

## مقایسه استحکام باند ریزبرشی سرامیک‌های Cercon و Zirkozahn با دو نوع سمان رزینی

دکتر سعید نوکار<sup>۱+</sup> - دکتر امیر عزیزی<sup>۲-</sup> - دکتر احمد روحانیان<sup>۱</sup>

۱- استادیار گروه آموزشی پروتزیهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران، تهران، ایران  
۲- دندانپزشک

### Comparison of the microshear bond strength of two resin cements to Cercon and Zirkozahn ceramics

Saeed Nokar<sup>1+</sup>, Amir Azizi<sup>2-</sup>, Ahmad Rohanian<sup>1</sup>

1<sup>+</sup>- Assistant Professor, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran (snir2500@yahoo.com)

2- Dentist

**Background and Aims:** Nowadays, the application of all ceramic restorations are being raised, because of their physical characteristics, such as translucency and good appearance. Numerous researchers investigated the impact of surface treatments on the bond strength of zirconia ceramic with resin cements. The aim of this study was to compare the microshear bond strength of Cercon and Zirkozahn (two kind of zirconia) ceramics, to two types of resin cements after thermocycling.

**Materials and Methods:** In this study, 24 rectangular specimens were made from each group of Cercon and Zirkozahn ceramics. After sandblasting, these specimens were connected to 3×1 mm<sup>2</sup> composite cylinders by two resin cements (Panavia F<sub>2</sub> and Rely X Unicem<sub>2</sub>). After performing a thermocycling regime for 5000 cycles (5-55°C), the microshear bond strengths were measured by a universal testing machine. The mode of failures were determined by a stereomicroscope. Data were analyzed using two-way ANOVA.

**Results:** Type of ceramics had no significant impact on the microshear bond strength (P=0.317). The highest bond strengths in both ceramics were obtained with Reply X Unicem (P=0.035). The predominant failure mode was adhesive between the cement and ceramic.

**Conclusion:** Type of resin cement had a significant effect on their bond strengths to zirconia ceramics.

**Key Words:** Ceramic, Zirconia, Resin cements, Both strength

Journal of Dental Medicine-Tehran University of Medical Sciences 2014;27(1):44-50

## چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه استفاده از رستوریشن‌های تمام سرامیک به علت خواص فیزیکی آن‌ها همچون ترانسلوسنسی و ظاهری زیبا افزایش یافته است. مطالعات زیادی اثر روش‌های متنوع آماده‌سازی سطح را بر روی استحکام باند زیرکونیا با سمان‌های رزینی بررسی کرده‌اند. هدف مطالعه حاضر مقایسه میزان استحکام باند ریزبرشی دو نوع کور زیرکونیایی Cercon و Zirkozahn با دو نوع سمان رزینی Panavia F<sub>2</sub> و Rely x unicem<sub>2</sub> پس از انجام ترموسایکلینگ، بود.

**روش بررسی:** در این مطالعه، ۲۴ نمونه مستطیل شکل از هر یک از دو گروه زیرکونیایی Cercon و Zirkozahn تهیه شد. پس از سندبلاست، توسط دو سمان رزینی Panavia F<sub>2</sub> و Rely x unicem<sub>2</sub> به استوانه‌های کامپوزیتی با ابعاد ۱×۳ mm<sup>2</sup> متصل شدند. نمونه‌ها به میزان ۵۰۰۰ سیکل تحت ترموسایکلینگ قرار گرفتند. سپس استحکام باند ریزبرشی آن‌ها با دستگاه Universal testing machine اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری استحکام باند ریزبرشی برای تعیین نوع شکست نمونه‌ها توسط استریومیروسکوپ مشاهده شدند. از روش Two-way ANOVA برای تحلیل و آنالیز داده‌ها استفاده شد.

**یافته‌ها:** نوع سرامیک تأثیر معنی‌داری بر روی استحکام باند ریزبرشی نداشت (P=۰/۳۱۷). بالاترین استحکام باند در هر دو نوع کور زیرکونیایی مربوط به سمان Rely x unicem<sub>2</sub> بود (P=۰/۰۳۵). نوع شکست در تمامی نمونه‌ها از نوع Adhesive بین سمان و سرامیک بود.

**نتیجه‌گیری:** انتخاب سمان مناسب تأثیر مستقیم بر روی موفقیت رستوریشن دارد.

**کلید واژه:** سرامیک، زیرکونیا، استحکام باند، سمان رزینی

وصول: ۹۲/۰۳/۱۰ اصلاح نهایی: ۹۲/۱۲/۲۳ تأیید چاپ: ۹۲/۱۲/۲۵

## مقدمه

زیرکونیوم ندارد زیرا زیرکونیوم دارای فاز Silica نبوده و سخت می‌باشد (۱۶،۱۷). میزان شکست سرامیک‌های با استحکام زیاد بین ۲/۳-۸ درصد گزارش شده است و نتایج به دست آمده از تحقیقات نشان می‌دهد که اغلب شکست‌های کلینیکی از سمان و سطوح داخلی شروع می‌شوند (۴)، پس تمامیت سمان چسبنده به سطوح سرامیک نقش اصلی را در طول عمر رستوریشن بازی می‌کند. شکست‌هایی که از سطوح سمان منشأ گرفته‌اند، مشخص کننده نیاز برای یک روش آماده‌سازی مدرن جهت افزایش استحکام باند، مانند روش Air-abrasion می‌باشد. برخی تحقیقات نشان دادند که ایده‌آل و قابل قبول‌ترین باند بین رزین و زیرکونیوم، زمانی به دست می‌آید که از Air-abrasion و ماده چسبنده 10-methacryloxydecyl Dihydrogen phosphat monomer استفاده گردد (۴). تاکنون از سمان‌هایی نظیر Panavia F<sub>2</sub> با مزایایی نظیر گیر زیاد، حلالیت کم، استحکام فشاری و استحکام مدولوس بالا و معایبی نظیر حساسیت تکنیکی و متعدد بودن مراحل کار استفاده شده است. سیستم Air-abrasion وابسته به ذرات ساینده هوا می‌باشد که این ذرات دارای اندازه‌های متفاوت بین ۲۵۰-۳۵ μm می‌باشند، Abrasion آلودگی سطحی را از بین می‌برد و سطحی خشن با درجاتی از قفل شوندگی مکانیکی جهت رزین تأمین می‌کند. هدف مطالعه حاضر مقایسه میزان استحکام باند ریزبرشی دو نوع کور زیرکونیایی

به علت بهبود خواص فیزیکی استفاده از رستوریشن‌های تمام سرامیک افزایش یافته و برخلاف گذشته که از رستوریشن‌های تمام سرامیک به علت ترانسلوسنسی و ظاهری زیبا و شباهت با دندان‌های طبیعی در ناحیه قدامی استفاده می‌شد، امروزه با افزایش استحکام سرامیک‌ها می‌توان آن‌ها را در نواحی مولرها و حتی به عنوان جایگزینی برای کورهای فلزی استفاده نمود (۱). یکی از انواع این سرامیک‌ها زیرکونیوم اکساید است که در مقایسه با انواع آلومینیوم اکساید دارای Toughness بیشتری بوده، به طوری که Toughness و استحکام خمشی آن به ترتیب (۷-۸ Mpa) و (۱-۱/۲Gpa) می‌باشد (۲،۳). افزایش خشونت سطحی و قابلیت Wetting رزینی، سبب افزایش استحکام باند می‌شود (۴،۵) و در مقابل دو عامل Aging و ترموسایکلینگ، سبب کاهش آن می‌شوند (۶-۸). اچ کردن توسط HF و کاربرد ساین سبب افزایش استحکام باند رزینی در سرامیک‌هایی می‌شود که دارای فاز گلاسی می‌باشند (۹،۱۰). بدین‌صورت که HF سبب شکل‌دهی Hexafluorosilicate و حذف انتخابی فاز گلاسی و نمایان شدن ساختار کریستالی می‌گردد، در نتیجه سطح سرامیک سخت‌تر شده و گیر میکرومکانیکال بیشتر می‌شود (۱۱-۱۳). استفاده از ساین سبب افزایش باند شیمیایی سرامیک و رزین می‌شود (۱۴،۱۵). این درحالی است که HF و Silane تأثیری بر افزایش باند در



شکل ۲- استوانه‌های کامپوزیتی



شکل ۳- استوانه‌های کامپوزیتی به سطح سرامیک باند شده است

سپس این استوانه‌های کامپوزیتی با استفاده از سمان‌های رزینی Panavia F<sub>2</sub> و Rely X Unicem2 (3M ESPE, USA) طبق دستور کارخانه، به سطح سرامیک‌ها با فشار ملایم دست باند شدند (شکل ۳)، بدین‌صورت که در هر دو سمان میزان مساوی از هر دو Paste بیس و کاتالیست را به مدت ۲۰ ثانیه مخلوط کرده و بدون استفاده از هیچ‌گونه پرایمری استوانه‌های کامپوزیتی را به سطح سرامیک باند کرده و هر دو سمان در دو مرحله ۲۰ ثانیه از دو سمت مقابل هم کیور شدند (جدول ۱).  
 اضافات سمان توسط برس‌های کوچک (Micro brush) از اطراف استوانه کامپوزیتی، قبل از سخت شدن سمان برداشته شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند، سپس تحت ترموسایکلینگ قرار گرفتند، به گونه‌ای که ۵۰۰۰ بار

Cercon و Zir Konzahn با دو نوع سمان رزینی Panavia F<sub>2</sub> و Rely x unicem2 پس از انجام ترموسایکلینگ، بود.

## روش بررسی

بلوک‌های پیش‌ساخته سینتر شده از دو نوع کور زیرکونیای سفید رنگ Cercon و Zir Konzahn (Gais, Bruneck, Italy) به ابعاد  $3 \times 7 \times 7 \text{ mm}^3$  در رزین پلی‌استر مانت گردید. سپس این بلوک‌ها توسط دستگاه Low speed diamond saw (لبه برنده تیغه از جنس الماس و ضخامت آن  $0.5$  میلی‌متر بود) برش خوردند (شکل ۱). با انجام برش تعداد ۲۴ نمونه از هر دو نوع کور زیرکونیایی با ابعاد  $3 \times 7 \times 7 \text{ mm}^3$  تهیه شد. نمونه‌ها توسط ذرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  با قطر  $50 \mu\text{m}$  و فشار ۳ بار در فاصله ۱۰ میلی‌متر به مدت زمان ۱۰ ثانیه سندبلاست شدند، سپس نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک حاوی اتانول ۹۶٪ قرار گرفتند تا آلودگی سطحی آن‌ها حذف گردد. نمونه‌ها به ۴ گروه ۱۲ تایی تقسیم شدند، به گونه‌ای که دو گروه ۱۲ تایی Cercon و دو گروه ۱۲ تایی Zir Konzahn داشتیم. لوله‌های پلاستیکی شفاف با قطر داخلی ۱ میلی‌متر و ارتفاع ۳ میلی‌متر که توسط کامپوزیت Flow رنگ  $\text{A}_2$  (3M ESPE, Germany) پر شده بود، توسط دستگاه لایت (Bluephase 16i, Ivoclar Vivadent, Austria) با شدت  $(500 \text{ mW/cm}^2)$  در دو مرحله ۴۰ ثانیه‌ای از دو سمت مقابل هم کیور شد و استوانه‌های کامپوزیتی با استفاده از تیغ بیستوری از داخل لوله‌های پلاستیکی خارج شدند (شکل ۲).



شکل ۱- بلوک‌های پیش‌ساخته سینتر شده از دو نوع کور زیرکونیایی سفید رنگ



شکل ۵- بررسی نحوه شکست با استفاده از استریومیکروسکوپ

در این حالت اطمینان بیشتری از توزیع بار برشی در ناحیه اینترفاسیال وجود داشت، قبل از آغاز Load نیرو دقت شد که حلقه سیمی تا حد امکان نزدیک به ناحیه اینترفاسیال باشد. سپس نمونه‌ها در معرض نیروی برشی با سرعت  $0.5 \text{ mm/min}$  قرار گرفتند تا شکست اتفاق بیفتد. نیروی اعمال شده بر نمونه برحسب نیوتن از روی مانیتور دستگاه یادداشت شد و از تقسیم این نیرو بر سطح مقطع استوانه کامپوزیتی (برابر با مساحت سطح اتصال) استحکام باند ریزبرشی برحسب مگاپاسکال به دست آمد. باتوجه به مستقل بودن دو متغیر سرامیک زیرکونیایی و نوع سمان مصرفی و وابسته بودن متغیر استحکام باند ریزبرشی از روش Two-way ANOVA برای تحلیل و آنالیز داده‌ها استفاده شد. در مرحله بعد نمونه‌ها برای تعیین نحوه شکست با استفاده از استریومیکروسکوپ تحت بررسی قرار گرفتند (شکل ۵).

بین دو حمام آب  $50^\circ$  و  $55^\circ$  درجه سانتی‌گراد حرکت کردند، فاصله بین دو حمام  $15$  ثانیه و مدت زمانی که در هر حمام قرار می‌گرفتند  $30$  ثانیه بود. سپس نمونه‌ها جهت انجام تست ریزبرشی به دستگاه (EZ-Test-500N, Shimadzu, Universal testing machine (Kyoto, Japan) با استفاده از چسب سیانو آکریلات (Zapli, Dental Ventures of America, Corona, CA, USA) متصل شدند. باند برشی در این مطالعه به روش Wire and Loop اندازه‌گیری شده است. Loop با استفاده از سیم ارتودنسی به قطر  $0.2$  میلی‌متر تهیه شد. این حلقه در یک سو در دور استوانه کامپوزیتی قرار داده شد به نحوی که تقریباً با نیمی از محیط استوانه در تماس باشد، در طرف مقابل، سیم در دور میله‌هایی قرار داده شده که به همین منظور تعبیه شده بودند. اتصال بین استوانه، سیم و میله‌ها طوری انجام شد که خط اصلی بین این سه جزء تست در یک راستا قرار گیرد (شکل ۴).



شکل ۴- حلقه در یک سو در دور استوانه کامپوزیتی قرار داده شد به نحوی که تقریباً با نیمی از محیط استوانه در تماس باشد

جدول ۱- میانگین و شاخص‌های پراکندگی مرکزی میزان استحکام باند ریزبرشی در گروه‌های مختلف

سرامیک	سمان	تعداد نمونه	حداقل (مگاپاسکال)	حداکثر (مگاپاسکال)	میانگین (مگاپاسکال)	انحراف معیار
Circon	Panavia F	۱۲	۴/۹۸	۱۱/۵۶	۸/۲۹	۲/۵۶
	Rely x	۱۲	۴/۵۳	۱۴/۲۸	۱۱/۳۵	۳/۴۰
Zirkonzahn	Panavia F	۱۲	۴/۸۲	۱۱/۶۷	۸/۳۰	۲/۳۲
	Rely x	۱۲	۳/۶۲	۱۹/۷۱	۹/۴۰	۴/۵۲

## یافته‌ها

مقادیر شاخص‌های پراکندگی (میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر) استحکام باند ریزبرشی در همه گروه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج این آزمون نشان داد که Interaction بین سرامیک و سمان معنی‌دار نمی‌باشد ( $P=0/313$ ). سمان Rely x unicem<sub>2</sub> دارای استحکام باند ریزبرشی بالاتری نسبت به Panavia F<sub>2</sub> در هر دو نوع کور زیرکونیایی Cercon و Zirkozahn بود ( $P=0/035$ ). اختلاف معنی‌داری بین استحکام باند ریزبرشی دو نوع سمان رزینی Panavia F<sub>2</sub> و Rely x unicem<sub>2</sub> دیده شد به گونه‌ای که سمان Rely x unicem<sub>2</sub> ( $11/35 \pm 3/4$  MPa) استحکام باند بالاتری نسبت به سمان Panavia F<sub>2</sub> ( $8/30 \pm 2/55$  MPa) داشت. در صورتی که نوع سرامیک، تأثیر معنی‌داری بر روی استحکام باند زیرکونیا نداشت ( $P=0/317$ ). همچنین نوع شکست نمونه‌ها با استفاده از استریومیکروسکوپ بررسی شد که در تمامی نمونه‌ها از نوع Adhesive بین سمان و سرامیک مشاهده شد.

## بحث و نتیجه‌گیری

تست استحکام ریزبرشی از نظر کلینیکی بیشتر مورد قبول است، ادعا شده که این تست احتمال آغاز ایجاد ترک و انتشار آن به داخل هر نمونه را به دلیل ناحیه باند کوچک آن (یک میلی‌متر) کاهش می‌دهد، از این رو در این تحقیق از این تست استفاده شد. تحقیقات برای پیدا کردن روشی مناسب جهت افزایش استحکام باند سرامیک‌ها ادامه دارد. در بیشتر مطالعات بالاترین استحکام باند را در استفاده از روش‌های Air-abrasion و Chemical coating ذکر کرده‌اند (۱۸، ۱۹).

مطالعات نشان داده‌اند که بالاترین استحکام باند به زیرکونیا زمانی حاصل می‌شود که از سمان‌های رزینی با بیس فسفات مونومر استفاده شود از این رو از دو سمان رزینی Rely x و Panavia F<sub>2</sub> در این تحقیق استفاده شده است که هر کدام دارای نوع متفاوتی از مونومر فسفات می‌باشند، که سبب افزایش استحکام باند به زیرکونیا می‌شوند (۲۰). استحکام باند بالای این نوع سمان‌ها را می‌توان به واکنش شیمیایی بین گروه هیدروکسیل موجود در سطح سرامیک و فسفات مونومر بیس موجود در MDP نسبت داد (۲۰). همچنین در سمان Rely x طبق گفته تولیدکننده علاوه بر گروه فسفات، حداقل دو عدد

اتم کربن با پیوند دوگانه وجود دارد که سبب افزایش استحکام باند به زیرکونیا از طریق افزایش واکنش متاکریلات مونومر و ایجاد Cross-linking کافی با رزین ماتریکس می‌شود. سایز پارتیکل‌های معدنی تشکیل دهنده سمان و Film thickness، از مهم‌ترین عواملی هستند که بر روی خصوصیات فیزیکی سمان، مانند استحکام باند برشی و کششی اثر می‌گذارند و هرچه این پارتیکل‌ها دارای اندازه یکسان و کوچک‌تر باشند، استحکام باند بیشتر می‌شود (۲۱). از این رو متفاوت بودن اندازه پارتیکل‌های معدنی در دو سمان Rely x ( $12/5 \mu\text{m}$ ) و Panavia ( $19 \mu\text{m}$ ) و نازک‌تر بودن Film thickness در سمان Rely x نسبت به Panavia، می‌تواند دلیلی بر متفاوت بودن میزان استحکام باند این دو سمان باشد. برخی تحقیقات نشان داده‌اند که Panavia دارای ریتشن بالا، حلالیت کم، استحکام فشاری و الاستیک مدولوس بالا و حساسیت تکنیکی بالا می‌باشد. ولی استحکام فشاری و ریزسختی سمان Rely x بالاتر از Panavia F<sub>2</sub> می‌باشد. نتایج به دست آمده از مطالعه نشان داد، اختلاف معنی‌داری بین استحکام باند ریزبرشی دو نوع سمان رزینی Panavia F<sub>2</sub> و Rely x unicem<sub>2</sub> وجود دارد به گونه‌ای که سمان Rely x unicem<sub>2</sub> ( $11/34 \pm 3/4$  MPa) دارای استحکام باند بالاتری نسبت به سمان Panavia F<sub>2</sub> ( $8/29 \pm 2/55$  MPa) بود، که با نتایج حاصل از تحقیق Piwowarczyk و همکاران (۲۲) که استحکام باند برشی ۱۱ نوع سمان مختلف را بر روی سرامیک زیرکونیا نمودند، نشان داد که سمان Rely x ( $12/7 \pm 3/2$  Mpa) دارای استحکام باند برشی بالاتری نسبت به Panavia ( $8/5 \pm 3/1$  Mpa) و سایر سمان‌ها می‌باشد، مطابقت دارد. در صورتی که نتایج تحقیقی که در سال ۲۰۱۰ توسط Mirmohammadi و همکاران (۲۳) بر روی اثر سمان رزینی Panavia F<sub>2</sub> و Rely x unicem<sub>2</sub> بر استحکام باند ریزبرشی سرامیک زیرکونیا و کامپوزیت انجام گرفت نشان داد نوع سمان رزینی تأثیر معنی‌داری بر روی استحکام باند ریزبرشی ندارد، به گونه‌ای که سمان Panavia ( $29/3 \pm 7/1$  MPa) استحکام باند بالاتری را نسبت به Rely x ( $25/4 \pm 6/4$  MPa) نشان داد ولی این اختلاف معنی‌دار نبود. این اطلاعات و اختلافات حاصل از نتایج به دست آمده از استحکام باند و SD در تحقیقات مختلف را می‌توان به عواملی همچون: دقیق بودن نمونه‌ها (Geometry)، سایز محل اتصال، نوع ماده مورد استفاده،

عمدتاً از نوع Interfasial (Adhesive در سطح سرامیک) است تا حدودی متفاوت است که می‌تواند به علت عدم استفاده از ترموسایکلینگ در انجام تحقیق Mirmohammadi و تعریف متفاوت آن‌ها از نحوه شکست باشد. با انجام تحقیق حاضر بر روی استحکام باند میکروشیر دو نوع زیرکونیای Cercon و Zirkozahn با دو سمان رزینی Panavia F<sub>2</sub> و Rely x unicem<sub>2</sub> نتایج به دست آمده نشان داد که نوع سرامیک تأثیری بر روی استحکام باند ریزبرشی ندارد، در صورتی که نوع سمان مصرفی بر روی استحکام باند تأثیر دارد به گونه‌ای که، سمان Rely x استحکام باند بالاتری را نسبت به Panavia در هر دو نوع کور زیرکونیایی نشان داد و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود. در مجموع به نظر می‌رسد انتخاب مناسب نوع زیرکونیا و سمان مصرفی تأثیر چشمگیری بر موفقیت کلینیکی رستوریشن داشته باشد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه ۴۸۹۳ مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تهران می‌باشد که به این وسیله جهت تأمین منابع مالی سپاسگزاری می‌شود.

شرایط اعمال نیرو، تفاوت عمل‌کننده و از همه مهم‌تر Actual test setup نسبت داد. نتایج نشان دادند اختلاف معنی‌داری بین استحکام باند ریزبرشی دو کور زیرکونیایی وجود ندارد و با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیقات انجام گرفته بر روی انواع مختلف سرامیک زیرکونیا همچون تحقیقی که توسط Usumez و همکاران (۲۴) در سال ۲۰۱۳ و Kim و همکاران (۲۵) در سال ۲۰۱۱ بر روی اثر سمان‌های مختلف بر استحکام باند برشی سرامیک Lava انجام شد می‌توان نتیجه گرفت که به علت نزدیکی قدرت استحکام باند برشی در انواع مختلف سرامیک زیرکونیا، زیرکونیا بر روی استحکام باند برشی تأثیری ندارد که با نتیجه به دست آمده از مطالعه حاضر یکسان می‌باشد.

بررسی نوع شکست نمونه‌ها توسط استریومیکروسکوپ نشان داد که نوع شکست در سمان Panavia F<sub>2</sub> و Rely x unicem<sub>2</sub> در کل نمونه‌ها از نوع Adhesive می‌باشد. نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از تحقیق Usumez و همکاران (۲۴) در سال ۲۰۱۳ یکسان بود، ولی با نتایج به دست آمده از تحقیق Mirmohammadi و همکاران (۲۳) در سال ۲۰۱۰ که نشان داد نوع شکست در سمان Panavia عمدتاً از نوع Cohesive (شکست در داخل سمان رزینی) و در سمان Rely x

### منابع:

- 1- Kugel G, Perry RD, Aboushala A. Restoring anterior maxillary dentition using alumina- and zirconia-based CAD/CAM restorations. *Compend Contin Educ Dent*. 2003;24(8):569-72, 574, 576.
- 2- Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain MV. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dent Mater*. 2004;20(5):449-56.
- 3- Yilmaz H, Aydin C, Gul BE. Flexural strength and fracture toughness of dental core ceramics. *J Prosthet Dent*. 2007;98(2):120-8.
- 4- Blatz MB, Sadan A, Martin J, Lang B. In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J Prosthet Dent*. 2004;91(4):356-62.
- 5- Derand P, Derand T. Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont*. 2000;13(2):131-5.
- 6- Roulet JF, Soderholm KJ, Longmate J. Effects of treatment and storage conditions on ceramic/composite bond strength. *J Dent Res*. 1995;74(1):381-7.
- 7- Kato H, Matsumura H, Tanaka T, Atsuta M. Bond strength and durability of porcelain bonding systems. *J Prosthet Dent*. 1996;75(2):163-8.
- 8- Blatz MB, Sadan A, Martin J, Lang B. In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J Prosthet Dent*. 2004;91(4):356-62.
- 9- Ozcan M, Vallittu PK. Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater*. 2003;19(8):725-31.
- 10- Della Bona A, Anusavice KJ, Hood JA. Effect of ceramic surface treatment on tensile bond strength to a resin cement. *Int J Prosthodont*. 2002;15(3):248-53.
- 11- Soderholm KJ, Shang SW. Molecular orientation of silane at the surface of colloidal silica. *J Dent Res*. 1993;72(6):1050-4.
- 12- Chen JH, Matsumura H, Atsuta M. Effect of different etching periods on the bond strength of a composite resin to a machinable porcelain. *J Dent*. 1998;26(1):53-8.
- 13- Sheth J, Jensen M, Tolliver D. Effect of surface treatment on etched porcelain bond strength to enamel. *Dent Mater*. 1988;4(6):328-37.
- 14- Phoenix RD, Shen C. Characterization of treated porcelain surfaces via dynamic contact angle analysis. *Int J Prosthodont*. 1995;8(2):187-94.
- 15- Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in

dentistry. *Int J Prosthodont.* 2004;17(2):155-64.

16- Kern M, Wegner SM. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater.* 1998;14(1):64-71.

17- Ozcan M, Alkumru HN, Gemalmaz D. The effect of surface treatment on the shear bond strength of luting cement to glass-infiltrated alumina ceramic. *Int J Prosthodont.* 2001;14(4):335-9.

18- Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent.* 2005;33(1):9-18.

19- Zhang Y, Lawn BR, Rekow ED, Thompson VP. Effect of sandblasting on the long-term performance of dental ceramics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2004;71(2):381-6.

20- Wolfart M, Lehmann F, Wolfart S, Kern M. Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. *Dent Mater.* 2007;23(1):45-50.

21- Gerth HU, Dammaschke T, Züchner H, Schäfer E.

Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites--a comparative study. *Dent Mater.* 2006;22(10):934-41.

22- Piwowarczyk A, Ottl P, Lauer HC, Kuretzky T. A Clinical report and overview of scientific studies and clinical procedures conducted on the 3M ESPE Lava All-Ceramic System. *J Prosthodont.* 2005;14(1):39-45.

23- Mirmohammadi H, Aboushelib MN, Salameh Z, Feilzer AJ, Kleverlaan CJ. Innovations in bonding to zirconia based ceramics: Part III. Phosphate monomer resin cements. *Dent Mater.* 2010;26(8):786-92.

24- Usumez A, Hamdemirci N, Koroglu BY, Simsek I, Parlar O, Sari T. Bond strength of resin cement to zirconia ceramic with different surface treatments. *Lasers Med Sci.* 2013;28(1):259-66.

25- Kim MJ, Kim YK, Kim KH, Kwon TY. Shear bond strengths of various luting cements to zirconia ceramic: surface chemical aspects. *J Dent.* 2011;39(11):795-803.