

## اثر ترکیب ماده‌ی باندینگ بر روی استحکام خمشی کامپوزیت تقویت شده با فایبر

فرحناز شرف الدین<sup>\*</sup>، علی اصغر علوی<sup>\*\*</sup>، فرناز مشرف جوادی<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> دانشیار گروه ترمیمی دانشکده‌ی دندانپزشکی، عضو مرکز تحقیقات زیست مواد، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شیراز، شیراز، ایران  
<sup>\*\*</sup> استاد گروه ترمیمی دانشکده‌ی دندانپزشکی، مدیر مرکز تحقیقات زیست مواد، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شیراز، شیراز، ایران  
<sup>\*\*\*</sup> دستیار تخصصی گروه دندانپزشکی ترمیمی دانشکده‌ی دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شیراز، شیراز، ایران

### چکیده

**بیان مساله:** انواع ترکیب ماده‌ی باندینگ اشباع کننده‌ی فایبر ممکن است از طریق افزایش چسبندگی باعث افزایش استحکام خمشی کامپوزیت تقویت شده با فایبر شود.

**هدف:** هدف از این پژوهش، بررسی اثر فیلر در چهار ماده باندینگ با درجه‌ی آبرگری متفاوت بر روی استحکام خمشی یک کامپوزیت تقویت شده با فایبر بود.

**مواد و روش:** در این بررسی تجربی، نمونه‌های مولد برنجی در ابعاد ۲۵×۲×۲ میلی‌متری در شش گروه ۱۵ تا ۱۰۰ میکرون فیلر با کامپوزیت تقویت شده با فایبر پلی اتیلن فراهم شد. در گروه ۱ یا شاهد مثبت، نمونه‌ها با استفاده از کامپوزیت تقویت شده بی فایبر و در گروه ۲ یا شاهد منفی، کامپوزیت تقویت شده با فایبر و بی رزین آماده گردید. در گروه سوم تا ششم فایبر به ترتیب با یکی از باندینگ‌های سینگل باند ۲، سینگل باند، رزیست و آل باند ۳ آغشته شد. در مرحله‌ی تهیه‌ی نمونه‌ها در آغاز، فایبر در کف مولد قرار گرفت. سپس، مولد با کامپوزیت پر و کیور آغازین و ثانویه شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند و پس از آن استحکام خمشی نمونه‌ها با استفاده از آزمون خمش در سه نقطه توسط دستگاه یونیورسال با سرعت ۱ میلی‌متر در دقیقه تعیین گردید. گونه‌ی شکست نمونه‌ها توسط استریومیکروسکوپ (بزرگنمایی ۴۰ برابر) دیده شد. واکاوی آماری توسط آزمون‌های آنوا یک سویه و پس آزمون LSD انجام گرفت ( $p < 0/05$ ).

**یافته‌ها:** جهت بررسی ارتباط نتایج میان گروه‌ها از آزمون آنوا یک سویه و جهت مقایسه‌ی دوبه‌دو میان گروه‌ها از پس آزمون LSD استفاده شد. آزمون آنوا یک سویه تفاوت معنادار میان گروه‌ها نشان داد. گروه آل باند ۳ به گونه‌ی معنادار استحکام خمشی بالاتری را نسبت به همه‌ی گروه‌ها نشان داد ( $p < 0/001$ ). گروه‌های ۳ تا ۶ نسبت به گروه‌های شاهد به گونه‌ی معنادار استحکام خمشی بالاتری داشتند ( $p < 0/05$ ).

**نتیجه گیری:** انتخاب ماده‌ی باندینگ می‌تواند اثر معنادار بر روی استحکام خمشی کامپوزیت تقویت شده با فایبر داشته باشد. زمانی که از ماده‌ی باندینگ آب‌گریز و دارای فیلر جهت اشباع فایبر استفاده شد، استحکام خمشی در اندازه‌ی ۴ برابر نسبت به گروه شاهد منفی افزایش یافت.

**واژگان کلیدی:** کامپوزیت رزین، فایبر، استحکام، باندینگ

## درآمد

کاربرد فایبر در تقویت کامپوزیت‌ها از دهه‌ی ۱۹۶۰ آغاز و در سال‌های اخیر کاربرد آن در دندانپزشکی رایج شده است. در دندانپزشکی ترمیمی از کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر در اسپلینت کردن دندان‌ها، ترمیم دندان‌های درمان ریشه شده و ساخت بریج‌ها، بازسازی تاج دندان‌های شکسته و حتی تقویت پروتزهای ماگزیلو فیشیال استفاده می‌شود<sup>(۱-۳)</sup>. اثر بخشی تقویت فایبر وابسته به بسیاری از متغیرها همچون شکل و قطر فایبرها، مقدار فایبرها در ماتریکس، شیوه‌ی قرارگیری فایبر و موقعیت آن، چسبندگی میان فایبرها و پلیمر ماتریکس است<sup>(۴-۷)</sup>.

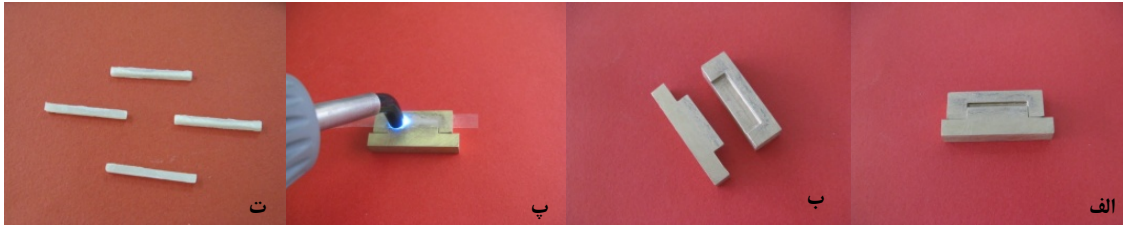
در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ اهمیت اتصال موثر و اشباع کامل باندهای فایبر به وسیله‌ی رزین مورد توجه قرار گرفت و فایبرهای از پیش اشباع شده در کارخانه و فایبرهای غیر اشباع تولید گردید. در بیشتر موارد سیستم غیر اشباع در اسپلینت یا بریج‌های مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد و هدف از اشباع فایبر توسط رزین ایجاد حداکثر باند به ماتریکس کامپوزیت و اطمینان از ایجاد حد فاصل ماتریکس- فایبر بی حباب است<sup>(۸ و ۱)</sup>. در این روش که دسته‌های فایبر با رزین با ویسکوزیته‌ی کم آغشته شده، مرطوب کنندگی کامل فایبر انجام می‌گیرد و امکان انتخاب انواع گوناگون رزین و فایبر فراهم می‌شود. در سیستم اشباع شده از پیش، بیشتر حباب‌های کوچکی در محل اتصال کامپوزیت و فایبر دیده می‌شود. این حباب‌ها بی ارتباط به روش یا موادی که به کار می‌روند در همه‌ی نمونه‌ها یافت می‌شوند و کاربرد تکنیک اشباع نشده از پیش، از این لحاظ مطلوب‌تر است.

دو روش برای ساخت بریج‌های تقویت شده با فایبر وجود دارد. در روش نخست، دندانپزشک و یا درمانگر آزمایشگاه، دسته‌های فایبر را به روش دست‌ساز با رزین آغشته می‌کند، سپس کامپوزیت روی سطح پلیمریزه شده‌ی فایبر بازسازی می‌شود. روش دوم، استفاده از دسته‌های فایبری است که پیش از این طی یک مرحله آماده‌سازی بی دخالت دست اشباع شده‌اند<sup>(۱)</sup>. ساختمان و ویژگی‌های حد فاصل ماتریکس- فایبر نقشی مهم در تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد کامپوزیتی بازی می‌کنند. به ویژه، تفاوت میان خصوصیات الاستیک ماتریکس و فایبرها بر روی انتقال فشارها از طریق

این حدفاصل اثر می‌گذارد. به بیانی دیگر، فشارهای عمل کننده بر روی ماتریکس از میان این حد فاصل به فایبرها منتقل می‌شوند<sup>(۸ و ۱)</sup>. چسبیدن کافی فایبرها به ماتریکس پلیمری یکی از مهم‌ترین متغیرها برای به حداکثر رساندن استحکام کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر است. در واقع عامل مهم بر روی استحکام کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر، اشباع فایبرها با رزین است که اشباع موثر به ماتریکس رزینی اجازه می‌دهد که در تماس با سطح هر فایبر قرار گیرد<sup>(۴ و ۹)</sup>. همچنین استفاده از فیلهای مناسب در یک رزین چسباننده‌ی آدهزیو، سیستمی ایجاد می‌کند که رادیوپاک است و از نظر نظری، انقباض در هنگام پلیمریزاسیون کمتری در لایه‌ی باند نشان می‌دهد. این گونه انگاشته شده است، که با تولید فشار انقباضی کمتر بر جا مانده در لایه‌ی باند آدهزیو، شکست‌ها کاهش خواهند یافت. از این رو استفاده از یک ماده‌ی باندینگ فیلردار ممکن است اجازه‌ی مرطوب کنندگی خوب فایبر را همراه با حداکثر تقویت فراهم سازد<sup>(۱۰ و ۷)</sup>.

ترکیب باندینگ‌ها نباید با فایبر در تضاد باشد<sup>(۴ و ۶)</sup>. آدهزیوهای دارای استون یا اتانول ممکن است بر روی فایبر یا ویژگی‌های پلیمر اثر بگذارند. استون مایع ممکن است حالت پلیمر را تغییر دهد و یا با فایبر تداخل کند تا به ترک در حضور فشار مکانیکی بینجامد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، که شناور سازی فایبرها در استون، کاملاً فایبرها را حل می‌کند و شناور سازی در اتانول به ایجاد ترک‌هایی که در سطوح بیرونی فایبر قابل دیدن است می‌انجامد. پس احتمال یک اثر شیمیایی تخریبی در حضور این مواد وجود دارد. در پژوهشی، هیچ اثر نامطلوبی بر روی فایبر پس از شناور سازی درازمدت در HEMA که یک منومر آبدوست در باندینگ‌هاست<sup>(۱۱)</sup>، نشان داده نشد<sup>(۸)</sup>.

در برخی از پژوهش‌ها، بود و نبود فیلر از عوامل موثر در مرطوب کنندگی فایبر گزارش شده است<sup>(۱۰ و ۷)</sup>. افزون بر این، ترکیب رزینی به کار رفته، عامل موثری در این زمینه و در نهایت در استحکام خمشی کامپوزیت تقویت شده با فایبر است<sup>(۷)</sup>. با توجه به اثر مرطوب کنندگی رزین بر ناحیه‌ی حدفاصل ماتریکس و فایبر و اهمیت این ناحیه بر روی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر و با توجه به این‌که اطلاعات بسیار ناچیزی به دلیل تازه بودن این موضوع در دسترس است،



نگاره ۱ الف و ب مولد دو قطعه‌ای پ نحوه کیور کردن نمونه‌ها در مولد ت نمونه‌های آماده شده

هوا ایجاد نشود و ماده‌ی اضافی بیرون آید. پس از آن اسلب شیشه‌ای برداشته شد و نمونه توسط دستگاه لایت کیور کولتولوکس ۵۰ (Coltolux 50) (Coltene whaledent, swiss) با شدت ۵۰۰ میلی وات بر سانتی متر مربع به مدت ۴۰ ثانیه در سه بخش ابتدا، وسط و انتهایی مولد کیور آغازین شد (نگاره ۱ پ). در گروه دوم تا ششم، فایبر پلی اتیلن بریدد (Nsi, Australia) (Braided) به درازای ۲۵ میلی‌متر جدا گردید. سپس دیگر نمونه‌ها به ترتیب زیر آماده شدند:

در گروه دوم که گروه شاهد منفی تقویت شده با فایبر بی هر گونه آغشته کردن فایبر با مواد باندینگ بود، فایبر جدا شده بدون قرار دادن در باندینگ در کف مولد قرار داده شد و سپس همانند گروه پیش، مولد با کامپوزیت پر شده و کیور آغازین انجام گردید.

در گروه سوم تا ششم فایبرهای جدا شده به ترتیب در گروه سوم درون باندینگ Adper single bond 2 (SB2)، در گروه چهارم در باندینگ Adper single bond (SB)، در گروه پنجم در باندینگ رزیست (Resist) و در گروه ششم در بخش رزینی باندینگ All bond 3 (AB3) به مدت ۲۰ دقیقه در یک محفظه‌ی کوچک و به دور از نور قرار گرفتند. سپس، فایبر از محفظه‌ی باندینگ بیرون آورده شده و در کف مولد در محور طولی به گونه‌ی که احتباس هوا نباشد قرار داده شد. ویژگی‌های مواد

نیاز به بررسی‌های فراگیرتر در این زمینه و گردآوری اطلاعات به منظور بهبود ترمیم‌های تقویت شده با فایبر و بالا بردن کیفیت درمان‌های بالینی با کاربرد ترکیب مناسب‌تر باندینگ‌ها جهت مرطوب کنندگی فایبر وجود دارد.

هدف از پژوهش کنونی، بررسی اثر بود یا نبود فیلر در چهار ماده‌ی باندینگ با درجه‌ی آب‌گریزی متفاوت بر روی استحکام خمشی یک کامپوزیت تقویت شده با فایبر بود.

## مواد و روش

در این بررسی تجربی آزمایشگاهی (Experimental) به منظور ارزیابی آزمایش استحکام خمشی مولد برنجی دو قطعه‌ای فراهم شد به شیوه‌ای که هنگام قرار گرفتن دو قطعه بر روی هم شکافی به ابعاد ۲۵×۲×۲ میلی‌متر باقی بماند (نگاره ۱ الف و ب). ۹۰ نمونه مکعب مستطیل شکل کامپوزیتی با ابعاد ۲۵×۲×۲ میلی‌متری در مولد در شش گروه (۱۵ تایی) به شرح زیر فراهم شد: در گروه نخست یا شاهد مثبت فایبر به کار نرفت و همه‌ی مولد با کامپوزیت با استحکام بالا، نیولایت F (BTD, Australia) پر شده و با کندانسور فشرده گردید تا از پر شدن مولد اطمینان به دست آید. جهت ایجاد صافی سطح روی نمونه‌ها و همچنین ایجاد سطحی خالی از هوا نمونه‌ها با نوار شفاف پوشانده شد. سپس، یک اسلب شیشه‌ای بر روی آن قرار گرفته و فشرده شده تا احتباس

جدول ۱ ویژگی‌های باندینگ‌های به کار رفته

باندینگ	کارخانه سازنده	ترکیبات اصلی	آب‌گریزی یا آبدوستی و بود یا نبود فیلر
سینگل باند <sup>(۱۳)</sup> (SB)	3M (آمریکا)	اتانول، آب، کوپلیمراسید آکرلیک و اسید ایتاکونیک، BIS-GMA، دی اورتان دی متاکریلات، گلیسرول و ۱ و ۲ دی متاکریلات، 2HEMA	آبدوست و بدون فیلر
سینگل باند <sup>(۱۴)</sup> ۲ (SB <sub>2</sub> )	3M (آمریکا)	نانوفیلر، اتانول، آب، کوپلیمراسید آکرلیک و اسید ایتاکونیک دی اورتان دی متاکریلات، گلیسرول و ۱ و ۲ دی متاکریلات، BIS-GMA، 2HEMA	آبدوست و فیلر دار (۱۰ تا ۳۰ درصد فیلر)
رزیست <sup>(۱۵)</sup> (Resist)	BTD (استرالیا)	BIS-GMA، UDMA، کمفور کینون	آب‌گریز و بدون فیلر
آل باند ۳ (قسمت رزینی) <sup>(۱۶)</sup> (AB3)	BISCO (آمریکا)	UDMA، اورتان دی متاکریلات، TEGDMA، تری اتیلن گلیکول دی متاکریلات HEMA، هیدروکسی اتیل متاکریلات	آب‌گریز و فیلر دار (بیش از ۴۰ درصد فیلر)

BIS-GMA: بیسفنول آ گلیسیدیل دی متاکریلات، UDMA: اورتان دی متاکریلات، TEGDMA: تری اتیلن گلیکول دی متاکریلات HEMA: هیدروکسی اتیل متاکریلات

اطلاعات به دست آمده از شکست توسط آزمون آنوای یک سویه و پس از آزمون LSD بررسی گردید ( $p < 0.05$ ).  
سرانجام گونه‌ی شکست نمونه‌ها توسط دستگاه استریومیکروسکوپ (Motic, China) با بزرگنمایی ۴۰ به صورت چشمی بررسی گردید تا مشخص شود که شکست در نمونه‌ها از چه گونه‌ای بوده است<sup>(۱۲)</sup>. سه نوع شکست دیده شد: کوهزیو، ادهزیو و کوهزیو / ادهزیو (مخلوط). هنگامی که بیشتر از ۵۰ درصد سطح شکسته در توده‌ی کامپوزیت یا فایبر بود به ترتیب شکست کوهزیو کامپوزیت یا فایبر در نظر گرفته شد. وقتی بیشتر از ۵۰ درصد سطح شکسته میان توده‌ی کامپوزیت و فایبر بود شکست ادهزیو در نظر گرفته شد. وقتی مقدار تقریباً مساوی از هر دو گونه شکست در یک نمونه وجود داشت شکست کوهزیو/ ادهزیو (مخلوط) در نظر گرفته شد<sup>(۱۳)</sup>.

#### یافته‌ها

برای بررسی ارتباط نتایج میان گروه‌ها از آزمون آنوای یک سویه و برای مقایسه‌ی دو به دو میان گروه‌ها از پس آزمون LSD استفاده شد. آزمون آنوای یک سویه تفاوت معنادار را میان نیروی شکست نمونه‌ها نشان داد ( $p < 0.001$ ) (جدول ۲).  
پس از آزمون LSD نیز تفاوت‌های معنادار را میان برخی از گروه‌ها نشان داد ( $p < 0.05$ ) (جدول ۳).

جدول ۲ یافته‌های آماری به دست آمده (آزمون آنوا)

گروه	شمار	میانگین (مگاپاسکال)	انحراف معیار
شاهد مثبت	۱۵	۱۲۷/۴	۱۳/۶
شاهد منفی	۱۵	۸۸/۰	۱۱/۴
سینگل باند ۲	۱۵	۲۸۴/۲	۵۵/۳
سینگل باند	۱۵	۲۶۷/۷	۷۶/۳
رزیت	۱۵	۳۰۰/۳	۴۷/۹
ال باند ۳	۱۵	۳۵۳/۲	۸۴/۴

باندینگ مورد استفاده و ترکیبات آنها در جدول ۱ آورده شده است. در همه‌ی نمونه‌ها بی درنگ پس از قرارگیری فایبر در کف، مولد توسط کامپوزیت همچون گروه ۱ با دقت پر و سپس کیور آغازین انجام شد. پس از آن، دو قطعه‌ی مولد از هم جدا شده، نمونه از مولد بیرون آورده شده و در دستگاه لیولایت LV-III (کیورینگ ثانویه) انجام گردید. سپس اضافه‌های کامپوزیت با فرز الماسی حذف شده و ابعاد نمونه در سه نقطه توسط کولیس بررسی شد (نگاره‌ی ۱ ت).

نمونه‌ها پیش از آزمایش استحکام خمشی به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای اتاق نگهداری گردیدند و سپس جهت اندازه‌گیری استحکام خمشی در دستگاه آزمایشی یونیورسال (Zwick/Roell Z020, Germany) با سرعت کراس هد ۱ میلی‌متر / دقیقه تحت آزمایش استحکام خمشی (Three point bending) قرار گرفتند (نگاره‌ی ۲). اندازه‌ی نوک تیغه در جای وارد کردن نیرو یک میلی‌متر بوده است.



نگاره‌ی ۲ آزمون استحکام خمشی (Three point bending)

مقادیر به دست آمده از شکست نمونه‌ها بر پایه‌ی نیوتن توسط فرمول زیر به مگاپاسکال تبدیل شد:  $\delta = \frac{\partial W1}{2bd^2}$   
 $\sigma =$  استحکام خمشی،  $W =$  نیروی حداکثری که بر نمونه (بر پایه‌ی نیوتن) وارد می‌شود،  $I =$  فاصله‌ی میان دو تکیه گاه،  $b =$  پهنای نمونه (بر پایه‌ی میلی‌متر)،  $d =$  ارتفاع نمونه (بر پایه‌ی میلی‌متر)

جدول ۳ مقایسه‌ی مقادیر استحکام خمشی میان هر دو گروه مورد بررسی متناظر (آزمون LSD)

گروه‌ها	سطح معنادار	گروه‌ها	سطح معنادار
شاهد مثبت - شاهد منفی	۰/۰۵۷	شاهد منفی - سینگل باند ۲	* < ۰/۰۰۱
شاهد مثبت - سینگل باند ۲	* < ۰/۰۰۱	شاهد منفی - سینگل باند	* < ۰/۰۰۱
شاهد مثبت - سینگل باند	* < ۰/۰۰۱	شاهد منفی - رزیت	* < ۰/۰۰۱
شاهد مثبت - رزیت	* < ۰/۰۰۱	شاهد منفی - ال باند ۳	* < ۰/۰۰۱
شاهد مثبت - ال باند ۳	* < ۰/۰۰۱	سینگل باند ۲ - سینگل باند	۰/۲۷۵

\* مقادیر ذکر شده میان دو گروه مشخص شده بر پایه‌ی آزمون LSD معنادار می‌باشند

استفاده از مواد باندینگ انجام شد مقادیر استحکام خمشی به گونه‌ای معنادار بیشتر از گروه‌های شاهد بود.

لستوماکی (Lastumäki) و همکاران، استفاده از مخلوط فایبرهای پراکنده با یک ماتریس پلی متیل متاکریلات را برای به حداقل رساندن اثرات انقباض ناشی از پلیمریزاسیون پیشنهاد کرد. او همچنین توضیح داد که انقباض پلیمریزاسیون در پلی متیل متاکریلات دقت ابعادی نمونه‌های آزمایش شده که با فایبر گلاس تقویت شده بود را کاهش داد و نتیجه گیری کرد که مرطوب شدن فایبرها به حداقل تخریب محصول نهایی خواهد انجامید<sup>(۱۸)</sup>.

در این بررسی، میانگین استحکام خمشی بالاتر نمونه‌ها در گروه‌هایی که با ماده‌ی باندینگ فیلردار اشباع شدند (AB3 و SB2)<sup>(۱۴ و ۱۶)</sup> دیده شد، که دلیل آن را می‌توان اینگونه توضیح داد، که استفاده از فیلرها در ماده‌ی باندینگ سیستمی را می‌سازد، که انقباض پلیمریزاسیون کمتری در لایه‌ی باندینگ نشان می‌دهد، بنابراین ایجاد فشار انقباضی برجا مانده کمتر در ادهزیو، شکست باند را کاهش می‌دهد که با دیگر بررسی‌های انجام شده در این زمینه همخوانی دارد<sup>(۴، ۷، ۱۹)</sup>. از این رو استفاده از یک ماده‌ی باندینگ فیلردار ممکن است اجازه‌ی مرطوب شوندگی خوب فایبر را همراه با تقویت حداکثر فراهم سازد. گریو (Grave) و همکاران، استحکام خمشی نمونه‌های رزین آکریلی کراس لینک را با نمونه‌هایی که شامل درصد‌های متفاوت فایبرهای آرامید بود مقایسه نمودند و گزارش کردند، که نمونه‌های تقویت شده به گونه‌ی چشمگیری ضعیف تر هستند. به نظر می‌رسد دلیل این موضوع، ضعف در رسیدن به چسبندگی میان فایبر و ماتریکس باشد، که در نتیجه منجر به جدا شدن ماتریکس به لایه‌های باریک‌تر توسط فایبر و کاهش استحکام کل آن می‌شود<sup>(۲۰)</sup>. تفاوت میان نتایج این بررسی و بررسی کنونی ممکن است به تفاوت میان فایبرهای تقویت کننده و یا مواد اشباع کننده‌ی فایبر ارتباط یابد.

باندینگ SB<sub>2</sub> که دارای حلال اتانول، آب، HEMA و نانوفیلر به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد است<sup>(۱۴)</sup>، به میزان چشمگیری استحکام خمشی کمتری نسبت به گروه AB3 نشان داد. دلیل آن می‌تواند تفاوت میزان فیلر و گونه‌ی فیلر این دو ماده‌ی باندینگ باشد. AB3 بیشتر از ۴۰ درصد فیلر دارد<sup>(۱۶)</sup> در حالی که میزان فیلر SB<sub>2</sub> کمتر است (۱۰ تا ۲۰ درصد)<sup>(۱۴)</sup>. از سویی دیگر، ضروری است که اجزای مواد باندینگ با فایبر ناهمخوانی نداشته

همه‌ی گروه‌ها نسبت به گروه‌های شاهد تفاوت معنادار نشان دادند ( $p < 0.05$ ). گروه AB3 به گونه‌ی معنادار نیروی شکست بالاتری را نسبت به دیگر گروه‌ها نشان داد. نتایج در گروه‌های SB<sub>2</sub>، SB و رزیست نسبت به یکدیگر معنادار نبود ( $p < 0.05$ ).

در گروه‌های SB<sub>2</sub>، رزیست و AB3 بیشتر شکست‌ها به گونه‌ی کوهزیو درون کامپوزیت رخ داد در حالی که در گروه شاهد منفی و SB بیشتر شکست‌ها به گونه‌ی کوهزیو/ ادهزیو بود. در گروه شاهد مثبت شکست‌ها به گونه‌ی جدا شدن کامل دو قطعه گزارش شد (جدول ۴).

جدول ۴ گونه‌ی شکست در گروه‌های مورد بررسی

گروه/گونه‌ی شکست	کوهزیو	ادهزیو	کوهزیو/ ادهزیو
شاهد منفی	۳	۴	۸
سینگل باند ۲	۱۳	۰	۲
سینگل باند	۵	۱	۹
رزیست	۹	۰	۶
ال باند ۳	۱۳	۰	۲

فایبر به کار رفته در این بررسی یک فایبر بریدد (Braided) و پلاسما اچ شده با استحکام و ضریب الاستیسیته‌ی بالاست، که برای استفاده در ترمیم‌های کامپوزیتی در نواحی با فشار بالا همچون بریج کامپوزیتی تقویت شده با فایبر، اسپلینت دندان‌هایی با مشکلات پرپودنتال و ترمیم بخش‌های شکسته طراحی شده است. بر پایه‌ی نظر کارخانه‌ی سازنده‌ی کامپوزیت مورد استفاده، یک کامپوزیت هیبرید تقویت شده با بیس Bis-GMA با استحکام و چگرمگی بالا در برابر شکست و نیز انقباض پلیمریزاسیون پایین است و ذرات فیلر غیر آلی آن با قطر ۰/۰۴ تا ۱۶ میکرون است که به ۷۱ درصد حجمی یا ۸۳ درصد وزنی آن می‌رسد. این کامپوزیت به علت داشتن محتوای فیلر بالا و در نتیجه استحکام زیاد، حتی جایگزین مناسبی برای آمالگام جهت پوشش کاسپی است<sup>(۱۷)</sup>.

مواد باندینگ به کار رفته در این پژوهش از نظر آبدوست و آب گریز بودن (وجود HEMA و آب) و از نظر میزان فیلر (صفر تا بیشتر از ۴۰ درصد) و گونه‌ی فیلر (میکرو یا نانوفیلر) متفاوت بودند (جدول ۱)، که میان گروه‌های گوناگون از نظر مقادیر استحکام خمشی تفاوت معنادار دیده شد. بیشترین میزان استحکام خمشی در گروه AB3 مشاهده گردید، که تفاوت معنادار نسبت به همه‌ی گروه‌ها نشان داد. همچنین در چهار گروهی که تقویت فایبر با

نانوفیلر به اندازه‌ی کافی کوچک است و سطح آن از نظر شیمیایی تغییر کرده است. این دو عامل همراه با درجه‌ی توزیع حداکثر آن باعث می‌شود ماده‌ی بکنواختی همراه با اجزای مایع باندینگ SB<sub>2</sub> تشکیل شود زیرا نانو فیلر ته نشین نمی‌شود.

HEMA هم اکنون یک جز از بیشتر سیستم‌های باند عاجی آبدوست به دلیل مرطوب کنندگی خوب آن و تمایل آن به عاج است (۱۱ و ۳۳). HEMA نخستین بار برای باند به عاج به وسیله‌ی بهبود هماهنگی بینابینی رزین‌های ترمیمی معرفی شد. وقتی سازندگان آغاز به افزودن HEMA به آدهزیوها کردند استحکام باند برشی از ۵ به ۱۰ مگاپاسکال افزایش یافت (۲۴ و ۲۵). برخی پژوهش‌های اخیر نشان دادند، که به گونه‌ی خاص رزین‌های دارای HEMA یا منومر متیل متاکریلات در ترکیب با برخی از سیستم‌های منومر دی متاکریلات می‌تواند انتشار منومر را پیش ببرد و تا حدی فازهای پلیمر خطی FRC را روی سطح باندینگ حل کند تا باندی با انتشار به درون (Interdiffusion bonding) تشکیل دهد (۲۶). نتایج این پژوهش هماهنگ با بررسی‌های پیشین است که باند خوب میان رزین و ساختار FRC را نشان می‌دهد (۲۱، ۲۷ و ۲۸). در بررسی کنونی نیز دیده شد، که باندینگ SB<sub>2</sub> و SB استحکام باند بیشتری نسبت به گروه‌های شاهد نشان دادند. باندینگ رزیست که باندینگ پیشنهاد شده‌ی کارخانه برای این فایبر است یک رزین انفیلد با بیس BIS-GMA و UDMA است (۱۵) که به گونه‌ی چشمگیری استحکام خمشی کمتری را نسبت به AB3 نشان داد. دلیل آن می‌تواند میزان فیلر AB3 باشد که اجازه‌ی مرطوب شونده‌ی خوب فایبر را همراه با تقویت حداکثر فراهم کرده است. گر چه باندینگ رزیست یک باندینگ انفیلد است اما مقادیر استحکام خمشی بیشتری را نسبت به باندینگ SB<sub>2</sub> و SB نشان داد که البته این تفاوت معنادار نبوده که ممکن است به دلیل ناسازگاری حلال اتانول/آب در باندینگ SB<sub>2</sub> و SB با کامپوزیت باشد. افزون بر این، ممکن است اثر مثبت ناشی از وجود فیلر به دلیل میزان کم نانوفیلر موجود در باندینگ SB<sub>2</sub> (۱۰ تا ۲۰ درصد) (۱۴) برای خنثی کردن اثر منفی حلال بر روی استحکام خمشی کافی نباشد.

معمولاً همه‌ی گروه‌های قطبی همچون هیدروکسیل، استر و گروه‌های اورتان واکنش با آب را افزایش می‌دهند مانند آنچه که در حضور HEMA رخ می‌دهد. گروه‌های هیدروفوب همچون متیل یا گروه‌های فنیل از واکنش با مولکول‌های آب جلوگیری می‌کنند.

باشند. بر پایه‌ی بررسی‌های انجام گرفته بیان شده که آدهزیوهای دارای اتانول یا استون ممکن است بر روی فایبر یا بر روی ویژگی‌های پلیمر اثر منفی داشته باشند. استون مایع ممکن است حالت پلیمر را تغییر بدهد و با فایبر تداخل کند که به ترک ناشی از فشار در حضور فشار مکانیکی بینجامد. همچنین باند ایجاد شده ممکن است در نتیجه واکنش‌های شیمیایی که به تشکیل باند ضعیف می‌انجامد تجزیه شود (۸). در پژوهش کالیو (Kallio) و همکاران، که بر روی استحکام باند میان کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر و کامپوزیت‌های نوری انجام شد استحکام باند به وسیله‌ی کاربرد رزین انفیلد در ناحیه‌ی حدفاصل کامپوزیت تقویت شده با فایبر و کامپوزیت نوری مقداری تضعیف شد. به نظر می‌رسد کامپوزیت با ویسکوزیتی کم بهتر از رزین انفیلد، در ناحیه‌ی حدفاصل عمل می‌کند (۲۱). شاید این پژوهش نیز بتواند تاییدی بر اثر فیلر در افزایش استحکام باند و در نتیجه افزایش استحکام خمشی باشد.

نتایج بررسی الکو (Ellakwa) و همکاران نشان داد، که شناور سازی طولانی فایبرها در استون کاملاً فایبرها را حل می‌کند و شناور سازی در محلول اتانول به ایجاد ترک‌هایی که در سطوح بیرونی فایبر قابل دیدن است می‌انجامد، بنابراین وقتی فایبر با مواد باندینگ بایس اتانول یا استون اشباع می‌شود همچون SB و SB<sub>2</sub> که با بیس اتانول هستند (۱۳ و ۱۴)، ممکن است یک اثر شیمیایی تخریبی وجود داشته باشد که می‌تواند دلیل دیگری برای میانگین استحکام خمشی پایین‌تر این دو گروه نسبت به AB3 که بی اتانول و استون است، باشد (۸).

باندینگ SB<sub>2</sub> نسبت به SB استحکام شکست بالاتری را نشان داد، گرچه این نتیجه معنادار نبوده است. فرمولاسیون بهبود یافته‌ی باندینگ SB<sub>2</sub> با استفاده از فن آوری نانوفیلر استحکام باند عاجی بالاتری را برای ترمیم‌های مستقیم و غیر مستقیم تامین می‌کند. نانوفیلر ویسکوزیتی ماده‌ی باندینگ را تغییر نمی‌دهد و به دلیل این که نانوفیلر بسیار کوچک است بنابراین از نظر نظری گپ‌های میکروسکوپی را پر می‌کند، به عنوان یک ماده‌ی کراس لینک اضافی عمل می‌کند و از این رو لایه‌ی آدهزیو را استحکام می‌بخشد (۲۲). یک باندینگ دارای فیلر، استحکام یافته و گیر میکرومکانیکی بهتری نسبت به گونه‌ی بی فیلر آن دارد. سطح بسیار زیاد نانوفیلرها و اندازه‌ی بسیار کوچک آنها تداخل حداکثر میان مولکول‌های آلی باندینگ و نانوفیلر را تضمین می‌کند.

بهرتر می‌کند و از شکست شدید آنها جلوگیری می‌کند. قرار گیری فایبر کمی دورتر از سمت کششی نیز به بهبود در خصوصیات خمشی می‌انجامد اما اجازه‌ی تشکیل زود هنگام ترک را می‌دهد. این مساله ممکن است نتایج بالینی چشمگیری داشته باشد<sup>(۲۹)</sup>. در این بررسی نیز همچون برخی پژوهش‌ها، کامپوزیت مورد بررسی برای تکمیل پلیمریزاسیون کیور ثانویه شد<sup>(۳۱)</sup>. در یک بررسی یاد شده که کیور ثانویه سبب افزایش ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت‌ها می‌شود<sup>(۳۲)</sup>.

افزون بر این در بررسی روند شکست، طبیعت شکست باند می‌تواند اطلاعاتی را در مورد اثرات احتمالی در اتصال ادهزیو ازایه دهد. در یک بررسی مروری یاد شده که بیشتر شکست‌ها در بریج‌های آزمایشگاهی ساخته شده با FRC در حفاصل میان فایبرها و ماتریکس رزینی، جای وارد شدن نیرو، پونتیک و کانکتورهای میان پونتیک و اباتمنت رخ می‌دهد<sup>(۲۸)</sup>. در این بررسی در گروه شاهد مثبت که از فایبر استفاده نشده شکست‌ها به صورت جدا شدن کامل دو قطعه بود، اما در گروه‌هایی که فایبر به کار رفته است فایبر مانع از جدا شدن کامل دو قطعه شد. شکست مکانیکی شدید درون چهارچوب FRC هیچ‌گاه دیده نشده است<sup>(۳۳)</sup>. در یک بررسی آزمایشگاهی بر روی شکست اینومرهای تقویت شده با رزین تحت نیروی برشی توسط سیدهو (Sidhu) و همکاران بیان شده که در مواد گوناگون شکست به گونه‌ی کوهزیو، ادهزیو یا کوهزیو/ ادهزیو (مخلوط) رخ می‌دهد. اگر بیشتر از ۵۰ درصد سطح شکسته در توده‌ی کامپوزیت یا فایبر باشد به ترتیب شکست کوهزیو کامپوزیت یا فایبر در نظر گرفته می‌شود. اگر بیشتر از ۵۰ درصد سطح شکسته میان توده‌ی کامپوزیت و فایبر باشد شکست ادهزیو در نظر گرفته می‌شود. وقتی مقدار تقریباً مساوی از هر دو گونه شکست در یک نمونه باشد، شکست کوهزیو/ ادهزیو (مخلوط) در نظر گرفته می‌شود<sup>(۱۲)</sup>. بر پایه‌ی این تعریف در گروه باندینگ رزیت، SB<sub>2</sub> و AB<sub>3</sub> بیشتر شکست‌ها به گونه‌ی کوهزیو درون کامپوزیت بود که این مساله می‌تواند نشان‌دهنده‌ی باند محکم میان کامپوزیت و فایبر باشد. در نمونه‌هایی که شکست کوهزیو/ ادهزیو (مخلوط) نشان دادند شکل شکست به گونه‌ی خردشدگی و ترک در بخش‌های گوناگون کامپوزیت بود. در گروه‌های شاهد منفی و SB بیشتر شکست‌ها به گونه‌ی کوهزیو/ ادهزیو (مخلوط) بوده و همچنین شکست ادهزیو نیز در این دو گروه دیده شد که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی باند ضعیف میان

گروه‌هایی همچون گروه فیل در BIS-GMA حرکت مولکول‌های منومر را کاهش می‌دهند<sup>(۹)</sup>. همچنین، استحکام خمشی بالاتر باندینگ AB<sub>3</sub> نسبت به گروه‌های دیگر ممکن است به واسطه‌ی افزایش استحکام باند میان فایبرهای اشباع شده با ماده‌ی باندینگ و کامپوزیت به کار رفته باشد. در نتیجه باند محکم میان آنها به یک اثر تقویتی مطلوب می‌انجامد تا هنگام وارد شدن نیرو در مقابل فشار خمشی بتوانند مقاومت بیشتری نشان دهند<sup>(۴)</sup>. به بیانی دیگر این نتیجه نشان داد، که رسیدن به استحکام باند بیشتر برای ماده‌ی باندینگ برای رسیدن به بیشترین اثر تقویتی ضروری است.

در گروه شاهد منفی (تقویت فایبر بی باندینگ) کمترین میزان استحکام خمشی دیده شد. استفاده از تقویت فایبر بی هیچ ماده‌ی باندینگ باعث می‌شود که بهبود ویژگی‌ها تنها به سطح پلازما اچ شده فایبر وابسته شود. این مساله به گونه‌ی معنادار به استحکام خمشی کمتر کامپوزیت در مقایسه با همه‌ی گروه‌های آزمایش که با ماده‌ی باندینگ پیش از ساخت نمونه اشباع می‌گردند می‌شود<sup>(۸)</sup>. در پژوهش الکووا (Ellakwa) و همکاران، گروه دارای فایبر و بی باندینگ برخلاف بررسی کنونی نتیجه بهتری نسبت به گروه بی فایبر نشان داد<sup>(۸)</sup>. شاید دلیل این اختلاف مربوط به گونه‌ی فایبر مورد استفاده (Connect) و پهنای بیشتر آن باشد. همچنین تشکیل گپ در حد فاصل میان کامپوزیت و فایبر در این گروه مورد توجه قرار گرفته است، به این معنا که فشارهای کششی چشمگیر تمایل دارند که توسط کامپوزیت و نه فایبر تحمل شوند. شکست‌هایی که در فایبرها آغاز می‌شوند کم کم در طول کل نمونه پیشرفت می‌کنند و به تشکیل گپ می‌انجامند. این گپ‌ها باعث می‌شوند که آب آسان‌تر به درون ساختار کامپوزیت تقویت شده با فایبر انتشار یابد<sup>(۵)</sup>. بنابراین، تقویت فایبر بی آغشته کردن به رزین به کاهش استحکام خمشی در گروه شاهد انجامید، که در مقایسه با افزایش ۴ برابری در استحکام خمشی گروه AB<sub>3</sub>، اهمیت شیمی ماده‌ی باندینگ را بیان می‌کند.

در مورد جای قرار گرفتن فایبر در نمونه‌ها در بررسی‌های متعددی بیان شده که وقتی فایبر در سمت کششی قرار گیرد بیشترین استحکام خمشی به دست می‌آید<sup>(۴، ۹، ۱۹، ۳۰-۲۸)</sup>. در بررسی الکووا و همکاران بیان شده که قرار گرفتن فایبر پلی اتیلن در سمت کششی نمونه‌های کامپوزیت، ویژگی‌های کششی آنها را

اشباع کننده بر روی استحکام خمشی کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر پیشنهاد می‌شود.

### نتیجه گیری

با وجود محدودیت‌های این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که مواد باندینگ عموماً استحکام خمشی کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر را بهبود می‌بخشند گرچه درجه‌ی این بهبود ممکن است بسته به فورمولاسیون ماده‌ی باندینگ متفاوت باشد. از مواد باندینگ بررسی شده، ماده‌ی باندینگ فیلردار و هیدروفوب (AB3) باعث حداکثر بهبود استحکام خمشی کامپوزیت تقویت شده با فایبر شد. ادزیه‌های دارای حلال‌هایی همچون اتانول / آب ممکن است اثر ناسازگاری بر باند ماتریکس و فایبر داشته باشند.

### سپاسگزاری

این طرح حاصل پایان‌نامه‌ی تخصصی دندانپزشکی مصوب معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شیراز و همکاری مرکز تحقیقات بیومتریال دانشکده‌ی دندانپزشکی شیراز است. به این وسیله از معاونت محترم و مرکز تحقیقات سپاسگزاری می‌شود.

### قابل توجه

این مقاله از پایان‌نامه‌ی دوره‌ی دکترای تخصصی، که به راهنمایی دکتر علی اصغر علوی و مشاوره دکتر فرحناز شرف الدین و نگارش دکتر فرناز مشرف جوادی به شماره‌ی ۱۳۳۳، در کتابخانه‌ی دانشکده‌ی دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز ثبت شده، استخراج گردیده است.

کامپوزیت و فایبر در این دو گروه باشد. شکست کوهزیو درون فایبر در هیچ یک از نمونه‌های این بررسی دیده نشد.

در بررسی کنونی، استحکام خمشی با کاربرد مواد باندینگ گوناگون متفاوت بوده است. به نظر می‌رسد دو عامل عمده، چسبندگی میان کامپوزیت و فایبر و نیز استحکام فایبرهای شناور در ماده‌ی باندینگ باشند. وقتی کامپوزیت با ماده‌ی باندینگ سازگار باشد برای نمونه نبود اجزای آبدوست در باندینگ AB3 و رزیست، باعث می‌شود که چسبندگی مناسبی میان کامپوزیت و فایبر به وجود آید. با این وجود ضروری است که استحکام ماده‌ی باندینگ به تنهایی هم افزایش یابد (۲۸-۳۴).

فایبرها باید به وسیله‌ی ماده‌ی باندینگ پوشانده شوند از این رو، برای ماده‌ی باندینگ نه تنها باید چسبندگی میان فایبرها تامین شود بلکه همچنین باید انتقال فشار از ماتریکس به فایبرها آسان شود. از این رو در بررسی‌های آینده ضروری است که بیشتر به این دو نکته توجه شود:

- ۱- چگونه می‌توان چسبندگی میان ماده‌ی باندینگ و کامپوزیت را افزایش داد؟
- ۲- چگونه می‌توان استحکام فایبرهای شناور در ماده‌ی باندینگ را بهبود بخشید؟

نتایج این بررسی نشان داد، که استحکام خمشی کامپوزیت تقویت شده با فایبر به گونه‌ی چشمگیری به مواد باندینگ وابسته است که توسط آنها اشباع می‌شود. از این رو انتخاب ماده‌ی باندینگ مناسب می‌تواند اثر آن را بر روی ویژگی‌های مکانیکی به دست آمده از ترمیم تضمین کند. همچنین اثر جذب آب، چرخه‌ی حرارتی، زمان‌های گوناگون اشباع با رزین و انواع مختلف مواد



## References

1. Freilich MA, Meiers JC, Duncan JP, Goldberg AJ. Fiber-reinforced composites in clinical dentistry. 1st ed. Chicago: Illinois Quintessence books; 2000. p. 12,19-20,32.
2. Ellakwa A, Shortall A, Shehata M, Marquis P. Influence of veneering composite composition on the efficacy of fiber-reinforced restorations (FRR). *Oper Dent* 2001; 26: 467-475.
3. Hatamleh MM, Watts DC. Effects of accelerated artificial daylight aging on bending strength and bonding of glass fibers in fiber-embedded maxillofacial silicone prostheses. *J Prosthodont* 2010; 19: 357-363.
4. Tsushima S, Gomi H, Shinya A, Yokoyama D, Vallittu PK, Shinya A. Effect of commercially available bonding agents impregnated with fibers on bending strength of hybrid resin. *Dent Mater J* 2008; 27: 723-729.
5. Säilynoja ES, Shin-ya A, Gomi H, Ishii Y. The effect of immersion temperature on the flexural strength of a pre-coated fiber reinforced composite resin. *Prosthodont Res Pract* 2003; 2: 1-10.
6. Nakamura T, Waki T, Kinuta S, Tanaka H. Strength and elastic modulus of fiber-reinforced composites used for fabricating FPDs. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 549-553.
7. Ellakwa AE, Shortall AC, Marquis PM. Influence of fiber type and wetting agent on the flexural properties of an indirect fiber reinforced composite. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 485-490.
8. Ellakwa AE, Shortall AC, Shehata MK, Marquis PM. Influence of bonding agent composition on flexural properties of an Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Fiber-Reinforced Composite. *Oper Dent* 2002; 27: 184-191.
9. Lassila LV, Vallittu PK. The effect of fiber position and polymerization condition on the flexural properties of fiber-reinforced composite. *J Contemp Dent Pract* 2004; 5: 14-26.
10. Latta MA, Barkmeier WW. Dental adhesives in contemporary restorative dentistry. *Dent Clin North Am* 1998; 42: 567-577.
11. Roberson TM, Herman HO, Swift EJ. Art and science of operative dentistry. 5th ed., North Carolina: University of North Carolina; 2006. p.186-189, 255.
12. Sidhu SK, Sherriff M, Watson TF. Failure of resin-modified glass-ionomers subjected to shear loading. *J Dent* 1999; 27: 373-381.
13. 3m co. Single bond. [cited 2011 8 April]; 7 screens]. Available at:  
<http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsid=sssssuUn-zu81ZN518meox2SIV70kDnFNvu9LXtd7ssssss-->.
14. 3m co. Single bond 2. [cited 2011 8 April]; 7 screens]. Available at:  
<http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsid=sssssuUn-zu81zo94YTGiyTV70KDVFNvu9LXtd7ssssss-->.
15. Nsidental co. Resist. [cited 2009 May 7]; 1 screen]. Available from: <http://www.Nsidental.com/products.php?ed=1>.
16. Bisco inc. All bond 3. [cited 2011 8 April]; 3 screens]. Available at:  
<http://www.bisco.com/instructions/ALL/Bond%203%20Resin.asp>.
17. Lutz F, Krejci I. Amalgam substitutes: a critical analysis. *J Esthet Dent* 2000; 12: 146-159.
18. Lastumäki TM, Kallio TT, Vallittu PK. The bond strength of light-curing composite resin to finally polymerized and aged glass fiber-reinforced composite substrate. *Biomaterials* 2002; 23: 4533-4539.
19. Tirapelli C, Ravagnani C, Panzeri Fde C, Panzeric H. Fiber-reinforced composites: effect of fiber position, fiber framework, and wetting agent on flexural strength. *Int J Prosthodont* 2005; 18: 201-202.
20. Grave AM, Chandler HD, Wolfaardt JF. Denture base acrylic reinforced with high modulus fibre. *Dent Mater* 1985; 1: 185-187.

21. Kallio TT, Lastumäki TM, Vallittu PK. Bonding of restorative and veneering composite resin to some polymeric composites. *Dent Mater* 2001; 17: 80-86.
22. Eick JD, Gwinnett AJ, Pashley DH, Robinson SJ. Current concepts on adhesion to dentin. *Crit Rev Oral Biol Med* 1997; 8: 306-335.
23. Harashima I, Hirasawa T. Adsorption of 2-hydroxyethyl methacrylate on dentin from aqueous solution. *Dent Mater J* 1990; 9: 36-46.
24. Munksgaard EC, Asmussen E. Bond strength between dentin and restorative resins mediated by mixtures of HEMA and glutaraldehyde. *J Dent Res* 1984; 63: 1087-1089.
25. Perdigão J, Van Meerbeek B, Lopes MM, Ambrose WW. The effect of a re-wetting agent on dentin bonding. *Dent Mater* 1999; 15: 282-295.
26. Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK. Strength of adhesive-bonded fiber-reinforced composites to enamel and dentin substrates. *J Adhes Dent* 2003; 5: 301-311.
27. Galan D, Lynch E, Heath MR. Bond strength of fiber-reinforced composite resin restorations. *J Esthet Dent* 1992; 4: 24-29.
28. Shi L, Fok AS. Structural optimization of the fibre-reinforced composite substructure in a three-unit dental bridge. *Dent Mater* 2009; 25: 791-801.
29. Ellakwa AE, Shortall AC, Shehata MK, Marquis PM. The influence of fibre placement and position on the efficiency of reinforcement of fibre reinforced composite bridgework. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 785-791.
30. Rashidan N, Esmaceli V, Alikhasi M, Yasini S. Model system for measuring the effects of position and curvature of fiber reinforcement within a dental composite. *J Prosthodont* 2010; 19: 274-278.
31. Banava S., Salehyar S. In vitro Comparative Study of Compressive Strength of Different Types of Composite Resins in Different Periods of Time. *Iran J Pharmaceu Scien* 2008; 4: 69-74.
32. harafeddin F, Ghahramani M. Comoparison of the effects of three postcuring techniques with microwave, labolite and oven on surface hardness of two different comparison of the effects of three direct composites. *J Dent Shiraz Univ Med Scien* 2006; 7: 35-43.
33. Freilich MA, Karmaker AC, Burstone CJ, Goldberg AJ. Development and clinical applications of a light-polymerized fiber-reinforced composite. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 311-318.
34. Göhring TN, Gallo L, Lüthy H. Effect of water storage, thermocycling, the incorporation and site of placement of glass-fibers on the flexural strength of veneering composite. *Dent Mater* 2005; 21: 761-772.
35. Garoushi SK, Ballo AM, Lassila LV, Vallittu PK. Fracture resistance of fragmented incisal edges restored with fiber-reinforced composite. *J Adhes Dent* 2006; 8: 91-95.
36. Dyer SR, Sorensen JA, Lassila LV, Vallittu PK. Damage mechanics and load failure of fiber-reinforced composite fixed partial dentures. *Dent Mater* 2005; 21: 1104-1110.
37. Ayna E, Celenk S. Polyethylene fiber-reinforced composite inlay fixed partial dentures: two-year preliminary results. *J Adhes Dent* 2005; 7: 337-342.
38. Lassila LV, Nohrström T, Vallittu PK. The influence of short-term water storage on the flexural properties of unidirectional glass fiber-reinforced composites. *Biomaterials* 2002; 23: 2221-2229.