

Modifiye cam iyonomer simanlar: Güncel bir yaklaşım

Mustafa Erhan Sarı(0000-0002-7837-1069)^α, Sevgin İbiş(0000-0002-2800-2214)^β

Selcuk Dent J, 2019; 6: 206-212 (Doi: 10.15311/selcukdentj.310844)

Başvuru Tarihi: 06 Mayıs 2017
Yayına Kabul Tarihi: 31 Mayıs 2018

ÖZ

Modifiye cam iyonomer simanlar: Güncel bir yaklaşım

Cam iyonomer simanların biyolojik uyumlulukları ve flor salma özellikleri ile diş hekimliğinde pek çok uygulama endikasyonu bulunur. Son yıllarda bu materyallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilebilmesi için, rezin modifiye cam iyonomerlere nano-boyutlu doldurucuların eklenmesi, cam partiküllerinin boyutunun azaltılması ve cam tozuna nano-boyutlu biyoseramiklerin sokulması gibi çeşitli yenilikler tanıtılmıştır. Bu yenilikler geleneksel cam iyonomerlerin mekanik özelliklerini, aynı zamanda flor salınımını ve biyoaktivitesini de arttırmaktadır. Bu derlemenin amacı bu yenilikleri gözden geçirmektir.

ANAHTAR KELİMELELER

Adeziv diş hekimliği, cam iyonomer siman, nano teknoloji

ABSTRACT

Modified glass ionomer cements: A current approach

As their biological compatibility and fluoride ion release, glass ionomer cements are being used in several clinical applications in dentistry. In recent years, various innovations have been introduced to improve the physical and chemical properties of these materials such as incorporation of nano-sized fillers to resin modified glass ionomer cement, reducing the size of the glass particles, and introducing nano-sized bioceramics to the glass powder. These innovations increase the mechanical properties of conventional glass ionomers, as well as fluoride release and bioactivity. The aim of this paper is to review these modifications.

KEYWORDS

Adhesive dentistry, glass ionomer cement, nanotechnology

Modern dental materyallerin iyi bir örneği olan cam iyonomer simanlar (CIS), 1972 yılında ASPA (aluminosilicatepolyacrylic asit) adı altında Wilson ve Kent¹ tarafından tanıtılmıştır. Silikat simanla, polikarboksilat simanın hibriti şeklinde tanımlanan cam iyonomer simanlar toz-likit formların karıştırılması ile elde edilir. Toz formu, bazik floro-alumino silikat taneciklerinden, kalsiyum, florür, sodyum ve fosfattan oluşurken; likiti ise aköz poliakrilik asitten oluşur.²

CIS'ların karakteristik özelliklerinden biri asit polimer zincirlerinin karboksil gruplarının mine ve dentindeki kalsiyum iyonları ile şelasyonu vasıtasıyla gerçekleşen diş dokularına kimyasal bağlantısıdır.³ Buna ek olarak kabul edilebilir translüsentliğe sahip olması, flor ionu salabilmeleriyle bağlantılı çürük karşıtı etkilerinin olması, diş dokularıyla termal uyumluluk göstermesi, herhangi bir bondlama basamağı olmadan yerleştirilebilmesi ve biyoyumlu olması gibi avantajları olan bu materyaller diş hekimliğinde geniş bir uygulama alanına sahiptir.^{4,5}

Süt dişlerinin daimi restorasyonlarında, sınıf 3 ve sınıf 5 restorasyonlarda, daimi molarlarda fissür örtücü olarak, kron, köprü, yer tutucu ve ortodontik malzeme yapıştırılması ve diğer indirekt restorasyonların yapıştırılmasında, sandviç tekniği ve atravmatik restoratif tedavi materyali olarak kullanılmaktadır.^{2,6-11} Bütün bu

avantajlarının yanında aşınma direncinin düşük olması, nem kontaminasyonuna hassas olması, yüksek oranda mikro sızıntı göstermesi ve yüzey özelliklerinin yetersiz olması gibi dezavantajları olan bu materyallerin çalışma zamanı kısa ve sertleşme zamanı uzundur.¹²

Bu derlemenin amacı CIS'ların zayıf mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirebilmek için yapılan çeşitli modifikasyonları gözden geçirmektir.

Toz-modifiye nano cam iyonomerler

Nano-teknoloji 1-100 nm aralığındaki sistemlerin, modifikasyonların ve materyallerin kullanımını içermektedir.¹³⁻¹⁵ İmplant yüzey modifikasyonları, nano-size partiküllerin katıldığı desteklenmiş polimerik kompozitlerin üretimi diş hekimliğindeki nano teknoloji uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir.¹⁵⁻¹⁷ Son zamanlarda nano-teknoloji kullanılarak nano-boyutlu parçacıklar veya nano-kümlerin, rezin kompozitlere eklendiği gibi¹⁸⁻²⁰ mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirerek CIS'lara eklenmesi de denenmiştir.^{21,22}

Nano-boyutlu partiküllerin üretilmesinde yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olmak üzere iki

^α Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Samsun

^β Bafra Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi, Çocuk Diş Hekimliği Kliniği, Samsun

yaklaşım vardır.¹⁴ Yukarıdan aşağıya nano-fabrikasyon; öğütme, aşındırma ve taş baskı gibi kütle materyallerin kaldırılarak, nano-boyutlu partiküllerin üretimini içerir. Aşağıdan yukarıya nano-fabrikasyon ise, nano-boyutlu partikül atomu üretmeyi içerir ve bu nano-fabrikasyona örnekler doku rejenerasyonu, protein sentezi ve biyomimetik dental implant kaplamalarıdır. CIS'lara katılmak üzere nano-boyutlu partikül üretimi, bulk materyallerin apatit, silikat cam ve bazı metal oksitlerin yukarıdan aşağıya nanofabrikasyonu ile gerçekleştirilir.²³ De Caluwe ve ark.²⁴ çalışmalarında konvansiyonel cam iyonomerlere nano-boyutlu cam partiküllerin eklenmesinin hazırlama süresini azalttığı, sıkışma direncini ve elastisite modülünü arttırdığını göstermişlerdir.

Ağız ısısının ve nemin etkisini belirlemek için laboratuvar ortamında, termal siklus gibi yöntemlerle restoratif materyallerin yapay yaşlanmaları sağlanmıştır. Termal siklus; nano doldurucu CIS'ların mekanik özelliklerine konvansiyonel CIS'lara göre daha fazla zararlı etki göstermiştir ve bu durum bu tür materyallerin uzun vadeli ömrünü olumsuz etkileyebileceği fikrini oluşturmuştur. Cam iyonomerlerin kimyasal yapıları spektroskopik yöntemlerle de test edilebilir. Apatit nano kristallerin katılmasıyla olan nano modifikasyonun CIS'lara etkisi 'Fourier Transform Spektroskopi (FTIR)' ile gözlemlenebilirken^{21,25}, TiO₂ ve ZrO₂ gibi diğer partiküllerin kullanılmasıyla yapılan modifikasyonların etkisi henüz araştırılmamış veya rapor edilmemiştir.

Nano apatit modifikasyonu

Hidroksiapatit ve floroapatit kristalleri mineralize kemik ve dental dokuların benzer yapıları nedeniyle, çürük önlemede remineralizasyona destek olarak ve implant teknolojisi gibi diş hekimliğinin birçok alanında kullanılmaktadır.^{15,26-29} Son zamanlarda nanohidroksiapatit (nHAp) eklenerek modifiye edilmiş olan rezin kompozitlerin, modifiye edilmemiş rezin kompozitlere göre daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir.^{30,31} Benzer şekilde konvansiyonel CIS'ların tozuna nanohibrit veya nanofloroapatit (nFAP) eklenmesi; basma, çekme ve eğilme kuvvetlerine karşı materyalin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir.²⁵

CIS tozuna apatit eklenmesinin hazırlanma sırasında kristalliği arttırdığı FTIR spektroskopisi ile ortaya konulmuştur ve bu sayede kimyasal stabilite ve suda çözünürlük iyileşmiştir. nFAP, nHAp'den daha düşük çözünürlük gösterdiği için nFAP içeren CIS'lar, nHAp içeren CIS'lardan daha iyi mekanik özelliğe sahiptir.^{21,25} Apatit modifiye CIS'ların gelişmiş mekanik özelliklerinin, poliakrilik asit ve apatit kristalleri arasındaki iyonik etkileşim sonucu olduğu ileri sürülmüştür.²¹

Standart poliakrilik kopolimerlerin yerine, nHAp içeren toza n-vinilpirilidon, itatonik asit ve poliakrilik asit eklendiğinde iyileştirme daha belirgindir. Bu da n-vinilpirilidon ve apatit kristalleri arasındaki fiziko-kimyasal etkileşime bağlanmıştır.²⁵ Dahası, diş dokularındaki kalsiyum iyonları ile apatit kristalleri arasındaki güçlü iyonik bağ oluşumuna bağlı olarak nano-apatit içeren cam iyonomerler, diş yüzeyine daha yüksek bağlantı göstermektedir.³² Buna ek olarak apatit boyutlarının azalması yüzey alanını artırır ve kristallerin demineralize dentine ve mine boşluklarına infiltrasyonu artar. Böylece diş-iyonmer ara yüzü bağlantısı gelişmiş olur.³³

Nano-boyutlu HAp/Zr, CaF₂ ve TiO₂ partikülleri ile modifikasyon

CIS'ların mekanik özelliklerini geliştirmek için tozuna % 4 konsantrasyonda zirkonya ve HAp (HAp/ZrO₂) kombinasyonu eklenmiştir ve CIS örnekleri SEM ile analiz edilmiştir. Matriks içinde fark edilen yoğun ve homojen dağılım gösteren cam ve HAp/ZrO₂ partikülleri, mekanik özelliklerin geliştirilmesi için önemli bir faktör olmuştur. Bununla birlikte zayıf ZrO₂-cam ara yüzeyi bağlantısına bağlı olarak modifiye edilmemiş CIS'lara göre daha fazla çatlak görülmüştür. Zayıf ZrO₂-cam ara yüz bağlantısına ve daha az cam oranına bağlı olarak, % 4'ü aşan HAp/ZrO₂ konsantrasyonu, CIS'ların özelliklerine olumsuz etkide bulunmaktadır.³⁴ Kalsiyum florid (CaF₂) nanopartikülleri de RMCIS'lara katılarak mekanik özellikler geliştirilebilir ve CIS'ların flor salınım yeteneği üzerine olumlu etkide bulunabilmektedir.³⁵ Benzer şekilde CIS tozuna TiO₂ (% 3-5 wt.) nanopartikülleri eklenmesinin materyalin antibakteriyel etkisini ve mekanik özelliklerini arttırdığı gözlemlenmiştir.^{36,37} CIS'ların toksisitesini değerlendirmek için in vitro olarak yapılan çalışmalarda nano-partiküllü TiO₂ içeren CIS'ların prostaglandin E₂ inflamatuvar faktörünün salınımını stimüle ettiği görülmüştür.³⁸ Sitotoksik etkisinden dolayı bu materyallerle ilgili daha geniş çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Nano doldurucu rezin modifiye cam iyonomerler

Cam tozu ve poliasit solüsyondan meydana gelen konvansiyonel CIS'ların aksine, RMCIS'lar kendi kendine veya ışıkla aktive olan polimer rezin komponentler içerir. Bu hibrit materyaller, CIS'ların çürük önleyici potansiyeli ile mekanik özelliklerini birleştirmek için geliştirilmiştir.¹² Aslında RMCIS'ların flor salma özelliklerinin yanında aynı zamanda konvansiyonel CIS'lara göre üstün bükülme dirençleri vardır ve bu materyaller daha az çözünürlüğe sahiptir. RMCIS'ların yerleştirilmesinden sonraki ilk 24 saat su emilimine bağlı genişlemelerinin % 3.4'den % 11.3'e çıktığı görülür.³⁹ Resin kompozitlerle karşılaştırıldığında konvansiyonel RMCIS'lar, daha kırılmandır ve daha az estetiklerdir.^{12,39} Buna ek olarak konvansiyonel toz bazlı cam iyonomerlerle karşılaştırıldığında RMCIS'lar azalmış flor salınımına sahiptir ancak daha yüksek yayılma gösterirler.⁴⁰

Nano-RMCIS'ların mekanik, fiziksel özellikleri ve flor salınımı

Kompozit restoratif materyallere benzer şekilde CIS'lerde da doldurucu partiküllerin boyutu ve şekli mekanik özelliklerini etkiler.^{34,41} Genel olarak doldurucuların daha düşük boyutlu ve daha yoğun olması CIS'lerin sıkışma dayanımını ve sertliğini artırır ayrıca partiküllerin büyümesi daha yüksek aşınma direnci sağlar.⁴¹ RMCIS'lerdeki cam partiküller ve rezin faz arasındaki kimyasal bağlantı, konvansiyonel CIS'lara göre daha yüksek bükülme ve çekme direncine sahip olmalarını sağlar.^{41,42}

Konvansiyonel RMCIS'lar, nano-RMCIS'lara göre nispeten daha iyi bükülme dayanımı ve daha yüksek yorulma sınırı gösterirler.^{35,43} Buna ek olarak nano-RMCIS'lar asitle pürüzlendirildiğinde mekanik testlerde daha kötü performans göstermişlerdir. Çünkü asidojenik mikrofloraya bağlı olarak oral pH 4'e kadar düşebilir ve asidik ortam bu malzemelerin asit erozyonuna duyarlılığı nedeniyle nano-RMCIS'ların uzun vadeli ömrünü tehlikeye sokabilir.⁴⁴ Buna ek olarak rezin polimerizasyonu sırasındaki nanopartiküller arasındaki boşluklardan kaynaklı olarak nHAp modifiye RMCIS'ların hazırlama süresi 800 saniyeyi aşabilir ve bu süre ISO standartlarından (90-480s) daha uzundur.^{45,46} RMCIS'lar dentine % 10'luk poliakrilik asit kullanılarak açılan kollajen bağlarının içine "mikromekanik bağlar" ve demineralize dentin/minenin içindeki HAp kristallerinin, kalsiyum iyonlarıyla asitten gelen karboksil gruplarının iyonik etkileşimiyle meydana gelen "kimyasal bağlanmanın" kombinasyonu ile bağlanır.^{47,48} Nano dolduruculu RMCIS'lar da benzer bir bağlanma mekanizması gösterir ancak dentine rezin tagların minimal infiltrasyonu, konvansiyonel CIS'lara benzer şekilde mikromekanik tutunmadan ziyade dişlerle olan iyonik bağlantının göstergesidir.⁴⁹

Ticari olarak temin edilebilen nano-dolduruculu RMCIS (Ketac N100/Ketac Nano 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) silika doldurucu nanoküpleri içerir ve bir primer (Ketac Nano Primer) ile tedarik edilir. Cam iyonomer simanın yerleştirilmesinden önce diş dokularına bu primer uygulanır. Diğer yandan son çalışmalar göstermiştir ki nano-dolduruculu RMCIS ve konvansiyonel RMCIS'lar arasında çekme dayanımı açısından anlamlı fark bulunmamıştır.⁴⁹ Genel olarak bilindiği üzere aşındırma prosedürlerini takiben dentinin aşırı kurutulması kollajen fibrillerin çökmesine neden olabilir. Wet-bonding teknik dentin yüzeyinin nemli kalmasını sağlar ve bu durum havayla kurutmanın ortaya çıkardığı demineralize dentinin çökmesini engeller. Bununla birlikte fonksiyonel primerlerle spesifik dentin hazırlığı da; dentin kollajen fibrillerinin çökmesini önler ve RMCIS'lar gibi rezin adezivlerin bağlanma performansını artırır.^{50,51}

Diş preparasyonunu takiben diş yüzeyinde kalan bir tür film olarak tanımlanan smear tabakası, restoratif materyallerin diş dokularına bağlanmasına engel olmaktadır.⁵² Diğer yandan fonksiyonel primerlerin pH'ı smear tabakasını kaldırmak için yeteri kadar düşüktür ve dentin ve mineye kimyasal bağlanmayı arttırabilir.^{53,54} Benzer şekilde % 37'lik fosforik asitle pürüzlendirme; smear tabakasını kaldırarak ve yüzey enerjisini arttırarak dolduruculu RMCIS'ların makaslama direncini yükseltebilir.⁵⁴⁻⁵⁶

Bununla birlikte, GIC'lerin ve RMGIC'lerin; fosforik asitle dekalsifiye dentinin infiltrasyonundan hariç tutulan nispeten yüksek moleküler ağırlıklı polikarboksilik asit bazlı polimerler (Mw: 8000 ila 15,000) içerdiği göz önünde bulundurulmalıdır.^{57,58} Buna göre dekalsifiye dentinde kollajen ağlar korunmasız kalabilir ve hidrolitik bozulmaya maruz kalabilir. CIS bazlı materyallerin poliaklenoik polimerlerinin dentin kollajeninin içine nüfuz edememesi sebebiyle agresif dentin ön işlemleri bu materyaller kullanılırken uygulanmamalıdır.⁵⁹ Bu nedenle nano-dolduruculu RMCIS'ların restorasyonları sırasında, ek bondlama basamağı veya poliakrilik asit ajan uygulanmasının bu materyallerin yapışma performansını arttırdığına inanılmaktadır. Lazerle asitleme de bu nano-dolduruculu RMCIS'lar için potansiyonel bir bağlama yöntemi olarak gösterilse de geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında bağlanma dayanımı açısından anlamlı bir gelişme gözlenmemiştir.⁶⁰ Nano-RMCIS'ların klinik performanslarını konvansiyonel CIS'lar ve rezin kompozitlerle karşılaştıran bir çalışmada restorasyonlar arasında bir yıllık sağ kalım açısından fark olmadığı gösterilmiştir.⁶¹ Bununla birlikte, nano-RMGIC'nin konvansiyonel RMGIC'ye kıyasla daha düşük marjinal bütünlüğe sahip olduğu bulunmuştur ve bu düşük bağlanma performansı nano-RMCIS'ların dentin yerine mineye uygulanmasına bağlanmıştır.⁶²

Yüksek konsantrasyonlarda florun demineralizasyonu azaltıp remineralizasyonu arttırdığı, diş yüzeyine bakteri gelişimini ve yapışmasını engellediği ayrıca kompleks bakteri biyofilminin oluşmasını durdurduğu bilinmektedir.⁵ Cam iyonomerlerden flor salınımı bilinen bir durumdur. Ancak iyonomerler içindeki flor, sertleşme reaksiyonunda rol almaz, iyon değişimi süresinde salınır. Dahası cam iyonomerler tükürükteki floru absorbe edebilir ve flor rezervi olarak görev alabilir.^{40,63-67} Ancak bugüne kadar cam iyonomerlerden salınan flor miktarının çürük oluşumunu engellemek için yeterli olduğu kanıtlanamamıştır.^{66,67} Nano-RMCIS ve konvansiyonel RMCIS'lardan salınan kütleli floridleri birbirleriyle karşılaştıran çeşitli çalışmalara göre nano-RMCIS'lar daha az flor salmaktadırlar.^{35,68,69} Nano-RMCIS'lardan

flor salınımında ph 4'de hafif bir artış olmasına rağmen, 84 günün sonunda salınan toplam flor ve gün içinde numune yüzeyi başına salınan flor miktarının geleneksel RMGIC'lerinkine karşılaştırılabilir olduğu gözlenmiştir.³⁵

Şimdiye kadar nano-iyonomer simanla restore edilmiş dişlerdeki sekonder çürüklerle ilgili uzun dönemli klinik çalışma yapılmamıştır. Ayrıca klinik ortamlarda bu simanların konvansiyonel CIS'lardan daha yüksek çürük önleyici etkisinin olup olmadığı tespit edilememiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Konvansiyonel CIS'ların ve RMCIS'ların diş hekimliğinde geniş bir uygulama yelpazesi olmasına rağmen mekanik ve fiziksel özelliklerinin yanısıra flor salınımının artırılması amacıyla yeni modifikasyonlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu materyallerin nanomodifikasyonu; RMCIS'lara nano-boyutlu doldurucuların eklenmesiyle, cam partikül boyutlarının azaltılması ve nano boyutlu biyoseramiklerin cam tozuna katılması ile elde edilebilmektedir. Ticari olarak temin edilebilen nano dolduruculu RMCIS'lar, eğilme ve çekme kuvveti açısından mikro dolduruculu RMCIS'lar üzerine anlamlı bir üstünlüğe sahip olmazken, nano dolduruculu RMCIS'ların yapıştırılma özellikleri ve cam-biyoseramik arayüzündeki başarısızlık hala endişe konusudur. Dahası, çok az sayıda çalışma nanomodifikasyon CIS'ların pulpa hücreleri üzerine etkilerine odaklanmıştır. Bu nedenle nano-dolduruculu CIS'ların uygulamalarıyla ilgili daha fazla klinik ve laboratuvar çalışmalarına ihtiyaç olduğu düşüncesindeyiz.

KAYNAKLAR

1. Wilson AD, Kent BE. A new translucent cement for dentistry: The glass ionomer cement. *Br Dent J* 1972; 132: 1335.
2. McLean JW. The clinical use of glass ionomer cements. *Dental Clinic of North America* 1992; 36: 693-711.
3. Sennou HE, Lebugle AA, Gregoire GL. X-ray photoelectron spectroscopy study of the dentin-glass ionomer cement interface. *Dent Mater* 1999; 15: 229-37
4. Preston AJ, Mair LH, Agalamanyi EA, Higham SM. Fluoride release from aesthetic dental materials. *J Oral Rehabil* 1999; 26: 123-9.
5. Wiegand A, Buchalla W, Attin T. Review on fluoride-releasing restorative materials—Fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater* 2007; 23: 343-62.
6. McLean JW, Powis DR, Prosser HJ, Wilson AD. The use of glass-ionomer cements in bonding composite resins to dentine. *Br Dent J* 1985; 158:410-4.
7. Abdalla AI, Alhadainy HA, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of glass ionomers and compomers in class V carious lesions. *Am J Dent* 1997; 10: 18-20.
8. Terata R, Nakashima K, Kubota M. Effect of temporary materials on bond strength of resin-modified glass-ionomer luting cements to teeth. *Am J Dent* 2000; 13: 209-11.
9. Murdoch-Kinch CA, McLean ME. Minimally invasive dentistry. *J Am Dent Assoc* 2003; 134: 87-95.
10. De Amorim RG, Leal SC, Frencken JE. Survival of atraumatic restorative treatment (ART) sealants and restorations: A meta-analysis. *Clin Oral Investig* 2012; 16: 429-41.
11. Peumans M, de Munck J, Mine A, van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives for the restoration of non-carious cervical lesions. A systematic review *Dent Mater* 2014; 30: 1089-103.
12. McCabe JF. Resin-modified glass-ionomers. *Biomaterials* 1998; 19: 521-7.
13. Hannig M, Hannig C. Nanomaterials in preventive dentistry. *Nat. Nanotechnol* 2010; 5: 565-9.
14. Khurshid Z, Zafar M, Qasim S, Shahab S, Naseem M, AbuReqaiba A. Advances in nanotechnology for restorative dentistry. *Materials* 2015; 8: 717-31.
15. Najeed S, Khurshid Z, Matinlinna JP, Siddiqui F, Nassani MZ, Baroudi K. Nanomodified peek dental implants: Bioactive composites and surface modification—A review. *Int J Dent* 2015; 381759.
16. Le Guéhennec L, Soueidan A, Layrolle P, Amouriq Y. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dent Mater* 2007; 23: 844-54.
17. Hannig M, Hannig C. Nanotechnology and its role in caries therapy. *Adv Dent Res* 2012; 24: 53-7.
18. Terry DA. Direct applications of a nanocomposite resin system: Part 1-the evolution of contemporary composite materials. *Pract Proced Aesthet Dent* 2004; 16: 417-32.
19. Curtis AR, Palin WM, Fleming GJP, Shortall ACC, Marquis PM. The mechanical properties of nanofilled resin-based composites: The impact of dry and wet cyclic pre-loading on biaxial flexure strength. *Dent. Mater* 2009; 25: 188-97.
20. Chen MH. Update on dental nanocomposites. *J Dent Res* 2010; 89: 549-60.
21. Moshaverinia A, Ansari S, Moshaverinia M, Roohpour N, Darr JA, Rehman I. Effects of incorporation of hydroxyapatite and fluoroapatite nanobioceramics into conventional glass ionomer cements (GIC). *Acta Biomater* 2008; 4: 432-40.
22. Moshaverinia A, Roohpour N, Chee WWL, Schricker SR. A review of powder modifications in conventional glass-ionomer dental cements. *J Mater Chem* 2011; 21: 1319-28.
23. Shariq N, Zohaib K, Muhammad SZ, Abdul SK, Sana Z, Juan Manuel NM et al. Modifications in Glass Ionomer Cements: Nano-Sized Fillers and Bioactive Nanoceramics. *Int J Mol Sci* 2016; 17: 1134.
24. De Caluwe T, Vercruyse CW, Fraeyman S, Verbeeck RM. The influence of particle size and fluorine content of aluminosilicate glass on the glass ionomer cement properties. *Dent. Mater* 2014; 30: 1029-38.
25. Moshaverinia A, Ansari S, Movasaghi Z, Billington RW, Darr JA, Rehman IU. Modification of conventional glass-ionomer cements with N-vinylpyrrolidone containing polyacids, nano-hydroxy and fluoroapatite to improve mechanical properties. *Dent Mater* 2008; 24: 1381-90.
26. Ong JL, Chan DCN. Hydroxyapatite and their use as coatings in dental implants: A review. *Crit Rev Biomed Eng* 2000; 28: 667-707
27. Huang SB, Gao SS, Yu HY. Effect of nano-hydroxyapatite concentration on remineralization of initial enamel lesion in vitro. *Biomed. Mater* 2009; 4: 034104.
28. Huang S, Gao S, Cheng L, Yu H. Remineralization potential of nano-hydroxyapatite on initial enamel lesions: An in vitro study. *Caries Res* 2011; 45: 460-8.
29. Javed F, Vohra F, Zafar S, Almas K. Significance of osteogenic surface coatings on implants to enhance osseointegration under osteoporotic-like conditions. *Implant Dent*, 2014; 23: 679-86.

30. Yap AUJ, Pek YS, Kumar RA, Cheang P, Khor KA. Experimental studies on a new bioactive material: Haionomer cements. *Biomaterials* 2002; 23: 955–62.
31. Zakir M, Al Kheraif AAA; Asif M, Wong FSL, Rehman IUA. Comparison of the mechanical properties of a modified silorane based dental composite with those of commercially available composite material. *Dent Mater* 2013; 29: 53–9.
32. Lucas ME, Arita K, Nishino M. Toughness, bonding and fluoride-release properties of hydroxyapatite-added glass ionomer cement. *Biomaterials* 2003; 24: 3787–94.
33. Lee JJ, Lee YK, Choi BJ, Lee JH, Choi HJ, Son HK, Hwang JW, Kim SO. Physical properties of resin-reinforced glass ionomer cement modified with micro and nano-hydroxyapatite. *J. Nanosci. Nanotechnol* 2010; 10: 5270–6.
34. Gu YW, Yap AU, Cheang P, Kumar R. Spheroidization of glass powders for glass ionomer cements. *Biomaterials* 2004; 25: 4029–35.
35. Moreau JL, Xu HH. Fluoride releasing restorative materials: Effects of pH on mechanical properties and ion release. *Dent Mater* 2010; 26: 227–35.
36. Elsaka SE, Hamouda IM, Swain MV. Titanium dioxide nanoparticles addition to a conventional glass-ionomer restorative: Influence on physical and antibacterial properties. *J. Dent* 2011; 39: 589–98.
37. Garcia-Contreras R, Scougall-Vilchis RJ, Contreras-Bulnes R, Sakagami H, Morales-Luckie RA, Nakajima H. Mechanical, antibacterial and bond strength properties of nano-titanium-enriched glass ionomer cement. *J Appl Oral Sci* 2015; 23: 321–8.
38. Garcia-Contreras R, Scougall-Vilchis RJ, Contreras-Bulnes R, Kanda Y, Nakajima H, Sakagami H. Effects of tio₂ nano glass ionomer cements against normal and cancer oral cells. *In Vivo* 2014; 28: 895–907.
39. Cattani-Lorente MA, Dupuis V, Payan J, Moya F, Meyer JM. Effect of water on the physical properties of resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater* 1999; 15: 71–8.
40. Anusavice KJ, Zhang NZ, Shen C. Effect of CaF₂ content on rate of fluoride release from filled resins. *J Dent Res* 2005; 84: 440–4.
41. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G. Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements. *Dent Mater* 2000; 16: 129–38.
42. Mathis RS, Ferracane JL. Properties of a glass-ionomer/resin-composite hybrid material. *Dent Mater* 1989; 5: 355–8.
43. Pameijer CH, Garcia-Godoy F, Morrow BR, Jefferies SR. Flexural strength and flexural fatigue properties of resin-modified glass ionomers. *J Clin Dent* 2015; 26: 23–7.
44. Hefferren JJ, Koehler HM. *Foods, Nutrition & Dental Health*; Pathotox Publishers: Park Forest South, IL, USA. 1981.
45. Lin J, Zhu J, Gu X, Wen W, Li Q, Fischer-Brandies H, Wang H, Mehl C. Effects of incorporation of nano-fluorapatite or nano-fluorohydroxyapatite on a resin-modified glass ionomer cement. *Acta Biomater* 2001; 7: 1346–53.
46. Moraes RR, Gonçalves LdS, Lancellotti AC, Consani S, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Nanohybrid resin composites: Nanofiller loaded materials or traditional microhybrid resins? *Oper Dent* 2009; 34: 551–7.
47. Mitra SB, 1991. Adhesion to dentin and physical properties of a light-cured glass-ionomer liner/base. *J Dent Res*, 70: 72–4.
48. Lin A, McIntyre NS, Davidson RD. Studies on the adhesion of glass-ionomer cements to dentin. *J Dent Res* 1991; 71: 1836–41.
49. Coutinho E, Cardoso MV, de Munck J, Neves AA, van Landuyt KL, Poitevin A, et al. Bonding effectiveness and interfacial characterization of a nano-filled resin-modified glass-ionomer. *Dent Mater* 2009; 25: 1347–57.
50. Kugel G, Ferrari M. The science of bonding: From first to sixth generation. *J Am Dent. Assoc* 2000; 131: 20–5.
51. Nakaoki Y, Nikaido T, Pereira PNR, Inokoshi S, Tagami J. Dimensional changes of demineralized dentin treated with hema primers. *Dent Mater* 2000; 16: 441–6.
52. Wilson AD, Prosser HJ, Powis DM. Mechanism of adhesion of polyelectrolyte cements to hydroxyapatite. *J Dent Res* 1983; 62: 590–2.
53. Korkmaz Y, Gurgan S, Firat E, Nathanson D. Shear bond strength of three different nano-restorative materials to dentin. *Oper. Dent* 2010; 35: 50–7.
54. El-Askary F, Nassif M. Bonding nano-filled resin-modified glass ionomer to dentin using different self-etch adhesives. *Oper Dent* 2011; 36: 413–21.
55. Imbery TA, Namboodiri A, Duncan A, Amos R, Best AM, Moon PC. Evaluating dentin surface treatments for resin-modified glass ionomer restorative materials. *Oper Dent* 2013; 38: 429–38.
56. Hamama HH, Burrow MF, Yiu C. Effect of dentine conditioning on adhesion of resin-modified glass ionomer adhesives. *Aust Dent J* 2014; 59: 193–200.
57. Sidhu SK, Schmalz G. The biocompatibility of glass-ionomer cement materials. A status report for the american journal of dentistry. *Am J Dent* 2001; 14: 387–96.
58. Sauro S, Watson TF, Thompson I, Toledano M, Nucci C, Banerjee A. Influence of air-abrasion executed with polyacrylic acid-bioglass 45S5 on the bonding performance of a resin-modified glass ionomer cement. *Eur J Oral Sci* 2012; 120: 168–77.

59. Takahashi M, Nakajima M, Tagami J, Scheffel DLS, Carvalho RM, Mazzoni, A. et al. The importance of size-exclusion characteristics of type I collagen in bonding to dentin matrices. *Acta Biomater* 2013; 9, 9522–8.
60. Korkmaz Y, Ozel E, Attar N, Ozge BC. Influence of different conditioning methods on the shear bond strength of novel light-curing nano-ionomer restorative to enamel and dentin. *Lasers Med. Sci* 2010; 25: 861–6.
61. Perdigao J, Dutra-Correa M, Saraceni SH, Ciaramicoli MT, Kiyani VH. Randomized clinical trial of two resin-modified glass ionomer materials: 1-Year results. *Oper Dent* 2012; 37: 591–601
62. El Wakeel AM, Elkassas DW, Yousry MM. Bonding of contemporary glass ionomer cements to different tooth substrates; microshear bond strength and scanning electron microscope study. *Eur J Dent* 2015; 9: 176–82.
63. Forsten L. Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. *Biomaterials* 1998; 9: 503–8.
64. Skrtic D, Antonucci JM, Eanes ED, Eichmiller FC, Schumacher GE. Physicochemical evaluation of bioactive polymeric composites based on hybrid amorphous calcium phosphates. *J Biomed Mater Res* 2000; 53: 381–91.
65. Glasspoole EA, Erickson RL, Davidson CL. A fluoride-releasing composite for dental applications. *Dent Mater* 2001; 17: 127–33.
66. Ullah R, Zafar MS, Al-Munawwarah AM, Arabia S. Oral and dental delivery of fluoride: A review. *Fluoride* 2015; 48: 195–204.
67. Zafar MS, Ahmed N. Therapeutic roles of fluoride released from restorative dental materials. *Fluoride* 2015; 48: 184–94.
68. Neelakantan P, John S, Anand S, Sureshbabu N, Subbarao C. Fluoride release from a new glass-ionomer cement. *Oper Dent* 2011; 36: 80–5.
69. Paschoal MAB, Gurgel CV, Rios D, Magalhães AC, Buzalaf MAR, Machado M.A.d.A.M. Fluoride release profile of a nanofilled resin-modified glass ionomer cement. *Braz Dent J* 2011; 22: 275–9.

Yazışma Adresi:

Doç. Dr. Mustafa Erhan SARI
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi
Pedodonti Anabilim Dalı
Kurupelit, Samsun, Türkiye
Tel : +90 362 312 19 19 – 2784
Faks : +90 362 457 60 32
E-mail : dterhansari@hotmail.com