

# Güçlendirilmiş cam iyonomer siman çeşitleri

## Reinforced glass ionomer cement types

Seda Nur KARAKAŞ 

Çukurova Üniversitesi, Diş  
Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş  
Tedavisi Anabilim Dalı, Adana,  
Türkiye



### ÖZ

Restoratif materyallerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri yapılan restorasyonun uzun ömürlü olabilmesi ve hasta memnuniyeti için büyük önem taşımaktadır. Günümüzde daimi restoratif materyaller olarak amalgam, kompozit rezin ve cam iyonomer simanlar rutin klinik uygulamalarda kullanılmaktadır. Cam iyonomer simanlar 1972'de piyasa çıkarıldıkları tarihten itibaren farklı klinik uygulamalar için kullanılmıştır. Cam iyonomer simanların diş dokularına kimyasal olarak bağlanabilmesi, flor salınımı, antikaryojenik ve remineralizasyon potansiyellerinin olması gibi birçok avantajları bulunmaktadır. Ancak aşınmaya dirençlerinin ve mekanik özelliklerinin zayıf olması ve sertleşme aşamasında neme hassasiyetlerinin yüksek olması gibi olumsuzluklar daimi dişlerde kullanımını sınırlamaktadır. Son zamanlarda sahip olduğu olumlu özellikler nedeniyle daimi restoratif materyal olarak kullanmak için birçok araştırma ve geliştirme çalışması başlamıştır. Cam iyonomer simanların olumsuz özelliklerini giderebilmek amacıyla, içeriklerinde, toz oranlarında ve sertleşme reaksiyonlarında bir çok değişiklik yapılmıştır. Böylece zayıf fiziksel ve mekanik özellikleri güçlendirilerek daimi restoratif materyal olarak kullanılmaktadır. Bu derlemede restoratif materyal olarak kullanımı artmakta olan cam iyonomer simanların içeriği ve güçlendirilmiş cam iyonomer simanlardaki son gelişmeler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Amalgomer, giomer, cam iyonomer simanlar, yüksek viskoziteli cam iyonomer simanlar, zirconomer

### ABSTRACT

The chemical, physical, and mechanical properties of the restorative materials have great importance for the longevity of the restoration and patient satisfaction. At the present time, amalgam, composite resin, and glass ionomer cements are used in common clinical applications as permanent restorative materials. Glass ionomer cements have been used for different clinical applications since their introduction in the market in 1972. Glass ionomer cements have many advantages such as chemically bonding to tooth tissues, fluoride release, anti-caryogenic and remineralization potentials. However, its low abrasion resistance and mechanical properties and its high sensitivity to moisture during the setting phase limit its use in permanent teeth. Recently, many research and development studies have started to be used as permanent restorative material due to its positive properties. In order to eliminate the negative properties of glass ionomer cements, many changes have been made in their contents, powder ratios and hardening reactions. Thus, its weak physical and mechanical properties are strengthened and used as a permanent restorative material. In this review, the content and recent developments of glass ionomer cements which are increasingly used as restorative materials are examined.

**Keywords:** Amalgomer, giomer, glass ionomer cements, high viscosity glass ionomer cements, zirconomer

### GİRİŞ

Restoratif diş hekimliğinde cam iyonomer simanlar (CİS) yaygın olarak kullanılan restoratif materyallerdendir. CİS kullanımının kolay olması, flor iyonu salınımı ve reşarj olabilme özellikleri sayesinde antikaryojenik potansiyellerinin bulunması, biyouyumlu olması, diş dokularına kimyasal olarak bağlanabilmesi, termal genişleme katsayılarının diş dokularına benzer olması gibi özellikleriyle oldukça popüler bir restoratif materyaldir.<sup>1</sup>

Geliş Tarihi/Received: 09.09.2020

Kabul Tarihi/Accepted: 11.03.2021

Yayın Tarihi/Publication Date: 21.10.2022

Sorumlu Yazar/Corresponding author:

Seda Nur KARAKAŞ

E-mail: skarakas@cu.edu.tr

Cite this article as: Karakaş SN.

Reinforced glass ionomer cement

types. *Curr Res Dent Sci.* 2022;

32(4): 297-304.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

Smith tarafından 1968 yılında ilk çinko-poliaklenat siman geliştirilmiştir. Smith, çinko oksit öjenol simanın yapısı üzerinde çalışarak, likitinde öjenolün yerine poliakrilik asit kullanarak oluşturduğu materyal ile" diş dokularına iyi bağlanabilen polikarboksilat simanları bulmuştur.<sup>2</sup> Cam iyonomer simanlar, 1972 yıllarında Wilson ve Kent tarafından geliştirilmiştir. Klinik kullanıma sunulan ilk ticari preparatın adı Alumino-Silikat-Poliakrilik-Asit olan içeriğin baş harfleri oluşan ASPA olmuştur.<sup>3</sup>

Silikat ve çinko polikarboksilat siman formlarının karıştırılmasıyla oluşan CİS'ler, silikat simanların dirençli olmaları, sertliklerinin yüksek olması ve flor iyonu salmaları gibi özellikleriyle, diş dokularına bağlanma ve biyouyumluluk özellikleri bulunan poliakrilik asit likitinin avantajlarını birleştirmiştir.<sup>4</sup> Cam iyonomer simanlar, dolurucu olarak reaktif fluoroalüminosilikat camın, matriks olarak ise karboksil gruplarından oluşan iki kısım arasında ortaya çıkan asit-baz reaksiyonu ile sertleşen, su bazlı restoratif materyallerdir.<sup>5</sup> CİS'ler toz-likit sistemi karıştırılması ile aktive olmakta ve sonucunda oluşan materyalin estetik görüntüsü kompozit rezinlere benzemekte, fakat içeriğinde bulunan iyonomerler materyalin mine dokusuna göre opak görünmesine neden olmaktadır.<sup>6</sup>

Cam iyonomer simanların birçok avantajının yanı sıra sertleşme aşamasında neme karşı çok hassas olmaları, aşınma dirençlerinin, sıkışma ve eğilme dayanımlarının zayıf olması sebebiyle mekanik özelliklerinin zayıflığı, fazla strese maruz kalan posterior bölgelerde restoratif materyal olarak kullanılmalarını sınırlandırmaktadır.<sup>1</sup> Remineralizasyon potansiyellerinin bulunması ve antikaryojenik özellikleri ile oldukça popüler hale gelen CİS'lerin geliştirilmeye ihtiyaç duyulması, güçlendirilmiş cam iyonomer siman türlerine yönelik çalışmaların yapılmasını sağlamıştır.<sup>7,8</sup> Cam iyonomerin toz ve likit kısmında ikinci bir faz partikülü olarak metal, seramikler ve cam fiber partiküller eklenip farklı modifikasyonlarla geliştirilerek, CİS'in fiziksel ve mekanik özellikleri ve antibakteriyel aktivitesi geliştirilmeye çalışılmıştır.<sup>9</sup>

### Geleneksel Cam İyonomer Simanlar (GCİS)

Geleneksel cam iyonomer simanlar, toz ve likit sisteminin karıştırılmasıyla meydana gelmektedir. GCİS'ler, fluoroalüminosilikat partikülleri ve iyonların çapraz bağlanmasıyla ortaya çıkan polimer matriksten oluşur.<sup>10</sup> Farklı modifikasyonları bulunabilmesine rağmen, tüm geleneksel cam iyonomer simanlar içeriğinde; polikarboksilik asit, fluoroalüminosilikat cam, su ve tartarik asit bulunmaktadır.<sup>11</sup>

### Toz içeriği

Cam iyonomer simanın toz içeriğinde asitin çözebildiği kalsiyum fluoroalüminosilikat cam bulunur, ancak içeriğine bağlı olarak çinko, sodyum, potasyum, stronsiyum ve lantan bulunabilir.<sup>12</sup> Cam bileşen, kimyasal maddeye bağlı olarak 1100-1500 °C'de toz silika (SiO<sub>2</sub>), alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), kriyolit (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>), alüminyum triflorür (AlF<sub>3</sub>), florit (CaF<sub>2</sub>) ve alüminyum fosfat (AlPO<sub>4</sub>) karışımlarının sinterlenmesi ile hazırlanır.<sup>12</sup> Camın iskeletsel yapısı alüminyum oksit ve silikon dioksitten oluşan, üç boyutlu silikat cam yapıdan olan bir tetrahedrondur. Al<sup>+</sup> iyonu tetrahedron yapının merkezindeki silika iyonuyla yer değiştirebilir. Cam tozlarının yapısında bulunan flor ve fosfat iyonları silika tetrahedral yapı içine katılmazlar.<sup>13</sup> Dental dokularda ve dental radyografilerde tespit edilebilmesi için stronsiyum, baryum veya lantan gibi maddeler radyoopak özellik sağlamak için cam tozunun içeriğine eklenebilmektedir.<sup>12</sup>

### Polimerik asitler

CİS'lerin matriks kısmını oluşturmak için kullanılan poliasit çoğunlukla polikarboksilik asitlerdir. Yapılan çalışmalar

sonucunda polivinil fosfonik asit, poliakrilik asit, polimaleik asit, akrilik asit-itakonik asit kopolimeri, akrilik asit-maleik asit kopolimeri, akrilik asit-2 bütan dikarboksilik asit kopolimeri gibi asitler de kullanılabilir.<sup>13</sup>

Polikarboksilik asitler, cam-iyonomer simanın özelliklerini etkiler. Yüksek moleküler ağırlıklar, simanın mukavemetini artırır, ancak yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerin çözeltileri yüksek viskozitelere sahiptir, bu da karıştırılmasını zorlaştırır.<sup>14</sup> Poliasitler, simanın nem varlığında yüzey ön işlemi yapılmadan diş dokularına veya metallere bağlanabilmesine olanak sağlamaktadır.<sup>15</sup>

### Sertleşme reaksiyonu

CİS'lerin sertleşmesi poliakrilik asit içerisinde bulunan karboksilat gruplarının, diş sert dokuları içerisinde yer alan fosfat iyonlarıyla tepkimesi sonucu oluşan asit-baz reaksiyonu şeklindedir.<sup>16</sup>

Cam partiküllerinin asitle teması sonucunda, asiditesi yüksek likit solüsyon (pH=1) silikat cam taneciklerinin çevresindeki bölgeleri çözmekte ve bunun sonucunda Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Na<sup>+</sup>, F<sup>-</sup> gibi iyonlar açığa çıkmaktadır. Polimer kısmın karboksil grupları bu metalik iyonlarla reaksiyona girerek iyonik çapraz bağlı tuz köprüsü oluşturmakta ve camın yüzeyi silika hidrojele dönüşmektedir.<sup>10</sup> Sertleşme reaksiyonunun başında oluşan bu jelin, zayıf bir bağ yapısı bulunur ve suda çözünürlüğü fazla olan Ca<sup>2+</sup> poliakrilat tuz zincirlerinden oluşur. Bu başlangıç sertleşme aşamasında siman nemle karşılaşınca Al ve Ca iyonlarının ortamdaki uzaklaşması ile simanın yapısı oldukça zayıflayacaktır. İlk 24-72 saatte, Ca iyonlarının yerini daha yavaş tepkimeye katılan üç değerli alüminyum(Al<sup>3+</sup>) iyonları almakta ve çapraz bağlı fazla olan fakat mekanik dayanımı yüksek olan bir matriks oluşmaktadır.<sup>17</sup>

CİS'lerin, yapılarında çok fazla zayıf bağlı su bulunur, ancak sertleşme reaksiyonunda neme hassasiyeti fazla olan (hidrofilik) materyallerdir. Bundan dolayı sertleşme tepkimesi sonlanana kadar dehidratasyona ve neme karşı hassastır. Bu özellikleri nedeniyle materyalin translusentliğinde azalma, aşınmaya ve çözülmeye karşı direncin düşmesi gibi fiziksel özelliklerin etkilenmesiyle restorasyonun başarısızlığına neden olacak problemler oluşabilmektedir.<sup>18,19</sup>

### Diş dokularına bağlanma

CİS'ler ile diş dokuları arasında adezyon birkaç aşamada gerçekleşir. İlk olarak, karıştırılan simanın uygulanması, diş yüzeyinin düzgün bir şekilde ıslatılmasını sağlar. Bu, hem siman hem de diş yüzeyinin hidrofilik doğası tarafından yönlendirilir. Simanda bulunan serbest karboksil grupları ile dişin yüzeyindeki bağlı su arasında hidrojen bağlarının oluşması nedeniyle adezyon hızla oluşmaya başlar. Bu hidrojen bağlarının yerini yavaş yavaş dişteki kanyonlar ile simandaki anyonik fonksiyonel gruplar arasında oluşan gerçek iyonik bağlar alır. Bu, diş ile siman arasında iyon değişim tabakasının yavaş oluşmasına neden olur.<sup>20</sup>

Genel olarak, cam-iyonomer simanlar birbiriyle ilişkili iki şekilde bağlanabilir:

1. Cam iyonomer içeriğindeki poliasit sayesinde oluşan mikromekanik bağlanma,
2. Gerçek kimyasal bağlanma. Bu, poliasit moleküller üzerindeki karboksilat grupları ile diş yüzeyindeki kalsiyum iyonları arasında oluşan iyonik bağları içerir.<sup>21</sup>

### Flor iyonu ve antibakteriyel özellikleri

Sertleşme reaksiyonunun oldukça önemli bir ürünü de, cam matriksten salınan, sertleşme reaksiyonun ve iyon değişiminin sonucu

oluşan florür iyonudur. İyon değişimi ile cam matriksten salınan florür karboksil grupları ve su ile yer değiştirmektedir. Uzunca bir sürede flor iyon salınımı devam etmektedir.<sup>11</sup> Uzun süreli florür salınım özellikleri sebebiyle GCİS'lerin antikaryojenik materyaller olarak kabul edilmektedir. İlk 24 saatte görülen yüksek florür salınımı, sertleşme reaksiyonunda cam tozlarının polialkenoik asit ile birleşmesiyle oluşan bir patlama reaksiyonudur (burst effect). Flor iyonu salınımı sertleşme reaksiyonu boyunca çok yüksek olup, 24-72 saat sonrasında azalmakta ve 10-20 güne kadar salınımı sabitlenir ve simanların yapısında bulunan florür birkaç ay içinde tükenir.<sup>16,22</sup> Cam iyonomer simanlar asidik koşullarda florür salınımı ile dış ortamın pH'ı artırarak tamponlama sağlarlar. Böylece dişi daha fazla diş çürümeye karşı koruyabilir.<sup>16</sup> Flor iyonu salınımı diş yapısında fluoroapatit kristalleri oluşmasını sağlayarak demineralizasyona dirençli bir yapı oluşturur.<sup>23</sup> GCİS'ler, konsantrasyonlarına bağlı olarak çevreden florür alıp yeniden flor ile yüklenirler. Bu sebeple CİS'ler florür deposu olarak görülürler.<sup>22</sup>

Florürün çürüklerin önlenmesinde en etkili ajan olduğu kabul edilmektedir.<sup>16</sup> Florürler farklı şekillerde hareket edebilir: Çürüklere neden olan bakterilerin metabolizmasını inhibe eder ve yumuşamış mine ve dentinin yeniden mineralizasyonu direnci artırır. Bununla birlikte, özellikle dolgu malzemesi ile diş arasındaki marjinal boşluklarda sürekli, uzun süreli florür salınımı, diş dokularının sekonder çürüklerini önlemeye yardımcı olur.<sup>17</sup>

### Geleneksel cam iyonomer siman tipleri

Cam iyonomerlerin diş hekimliğinde çeşitli kullanımları vardır. Amaçlanan klinik kullanıma bağlı olarak üç tipte sınıflandırılabilirler:

Tip 1: Yapıştırma ve bonding ajan olarak kullanılan CİS' ler.

- Kronlar, köprüler, inleyler, onleyler ve ortodontik braketlerin simantasyonu için.

Tip 2: Restoratif amaçlı kullanılan CİS' ler.

Geleneksel cam iyonomerlerin 1980'lerin başlarından itibaren, saf veya gümüşle güçlendirilmiş türleri çocuk diş hekimliğinde restoratif materyal olarak kullanılmaktadır. Çocukları tedavi eden klinisyenler, günlük uygulamada bu materyallerin seçilmesinin birincil nedenleri olarak kullanım özelliklerini ve florür salınımını belirtmiştir. CİS'ler kompozit rezinler kadar estetik değildir, ancak bağlanmak için bonding ajana ihtiyaçları yoktur ve kompozit rezinler kadar neme hassasiyetleri bulunmaz.<sup>24</sup>

Tip 3: Kaide, liner, pit ve fissürlerin örtülmesi amaçlı kullanılan CİS'ler.

Kaide liner, pit ve fissür örtülmesinde kullanılan CİS'lerin toz-likit oranı düşüktür. Bu sayede liner olarak kullanıldığında kavite duvarlarına adaptasyonu daha iyi olur. Sandviç tekniğinde kompozit rezin ile birlikte kaide olarak kullanılarak dentin görevi görürler. Pit ve fissürlere düşük toz likit oranlarında olmasıyla akıcılıkları fazladır ama okluzal yüzeylerden çok çabuk aşınırlar.<sup>24</sup>

### Güçlendirilmiş Cam İyonomer Simanlar

#### Rezin modifiye cam iyonomer simanlar (RMCİS)

Rezin modifiye cam iyonomer simanlar, GCİS'lerin neme duyarlılıklarının ve düşük mekanik özellik sorunun çözülmesi için, Antonucci ve arkadaşları tarafından 1980'li yıllarda geliştirilmiştir.<sup>22</sup> Rezin modifiye cam iyonomerler, hibrit cam iyonomerler veya ışıkla sertleşen cam iyonomerler olarak da isimlendirirler.

GCİS'lerin içerisinde bulunan poliakrilik asite, hidrosietil metakrilat (HEMA) veya bisfenol glisil metakrilat (Bis-GMA) monomer

rezin yapıları eklenerek %80 CİS, %20 rezin bileşeninden oluşan RMCİS elde edilmiştir.<sup>25</sup> RMCİS'in toz kısmını florealüminosilikat cam tozları, likid kısmını ise HEMA, metakrilat grupları, tartarik ve poliakrilik asit ve %8 su oluşturmaktadır.<sup>26</sup>

Simanın içeriğine rezinin eklenmesi ile dual sertleşme mekanizması görülür, yani asit-baz reaksiyonu ile birlikte foto-kimyasal bir sertleşme de gösterirler. Işıklı polimerizasyon sonrasında asit-baz reaksiyonu devam ederek, tam bir sertleşme ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar.<sup>25,27</sup>

RMCİS'ler, geleneksel cam iyonomerlere göre, sertleşme tepkimelerinin ışık ile başlaması, çalışma zamanlarının daha uzun olması, daha iyi mekanik özelliklere, kenar uyumuna, diş dokularına adezyona ve estetiğe sahip olması yönüyle daha başarılıdır. Ayrıca RMCİS'ler cam iyonomer simanların avantajlarına da sahiptirler. Bunlar; flor iyonu salınımı ve reşarj olabilme, diş dokusuna benzer termal genişleme ve diş dokusuna fiziko-kimyasal olarak bağlanma özellikleridir. Rezin modifiye cam iyonomer simanların kırılmaya dayanıklılığı ve aşınmaya dirençleri GCİS'lere göre daha yüksektir.<sup>1,28,29</sup> RMCİS'in biyoyoumluluğu içeriğinde bulunan HEMA monomeri sebebiyle GCİS'lerden daha düşüktür. Bunun nedeni olarak da iyi bir polimerizasyon yapılsa dahi artık monomer (HEMA) salınımı olabilmesi gösterilir. Bu durum pulpayı hassasiyetten enflamasyona kadar farklı şekillerde etkileyebilir.<sup>30</sup>

#### Nano özellikli rezin modifiye cam iyonomer simanlar (Nano-iyonomer)

Nanoteknolojinin kompozit rezinlere uygulanması, diş hekimliği materyaller alanındaki en önemli gelişmeler arasında yer almaktadır. Nano özellikli materyaller, daha az büzülme gösteren ve kavite duvarlarına çok iyi adapte olan materyallerdir.<sup>31,32</sup>

Fluorid salınımının yüksek olduğu ve restorasyon yüzeylerinin daha pürüzsüz olması amacıyla RMCİS'lerin yapısında bulunan florealüminosilikat cam tozlarına nano doldurucular ve nano kümeler eklenmiştir. Materyale nanopartiküllerin eklenmesiyle materyalin aşınmaya direnci gibi fiziksel özelliği ile optik ve estetik özelliklerinin olumlu yönde geliştirilmesi amaçlanmıştır.<sup>33,34</sup> Ketac N100 (3M ESPE, St Paul, USA), 2007 yılında RMCİS'ler ile nano doldurucuların avantajlarının birleştirildiği bir nanoiyonomer olarak piyasaya çıkmıştır.

#### Poliasit modifiye kompozit rezinler (Kompomerler)

Poliasit modifiye kompozit rezinler, CİS'lerin florür salma özelliği ile kompozit rezinlerin estetik özelliğini birleştirerek geliştirilen konseptler olarak tanıtılmıştır. Yapısının %30'unu CİS, %70'ini kompozit rezin oluşturur.<sup>35</sup> Günümüzde kompozit ve cam iyonomer kelimelerinden oluşan "kompomer" olarak adlandırılmaktadır.

Poliasit-modifiye kompozit rezinlerin yapısı üretilen dimetakrilat (UDMA), HEMA ve bütan tetra karboksilik asit olan rezinlerden ve asit monomerden oluşur.<sup>36</sup> Sertleşme mekanizması, polimerizasyonu ışık ile yapılan (fotopolimerize), tek bileşenli yapısı olan materyallerdir. İçeriğinde su bulunmaz ve ışık ile polimerizasyonundan sonra asit-baz reaksiyonunu başlatması için ağız içinde tükürük ile temas etmelidir. Böylece cam doldurucudan matrikse doğru flor iyonu salınımı gerçekleşir.<sup>35</sup> Literatürdeki çalışmalarda, kompomerlerden salınan flor iyonu miktarının geleneksel cam iyonomer ve rezin modifiye cam iyonomer simanlara kıyasla daha az olduğu bildirilmiştir. Bu farklılığa kompomerin yapısındaki flor iyonlarının ağız içi sıvılarla temas etmeden önce, doldurucu partiküllere bağlanmasının sebep olduğu bildirilmektedir.<sup>16,37,38</sup>

Kompomerler, kullanımının kolay olması ve iyi fiziksel ve mekanik özellikler göstermeleri sebebiyle özellikle çocuk diş hekimliğinde çok tercih edilen restoratif materyallerdir.<sup>39</sup>

### **Yüksek viskoziteli cam iyonomer simanlar (YVCİS)**

1995 yıllarında yüksek viskoziteli cam iyonomer simanlar piyasaya sunulmuştur.<sup>40</sup> GCİS'lerin nem hassasiyetlerini azaltmak, aşınmaya dirençlerini artırarak ve yoğun çiğneme stresinin bulunduğu bölgelerde kullanılabilirliğini sağlamak için farklı yenilikler yapılarak YVCİS'ler geliştirilmiştir. Bu simanlar 'kondanse edilebilen cam iyonomer simanlar' olarak bilinmektedir. YVCİS'ler ilk olarak atravmatik restoratif tedavide (ART) kullanılmak üzere geliştirilmiştir.<sup>41</sup>

Yüksek viskoziteli cam iyonomer simanlarda, cam partiküllerinin yüzeyinde bulunan fazla Ca iyonları elimine edilerek ve toz/likit oranı, partikül boyutları ve dağılımı değiştirilerek ve tozuna poliakrilik asit eklenerek mekanik özellikleri ve aşınmaya dirençleri geliştirilmiştir.<sup>42</sup> GCİS'lerin toz/likit oranı 3/1 veya 4/1 iken; YVCİS'lerde bu oran 6/1 veya 7/1'dir. Bu özelliklerle daimi restorasyon materyali olarak kompozit rezinin ve amalgamın alternatif olmaları amaçlanmıştır.<sup>43</sup>

GCİS'lerle benzer sertleşme mekanizması gösteren YVCİS'lerin aşınmaya dirençleri, yüzey sertliği, eğme ve basma kuvvetlerine dayanıklılıkları artırılıp, çözünürlükleri azaltılmıştır. Bunlara ilaveten flor iyonu salınımları ve diş dokularına biyouyumlulukları GCİS'lerle aynı orandadır.<sup>44</sup> Araştırmalarda diğer CİS'lerin aksine, YVCİS'ler sertleşme reaksiyonu daha hızlı olduğundan, erken dönemde nemle karşılaşmalarının fiziksel özelliklerini kötü yönde etkilenmediği bildirilmiştir.<sup>45-47</sup> Ancak yinede üretici firmalar YVCİS'lerin erken dönemde nemden etkilenmelerinin engellenmesi ve aşınma dirençlerinin artırılması için koruyucu rezin içerikli glaze materyalleriyle birlikte kullanılmasını önermektedir.<sup>45</sup>

2007 yılında, yüksek viskoziteli kapsül cam iyonomer Fuji IX GP Extra (GC Co, Tokyo, Japonya) ve nano doldurucu, rezin içerikli yüzey koruyucu glaze materyali G-Coat Plus'dan (GC Co, Tokyo, Japonya) oluşturulan sisteme Equia adı verilmiştir. 2009 yılında, sistem geliştirilerek Equia Fil ve Equia Coat ismini almıştır.<sup>48</sup>

Equia Fil sisteminin klinik kullanımda başarılı olmasını araştıran az sayıda çalışma vardır ve materyal genellikle kompozit rezinle karşılaştırılmıştır.<sup>49</sup> Gürkan ve arkadaşları 6 yıl süreyle takip ettikleri klinik çalışmalarında, toplamda 80 adet sınıf I ve 60 adet sınıf II kaviteye uygulanan Equia ile bir mikrohibrid kompozit olan Gradia Direct'in (GC Co., Tokyo, Japonya) klinik açıdan uzun sürede benzer başarı gösterdiği bildirilmiştir.<sup>48</sup> Friedl ve arkadaşlarının Equia'nın posterior dişlerde daimi restoratif materyal olarak uygunluğunu inceledikleri retrospektif çalışmada, 43 hastaya 6 farklı diş kliniğinde 26 adet sınıf I ve 125 adet sınıf II restorasyon yapılmıştır. 2 yıl sonunda hiçbir başarısızlık gözlenmediği ve marjinal renk değişikliğinin % 1'den az olduğu bildirilmiştir.<sup>50</sup> Amerikan Diş Hekimliği Birliği'ne (ADA), bir materyalin, posterior bölgede daimi restoratif materyal olarak kullanılabilmesi için, 18 aylık bir sürede retansiyon oranının en az %90 olması gerektiğini bildirmiştir. Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda, Equia'nın, posterior bölgede başarılı olduğu tespit edilmekte birlikte daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.<sup>49-50</sup>

### **Giomer**

Son dönemde cam iyonomer simanların sahip oldukları avantajları rezin materyallere kazandırmak için geliştirilen ve cam iyonomerlerin yeni bir versiyonu olan, içeriğinde önceden

reaksiyona girmiş cam iyonomer partikülleri (preacted glass ionomers-PRG) bulunan giomer üretilmiştir.<sup>51</sup> Giomerler son zamanlarda geliştirilen hibrit restoratif materyallerdir. "Cam iyonomer" ve "kompozit" materyallerinin özelliklerinin birleşiminden oluşurlar.<sup>36</sup> Giomer adı, "Glass iyonomer + polimer" kelimelerinden oluşturulmuştur. PRG doldurucuları, florealüminasilikat cam tozuyla polialkenoik asit arasında oluşan asit-baz reaksiyonuyla meydana gelirler.<sup>52</sup> PRG partikülleri, yüzey aktif (S-PRG) ve tüm partikül aktif (F-PRG) olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır.<sup>53</sup> Giomerlerde fluoroalüminasilikat cam tozu, poliasit ile önceden reaksiyona girerek cam iyonomer matris yapısını oluşturur ve sonra rezin monomerleriyle birleşir. Giomerde asit-baz reaksiyonu rezin ile birleşmeden önce gerçekleşmektedir. PRG partiküllerinin kullanılmasıyla, önceden reaksiyona girmiş hidrojel içerisinde iyon değişimi ile hızlı flor iyonu salınımının gerçekleşmesini sağlar. Bu durum giomeri flor iyonu salınımı yapan rezin içerikli restoratif materyallerden farklı kılar.<sup>52</sup>

Giomerler, ışıkla sertleşmekte ve diş dokularına bağlanmak için bir adeziv sisteme ihtiyaç duymaktadır.<sup>54</sup> Bu materyaller flor iyonu salınımı ve depolaması, iyi estetik özellikleri, kolay cilalanabilirlik ve iyi mekanik özelliklere sahiptirler.<sup>55</sup> Beautifil (Shofu, Kyoto, Japonya), diş renginde rezin içerikli ilk giomer restoratif materyal olarak piyasa çıkmıştır.<sup>53</sup>

Gordann ve arkadaşlarının yaptığı 8 yıllık in vivo çalışmada, restorasyonlarda başarısızlık görülmediği ve klinik kullanım açısından kabul edilebilir bulunmuştur.<sup>53</sup> Başka bir klinik çalışmada Sınıf II kavitelerde, hibrit doldurucu kompozit rezinler, giomer, kompomerler ve RMCİS restorasyonları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda giomer ile yapılan restorasyonların daha uzun ömürlü olduğu ve 2 yıl sonunda %79 oranında başarı gösterdiği bildirilmiştir.<sup>56</sup>

### **Cam karbomer**

Karbomer ve floropatit ile güçlendirilmiş, cam iyonomer içerikli restoratif materyallerdir. İçeriğinde nano doldurucu partiküller ve floropatit bulunması ile CİS'lerden ayrılırlar. Düşük çözünürlük, yüksek eğilme ve basma dayanıklılığına sahip, aşınma direnci yüksek restoratif materyaldir.<sup>57</sup> Nanopartikül eklenerek yapısı minere benzetilmek istenmiştir. Nanopartiküller çözünürlüklerini düşürüp, basma ve bükülme dayanıklılığını arttırmıştır.<sup>58</sup>

Cam karbomerin sertleşme reaksiyonu CİS'lerin sertleşme reaksiyonuna benzemektedir. Kalsiyum floropatit nano-kristalleri remineralizasyonu sağlar ve floropatit oluşumunu başlatır. Nanopartiküller daha fazla temas alanı sağladığı için, cam karbomerin likit olan poliakrilik asitiyle etkileştiklerinde materyalin sertleşmesini hızlandırır ve remineralizasyon etkisinin hızlanmasını sağlarlar. Nanopartikül boyutunun çözünmede ve floropatite dönüşümünde etkisi olduğu bildirilmiştir.<sup>57,59</sup>

Cam karbomer simanlar; rezin, solvent, metal vb. serbest monomer içermezler. Diş sert dokularına asit uygulanması kontrendikedir. Radyopak olması sebebiyle postoperatif teşhisi kolaydır.<sup>60</sup> Materyalin sertleşmesi yüksek enerjili ışık cihazları ile polimerize edilmesiyle hızlandırılabilir. Bu uygulamayla fotopolimerizasyon olmamakta, fakat ışık cihazının oluşturduğu ısıyla simanın sıcaklığı artarak sertleşmesi hızlanmaktadır.<sup>61</sup>

Nano teknolojiyle birlikte materyalin mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Cam karbomer GCİS ve RMCİS ile kıyaslandığında çalışma süresi daha uzun, daha hızlı sertleşme reaksiyonu oluşur, estetik özellikleri ve translusentliği daha iyidir, aşınmaya direnci ve



kırılma dayanımı daha yüksektir. Flor iyonu salınımı ve reşarj olma özellikleri bulunur.<sup>62</sup>

Klinik endikasyonları CİS'lere benzerdir; süt ve daimi dişlerdeki sınıf I ve sınıf II kaviteelerde, fissür örtücü, kron ve köprü restorasyonlarının tamirinde, sınıf V kaviteelerde ve kron/köprü yapıdırma simanı olarak kullanılmaktadır.<sup>63</sup>

### Zirconomer

2015 yılında piyasaya sürülen Zirconomer adlı restoratif cam iyonomer sınıfı amalgamın gücünü ve dayanıklılığını içeren yeni bir posterior restoratif materyal olarak geliştirilmiştir. Zirkonya dolurucuların Zirconomer'in cam bileşenine dahil edilmesinin restorasyon yapısal bütünlüğünü güçlendirdiği ve posterior yük taşıma alanlarında üstün mekanik özellikler kazandırdığı bildirilmiştir.<sup>64</sup> Polialkenoik asit ve cam bileşenler, bu yüksek dayanımlı CİS'e üstün mekanik ve kullanım özellikleri kazandırmak için özel olarak işlenmiştir. İçeriğinde zirkonyum oksit, cam tozu, tartarik asit (%1-10), poliakrilik asit (%20-50) ve likit olarak deiyonize su bulunmaktadır.<sup>65</sup>

Üreticinin iddiasına göre zirconomer, amalgamın mekanik ve cam iyonomerin antikaryojenik özelliklerini birleşiminden oluşturulan, aynı zamanda civa sitotoksitesi de görülmeyen bir materyaldir.<sup>66</sup> Amalgamın gücünü gösterirken aynı zamanda CİS'lerin florür salma özelliklerini de korurlar. Zirconomer, beyaz amalgam olarak da adlandırılmaktadır. Zirkonya (ZrO<sub>2</sub>), zirkonyumun beyaz kristalin oksididir.<sup>67</sup> Zirkonya, CİS ve hidroksiapatit parçacıklarından daha yüksek bir güce sahiptir ve damıtılmış suda çözünmez.<sup>69</sup>

### Amalgomer

Son zamanlarda, diş hekimliği piyasasına yeni bir seramik takviyeli cam iyonomer (Amalgomer CR), dental amalgamın mukavemetine ve dayanıklılığına benzer materyal olarak restoratif diş hekimliğine tanıtıldı. Estetik, biyoyouyumluluğu, diş dokularına bağlanabilen, minimal kavite prepasyonu gerektiren, yüksek seviyede florür salınımı ile CİS'lerin avantajlarına sahip bir materyaldir. Amalgomer CR, Fuji II, Fuji IX, Beautifil II, Dyract extra, gibi çeşitli restoratif materyallerin florür salınımını farklı pH değerlerinde (4.3, 4.6, 5.0, 5.5 ve 6.2.) sırasıyla değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır. Amalgomer CR, ilk gün maksimum florür salımını gösterip üçüncü günde sabitlenmiştir. Bu nedenle Amalgomer CR'nin tüm deneysel dental restoratif materyaller arasında en yüksek florür salınımını gösterdiği sonucu bildirilmiştir.<sup>69</sup>

Amalgomer, CİS'in geleneksel asit-baz sertleşme reaksiyonunu gösterir. Ürün, CİS'in görünüşünden veya genel özelliklerinden ödün vermeden gücünü arttırmak amacıyla parçacıklı bir seramik bileşen içerir.<sup>70</sup> Seramik takviyeli cam iyonomer restoratif materyal, diş amalgamına çok yakın ve hatta daha üstün fiziko-mekanik özelliklere sahiptir.<sup>71</sup> Amalgomer CR, sadece uluslararası CİS standartlarına değil, amalgam standartlarına da uygun seramik takviyeli CİS'dir. Seramik aynı zamanda mükemmel aşınma ve erozyon direncinin sağlanmasına yardımcı olur ve ayrıca simanın radyopaklığını ve mukavemetini artırır.<sup>72</sup>

### Hainomerler

Bunlar hidroksiapatitin (HA) cam iyonomer tozunun içine dahil edilmesiyle geliştirilen daha yeni biyoaktif malzemelerdir. Bunlar esas olarak oral maksillofasiyal cerrahide kemik simanları olarak kullanılır ve retrograd dolgu malzemesi olarak da gelecekte kullanılabilir. Doğrudan kemiğe bağlanmada rol olarak kemiğin büyümesini ve gelişmesini etkilerler.<sup>72</sup> HA tozunun dental restoratif materyallere eklenmesinin etkisini incelemek için bir dizi çalışma

yapılmıştır. HA partiküllerinin dahil edilmesi, CİS'lerin sıkıştırma, çapsal gerilme mukavemeti ve kayma bağ mukavemeti gibi mekanik özelliklerinde önemli bir iyileşmeye yol açmıştır.<sup>73,74</sup>

### Biyoaktif cam (BAG) iyonomerler

1973 yılında Larry Hench ve arkadaşları tarafından, Florida Üniversitesi'nde ilk Bioglass geliştirilmiştir.<sup>75</sup> Camın asit ile çözülmesiyle, camın etrafında Ca<sup>+</sup> ve PO<sub>4</sub><sup>-</sup> iyonları açısından zengin bir tabaka oluşur ve bu yapı kemik hücreleriyle güçlü biyoaktif bağlar oluşturarak kemikle tamamen entegre olur.<sup>76</sup> BAG on yıldan uzun bir süredir restoratif bir materyal olarak kullanılmaktadır ve büyüme faktörlerinin üretimi, hücre proliferasyonu ve osteoblastların gen ekspresyonunu aktive etmek için uyarır, ayrıca dentin aşırı duyarlılığının tedavisinde ve minenin remineralizasyonunun teşvik edilmesine yardımcı olur.<sup>28</sup>

BAG, sulu çözeltilerin pH'ını yükselttiği için antibakteriyel etkiye sahiptir. Biyoaktif nano silikaların diş simanı ile kombinasyonu, birçok diş simanın büyük bir dezavantajı olan marjinal boşluk oluşumunun üstesinden gelmeye yardımcı olarak biyoyouyumluluğunu artırır.<sup>28</sup> Biyoaktif camın, cam iyonomer simanın yapısına eklenmesi, dişin biyoaktivitesini, rekonstrüksiyonunu ve rejenerasyon kapasitesini artırır. ACTIVA piyasa yeni sunulan biyoaktif cam içerikli bir materyaldir. ACTIVA, metakrilat bazlı monomerler ve bir hidrojene polibütadien (sentetik bir kauçuk) dahil edilerek modüle edilmiş bir diüretan monomer karışımına sahip gelişmiş bir cam iyonomer simandır. Eklenen resin monomerlerinin, materyalin direncini ve marjinal dayanıklılığını geliştirdiği iddia edilmektedir. Bu ürünler, doğal dişin kimyasal ve fiziksel özelliklerini simüle eden biyoaktif dolgular içerir. Diş yapısı ile tükürük arasındaki iyon değişim sistemine aktif olarak katılırlar. Ek olarak, kalsiyum, fosfat ve daha fazla florür serbest bırakılabilir ve CİS'dekinden daha fazla şarj edilebilir ve ağızda pH değişikliklerine sürekli tepki verebilir.<sup>77,78</sup>

### Kazein Fosfopeptit Amorf Kalsiyum Fosfat Kompleksi (CPP - ACP)

İlk olarak Aaron S Posener tarafından 1960'ların ortalarında geliştirilmiştir. Amorf Kalsiyum Fosfatın (ACP) hidroksiapatitten daha iyi in-vivo osteoiletkenliğe, trikalsiyum fosfata göre daha iyi biyobozunurluğa sahip olduğu gösterilmiştir. Bu özellikler ACP'nin restoratif diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır.<sup>79</sup>

Kazein Fosfopeptit (CPP), remineralizasyona ve diş çürüğünün önlenmesine yardımcı olan bir süt ürünüdür. CPP, streptococcus mutans bakterilerini öldürür ve diş yapısının kalsiyum ve fosfat iyonlarına ve ayrıca CPP'ye bağlanır. CPP, ACP ile nanokümler oluşturur ve tükürüğün süper doygunluğunu koruyan bir Kalsiyum ve fosfat iyonları havuzu oluşturur. Asit etkisine karşı koyma yeteneğine sahiptir.<sup>80</sup>

CİS'e kazein fosfopeptid-amorf kalsiyum fosfatın (CPP-ACP) dahil edilmesi, biyoaktif katkı maddesi olarak kullanılmak üzere önerilmiştir. Bunun başlıca nedeni, ACP'nin hidroksiapatitin öncüsü olması ve kalsiyum ve fosfatın CPP-ACP tarafından sulu ortama salınmasının demineralizasyonun inhibisyonunu desteklemesi ve remineralizasyonu teşvik etmesidir.<sup>81</sup> CPP-ACP eklenmesiyle sertleşme süresi, basınç dayanımı ve diş yapısına bağlanma gücü gibi fiziksel özellikleri olumsuz etkilemeden, florür salınımını artırarak demineralizasyonu engellediği ve remineralizasyonu sağladığı bildirilmiştir.<sup>82</sup>

### Klorheksidin (CHX) eklenmiş CİS'ler

Yüksek viskoziteli CİS, ART için tercih edilen materyaldir. Çünkü CİS, diş yapısına kimyasal olarak bağlanır ve florürü serbest bırakır,

bu da restore edilmiş dişlerde kalan bakteri miktarında azalmaya katkıda bulunur. Ancak aynı zamanda dişin remineralizasyonunu da kolaylaştırır. CİS içerisine klorheksidin diglukonat eklenerek antibakteriyel özellikleri daha da geliştirilebilir.<sup>79</sup>

CHX diglukonat, cam iyonomerine eklendiğinde, S. mutans büyümesini inhibe eder, ancak yüksek konsantrasyonlarda materyalin mekanik özelliklerinde bir azalmaya da neden olabilir. Ek olarak, toz ve sıvının karışım oranı CİS'lerin mekanik özelliklerini etkiler; bu nedenle, toza veya sıvıya CHX diasetat veya CHX diglukonat ilave edilerek toz/sıvı oranlarında küçük değişiklikler de mekanik mukavemet ve sertleşme süreleri üzerindeki etki yapabilir.<sup>83</sup>

### Kalsiyum alüminat CİS / Ceramir

Restoratif diş hekimliğinde ağırlıklı olarak biyoaktif kimyasal olarak bağlanmış diş simanlarında görülen en son değişiklik, kalsiyum alüminat-cam iyonomer yapıştırma simanıdır (XeraCem, CM Crown & Bridge). Yapıştırma simanı aslında kalsiyum alüminat ve cam iyonomer kimyasını birleştiren hibrit bir bileşimden oluşur. Ceramir'in sertleşme mekanizması, cam iyonomer reaksiyonu ve hidrolik simanlarda meydana gelen tipte bir asit baz reaksiyonunun bir kombinasyonudur.<sup>84</sup> Cam iyonomer bileşeni düşük başlangıç pH'ı, gelişmiş akış ve sertleşme özellikleri, diş yapısına erken bağlanma özelliklerine katkıda bulunurken, simanların kalsiyum alüminat bileşeni zamanla artan mukavemet ve retansiyon, biyouyumluluk, diş-materyal arayüzünün daha iyi sızdırmazlığı, apatit oluşumu nedeniyle biyoaktif, kararlı, uzun süreli kalıcı özellikler, çözünürlük / bozunma eksikliği özelliklerine katkıda bulunur.<sup>85</sup>

### Nano biyoseramik CİS

Nano boyutlu parçacıkların tozla modifiye edilmiş nano cam iyonomerlerine dahil edilmesi, mekanik özelliklerini geliştirmektedir.<sup>9</sup> Mekanik özelliklerin artırılması, çiğneme ve oklüzal kuvvetlere daha verimli bir şekilde dayanabilmelerine katkıda bulunur. CİS tozuna apatit ilavesi, ayarlanmış CİS'in kristallikliğini artırır, böylece kimyasal stabilizeyi ve suda çözünmezliği artırır. Geleneksel CİS'in toz bileşenine nanoflorapatit (nFAp) eklenmesi sertleşmiş simanın basınç, çekme ve eğilme dayanımlarını artırır. Nano-apatit içeren cam iyonomerlerin, simandaki apatit kristalleri/parçacıkları ile diş yapısında kalsiyum iyonları arasında güçlü iyonik bağlar oluşur.<sup>86</sup> RMCİS'e kalsiyum florür (CaF<sub>2</sub>) nano-parçacıkları eklenmesiyle mekanik özellikleri geliştirilir ancak CaF<sub>2</sub> katkılı CİS oldukça çözünmez hale geldiğinden florür salınımı azalmıştır. Benzer şekilde, CİS tozuna TiO<sub>2</sub> (ağırlıkça% 3-5) nano parçacıkların ilave edilmesinin, ayarlanmış cam iyonomer simanın mekanik özelliklerini ve anti-bakteriyel etkisini arttırdığı gösterilmiştir.<sup>86</sup>

### Fiber ile güçlendirilmiş cam iyonomer simanlar

Sertleşme derinliğini iyileştirmek, polimerizasyon büzülmesini azaltmak, geliştirilmiş aşınma direnci ve CİS'nin eğilme mukavemetini artırmak için, alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) fiber cam tozu ile karıştırılır. Alümina liflerinin CİS'in cam tozuna dahil edilmesi, CİS'in eğilme mukavemetinin iyileştirilmesine yardımcı olur. Işıklı sertleşen bir CİS'dir. Alümina ve silikon dioksit (SiO<sub>2</sub>) seramik fiberlerden oluşan yapının toza dahil edilmesini içerir.<sup>87</sup>

Son zamanlarda titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), nano tüpler gibi nano partiküller, nano fluroapatitler, mekanik mukavemetlerini arttırmak için CİS matrisine dahil edilmiştir. Bu, CİS matrisi içinde yüksek oranda paketlenmiş parçacık yoğunluğuna izin verir. Sertleşme prosedürü sırasında bir tuz hidrojel oluşturan bir asit baz

reaksiyonu gerçekleşir, takviye edilen cam bileşeni matriste bir bağlama elemanı olarak hareket eder. Bu nedenle, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> nano tozları, güçlendirilmiş CİS üretmek için kullanılabilir.<sup>79</sup>

## SONUÇ

Cam iyonomer simanların avantajlarından yararlanmak ve rezin kompozit materyallerin olumsuz etkilerini elimine etmek için, geleneksel cam iyonomer yapısından farklı olarak mekanik olarak güçlendirilmiş cam iyonomer türleri özellikle yüksek çürük riskli hastalarda daimi restoratif materyaller olarak kullanılabilir.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Çıkar Çatışması:** Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

**Finansal Destek:** Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Declaration of Interests:** The author has no conflicts of interest to declare.

**Funding:** The author declared that this study has received no financial support.

## KAYNAKLAR

1. Croll TP, Nicholson JW. Glass ionomer cements in pediatric dentistry: Review of the literature. *Pediatr Dent*. 2002;24(5):423-429.
2. Mickenautsch S, Mount G, Yengopal V. Therapeutic effect of glass-ionomers: An overview of evidence. *Aust Dent J*. 2011;56(1):10-5. [CrossRef]
3. Wilson AD, Kent BE, Clinton D, Miller RP. The formation and microstructure of dental silicate cements. *J Mater Sci*. 1972;7(2):220-238. [CrossRef]
4. Bowen RL, Marjenhoff WA. Dental composites/glass ionomers: The materials. *Adv Dent Res*. 1992;6(1):44-49. [CrossRef]
5. Sakaguchi R, Powers J. *Restorative Materials-Ceramics*. Craig's Restorative Dental Materials. 13th ed Philadelphia: Mosby Elsevier; 2012:25.
6. ADA Council on Scientific Affairs. Direct and indirect restorative materials. *J Am Dent Assoc*. 2003;134(4):463-472. [CrossRef]
7. Murdoch-Kinch CA, McLean ME. Minimally invasive dentistry. *J Am Dent Assoc*. 2003;134(1):87-95. [CrossRef]
8. Peters MC, McLean ME. Minimally invasive operative care: II. Contemporary techniques and materials: An overview. *J Adhes Dent*. 2001;3(1):17-31.
9. Najeeb S, Khurshid Z, Zafar MS, et al. Modifications in glass ionomer cements: Nano-sized fillers and bioactive nanoceramics. *Int J Mol Sci*. 2016;17(7):1134-1148. [CrossRef]
10. Lohbauer U. Dental glass ionomer cements as permanent filling materials?—Properties, limitations and future trends. *Materials*. 2009;3(1):76-96. [CrossRef]
11. Sakaguchi R, Powers J. Restorative materials-composites and polymers. *Craig's Restor Dent Mater*. 2012:13.
12. Baig MS, Fleming GJ. Conventional glass-ionomer materials: A review of the developments in glass powder, polyacid liquid and the strategies of reinforcement. *J Dent*. 2015;43(8):897-912. [CrossRef]
13. Davidson CL. Advances in glass-ionomer cements. *J Appl Oral Sci*. 2006;14(suppl):3-9. [CrossRef]
14. Fareed MA, Stamboulis A. Nanoclay addition to a conventional glass ionomer cements: Influence on physical properties. *Eur J Dent*. 2014;8(4):456-463. [CrossRef]

15. Fejerskov O, Kidd E. *Dental Caries: The Disease and Its Clinical Management*. 2nd ed. Oxford, Blackwell Munksgaard; 2008:385-426.
16. 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. [\[CrossRef\]](#)
17. Burke FM, Ray NJ, McConnell RJ. Fluoride-containing restorative materials. *Int Dent J*. 2006;56(1):33-43. [\[CrossRef\]](#)
18. Hattab FN, Amin WM. Fluoride release from glass ionomer restorative materials and the effects of surface coating. *Biomaterials*. 2001;22(12):1449-1458. [\[CrossRef\]](#)
19. Kleverlaan CJ, van Duinen RN, Feilzer AJ. Mechanical properties of glass ionomer cements affected by curing methods. *Dent Mater*. 2004;20(1):45-50. [\[CrossRef\]](#)
20. Ngo HC, Mount G, McIntyre 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. [\[CrossRef\]](#)
21. Van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P. Glass-ionomer adhesion: The mechanisms at the interface. *J Dent*. 2006;34(8):615-617. [\[CrossRef\]](#)
22. Sidhu SK. Glass-ionomer cement restorative materials: A sticky subject? *Aust Dent J*. 2011;56(suppl 1):23-30. [\[CrossRef\]](#)
23. Diamanti I, Koletsis-Kounari H, Mamai-Homata E, Vougiouklakis G. In vitro evaluation of fluoride and calcium sodium phosphosilicate toothpastes, on root dentine caries lesions. *J Dent*. 2011;39(9):619-628. [\[CrossRef\]](#)
24. Berg JH, Croll TP. Glass ionomer restorative cement systems: An update. *Pediatr Dent*. 2015;37(2):116-124.
25. Koroğlu A, Ekren DO, Kurtoğlu C. Geleneksel ve adeziv dental simanlar hakkında bir derleme çalışması. *Curr Res Dent Sci*. 2012:205-216.
26. Torabzadeh H, Ghasemi A, Shakeri S, Baghban AA, Razmavar S. Effect of powder/liquid ratio of glass ionomer cements on flexural and shear bond strengths to dentin. *Braz J Oral Sci*. 2016:204-207.
27. Caughman WF, Caughman GB, Dominy WT, Schuster GS. Glass ionomer and composite resin cements: effects on oral cells. *J Prosthet Dent*. 1990;63(5):513-521. [\[CrossRef\]](#)
28. Khoroushi M, Keshani F. A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dent Res J (Isfahan)*. 2013;10(4):411-420.
29. Burke BF, Fleming G, Owen F, Watson D. Materials for restoration of primary teeth: 2. Glass ionomer derivatives and compomers. *Dent Update*. 2002;29:10-7.
30. Nicholson JW, Czarnecka B. The biocompatibility of resin-modified glass-ionomer cements for dentistry. *Dent Mater*. 2008;24(12):1702-1708. [\[CrossRef\]](#)
31. Uysal T, Yagci A, Uysal B, Akdogan G. Are nano-composites and nano-ionomers suitable for orthodontic bracket bonding? *Eur J Orthod*. 2010;32(1):78-82. [\[CrossRef\]](#)
32. Chen MH. Update on dental nanocomposites. *J Dent Res*. 2010;89(6):549-560. [\[CrossRef\]](#)
33. Oxman JD, Craig BD, Kalgutkar RS, Peuker M, Bissinger P. Processes for forming dental materials and device. *Google Patents*. 2006.
34. Xu X, Burgess JO, strength C. Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials. *Biomaterials*. 2003;24(14):2451-2461. [\[CrossRef\]](#)
35. Nicholson JW. Polyacid-modified composite resins ("compomers") and their use in clinical dentistry. *Dent Mater*. 2007;23(5):615-622. [\[CrossRef\]](#)
36. Çapan BŞ, Akyüz S. Çocuk diş hekimliğinde florid salınımı yapan güncel restoratif materyaller. *Clin Exp Health Sci*. 2016;6:129-134.
37. Dionysopoulos P, Kotsanos N, Pataridou A. Fluoride release and uptake by four new fluoride releasing restorative materials. *J Oral Rehabil*. 2003;30(9):866-872. [\[CrossRef\]](#)
38. Attar N, Turgut MD. Fluoride release and uptake capacities of fluoride-releasing restorative materials. *Oper Dent*. 2003;28(4):395-402.
39. Mutluay MS. Süt dişlerinde restoratif materyal seçimi ve etkileyen faktörler. *Selcuk Dent*. 2016;3(3):151-158. [\[CrossRef\]](#)
40. Guggenberger R, May R, Stefan KP. New trends in glass-ionomer chemistry. *Biomaterials*. 1998;19(6):479-483. [\[CrossRef\]](#)
41. van Duinen RN, Kleverlaan CJ, de Gee AJ, Werner A, Feilzer AJ. Early and long-term wear of 'fast-set' conventional glass-ionomer cements. *Dent Mater*. 2005;21(8):716-720. [\[CrossRef\]](#)
42. Basting RT, Serra MC, Rodrigues AL. In situ microhardness evaluation of glass-ionomer/composite resin hybrid materials at different post-irradiation times. *J Oral Rehabil*. 2002;29(12):1187-1195. [\[CrossRef\]](#)
43. Crowley CM, Doyle J, Towler MR, Hill RG, Hampshire S. The influence of capsule geometry and cement formulation on the apparent viscosity of dental cements. *J Dent*. 2006;34(8):566-573. [\[CrossRef\]](#)
44. Dowling AH, Fleming GJ. Are encapsulated anterior glass-ionomer restoratives better than their hand-mixed equivalents? *J Dent*. 2009;37(2):133-140. [\[CrossRef\]](#)
45. Celik EU, Ermiş B. Koruyucu rezin uygulamasının yüksek viskoziteli geleneksel cam iyonomer simanın mikrosertliği üzerine etkisinin in vitro olarak değerlendirilmesi. *Cumhuriyet Üni Diş Hek Fak Derg*;11:91-95.
46. Wang XY, Yap AUJ, Ngo HC. Effect of early water exposure on the strength of glass ionomer restoratives. *Oper Dent*. 2006;31(5):584-589. [\[CrossRef\]](#)
47. Şener Y, Koyutürk A. Üç farklı cam iyonomer simanın yüzey sertliklerinin karşılaştırılması. *Cumhuriyet Univ Diş Hek Fak Derg*. 2006;9:91-94.
48. Gurgan S, Kutuk ZB, Ergin E, Oztas SS, Cakir FY. Clinical performance of a glass ionomer restorative system: A 6-year evaluation. *Clin Oral Investig*. 2017;21(7):2335-2343. [\[CrossRef\]](#)
49. Türkün LS, Kanik Ö. A prospective six-year clinical study evaluating reinforced glass ionomer cements with resin coating on posterior teeth: Quo vadis? *Oper Dent*. 2016;41(6):587-598. [\[CrossRef\]](#)
50. Friedl K, Hiller KA, Friedl KH. Clinical performance of a new glass ionomer based restoration system: A retrospective cohort study. *Dent Mater*. 2011;27(10):1031-1037. [\[CrossRef\]](#)
51. Kavrik F, Savaş S, Küçükylmaz E, Uzer Çelik EU. Yüksek çürük riskli adölesanlarda farklı tedavi yaklaşımları. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci Cases*. 2016;2(1):35-43. [\[CrossRef\]](#)
52. Ikemura K, Tay FR, Endo T, Pashley DH. A review of chemical-approach and ultramorphological studies on the development of fluoride-releasing dental adhesives comprising new pre-reacted glass ionomer (PRG) fillers. *Dent Mater J*. 2008;27(3):315-339. [\[CrossRef\]](#)
53. Gordan VV, Mondragon E, Watson RE, Garvan C, Mjör IA. A clinical evaluation of a self-etching primer and a giomer restorative material: Results at eight years. *J Am Dent Assoc*. 2007;138(5):621-627. [\[CrossRef\]](#)
54. Deliperi S, Bardwell DN, Wegley C, Congiu MD. In vitro evaluation of giomers microleakage after exposure to 33% hydrogen peroxide: Self-etch vs total-etch adhesives. *Oper Dent*. 2006;31(2):227-232. [\[CrossRef\]](#)
55. Kimyai S, Savadi-Oskoei S, Ajami AA, Sadr A, Asdagh S. Effect of three prophylaxis methods on surface roughness of giomer. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2011;16(1):e110-e114. [\[CrossRef\]](#)
56. Sengul F, Gurbuz T. Clinical evaluation of restorative materials in primary teeth class II lesions. *J Clin Pediatr Dent*. 2015;39(4):315-321. [\[CrossRef\]](#)
57. Koenraads H, Van der Kroon G, Frencken JE. Compressive strength of two newly developed glass-ionomer materials for use with the atraumatic restorative treatment (ART) approach in class II cavities. *Dent Mater*. 2009;25(4):551-556. [\[CrossRef\]](#)
58. Zainuddin N, Karpukhina N, Law RV, Hill RG. Characterisation of a remineralising Glass Carbomer® ionomer cement by MAS-NMR spectroscopy. *Dent Mater*. 2012;28(10):1051-1058. [\[CrossRef\]](#)
59. Rao A, Rao A, Sudha P. Fluoride rechargability of a non-resin auto-cured glass ionomer cement from a fluoridated dentifrice: An in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2011;29(3):202-204. [\[CrossRef\]](#)

60. Algera TJ, Kleverlaan CJ, Pahl-Andersen B, Feilzer AJ. The influence of environmental conditions on the material properties of setting glass-ionomer cements. *Dent Mater*. 2006;22(9):852-856. [\[CrossRef\]](#)
61. Cehreli SB, Tirali RE, Yalcinkaya Z, Cehreli ZC. Microleakage of newly developed glass carbomer cement in primary teeth. *Eur J Dent*. 2013;7(1):15-21.
62. Menne-Happ U, Ilie N. Effect of gloss and heat on the mechanical behaviour of a glass carbomer cement. *J Dent*. 2013;41(3):223-230. [\[CrossRef\]](#)
63. Nicholson JW. Fluoride-releasing dental restorative materials: An update. *Balk J Dent Med*. 2014;18(3):60-69. [\[CrossRef\]](#)
64. Walia R, Jasuja P, Verma KG, Juneja S, Mathur A, Ahuja L. A comparative evaluation of microleakage and compressive strength of ketac molar, giomer, zirconomer, and ceram-x: An in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2016;34(3):280-284. [\[CrossRef\]](#)
65. Patel MU, Punia SK, Bhat S, et al. An in vitro evaluation of microleakage of posterior teeth restored with amalgam, composite and zirconomer—A stereomicroscopic study. *J Clin Diagn Res*. 2015;9:65-62.
66. Tiwari S, Kenchappa M, Bhayya D, et al. Antibacterial activity and fluoride release of glass-ionomer cement, compomer and zirconia reinforced glass-ionomer cement. *J Clin Diagn Res*. 2016;10(4):ZC90-ZC93. [\[CrossRef\]](#)
67. Abdulsamee N, Elkhadem AH. Zirconomer and zirconomer improved (white amalgams): Restorative materials for the future [review]. *EC Dent Sci*. 2017;15:134-150.
68. Khoroushi M, Mousavinasab SM, Keshani F, Hashemi S. Effect of resin-modified glass ionomer containing bioactive glass on the flexural strength and morphology of demineralized dentin. *Oper Dent*. 2013;38(2):E1-10. [\[CrossRef\]](#)
69. Bhattacharya A, Vaidya S, Tomer AK, Raina A. GIC at It's best—A review on ceramic reinforced GIC. *Int J Appl Dent Sci*. 2017;3:405-408.
70. Bariker RH, Mandroli PS. An in-vitro evaluation of antibacterial effect of amalgomer CR and Fuji VII against bacteria causing severe early childhood caries. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2016;34(1):23-29. [\[CrossRef\]](#)
71. Ayad NM, Elnogoly SA, Badie OM. An in-vitro study of the physico-mechanical properties of a new esthetic restorative versus dental amalgam. *Rev Clin Pesq Odontol*. 2008;4:137-144.
72. G Nigam AG, 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. [\[CrossRef\]](#)
73. Choudhary K, Nandlal B. Comparative evaluation of shear bond strength of nano-hydroxyapatite incorporated glass ionomer cement and conventional glass ionomer cement on dense synthetic hydroxyapatite disk: An in vitro study. *Indian J Dent Res*. 2015;26(2):170-175. [\[CrossRef\]](#)
74. Barandehard F, Kianpour Rad MK, Hosseinnia A, et al. The addition of synthesized hydroxyapatite and fluorapatite nanoparticles to a glass-ionomer cement for dental restoration and its effects on mechanical properties. *Ceram Int*. 2016;42(15):17866-17875. [\[CrossRef\]](#)
75. Hench LL. The story of Bioglass®. *J Mater Sci Mater Med*. 2006;17(11):967-978. [\[CrossRef\]](#)
76. Kadiyala SV, Raj JD. Recent advances and modifications of dental restorative materials. A review IJAMR. 2016;3:1609-1616.
77. Jyothi K, Annapurna S, Kumar AS, Venugopal P, Jayashankara C. Clinical evaluation of giomer-and resin-modified glass ionomer cement in class V noncarious cervical lesions: An in vivo study. *J Conserv Dent*. 2011;14(4):409-413. [\[CrossRef\]](#)
78. Ebaya MM, Ali AI, Mahmoud SH. Evaluation of marginal adaptation and microleakage of three glass ionomer-based Class V restorations: In vitro study. *Eur J Dent*. 2019;13(4):599-606. [\[CrossRef\]](#)
79. Sharma A, Singh M, Pandey V. Glass ionomer cement—a phoenix and its new flight. *Int J Res Health Allied Sci*. 2015;1:9-12.
80. Piekarz C, Ranjitkar S, Hunt D, McIntyre J. An in vitro assessment of the role of Tooth Mousse in preventing wine erosion. *Aust Dent J*. 2008;53(1):22-25. [\[CrossRef\]](#)
81. Reynolds EC. Anticariogenic complexes of amorphous calcium phosphate stabilized by casein phosphopeptides: A review. *Spec Care Dentist*. 1998;18(1):8-16. [\[CrossRef\]](#)
82. Mazzaoui SA, Burrow MF, Tyas MJ, Dashper SG, Eakins D, Reynolds EC. Incorporation of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate into a glass-ionomer cement. *J Dent Res*. 2003;82(11):914-918. [\[CrossRef\]](#)
83. Botelho MG. Inhibitory effects on selected oral bacteria of antibacterial agents incorporated in a glass ionomer cement. *Caries Res*. 2003;37(2):108-114. [\[CrossRef\]](#)
84. Gpv S, Elsa N, Agrawal A. Newer advances in glass ionomer cement: A review. *Ann Essences Dent*. 2016;8:19-23.
85. Gu YW, Yap AUJ, Cheang P, Khor KA. Effects of incorporation of HA/ZrO2 into glass ionomer cement (GIC). *Biomaterials*. 2005;26(7):713-720. [\[CrossRef\]](#)
86. 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(9):589-598. [\[CrossRef\]](#)
87. AlOtaibi G. Recent advancements in glass ionomer materials with introduction of nanotechnology: A review. *Int J Oral Care Res*. 2019;7(1):21-23. [\[CrossRef\]](#)