

ساخت و بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت گلاس آینومر - نانولوله‌ی کربنی - بغدادیت

۱: کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده‌ی مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (نصف‌آباد)، اصفهان، ایران.
 ۲: نویسنده مسئول: استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده‌ی فنی مهندسی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
 Email: alidstm@gmail.com

شیرین لباف^۱علی دوست‌محمدی^۲

چکیده

مقدمه: با توجه به اهمیت سیمان‌های گلاس آینومر در دندان‌پزشکی و خواص مکانیکی ضعیف آنها، هدف از اجرای این پژوهش، ارتقای خواص مکانیکی سیمان گلاس آینومر، به وسیله‌ی ساخت نانوکامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله‌ی کربنی- بغدادیت با استفاده از افزودنی‌های نانولوله‌ی کربنی و نانوذرات بغدادیت بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق تجربی- آزمایشگاهی، برای تهیه‌ی کامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله‌ی کربنی- بغدادیت، نانولوله‌ی کربنی با درصد وزنی ۰/۵ و نانوذرات بغدادیت در مقادیر یک، سه و پنج درصد وزنی به جزء سیمانی گلاس آینومر تجاری (Fuji II GC) افزوده شدند. سپس نمونه‌ها توسط آزمون‌های استحکام فشاری، استحکام خمشی به روش سه نقطه‌ای و استحکام کششی قطری مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین سطح شکست نمونه‌ها پس از آزمون استحکام فشاری، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM scanning electron microscopy) بررسی شد. تحلیل آماری با استفاده از تحلیل واریانس یک‌سویه (ANOVA) انجام شد و تفاوت‌ها بین مقادیر نتایج، در صورتی که ($p \text{ value} < ۰/۰۵$) بود، معنی‌دار در نظر گرفته شد ($n = ۳$).

یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌های مکانیکی، کامپوزیت حاوی ۰/۵ درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی و یک درصد وزنی بغدادیت، دارای بیشترین استحکام فشاری، خمشی و کششی بود. همچنین تصاویر SEM کاهش حفرات در ساختار کامپوزیت و به دنبال آن، کاهش تمرکز تنش و انتشار ترک را تأیید نمود که این امر استحکام مکانیکی بالاتر ماده را فراهم می‌سازد.

نتیجه‌گیری: بنابر نتایج به دست آمده، مناسب‌ترین نمونه برای کاربرد در مصارف دندان‌پزشکی و ارتوپدی تحت بار، سیمان گلاس با ۰/۵ درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی و یک درصد وزنی نانوذرات بغدادیت می‌باشد.

کلید واژه‌ها: سیمان گلاس آینومر، نانولوله‌ی کربنی، بغدادیت، استحکام فشاری، استحکام کششی، استحکام خمشی.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۲۰

تاریخ اصلاح: ۹۶/۱/۲۰

تاریخ ارسال: ۹۵/۱۰/۴

استناد به مقاله: لباف شیرین، دوست‌محمدی علی. ساخت و بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله‌ی کربنی- بغدادیت. مجله دانشکده دندان پزشکی اصفهان. ۳۸۳-۳۷۵: (۴) ۱۳: ۱۳۹۶.

مقدمه

سیمان‌های گلاس آینومر حدود ۳۰ سال است که در دندان پزشکی به دلیل ماهیت چسبنده و رهایش فلوراید، به عنوان سیمان‌های چسباننده، ترمیمی و آسترکاری مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱، ۲). سیمان گلاس آینومر در اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ ایجاد و اولین بار توسط ویلسون و کنت در سال ۱۹۷۰ اختراع شد. سیمان‌های گلاس آینومر شامل پودر شیشه‌ای فلوئورو آلومینا سیلیکات و اسید پلی‌اکریلیک می‌باشد که توسط یک واکنش اسید- باز میان پودر شیشه‌ای و مایع اسید پلی‌اکریلیک به یک جسم سخت تبدیل می‌شود (۳، ۴). خواص آن را می‌توان به قابلیت پیوند شیمیایی با بافت دندان، خاصیت ضد پوسیدگی به دلیل آزادسازی فلوراید، سازگاری حرارتی با مینای دندان به دلیل دارا بودن ضریب انبساط حرارتی مشابه با ساختار دندان، حلالیت اندک، ضریب کشسانی مشابه عاج و زیست سازگاری پس از ترمیم برشمرد (۵). هر چند سیمان‌های گلاس آینومر دارای محاسن زیادی می‌باشند، اما این دسته از مواد، معایبی نیز دارند. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های سیمان‌های گلاس آینومر، تردی و چقرمگی شکست پایین (خواص مکانیکی ضعیف) است که استفاده از آنها را در کاربردهای تحت تنش بالا محدود می‌سازد (۳). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در جهت بهبود خواص و عملکرد سیمان‌های گلاس آینومر انجام شده است و پژوهشگران زیادی در این زمینه و با ایده‌های مختلف کار کرده‌اند (۶). با توجه به مطالب ذکر شده و تلاش برای رفع معایب موجود در سیمان‌های گلاس آینومر، با استفاده از نانولوله‌های کربنی و نانوذرات بغدادیت، کامپوزیت گلاس آینومر جدیدی تهیه شد و خواص مکانیکی آن مورد بررسی قرار گرفت.

بغدادیت ($\text{Ca}_3\text{ZrSi}_2\text{O}_9$) یک ترکیب سیلیکات کلسیم زیرکونیوم‌دار است که گزارش‌هایی مبنی بر خواص مکانیکی و زیست سازگاری عالی آن وجود دارد (۷). در پژوهش‌های مختلف مشخص شده است که بغدادیت می‌تواند ماده‌ای خوش آتیه برای بهبود نواقص استخوانی با

اندازه‌ی بحرانی باشد و دارای پتانسیل استفاده در محیط‌هایی که از نظر مکانیکی نامطلوب هستند می‌باشد (۸). نانولوله‌های کربنی از صفحات کربن به ضخامت یک اتم و به شکل استوانه‌ای توخالی ساخته شده است که در سال ۱۹۹۱ توسط سامیو ایجیما (از شرکت NEC ژاپن) کشف شد. خواص ویژه و منحصر به فرد آن از جمله مدول یانگ بالا و استحکام کششی خوب، باعث شده که در دهه‌ی گذشته شاهد تحقیقات مهمی در کارایی و پرباری نانولوله باشیم. نانولوله‌ها در تشکیل کامپوزیت‌ها نیز کاربرد دارند (۹).

در پژوهش حاضر، ساخت و مشخصه‌یابی کامپوزیت گلاس آینومر نانولوله‌ی کربنی- بغدادیت مورد توجه قرار گرفته است و تأثیر افزودن نانولوله‌ی کربنی و نانوذرات بغدادیت به جزء سرامیکی سیمان گلاس آینومر بر خواص مکانیکی آن بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تجربی- آزمایشگاهی، مواد اولیه‌ی مورد استفاده شامل سیمان گلاس آینومر، نانولوله‌ی کربنی و بغدادیت می‌باشد که مشخصات این مواد در زیر آورده شده است.

سیمان گلاس آینومر

سیمان گلاس آینومر تجاری (Fuji II GC, Corporation GC Co, Japan) خریداری شد. این سیمان از نوع ترمیمی (restorative) و خود سخت‌شونده (self-cured) می‌باشد که شامل پودر و مایع پلیمری است.

نانولوله‌ی کربنی

نانولوله‌ی کربنی چند جداره (MWCNT, Nanocyl Co., Belgium) از شرکت بسپار تجهیز یاران خریداری شد.

نانوذرات بغدادیت

نانوذرات بغدادیت (Baghdadite, Nikceram Co., Isfahan, Iran) به صورت آماده از شرکت مهندسی پزشکی نیکسرام تهیه شد. بغدادیت با فرمول $\text{Ca}_3\text{ZrSi}_2\text{O}_9$

سیمان‌های گلاس آینومر، به ترتیب آزمون استحکام فشاری، خمشی به روش سه نقطه‌ای و کششی قطری می‌باشد. کامپوزیت‌های آماده شده تحت آزمون‌های خواص مکانیکی با مشخصات دستگاهی (Hounsfield, H25KS, England) قرار گرفتند. جدول ۱، کدگذاری نمونه‌های مربوط به آزمون خواص مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: پودر گلاس آینومر با قاشق پیمانه اندازه‌گیری می‌شود و سطح آن با اسپاتول مسطح می‌گردد.

جدول ۱: کدگذاری نمونه‌های مربوط به آزمون خواص مکانیکی

کد نمونه	توضیحات
GIC-0-0	سیمان گلاس آینومر بدون افزودنی
GIC-0.5-1	سیمان گلاس آینومر با ۰/۵ درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی و یک درصد وزنی بغدادیت
GIC-0.5-3	سیمان گلاس آینومر با ۰/۵ درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی و سه درصد وزنی بغدادیت
GIC-0.5-5	سیمان گلاس آینومر با ۰/۵ درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی و پنج درصد وزنی بغدادیت

آزمون استحکام فشاری

جهت انجام آزمون استحکام فشاری، نمونه‌های استوانه‌ای شکل با قطر (4 ± 0.1) میلی‌متر و ارتفاع (6 ± 0.1) میلی‌متر مطابق استاندارد BS6039: 1981 (۶، ۷) تهیه و استحکام فشاری، ۲۴ ساعت بعد از ساخت و با وارد آوردن نیرو به انتهای سطح استوانه تا حد شکستن آن اندازه‌گیری شد. به دلیل ترد بودن ساختار سیمان گلاس آینومر، سرعت فک

در دمای ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به روش سل-ژل سنتز شده بود.

ساخت نمونه‌های کامپوزیتی گلاس آینومر- نانولوله‌ی کربنی- بغدادیت

در این پژوهش برای آماده‌سازی نانوکامپوزیت سیمان گلاس آینومر/ نانولوله‌ی کربنی/ بغدادیت از سیمان گلاس آینومر تجاری Fuji II GC، محصول شرکت Corporation GC ژاپن و نانولوله‌ی کربنی (CNTs) ساخت کشور بلژیک و نانوذرات بغدادیت که به روش سل ژل تهیه شده، استفاده گردید. ابتدا مقدار مشخصی از پودر گلاس وزن شده و نانولوله‌ی کربنی با درصد وزنی ثابت ۰/۵ و نانوذرات بغدادیت با درصد‌های وزنی ۰، ۱، ۳ و ۵ به جزء سیمانی گلاس آینومر افزوده شد و به مدت ۳۰ ثانیه در آمالگاماتور به دلیل شدت و دقت بیشتر در همگن‌سازی مواد، مخلوط گردید (شکل ۱). سپس ترکیب پودر به دست آمده با مایع پلیمری (پلی‌اکریلیک اسید) مخلوط و نمونه‌های گلاس آینومر جهت انجام آزمون‌های مورد نظر آماده شد. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، پودر گلاس آینومر روی اسلب سرد توزیع گردید. سپس، نیمی از پودر توزیع شده، به آرامی وارد مایع پلیمری شد و سریع در عرض ۲۰ ثانیه مخلوط شد. در مرحله‌ی بعد، قسمت دوم پودر گلاس به‌طور کامل وارد مخلوط شد که این اختلاط در مدت ۲۰ ثانیه انجام گرفت. ماده‌ی مخلوط شده‌ی نهایی دارای سطح براق و خیس بود که زمان کار بر روی آن در این مرحله به ۳۰ تا ۴۰ ثانیه می‌رسید. مخلوط تهیه شده درون قالب‌هایی از جنس آلومینیوم با ارتفاع ۶ میلی‌متر و قطر ۴ میلی‌متر ریخته شد. نمونه‌ها بعد از خشک شدن کامل از قالب‌ها خارج شدند.

آزمون‌های مکانیکی

از میان خواص مکانیکی سیمان‌های دندان‌پزشکی، مقاومت فشاری اثر بسیار مهمی در طول عمر درمان‌ها دارد و در صورت کافی نبودن آن ترک‌هایی در سیمان به وجود می‌آید. از این‌رو مناسب‌ترین آزمون‌ها برای تعیین استحکام

میلی متر مطابق استاندارد ANSI/ADA66 (۶، ۷) تهیه و در محل مخصوص خود در دستگاه قرار داده شد. نیرو در راستای قطر نمونه ها و با سرعت ۰/۵ میلی متر بر دقیقه به نمونه ها وارد شد (جدول ۴).

جدول ۴. مقادیر استحکام کششی کامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله ی کربنی- بغدادیت.

استحکام کششی (مگاپاسکال)	بغدادیت (درصد وزنی)	نانولوله کربنی (درصد وزنی)	گلاس آینومر (درصد وزنی)
۷/۵۰ ± ۰/۷۲	۰	۰	۱۰۰
۱۰/۴۳ ± ۰/۷۵	۱	۰/۵	۹۸/۵
۸/۴۶ ± ۱/۲۳	۳	۰/۵	۹۶/۵
۶/۱۸ ± ۰/۶۲	۵	۰/۵	۹۴/۵

مطالعه و بررسی سطح شکست با میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscopy)
پس از پایان آزمون استحکام فشاری، مورفولوژی سطح شکست نمونه ها به وسیله ی میکروسکوپ الکترونی روبشی (Philips XL30) بررسی شد. برای بررسی این که بین گروه های آماری مورد مطالعه در آزمون های مکانیکی، تفاوت معنی داری وجود دارد یا خیر، از تحلیل آماری واریانس یک سویه استفاده شد و تفاوت بین مقادیر نتایج در صورتی که ($p \text{ value} < ۰/۰۵$) بود، از نظر آماری معنی دار در نظر گرفته شد.

یافته ها

کامپوزیت های حاوی ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی نانوذرات بغدادیت و ۰/۵ درصد وزنی نانولوله ی کربنی، توسط آزمون های استحکام فشاری، استحکام خمشی و استحکام کششی قطری مورد بررسی قرار گرفتند که با توجه به نتایج به دست آمده در جداول ۲، ۳ و ۴، نانوکامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله ی کربنی- بغدادیت، حاوی ۰/۵ درصد وزنی نانولوله ی کربنی و یک درصد وزنی بغدادیت، دارای بیشترین استحکام فشاری، خمشی و کششی نسبت به

دستگاه جهت اعمال فشار ۰/۵ میلی متر بر دقیقه در نظر گرفته شد که مراکز تمرکز تنش، آسیبی به ساختار پودری سیمان گلاس آینومر وارد نکند (جدول ۲).

جدول ۲. مقادیر استحکام فشاری کامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله ی کربنی- بغدادیت.

استحکام فشاری (مگاپاسکال)	بغدادیت (درصد وزنی)	نانولوله ی کربنی (درصد وزنی)	گلاس آینومر (درصد وزنی)
۴۹/۰۵ ± ۴/۷۳	۰	۰	۱۰۰
۶۸/۷ ± ۴/۴	۱	۰/۵	۹۸/۵
۶۱/۲۳ ± ۲/۰۵	۳	۰/۵	۹۶/۵
۳۴/۴۱ ± ۰/۲۱	۵	۰/۵	۹۴/۵

آزمون استحکام خمشی به روش سه نقطه ای (Three- point flexural strength)

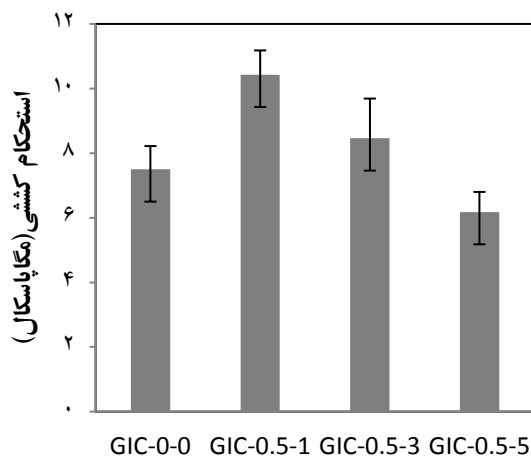
برای انجام آزمون استحکام خمشی، نمونه هایی با ابعاد $(۲ \pm ۰/۱) \times (۲ \pm ۰/۱) \times (۲۵ \pm ۲)$ میلی متر مطابق استاندارد ISO 4049 (۶، ۷) تهیه و استحکام خمشی ۲۴ ساعت پس از ساخت، با وارد آوردن نیرو در راستای عمودی بر محور طولی با سرعت ۰/۵ میلی متر بر دقیقه به نمونه وارد شد (جدول ۳).

جدول ۳. مقادیر استحکام خمشی کامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله ی کربنی- بغدادیت.

استحکام خمشی (مگاپاسکال)	بغدادیت (درصد وزنی)	نانولوله ی کربنی (درصد وزنی)	گلاس آینومر (درصد وزنی)
۱۱/۰۶ ± ۰/۷۳	۰	۰	۱۰۰
۱۵/۷۷ ± ۰/۷۳	۱	۰/۵	۹۸/۵
۸/۰۳ ± ۰/۵۱	۳	۰/۵	۹۶/۵
۷/۶۹ ± ۰/۴۵	۵	۰/۵	۹۴/۵

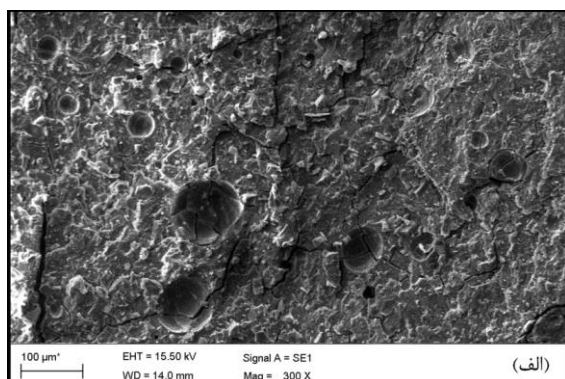
آزمون استحکام کششی قطری (Diametral tensile strength)

برای انجام آزمون استحکام کششی قطری، نمونه های دیسکی شکل با قطر $(۹ \pm ۰/۱)$ و ضخامت $(۴/۵ \pm ۰/۱)$



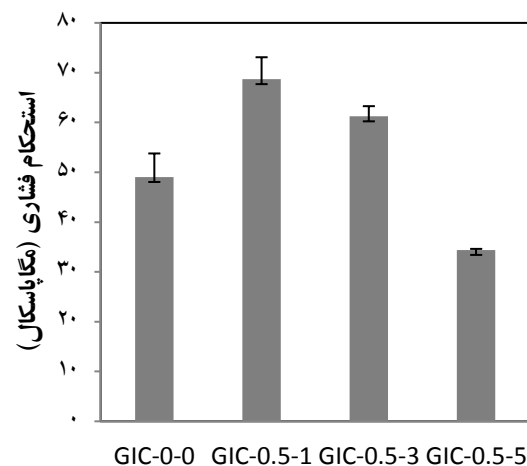
نمودار ۳: نمودار میانگین استحکام کششی در درصد های وزنی مختلف بغدادیت و نانولوله ی کربنی.

همچنین تصاویر سطح شکست سیمان گلاس آینومر و کامپوزیت حاوی یک درصد وزنی بغدادیت و ۰/۵ درصد وزنی نانولوله ی کربنی پس از آزمون استحکام فشاری، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد (شکل ۲، الف و ب). با توجه به تصاویر مربوطه، سطح شکست سیمان گلاس آینومر حاوی نانولوله ی کربنی و نانوذرات بغدادیت، هموارتر و دارای حفرات کمتری نسبت به سطح شکست سیمان گلاس آینومر فاقد افزودنی است. بنابراین نانولوله ی کربنی و نانوذرات بغدادیت در ساختار سیمان گلاس آینومر، موجب افزایش استحکام سیمان می شوند.

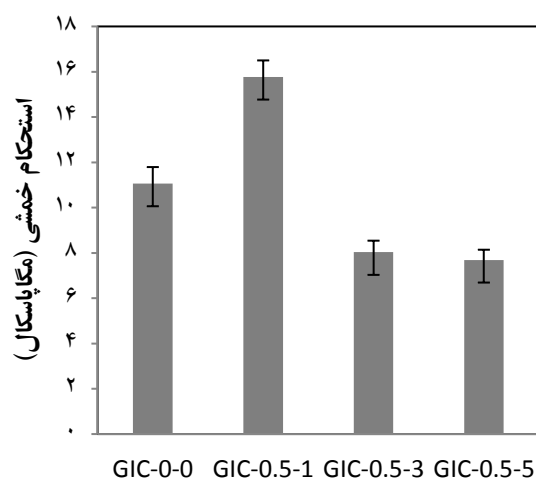


شکل ۲ (الف): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح شکست سیمان گلاس آینومر

نمونه ی کامپوزیت، بدون افزودنی می باشد. به گونه ای که استحکام فشاری از ۴۹/۰۵ مگاپاسکال برای سیمان گلاس آینومر بدون افزودنی، به ۶۶/۸۵ مگاپاسکال (نمودار ۱)، استحکام خمشی از ۱۱/۰۶ مگاپاسکال برای سیمان گلاس آینومر بدون افزودنی، به ۱۵/۷۷ مگاپاسکال (نمودار ۲) و استحکام خمشی از ۱۱/۰۶ مگاپاسکال برای سیمان گلاس آینومر بدون افزودنی، به ۱۵/۷۷ مگاپاسکال (نمودار ۳) افزایش یافته است.



نمودار ۱: نمودار میانگین استحکام فشاری در درصد های وزنی مختلف بغدادیت و نانولوله ی کربنی.

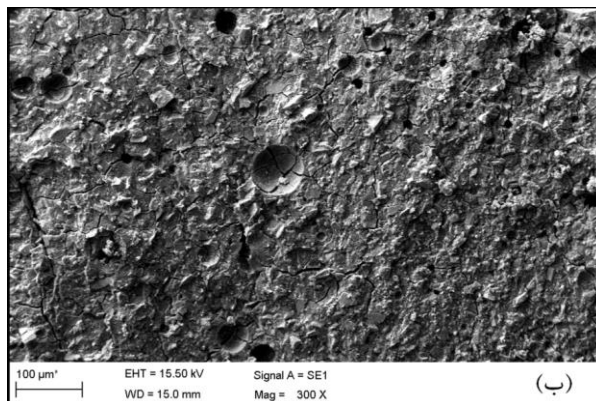


نمودار ۲: نمودار میانگین استحکام خمشی در درصد های وزنی مختلف بغدادیت و نانولوله ی کربنی.

می‌توان به خواص مکانیکی مطلوب نانولوله‌ی کربنی و نانوذرات بغدادیت اشاره نمود (۸، ۱۴، ۱۵). در بسیاری از پژوهش‌هایی که با هدف بهبود خواص مکانیکی یک ماده به انجام رسیده است، همواره کامپوزیت کردن آن با ماده‌ی دیگری که از خواص مکانیکی مطلوب‌تری نسبت به زمینه برخوردار باشد، مشاهده می‌شود (۱۰، ۱۶). افزودن نانوذرات بغدادیت و نانولوله‌ی کربنی، به دلیل تقویت ساختار فیزیکی سیمان گلاس آینومر، تأثیر قابل توجهی در بالا بردن استحکام مکانیکی کامپوزیت سیمان گلاس آینومر دارد (۶، ۱۴). از سوی دیگر، افزودن نانولوله‌ی کربنی و نانوذرات بغدادیت به ذرات شیشه‌ای سیمان گلاس آینومر با اندازه‌ی ذرات میکرونی، منجر به توزیع وسیع‌تر اندازه‌ی ذرات در ساختار سیمان شد که این امر، تراکم بالاتر ذرات پودر مخلوط شده با زمینه‌ی پلیمری سیمان و به دنبال آن خواص مکانیکی بالاتر سیمان را به همراه داشت. در نتیجه نانولوله‌ی کربنی و نانو ذرات بغدادیت توانستند فضاهای خالی میان ذرات شیشه‌ای سیمان گلاس آینومر را اشغال و به عنوان یک ماده‌ی تقویت کننده در ترکیب سیمان عمل کنند (۱۴، ۱۷).

کاهش استحکام سیمان در حضور مقادیر بیش از حد نانولوله‌ی کربنی و نانوذرات بغدادیت، ناشی از کاهش نیروهای پیوندی و اتصال دهنده میان جزء سرامیکی و پلیمری سیمان گلاس آینومر است. در واقع حضور ذرات خارجی نانولوله‌ی کربنی و بغدادیت از حد مشخصی بالاتر، همانند یک مانع عمل می‌کند و از اتصال کامل اجزای سیمان گلاس آینومر ممانعت به عمل می‌آورد (۱۰، ۱۴).

در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی پس از آزمون استحکام فشاری، سیمان گلاس آینومر فاقد افزودنی، سطح شکست نامنظمی را نشان می‌دهد و حاوی تعداد زیادی حفره است. این حفرات طی آزاد شدن یون‌های سیلیکات زمینه از سطح شکست سیمان گلاس آینومر ایجاد شده‌اند. این امر حاکی از این است که ذرات شیشه‌ای استحکام پیوند قوی با زمینه‌ی پلیمری سیمان نداشته‌اند. همچنین ذرات شیشه‌ای بیشتر و به دنبال آن مناطق از هم گسسته‌ی



شکل ۲ (ب): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح شکست کامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله‌ی کربنی- بغدادیت

بحث

با توجه به مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر (۵، ۶)، مشاوره‌ی نیا و همکاران (۱۰) در سال ۲۰۰۸، گزارش نمودند که افزودن پنج درصد وزنی نانوذرات هیدروکسی آپاتیت به گلاس آینومر، باعث افزایش به ترتیب حدود ۱۵ و ۴۰ درصد استحکام فشاری و کششی قطری می‌شود. آریتا و همکاران (۱۱) در سال ۲۰۱۱، با افزودن هشت درصد وزنی نانوذرات هیدروکسی آپاتیت به سیمان گلاس آینومر Fuji IX GP، توانستند استحکام فشاری را حدود ۵ درصد و استحکام خمشی را حدود ۸۰ درصد افزایش دهند. سیدان و همکاران (۱۲) در سال ۲۰۱۵، افزودن هیدروکسی آپاتیت به سیمان گلاس آینومر Fuji IX GP و افزایش استحکام خمشی را گزارش کردند. گیو و همکاران (۱۳) در سال ۲۰۰۵، با افزودن چهار درصد حجمی هیدروکسی آپاتیت و زیرکونیا (HA/ZrO_2) به سیمان گلاس آینومر Fuji IX GP، توانستند استحکام فشاری و کششی قطری را به ترتیب حدود ۴۰ و ۲ درصد افزایش دهند. خاقانی و همکاران (۶) در سال ۲۰۱۳ میلادی با افزودن ۵ درصد وزنی نانوذرات هیدروکسی آپاتیت به جزء سرامیکی سنتز شده سیمان گلاس آینومر، باعث افزایش استحکام فشاری آن شدند.

در توجیه بهبود خواص مکانیکی نانوکامپوزیت گلاس آینومر نانولوله‌ی کربنی- بغدادیت، در حضور مقادیر مشخصی از نانوذرات بغدادیت و نانولوله‌ی کربنی، در ابتدا

بیشتری در فصل مشترک ذرات شیشه‌ای و زمینه‌ی پلیمری سیمان به دلیل ضعیف بودن فصل مشترک آنها وجود دارد. این فصل مشترک، ضعیف‌ترین جزء در ساختار سیمان گلاس آینومر است که می‌تواند به عنوان مرکز تمرکز تنش عمل کند و افت خواص مکانیکی سیمان را به دنبال داشته باشد (۱۴). بنابراین شکست عمدتاً در فصل مشترک ذرات شیشه‌ای با زمینه‌ی پلیمری سیمان رخ داده است. سطح شکست سیمان گلاس آینومر حاوی نانولوله‌ی کربنی و نانوذرات بغدادیت هموارتر و دارای حفرات کمتری نسبت به سطح شکست سیمان گلاس آینومر فاقد افزودنی است، چرا که نانولوله‌ی کربنی و نانوذرات بغدادیت در ساختار سیمان گلاس آینومر، به عنوان تقویت‌کننده‌ی زمینه، فضاهای خالی میان ذرات شیشه‌ای سیمان گلاس آینومر را اشغال کرده و موجب افزایش استحکام سیمان می‌شود. بسیاری از مواد دندانی ترد نظیر سیمان‌ها، از طریق انتشار ترک شکسته می‌شوند. حفرات می‌توانند به عنوان مراکز تمرکز تنش عمل کنند. بنابراین هر چه حفرات در ساختار ماده کمتر باشد، تمرکز تنش و به دنبال آن انتشار ترک نیز

کاهش می‌یابد که این امر استحکام مکانیکی بالاتر ماده را فراهم می‌سازد (۱۰، ۱۴). در این پژوهش، افزایش خواص مکانیکی سیمان گلاس در حضور نانولوله‌ی کربنی و نانوذرات بغدادیت تأیید شد. این بررسی در درصدهای وزنی محدودی انجام گرفت و لازم است سایر درصدهای وزنی نیز بررسی شوند. همچنین تأثیر این مواد بر دیگر خواص سیمان نظیر خواص زیستی نیز بررسی گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمون خواص مکانیکی نشان داد که درصد بهینه برای افزایش استحکام فشاری، استحکام خمشی و استحکام کششی قطری سیمان گلاس آینومر، در کامپوزیت گلاس آینومر- نانولوله‌ی کربنی- بغدادیت، ۵/۰ درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی و یک درصد وزنی بغدادیت، می‌باشد. به‌طوری که استحکام فشاری، استحکام خمشی و استحکام کششی قطری سیمان گلاس آینومر به ترتیب حدود ۳۶، ۴۳ و ۳۹ درصد افزایش می‌یابد.

References

1. Smith DC. Development of glass-ionomer cement systems. *Biomaterials* 1998; 19(6): 467-78.
2. Nourmohammadi J, Salarian R, Solati-Hashjin M, Moztaazadeh F. Dissolution behavior and fluoride release from new glass composition used in glass ionomer cements. *Ceramics International* 2007; 33(4): 557-61.
3. Channasanon S, Soodsawang W, Monmatrapoj N, Tanodekew S. Factors influencing compressive strength of glass ionomer cement. *Journal of Metals, Materials and Minerals* 2010; 20(3): 91-4.
4. Shen C. Dental cements. In: Anusavice KJ. editor. *Phillips' science of dental materials*. 11th ed. New York, NY: Elsevier Health Sciences; 2003. p. 443-94.
5. Bahrami Abadi M, Monshi A. Evaluation of bioactivity and the ability to release fluoride in glass-ionomer cement/silk fiber composite. *J Isfahan Dent Sch* 2015; 11(5): 365-78. [In Persian].
6. Khaghani M, Doostmohammadi A, Monshi A, Golnia Z. Effect of incorporating nano-particles of hydroxyapatite on bioactivity and compressive strength of dental glass-ionomer cements. *J Isfahan Dent Sch* 2013; 8(7): 593-605. [In Persian].
7. Wu C, Chang J. A review of bioactive silicate ceramics. *Biomed Mater* 2013; 8(3): 032001.
8. Roohani-Esfahani SI, Dunstan CR, Davies B, Pearce S, Williams R, Zreiqat H. Repairing a critical-sized bone defect with highly porous modified and unmodified baghdadite scaffolds. *Acta Biomater* 2012; 8(11): 4162-72.
9. Farshidianfar A, Dalir H, Shayan S. Synthesis, mechanical properties and application of carbon nanotubes. Mashhad, Iran: Ferdowsi University of Mashhad Publications; 2008. p. 13-7. [In Persian].

10. 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(2): 432-40.
11. Arita K, Yamamoto A, Shinonaga Y, Harada K, Abe Y, Nakagawa K, et al. Hydroxyapatite particle characteristics influence the enhancement of the mechanical and chemical properties of conventional restorative glass ionomer cement. *Dent Mater J* 2011; 30(5): 672-83.
12. Sayyedan FS, Fathi MH, Edris H, Doostmohammadi A, Mortazavi VS, Shirani F. Synthesis and characterization of glass ionomer-forsterite nanocomposites and study of the effect of adding forsterite nanoparticles on mechanical properties and bioactivity. *Journal of Advanced Materials in Engineering* 2015; 33(3): 21-35. [In Persian].
13. Gu YW, Yap AU, Cheang P, Khor KA. Effects of incorporation of HA/ZrO (2) into glass ionomer cement (GIC). *Biomaterials* 2005; 26(7): 713-20.
14. Sayyedan FS, Fathi MH, Edris H, Doostmohammadi A, Mortazavi V, Hanifi A. Effect of forsterite nanoparticles on mechanical properties of glass ionomer cements. *Ceramics International* 2014; 40(7): 10743-8.
15. Sadr SA. Applications and challenges of environmental carbon nanotubes. *Iran Nanotechnology Initiative Council* 2007; 6(115): 89-93. [In Persian].
16. Verbeeck RM, de Maeyer EA, Marks LA, de Moor RJ, de Witte AM, Trimpeneers LM. Fluoride release process of (resin-modified) glass-ionomer cements versus (polyacid-modified) composite resins. *Biomaterials* 1998; 19(6): 509-19.
17. Wilson AD, Kent BE. A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. *Br Dent J* 1972; 132(4): 133-5.

Preparation and Investigation of Mechanical Properties of Glass Ionomer Cement/Carbon Nanotube/Baghdadite Nanocomposite Abstract

Shirin Labbaf¹

Ali Doostmohammadi²

1. MSc, Advanced Materials Research Center, Department of Materials Engineering, Islamic Azad University of Isfahan (Najafabad), Isfahan, Iran.

2. **Corresponding Author:** Assistant Professor, Materials Department, Engineering Faculty, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. **Email:** alidstm@gmail.com

Abstract

Introduction: Considering the importance of glass-ionomer cements (GICs) in dentistry and their poor mechanical properties, the aim of this study was to improve their mechanical properties by manufacturing a glass-ionomer-carbon nanotube-baghdadite nanocomposite by adding carbon nanotubes and baghdadite nanoparticles.

Materials & Methods: In the present experimental study, carbon nanotubes with 0.5 wt% and baghdadite nanoparticles in 1, 3 and 5 wt% were added to the cement component of a commercial glass-ionomer cement (Fuji II GC) for preparing glass-ionomer-carbon nanotube-baghdadite nanocomposite. Then the mechanical properties of the samples were evaluated by the cold compressive strength (CCS), three-point flexural strength (FS) and diametral tensile strength (DTS) tests. In addition, the fractured sample surfaces were evaluated after the compressive strength test under a scanning electron microscope. Data were analyzed with one-way ANOVA at a significance level of p value < 0.05 . A total of three samples were evaluated ($n = 3$).

Results: Based on the results of mechanical tests, the composite containing 0.5 wt% of carbon nanotubes and 1 wt% of baghdadite nanoparticles exhibited the highest compressive strength, diametral tensile strength and flexural strength. In addition, SEM micrographs indicated a decrease in pores in the composite structure and a decrease in stress concentration and propagation of cracks, resulting in an increase in the mechanical strength of samples.

Conclusion: According to the results, the most appropriate sample for dental and orthopedic applications in load-bearing areas is glass-ionomer cement containing 0.5 wt% carbon nanotubes and 1 wt% baghdadite.

Key words: Baghdadite, Carbon nanotube, Compressive strength, Flexural strength, Glass-ionomer cement, Tensile strength.

Received: 24.12.2016

Revised: 9.4.2017

Accepted: 10.5.2017

How to cite: Labbaf Sh, Doostmohammadi A. Preparation and Investigation of Mechanical Properties of Glass Ionomer Cement/Carbon Nanotube/Baghdadite Nanocomposite Abstract. J Isfahan Dent Sch 2018; 13(4): 375-383.