

مطالعه اثر سیلان و مقدار پرکننده بر خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیتهای دندانی

Studying the Effect of Silane and Filler on Physical and Mechanical Properties of Dental Composites

مهناز باقری^۱، محمد عطایی^۲، مهدی نکومش حقیقی^۲، سعید امانی^۱

۱- دانشگاه اراک، دانشکده شیمی؛ ۲- پژوهشگاه پلیمر ایران

دریافت: ۷۷/۴/۱۴، پذیرش: ۷۷/۹/۱۱

چکیده

آب از مهمترین عوامل موجود در محیط دهان است که می تواند با نفوذ به سطح مشترک پرکننده و ماتریس باعث تخریب پیوند بین رزین و پرکننده در کامپوزیتهای دندانی شود. یکی از موثرترین ترکیباتی که برای جلوگیری از اثر مخرب آب بکار می رود، عوامل جفت کننده سیلانی است که از راه جفت کردن شیمیایی فاز معدنی و پلیمر آلی به یکدیگر عمل می کند.

در این پژوهش، اثر میزان متاکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان و پرکننده بر خواص فیزیکی و شیمیایی کامپوزیت دندانی شامل سختی، استحکام کششی قطری، استحکام خمشی و جذب آب بررسی شد. همچنین، با قرار دادن کامپوزیتهای دندانی ساخته شده در آب جوش به مدت ۷ ساعت، اثر نفوذ آب بر خواص مکانیکی کامپوزیت مطالعه شد. میکروسکوپ الکترون پویشی برای تجزیه و تحلیل میزان چسبندگی پرکننده به رزین بکار گرفته شد. بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی را کامپوزیت دارای ۷۰ درصد پرکننده که به میزان ۱ تا ۳ درصد سیلان دار شده بود، نشان داد.

واژه های کلیدی: سطح مشترک، فاز میانی، عامل جفت کننده، استحکام کششی قطری، استحکام خمشی

Key Words: interface, interphase, coupling agent, diametral tensile strength, flexural strength

مقدمه

می یابد. حتی زمانی که فاز میانی ضخیم نباشد، سعی می شود با افزایش برهم کنش مولکولهای مختلف یا ایجاد پیوندهای اولیه بین مولکولها خواص فاز میانی بهبود یابد. این پیوندها می توانند یونی، هیدروژنی یا وان دروالس باشند که پیوندهای وان دروالسی کمترین تداخل را ایجاد می کنند. در هر صورت از راه آماده سازی قبلی سطوح دو فاز برای نفوذ پذیری بیشتر می توان باعث تداخل بهتر دو فاز در یکدیگر شد [۶]. اتصال ایجاد شده در سطح مشترک بر اساس نیروی بین مولکولی و انرژی آزاد سطح بررسی می شود، اما در عمل عواملی از قبیل رطوبت پذیری، واکنشهای شیمیایی، جذب و نفوذ، فشارهای

از آنجا که کامپوزیتهای دندانی ترکیبی از دو فاز آلی و معدنی با خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتند، خصوصیات سطح مشترک دو فاز اثر بسیار زیادی بر خواص این کامپوزیتها دارد [۳-۱].

بطور کلی، خواص سطح مشترک دو فاز بستگی به قدرت پیوند در سطح مشترک، صورتبندی، ساختار اطراف سطح مشترک و خواص فیزیکی و شیمیایی اجزای تشکیل دهنده دارد [۴، ۵]. هرچه ضخامت فاز میانی (فازی که به عنوان اتصال دهنده فاز آلی و معدنی به یکدیگر عمل می کند) و نیروهای بین مولکولی افزایش یابد، خواص فاز میانی بهبود

لايه‌اي باقيمانده، شكل شناسي و ميزان زبري سطوح نيز موثرند.

استفاده از عوامل جفت كننده سيلاني يكي از روشهاي مؤثر براي بهبود خواص و جلوگيري از تخريب اتصالات بين دو فاز در اثر نفوذ آب در كامپوزيتهاي دنداناني است [۷].

فرمول عمومي عوامل جفت كننده سيلاني $X_nSi(RY)_{4-n}$ است كه در آن R زنجير آلکيلي، Y گروه عاملی (متاكريلات، اپوكسي و دي آمين) و X گروه آب كافت شدني (مثل هالوزن، آلکوكسيل، استوكسيل و غيره) است [۱۰-۸]. نوع گروه عاملی Y بسته به نوع مونومر يا پليمري كه عامل جفت كننده با آن بر همكش دارد، تغيير مي كند. در مورد مكانيسم جفت كردن فاز آلي و معدني به كمك سيلانها نظريه‌هاي مختلفی مطرح شده است كه عبارتند از: تشكيل شبكه نفوذی، تغيير شكل پذيري لايه‌ها، لايه‌هاي محكم و فشرده شده، جذب انتخابی، ضريب مالشی، تأثير از راه واكشهاي اسيد و باز و اثر بر رطوبت پذيري و انرژي سطح [۱۱، ۱۲].

تجربي

مواد

مواد مورد استفاده در اين پژوهش عبارتند از: γ -متاكريلوكسي پروپيل تری متوكسي سيلان (γ-MPS) ساخت شركت فلوكا، بوروسيليكات تهيه شده از شيشه پيركس، اتيلن گليكول دي متاكريلات (EGDMA) از شركت فلوكا، اتيل الکل، آب مقطر سه بار تقطير شده، بنزوئيل پروكسيد ساخت شركت آلدريچ، استيك اسيد از شركت مرک و مونومر بيس فنول A-بیس (۲-هيدروكسي پروپيل) متاكريلات (bis-GMA) تهيه شده در پژوهشگاه پليمير ايران.

دستگاهها

شيشه‌هاي پيركس با آسياب هرزوگك مدل HSM A ۱۰۰ آسياب گرديد. براي آزمونهاي استحكام خمشی و استحكام كششی قطري (diametral tensile strength, DTS) از دستگاه اينسترون مدل ۶۰۲۵ استفاده شد. همچنين، ريز سختی سنج دستگاه نفوژات مدل ۴۲ و ميكروسكوپ الكترون پویشی كمبريج مدل S۳۶۰ بكار گرفته شد.

روشها

براي تهيه پرکننده، ابتدا شيشه‌هاي پيركس آسياب و سپس با الڪ مش ۴۰۰ الڪ شد.

براي سيلان دار كردن پرکننده از روش تر استفاده شد. بدین ترتيب كه ابتدا محلول اتانول در آب سه بار تقطير شده با نسبت حجمی

۷۰ به ۳۰ تهيه شد. سپس، pH محلول با استفاده از استيك اسيد به ۳/۵ رسانده شد. در مرحله بعد، مقدار سيلان موردنظر (درصد سيلان براساس وزن كلي پرکننده) به محلول اضافه و مدت ۱ ساعت به كناری گذاشته شد تا آبكافت در آن صورت گيرد. سپس، مقدار معيني پرکننده بوروسيليكات به محلول اضافه و در دمای محيط قرار داده شد تا حلال آن در مدت چند روز تبخير گردد. با استفاده از اين روش، پودر بوروسيليكات با درصدهای ۰، ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۸، ۱۲ سيلان دار شد. پودر بوروسيليكات سيلان دار فوق جهت تهيه كامپوزيت به مخلوط مونومر bis-GMA و رقيق كننده EGDMA اضافه شد. به مخلوط فوق ۱ درصد بنزوئيل پروكسيد نيز اضافه گرديد. تركيب درصد اجزای كامپوزيت در جدول ۱ آمده است.

كامپوزيت تهيه شده براي انجام آزمونهاي خواص فيزيكي و مكانيكي در قالبهاي مربوط به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۰۰ C قرار داده شد تا پخت آن كامل گردد. براي بررسي نقش مقدار پرکننده نيز كامپوزيتهايي با ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۷۵ درصد پرکننده تهيه و مشابه قبل پخت شد. نمونه‌هاي تهيه شده طبق استاندارد (۱۹۹۸) ISO ۴۰۴۹ در قالبی به ابعاد $25 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ پخت شده و از آنها براي آزمون خمش استفاده شد. جهت آزمون استحكام كششی قطري نيز نمونه به صورت قرصهائي به قطر ۶mm و ضخامت ۳mm تهيه شد. در اين آزمون سرعت حرکت فكها 10 mm/min و واحد بارگذاري استفاده شده ۱KN بود [۱۳]. آزمون ريز سختی سنجی براساس واحد ويكرز انجام گرديد. براي بررسي اثر نفوذ آب بر خواص كامپوزيتها، آزمونهاي ياد شده يكبار نيز روی نمونه‌هايی انجام گرفت كه به مدت ۷ ساعت در آب جوش قرار گرفته بودند. همچنين، به دليل مرطوب بودن محيط كارکرد اين كامپوزيتها (محيط دهان) در آزمونهاي استحكام كششی قطري و خمشی، نمونه‌هاي نجوشيده سه روز و نمونه‌هاي جوشيده يك روز قبل از آزمون در آب قرار داده شدند و به صورت تر آزمایش شدند. آزمون جذب آب نيز طبق استاندارد (۱۹۹۸) ISO ۴۰۴۹ روی نمونه‌ها انجام گرفت. براي بررسيهاي شكل شناسي از ميكروسكوپ الكترون پویشی استفاده شد. همچنين براي مشاهده اثر آب بر ظاهر كامپوزيتهاي سيلان دار شده و اصلاح نشده به عنوان شاهد از نمونه‌ها عكس گرفته شد.

جدول ۱ - تركيب درصد اجزای كامپوزيت.

درصد ماده	ماده مصرف شده	جزء تشكيل دهنده
۷۰	بوروسيليكات	پرکننده
۹	EGDMA	رقيق كننده
۲۰	bis-GMA	رزین
۱	بنزوئيل پروكسيد	آغازگر

جدول ۲- تغییرات استحکام کششی قطری و ریز سختی بر اساس درصد سیلان مصرفی در کامپوزیت‌های دندانی.

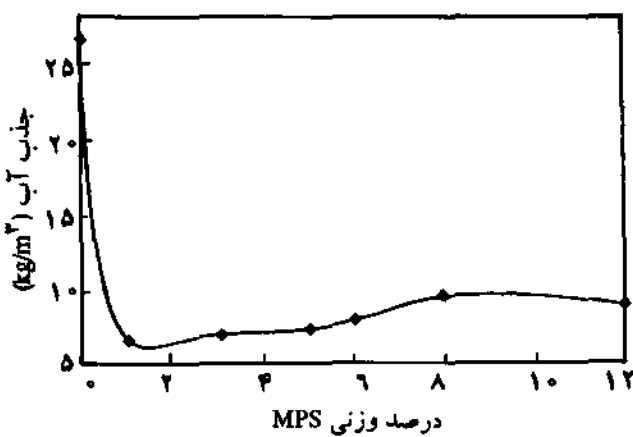
ریز سختی Kg/mm^2		استحکام کششی قطری (MPa)		درصد سیلان
جوشیده	نجوشیده	جوشیده	نجوشیده	
۰/۳۷۸۴	۱/۰۰۲۹	۱۱/۴	۱۷/۶	۰
۰/۸۰۴۹	-	۳۶/۰	۳۷/۵	۱
۰/۹۵۷۸	۱/۵۲۲۵	۲۷	۲۸/۹	۲
۱/۳۱۸۷	۱/۰۵۱۲	۲۸/۷	۳۰/۴	۳
۰/۶۸۵۸	۰/۹۱۵۷	-	-	۵
-	-	۲۵/۷	۲۹/۷	۸
-	-	۱۳/۴	۳۰/۵	۱۲

نتایج و بحث

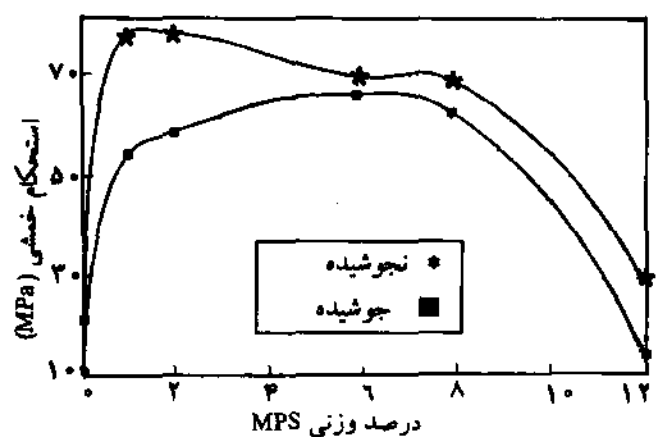
الر سیلان بر خواص کامپوزیت

همان گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، استحکام کششی قطری با افزایش درصد سیلان به علت خوب جفت شدن رزین و پرکننده افزایش می یابد و پس از یک کاهش نسبی روند DTS با افزایش درصد سیلان نسبتاً ثابت باقی می ماند. در حالت جوشیده نیز روند افزایش DTS در اثر سیلان دار کردن وجود دارد و کامپوزیت با پرکننده ۱ درصد سیلان بیشترین مقدار DTS را داراست. پس از آن کاهش تدریجی در DTS مشاهده می شود. کاهش شدید DTS در ۱۲ درصد سیلان می تواند ناشی از لایه ضخیمی از سیلان روی سطح پرکننده باشد. قرار گرفتن این لایه، که دارای خواص مکانیکی ضعیفتری است، در فاز میانی می تواند باعث افت خواص کامپوزیت نهایی شود. استحکام کششی قطری در حالت جوشیده کمتر از حالت نجوشیده است و در حالت

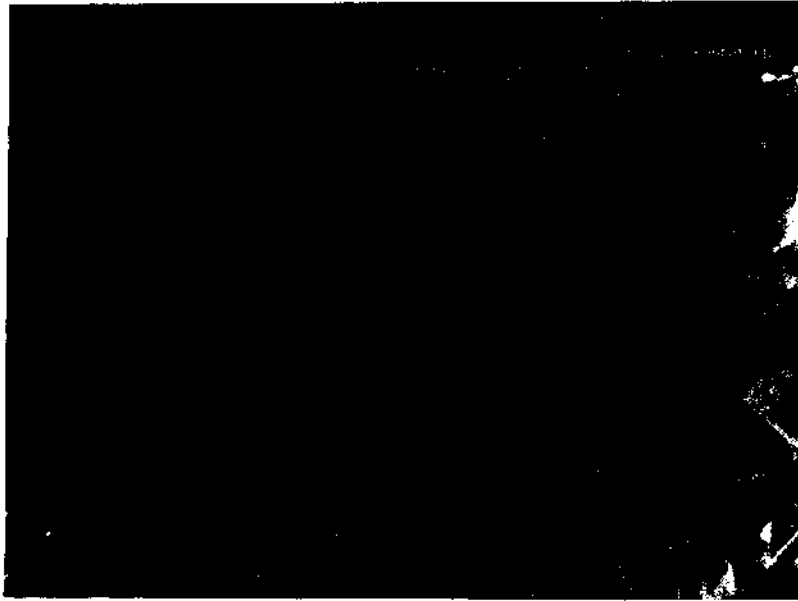
سیلان دار نشده بایستی افت خواص در اثر جوشاندن نمونه ها مواجه می شویم. در شکل ۱ روند تغییرات استحکام خمشی بررسی شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش یک درصد سیلان استحکام خمشی حدود ۲۸۰ درصد زیاد می شود. در افزایش سیلان به کامپوزیت دندانی تا حدود یک درصد در استحکام خمشی افزایش و پس از آن کاهش دیده شده است [۱۴]. در مورد نمونه های جوشیده بیشترین استحکام خمشی در ۶ تا ۸ درصد سیلان مشاهده می شود. همواره استحکام خمشی در حالت جوشیده کمتر از حالت نجوشیده است و اختلاف بین این دو استحکام در ۶ درصد سیلان کمتر از همه است. این امر می تواند ناشی از خوب جفت شدن رزین و پرکننده و همچنین نقش نرم کنندگی زنجیرهای پلیمری حاصل از پلیمر شدن سیلان و نفوذ آنها در بین شبکه پلیمری ماتریس در فاز میانی باشد که می تواند تنش به وجود آمده را بهتر تحمل کند. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، میزان جذب آب در کامپوزیت با پرکننده اصلاح نشده بیش از 25 kg/m^3 است که با ۱



شکل ۲- تغییرات جذب آب بر اساس درصد سیلان مصرفی در کامپوزیت دندانی.



شکل ۱- مقایسه تغییرات استحکام خمشی بر اساس درصد سیلان مصرفی در کامپوزیت‌های دندانی جوشیده و نجوشیده.



شکل ۳- سطح شکست در کامپوزیت اصلاح نشده نجوشیده.

می‌رسد. با توجه به نقش جفت‌کنندگی سیلان، فاز میانی سختی تشکیل می‌شود که آب کمی می‌تواند به آن نفوذ کند. همچنین، آب عمل هیدرولیتی دارد و شکستن پیوند سیلوکسانی واکنشی برگشت پذیر است و پیوندهای سیلانی تشکیل شده در اثر آبکافت دوباره می‌توانند با سیلانهای سطح فاز معدنی پیوند برقرار کنند. این اثر، میزان نفوذ آب به فاز میانی و کاهش سختی را تقلیل می‌دهد.

همان طور که در سایر آزمونها مشاهده می‌شود، خواص مکانیکی کامپوزیت با ازدیاد درصد سیلان به ۱ تا ۳ درصد افزایش چشمگیری دارد و پس از آن افت خواص مشاهده می‌شود. اما، استحکام خمشی در مقادیر ۶ تا ۸ درصد سیلان افزایش پیدا می‌کند. بنظر می‌رسد در این مقادیر از سیلان شکل‌شناسی فاز میانی به گونه‌ای است که با ایجاد یکت لایه چقرمه‌تر در این فاز، استحکام خمشی افت کمتری دارد و حتی در حالت جوشیده افزایش می‌یابد. به هر حال، برای اثبات این نظر و توجیه این پدیده نیاز به آزمایشها و بررسیهای بیشتری است.

در شکل‌های ۳ و ۴ پراکندگی پرکننده در رزین و میزان چسبندگی آن به رزین در حالت جوشیده و نجوشیده (اصلاح نشده) نشان داده شده است. چسبندگی پرکننده و رزین در حالت نجوشیده بیشتر از جوشیده است. جداشدگی ذرات پرکننده از رزین در حالت جوشیده کاملاً مشهود است. آنچه از شکلها مشخص می‌شود این است که در کامپوزیتهای با پرکننده سیلان‌دار نشده، چسبندگی بین رزین و پرکننده خوب نیست و نیز ماتریس سطح پرکننده را خوب نپوشانده است (خیس نکرده‌است). پس از قرار گرفتن کامپوزیت در مجاورت

کامپوزیت با پرکننده اصلاح‌نشده بیش از 25 kg/m^3 است که با ۱ درصد سیلان‌دار کردن پرکننده میزان جذب آب تا حدی بیش از 5 kg/m^3 بشدت کاهش می‌یابد. در اینجا نیز نقش سیلان در جفت‌کردن رزین و پرکننده و جلوگیری از جذب آب مشهود است [۱۵].

در جدول ۲ روند تغییرات سختی با افزایش در صد سیلان نشان داده شده است. با افزایش سیلان، با توجه به کاهش کشش سطحی و افزایش نر شونده‌گی سطح پرکننده، پراکندگی پرکننده در ماتریس بهتر شده و در نتیجه فشردگی بهتر می‌شود [۱۶]. بنابراین، همان گونه که انتظار می‌رود سختی افزایش می‌یابد. اما با افزایش مقدار سیلان (بعد از محدوده ۱ تا ۳ درصد) سختی کاهش پیدا می‌کند که احتمالاً می‌تواند به علت شرکت سیلان در ساختار فاز میانی و تغییر شکل‌شناسی این فاز به ساختاری با سختی کمتر باشد. در نتیجه، سختی سطح نمونه کاهش می‌یابد. در هر صورت، اظهار نظر قطعی در این مورد احتیاج به بررسیهای بیشتری دارد. در نمونه‌های جوشیده شده نیز این روند مشاهده می‌شود.

به طور کلی، سختی نمونه‌های جوشیده از نجوشیده کمتر است. علت آن است که در اثر نفوذ آب به فاز میانی و واکنش آب با گروه‌های آب دوست فاز معدنی، اتصال بین فاز آلی و معدنی از بین می‌رود و در نتیجه، سختی کاهش پیدا می‌کند. استفاده از سیلان افت خواص در اثر نفوذ آب را کم می‌کند. در مواردی که پرکننده سیلان‌دار شده است، افت خواص پس از جوشیدن کمتر از زمانی است که پرکننده اصلاح نشده است و این افت خواص در ۱ درصد سیلان به کمترین مقدار خود



شکل ۴ - سطح شکست در کامپوزیت اصلاح نشده جوشیده.

۲ - در حالت جوشیده هنوز هم چسبندگی بین فاز پرکننده و رزین وجود دارد و نسبت به حالت سیلان دار نشده، گسستگی بین پرکننده و رزین در مجاورت آب کمتر صورت گرفته است و این یکی از دلایلی است که در کامپوزیت ۱ درصد سیلان دار شده نسبت به سیلان دار نشده خواص فیزیکی و مکانیکی بهتری بدست می آید.

شکل ۷ سطح شکست در کامپوزیت ۱۲ درصد سیلان دار شده را نشان می دهد. در اینجا نیز چسبندگی بین رزین و پرکننده بسیار خوب

آب گسستگی دو فاز به حد زیادی صورت می گیرد و حفره های موجود در سطح کامپوزیت نیز موید این مشاهده است.

در شکل های ۵ و ۶ میزان چسبندگی بین پرکننده و رزین در حالت جوشیده و نجوشیده (۱ درصد سیلان دار شده) نشان داده شده است. از شکلها مشخص است که:

۱- چسبندگی بین رزین و پرکننده از حالت (اصلاح نشده) بیشتر است.



شکل ۵ - سطح شکست در کامپوزیت ۱ درصد سیلان دار شده نجوشیده.



شکل ۶- سطح شکست در کامپوزیت ۱ درصد سیلان دار شده جوشیده.

است.

از سطح کامپوزیتهای اصلاح نشده و ۱ درصد سیلان دار شده در حالت جوشیده و نجوشیده عکس گرفته شده است (شکل‌های ۸ و ۹). سفید بودن سطح کامپوزیت سیلان دار نشده جوشیده ناشی از نفوذ آب به سطح مشترک دو فاز در لایه سطحی نمونه است، همچنین ناهمواری سطح ناشی از این نفوذ باعث پراکندگی نور و تغییر رنگ سطح نمونه می‌شود.

اثر مقدار پرکننده بر خواص کامپوزیت

در جدول ۳ روند تغییرات استحکام کششی قطری، با افزایش درصد پرکننده نشان داده شده است. با افزایش درصد پرکننده DTS افزایش پیدا می‌کند. اما در ۷۵ درصد پرکننده افت مشاهده می‌شود. در این حالت، ماتریس نمی‌تواند بخوبی سطح فاز پرکننده را خیس کند و در واقع ماتریس پیوستگی خود را از دست می‌دهد. عدم توزیع و پراکندگی پرکننده در رزین، نقاط ضعفی را در کامپوزیت



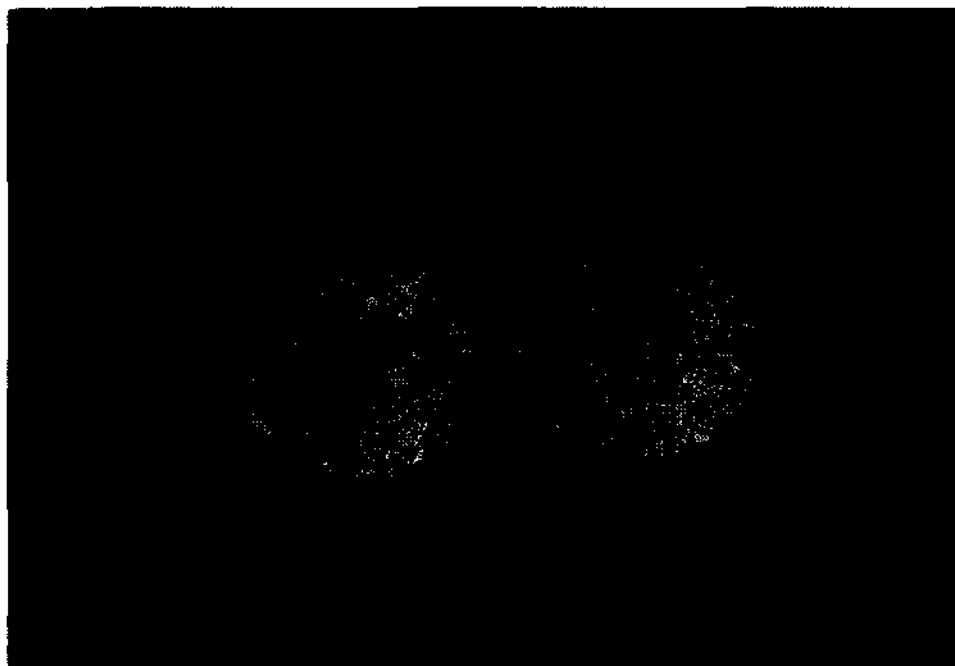
شکل ۷- سطح شکست در کامپوزیت ۱۲ درصد سیلان دار شده جوشیده.



شکل ۸- کامپوزیت اصلاح نشده نجوشیده (راست) و جوشیده (چپ).

معلوم می شود که همواره DTS در حالت جوشیده کمتر از نجوشیده است. در جدول ۳ استحکام خمشی براساس تغییر درصد پرکننده نشان داده شده است که در اینجا نیز بیشترین استحکام خمشی در ۷۰ درصد پرکننده بدست آمده است. با افزایش پرکننده میزان جذب آب کامپوزیت کم می شود

بوجود می آورد که با اعمال تنش، از این نواحی ترک می تواند ایجاد شود و رشد کند و به شکست کامپوزیت منجر شود. در هر صورت، در مورد درصدهای زیاد پرکننده، نقش توزیع اندازه ذرات پرکننده بسیار مهم است. یعنی، در این موارد باید از پرکننده های با توزیع اندازه ذرات متفاوت استفاده کرد. با مقایسه DTS در حالت جوشیده و نجوشیده



شکل ۹- کامپوزیت ۱ درصد سیلان دار شده جوشیده (راست) و نجوشیده (چپ).

جدول ۳ - تغییرات استحکام کششی قطری و استحکام خمشی براساس درصد پرکننده مصرفی در کامپوزیت‌های دندانی.

استحکام خمشی (MPa)		استحکام کششی قطری (MPa)		درصد پرکننده
جوشیده	نجوشیده	جوشیده	نجوشیده	
۲۴/۰	-	-	۲۷/۹	۵۰
۲۵/۶	۲۴/۱	۳۲/۱	۳۸/۱	۶۰
۴۰/۱	۴۲/۲	۳۶/۰	۳۷/۵	۷۰
۳۰/۴	۳۸/۱	۳۰/۵	۳۴/۲	۷۵

کامپوزیت از قبیل سختی و استحکام کششی قطری افزایش می‌یابد و سپس افت پیدا می‌کند. در مورد استحکام خمشی، در مقادیر ۶ تا ۸ درصد سیلان افزایشی مشاهده می‌شود. ممکن است در اینجا تغییر شکل شناسی فاز میانی به گونه‌ای باشد که با ایجاد یک لایه چقرمه‌تر در این فاز، استحکام خمشی افت کمتری داشته باشد و حتی افزایش آن در حالت جوشیده مشاهده شود. به هر حال، جهت اثبات این نظر و توجه این پدیده آزمایشها و بررسیهای بیشتری لازم است. خواص مکانیکی با جوشاندن نمونه‌ها افت پیدا می‌کند که در حالت اصلاح نشده افت خواص بسیار بیشتر از حالت‌های سیلان‌دار شده است.

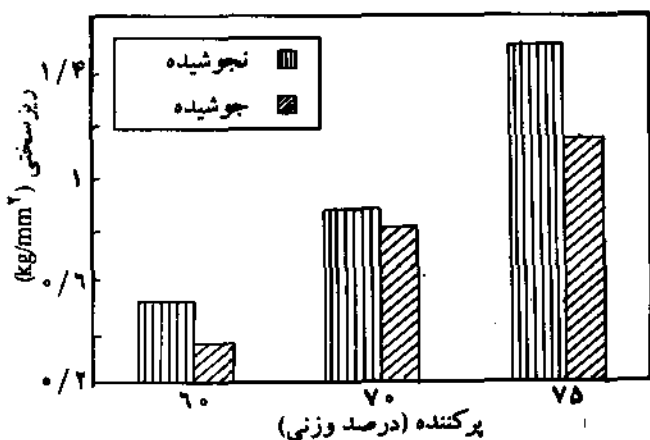
با افزایش ۱ درصد سیلان، جذب آب حدود ۷۴ درصد کاهش می‌یابد و سپس با افزایش درصد سیلان میزان جذب آب تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

با افزایش میزان پرکننده تا ۷۰ درصد، سختی، استحکام کششی قطری و استحکام خمشی در حالت جوشیده و نجوشیده افزایش پیدا می‌کند و سپس کاهش می‌یابد. در واقع، در درصدهای زیاد پرکننده، ماتریس نمی‌تواند بخوبی سطح پرکننده را خیس کند و عدم توزیع و

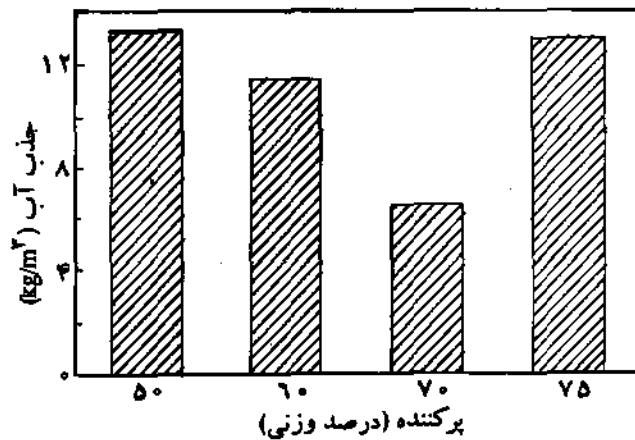
(تا ۷۰ درصد پرکننده) و از آن به بعد سیر صعودی پیدا می‌کند (شکل ۱۰). در ۷۵ درصد پرکننده به دلیل از بین رفتن پیوستگی ماتریس و ایجاد مناطقی برای نفوذ آب، جذب آب بیشتر شده است که این مشاهده نتایج بدست آمده از آزمونهای دیگر را تایید می‌کند. در شکل ۱۱ روند تغییرات سختی بر اثر افزایش مقدار پرکننده مشاهده می‌شود. چون فاز معدنی سختی بیشتری نسبت به فاز آلی دارد، با افزایش میزان پرکننده سختی افزایش می‌یابد. اما، در مقادیر زیاد پرکننده مشکل خوب تر شدن سطح پرکننده و توزیع آن در رزین بوجود می‌آید که این مشکل بویژه هنگام نفوذ آب در کامپوزیت مشهود است. به همین علت، با وجود اینکه در ۷۵ درصد پرکننده سختی بیشتری نسبت به ۷۰ درصد پرکننده مشاهده می‌شود، اما تفاوت سختی بین حالت جوشیده و نجوشیده در ۷۰ درصد پرکننده کمتر است که نتیجه رضایتبخش‌تری است.

نتیجه‌گیری

با افزایش درصد سیلان تا حدود ۱ تا ۳ درصد، خواص مکانیکی



شکل ۱۱ - مقایسه تغییرات سختی در کامپوزیت جوشیده و نجوشیده بر اساس درصد پرکننده مصرفی.



شکل ۱۰ - تغییرات جذب آب براساس درصد پرکننده مصرفی در کامپوزیت دندانی.

مطالعه اثر سیلان و مقدار پرکننده بر خواص فیزیکی ...

- 5 Ferracane J.L.; *American Society for Composites, Technical Conference*; Dayton, Ohio, USA, 281-93, 1986.
- 6 Hsiue G.H., Chang H.L.; *Die Angew. Makromole. Chem.*; **209**, 63-77, 1993.
- 7 Marciniak B., Urbania W. and Maciejewski H.; *Inter. Polym. Sci. Tech.*; **20**, 6, T/53-58, 1993.
- 8 Pape P.G. and Pluddemann E.P.; *ANTEC*; 1870-75, 1991.
- 9 Merciniak B., Gulinski J., Mirecki J. and Foltynowicz Z.; *Inter. Polym. Tech.*; **18**, 8, T/62-7, 1991.
- 10 Ulrich A.D. and Joslyn W.G.; *ANTEC*; 18-22, 1989.
- 11 Pluddemann E.P.; *Silane Coupling Agents*; Plenum, New York, 1982.
- 12 Kaas R.L. and Kardos J.L.; *Polym. Eng. Sci.*; **11**, 1, 11-18, 1971.
- 13 Jyongsik J. and Sangwoo K.; *Polym. J.*; **28**, 4, 293-8, 1996.
- 14 Labella R., Braden M. and Davy K.W.M.; *Biomaterials*; **13**, 937-43, 1992.
- 15 Bastioli C., Romano G. and Migliaresi C.; *Biomaterials*; **11**, 219-23, 1990.
- 16 Ishida K.H. and Koenig J.L.; *Composite Interfaces*; Elsevier Science, USA, 251-63, 1986.

پخش پرکننده در رزین، نقاط ضعفی را در کامپوزیت بوجود می آورد که با اعمال تنش، از این نواحی ترک می تواند ایجاد شده و رشد کند و به شکست کامپوزیت منجر شود.

بالفراش در صد پرکننده روند منطقی کاهش جذب آب مشاهده می شود، ولی در ۷۵ درصد پرکننده به دلیل از بین رفتن پیوستگی ماتریس و ایجاد مناطق برای نفوذ آب، جذب آب بیشتر می شود.

از نتایج چنین بر می آید که بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی متعلق به کامپوزیت دارای ۷۰ درصد پرکننده است که میزان سیلان آن از ۱ تا ۳ درصد است.

مراجع

- 1 Richardson T.; *Composites: A Design Guide*; Industrial, New York, 1987.
- 2 Robert G., Craig Ph.D.; *Dental Clinics of North America*; **25**, 2, 219-39, 1981.
- 3 Vollenberg P.H.T. and Heikens D.; *Composite Interfaces*; Elsevier Science, New York, 171-4, 1986.
- 4 Yosomia R., Morimoto K., Nakajima A., Ikada Y. and Suzuki T.; *Adhesion and Bonding in Composites*; Marcel Dekker, New York and Basel, 1990.