

## بررسی تأثیر موقعیت و جهت فیبر بر استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر

دکتر رامین مشرف<sup>۱</sup> - دکتر پیروز گیوه چیان<sup>۲</sup>

۱- دانشیار گروه آموزشی پروتزهای دندانی دانشکده دندانپزشکی و عضو مرکز تحقیقات دندانپزشکی پروفیسور ترابی نژاد دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۲- دستیار تخصصی گروه آموزشی پروتزهای دندانی دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

### چکیده

زمینه و هدف: یکی از عوامل مهم در افزایش استحکام خمشی رستوریشن‌های غیرمستقیم کامپوزیتی، جهت، میزان و شکل هندسی (Geometry) فیبرها می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی اثر قرار دادن فیبرها در موقعیتها و جهات گوناگون بر استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی می‌باشد.

روش بررسی: در این مطالعه تجربی - آزمایشگاهی، پنج گروه هشت تایی از یک نوع کامپوزیت غیرمستقیم به وسیله فیبرهای تقویت کننده آغشته در موقعیتها و جهات گوناگون در نمونه‌هایی به شکل مکعب مستطیل و به ابعاد ۳×۳×۲۵ میلی‌متر ساخته شدند. یک گروه نیز به عنوان گروه شاهد و بدون فیبر در نظر گرفته شد. پس از نگهداری نمونه‌ها، به مدت یک هفته در آب مقطر ۳۷ درجه، نمونه‌ها تحت سرعت یک میلی‌متر در دقیقه مورد آزمون خمشی سه نقطه‌ای قرار گرفتند و اطلاعات حاصله توسط آزمون آماری Kruskal-Wallis و Mann-Whitney در سطح اطمینان ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: میانگین استحکام خمشی نمونه‌ها در شش گروه مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با هم داشتند ( $p=0/005$  و  $p<0/001$ ). حداقل استحکام خمشی اولیه و نهایی مربوط به گروه شاهد بود اما حداکثر استحکام خمشی اولیه با گذاشتن فیبر در نواحی تحت کشش (۷۶/۲ مگاپاسگال) و حداکثر استحکام خمشی نهایی مربوط به گذاشتن فیبر در وسط به صورت افقی (۱۷۳/۹ مگاپاسگال) بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس شرایط آزمایشگاهی این بررسی موقعیت و جهت قرار دادن فیبرها بر استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر تأثیر داشت و مؤثرترین حالت قرارگیری فیبرها در سمت تحت کشش نمونه‌ها بود.

کلید واژه‌ها: رزین‌های کامپوزیتی - استحکام خمشی - فیبر - خمش

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۶/۵

اصلاح نهایی: ۱۳۹۰/۳/۱۹

وصول مقاله: ۱۳۸۹/۱۱/۶

نویسنده مسئول: دکتر رامین مشرف، گروه آموزشی پروتزهای دندانی دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

e.mail: mosharraf@dnt.mui.ac.ir

### مقدمه

کامپوزیت و فیبر مورد استفاده، خصوصیات سطحی (۱)، تعداد (۸)، موقعیت، جهت (۹) و میزان اتصال فیبرها به ماتریکس کامپوزیتی (۱) و جذب آب ماتریکس کامپوزیتی (۷-۸)

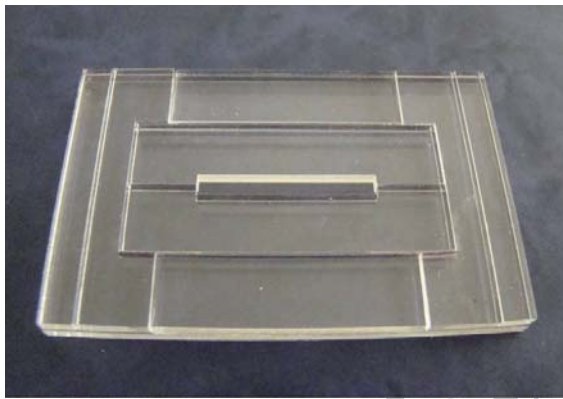
تأثیر مثبت وجود فیبرها در افزایش استحکام رزین‌های تقویت شده با فیبر در شرایطی که عمود بر نیروهای اکولزالی وارده قرار داده شده باشند، کاملاً به اثبات رسیده است. (۱۰-۱۲)، در این شرایط محل قرارگیری فیبرها در چگونگی توزیع و میزان انتقال نیروها به ماتریکس کامپوزیتی

در چند دهه گذشته و در تلاش برای یافتن جانشینان مناسبی برای پروتزهای پارسیل ثابت سرامیک فلز اقدامات زیادی برای تقویت پروتزهای پارسیل ثابتی که از رزین‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر (FRC) تهیه می‌شوند، انجام شده است. (۱-۵)، کامپوزیت‌های تقویت شده با فیبر شامل فیبرهای دارای استحکام و ضریب کشسانی بالا هستند که در یک ماتریکس کامپوزیتی قرار داده می‌شوند. (۶-۷)، عوامل مؤثر بر خصوصیات مکانیکی رزین‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر عبارتند از: خصوصیات مکانیکی

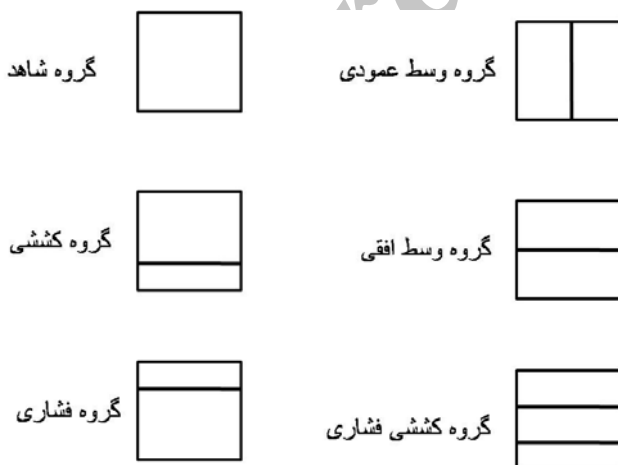
هدف از این مطالعه بررسی اثر قرار دادن فیبرها در موقعیتها و جهات گوناگون بر استحکام خمشی اولیه و نهایی نمونه‌های کامپوزیتی می‌باشد.

#### روش بررسی

در این مطالعه تجربی- آزمایشگاهی، یک مولد شکافدار پلکسی گلاس با حجم داخلی  $3 \times 3 \times 25$  میلی‌متر به گونه‌ای ساخته شد که میله‌های مکعب مستطیلی کامپوزیتی را بتوان در داخل آن تهیه و سپس به راحتی از داخل آن خارج کرد (شکل ۱). چهل و هشت نمونه کامپوزیتی تقویت شده با فیبر به شرح زیر تهیه شد (شکل ۲):



شکل ۱: مولد شکافدار پلکسی گلاس



شکل ۲: نمای شماتیک مقطع عرضی نمونه‌ها

تأثیر به سزایی دارد. گفته می‌شود که هرچه درصد فیبر مورد استفاده در یک ترمیم بیشتر شود خصوصیات مکانیکی کامپوزیت مصرفی به فیبر تقویت کننده نزدیکتر می‌شود. چگونگی قرارگیری، تعداد و شکل فیبرهای مورد استفاده تحت عنوان «آرایش یا طراحی مقطع عرضی» مورد بحث محققان مختلف می‌باشد. از آنجا که بیشتر ترمیمهای کامپوزیتی تقویت شده با فیبر به صورت دستی و توسط تکنیسین‌ها طراحی و ساخته می‌شوند می‌توان با تغییر محل فیبرها خصوصیات مکانیکی مناسبتری در ترمیم ایجاد کرد. (۱)، در همین راستا Ellakwa و همکاران (۱۳) با تغییر مکان فیبر در نمونه‌ها به این نتیجه رسیدند که وجود فیبر باعث افزایش مقاومت به شکست می‌شود و قرار دادن فیبر در محیط نمونه‌های دیسکی شکل نتایج بهتری را ایجاد می‌کند. Dyer و همکاران (۸) نشان دادند که با قراردادن فیبرها در سمت کششی که دورتر از محل وارد شدن نیرو به نمونه است، استحکام خمشی بهتری ایجاد می‌شود. اما Lassila و همکاران (۱۲) عقیده داشتند که تنها در نمونه‌هایی که میزان فیبر نسبت به حجم کامپوزیت کم است، قراردادن فیبرها در سمت کششی استحکام خمشی بهتری ایجاد می‌کند و در مواردی که حجم فیبر مورد استفاده زیاد باشد قراردادن آنها به صورت عمودی نسبت به نیروی وارده، استحکام بیشتری به وجود می‌آورد. با این وجود Vallittu (۱۴) عقیده داشت که تغییر محل فیبر اثر معنی‌داری بر استحکام عرضی نمونه‌های متیل متاکریلات ندارد اما بر خصوصیات مکانیکی نمونه‌های کامپوزیتی اثر مشخصی می‌گذارد. اما او در مورد اینکه قراردادن فیبرها در چه محلی استحکام بیشتری ایجاد می‌کند سخنی نگفت. Dyer (۱۵) این‌گونه بیان کرد که با قرار دادن یک لایه یا بیشتر از فیبر در نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر در سمت فشاری (Compression side)، الاستیسیته (Modulus of elasticity) آنها افزایش بیشتری می‌یابد ولی چقرمگی (Toughness) نمونه‌ها با قرار دادن یک لایه یا بیشتر در نمونه‌های کامپوزیتی با فیبر در سمت کششی (Tension side) افزایش بیشتری می‌یابد.

مختلف قرار گرفت. سپس قطعه‌ای از فیبر (Fibrex, Ribbon, Brazil) به طول ۲۵ میلی‌متر بریده و روی لایه کامپوزیت قرار داده شد. پس از آن ۱/۵ میلی‌متر باقی مانده از فضای مولد توسط کامپوزیت پر و توسط فشار یک ورقه پلکسی گلاس یکنواخت شد و به مدت چهار ثانیه کیور انجام گردید. شانزده نمونه ساخته شده در این گروه به طور تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند تا بعداً با تنظیم محل فیبر نسبت به محل اعمال نیرو در دو گروه وسط-افقی و وسط-عمودی مورد استفاده قرار گیرند.

۴. **گروه کششی و فشاری:** ابتدا یک لایه کامپوزیت (Gradia, Japan) به ضخامت یک میلی‌متر در داخل مولد فشرده و سی ثانیه کیور شد، سپس قطعه‌ای از فیبر (Fibrex, Ribbon, Brazil) به طول ۲۵ میلی‌متر بریده و روی لایه اول قرار گرفت. پس از آن یک لایه کامپوزیت دیگر به ضخامت یک میلی‌متر روی آن قرار داده و سی ثانیه کیور گردید. مجدداً یک لایه فیبر (Fibrex, Ribbon, Brazil) بر روی آن قرار داده شد و در آخر یک میلی‌متر باقیمانده از فضای مولد توسط کامپوزیت پر و توسط یک ورقه پلکسی گلاس یکنواخت شد و به مدت سی ثانیه کیور انجام شد. هشت نمونه از این گروه با روش فوق تهیه گردید.

شدت تابش نور با دستگاه لایت کیور دستی به کمک رادیومتر (Optilux Radiometer Model 100, Kerr Sybron, Danbury, CA, USA) اندازه‌گیری و مشخص شد که در حد هفتصد میلی وات بر سانتی‌مترمربع می‌باشد. پس از خروج نمونه‌ها از مولد شکافدار اضافه‌های آنها توسط دیسک کاغذی حذف گردید و ابعاد آنها با کولیس دیجیتال (Electronic Digital Caliper, Minova Co., Osaka, Japan) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری و نمونه‌های غیر استاندارد از مطالعه حذف و با نمونه‌های جدید جایگزین شدند. در نهایت نمونه‌ها به مدت لازم در دستگاه تابش نور (Labolight; GC Corp, Tokyo, Japan) قرار گرفتند.

نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آب مقطر ۳۷ درجه نگهداری شدند و یک ساعت پس از خروج از این محیط (برای برگشتن دمای آنها به دمای محیط) در دمای اتاق تحت

۱. **گروه شاهد:** در تهیه این گروه‌ها از فیبر استفاده نشد. در ابتدا یک لایه یک و نیم میلی‌متری از کامپوزیت مورد استفاده (Gradia; GC Corp, Tokyo, Japan) در کف مولد قرار داده و متراکم و به مدت چهار ثانیه با دستگاه لایت کیور دستی (Monitex 'Bluex, GT1200', Monitex Industrial Co., Taiwan) با شدت تابش هزار و دویست میلی‌وات بر سانتی‌متر مربع کیور شد. عمل تابش از دو سمت راست و چپ نیز به مدت چهار ثانیه تکرار گردید. تمام تابشهای نوری در هوای آزاد انجام شد تا اتصال لایه‌های مختلف کامپوزیت به دلیل وجود Oxygen inhibition layer امکان‌پذیر باشد. (۱۶)، سپس لایه دیگری از کامپوزیت بر روی لایه اول قرار داده و سطح آن با یک لایه پلکسی گلاس پوشانده شد و به همان صورت سه بار از جهات مختلف تحت تابش نور قرار گرفت. پس از آن قطعات متحرک مولد جدا شده و نمونه‌ها از محل خارج شد به این ترتیب هشت نمونه به شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۲۵×۳×۳ میلی‌متر بدون فیبر ساخته شد.

۲. **گروههای کششی و فشاری:** پس از قرار دادن یک لایه یک میلی‌متری از کامپوزیت (Gradia, Japan) و تابش نور از سه جهت مختلف مشابه گروههای شاهد، یک برش ۲۵ میلی‌متری از فیبر تقویت‌کننده از پیش آغشته (Fibrex (Ribbon, Angelus Dental Solutions, Londrina, Brazil) بر روی لایه کامپوزیتی اول گذاشته و به مدت بیست ثانیه کیور شد. لایه نهایی کامپوزیت (به ضخامت دو میلی‌متر) بر روی فیبر قرار داده شد و پس از پوشاندن سطح آن با یک لایه پلکسی گلاس به همان صورت گروه شاهد سه بار از جهات مختلف تحت تابش نور قرار گرفت و نمونه‌ها از مولد خارج شد. شانزده نمونه ساخته شده در این گروه به طور تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند تا بعداً با تنظیم محل فیبر نسبت به محل اعمال نیرو در دو گروه کششی و فشاری مورد استفاده قرار گیرند.

۳. **گروههای وسط-افقی و وسط-عمودی:** ابتدا یک لایه کامپوزیت (Gradia, Japan) به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر در داخل مولد به دقت فشرده شد و تحت تابش نور از سه جهت

### یافته‌ها

جدول ۱ میانگین میانه استحکام خمشی اولیه نمونه‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. آزمون Kruskal-Wallis نشان داد که بین میانه استحکام خمشی اولیه نمونه‌ها در گروه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت ( $p=0/005$ ). در تکمیل تست Kruskal-Wallis، آزمون Mann-Whitney برای مقایسه دو به دو میانه استحکام خمشی اولیه گروه‌ها مورد استفاده قرار گرفت و نتایج مندرج در جدول ۲ حاصل گردید.

جدول ۳ میانگین و میانه استحکام خمشی نهایی نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. آزمون Kruskal-Wallis نشان داد که بین میانه استحکام خمشی نهایی نمونه‌های مورد بررسی اختلاف وجود داشت ( $p<0/001$ ). در تکمیل تست Kruskal-Wallis آزمون Mann-Whitney برای مقایسه دو به دو استحکام خمشی نهایی نمونه‌ها استفاده شد و نتایج مندرج در جدول ۴ حاصل گردید. لازم به ذکر است که در بعضی گروه‌های مورد بررسی (شامل گروه دارای فیبر در سمت فشاری و گروه بدون فیبر) تنها یک عدد توسط دستگاه گزارش شد و در واقع نمونه در یک مرحله دچار شکست شده و استحکام خمشی اولیه و نهایی یکسان بودند.

### بحث

در این بررسی آزمایشگاهی استحکام خمشی نمونه‌های میله‌ای شکل کامپوزیتی در چند گروه دارای موقعیتهای گوناگون فیبر با هم و با یک گروه بدون فیبر مقایسه شدند. در این بررسی نیز همانند برخی مطالعات دیگر، مشخص گردید که استفاده از فیبر سبب افزایش معنی‌دار استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی می‌شود. (۱۳- ۱۵ و ۱۹)، در بررسی مروری Van Heumen و همکاران (۱۷) نتیجه‌گیری شد که استفاده از فیبر تنها در شرایط خاصی می‌تواند سبب افزایش استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر شود و در افزایش استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر، نحوه قرارگیری فیبرهای

آزمایش قرار گرفتند. آزمون خمش سه نقطه‌ای بر روی پایه‌هایی با فاصله بیست میلی‌متر و با نیروی بیست نیوتن با سرعت یک میلی‌متر در دقیقه بر اساس شرایط استاندارد ISO:1077 و با کمک دستگاه Universal Testing (TLCLLO, Dartec Series, England) انجام شد. نیروی دستگاه بر وسط نمونه‌ها که قبلاً نشانه گذاری شده بودند، وارد گردید. دستگاه دارتک تا زمانی که جسم تحت آزمایش بتواند در برابر نیروهای وارده از خود مقاومت نشان دهد به افزایش نیرو ادامه می‌دهد و با شکست جسم اعمال نیرو دچار افت ناگهانی می‌شود و در صورت عدم مقاومت آن اعمال نیرو متوقف می‌گردد. با مشاهده رفتار نمونه‌های مورد آزمایش در دستگاه و مشخصاً بعضی گروه‌های حاوی فیبر، برای هر نمونه دو عدد توسط کامپیوتر متصل به دستگاه ثبت شد که اولی نشان‌دهنده اولین شکست در نمونه که قسمت کششی نمونه دچار شکست می‌شد و نیروی شکست اولیه (Initial fracture force) آن می‌بود و عدد دوم ثبت شده نشان‌دهنده شکست نهایی نمونه و پایان مقاومت آن در برابر اعمال نیرو توسط دستگاه و نیروی شکست نهایی (Final Fracture Force) بود. این امر مشابه آن چیزی است که در مقالات مشابه (۱۵ و ۱۶) انجام شده و علت آن هم این بود که این‌گونه نمونه‌های کامپوزیتی در دو مرحله می‌شکنند: یک بار کامپوزیت پویش‌ننده و یک بار فیبر تقویت کننده. سپس از فرمول  $S=3FL/2bd^2$  برای محاسبه استحکام خمشی اولیه (Initial Flexural Strength) و استحکام خمشی نهایی (Final Flexural Strength) (بر حسب مگاپاسکال) استفاده شد. در این فرمول  $F$  نیرو،  $L$  طول،  $b$  عرض و  $d$  ضخامت نمونه‌ها می‌باشد. در نهایت میانه استحکام خمشی به دست آمده از نمونه‌های هر گروه با هم مقایسه شدند و نتایج حاصل به کمک یک نرم افزار آماری (SPSS, Ver. SPSS Inc., Illinois, USA) 11.5 و به دلیل عدم هموزنیستی واریانس‌ها از آزمونهای آماری Kruskal-Wallis و Mann-Whitney با در نظر گرفتن سطح معناداری ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

جدول ۱: میانگین و میانه استحکام خمشی اولیه نمونه‌های مورد آزمایش بر حسب مگاپاسکال

گروه	تعداد	حداقل	حداکثر	میانه	میانگین	انحراف معیار
کنترل	۸	۶۳/۸۸	۹۱/۶۶	۷۴/۳۰	۷۶/۲۱	۹/۷۴
کششی	۸	۶۸/۰۵	۱۵۸/۳۳	۱۱۲/۵۰	۱۱۶/۳۲	۲۶/۹۸
فشاری	۸	۶۶/۶۶	۱۰۱/۳۹	۸۶/۸۰	۸۵/۵۹	۱۰/۸۰
وسط-افقی	۸	۸۱/۹۴	۱۱۹/۴۴	۹۲/۳۶	۹۴/۹۶	۱۳/۴۶
وسط-عمودی	۸	۸۰/۵۵	۱۰۱/۳۹	۹۴/۴۴	۹۲/۳۶	۶/۹۶
کششی و فشاری	۸	۶۵/۲۷	۲۱۲/۵۰	۹۷/۲۲	۱۱۱/۸	۴۷/۰۲
مجموع	۴۸	۶۳/۸۸	۲۱۲/۵۰	۹۲/۳۶	۹۶/۱۲	۲۶/۴۷

جدول ۲: P.v حاصل از مقایسه دو به دو استحکام خمشی اولیه نمونه‌ها بر حسب مگاپاسکال با آزمون Mann-Whitney

کنترل	کششی	فشاری	وسط-افقی	وسط-عمودی	کششی و فشاری
-	۰/۰۰۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۳
-	-	۰/۰۱۲	۰/۰۵۲	۰/۰۱۵	۰/۳۴
-	-	-	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۲۷
-	-	-	-	۰/۷۱	۰/۸۷
-	-	-	-	-	۰/۵۲

جدول ۳: میانگین و میانه استحکام خمشی نهایی نمونه‌های مورد مطالعه بر حسب مگاپاسکال

گروه	تعداد	حداقل	حداکثر	میانه	میانگین	انحراف معیار
کنترل	۸	۶۳/۸۸	۹۱/۶۶	۷۴/۳۰	۷۶/۲۱	۹/۷۴
کششی	۸	۱۱۱/۱۱	۲۰۱/۳۹	۱۶۳/۱۹	۱۶۰/۵۹	۳۰/۷۶
فشاری	۸	۶۶/۶۶	۱۰۱/۳۹	۸۶/۸۰	۸۵/۵۹	۱۰/۸۰
وسط-افقی	۸	۱۴۳/۰۵	۲۰۸/۳۳	۱۶۸/۰۵	۱۷۳/۹۵	۲۲/۴۹
وسط-عمودی	۸	۸۷/۵۰	۱۳۳/۳۳	۱۰۸/۳۳	۱۰۸/۱۶	۱۳/۳۷
کششی و فشاری	۸	۱۱۳/۸۹	۲۴۸/۶۱	۱۶۹/۴۴	۱۶۷/۷۰	۴۵/۸۶
مجموع	۴۸	۶۳/۸۸	۲۴۸/۶۱	۱۱۳/۸۸	۱۲۸/۷۰	۴۷/۱۷

جدول ۴: P.v حاصل از مقایسه دو به دو استحکام خمشی نهایی نمونه‌ها بر حسب مگاپاسکال با آزمون Mann-Whitney

-	کنترل	کششی	فشاری	وسط-افقی	وسط-عمودی	کششی و فشاری
کنترل	-	۰/۰۰۱	۰/۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
کششی	-	-	۰/۰۰۱	۰/۴۹	۰/۰۰۳	۰/۷۱
فشاری	-	-	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
وسط-افقی	-	-	-	-	۰/۰۰۱	۰/۷۹
وسط-عمودی	-	-	-	-	-	۰/۰۰۳

کلی ترمیم افزایش می‌یابد (۱، ۱۳) و به این ترتیب توصیه می‌گردد که فیبرهای پلی اتیلنی نیز در سمت کششی (دور از محل اعمال نیرو) قرار داده شوند. (۱۲)، از آنجا که در نمونه‌های باری شکل نظیر آنچه در مطالعه حاضر مورد استفاده قرار گرفت، نسبت حجم فیبر به کامپوزیت کم است، می‌توان نتایج حاصل را با این بررسیها مقایسه کرد. البته توجه به این نکته ضروری است که قرار دادن کامل این فیبرها در سمت کششی می‌تواند منجر به افزایش تضررهای سطحی ترمیم و در نتیجه افزایش تجمع پلاک شود. (۱۵)، فیبر مورد استفاده در این بررسی از نوع فیبرهای آغشته (Pre-impregnated) محسوب می‌شود. Pfeifer (۱۹) عقیده دارد که فیبرهای غیر آغشته تأثیر بیشتری در افزایش استحکام خمشی کامپوزیت‌های تقویت شده دارند، در صورتی که Ellakwa و همکاران (۹) تفاوت بین فیبرهای آغشته و غیر آغشته را منحصر به نمونه‌های باری شکل می‌دانند و عقیده دارند در نمونه‌های پیچیده‌تر مثلاً در بریج‌های کامپوزیتی که به شکل دندانهای طبیعی ساخته شده‌اند، تفاوتی بین این دو نوع فیبر دیده نمی‌شود. در این بررسی میانگین استحکام خمشی نمونه‌های مورد بررسی از نظر عددی بالاتر از بررسی حاضر است. یکی از علل این امر می‌تواند تفاوت جنس فیبرهای مورد استفاده در این دو بررسی باشد. در بررسی حاضر از فیبرهای با جنس E-glass استفاده شد در صورتی که Ellakwa و همکاران (۹) از الیاف Polyethylene استفاده کرده بودند.

در ضمن در مقایسه میانگین استحکام خمشی نهایی گروه دارای فیبر در وسط نمونه به صورت عمودی و گروه دارای فیبر در وسط نمونه به صورت افقی مشاهده شد که قرار دادن فیبر به صورت افقی (عمود بر جهت اعمال نیرو) بسیار مؤثرتر از قراردادن فیبر به صورت عمودی (در امتداد جهت اعمال نیرو) می‌باشد. که این امر توسط برخی مطالعات نیز تأیید شده است. (۱ و ۱۹ - ۲۰)

با توجه به محدودیتهای این مطالعه (استفاده از نمونه‌های میله‌ای شکل و...) پیشنهاد می‌شود در آینده این بررسی با انجام تست روی دندانهای طبیعی خارج شده و یا تهیه

تقویت کننده (مهندسی فیبرها) مهمتر از نوع فیبرهای مورد استفاده می‌باشد. Vallittu (۱۴) نیز عقیده داشت که با آنکه تغییر محل فیبر اثر معنی‌داری بر استحکام عرضی نمونه‌های متیل متاکریلات ندارد اما بر خصوصیات مکانیکی نمونه‌های کامپوزیتی اثر مشخصی می‌گذارد.

محدوده میانگین استحکام خمشی نهایی نمونه‌ها از ۷۶/۲ مگاپاسگال تا ۱۷۳/۹ مگاپاسگال بود. گروه شاهد (گروه بدون فیبر) حداقل استحکام خمشی نهایی را داشت و در بین گروههای حاوی فیبر، گروه حاوی فیبر در وسط نمونه به صورت افقی حداکثر خمشی نهایی را نشان داد که البته با توجه به آزمون آماری Mann-Whitney اختلاف معنی‌داری با گروه حاوی فیبر در سمت کششی و گروه دارای دو لایه فیبر در سمت کششی و فشاری نداشت. حداقل استحکام خمشی نهایی نیز مجدداً مربوط به گروه حاوی فیبر در سمت فشاری بود. با این حال، جهت استفاده‌های کلینیکی، استحکام خمشی اولیه شاخصی دقیقتر و مفیدتر از استحکام خمشی نهایی می‌باشد چرا که ترمیم کامپوزیتی تقویت شده با فیبر با اولین شکست در دهان غیر قابل استفاده می‌شود. (۱)، برخی تحقیقات به این نتیجه رسیدند که قرار دادن فیبر در محل‌هایی غیر از سمت کششی نمونه افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت به شکست اولیه (Initial failure) ایجاد نمی‌کند، که مشابه نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. (۱، ۹، ۱۸)، اما Dyer و همکاران (۱۵) قرار دادن فیبرها در سمت فشاری را باعث افزایش ضریب کشسانی FRC و قرار دادن فیبرها در سمت کششی را باعث افزایش چقرمگی (Toughness) دانستند.

Lassila و همکاران (۱۲) عقیده داشتند که تنها در نمونه‌هایی که میزان فیبر نسبت به حجم کامپوزیت کم است، قراردادن فیبرها در سمت کششی استحکام خمشی بهتری ایجاد می‌کند و در مواردی که حجم فیبر مورد استفاده زیاد باشد قراردادن آنها به صورت عمودی نسبت به نیروی وارده، استحکام بیشتری به وجود می‌آورد. در برخی از مطالعات نیز مشخص شده که استحکام خمشی ترمیم‌های کامپوزیتی با کاهش درصد حجمی فیبرها نسبت به حجم

که موقعیت و جهت قرار دادن فیبرها بر استحکام خمشی نمونه‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر تأثیر دارد و قرارگیری فیبرها در سمت تحت کششی نمونه‌ها بیشتر از سایر حالات سبب افزایش استحکام خمشی نمونه‌ها می‌شود.

نمونه‌هایی که به شرایط بالینی نزدیکتر باشند انجام گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود با استفاده از ترموسایکلینگ و بارگذاریهای دینامیک نتایج مقایسه شوند.

### نتیجه‌گیری

بر اساس شرایط آزمایشگاهی این بررسی مشخص گردید

## REFERENCES

1. Dyer SR, Lassila LV, Jokinen M, Vallittu PK. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dent Mater*. 2004 Dec; 20(10): 947-55.
2. Vallittu PK, Sevelius C. Resin-bonded, glass fiber-reinforced composite fixed partial dentures: A clinical study. *J Prosthet Dent*. 2000 Oct; 84(4): 413-8.
3. Butterworth C, Ellakwa AE, Shortall A. Fiber-reinforced composites in restorative dentistry. *Dent Update*. 2003 Jul-Aug; 30(6): 300-6.
4. Goehring TN, Peters OA, Lutz F. Marginal adaptation of inlay-retained adhesive fixed partial dentures after mechanical and thermal stress: an in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2001 Jul; 86(1): 81-92.
5. Kilfoil BM, Hesby RA, Pelleu GB Jr. The tensile strength of a composite resin reinforced with carbon fibers. *J Prosthet Dent*. 1983 Jul; 50(1):40-3.
6. Mallick PK. Fiber-reinforced composites. Materials, manufacturing, and designs. 2nd ed. New York: Marcel Dekker; 1993, 1.
7. Al-Darwish M, Hurley RK, Drummond JL. Flexure strength evaluation of a laboratory-processed fiber-reinforced composite resin. *J Prosthet Dent*. 2007 May; 97(5): 266-70.
8. 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 May; 23(10): 2221-9.
9. Ellakwa AE, Shortall AC, Shehata MK, Marquis PM. The influence of fiber placement and position on the efficiency of reinforcement of fiber reinforced composite bridgework. *J Oral Rehabil*. 2001 Aug; 28(8): 785-91.
10. DeBoer J, Vermilyea SG, Brady RE. The effect of carbon fiber orientation on the fatigue resistance and bending properties of two denture resins. *J Prosthet Dent*. 1984 Jan; 51(1): 119-21.
11. Behr M, Rosentritt M, Leibrock A, Schneider-Feyrer S, Handel G. In vitro study of fracture strength and marginal adaptation of fiber-reinforced adhesive fixed partial inlay dentures. *J Dent*. 1999 Feb; 27(2):163-8.
12. Lassila LVJ, Vallittu PK. The Effect of Fiber Position and Polymerization Condition on the Flexural Properties of Fiber-Reinforced Composite. *J Contemp Dent Pract*. 2004 May; 15:5(2):14-26.
13. 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 Mar-Apr; 27(2):184-91.

14. Vallittu PK. Effect of some properties of metal strengtheners on the fracture resistance of acrylic denture base material construction. *J Oral Rehabil.* 1993 May; 20(3):241-8.
15. Dyer SR, Sorensen JA, Lassila VJL, Vallittu PK. Damage mechanics and load failure of fiber reinforced composite fixed partial dentures. *Dent Mater.* 2005 Dec; 21(12):1104-10.
16. Shortall AC, Uctasli S, Marquis PM. Fracture resistance of anterior, posterior and universal light activated composite restoratives. *Oper Dent.* 2001 Jan-Feb; 26(1):87-96.
17. van Heumen CC, Kreulen CM, Bronkhorst EM, Lesaffre E, Creugers NH. Fiber-reinforced dental composites in beam testing. *Dent Mater.* 2008 Nov; 24(11):1435-43.
18. Chung K, Lin T, Wang F. Flexural strength of a provisional resin material with fibre addition. *J Oral Rehabil.* 1998 Mar; 25(3):214-7.
19. Turkaslan S, Tezvergil-Mutluay A, Bagis B, Pekka K, Vallittu PK, Lassila VJ. Effect of fiber-reinforced composites on the failure load and failure mode of composite veneers. *Dent Mater.* 2009;28:530-6.
20. Nandini S. Indirect resin composites. *J Conserv Dent.* 2010 Oct-Dec; 13(4):184-94.

Archive of SID