

## تأثیر پرکننده کوارتز به همراه باریم آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید بر ویژگی مکانیکی چندسازه‌های دندانی نورپخت بر پایه Bis-GMA/UDMA/TEGDMA

بابک اکبری<sup>۱\*</sup>، سحر واحدی<sup>۲</sup>، سیده مریم جمشیدی<sup>۲</sup> و فرهود نجفی<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی علوم زیستی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم زیستی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. دانشیار گروه رزین و افرونی‌ها، پژوهشکده پوشش‌های سطح و فناوری‌های نوین، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران.

دریافت: آذر ۱۴۰۰ بازنگری: تیر ۱۴۰۱ پذیرش: مرداد ۱۴۰۱



10.30495/JACR.2022.1946038.1992



20.1001.1.17359937.1401.16.2.10.4

### چکیده

در این پژوهش، چندسازه دندانی با استفاده از رزین‌های بیس-جی‌ام‌آ، یودی‌ام‌آ و تی‌ای‌جی‌دی‌ام‌آ و پرکننده‌های کوارتز و باریم آلومینوسیلیکاتی حاوی فلوراید، تهیه شد. پس از مرحله ساخت، نمونه‌ها با طیف‌سنجی FTIR برای مطالعه اصلاح سطح پرکننده‌ها، آزمون UTM برای تعیین استحکام خمشی و آزمون میکروسختی بررسی شدند. سپس، از سطوح شکست نمونه‌های به‌دست‌آمده از آزمون خمش، تصویرهای SEM تهیه شد. نتیجه‌های آزمون UTM به‌دست آمده حدود ۲۳٪ بالاتر از سطح استاندارد ISO4049 (93MPa) بود و نتیجه‌های سختی‌سنجی نیز مقدار ۸۴/۴ ویکرز را نشان داد که در گستره قابل‌قبول برای چندسازه‌های دندانی قرار دارد. پیک‌های FTIR مربوط به دو سامانه کوارتز و شیشه باریم سیلیکات موفقیت‌آمیز بودن فرایند سیلان‌دارشدن را در این دو سامانه نشان دادند. در مجموع به‌نظر می‌رسد که ترکیب تهیه‌شده در این پژوهش، شرایط موردنیاز برای یک چندسازه دندانی را دارد و مطالعه‌های بیشتری را می‌توان بر آن انجام داد.

**واژه‌های کلیدی:** چندسازه دندانی، کوارتز، باریم آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید، نورپخت

### مقدمه

آمالگام دارند که از میان آن‌ها می‌توان به عدم حضور جیوه که در برخی افراد حساسیت ایجاد می‌کند، زیبایی و قابلیت پیوند مطلوب این مواد به بافت دندان اشاره کرد. در عین حال، چالش‌های زیادی برای بهبود ساختار و ویژگی مواد ترمیمی وجود دارد. یک ماده ترمیمی آرمانی باید از نظر

دندانپزشکی ترمیمی و زیبایی یکی از شاخه‌های دندانپزشکی است که توجه ویژه‌ای به اقدام‌های درمانی مانند ترمیم‌های زیبایی، اصلاح بدشکلی دندان‌ها و سفید کردن دندان‌ها دارد. ترمیم‌های چندسازه‌ای مزایایی چند نسبت به

پرکننده شیشه‌ای با واپایش بیشتر و مطلوب‌تر انجام می‌شود. بنابراین، موجب افت ویژگی مکانیکی و فیزیکی چندسازه نخواهد شد. افزون بر آن، پرکننده شیشه‌ای حاوی فلوراید، سیلان‌دار شده و با بستر رزینی پیوند برقرار می‌کند. در این حالت شبکه مستحکم شده‌ای ایجاد می‌شود که فلوراید از آن اسیدشویی می‌شود. این روند در صورت استفاده از منابع دیگر فلوراید مانند سدیم فلوراید و استرانسیم فلوراید امکان‌پذیر نیست. پرکننده شیشه‌ای موردنظر بدون اکسیدهای فلزهای قلیایی و فلزهای سمی سنگین است و حالت نیم‌شفاف مطلوب‌تری به چندسازه می‌بخشد. فلوراید به‌طورمتداول به شکل باریم فلوراید و یا آلومینیم فلوراید در ترکیب شیشه به‌کار می‌رود [۳ و ۴].

از ترکیب‌های متاکریلاتی به‌عنوان رزین‌های آلی در چندسازه‌های دندانی استفاده می‌شود. متداول‌ترین متاکریلات تشکیل‌دهنده شبکه بسپارش، Bis-GMA است. این تکپار واکنش‌پذیری و وزن مولکولی بالا، انقباض بسپارش پایین و قابلیت ایجاد شبکه سه بعدی با پیوندهای عرضی دارد [۵]. در کنار این تکپار، از تکپارهای دیگر خانواده متاکریلات‌ها مانند Bis-EMA، UDMA، TEGDMA<sup>۳</sup> و EGDMA<sup>۴</sup> نیز به‌صورت متداول در چندسازه‌های دندانی استفاده می‌شود [۶]. از مزایای UDMA گران‌روی پایین و انعطاف‌پذیری عالی پیوند یورتان است که چقرمگی رزین چندسازه بر پایه این تکپار را بهبود می‌بخشد [۷].

در این پژوهش، چندسازه هیبریدی از نظر اندازه ذره‌های پرکننده بر پایه تکپارهای UDMA، Bis-GMA و TEGDMA ساخته شدند. این چندسازه هیبریدی شامل ذره‌های با اندازه ۰/۴ تا ۵ میکرون به همراه ذره‌های نانومتری بود. پرکننده‌های مورد استفاده کوارتز به همراه ترکیب‌های آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید انتخاب شدند. در کار پیشین که در این زمینه انجام شد، پرکننده‌های کوارتز به‌صورت تلفیقی

استحکام و ظاهر با ساختار دندان طبیعی یکسان باشد [۱]. امروزه بسیاری از چندسازه‌های دندانی تجاری از Bis-GMA<sup>۱</sup> و UDMA<sup>۲</sup> به‌عنوان تکپار اصلی استفاده می‌کنند. پرکننده‌های متداول در این چندسازه‌ها کوارتز، باریم آلومینوسیلیکات، لیتیم آلومینوسیلیکات و زیرکونیا هستند. ویژگی چندسازه و کارایی آن به‌میزان و ویژگی این اجزا وابسته است.

شکل‌گیری پوسیدگی‌های ثانویه در لبه‌ها و کناره‌های پرکننده‌های دائمی قرار گرفته در دندان، مشکلی دیرینه در علم دندانپزشکی است. نشان داده شده است که تمایل به ایجاد پوسیدگی دوباره در محل ماده پرکننده دندانی در صورتی که این مواد قابلیت آزادسازی فلوراید به بافت دندان‌های مجاور را داشته باشند، تا حد بالایی کاهش می‌یابد. دلیل این نظر تشکیل فلوروآپاتیت مقاوم به پوسیدگی است که به‌دست‌آمده از واکنش هیدروکسی آپاتیت موجود در دندان با فلوراید آزاد شده از ماده ترمیمی است [۲]. ترمیم‌کننده‌های چندسازه‌ای حاوی فلوراید به‌عنوان منبع فلوراید عمل می‌کنند و قادر هستند مقدار فلوراید را در بزاق، پلاک و بافت سخت دندان افزایش دهند. فلوراید می‌تواند به دو شکل به پرکننده افزوده شود. در روش اول به‌طورساده فلوراید به‌صورت فلوراید‌های غیرآلی مانند سدیم فلوراید و استرانسیم فلوراید به پرکننده شیشه‌ای مورد نظر افزوده می‌شود. این روش افزودن فلوراید درمان موردنظر فلورایدی را فراهم می‌کند، ولی آزاد شدن فلوراید از چنین ترمیم‌کننده‌ای موجب ایجاد تخلخل می‌شود و ویژگی مکانیکی ماده ترمیمی را تضعیف می‌کند. روش دوم ساخت چندسازه با یک پرکننده شیشه‌ای است که با وجود اسیدشویی فلوراید از آن، چندسازه ترمیمی یکپارچگی فیزیکی خود را حفظ می‌کند. آزادسازی فلوراید از داخل

1. Bisphenol A-glycidyl methacrylate

2. Urethane dimethacrylate

3. Triethylene glycol dimethacrylate

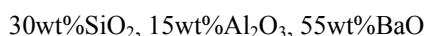
4. Ethylene glycol dimethacrylate

شد. برای به دست آوردن میانگین استحکام خمشی نمونه‌ها، دستگاه آزمون استحکام خمشی ساخت شرکت Santam به کار گرفته شد. دستگاه میکروسختی‌سنج Bareiss برای انجام آزمون سختی نمونه‌ها و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل LEO 1455VP برای بررسی سطوح شکست نمونه‌ها، به کار گرفته شد.

#### فرایند ساخت چندسازه

##### تهیه پرکننده

در این پژوهش از پرکننده‌های کوارتز و شیشه باریم آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید استفاده شده است. اندازه اولیه ذره‌های سیلیکا ۰.۲ تا ۰.۸ میلی‌متر بود که نیاز به خردایش داشت. پرکننده شیشه‌ای باریم آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید با گرمادهی ساخته شد. در ساخت این پرکننده از آلومینیم فلوراید به عنوان منبع فلوراید استفاده شد. در تهیه پرکننده شیشه‌ای باریم آلومینوسیلیکات، ۵۵ گرم سیلیکا، ۲۲۶/۳ گرم باریم هیدروکسید (۸ آب) و ۴۵/۹ گرم آلومینیم هیدروکسید در محیط آب و الکل قرار گرفت. سپس، خشک و آسیاب شدند. ترکیب شیشه باریم آلومینوسیلیکات مورد استفاده به صورت زیر است:



ترکیب این شیشه با ۸ درصد فلوراید به عنوان پرکننده چندسازه تهیه شد. به این ترتیب که مخلوط شیشه و فلوراید پس از آماده شدن با هاون دستی، در بوتله زیرکونیا قرار گرفت و در کوره با دمای  $1350^\circ\text{C}$  برای مدت ۲ ساعت گرمادهی شد. پس از همگن شدن ترکیب‌های ذوب شده، بوتله از کوره خارج و محتوای آن در آب سرد ریخته شد. سپس این شیشه به مدت ۲ ساعت تحت آسیاب اسپکس قرار گرفت. پرکننده کوارتز نیز به مدت ۲ ساعت آسیاب شد.

در مرحله بعدی فرایند اصلاح سطحی انجام شد. فرایند اصلاح سطح برای هر دو پرکننده به این صورت انجام شد

از اندازه‌های میکرو و نانو در ترکیب چندسازه‌های دندانی استفاده شدند و نتیجه‌های خوبی از نظر ویژگی مکانیکی و درجه تبدیل بسپارش به دست آمد [۸]. همچنین، در پژوهش دیگری درصد انقباض ترکیب پایانی مورد استفاده برای چندسازه‌های دندانی با استفاده از تکپارهای متفاوت کاهش پیدا کرد که دستاورد مهمی در تهیه چندسازه‌های دندانی به حساب می‌آید [۹].

#### بخش تجربی

##### مواد و روش‌ها

کوارتز و باریم هیدروکسید (۸ آب) و عامل جفت‌کننده MPTS<sup>۱</sup> از شرکت مرک و تکپارهای Bis-GMA، UDMA و TEGDMA از شرکت آلدریج خریداری شدند. آلومینیم هیدروکسید، آلومینیم فلوراید، استیک اسید، آغازگر نوری TPO<sup>۱</sup> و آمین Et-PABA<sup>۲</sup> مورد استفاده، همه ساخت مرک بودند. مواد یادشده با خلوص آزمایشگاهی بودند و بدون هیچ‌گونه خالص‌سازی استفاده شدند. پرکننده چندسازه نانو هیبرید بر پایه تکپارهای Bis-GMA، UDMA و TEGDMA ترکیبی از کوارتز و پرکننده شیشه‌ای باریم آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید است که با گرمادهی ویژه تهیه شده است. پرکننده‌ها با عمل خردایش با آسیاب ماهواره‌ای SPEX samplePrep 8000D به اندازه مطلوب رسیدند و سطح‌های آن‌ها اصلاح شدند. ترکیب‌های موجود در پرکننده شیشه‌ای ساخته شده با دستگاه پراش پرتو ایکس BrukerD8 ADVANCE X-Ray diffractometer بررسی شدند. برای به دست آوردن توزیع اندازه ذره‌ها، پرکننده‌ها از دستگاه پراکندگی نور دینامیکی Master sizer 2000 ساخت شرکت Malven استفاده شد. برای بررسی سیلان دارشدن پرکننده‌ها، طیف‌سنج فرسوخ تبدیل فوریه Spectrum one ساخت شرکت Perkin Elmer به کار برده

1. Diphenyl (2,4,6-trimethylbenzoyl) phosphine oxide

2. Ethyl-4-dimethylaminobenzoate

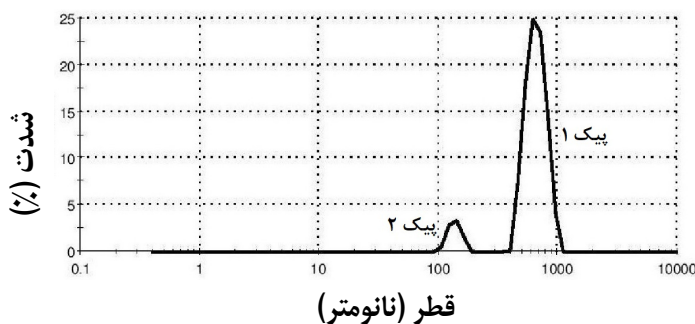
۵۰ قرار گرفت [۱۱]. پس از این مدت، گرانروی مخلوط به تقریب کاهش یافت. از این رو، برای قوام گرفتن ترکیب، ۰/۴ گرم نانوسیلیکا طی ۴ مرحله به آن افزوده و همزده شد. به این ترتیب تغییر کوچکی در نسبت پرکننده و رزین ایجاد شد و درصد پرکننده کلی ۷۶/۸۵٪ محاسبه شد. چندسازه پایانی قالب‌گیری شد و به مدت ۶۲ ثانیه با نور LED با شدت تابش  $350 \text{ mW/cm}^2$  پخت شد. برای افزایش عمق پخت، آغازگر نوری همراه با آمین Et-PABA به‌عنوان تسریع‌کننده واکنش بسپارش با نسب ۲ به ۱ به کار برده شد [۱۲]. افزودن آمین به چندسازه در مراحل پایانی ساخت و همراه با افزودن پرکننده صورت می‌گیرد. در انتها نیز مقدار ۰/۴ گرم نانوسیلیکا برای قوام گرفتن خمیر به ترکیب افزوده شد.

### نتیجه‌ها و بحث

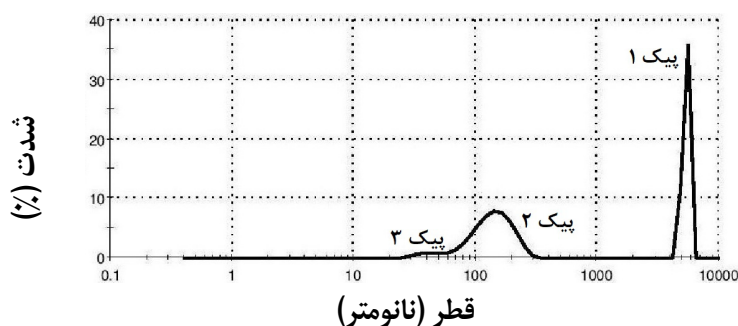
#### اندازه ذره‌ها

نتیجه‌های به‌دست آمده از پراکندگی نور دینامیکی پرکننده‌های کوارتز و شیشه باریم آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید بر حسب شدت نور بازتاب‌شده با ذره‌ها در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

که ۱۰۰ گرم محلول آب و الکل (۵٪ آب و ۹۵٪ ایزوپروپیل الکل) با استیک اسید به گستره PH ۴/۵ تا ۵/۵ رسانده شد. سپس، ۶ گرم عامل جفت‌کننده MPTS به محلول افزوده شد. محلول به‌دست‌آمده به مدت ۱۰ دقیقه برای آب‌کافت و تشکیل سیلانول همزده شد. در این حالت ۶ گرم پرکننده کوارتز افزوده شد و سل تشکیل شده به مدت ۲۰ دقیقه با دستگاه همزن مکانیکی همزده شد. مرحله پخت برای خمیری شدن ماده در دمای ۷۰ تا ۷۵ °C (دمای جوش الکل) انجام گرفت. ماده خمیری شکل به‌دست‌آمده، ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ °C برای تشکیل پیوند کووالانسی در آون قرار گرفت. پرکننده مورد نظر پیش از افزوده شدن به رزین، در هاون کوبیده شد تا حالت پودری به خود بگیرد [۱۰]. پرکننده شیشه ای باریم سیلیکات حاوی فلوراید نیز با استفاده از این روش اصلاح سطحی شد. برای تهیه بستر ابتدا سه تکپار در نسبت‌های مشخص (40% Bis-GMA, 40% UDMA, 20% TEGDMA) با هم مخلوط و سپس آغازگر نوری TPO افزوده شد. مخلوط همزده شد تا همگن شود [۷]. پرکننده‌ها در نسبت مشخص (۷۵٪ پرکننده در ۲۵٪ بستر) در هاون ریخته و مخلوط شدند. سپس، آرام آرام به مخلوط رزین افزوده شدند. مخلوط به‌دست‌آمده برای همگن شدن بیشتر به مدت ۱۵ دقیقه در آون در دمای ۰°C



شکل ۱ نتیجه‌های پراکندگی نور دینامیکی برای کوارتز بر حسب شدت نور بازتابی بیک ۱ (میانگین قطر: ۶۵۹ نانومتر، شدت: ۹۱/۸٪ و ضخامت: ۱۲۶ نانومتر) و بیک ۲ (میانگین قطر: ۱۳۷ نانومتر، شدت: ۸/۲٪ و ضخامت: ۱۶/۸ نانومتر)



شکل ۲ نتیجه‌های پراکندگی نور دینامیکی برای شیشه باریم آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید بر حسب شدت نور بازتابی

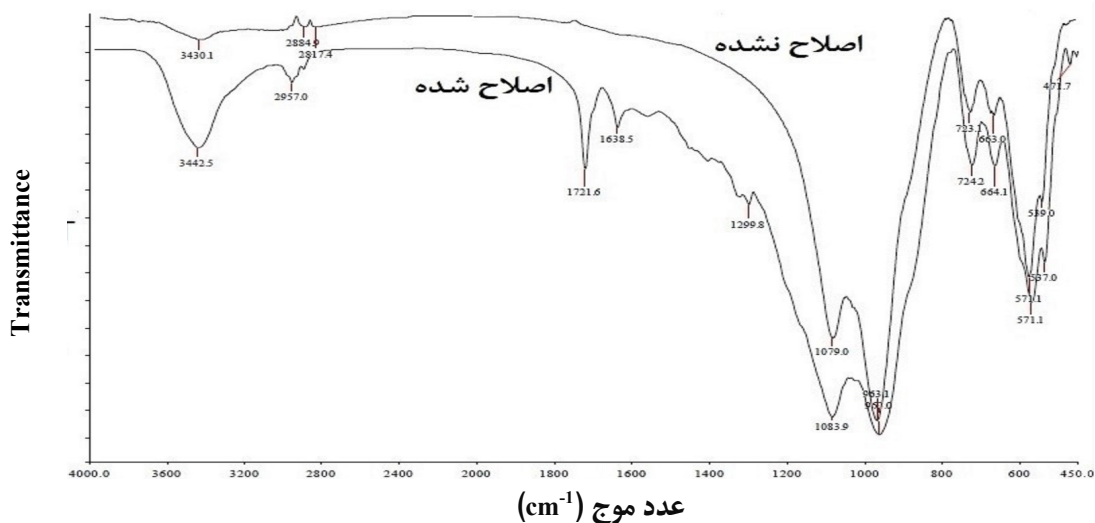
پیک ۱ (قطر: ۵۳۷۰ نانومتر، شدت: ۴۷٫۲٪ و ضخامت: ۳۲۶ نانومتر)،  
 پیک ۲ (قطر: ۱۴۴ نانومتر، شدت: ۴۹٫۵٪ و ضخامت: ۴۹٫۸ نانومتر) و  
 پیک ۳ (قطر: ۴۰٫۶ نانومتر، شدت: ۳٫۳٪ و ضخامت: ۷٫۲ نانومتر)

می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در بالابردن مقدار پرکننده مورد استفاده در ترکیب چندسازه داشته باشد.

#### طیف FTIR

طیف فروسرخ برای بررسی مقدار اصلاح سطح پرکننده‌ها و به پیروی از آن چسبندگی و پیوند میان پرکننده و بستر، به کار گرفته شد. شکل ۳ طیف‌های فروسرخ کوارتز اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، پیک  $1721\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C=O و همچنین، پیک‌های  $2927\text{ cm}^{-1}$  و  $2957\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های کششی متقارن گروه‌های  $\text{CH}_3$  و  $\text{CH}_2$  در طیف مربوط به کوارتز اصلاح‌شده وجود دارد که در طیف کوارتز اصلاح‌نشده دیده نمی‌شوند. این پیک‌ها مربوط به ترکیب اصلاح‌کننده سیلانی MPTS است و بیانگر موفقیت آمیز بودن فرایند سیلان‌دار کردن بر کوارتز هستند [۱۳ و ۱۴].

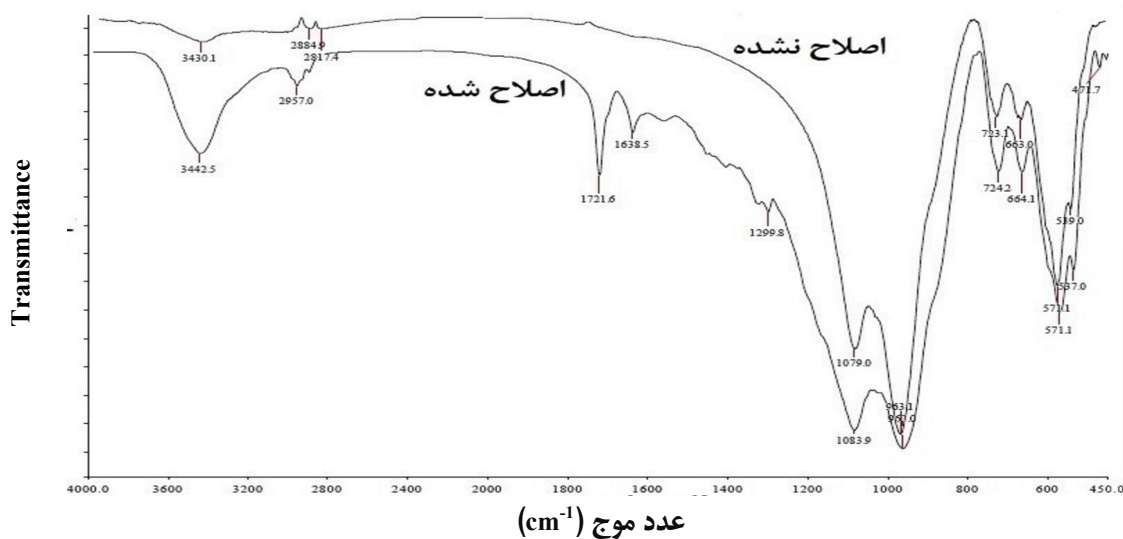
همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، کوارتز مورد استفاده در این پژوهش دو گستره متفاوت ابعادی دارد. یک پیک با شدت ۹۱٫۸٪ در ۶۹۵ نانومتر و دیگری با شدت ۸٫۲٪ در ۱۳۷ نانومتر مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که کوارتز مورد استفاده دو گستره ابعادی بین ۶۰۰ الی ۱۰۰۰ نانومتر (حدود ۹۰٪) و بین ۱۰۰ الی ۲۰۰ نانومتر (حدود ۱۰٪) دارد. شکل ۲ نیز گستره ابعادی شیشه مورد استفاده را نشان می‌دهد. شیشه باریم آلومینوسیلیکات حاوی فلوراید استفاده‌شده، سه گستره ابعادی دارد (پیک در ۴۰٫۶ نانومتر با شدت ۳٫۳٪، پیک در ۱۴۴ نانومتر با شدت ۴۹٫۸٪ و پیک در ۵۳۷۰ نانومتر با شدت ۴۷٫۲٪). همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، پرکننده‌های مورد استفاده در این پژوهش از نوع هیبریدی (میکرو و نانومتری) هستند و این ویژگی



شکل ۳ طیف‌های فروسرخ کوارتز اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده

پیک‌های  $2957\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی آلیفاتیک C-H و  $1638\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی C=C نشان-دهنده موفقیت آمیز بودن فرایند سیلان‌دار کردن بر شیشه باریم آلومینوسیلیکات است [۱۳ و ۱۴].

شکل ۴ طیف‌های فروسرخ شیشه باریم سیلیکات اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده را نشان می‌دهد. وجود پیک با عدد موج  $1721\text{ cm}^{-1}$  در طیف اصلاح‌شده حاکی از ایجاد پیوندهای C=O و سیلان‌دار شدن است. همچنین، وجود



شکل ۴ طیف‌های فروسرخ شیشه باریم سیلیکات اصلاح‌نشده و اصلاح‌شده

چندسازه‌های دندانی در گستره ۴۶ تا ۱۰۵ HV است. نزدیک‌بودن مقادیر میکروسختی در سه نمونه مورد آزمایش بیانگر همگن‌بودن نسبی ساختار چندسازه ساخته‌شده است.

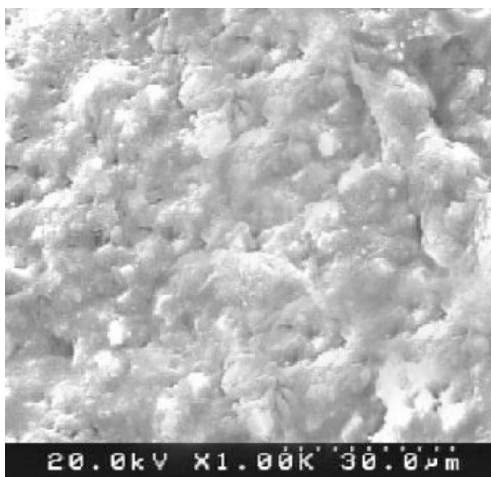
جدول ۲ نتیجه‌های آزمون\* میکروسختی (HV) برای چندسازه ساخته‌شده

میانگین	نمونه ۳		نمونه ۲		نمونه ۱	
۸۴٫۴ ± ۵٫۸	۹۰٫۹	۸۹٫۸	۸۶٫۹	۸۵٫۷	۷۶٫۸	۷۶٫۳

\* برای هر سه نمونه دیسکی ساخت‌شده از چندسازه، دو بار آزمون انجام شده است.

تصویرهای SEM از سطح شکست نمونه

شکل ۵ سطح شکست نمونه چندسازه را در آزمون استحکام خمشی نشان می‌دهد.



شکل ۵ تصویر SEM از سطح شکست نمونه چندسازه

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، تصویر سطح شکست نمونه صاف و شکست چندسازه ترد است. لازم به توضیح است که در بسیاری از سازوکار تغییر شکل پلاستیک وجود دارد. سیلان برشی و کریزینگ. سیلان برشی به‌طور معمول به‌عنوان یک رفتار نرم و کریزینگ به‌عنوان یک رفتار ترد

## آزمون‌های مکانیکی

### آزمون استحکام خمشی

در جدول ۱ نتیجه‌های آزمون استحکام خمشی برای ۵ نمونه از ترکیب ساخته‌شده ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین استحکام خمشی چندسازه برابر با ۹۸٫۴ MPa با انحراف معیار ۷٫۷ به‌دست آمد. شایان ذکر است که نمونه ۱ به‌دلیل تفاوت زیاد داده، خارج از گستره در نظر گرفته و حذف شد.

جدول ۱ نتیجه‌های آزمون استحکام خمشی (MPa)

میانگین	نمونه ۵	نمونه ۴	نمونه ۳	نمونه ۲	نمونه ۱
۹۸٫۴ ± ۷٫۷	۹۷٫۵	۱۰۱٫۲۵	۹۰	۱۰۵	۷۱٫۲۵

مقدار استاندارد و قابل قبول استحکام خمشی برای چندسازه‌های دندانی، ۸۰ MPa است [۱۵]. با توجه به بالاتر بودن مقدار میانگین استحکام خمشی نمونه‌های مورد آزمایش از مقدار استاندارد، چندسازه ساخته‌شده می‌تواند برای کاربرد تجاری مناسب باشد.

### آزمون میکروسختی<sup>۱</sup>

آزمون میکروسختی ویکرز آزمون استاندارد برای چندسازه‌های دندانی است. استانداردهای ISO 6507-1 و ASTM E384 تعیین‌کننده مقدار میکروسختی قابل قبول هستند. در این آزمون تعداد سه نمونه دیسکی شکل تحت آزمون قرار گرفت که بر هر کدام دو بار تورفتگی<sup>۲</sup> انجام شد. نتیجه به‌دست آمده به‌صورت میانگین ۶ بار ایجاد تورفتگی در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میانگین مقدار میکروسختی چندسازه ۸۴٫۴ HV به‌دست آمد. با توجه به استانداردهای یادشده و نیز کارهای مشابه پیشین [۱۴] مقدار میکروسختی قابل قبول برای

1. Microhardness

2. Indent

جدول ۳ مقایسه نتیجه‌های این پژوهش با نمونه‌های تجاری و کار مشابه پیشین

نمونه‌ها	سازنده-کشور/مراجع	استحکام خمشی (MPa)	سختی (HV)
Ceram X Mono	Dentsply-آمریکا	۱۱۵	۹۵
Estelite Quick	Tokuyama-ژاپن	۹۰	۹۲
Herculite Ultra VCX	Kerr-آمریکا	-	۹۷
BAPO 70%	[۸]	۱۰۱	۷۸
BAPO 75%	[۸]	۹۰	۸۲
BAPO 80%	[۸]	۹۵	۹۸
نمونه	پژوهش حاضر	۹۸	۸۴

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، چندسازه دندانی نورپخت بر پایه سه تکپار Bis-GMA، UDMA و TEGDMA حاوی پرکننده هیبریدی میکرو و نانومتری متشکل از کوارتز و باریوم آلومینوسیلیکاتی به همراه فلوراید تهیه شد. نتیجه‌های اندازه-گیری ابعادی وجود دو اندازه متفاوت را در گستره میکرومتری و نانومتری برای پرکننده‌های مورد استفاده نشان داد. نتیجه-های آزمون UTM به دست آمده مقدار  $98.4 \text{ MPa}$  را برای چندسازه نشان داد که این مقدار بالاتر از سطح استاندارد ISO4049 برای استحکام خمشی چندسازه‌های دندانی است. نتیجه‌های سختی سنجی نیز در حد مطلوبی به دست آمد. در مجموع چندسازه ساخته شده از لحاظ مکانیکی استانداردهای لازم را دارد. این ویژگی به دلیل استفاده مناسب از عامل پیونددهنده بین فاز بستر و پرکننده (فرایند سیلان دارشدن با ترکیب MPTS) ایجاد شده است. عامل پیونددهنده افزون بر بهبود چسبندگی بین پرکننده و زمینه، موجب پراکندگی مناسب پرکننده (بادرصدهای خیلی بالا) در زمینه نیز خواهد شد که این امر نیز به بهبود استحکام مکانیکی چندسازه منجر خواهد شد.

شناخته می‌شود. بسپارهایی که با سازوکار سیلان برشی تغییر شکل پلاستیک می‌دهند، به‌طور معمول رفتار نرم دارند و بسپارهایی که با سازوکار کریزینگ تغییر شکل می‌دهند رفتار ترد دارند. با توجه به اینکه در فرایند تهیه چندسازه از حلال استون و لامپ هالوژن استفاده نشده است، در تصویرها، حباب دیده نمی‌شود. این نکته بسیار با اهمیت است چرا که حباب‌ها به‌عنوان مراکز تمرکز تنش عمل می‌کنند و در صورت زیادبودن می‌توانند استحکام مکانیکی قطعه را کاهش دهند. وجود حلال استون در هر دو حالت استفاده از لامپ‌های هالوژن و LED می‌تواند مشکلاتی را ایجاد کند. در صورت پخت نمونه با دستگاه هالوژن در اثر به‌دست آمده از لامپ هالوژن، مقداری از استون موجود در ترکیب تبخیر می‌شود. در صورت استفاده از دستگاه LED به دلیل عدم وجود گرما تبخیر استون انجام نمی‌شود و بنابراین، نمونه پخت کامل نخواهد شد.

در نمونه، برهم‌کنش به‌نسبت خوبی میان رزین و پرکننده مشاهده می‌شود. ذره‌های پرکننده به‌طور کامل به رزین چسبیده‌اند و پرکننده جدا از رزین مشاهده نمی‌شوند. این موضوع گواهی بر انجام فرایند سیلان دارشدن است. نکته‌ای که در طیف‌سنجی FTIR هم به آن اشاره شد. پیوند میان رزین و پرکننده موجب افزایش استحکام مکانیکی و کاهش نقاط تمرکز تنش می‌شود. از آنجایی که شکل پرکننده‌ها به‌طور عمده کروی است و پیوند مناسبی هم بین آن‌ها و زمینه وجود دارد، از اشاعه ترک جلوگیری می‌شود چرا که موانع موجود بر سر راه ترک افزایش می‌یابد و در نتیجه استحکام مکانیکی بالاتر می‌رود.



مراجع

- [1] Sakaguchi, R.L.; Ferracane, J.; Powers, J.M.; "Craig's Restorative Dental materials", 14<sup>th</sup> Ed., Elsevier, Amsterdam, 2019.
- [2] Nowak, R., Wanek, E.; Gangnus, B.; U.S. Patent 5824720 A, 1998.
- [3] Hammesfahr, P.D.; Danielson, P.S.; Campbell, R.C.; U.S. Patent 5304586 A, 1994.
- [4] Barszczewska-Rybarek, I.M.; Chrószcz, M.W.; Chladek, G.; Materials 14(8), 2037-2045, 2021.
- [5] Zhang, S.; Liao, M.; Liu, F.; Huang, X.; Mai, S.; He, J.; J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 131, 105263, 2022.
- [6] Tarle, Z.; Meniga, A.; Ristic, M.; Sutalo, J; Pichler, G.; Croat. Chem. Acta. 71(3), 777-787, 1998.
- [7] Glenn, J.F.; "Composites and properties of unfilled and composite resin restorative materials", Edited by Smith, D.C. ; Williams, D.F.; CRS Press Inc, Boca Raton, 3, 98-130, 1982.
- [8] Najafi, H.; Akbari, B.; Najafi, F.; Abrishamkar, A.; Ramedani, A.; Yazdanpanah, A.; Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater. 66(16), 844-851, 2017.
- [9] Sarhaadei, E.; Najafi, F.; Akbari, B.; Polym. Bull, 79, 8193-8215, 2022.
- [9] Kolodziejczak-Radzmiska, A.; Jesionowski, T.; Materials 7, 2833 – 2881, 2014.
- [10] Karabela, M.M.; Sideridou, I.D.; Dent. Mater. 27, 825-835, 2011.
- [11] Schneider, L.F.; Cavalcante, L.M.; Prahl, S.A.; Pfeifer, C.S; Ferracane, Dent. Mater. 28(4), 392-397, 2012.
- [12] Saikia, B.J.; Parthasarathy, G.; J. Mod. Phys. 1, 206-210, 2010.
- [13] Pavia, D.L.; Lampman, G.M.; Kriz, G.S.; Vyvyan, J.R.; "Introduction to spectroscopy", 5<sup>th</sup> Ed., CENGAGE Learning, Australia, 2009.
- [14] International Standard, ISO 4049, Dentistry – Polymer – based restorative materials.
- [15] Poggio, C.; Lombarlini, M.; Gaviati, S.; Chiesa, M.; J. Conserv. Dent. 15(3), 237-241, 2012.

## Effect of quartz filler with fluoride-containing barium aluminosilicate on the mechanical properties of light-cured dental composites based on Bis-GMA/UDMA/TEGDMA

B. Akbari<sup>1,\*</sup>, S. Vahedi<sup>2</sup>, M. Jamshidi<sup>2</sup>, F. Najafi<sup>3</sup>

1. Assistance Prof. of Department of Life Science Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. M.Sc. Student of Department of Life Science Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Associate Prof. of Department of Resin and Additives, Surface Coating and Novel Technologies Faculty, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran.

**Abstract:** In this project, a dental composite has been prepared using Bis-GMA, UDMA, and TEGDMA resins along with quartz and barium aluminosilicate fillers containing fluoride. After the fabrication stage, FTIR tests were performed to study the surface modification of fillers, UTM to determine the flexural strength and stiffness test. Then, SEM images were obtained from the fracture surfaces of the bending test. The results of the UTM test were about 23% higher than the standard level of ISO4049 (93MPa) and the hardness test result was 84.4 HV, which is in the acceptable range for dental composites. FTIR peaks related to quartz and barium silicate glass systems showed the success of the silanization process in these two systems. In general, it seems that the composition prepared in this study can meet the requirements of a dental composite. However, further studies need to be carried out.

**Keywords:** Dental composite, Quartz, Fluoride-containing barium aluminosilicate, Light-cure