

## تأثیر سیکل مکانیکی بر ریزش کامپوزیت‌های با انقباض کم با بیس متاکریلات در مقایسه با کامپوزیت سیلوران و ارزیابی تطابق لبه‌ای آنها توسط میکروسکوپ الکترونی

دکتر حمید کرمانشاه<sup>۱</sup> - دکتر اسماعیل یاسینی<sup>۲</sup> - دکتر راضیه حسینی‌فر<sup>۳+</sup>

۱- عضو مرکز تحقیقات دندانپزشکی و استادیار گروه آموزشی ترمیمی و زیبایی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران، تهران، ایران

۲- استاد گروه آموزشی ترمیمی و زیبایی و عضو مرکز تحقیقات دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران، تهران، ایران

۳- استادیار گروه آموزشی ترمیمی و زیبایی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی کرمان، کرمان، ایران

### The effect of load cycling on microleakage of low shrinkage methacrylate base composite compared with silorane base composite and SEM evaluation of marginal integrity

Hamid Kermanshah<sup>1</sup>, Esmail Yasini<sup>2</sup>, Razieh Hoseinifari<sup>3+</sup>

1- Assistant Professor, Member of Dental Research Center/Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Operative Dentistry/Member of Dental Research Center, School of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3+- Assistant Professor, Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran (hosseinifarrazi@yahoo.com)

**Background and Aims:** Marginal seal in class V cavity and determination of the best restorative material in reducing microleakage is of great concern in operative dentistry. The aim of this study was to evaluate the effect of load cycling on the microleakage of low shrinkage composites compared with methacrylate-based composites with low shrinkage rate in class V cavity preparation. Marginal integrity of these materials was assessed using scanning electron microscope (SEM).

**Materials and Methods:** In this in vitro study, class V cavity preparations were made on the buccal and lingual surfaces of 48 human premolars and molars (96 cavities). The specimens were divided into four groups each containing 12 teeth (24 cavities): group 1 (Kalore-GC+ G-Bond), group 2 (Futurabond NR+Grandio), group 3 (All Bond SE+ Aelite LS Posterior), group 4 (LS System Adhesive Primer & Bond+Filtek P90). All the specimens were thermocycled for 2000 cycles (5-50°C). In each group, half of the specimens (n=12) were subjected to 200,000 cycles of loading at 80 N. Epoxy resin replicas of 32 specimens (4 restorations in each subgroup) were evaluated using SEM and the interfacial gaps were measured. Finally, the teeth were immersed in 0.5% basic fuchsin dye for 24 hours at 37°C, then sectioned and observed under stereomicroscope. The data were analyzed using Kruskal-Wallis and Mann-Whitney U tests and the comparison between occlusal and gingival microleakage was made with Wilcoxon test.

**Results:** Within unloaded or loaded specimens, there were no significant differences in microleakage among four groups on the occlusal margins (P>0.05). But there were statistically significant differences in microleakage between silorane and Aelite on the gingival margins (P<0.05). No statistically significant differences were found between the microleakage of the loaded and unloaded groups on both occlusal and gingival margins for all materials (P>0.05).

**Conclusion:** Silorane did not perform better than the conventional low shrinkage methacrylate-based composite in terms of sealing ability (except Aelite). Cyclic loading did not increase the extent of leakage in any groups.

**Key Words:** Low Shrinkage Composite; Microleakage; Cycling; Silorane

Journal of Dental Medicine-Tehran University of Medical Sciences 2013;26(1):8-18

+ مولف مسوول: کرمان - بلوار جمهوری اسلامی - انتهای خیابان شفا - دانشکده دندانپزشکی کرمان - گروه آموزشی ترمیمی و زیبایی  
تلفن: ۲۱۱۹۰۲۱ نشانی نشانی الکترونیک: hosseinifarrazi@yahoo.com

## چکیده

**زمینه و هدف:** ایجاد تطابق لبه‌ای در حفره‌های کلاس V و انتخاب بهترین ماده ترمیمی برای کاهش میزان ریزش، یکی از چالش‌های مهم در دندانپزشکی ترمیمی است. هدف این مطالعه بررسی اثر سیکل مکانیکی بر ریزش کامپوزیت‌های با انقباض کم در مقایسه با کامپوزیت‌های با بیس متاکریلات با درصد انقباض پایین در حفرات کلاس V و ارزیابی تطابق لبه‌ای آنها توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) بود.

**روش بررسی:** در این مطالعه تجربی آزمایشگاهی حفره‌های CI V در سطح باکال و لینگوآل ۴۸ دندان پرمولر و مولر انسانی تراشیده شد (۹۶ حفره). دندان‌ها به ۴ گروه ۱۲ تایی (۲۴ حفره) تقسیم شدند: گروه یک: کامپوزیت G-Bond+Kalore-GC، گروه دو: کامپوزیت Futurabond NR+Grandio، گروه سه: کامپوزیت All Bond SE+Aelite LS Posterior و گروه چهار: کامپوزیت LS System Adhesive Primer+Bond +Filtek P90. همه دندان‌ها تحت ۲۰۰۰ سیکل حرارتی قرار گرفتند. نیمی از ترمیم‌های هر گروه (n=۱۲) تحت ۲۰۰۰۰۰ سیکل مکانیکی با نیروی ۸۰ نیوتن قرار گرفتند. رپلیکای اپوکسی رزین ۳۳ نمونه (۴ ترمیم از هر زیرگروه) تحت SEM بررسی و درصد درزهای بینابینی محاسبه شد. در نهایت دندان‌ها در فوشین بازی ۰/۵٪ به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس دندان‌ها، برش داده شده و تحت استریومیکروسکوپ مشاهده شدند. آنالیز آماری با استفاده از تست‌های Kruskal-Wallis و Mann-Whitney انجام شد و ریزش اکلوزال و جینجیوال با تست Wilcoxon مقایسه شد.

**یافته‌ها:** میزان ریزش اکلوزالی بین ۴ گروه (در حالت با و بدون سیکل مکانیکی) معنی‌دار نبود ( $P>0/05$ ). ولی میزان ریزش جینجیوالی (در هر دو حالت با و بدون اعمال سیکل مکانیکی) در گروه سوم (Aelite) به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های ترمیم شده با سیلوران بود ( $P<0/05$ ). در هیچیک از گروه‌ها اعمال سیکل مکانیکی منجر به افزایش میزان ریزش در اکلوزال یا جینجیوال نشده بود ( $P>0/05$ ).

**نتیجه‌گیری:** سیلوران عملکرد بهتری نسبت به کامپوزیت‌های با بیس متاکریلات با انقباض کم در مطالعه حاضر نداشته است (به جز Aelite) و همچنین اعمال سیکل مکانیکی موجب افزایش ریزش نشد.

**کلید واژه‌ها:** سیکل؛ ریزش؛ کامپوزیت‌های با انقباض کم؛ سیلوران

وصول: ۹۱/۰۴/۲۵ اصلاح نهایی: ۹۲/۰۱/۲۰ تأیید چاپ: ۹۲/۰۱/۲۸

## مقدمه

(3M ESPE, Dental Product, ST Paul, USA) یک گروه جدید

از منومرهای Ring-opening می‌باشد که جهت غلبه بر مشکل مربوط به انقباض حین پلیمریزاسیون توسط شرکت 3M ESPE سنتز شده است. سیلوران از ترکیب سایلوکسان و اکسی‌ران مشتق شده است که دارای خصوصیات هر دو ماده یعنی سازگاری زیستی و هیدروفوبیسیته و انقباض کم می‌باشد (۸،۹).

این کامپوزیت‌ها برخلاف کامپوزیت‌های با بیس متاکریلات که از طریق واکنش افزایشی پیوند دوگانه در گروه فانکشنال پلیمریزه می‌شوند، توسط واکنش باز شدن حلقه‌ای پلیمریزه می‌شوند که این باز شدن سبب جبران کاهش حجم ناشی از پک شدن منومرها می‌شود.

مطالعات قبلی بهبود قابل ملاحظه‌ای را در تطابق لبه‌ای (Marginal integrity) مینا و عاج به وسیله سیلوران در مقایسه با کامپوزیت‌های بایس متاکریلات نشان داده‌اند (۱۰،۱۱). اگرچه برخی از مطالعات نیز نشان داده‌اند که سیلوران عملکرد بهتری نسبت به کامپوزیت‌های بایس متاکریلات نداشته است (۱۵-۱۲).

Grandio (Voco Cuxhaven, Germany) رزین کامپوزیت نانو هیبرید با محتوای فیلر بالا (۸۷٪ وزنی و ۷۱/۴٪ حجمی) می‌باشد

با وجود آن که مواد رزین کامپوزیت از زمان معرفی شدنشان (۴۰ سال پیش) تاکنون پیشرفت‌های زیادی داشته‌اند، اما انقباض حین پلیمریزاسیون این مواد همچنان به صورت یک مشکل اساسی باقی مانده است (۱،۲).

میزان این انقباض حجمی از ۲ تا ۵ درصد می‌باشد، که سبب ایجاد استرس در اینترفیس ترمیم- دندان می‌شود (۳) و ممکن است سبب دبانند شدن کامپوزیت- دندان در اینترفیس و متعاقباً حساسیت پس از درمان، پوسیدگی ثانویه و ریزش شود (۴).

تکنیک‌های متفاوتی جهت کاهش انقباض حین پلیمریزاسیون و ریزش متعاقب آن گزارش شده‌اند، که شامل کاربرد لایه بینابینی با الاستیک مدولوس پایین بین ترمیم و دندان، کاهش میزان پلیمریزاسیون با استفاده از لایت کیور با شدت اولیه کم (Initial low intensity) و استفاده از تکنیک قرار دادن ماده ترمیم به صورت لایه لایه (Incremental) می‌باشد (۵،۶).

یک روش دیگر جهت کنترل انقباض حین پلیمریزاسیون، استفاده از کامپوزیت‌های با انقباض کم می‌باشد (۷). سیلوران

دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

در باکال و لینگوال دندان‌ها، حفرات کلاس V استاندارد به ابعاد ۳ میلی‌متر مزیدستیالی و ۳ میلی‌متر اکلوژوجینجیوالی و عمق ۱ میلی‌متر داخل عاج و لبه جینجیوالی ۱ میلی‌متر زیر CEJ (با مارچین اکلوژالی در مینا و مارچین جینجیوالی در سمان-عاج) با هندپیس دور تند و فرز فیشر الماسی ۰/۸ (Tizkavan, Iran) همراه با جریان همزمان آب، تراش داده شدند. با تراش هر ۵ حفره، فرز تعویض گردید و به این ترتیب ۹۶ حفره دندان‌ی ایجاد شد. سپس نمونه‌ها به صورت تصادفی در یکی از گروه‌های زیر قرار گرفتند (که هر گروه ۱۲ دندان و ۲۴ حفره را شامل می‌شد):

گروه اول (K): پس از گرفتن رطوبت، نواحی مینایی حفره به مدت ۱۵ ثانیه توسط اسید فسفریک ۳۷٪ (Total etch, Ivoclar, Vivadent) لچ شده و به مدت ۱۵ ثانیه شستشو داده و با گلوله پنبه خشک شدند. سپس با میکروبراش G-Bond (GC Corporation, Tokyo, Japan) به تمامی دیواره‌ها زده شد، ۱۰ ثانیه صبر کرده، با پوار هوا به طور کامل برای ۵ ثانیه خشک کرده و سپس به مدت ۲۰ ثانیه کیور شد. سپس حفره به صورت لایه‌لایه (Incremental) با کامپوزیت Kalore-GC (GC Corporation, Tokyo, Japan) Shade A 3.5 ترمیم شده و در هر مرحله با دستگاه لایت‌کیور LED (Guilin woodpecker, Medical instrument Co, China) و شدت ۹۰۰ میلی‌وات/سانتی‌متر مربع به مدت ۴۰ ثانیه کیور شد.

گروه دوم (G): پس از گرفتن رطوبت، نواحی مینایی حفره به مدت ۱۵ ثانیه توسط اسید فسفریک ۳۷٪ (Total etch, Ivoclar, Vivadent) لچ شده و به مدت ۱۵ ثانیه شستشو داده و با گلوله پنبه خشک شدند. سپس Futurabond NR (Voco Cuxhaven, Germany) به مدت ۲۰ ثانیه بر روی سطوح مینایی و عاجی حفره زده شد و به مدت ۵ ثانیه توسط پوار هوا خشک شده و به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه لایت‌کیور LED کیور شد. سپس حفره به صورت لایه‌لایه با کامپوزیت Grandio (Voco Cuxhaven, Germany) Shade A 3.5 ترمیم شده و در هر مرحله با دستگاه لایت‌کیور LED و شدت ۹۰۰ میلی‌وات/سانتی‌متر مربع به مدت ۴۰ ثانیه کیور شد.

که ساختار نانو پارتیکل فیلرها منجر به کاهش انقباض آن (۱/۵۷) شده است (۱۱،۱۶). Aelite (Bisco, Inc., Schaumburg, USA) نیز یک کامپوزیت هیبرید با محتوای فیلر بالا می‌باشد (۸۸/۵٪ وزنی با ۷۴٪ حجمی) که محتوای بالای فیلر آن منجر به کاهش انقباض پلیمریزاسیون (۱/۳۹) آن شده است (۱۷).

Kalore (GC Corporation, Tokyo, Japan) دارای منومر Urethane Dimethacrylate با وزن مولکولی بالاست (DX511) که ترکیب وزن مولکولی بالای منومر و تعداد کم باند دو گانه کربنی آن منجر به کاهش انقباض پلیمریزاسیون (۱/۷) شده است (۱۸،۱۹).

تضعیف رزین آدهزیو به وسیله اعمال سیکل مکانیکی و حرارتی یک موضوع مهم در دندانپزشکی ترمیمی می‌باشد. مطالعات پیشنهاد کرده‌اند که اعمال سیکل مکانیکی و حرارتی سبب تسریع تخریب اینترفیس دنتین-رستوریشن می‌شود و می‌تواند اثر مخرب بر دوام طولانی مدت و انطباق رستوریشن کامپوزیتی داشته باشد (۲۰،۲۱). اگرچه نتایج در این زمینه متناقض بوده و برخی از مطالعات نیز گزارش کرده‌اند که اعمال سیکل مکانیکی تأثیری بر میزان ریزش کامپوزیت‌ها و تطابق لبه‌ای آنها نداشته است (۲۲،۲۳).

از آنجایی که هنوز SEM به عنوان استاندارد طلایی برای تعیین ریزش لبه‌ای در ترمیم‌های چسباننده مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد و در حفرات کلاس V به دلیل سایز کوچک‌تر حفره، ارزیابی SEM آن آسان‌تر و شایع‌تر می‌باشد (۱۳) در نتیجه در تحقیق حاضر ما به مقایسه ریزش رزین کامپوزیت با انقباض کم با رزین کامپوزیت‌های با بیس متاکریلات (که کامپوزیت‌های فوق نیز دارای مقادیر کمی انقباض حین پلیمریزاسیون می‌باشند) به وسیله روش نفوذ رنگ پرداختیم. همچنین در این مطالعه ارزیابی تطابق لبه‌ای بعد از ترموسیکل و اعمال سیکل مکانیکی توسط SEM مورد بررسی قرار گرفت.

## روش بررسی

در این مطالعه آزمایشگاهی تعداد ۴۸ عدد دندان پرمولر و مولر انسانی با سطوح باکال و لینگوال سالم و عاری از پوسیدگی و دکلسیفیکاسیون مورد استفاده قرار گرفتند و جهت ضدعفونی کردن به مدت ۱ هفته در محلول کلرامین T ۰/۰۵٪ نگهداری شدند. سپس تا زمان انجام آزمایش در محلول سالین (سدیم کلراید ۰/۰۹٪ در آب) و

ترموسایکلینگ در دستگاه (Malek Teb, Iran) تحت ۲۰۰۰ سیکل در دماهای ۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد با زمان اکسپوزر ۳۰ ثانیه و زمان جابجایی ۱۰ ثانیه قرار داده شدند.

سپس نیمی از نمونه‌های هر گروه درون آب مقطر و در دمای محیط نگهداری شدند و نیمی دیگر تحت سیکل مکانیکی توسط دستگاه (Taksaz Ideh, Iran) قرار گرفتند.

اعمال سیکل مکانیکی:

هر دندان در مرکز و به موازات دیواره‌های هر سیلندر در داخل آکریل خود سخت شونده (Acropars 200, Malic Medical) Industries Co, Tehran, Iran تا ۱ میلی‌متر زیر مارجین جینجیوالی ترمیم قرار داده شد و سپس تحت ۲۰۰ هزار سیکل آگزیریالی با نیروی ۸۰ N و جابجایی ۱ میلی‌متر و فرکانس ۲Hz قرار گرفتند.

آماده‌سازی رپلیکاهای (Field Emission Scanning Electron Microscopy) FE-SEM

در ادامه کار قبل از برش دندان‌ها، در هر زیر گروه به صورت تصادفی از چهار حفره قالب تهیه شد (Precise, Coltene, Switzerland) و رپلیکای اپوکسی رزین مثبت به دست آمد. هر رپلیکا بر Stub فلزی مانت و Gold sputter شده و تحت (Hitachi S-4160, Japan) FE-SEM تا بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر برای ارزیابی تطابق لبه‌ای مشاهده شد. قبل از ارزیابی تطابق لبه‌ای، ابعاد اکلوزوجینجیوالی و مزیو دیستالی ترمیم‌ها روی رپلیکاها با نرم‌افزار SEM اندازه‌گیری شده و نتایج با اندازه‌گیری‌های قبلی ثبت شده توسط ابعاد حفره مقایسه گردید. این روش امکان شناسایی غیبت مارجین‌های Over extended را که بر ارزیابی درزهای مارجینال اثر می‌گذارد، ممکن می‌سازد. مارجین‌های اکلوزالی و جینجیوالی هر ترمیم بررسی شد و حضور درز (Gap) ثبت گردید. کل طول Interfacial gap ها به صورت درصد طول کل مارجین‌های ترمیم به این شکل محاسبه شد: مارجین‌های حفره به ۸ بخش تقسیم شد. هر یک ۱۲/۵٪ طول کلی مارجین‌های ترمیم را تشکیل می‌دادند. هر بخش جداگانه مشاهده شد و درصد گسترش درزها ثبت شد. طول کلی Interfacial gap ها با مجموع درصد‌های درزهای مارجینال ثبت شده در هر بخش به دست آمدند.

تست ریزش: بعد از تهیه رپلیکاهای FE-SEM انتهای ریشه

گروه سوم (A): پس از گرفتن رطوبت، نواحی مینایی حفره به مدت ۱۵ ثانیه توسط اسید فسفریک ۳۷٪ (Total etch, Ivoclar, Vivadent) اچ شده و به مدت ۱۵ ثانیه شستشو داده و با گلوله پنبه خشک شدند. سپس به وسیله میکروبراش دو لایه (Bisco, Inc., Schaumburg, USA) All Bond SE به مدت ۵ تا ۱۰ ثانیه روی تمامی دیواره‌ها زده شد و از فاصله ۵ سانتی‌متری به مدت ۵ ثانیه با پوار ملایم هوا خشک شد، سپس با فشار بیشتر هوا در ناحیه کاووسورفیس به مدت ۵ ثانیه خشک شد. (اگر سطح براق (Shiny) ایجاد نشده بود، مجدداً مراحل تکرار می‌شد) و به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه لایت‌کیور LED کیور شد. سپس حفره به صورت لایه‌لایه با کامپوزیت Aelite LS Posterior (Bisco, Inc., Schaumburg, USA) Shade A 3.5 ترمیم شده و در هر مرحله با دستگاه لایت‌کیور LED و شدت ۹۰۰ میلی‌وات/سانتی‌متر مربع به مدت ۴۰ ثانیه کیور شد.

گروه چهارم (S): پس از گرفتن رطوبت، نواحی مینایی حفره به مدت ۱۵ ثانیه توسط اسید فسفریک ۳۷٪ (Total etch, Ivoclar, Vivadent) اچ شده و به مدت ۱۵ ثانیه شستشو داده و با گلوله پنبه خشک شدند. سپس توسط میکروبراش سلف اچ پرایمر سیلوران (3M ESPE, Dental Product, ST Paul, USA) به مدت ۱۵ ثانیه بر روی مینا و عاج زده شد و سپس پوار ملایم هوا زده شده و ۱۰ ثانیه کیور شد. ادهزیو باند (3M ESPE, Dental Product, ST Paul, USA) با میکرو براش زده شده و بعد از زدن پوار ملایم هوا، ۲۰ ثانیه کیور شد. سپس حفره به صورت لایه‌لایه با کامپوزیت shade A 3.5 Filtek P90 (3M ESPE, Dental Product, ST Paul, USA) ترمیم شده و در هر مرحله با دستگاه لایت‌کیور LED و شدت ۹۰۰ میلی‌وات/سانتی‌متر مربع به مدت ۴۰ ثانیه کیور شد.

قابل ذکر است که تمامی باندینگ‌های به کار رفته در این تحقیق Self etch می‌باشند.

تمامی نمونه‌ها توسط فرز الماسی پرداخت کامپوزیت و دیسک‌های پرداخت Opti Disk (kerr, USA) پالیش شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درحالی‌که درون آب مقطر قرار داشتند، در انکوباتور با دمای ۳۷ درجه نگهداری شدند و بعد از آن نمونه‌ها جهت

روش‌های آماری متغیرهای وابسته، کیفی رتبه‌ای بود که توزیع آن در زیر گروه‌های مطالعه به صورت فراوانی خام و درصد گزارش شد. برای مقایسه میزان ریزش بین دو گروه (با load و بدون load) از آزمون Mann-Whitney Test استفاده شد.

برای مقایسه میزان ریزش بین گروه‌های مطالعه (۴ تا گروه A, K, S, G) از آزمون Kruskal-Wallis استفاده شد. در مواقعی که این تست معنی‌دار می‌شد، برای مقایسه دو به دو گروه‌ها از Dunn Procedure استفاده شد. و ریزش اکلوزال و جینجیوال با تست Wilcoxon مقایسه شد.

ملاک قضاوت آماری درباره فرضیه‌ها، توجه به P-value بوده است که هر کجا ( $P < 0/05$ ) شد، فرضیه  $H_0$  در آن مورد رد شده است.

### یافته‌ها

میزان ریزش اکلوزالی و جینجیوالی کامپوزیت‌های مختلف در حالات با و بدون سیکل مکانیکی در جدول ۱ آمده است.

از نظر آماری تفاوت بین میزان ریزش اکلوزالی بین ۴ گروه در حالت بدون اعمال سیکل مکانیکی معنی‌دار نیست ( $P=0/92$ ).

همچنین تفاوت بین میزان ریزش اکلوزالی بین ۴ گروه در حالت اعمال سیکل مکانیکی نیز معنی‌دار نمی‌باشد ( $P=1$ ).

دندان‌ها موم چسب زده شده، همه سطوح دندانی به غیر از بخش پرکردگی‌ها و ۱ میلی‌متر پیرامون مارجین آن توسط ۲ لایه لاک ناخن کاملاً مهروموم گردیده و سپس درون محلول فوشین بازی ۰/۵٪ در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند. نمونه‌ها، سپس با محلول فیزیولوژیک، شستشو داده شده و خشک شدند.

در مرحله بعدی نمونه‌ها در اکریل خود سخت‌شونده مانع شدند و به وسیله دستگاه برش (Presi, Mecatome, T201A, France) با استفاده از دیسک الماسی دوطرفه به ضخامت ۰/۳ میلی‌متر به طور طولی (سرعت دورانی تیغه ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت رو به جلوی تیغه ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه) از نیمه ترمیم برش داده شدند. در طول برش از جریان آب جهت شستشوی دبری‌ها کمک گرفته شده و سپس نمونه‌های برش خورده زیر استریومیکروسکوپ (Nicon, 30-DS, SMZ800, Tokyo, Japan) با بزرگنمایی ۱۰ و ۴۰ برابر در ۲ ناحیه اکلوزال و جینجیوال بررسی شدند. نفوذ رنگ در ۴ سطح زیر رتبه‌بندی می‌شد:

صفر: بدون نفوذ رنگ

یک: نفوذ رنگ تا  $\frac{1}{4}$  دیواره اکلوزالی یا جینجیوالی

دو: نفوذ رنگ بیش از  $\frac{1}{4}$  دیواره اکلوزالی یا جینجیوالی، که به

دیواره اگزالیال نرسیده باشد.

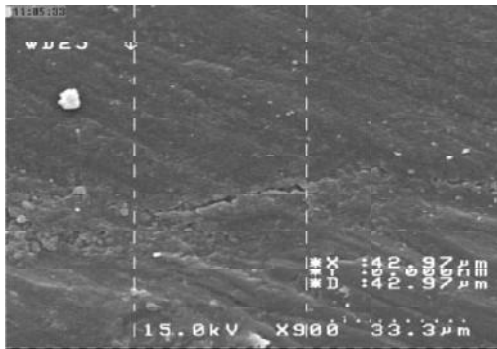
سه: نفوذ رنگ که به دیواره اگزالیال برسد.

جدول ۱- فراوانی میزان ریزش در هر یک از مارجین‌ها برحسب ۲ عامل (ماده ترمیمی، اعمال سیکل مکانیکی)

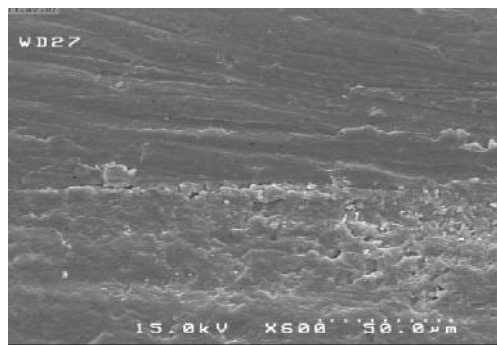
عوامل	میزان ریزش در هر یک از مارجین‌ها				فراوانی میزان ریزش					
	۰	۱	۲	۳	در مارجین جینجیوال	در مارجین اکلوزال	۰	۱	۲	۳
Silorane	Cycle	۹ (٪۷۵)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۶ (٪۵۰)	۵ (٪۴۲)	۱ (٪۸)	۰ (٪۰)	
	Non cycle	۱۰ (٪۸۳)	۲ (٪۱۷)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۷ (٪۵۸)	۵ (٪۴۲)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	
Gradino	Cycle	۹ (٪۷۵)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۱ (٪۸)	۶ (٪۵۰)	۵ (٪۴۲)	۰ (٪۰)	
	Non cycle	۱۰ (٪۸۳)	۲ (٪۱۷)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۲ (٪۱۷)	۷ (٪۵۸)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	
Kolare	Cycle	۹ (٪۷۵)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۱ (٪۸)	۷ (٪۵۸)	۴ (٪۳۴)	۰ (٪۰)	
	Non cycle	۹ (٪۷۵)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۳ (٪۲۵)	۶ (٪۵۰)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	
Aelite Ls	Cycle	۹ (٪۷۵)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۵ (٪۴۲)	۶ (٪۵۰)	۱ (٪۸)	
	Non cycle	۹ (٪۷۵)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۲ (٪۱۷)	۵ (٪۴۲)	۴ (٪۳۴)	۱ (٪۸)	
Posterior	Cycle	۹ (٪۷۵)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۵ (٪۴۲)	۴ (٪۳۴)	۱ (٪۸)	
	Non cycle	۹ (٪۷۵)	۳ (٪۲۵)	۰ (٪۰)	۰ (٪۰)	۲ (٪۱۷)	۵ (٪۴۲)	۴ (٪۳۴)	۱ (٪۸)	

جدول ۲- نتایج FE-SEM (به صورت درصد درز بینابینی)

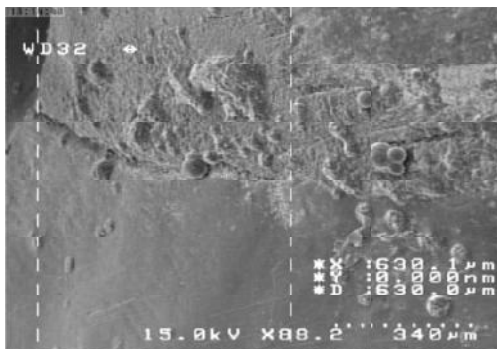
مقادیر حداقل - حداکثر	متوسط درصد درز بینابینی مارجین‌ها	عوامل	
۱۰-۱۰۵ μm	٪۰/۴۲	Non cycle	Gradino
۰-۶۳۰ μm	٪۱/۲۹	Cycle	
۱۶-۱۰۰ μm	٪۰/۵	Non cycle	Silorane
۰-۴۰۰ μm	٪۱/۰۴	Cycle	
۱۹۵-۱۰۰۰ μm	٪۲/۹۱	Non cycle	Aelite
۵۹۰-۱۰۰۰ μm	٪۳/۷	Cycle	
۴۷-۱۷۷ μm	٪۰/۹۵	Non cycle	Kolare
۳۷-۳۵۰ μm	٪۱/۴۵	Cycle	



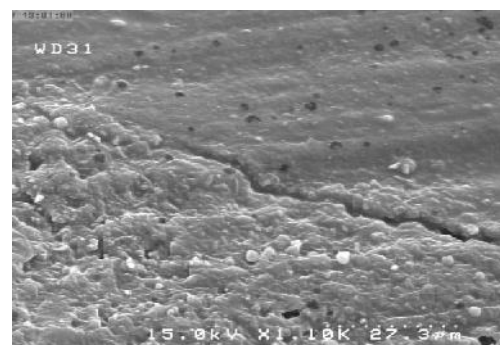
الف (۲)- تصویر FE-SEM از نمونه‌های ترمیم شده با سیلوران در حالت اعمال سیکل مکانیکی



ب (۱)- تصویر FE-SEM از نمونه‌های ترمیم شده با گراندیو



ب (۲)- تصویر FE-SEM از نمونه‌های ترمیم شده با گراندیو در حالت اعمال سیکل مکانیکی



شکل ۱- الف (۱)- تصویر FE-SEM از نمونه‌های ترمیم شده با سیلوران

ولی میزان ریزش جینجیوالی در حالت بدون اعمال سیکل مکانیکی در گروه سوم (Aelite) به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های ترمیم شده با سیلوران بود ( $P=۰/۰۳$ ). همچنین میزان ریزش جینجیوالی در حالت اعمال سیکل مکانیکی در گروه سوم (Aelite) نیز به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های ترمیم شده با سیلوران بود ( $P=۰/۰۴۹$ ). در مقایسه میزان ریزش بین مارجین‌های اکولوزال و جینجیوال در هر یک از گروه‌ها (A, K, S, G) به جز سیلوران، میزان ریزش به طور معنی‌داری در جینجیوال بیشتر از اکولوزال بود (در هر دو حالت با و بدون اعمال سیکل مکانیکی) ( $P<۰/۰۵$ ). در مقایسه میزان ریزش برحسب به کارگیری سیکل مکانیکی، در هیچیک از گروه‌ها اعمال سیکل مکانیکی منجر به افزایش میزان ریزش در اکولوزال یا جینجیوال نشده بود ( $P>۰/۰۵$ ). نتایج FE-SEM (به صورت درصد درز بینابینی) در جدول ۲ آمده است (شکل ۱- الف (۱)، الف (۲) - ب (۱)، ب (۲) - پ (۱)، پ (۲) - ت (۱)، ت (۲)).

## بحث و نتیجه گیری

با پیشرفت‌های اخیر، امروزه کامپوزیت‌ها دارای خصوصیات فیزیکی و زیبایی مطلوب می‌باشند. اما هنوز انقباض حین پلیمریزاسیون و ریزش‌ها مرتبط با آن یکی از معایب مهم کامپوزیت‌ها می‌باشد.

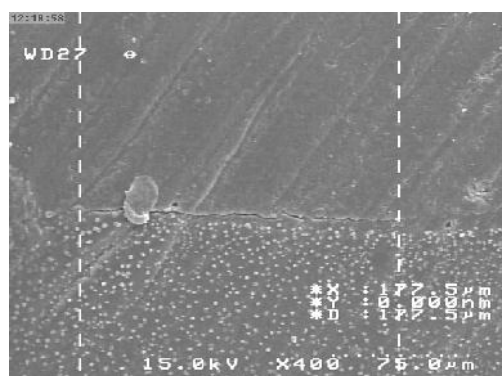
فاکتورهای مختلفی بر سیل مواد مؤثرند، که شامل فاکتورهای وابسته به ماده (مدول الاستیک، ضریب انبساط حرارتی) و فاکتورهای غیر وابسته به ماده (شکل و سایز حفره، تکنیک کیورینگ، محل مارجین، شرایط دهانی مثل نیروی اکلوژالی و تغییرات حرارتی) می‌باشند (۱۲، ۲۴، ۲۵).

در مطالعه حاضر میزان ریزش‌ها در گروه‌های A، K، G در لبه‌های (Margin) عاجی به طور معنی‌داری بیشتر از لبه‌های مینایی بود، (چه در حالت با سیکل مکانیکی و چه در حالت بدون سیکل مکانیکی) که این یافته موافق با مطالعات قبلی است که نشان می‌دهند میزان ریزش‌ها در لبه‌های مینایی کمتر از لبه‌های عاجی می‌باشد (۲۲، ۲۴، ۲۶).

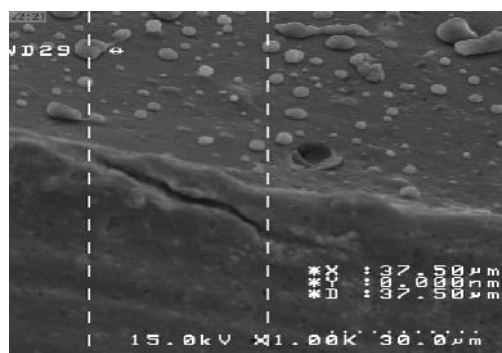
اما برخلاف نتیجه مطالعه Xie و همکاران است که در حفرات کلاس V ترمیم شده با کامپوزیت Flowable (Aelite Flo) و باندینگ Tyrian SPE+One step Plus بعد از اعمال ۵۰ هزار سیکل مکانیکی با نیروی ۱۰۰N و ۱۵۰۰ سیکل حرارتی (۵۰-۵۰ سانتی‌گراد)، اینگونه گزارش کرد که تحت نیروی اکلوژالی تفاوتی در ریزش‌ها اکلوژالی و سرویکالی ایجاد نشد (۲۵). دلیل تفاوت نتایج می‌تواند ناشی از تفاوت بودن کامپوزیت مورد استفاده و طبقه‌بندی ریزش‌ها باشد.

بعضی از نویسندگان ادعا کرده‌اند که الاستیک مدولوس پایین‌تر و افزایش انعطاف‌پذیری کامپوزیت Flowable می‌تواند موجب مقاومت در برابر شکست و کاهش اثرات سیکل اکلوژالی و کاهش استرس انقباض پلیمریزاسیون گردد. در نتیجه این خاصیت ریزش‌ها را در ناحیه سرویکالی کاهش می‌دهد (۲۷، ۲۸).

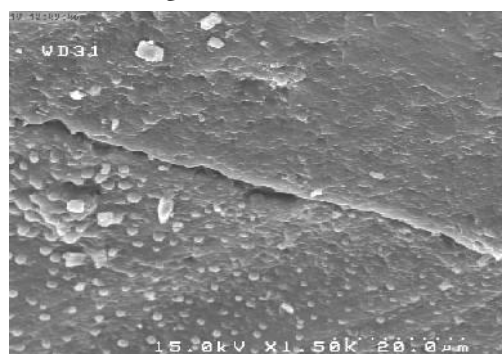
از این گذشته دلیل تفاوت آماری معنی‌دار بین ریزش‌ها لبه‌های مینا و عاج در گروه‌های A، K، G می‌تواند به دلیل تفاوت ساختاری مینا و عاج باشد که موجب می‌شود باند به مینا قوی‌تر از عاج باشد. چون مینا بافت معدنی بیشتری (۹۰٪ حجمی) نسبت به عاج داشته ولی عاج محتوای مواد آلی و آب بیشتری دارد که سطح مرطوب‌تری را ایجاد می‌کند و همچنین به علت وجود توپول‌های عاجی، باندینگ در



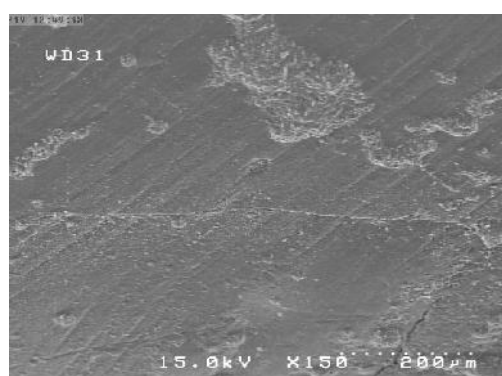
پ (۱)-تصویر FE-SEM از نمونه‌های ترمیم شده با Kalore-GC



پ (۲)-تصویر FE-SEM از نمونه‌های ترمیم شده با Kalore-GC در حالت اعمال سیکل مکانیکی



ت (۱)-تصویر FE-SEM از نمونه‌های ترمیم شده با Aelite



ت (۲)-تصویر FE-SEM از نمونه‌های ترمیم شده با Aelite در حالت اعمال سیکل مکانیکی

در مطالعه Boaro و همکاران که میزان ریزشست کامپوزیت‌های Z250، سیلوران، Aelite، Heliomollor و Venus Diamond را در حفرات سیلندری شکل دندان انسیزور گاوی با C فاکتور ۲/۵ بعد از ۲۴ ساعت ذخیره در آب سنجید، نتایج نشان داد که Aelite میزان ریزشست بیشتری از بقیه کامپوزیت‌ها داشت (۳۷) که با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

در مطالعه Calheiros و همکاران (۳۸) نیز در حفرات سیلندری شکل با C فاکتور ۲/۵ که با کامپوزیت‌های Z250، Heliomolar، InTen-S و Aelite پر شدند، نتایج نشان داد که Aelite بیشترین میزان ریزشست را بین تمامی گروه‌ها داشت. به علاوه Aelite به طور معنی‌داری بالاترین میزان استرس انقباضی را نشان داد که با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

طبق قانون hook استرس انقباضی حین پلیمریزاسیون با انقباض حجمی کامپوزیت و خصوصیت ویسکوالاستیک (مدول الاستیک) آن مشخص می‌شود که این دو خصوصیت تحت تأثیر محتوای فیلر می‌باشند (۱۷). با افزایش فیلر میزان انقباض حجمی کاهش می‌یابد، ولی Stiffness نیز افزایش یافته و Flow ماده کم می‌شود در نتیجه استرس افزایش می‌یابد (۳۸).

از آنجایی که خصوصیت ویسکوالاستیک ماده بیشتر از انقباض حجمی بر استرس ایجاد شده تأثیرگذار است. علت ریزشست بیشتر در Aelite آن است که الاستیک مدول بسیار بالای آن که در نتیجه محتوای فیلر بالای آن است، باعث Stiffness بالای کامپوزیت می‌شود. که این Stiffness بالا، انقباض کم آن را خنثی می‌کند و استرس انقباضی زیادی را نشان می‌دهد. در واقع برای Aelite افزودن میزان فیلر برای کاهش حجم رزین یک روش مؤثر برای کاهش انقباض Post-gel و استرس پلیمریزاسیون نمی‌باشد (۳۸،۳۹).

این درحالی است که در سیلوران مکانیسم پلیمریزاسیون متفاوت (Ring-opening) و وزن مولکولی بالاتر در کنار محتوای فیلر بیشتر منجر به کاهش میزان ریزشست می‌شود (۴۰) و در Kalore وجود منومر DX 511 با وزن مولکولی بالا و تعداد باندهای دوگانه کربنی کم، باعث کاهش انقباض حین پلیمریزاسیون و کاهش ریزشست می‌شود (۱۸،۱۹).

نتایج حاصله از FE-SEM نیز بیانگر درصد درزهای بینابینی بیشتر

عاج ضعیف‌تر می‌باشد. همچنین محققان بیان کرده‌اند که در کامپوزیت، استحکام آدهزیو در سوسترای سمایی نسبت به مینا پایین‌تر است (۲۹،۳۰)، در نتیجه ریزشست بالاتر در لبه‌های عاجی می‌تواند مورد انتظار باشد (۳۱،۳۲).

به علاوه در مطالعه حاضر قبل از کاربرد باندینگ‌های سلف اچ یک مرحله‌ای، مینا به مدت ۱۵ ثانیه با اسید فسفریک اچ می‌شد که مطالعات نشان داده‌اند استفاده از اچ قبل از کاربرد سلف اچ‌ها باعث اچ بهتر مینا شده و آدپتاسیون لبه‌ای بهتری را می‌دهد (۳۳).

اما در مطالعه حاضر برخلاف بقیه گروه‌ها میزان ریزشست بین لبه‌های مینایی و لبه‌های عاجی در سیلوران تفاوت معنی‌داری نداشت (در حالت با و بدون سیکل مکانیکی) که خود نشانه کمتر بودن میزان ریزشست سیلوران در لبه‌های عاجی نسبت به بقیه گروه‌ها می‌باشد. این نتیجه به نظر می‌رسد به این دلیل باشد که سیلوران یک کامپوزیت با انقباض کم است و در لبه‌های سرویکالی انقباض پلیمریزاسیون کم قادر بر غلبه بر استحکام آدهزیو نیست و ریزشست هم اندک می‌باشد. به علاوه پرایمر سیلوران دارای  $pH=2/7$  می‌باشد که باعث ایجاد اچ mild و باند قوی و پایدار در عاج می‌شود (۱۲،۲۴). به علاوه Mine و همکاران نشان داده‌اند که پرایمر P90 توانایی برقراری باند شیمیایی به کریستال هیدروکسی آپاتیت را دارا می‌باشد (۳۴).

همچنین برخی مطالعات میزان ریزشست بیشتر و استحکام باند به عاج کمتر باندینگ‌های سلف اچ یک مرحله‌ای (One step) را نسبت به باندینگ‌های سلف اچ دو مرحله‌ای (Two step) گزارش کرده‌اند (۳۵،۳۶) که در مطالعه حاضر باندینگ سیلوران سلف اچ دو مرحله‌ای (نسل ششم) و باندینگ بقیه گروه‌ها سلف اچ یک مرحله‌ای (نسل هفتم) بوده است.

در مطالعه حاضر بین میزان ریزشست در گروه‌های مورد مطالعه در لبه‌های مینایی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (در حالت با و بدون سیکل مکانیکی) که این یافته با مطالعات دیگر نیز تایید شده است. اما میزان متفاوتی از ریزشست بین گروه‌های مورد مطالعه در لبه‌های عاجی دیده شد. که کمترین میزان ریزشست در سیلوران و بیشترین در Aelite دیده شد (هم در حالت با سیکل مکانیکی و هم بدون سیکل مکانیکی) و تنها تفاوت بین سیلوران و Aelite بصورت معنی‌دار بود که این یافته با بقیه مطالعات همخوانی دارد.

عاجی معنی‌دار بود. همچنین در مطالعه حاضر اعمال سیکل مکانیکی بر ریزش سیلوران و Grandio تأثیر معنی‌داری نگذاشته بود. این تفاوت‌ها می‌تواند به علت تفاوت در نوع کامپوزیت مصرفی، شکل حفره و طبقه‌بندی ریزش باشد. به علاوه تحقیقات نشان داده‌اند که از آنجایی که پرایمر سیلوران قبل از کاربرد باندینگ کیور می‌شود، یک لایه Oxygen air inhibited بین اینترفیس پرایمر و باندینگ فرم می‌گیرد. که در میکرورامان اسپکتروسکوپی به صورت یک Zone تقریباً  $1 \mu\text{m}$  مشاهده شده است. این Zone ممکن است یک نقطه ضعف بالقوه در باندینگ سیلوران باشد (اگرچه مورد بحث می‌باشد) (۴۲).

در پژوهش حاضر اثر سیکل مکانیکی بر ریزش اکلوزالی و سرویکالی در تمامی گروه‌ها معنی‌دار نشد که این یافته موافق با نتایج مطالعات گذشته می‌باشد (۱۲،۲۲،۲۳).

البته تعدادی از مطالعات، سیکل مکانیکی را عاملی برای افزایش معنی‌دار ریزش در کامپوزیت گزارش کرده‌اند (۴۱،۴۳،۴۴).

Erdilek و همکاران (۴۴) اثر  $50000$  سیکل مکانیکی با نیروی  $50\text{N}$  و  $2000$  سیکل حرارتی در دماهای  $5$  و  $55$  درجه سانتی‌گراد را در حفرات کلاس II ترمیم شده با (هیبرید) Tetric Ceram, TPH, Admira Ormocer, Spectrum ارزیابی کردند. نتیجه تحقیق بیانگر آن بود که اعمال سیکل حرارتی و مکانیکی به طور معنی‌داری سبب افزایش ریزش سرویکالی شد.

در مطالعه Yamazaki و همکاران (۴۱) نیز که اثر  $200$  هزار سیکل مکانیکی با نیروی  $50\text{N}$  را در حفرات ترمیم شده با کامپوزیت‌های Tetric Ceram, Filtek supreme, Hermes مورد ارزیابی قرار دادند که نتیجه بیانگر آن بود که اعمال سیکل مکانیکی باعث افزایش ریزش در تمامی گروه‌ها به جز Hermes شده بود.

خصوصیت کامپوزیت در تعیین مقاومت به تخریب لبه‌ای (Marginal degradation) حین بارگذاری مهمتر از اتصال لبه‌ای می‌باشد (۴۵). کامپوزیت‌های مورد استفاده در این مطالعه، کامپوزیت‌های با انقباض کم بوده‌اند. فرضیه بر آن است که به علت استرس انقباضی کمتر ناشی از انقباض پلیمریزاسیون کمتر، این کامپوزیت‌ها قادر به توانایی بهتر تحمل خستگی (Fatigue) ناشی از اعمال نیرو در اینترفیس می‌باشند (۴۱).

در نمونه‌های ترمیم شده با Aelite (در هر دو حالت با و بدون اعمال سیکل مکانیکی) در مقایسه با بقیه گروه‌ها می‌باشد. البته در ارزیابی ریزش عمق نفوذ رنگ مطرح است، درحالی‌که در ارزیابی FE-SEM تنها درصد درز محیطی و لبه ترمیم با سطح بررسی می‌شود. در مطالعه حاضر میزان ریزش سیلوران در لبه‌های جینجیوالی در مقایسه با کامپوزیت‌های Grandio و Kalore تفاوت معنی‌داری نداشت. که این یافته موافق با برخی از مطالعات گذشته می‌باشد که نشان داده‌اند سیلوران عملکرد بهتری از بقیه کامپوزیت‌ها نداشته است (۱۵-۱۲).

اما برخلاف مطالعه Yamazaki و همکاران (۴۱) است که حفرات کلاس I ترمیم شده با کامپوزیت‌های Tetric ceram, Hermess, Filtek Supreme (کامپوزیت با انقباض کم Experimental) را تحت  $load (50\text{N})$  با تعداد  $200$  هزار سیکل قرار دادند و دریافتند که قبل از اعمال سیکل مکانیکی تفاوت بین گروه‌ها معنی‌دار نبود، اما بعد از اعمال سیکل مکانیکی ریزش بطور معنی‌داری در تمامی گروه‌ها به جز Hermes افزایش یافت.

همچنین در مطالعه Bagis و همکاران (۱۱) که حفرات کلاس II را با کامپوزیت‌های سیلوران و Grandio ترمیم کردند و تحت  $1000$  سیکل حرارتی قرار دادند، نتیجه مطالعه نشان داد که هیچ ریزشی برای حفرات ترمیم شده با سیلوران دیده نشد. اما در حفرات ترمیم شده با Grandio مقادیر متفاوتی از ریزش دیده شد که با مطالعه حاضر همخوانی ندارد.

البته در مطالعه Krifka و همکاران (۱۲) که حفرات کلاس V ترمیم شده با کامپوزیت‌های Filtek, ELS, ELS Flow, Tetric Evo, Silorane.Flow, Grandio و Ultraseal XT Plus و با باندینگ‌های AdheSE one و Opti bond FL را تحت سیکل حرارتی به میزان  $5000$  سیکل و سیکل مکانیکی ( $500$  هزار سیکل با نیروی  $72/5\text{N}$ ) قرار دادند. نتیجه مطالعه نشان داد که سیلوران کمترین نفوذ رنگ را بعد از اعمال سیکل مکانیکی و حرارتی نشان داد. اما اعمال سیکل مکانیکی باعث افزایش ریزش در تمامی گروه‌ها به جز Grandio، سیلوران و Tetric Evo Flow شده بود که در مطالعه ما نیز بعد از اعمال سیکل مکانیکی سیلوران کمترین میزان ریزش را در لبه‌های عاجی نشان داد. اگرچه این تفاوت تنها با Aelite در لبه‌های

بقیه کامپوزیت‌های با بیس متاکریلات با انقباض کم (به جز Aelite) نداشته است و همچنین اعمال سیکل مکانیکی موجب افزایش ریزش نمی‌شود.

لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت‌های مطالعه حاضر و مواد ترمیمی بررسی شده، این نتایج به دست آمد و قابل تعمیم به سایر مواد ترمیمی نمی‌باشد. توصیه می‌شود در مطالعات آینده تمامی نمونه‌ها تحت بررسی SEM قرار گیرند تا از نظر آماری ارتباط بین نتایج و ریزش مشخص گردد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی تهران و مرکز تحقیقات دانشکده دندانپزشکی با کد طرح: ۹۰-۰۳-۷۰-۱۴۵۴۵ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۱۰ می‌باشد بدین‌وسیله از حمایت دانشگاه علوم پزشکی تهران تشکر و قدردانی می‌گردد.

همچنین مطالعات نشان داده‌اند که کامپوزیت‌هایی که حاوی فیلرهای کروی (Spherical) هستند، باعث کاهش تجمع استرس حین بارگذاری می‌شوند در مقایسه با لبه تیز که در فیلرهای Irregular وجود دارد که فیلر نامنظم به عنوان مرکز Defect عمل کرده و باعث تجمع استرس می‌شود (۳۳) Grandio و Aelite دارای فیلر با پارتیکل‌های کروی می‌باشند).

به علاوه توجه احتمالی دیگر برای عدم تاثیر سیکل مکانیکی بر ریزش ممکن است به علت استفاده از کامپوزیت‌های با فیلرهای نانوپارتیکل باشد (Kalore و Grandio، نانو هیبرید می‌باشند). سیکل مکانیکی به علت خستگی در ناحیه اینترفیس ادهزیو باعث کاهش عملکرد باندینگ می‌شود. مطالعات پیشنهاد کرده‌اند که نانو کامپوزیت‌ها با داشتن استحکام خمشی بالاتر، دارای Fatigue limit بالاتر می‌باشند (۴۶).

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که سیلوران عملکرد بهتری از

### منابع:

- 1- Thonemann B, Federlin M, Schmalz G, Grundler W. Total bonding vs selective bonding: marginal adaptation of Class 2 composite restorations. *Oper Dent.* 1999;24(5):261-71.
- 2- Yoshikawa T, Burrow MF, Tagami J. A light curing method for improving marginal sealing and cavity wall adaptation of resin composite restorations. *Dent Mater.* 2001;17(4):359-66.
- 3- Braga RR, Ferracane JL. Alternatives in polymerization contraction stress management. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004;15(3):176-84.
- 4- Lutz F, Krejci I, Barbakow F. Quality and durability of marginal adaptation in bonded composite restorations. *Dent Mater.* 1991;7(2):107-13.
- 5- Lim BS, Ferracane JL, Sakaguchi RL, Condon JR. Reduction of polymerization contraction stress for dental composites by two-step light-activation. *Dent Mater.* 2002;18(6):436-44.
- 6- Kanca J 3rd, Suh BI. Pulse activation: Reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. *Am J Dent.* 1999;12(3):107-12.
- 7- Guggenberger R, Weinmann W. Exploring beyond methacrylates. *Am J Dent.* 2000;13(Spec No):82D-4D.
- 8- Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dent Mater.* 2005;21(1):68-74.
- 9- Eckert AS, Dede K, Ehbrecht S, Klettke T, Spenkuch A, Stippschild A, et al. First cationically curing oxirane based dental filling material. *Polymer Preprints.* 2004;45(2):343-8.
- 10- Thalacker C, Heumann A, Weinmann W, Guggenberger R, Luchterhandt T, Syrek A. Marginal integrity of class V silorane and methacrylate composite restorations. *J Dent Res.* 2004;83:A1364.
- 11- Bagis YH, Baltacioglu IH, Kahyaogullari S. Comparing microleakage and the layering methods of silorane-based resin composite in wide Class II MOD cavities. *Oper Dent.* 2009;34(5):578-85.
- 12- Krifka S, Federlin M, Hiller KA, Schmalz G. Microleakage of silorane- and methacrylate-based class V composite restorations. *Clin Oral Investig.* 2012;16(4):1117-24.
- 13- Ernst CP, Galler P, Willershausen B, Haller B. Marginal integrity of class V restorations: SEM versus dye penetration. *Dent Mater.* 2008;24(3):319-27.
- 14- Umer F, Naz F, Khan FR. An in vitro evaluation of microleakage in class V preparations restored with Hybrid versus Silorane composites. *J Conserv Dent.* 2011;14(2):103-7.
- 15- Schmidt M, Kirkevang LL, Horsted-Bindslev P, Poulsen S. Marginal adaptation of a low-shrinkage silorane-based composite: 1-year randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2011;15(2):291-5.
- 16- Takahashi H, Finger WJ, Wegner K, Utterodt A, Komatsu M, Wöstmann B, et al. Factors influencing marginal cavity adaptation of nanofiller containing resin composite restorations. *Dent Mater.* 2010;26(12):1166-75.
- 17- Klautau EB, Carneiro KK, Lobato MF, Machado SM, Silva e Souza MH Jr. Low shrinkage composite resins: influence on sealing ability in unfavorable C-factor cavities. *Braz Oral Res.* 2011;25(1):5-12.
- 18- Tanno K, Hiraishi N, Otsuki M. Evaluation of cavity adaptation of low-shrinkage composite resin. *Asian Pac J Dent.* 2011;11:27-33.
- 19- Terry DA, Leinfelder KF, Blatz MB. A comparison of advanced resin monomer technologies. *Dent Today.*

- 2009;28(7):122-3.
- 20- Bedran-de-Castro AK, Pereira PN, Pimenta LA, Thompson JY. Effect of thermal and mechanical load cycling on microtensile bond strength of a total-etch adhesive system. *Oper Dent*. 2004;29(2):150-6.
- 21- da cunha Mello FS, Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Sealing ability of eight resin bonding systems in a Class II restoration after mechanical fatiguing. *Dent Mater*. 1997;13(6):372-6.
- 22- Schneider LFJ, Tango RN, Milan FM, Mundstock GV, Consani S, Sinhorette MAC. Microleakage evaluation of composite restorations submitted to load cycling. *Cienc Odontol Bras*. 2004;7(4):27-33.
- 23- Li H, Burrow MF, Tyas MJ. The effect of load cycling on the nanoleakage of dentin bonding systems. *Dent Mater*. 2002;18(2):111-9.
- 24- Hegde MN, Vyapaka P, Shetty S. A comparative evaluation of microleakage of three different newer direct composite resins using a self etching primer in class V cavities: an in vitro study. *J Conserv Dent*. 2009;12(4):160-3.
- 25- Xie H, Zhang F, Wu Y, Chen C, Liu W. Dentine bond strength and microleakage of flowable composite, compomer and glass ionomer cement. *Aust Dent J*. 2008;53(4):325-31.
- 26- Pongprueksa P, Kuphasuk W, Senawongse P. Effect of elastic cavity wall and occlusal loading on microleakage and dentin bond strength. *Oper Dent*. 2007;32(5):466-75.
- 27- Li Q, Jepsen S, Albers HK, Eberhard J. Flowable materials as an intermediate layer could improve the marginal and internal adaptation of composite restorations in Class-V-cavities. *Dent Mater*. 2006;22(3):250-7.
- 28- Dietschi D, Olsburgh S, Krejci I, Davidson C. In vitro evaluation of marginal and internal adaptation after occlusal stressing of indirect class II composite restorations with different resinous bases. *Eur J Oral Sci*. 2003;111(1):73-80.
- 29- Fruits TJ, VanBrunt CL, Khajotia SS, Duncanson MG Jr. Effect of cyclical lateral forces on microleakage in cervical resin composite restorations. *Quintessence Int*. 2002;33(3):205-12.
- 30- Yap AU, Ho KS, Wong KM. Comparison of marginal sealing ability of new generation bonding systems. *J Oral Rehabil*. 1998;25(9):666-71.
- 31- Davidson C, De Gee A, Feilzer A. The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. *J Dent Res*. 1984;63(12):1396-9.
- 32- Sidhu S, Henderson L. Dentin adhesives and microleakage in cervical resin composites. *Am J Dent*. 1992;5(5):240.
- 33- Arhun N, Celik C, Yamanel K. Clinical evaluation of resin-based composites in posterior restorations: two-year results. *Oper Dent*. 2010;35(4):397-404.
- 34- Mine A, De Munck J, Van Ende A, Cardoso MV, Kuboki T, Yoshida Y, et al. TEM characterization of a silorane composite bonded to enamel/dentin. *Dent Mater*. 2010;26(6):524-32.
- 35- Deliperi S, Bardwell D, Wegley C. Restoration interface microleakage using one total-etch and three self-etch adhesives. *Oper Dent*. 2007;32(2):179-84.
- 36- Sensi L, Lopes G, Monteiro Jr S, Baratieri L, Vieira L. Dentin bond strength of self-etching primers/adhesives. *Oper Dent*. 2005;30(1):63-8.
- 37- Boaro L, Gajewski V, Froes N, Braga R. Microleakage and polymerization stress of low-shrinkage commercial composites. Available at: [http://iadr.confex.com/iadr/2011sandiego/preliminaryprogram/abstract\\_147581.htm](http://iadr.confex.com/iadr/2011sandiego/preliminaryprogram/abstract_147581.htm)
- 38- Calheiros FC, Sadek FT, Braga RR, Cardoso PE. Polymerization contraction stress of low-shrinkage composites and its correlation with microleakage in class V restorations. *J Dent*. 2004;32(5):407-12.
- 39- Boaro LC, Goncalves F, Guimaraes TC, Ferracane JL, Versluis A, Braga RR. Polymerization stress, shrinkage and elastic modulus of current low-shrinkage restorative composites. *Dent Mater*. 2010;26(12):1144-50.
- 40- D'Alpino PHP, Bechtold J, Santos PJ, Alonso RCB, Di Hipólito V, Silikas N, et al. Methacrylate-and silorane-based composite restorations: Hardness, depth of cure and interfacial gap formation as a function of the energy dose. *Dent Mater*. 2011;27(11):1162-9.
- 41- Yamazaki P, Bedran-Russo A, Pereira P, Swift Jr E. Microleakage evaluation of a new low-shrinkage composite restorative material. *Oper Dent*. 2006;31(6):670-6.
- 42- Santini A, Miletic V. Comparison of the hybrid layer formed by Silorane adhesive, one-step self-etch and etch and rinse systems using confocal micro-Raman spectroscopy and SEM. *J Dent*. 2008;36(9):683-91.
- 43- Rigsby DF, Retief DH, Bidez MW, Russell CM. Effect of axial load and temperature cycling on microleakage of resin restorations. *Am J Dent*. 1992;5(3):155-9.
- 44- Erdilek D, Dorter C, Koray F, Kunzelmann KH, Efes BG, Gomec Y. Effect of Thermo-mechanical Load Cycling on Microleakage in Class II Ormocer Restorations. *Eur J Dent*. 2009;3(3):200-5.
- 45- Ferracane J, Condon J. In vitro evaluation of the marginal degradation of dental composites under simulated occlusal loading. *Dent Mater*. 1999;15(4):262-7.
- 46- Gogna R, Jagadis S, Shashikal K. A comparative in vitro study of microleakage by a radioactive isotope and compressive strength of three nanofilled composite resin restorations. *J Conserv Dent*. 2011;14(2):128-31.