restoratif materyaller olarak kabul edilebilmektedir.(34,35) Bahsedilen avantajlara rağmen, geleneksel cam iyonomerlerin bazı alanlarda kullanımlarını sınırlayan dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajlarından biri kırılma olmalarıdır, bu

nedenle materyalin çiğneme kuvvetlerine karşı direnç gösterme yeteneği yoktur. Diğer dezavantajları arasında uzun süreli sertleşme, neme duyarlılık, yüzey pürüzlülüğü, yetersiz yüzey sertliği, yüksek erozyon, opaklık ve restorasyon ömrünün kısa olması sayılabilir.(36) Cam iyonomer simanlar genellikle süt dişlerinde restorasyon materyali, daimi dişlerde kaide, kor materyali ve fissür örtücü olarak kullanılmaktadır. Luting cam iyonomer simanlar, inley- onleylerin, kuron, köprülerin ve ortodontik braketlerin simantasyonu için kullanılabilir. Restoratif cam iyonomer simanlar yarı saydamdır ve en az 24 saat nemden korunma gerektirmektedir.(37) Yetersiz fiziksel özelliklerini modifiye etmek için cam iyonomerler, icadından bu yana sürekli geliştirilerek materyalin kullanım alanları arttırılmaya çalışılmaktadır.(36)

Rezin modifiye cam iyonomer simanlar

Cam iyonomer simanların içeriğine rezin yapıları eklenerek materyalin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi, polimerizasyon sürelerinin azaltılması, nem ve tükürük kontaminasyonlarına olan duyarlılığın azaltılması amaçlanmıştır.(38) Yapıya HEMA ve kamforokinon gibi monomerler eklenmiştir.(39) Yapıdaki silanlanmış florealuminasilikat doldurucuların rezin matrisle daha iyi bağlantı yapması, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, reaktif doldurucuların çözünmesini modüle etmek gibi özellikler üreticiler tarafından yeterince açıklanamamıştır.(40-42) Materyalin toz-sıvı karışımı veya mekanik olarak karıştırılacak kapsül şeklinde iki formu mevcuttur. Toz-sıvı karışımında iki reaksiyon söz konusudur: asit-baz reaksiyonu ve ışıkla aktifleşen polimerizasyon reaksiyonu.(43) Asit-baz reaksiyonu ile polimerizasyon reaksiyonları birbirlerini sınırlar.(44) Bu durumda reaksiyona girmeyen HEMA molekülleri hidrofilik yapısından dolayı materyali suda çözünmeye yatkın hale getirir.(45,46)

Ayrıca bu materyallerin sadece ışık enerjisiyle polimerizasyon reaksiyonu gösteren formu da mevcuttur. Bu nedenle 2mm kalınlığında tabakalama yöntemiyle uygulanması gerekmektedir.

Rezin modifiye cam iyonomer simanların, flor salınımı yapması(47), çürük önleyici etkisi(48,49) ayrıca adezyon gerektirmemesi(50) gibi avantajları çeşitli araştırmalarda belirtilmiştir.

Flor salınımları ve yeniden şarj edilebilme mekanizmaları geleneksel cam iyonomerlerle benzerdir. Birçok çalışmada iyon salınımının diş dokusunda remineralizasyonu sağladığı gösterilmiştir.(34,47,51) Ancak geleneksel ve yüksek viskoziteli cam iyonomerlere göre daha az flor salınımı yaptığı bildirilmiştir.(38,52,53) Yapıya rezin eklenmesi flor salınımını dış ortamla sınırlandırmaktadır.(52) Bir başka çalışmada, materyal içerisindeki florürün kısa süreli etki ettiği, en fazla üç

ay flor salınımı yaptığı belirtilmiştir.(9) Gümüş diamin flor verniğin rezin modifiye cam iyonomer yüzeyine uygulanmasıyla demineralizasyona karşı direncin arttığı belirtilmiştir. Bu sayede bağlanma dayanımının arttığı ve mikrosızıntının azaldığında belirtilmiştir.(9,54) Ancak gümüş diamin florürün sık kullanımı renk lenmeye neden olmaktadır.(55)

Rezın modifiye cam iyonomer simanların yarı saydamlığı ve cilalanabilir özellikleri hala tartışma konusu olmaktadır. Yapılan bir araştırmada yüzey pürüzlülüğünün fazla olması nedeniyle Streptococcus Mutans birikiminin kompozite göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. (56) Birçok avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte rezin modifiye cam iyonomerlerin endikasyonları sınırlıdır. Açık sandviç tekniğinde ara baz olarak, servikal bölgedeki lezyonlarda ve süt dişlerinin tedavisinde kullanılabilir.(57-59)

POLIASİT MODİFİYE KOMPOZİT REZİNLER (KOMPOMERLER)

Kısaca kompomer olarak da bilinen poliasit modifiye kompozit rezinler, geleneksel cam iyonomer simanların terapötik özelliklerini ve rezin kompozitlerin estetik özelliklerini bir arada bulandıran bir materyal elde etme amacıyla geliştirilmiştir. (14) Poliasit modifiye kompozit rezin terimi ilk olarak 1994 yılında önerilmiştir ve o zamandan beri hem üreticiler hem de araştırmacılar tarafından geniş çapta benimsenen bir materyal olmuştur.(60) Kompomerler % 20-30 oranında cam iyonomer ve % 70-80 oranında rezin içermektedir.(61) Geleneksel kompozit rezinlerle aynı tip bileşenlerden, yani büyük monomer moleküllerinden ve partiküllü inorganik dolduruculardan oluşmaktadırlar.(62) Cam iyonomer simanların likit kısmını oluşturan poliakrilik asit yerine asit monomerlerin ilavesiyle hem kompozit rezin hem de CİS'lerin özelliklerini göstermektedirler. Ek olarak, az miktarda reaktif alüminosilikat cam içermektedirler. Birincil sertleşme reaksiyonu, bir polimerizasyon cihazı ile uygun dalga boyundaki ışığın uygulanmasıyla ışığa duyarlı başlatıcılar tarafından meydana getirilen polimerizasyondur. Bunu takiben, materyal ağız ortamında az miktarda su absorbe edebilir ve bu asit-baz reaksiyonunu tetikler ve böylelikle cam doldurucuda doğal olarak bulunan florür, restorasyonun dışına taşınmak üzere hazır hale gelmektedir.(63) Neme maruz kaldıklarında bu materyallerin mekanik özelliklerinde bir miktar azalma gözlenmektedir. Bu nedenle asit-baz reaksiyonunun mukavemete katkıda bulunmadığı söylenebilir. (60,63) Kompomerlerde çürük önleyici etki flor iyonunu matristen ağız ortamına salınmasıyla elde edilmektedir. Fakat tuz matris ve hidrojel oluşumu gerçekleşmediğinden flor salınımı geleneksel cam iyonomer simanlara ve RMCİS'lere kıyasla sınırlıdır.(64) Bu materyallerin avantajları arasında kompozitlere benzer estetik özellikler göstermesi, kaviteye yerleştirme sırasında fazla aşama gerektirme-

mesi, ışıkla polimerize olması ve radyoopasite göstermesi gibi özellikleri yer almaktadır. Manipülasyonunun nispeten kolay olması nedeniyle kompomerler süt dişlerinin anterior ve posterior restorasyonlarında sıklıkla kullanılmaktadır.(65) Sayılan avantajlarına rağmen kompozit rezinlerden daha düşük fiziksel özellikler göstermesi nedeniyle okluzal kuvvetlerin yoğun olduğu bölgelerde kullanılmaları önerilmemektedir. Bu nedenle kompomerlerin daimi dişlerdeki kullanımı sınıf V kavitelele, kole bölgesindeki abrazyon/erozyon ve kama defektlerinin restorasyonu ile sınırlıdır.(66) Kompomerler CİS'lere göre estetik özellikleriyle üstünlük sağlamalarına rağmen, kompozitlerle kıyaslandığında daha fazla aşınma ve polimerizasyon büzülmesi, daha düşük fiziksel özellik göstermektedirler. (14)

KARBOMERLER

Cam karbomerler, nanopartikül yapılar içeren bir tür karmaşık cam iyonomer simanlardır. Simanın diş içinde mineralleşmeyi teşvik etmesi için modifiye edilmiştir. Nano ölçekli toz parçacıklarının yanı sıra ikincil doldurucu maddeleri olarak hidroksiapatit ve fluorapatit içermektedir.(67,68) Bu özellikleri sayesinde cam iyonomer simanlardan ayrılmaktadır. Reaktif cam tozu dialkil siloksanlarla modifiye edilir ve sıvısı poliakrilik asittir. İnce cam partiküller, asitle temas alanını artırır. Materyalin daha hızlı sertleşmesini ve daha hızlı remineralizasyon reaksiyonu göstermesini sağlar. Üreticiler, yeni yerleştirilen materyalin foto-polimerizasyon ile ayarlanmamasına rağmen, yüksek enerjili bir polimerizasyon ışık kaynağı ile işlenmesini önermektedir. Çünkü ışık cihazları ısıtma etkisi göstererek sertleştirir.(69) Florür salınımı ve yeniden yükleme özellikleri bulunmaktadır. Endikasyonları açısından cam iyonomer simanlara benzemektedir.(8)

GIOMERLER

Giomer terimi İngilizcede cam iyonomer simanla rezin kompozitin birleşimi ile elde edilmiştir. Kompomer yapısındaki liyofilize modifiye rezin yapıları ve başlangıçta inaktive edilmiş reaktif dolduruculara rağmen, giomer yapısında dehidrate ve silanize yapıda önceden aktive edilen doldurucular (S-PRG) bulunmaktadır.(70)

Önceden aktive edilen cam doldurucuların rezin kompozitlerin yapısına eklenmesi hala merak konusudur. Bu parçacıklar poliakrilik asitle floroaluminasilikat cam arasındaki reaksiyonun temelinde işlev görmektedir ve flor salınımı ve yeniden yüklenmesinde görev alır.(71,72) Florürün restoratif materyallerden salınması materyalin su difüzyon kapasitesiyle ilgilidir. Su emiliminin azlığı ve su difüzyonunu destekleyen materyaller flor salınımına daha uygun olarak belirtilir.

(73) Giomerlerin flor salınımını gerçekleştirebilmesi için su absorbe etmemesi gerekmektedir. Polimerize edildikten hemen sonra zirve flor salınımı gözlenmektedir.(74)

Materyal ışıkla polimerize edilmeye başlandığında, rezin polimerizasyon reaksiyonu başlatılır ve monomerler diğer monomerler, silanlanmış S-PRG ve aktif olmayan doldurucu maddeleri ile kopolimerize olabilir. Materyalin sertleşme reaksiyonunda asit-baz reaksiyonu meydana gelmez. Nemli bir ortama (yani ağız ortamına) yerleştirildiğinde, su emilimi meydana gelir ve S-PRG doldurucu maddeleri kalsiyum, alüminyum ve florür iyonlarını serbest bırakabilir. Bu iyonlar materyalin ayar mekanizmasına katılmazlar.(71,72) Yapı olarak kompozite benzemekle birlikte, polimerizasyon yapısını değiştirmek için, Bis-GMA ve diğer monomer yapılarının etrafına bir baz eklenmiştir.(75) Yapıda fonksiyonel asit ve dehidrate asit grupları bulunmadığından ayrıca adezyon uygulamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozitlerin içerisinde bulunan fotopolimerizasyonu sağlayan yapı giomerlerle benzerdir.(76) Mekanik özellikleri açısından değerlendirilen çalışmada kompozitlere benzer özellik göstermektedir. Mekanik özellikleri açısından değerlendirilen çalışmada kompozitlere benzer özellik göstermektedir. İyon salınımları açısından değerlendirildiklerinde ise yüksek viskoziteli cam iyonomer simanlardan ve rezin modifiye cam iyonomer simanlardan daha düşük flor salınımı gerçekleştirmişlerdir.(77,78) Ayrı bir adezyon sistemine ihtiyaç duyduklarından flor salınımları sınırlanmış olabileceği belirtilmiştir.(29) Giomerlerin, servikal restorasyonlarda, okluzal restorasyonlarda veya pediatik diş hekimliğinde kullanılabilmesi belirtilmiştir.(79) Ancak estetik açıdan hala uzun dönem çalışmalar gerektiği düşünülmektedir.(80)

Florür içeren diş materyalleri, florür salınımı ve alım özelliklerinde belirgin farklılıklar gösterir. Restoratif materyallerden kaynaklanan kısa ve uzun süreli florür salınımları matrisleri, ayar mekanizmaları ve florür içeriği ile ilgilidir ve çeşitli çevresel koşullara bağlıdır. Florür salgılayan maddeler bir florür rezervuarı görevi görebilir ve tükürük, plak ve diş sert dokularındaki florür seviyesini artırabilir. Bununla birlikte, klinik çalışmalar, bu materyallerin ikincil çürükleri önemli ölçüde önleyip engellemediği veya inhibe edip etmediği ve florürlenmemiş restoratiflere kıyasla çürüklerle ilişkili bakterilerin büyümesini etkileyip etkilemediği konusunda çelişkili veriler sergilemiştir. (9)

KOMPOZİTLER

Rezin bazlı kompozitler çeşitli amaçlarla diş hekimliğinde kullanılmaktadır. Gelişen kompozit formülasyonları içeriğinde çeşitli formlarda florür barındırmaktadır. Demineralizasyonu azaltmak amacıyla kalsiyum florür nanopartikülleri kom-

pozit yapılarına dahil edilmiştir.(67) Florür iyonları, remineralizasyonu uyararak ve oral mikroorganizmaları baskılayarak çalışır.(81,82) Demineralizasyon durumunda F iyonlarının varlığı, kalsiyum ve fosfat iyonlarının çökmesini artırır ve diş yüzeyini korumak için fluorapatit yapısı oluşturur. Florürün tekrarlayan çürükleri azaltmak için bakteriyel asit üretimini azaltma avantajına sahip olduğu da gösterilmiştir.(83,84) Kalsiyum florür nanopartikülleri içeren bir kompozit tasarlamak, etkilenen diş yapısındaki fluorapatit birikimini artıracaktır. Diş yapısı, karyojenik patojenler tarafından asidik saldırıya maruz kaldığında, mineden kalsiyum ve fosfat iyonları uzaklaşır. Kaybedilen mineralleri geri kazanmak için remineralizasyon süreci, diş yapısını güçlendirmek için gereklidir. Bu nedenle, kalsiyum florür nanopartikülleri ile kompozit, remineralizasyonu artıracak ve gelecekteki asidik koşullara direnebilecek fluorapatit yapı oluşturacaktır. Çeşitli çalışmalar nanoteknoloji kullanarak fluorapatit oluşturma yeteneğini göstermiştir. (85,86) Bir çalışmada, fluorapatit nanopartikülleri üretilmiş ve gümüş iyonu nanopartikülleri ile katkısı incelenmiş ve fiziksel ve antimikrobiyal etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, fluorapatitin doğal morfolojisi korunurken 4 saatlik inkübasyondan sonra bakteri üremesinin %30 oranda azaldığı belirtilmiştir.(85) Başka bir çalışmada, fluorapatit kitosan yapılarına dahil edilmiştir. Fluorapatit yapısı korunurken, antimikrobiyal etkiler olduğu ve osteokondüktif yetenek gösterdiği belirtilmiştir. (86)

Kompozitlerden salınan florür miktarı ve oranı, florür tipine, miktarına, florürün büyüklüğüne ve polimer matriksin hidrofiliğine bağlı olarak değişmektedir.(87)

Literatürde kompozitlerden salınan florür miktarı, cam iyonomer ve rezin modifiye cam iyonomer materyallerine göre daha düşük olarak bildirilmiştir. (88) Kompozit yapısına eklenen flor iyonunun flor salınımı ve mekanik özellikleri iyileştirici özelliği olduğunu belirten çalışmalar mevcuttur.(9,89,90) Ancak son yapılan bir çalışmaya göre kompozit yapısına büyük miktarda kalsiyum florid eklenmesi, flor salınımını ve yeniden şarj edilebilirliğini arttırmasına rağmen, kompozitin mekanik özelliklerini düşürdüğü belirtilmiştir.(91)

FLORÜR SALINIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Restoratif materyallerden florür salınımını etkileyen birkaç faktör vardır. Florür salınımı, numunenin ağırlığına değil, maruz kalan yüzey alanına bağlıdır. Restoratif materyallerden kaynaklanan ilk florür patlamasının (burst effect), cam partikülleri ile polialkenoik asit arasındaki asit-baz reaksiyonundan kaynaklanan florür salınımı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.(92) Florür salınım hızı, numunelerin saklandığı ortam, materyalin yüzey alanı, pörözitesi, toz-likit oranı, ortamın

pH'ı, sıcaklığı, karıştırma yöntemi, rezin matrisi, çözünürlük gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.(38) Numunelerin saklandığı ortamın florür salınımına etkisini değerlendirmek için yapılan birçok çalışmada, asidik çözeltilerde bekletilen restoratif materyallerden su, yapay tükürük ya da remineralize edici çözeltilerde bekletilenlere göre daha fazla florür salınımı gerçekleştiği gözlenmiştir.(52,93,94) Deiyonize sudaki (pH:7) restoratif materyallerden yapay tükürüktekinden (pH:7) daha yüksek miktarda florür salınmaktadır, bu da florür salınımının yapay tükürüğün iyonik bileşiminden önemli ölçüde etkilendiğini gösterir. Restoratif materyallere dahil edilen florürün doğası, florürün yeniden şarj olma kabiliyetini de etkiler ve florürün yeniden şarj olma potansiyeli materyalin türüne göre değişmektedir. (22,95,96) Ayrıca restoratif materyallerin florür salınımı ve şarj edebilme yetenekleri, materyalin bileşimine, florür maruziyet sıklığına ve florlama ajanlarının tipine ve konsantrasyonuna bağlıdır.(97,98)

SONUÇ

Güncel florür salınımı yapan materyaller, cam iyonomerlerin, rezin modifiye cam iyonomerlerin, kompomerlerin, karbomerlerin ve giomerlerin geliştirilmesiyle elde edilmektedir. Ortaya çıkan yeni ürünlerde reaksiyonlar geliştirilip materyaller daha karmaşık hale getirilmektedir. Materyallerin biyoaktif özelliklerinin, su emme ile ilişkili iyon salınım mekanizmalarının her yeni formülasyonda incelenmesi gerektiği açıktır. Bu açıdan kompomerler ve giomerler, rezin kompozitlerden farklılık göstermektedir.

Yeni materyallerin uzun dönemli çalışma eksikliği nedeniyle sistemik durumlar göz önüne alınarak kullanılması gerektiği açıktır. Materyallerin kesin olarak doğrulanması ve biyoaktivitesinin tam olarak belirlenmesi hastalar açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. Cochrane N J, Cai F, Huq NL, Burrow MF, Reynolds EC. New Approaches to Enhanced Remineralization of Tooth Enamel. *Journal of Dental Research*. 2010; pp 1187–1197.
2. Neti B, Sayan, G, Muddala L, Mantena SR, Yarram A, Harsha GVD. Fluoride Releasing Restorative Materials: A Review. *Bulk cement* 2020; 21, 23.
3. Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB. Dental caries. *The Lancet*. 2007;369 (9555):51-9.
4. Çapan BŞ, Akyüz S. Current Fluoride-Releasing Restorative Materials Used in Pediatric Dentistry. *Clinical and Experimental Health Sciences* 2016; 6 (3):129–134.
5. Dowd FJ. Saliva and dental caries. *Dental Clinics of North America*. 1999;43(4):579-97.
6. Jagadish S, Yogesh BG. Fracture resistance of teeth with Class 2 silver amalgam, posterior composite, and glass cermet restorations. *Operative Dentistry*. 1990;15(2):42-7.
7. Fugolin APP, Pfeifer CS. New Resins for Dental Composites. *J. Dent. Res*. 2017, 96 (10): 1085–1091.
8. Şirinoğlu Çapan B, Akyüz S. Çocuk diş hekimliğinde florid salınımı yapan güncel restoratif

- materiyaller. *Clinical and Experimental Health Sciences*. 2016;6(3):129-34.
9. Wiegand A. Buchalla W. Attin T. Review on Fluoride-Releasing Restorative Materials--Fluoride Release and Uptake Characteristics, Antibacterial Activity and Influence on Caries Formation. *Dent. Mater*. 2007;23 (3): 343–362.
 10. Clarkson BH. Rational Use of Fluorides in Caries Control. *Fluoride in dentistry*. 1996;347–357.
 11. Miller FY. Campus G. Giuliana G. Piscopo MR. Pizzo G. Topical Fluoride for Preventing Dental Caries in Children and Adolescents. *Curr. Pharm. Des*. 2012;18 (34): 5532–5541.
 12. Van Loveren C. The Antimicrobial Action of Fluoride and Its Role in Caries Inhibition. *J. Dent. Res*. 1990, 69 Spec No, 676–681; discussion 682–683.
 13. Tseng CC. Wolff LF. Aeppli DM. Effect of Gels Containing Stannous Fluoride on Oral Bacteria-an in Vitro Study. *Aust. Dent. J*. 1992; 37 (5): 368–373.
 14. Burke FM. Ray NJ. McConnell RJ. Fluoride-Containing Restorative Materials. *Int. Dent. J*. 2006; 56 (1), 33–43.
 15. Sita Ramaraju DV. Alla RK. Alluri VR. Raju MA Review of Conventional and Contemporary Luting Agents Used in Dentistry. *American Journal of Materials Science and Engineering* 2014; 2 (3): 28–35.
 16. Hurrell-Gillingham K. Reaney IM. Miller CA. Crawford A. Hatton PV. Devitrification of Ionomer Glass and Its Effect on the in Vitro Biocompatibility of Glass-Ionomer Cements. *Biomaterials* 2003; 24 (18): 3153–3160.
 17. Sidhu SK. Nicholson JW. A Review of Glass-Ionomer Cements for Clinical Dentistry. *J. Funct. Biomater*. 2016; 7 (3) <https://doi.org/10.3390/jfb7030016>.
 18. Frencken JE. Leal SC. Navarro MF. Twenty-Five-Year Atraumatic Restorative Treatment (ART) Approach: A Comprehensive Overview. *Clin. Oral Investig*. 2012; 16 (5): 1337–1346.
 19. Bresciani E. Clinical Trials with Atraumatic Restorative Treatment (ART) in Deciduous and Permanent Teeth. *J. Appl. Oral Sci*. 2006;14(SPE):14-9.
 20. Schriks MCM. van Amerongen WE. Atraumatic Perspectives of ART: Psychological and Physiological Aspects of Treatment with and without Rotary Instruments. *Community Dent. Oral Epidemiol*. 2003; 31 (1): 15–20.
 21. Croll TP. Nicholson JW. Glass Ionomer Cements in Pediatric Dentistry: Review of the Literature. *Pediatr. Dent*. 2002; 24 (5), 423–429.
 22. Upadhyay S. Rao A. Shenoy R. Comparison of the Amount of Fluoride Release from Nanofilled Resin Modified Glass Ionomer, Conventional and Resin Modified Glass Ionomer Cements. *J. Dent*. 2013; 10 (2): 134–140.
 23. Basso GR. Della Bona Á. Gobbi DL. Cecchetti D. Fluoride Release from Restorative Materials. *Braz. Dent. J*. 2011; 22 (5): 355–358.
 24. Tiwari, S.; Nandlal, B. Comparative Evaluation of Fluoride Release from Hydroxyapatite Incorporated and Conventional Glass Ionomer Cement: An in Vitro Study. *J. Indian Soc. Pedod. Prev. Dent*. 2012, 30 (4), 284–287.
 25. Williams, J. A.; Billington, R. W.; Pearson, G. J. A Long Term Study of Fluoride Release from Metal-Containing Conventional and Resin-Modified Glass-Ionomer Cements. *J. Oral Rehabil*. 2001, 28 (1), 41–47.
 26. Yli-Urpo, H.; Vallittu, P. K.; Närhi, T. O.; Forsback, A.-P.; Väkiparta, M. Release of Silica, Calcium, Phosphorus, and Fluoride from Glass Ionomer Cement Containing Bioactive Glass. *J. Biomater. Appl*. 2004, 19 (1), 5–20.
 27. Arbabzadeh-Zavareh, F.; Gibbs, T.; Meyers, I. A.; Bouzari, M.; Mortazavi, S.; Walsh, L. J. Recharge Pattern of Contemporary Glass Ionomer Restoratives. *Dent. Res. J*. 2012, 9 (2), 139–145.
 28. Bell, A.; Creanor, S. L.; Foye, R. H.; Saunders, W. P. The Effect of Saliva on Fluoride Release by a Glass-Ionomer Filling Material. *J. Oral Rehabil*. 1999, 26 (5), 407–412.
 29. Francois, P.; Fouquet, V.; Attal, J.-P.; Dursun, E. Commercially Available Fluoride-Releasing Restorative Materials: A Review and a Proposal for Classification. *Materials* 2020, 13 (10). <https://doi.org/10.3390/ma13102313>.
 30. De Witte, A. M.; De Maeyer, E. A.; Verbeeck, R. M.; Martens, L. C. Fluoride Release Profiles of

- Mature Restorative Glass Ionomer Cements after Fluoride Application. *Biomaterials* 2000, 21 (5), 475–482.
31. Jingrwar, M. M.; Pathak, A.; Bajwa, N. K.; Sidhu, H. S. Quantitative Assessment of Fluoride Release and Recharge Ability of Different Restorative Materials in Different Media: An in Vitro Study. *J. Clin. Diagn. Res.* 2014, 8 (12), ZC31–ZC34.
 32. Watson, T. F.; Atmeh, A. R.; Sajini, S.; Cook, R. J.; Festy, F. Present and Future of Glass-Ionomers and Calcium-Silicate Cements as Bioactive Materials in Dentistry: Biophotonics-Based Interfacial Analyses in Health and Disease. *Dent. Mater.* 2014, 30 (1), 50–61.
 33. Toledano, M.; Osorio, R.; Osorio, E.; Cabello, I.; Toledano-Osorio, M.; Aguilera, F. S. In Vitro Mechanical Stimulation Facilitates Stress Dissipation and Sealing Ability at the Conventional Glass Ionomer Cement-Dentin Interface. *J. Dent.* 2018, 73, 61–69.
 34. Al-Jobair, A.; Al-Hammad, N.; Alsadhan, S.; Salama, F. Retention and Caries-Preventive Effect of Glass Ionomer and Resin-Based Sealants: An 18-Month-Randomized Clinical Trial. *Dent. Mater. J.* 2017, 36 (5), 654–661.
 35. Antonson, S. A.; Antonson, D. E.; Brener, S.; Crutchfield, J.; Larumbe, J.; Michaud, C.; Yazici, A. R.; Hardigan, P. C.; Alempour, S.; Evans, D.; Ocanto, R. Twenty-Four Month Clinical Evaluation of Fissure Sealants on Partially Erupted Permanent First Molars: Glass Ionomer versus Resin-Based Sealant. *J. Am. Dent. Assoc.* 2012, 143 (2), 115–122.
 36. Khaghani, M.; Doostmohammadi, A.; Golniya, Z.; Monshi, A.; Arefpour, A. R. Preparation, Physicochemical Characterization, and Bioactivity Evaluation of Strontium-Containing Glass Ionomer Cement. *International Scholarly Research Notices* 2013, 2013.
 37. Kotian N, Ravindran V, Subramanian E. Assessment for Preference of Using Type 2 or Type 9 Glass Ionomer Cement for Class I Restorations in Children-A Retrospective Study. *International Journal of Pharmaceutical Research*.2020;12(2).
 38. Kumari PD. Khijmatgar S. Chowdhury A. Lynch E. Chowdhury CR. Factors Influencing Fluoride Release in Atraumatic Restorative Treatment (ART) Materials: A Review. *J Oral Biol Craniofac Res* 2019; 9 (4): 315–320.
 39. Moberg M. Brewster J. Nicholson J. Roberts H. Physical Property Investigation of Contemporary Glass Ionomer and Resin-Modified Glass Ionomer Restorative Materials. *Clin. Oral Investig.* 2019;23 (3):1295–1308.
 40. Oral O. Lassila LV. Kumbuloglu O. Vallittu PK. Bioactive Glass Particulate Filler Composite: Effect of Coupling of Fillers and Filler Loading on Some Physical Properties. *Dent. Mater.* 2014;30 (5):570–577.
 41. Nakornchai N. Arksornnukit M. Kamonkhantikul K. Takahashi H. The pH Effect of Solvent in Silanization on Fluoride Released and Mechanical Properties of Heat-Cured Acrylic Resin Containing Fluoride-Releasing Filler. *Dent. Mater. J.* 2016; 35 (3):440–446.
 42. Itota T. Nakatsuka T. Tanaka K. Tashiro Y. McCabe JF. Yoshiyama M. Neutralizing Effect by Resin-Based Materials Containing Silane-Coated Glass Fillers. *Dent. Mater. J.* 2010; 29 (4):362–368.
 43. Lagarde M. Francois P. Goff SLE. Attal J-P. Dursun E. Structural and Long-Term Mechanical Properties from a Resin-Modified Glass Ionomer Cement after Various Delays of Light-Activation. *Dent. Mater. J.* 2018; 37 (6): 874–879.
 44. Fano L. Fano V. Ma W. Wang X. Zhu F. Hydrolytic Degradation and Cracks in Resin-Modified Glass-Ionomer Cements. *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.* 2004; 69 (1): 87–93.
 45. Mustafa R. Alshali RZ. Silikas N. The Effect of Desiccation on Water Sorption, Solubility and Hygroscopic Volumetric Expansion of Dentine Replacement Materials. *Dent. Mater.* 2018; 34 (8): 205–213.
 46. Cattani-Lorente MA. Dupuis V. Moya F. Payan J. Meyer JM. Comparative Study of the Physical Properties of a Polyacid-Modified Composite Resin and a Resin-Modified Glass Ionomer Cement. *Dent. Mater.* 1999; 15 (1): 21–32.
 47. Zhou SL. Zhou J. Watanabe S. Watanabe K. Wen LY. Xuan K. In Vitro Study of the Effects of Fluoride-Releasing Dental Materials on Remineralization in an Enamel Erosion Model. *J. Dent.*

2012; 40 (3): 255–263.

48. McComb D. Erickson RL. Maxymiw WG. Wood REA. Clinical Comparison of Glass Ionomer, Resin-Modified Glass Ionomer and Resin Composite Restorations in the Treatment of Cervical Caries in Xerostomic Head and Neck Radiation Patients. *Oper. Dent.* 2002; 27 (5): 430–437.
49. Haveman CW. Summitt JB. Burgess JO. Carlson K. Three Restorative Materials and Topical Fluoride Gel Used in Xerostomic Patients: A Clinical Comparison. *J. Am. Dent. Assoc.* 2003; 134 (2): 177–184.
50. Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dental materials.* 2005;21(9):864-81.
51. Opal S. Garg S. Sharma D. Dhindsa A. Jatana, I. In Vivo Effect of Calcium Hydroxide and Resin-Modified Glass Ionomer Cement on Carious Dentin in Young Permanent Molars: An Ultrastructural and Macroscopic Study. *Pediatr. Dent.* 2017; 39 (1): 1–8.
52. G Nigam A. Jaiswal J. Murthy R. Pandey R. Estimation of Fluoride Release from Various Dental Materials in Different Media-an In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2009; 2 (1): 1–8.
53. Mousavinasab S. M.; Meyers, I. Fluoride Release by Glass Ionomer Cements, Compomer and Giomer. *Dent. Res. J.* 2009, 6 (2), 75–81.
54. Gupta J. Thomas MS. Radhakrishna M. Srikant N. Ginjupalli K. Effect of Silver Diamine Fluoride-Potassium Iodide and 2% Chlorhexidine Gluconate Cavity Cleansers on the Bond Strength and Microleakage of Resin-Modified Glass Ionomer Cement. *J. Conserv. Dent.* 2019; 22 (2): 201–206.
55. Alshahrani A. Influence of Silver Diamine Fluoride Compared to Photodynamic Therapy on the Bond Integrity of Resin Modified Glass Ionomer Cement to Demineralized Dentin. *Photodiagnosis Photodyn. Ther.* 2020; 32:102007.
56. Sande FH. da Silva AF. Michelon D. Piva E. Cenci MS. Demarco FF. Surface Roughness of Orthodontic Band Cements with Different Compositions. *Journal of Applied Oral Science.* 2011; 19(3):223-7 <https://doi.org/10.1590/s1678-77572011000300008>.
57. Sidhu SK. Clinical Evaluations of Resin-Modified Glass-Ionomer Restorations. *Dent. Mater.* 2010; 26 (1):7–12.
58. Opdam NJM. Bronkhorst EM. Roeters JM. Loomans BAC. Longevity and Reasons for Failure of Sandwich and Total-Etch Posterior Composite Resin Restorations. *J. Adhes. Dent.* 2007; 9 (5): 469–475.
59. Boing TF. de Geus JL. Wambier LM. Loguercio AD. Reis A. Gomes OMM. Are Glass-Ionomer Cement Restorations in Cervical Lesions More Long-Lasting than Resin-Based Composite Resins? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Adhes. Dent.* 2018; 20 (5): 435–452.
60. McLean J W. Nicholson JW. Wilso AD. Proposed Nomenclature for Glass-Ionomer Dental Cements and Related Materials. *Quintessence Int.* 1994; 25 (9): 587–589.
61. Önal B. Restoratif Diş Hekimliğinde Maddeler ve Uygulamaları. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Yayınları* 2004;101-3.
62. Nicholson JW. Fluoride-Releasing Dental Restorative Materials: An Update. *Balkan J. Dent. Med.* 2014; 18 (2): 60–69.
63. Patnaik P. *Handbook of Inorganic Chemicals*; McGraw-Hill New York, 2003; Vol. 529.
64. Neelakantan P. John S. Anand S. Sureshbabu N. Subbarao C. Fluoride Release from a New Glass-Ionomer Cement. *Oper. Dent.* 2011; 36 (1), 80–85.
65. Ehlers V. Gran K. Callaway A. Azrak B. Ernst C-P. One-Year Clinical Performance of Flowable Bulk-Fill Composite vs Conventional Compomer Restorations in Primary Molars. *J. Adhes. Dent.* 2019; 21 (3): 247–254.
66. Hewlett ER. Mount GJ. Glass Ionomers in Contemporary Restorative Dentistry--a Clinical Update. *J. Calif. Dent. Assoc.* 2003; 31 (6): 483–492.
67. Menne-Happ U. Ilie N. Effect of Gloss and Heat on the Mechanical Behaviour of a Glass Car-bomer Cement. *J. Dent.* 2013; 41 (3): 223–230.
68. Chen X. Du M. Fan M. Mulder J. Huysmans M-C. Frencken JE. Effectiveness of Two New Types

- of Sealants: Retention after 2 Years. *Clin. Oral Investig.* 2012; 16 (5): 1443–1450.
69. Hasan AM Sidhu SK. Nicholson JW. Fluoride Release and Uptake in Enhanced Bioactivity Glass Ionomer Cement (“glass Carbomer™”) Compared with Conventional and Resin-Modified Glass Ionomer Cements. *J. Appl. Oral Sci.* 2019; 27.
 70. Colceriu Burtea L. Prejmerean C. Prodan D. Baldea I. Vlassa M. Filip M. Moldovan M. Antoniac A. Prejmerean V. Ambrosie I. New Pre-Reacted Glass Containing Dental Composites (giomers) with Improved Fluoride Release and Biocompatibility. *Materials* 2019; 12 (23):4021 <https://doi.org/10.3390/ma12234021>.
 71. Vilchis RJS. Yamamoto S. Kitai N. Hotta M. Yamamoto K. Shear Bond Strength of a New Fluoride-Releasing Orthodontic Adhesive. *Dent. Mater. J.* 2007; 26 (1): 45–51.
 72. Han L. Cv E. Li M. Niwano K. Ab N. Okamoto A. Honda N. Iwaku M. Effect of Fluoride Mouth Rinse on Fluoride Releasing and Recharging from Aesthetic Dental Materials. *Dent. Mater. J.* 2002; 21 (4): 285–295.
 73. Silva EM. da Almeida GS. Poskus LT. Guimarães JGA. Relationship between the Degree of Conversion, Solubility and Salivary Sorption of a Hybrid and a Nanofilled Resin Composite. *J. Appl. Oral Sci.* 2008; 16 (2): 161–166.
 74. McCabe JF. Rusby S. Water Absorption, Dimensional Change and Radial Pressure in Resin Matrix Dental Restorative Materials. *Biomaterials* 2004; 25 (18): 4001–4007.
 75. Gonulol N. Ozer S. Sen Tunc E. Water Sorption, Solubility, and Color Stability of Giomer Restoratives. *J. Esthet. Restor. Dent.* 2015; 27 (5): 300–306.
 76. van Dijken JWV. A 6-Year Prospective Evaluation of a One-Step HEMA-Free Self-Etching Adhesive in Class II Restorations. *Dent. Mater.* 2013; 29 (11): 1116–1122.
 77. Bansal R. Bansal T. A Comparative Evaluation of the Amount of Fluoride Release and Re-Release after Recharging from Aesthetic Restorative Materials: An in Vitro Study. *J. Clin. Diagn. Res.* 2015; 9 (8): ZC11–ZC14.
 78. Gururaj M. Shetty R. Nayak M. Shetty S. Kumar CV. Fluoride Releasing and Uptake Capacities of Esthetic Restorations. *J. Contemp. Dent. Pract.* 2013; 14 (5): 887–891.
 79. Sunico, M. C.; Shinkai, K.; Katoh, Y. Two-Year Clinical Performance of Occlusal and Cervical Giomer Restorations. *Oper. Dent.* 2005, 30 (3), 282–289.
 80. Ruivo MA. Pacheco RR. Sebold M. Giannini M. Surface Roughness and Filler Particles Characterization of Resin-Based Composites. *Microsc. Res. Tech.* 2019; 82 (10): 1756–1767.
 81. Zheng X. Cheng X. Wang L. Qiu W. Wang S. et al. Combinatorial Effects of Arginine and Fluoride on Oral Bacteria. *J. Dent. Res.* 2015; 94: (2), 344–353.
 82. Koo, H. Strategies to Enhance the Biological Effects of Fluoride on Dental Biofilms. *Adv. Dent. Res.* 2008; 20 (1): 17–21.
 83. Cate JM. Current concepts on the theories of the mechanism of action of fluoride. *Acta Odontologica Scandinavica.* 1999;57(6):325-9.
 84. Rošin-Grget K. Peroš K. Sutej I. Bašić K. The Cariostatic Mechanisms of Fluoride. *Acta Med. Acad.* 2013; 42 (2): 179–188.
 85. Wojnarowska-Nowak R. Rzeszutko J. Barylyak A. Nechyporenko, G.; Zinchenko V. Leszczyńska, D. Bobitski Y. Kus-Liškiewicz M. Structural, Physical and Antibacterial Properties of Pristine and Ag+ Doped Fluoroapatite Nanomaterials. *Adv. Appl. Ceram.* 2017; 116 (2): 108–117.
 86. Anastasiou AD. Nerantzaki M. Gounari E. Duggal MS. Giannoudis P. V.; Jha A. Bikiaris D. Antibacterial Properties and Regenerative Potential of Sr²⁺ and Ce³⁺ Doped Fluorapatites; a Potential Solution for Peri-Implantitis. *Sci. Rep.* 2019; 9 (1): 14469.
 87. Miletic, V. *Dental Composite Materials for Direct Restorations*; Springer, 2018; pp 3-9
 88. Attar N. Onen A. Fluoride Release and Uptake Characteristics of Aesthetic Restorative Materials. *J. Oral Rehabil.* 2002; 29 (8): 791–798.
 89. Kus-Liškiewicz M. Rzeszutko J. Bobitski Y. Barylyak A. Nechyporenko, G. Zinchenko V. Zebrowski J. Alternative Approach for Fighting Bacteria and Fungi: Use of Modified Fluorapatite. *J. Biomed. Nanotechnol.* 2019; 15 (4): 848–855.
 90. Montazeri N. Jahandideh R. Biazar E. Synthesis of Fluorapatite-Hydroxyapatite Nanoparticles

and Toxicity Investigations. *Int. J. Nanomedicine* 2011; 6: 197–201.

91. Balhaddad AA, Kansara AA, Hidan D, Weir MD, Xu, HHK, Melo MAS. Toward Dental Caries: Exploring Nanoparticle-Based Platforms and Calcium Phosphate Compounds for Dental Restorative Materials. *Bioactive Materials*. 2019; pp 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2018.12.002>.
92. Cabral MFC, de Menezes Martinho RL, Guedes-Neto MV, Rebelo MAB, Pontes DG, Cohen-Carneiro F. Do Conventional Glass Ionomer Cements Release More Fluoride than Resin-Modified Glass Ionomer Cements? *Restorative Dentistry & Endodontics*. 2015; p209.
93. Jingrwar MM, Pathak A, Bajwa NK, Sidhu HS. Quantitative assessment of fluoride release and recharge ability of different restorative materials in different media: an in vitro study. *J Clin Diagn Res*. 2014; 8: 31–34.
94. Yoda A, Nikaido T, Ikeda M, Sonoda H, Foxton RM, Tagami J. Effect of curing method and storage condition on fluoride ion release from a fluoride-releasing resin cement. *Dent Mater J*. 2006; 25: 261–266.
95. Hammouda IM, Al-Wakeel EE. Effect of water storage on fluoride release and mechanical properties of a polyacid-modified composite resin (compomer). *J Biomed Res*. 2011; 25: 254–258.
96. Silva KG, Pedrini D, Delbem AC, Cannon M. Microhardness and fluoride release of restorative materials in different storage media. *Braz Dent J*. 2007; 18: 309–313.
97. Dionysopoulos D. The effect of fluoride-releasing restorative materials on inhibition of secondary caries formation. *Fluoride*. 2014; 47: 258–265.
98. Carey CM, Spencer M, Gove RJ, Eichmiller FC. Fluoride release from a resin-modified glass-ionomer cement in a continuous-flow system: effect of pH. *J Dent Res*. 2003; 82: 829–832.