

An *in vitro* Comparison of Crown Discoloration Induced by AH Plus, Pulpdent, and Colorado Endodontic Sealers

Parham Kamali Ardakani¹, Hannaneh Jamialahmady^{2*}, Armita Rouhani³, Saber Babazadeh⁴, Hosein Bagheri⁵, Neda Naghavi³

¹Assistant of Periodontics, School of Dentistry, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

²Assistant of Prosthodontics, School of Dentistry, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

³Associate Professor, Department of Endodontics, School of Dentistry, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

⁴Assistant Professor, Department of Community Dentistry, School of Dentistry, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

⁵Assistant Professor, Department of Dental Materials, School of Dentistry, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Received: 30 April 2026, Accepted: 12 July 2026

Background: One of the main causes of failure in root canal treatments is microleakage due to incomplete root canal filling. Endodontic sealers play an important role in filling the space between gutta-percha and the canal wall; however, their remnants in the pulp chamber can lead to tooth discoloration. The aim of this *in vitro* study was to compare the coronal discoloration potential of AH Plus, Pulpdent, and Colorado sealers.

Methods and Materials: In this study, 48 extracted single-rooted premolars were selected, and their crowns were sectioned 3 mm below the CEJ. After pulp removal and pulp chamber preparation, the samples were irrigated with 5.25% sodium hypochlorite and 17% EDTA. They were then randomly divided into four groups (n=12): AH Plus (Dentsply Sirona, Konstanz, Germany), Pulpdent (Pulpdent Corp., Watertown, MA), Colorado (Fanavaran Pishro Sanat Arad, Mashhad, Iran), and distilled water (control). The pulp chamber was coated with the respective sealer, and the samples were stored at 37°C and 98% humidity. Color measurements were performed using a Vita Easyshade device (Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) at baseline, 72 hours, 30 days, and 90 days after sealant placement, and ΔE was calculated using the CIELAB formula. Repeated Measures ANOVA and one-way ANOVA was used for statistical comparisons. The level of significance was set at $p < 0.05$.

Results: All sealers showed a significant increase in ΔE compared to the control group ($p < 0.001$). The highest discoloration was observed in Pulpdent and the lowest in AH Plus. Colorado showed less discoloration than Pulpdent, but the difference was not significant. Only in the Pulpdent group, the increase in ΔE over time was significant ($p = 0.01$).

Conclusion: All sealers caused clinically perceptible tooth discoloration. AH Plus showed the highest color stability, while Pulpdent showed the greatest tooth discoloration.

Keywords: Tooth discoloration, Endodontic sealer, AH Plus, Pulpdent, Colorado

***Corresponding Author:** JamialahmadiH4022@mums.ac.ir

► **Please cite this paper as:** Kamali Ardakani P, Jamialahmady H, Rouhani A, Babazadeh S, Bagheri H, Naghavi N. An *in vitro* comparison of crown discoloration induced by AH plus, Pulpdent, and Colorado endodontic sealers. *J Mashhad Dent Sch* 2026; 50(2):119-130.

► **DOI:** [10.22038/jmds.2026.28070](https://doi.org/10.22038/jmds.2026.28070)



مقایسه آزمایشگاهی تغییر رنگ تاج دندان ناشی از سیلرهای اندودانتیک AH Plus، Pulpdent و Colorado

پرهام کمالی اردکانی^۱، حنا جامی الاحمدی^۲، آرمیتا روحانی^۳، صابر بابازاده^۴، حسین باقری^۵، ندا نقوی^۳

^۱دستیار تخصصی پرودانتیکس، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
^۲دستیار تخصصی پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
^۳دانشیار، گروه اندودانتیکس، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
^۴استادیار، گروه دندانپزشکی اجتماعی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
^۵استادیار، گروه مواد دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ ارائه مقاله: ۱۴۰۵/۰۲/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۱

چکیده

مقدمه: یکی از علل اصلی شکست درمان‌های ریشه، میکرولیکیج ناشی از پرکردگی ناقص کانال است. سیلرهای اندودانتیک در پر کردن فضای بین گوتاپرکا و دیواره کانال نقش مهمی دارند، اما باقی‌ماندن آن‌ها در اتاقک پالپ می‌تواند موجب تغییر رنگ دندان شود. هدف این مطالعه آزمایشگاهی، مقایسه پتانسیل تغییر رنگ تاجی سیلرهای AH Plus، Pulpdent و Colorado بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه آزمایشگاهی، ۴۸ دندان پرمولر تکریشه انتخاب و تاج آن‌ها در فاصله ۳ میلی‌متری زیر CEJ قطع شد. پس از برداشت پالپ و آماده‌سازی اتاقک پالپ، نمونه‌ها با هیپوکلریت سدیم ۵/۲۵ درصد و EDTA ۱۷ درصد شستشو داده شدند. سپس به صورت تصادفی به چهار گروه (n=۱۲) شامل AH Plus (Dentsply Sirona, Konstanz, Germany)، Pulpdent Corp., Watertown, MA، و Colorado (Fanavar Sanat Arad, Mashhad, Iran) تقسیم شدند. اتاقک پالپ با سیلر مربوطه پوشش داده شد و نمونه‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۹۸ درصد نگهداری شدند. اندازه‌گیری رنگ با دستگاه Vita Easyshade (Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) در زمان‌های پایه، ۷۲ ساعت، ۳۰ و ۹۰ روز بعد قرار دهی سیلر انجام شد و ΔE با فرمول CIELAB محاسبه گردید. برای مقایسه آماری، از آزمون Repeated Measures ANOVA و ANOVA یک‌طرفه استفاده شد. سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: تمامی سیلرها نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری در ΔE نشان دادند ($p < ۰/۰۰۱$). بیشترین تغییر رنگ مربوط به Pulpdent و کمترین مربوط به AH Plus بود. Colorado تغییر رنگ کمتری از Pulpdent داشت، اما اختلاف معنی‌دار نبود. تنها در گروه Pulpdent افزایش ΔE در طول زمان معنی‌دار بود ($p = ۰/۰۰۱$).

نتیجه‌گیری: تمامی سیلرها موجب تغییر رنگ قابل تشخیص بالینی تاج شدند. AH Plus بیشترین پایداری رنگی و Pulpdent بیشترین تغییر رنگ تاج را نشان داد.

کلمات کلیدی: تغییر رنگ دندان، سیلر اندودانتیک، AH Plus، Pulpdent، Colorado

مجله دانشکده دندانپزشکی مشهد / سال ۱۴۰۵ / دوره ۵۰ / شماره ۲: ۱۳۰-۱۱۹

* مؤلف مسئول، نشانی: دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

E-mail: JamialahmadiH4022@mums.ac.ir

مقدمه

تغییر رنگ دندانها به عنوان یک مشکل رایج و تأثیرگذار بر زیبایی ظاهری و اعتماد به نفس فرد، میتواند ناشی از عوامل متعددی از جمله عادات غذایی، مصرف مواد دارویی، بیماریهای سیستمیک و آسیب های فیزیکی و همچنین درمان های دندان پزشکی باشد.^(۱)

تغییر رنگ دندان به دنبال پروسه های اندودانتیک یک پدیده نامطلوب است و هنگامی که دندان های قدامی را درگیر می کند، می تواند بر کیفیت زندگی تأثیرگذار باشد. دانستن فاکتورهای احتمالی ایجادکننده تغییر رنگ نامطلوب و همچنین مکانیسم های ایجادکننده آن برای دستیابی به یک درمان ریشه موفق ضروری است. مواد پرکننده کانال ریشه، شدیدترین تغییر رنگها را در دندان ایجاد می کنند و این پدیده، اکثر مواقع پیشرونده است.^(۲)

هدف نهایی درمان ریشه، حذف کامل میکروارگانیسم ها و محصولات آن ها از سیستم کانال ریشه و ایجاد یک سیل هرمتیک سه بعدی است.^(۳) اگرچه گوتا پرکا به عنوان ماده اصلی پرکننده استفاده می شود، اما فاقد خاصیت چسبندگی بوده و نیاز به استفاده از سیلرهای اندودانتیک برای پر کردن فواصل بین ماده اصلی و دیواره های کانال وجود دارد تا از میکرولیکیج جلوگیری شود.^(۴)

یک سیلر ایده آل باید دارای ویژگی هایی نظیر چسبندگی مناسب، رادیوپااستیته، پایداری ابعادی، زیست سازگاری و مهم تر از همه عدم ایجاد تغییر رنگ دندان باشد.^(۵) باقی ماندن سیلر در اتاقک پالپ یکی از علل شناخته شده تغییر رنگ پس از درمان ریشه است که از نظر زیبایی برای بیماران اهمیت زیادی دارد.^(۶)

سیلرهای مختلف پتانسیل متفاوتی برای ایجاد تغییر رنگ دارند. سیلرهای مبتنی بر زینک اکساید اوژنول (ZOE) مانند

Pulpdent می توانند در اثر اکسیداسیون اوژنول آزاد، دچار تغییر رنگ شوند.^(۷) در مقابل، سیلرهای بر پایه اپوکسی رزین مانند AH Plus معمولاً پایداری رنگی بهتری دارند، هرچند همچنان ممکن است باعث تغییر رنگ شوند.^(۸)

با توجه به اهمیت حفظ زیبایی دندان ها پس از درمان ریشه، به ویژه در نواحی قدامی، انتخاب سیلری با حداقل پتانسیل تغییر رنگ از اهمیت بالایی برخوردار است.

در حالی که سیلرهای بر پایه اپوکسی رزین مانند AH Plus به عنوان استاندارد با پایداری رنگی مناسب شناخته می شوند، سیلرهای مبتنی بر ZOE نظیر Pulpdent به دلیل حضور اوژنول، پتانسیل بیشتری برای تغییر رنگ دارند.

در سال های اخیر علم نانو تکنولوژی به بررسی و تهیه مواد در ابعاد نانومتر پرداخته است و هدف آن دستیابی به ساختار بهتر اتم ها جهت ایجاد خواص مطلوب تر در ماده می باشد. در واقع هر چه ذرات کوچکتر می شوند، با نزدیکتر شدن از ابعاد میکرو به ابعاد اتمی، خواص مواد به طور قابل توجهی تغییر کرده و می تواند بهبود یابد.^(۹) برخی مزایای استفاده از ذرات نانو در سیلرهای اندودانتیک شامل بهبود خواص فیزیکی-شیمیایی و خواص ضد میکروبی، کاهش میکرولیکیج و افزایش سازگاری نسبی می باشد.^(۱۰-۹)

Versiani و همکاران^(۱۱)، گزارش کردند که اضافه کردن ذرات نانو زینک اکساید، خواص فیزیکی-شیمیایی سیلر گروسمن (زمان ستینگ، فلو، حلالیت، ثبات ابعادی و رادیوپااستیته) را بهبود می بخشد. Shvero و همکاران^(۱۲)، خواص ضد میکروبی بهتری در برابر انتروکوک فکاليس برای سطوح اپوکسی رزینی حاوی نانو ذرات کاتیونیک گزارش کردند. DaSilva همکاران^(۱۳)، نشان دادند که افزودن نانو ذرات و کیتوزان به سیلر زینک اکساید اوژنول، تشکیل بیوفیلم در اینترفیس سیلر-عاج را کاهش می دهد.

یک سیلر بر پایه زینک اکساید است) و سیلر AH Plus (که در مطالعات مشابه تغییر رنگ کمتری داشته و به نوعی گلد استاندارد سیلر های رزینی در زیبایی است)، نیاز به بررسی دارد.^(۱۷)

از این رو، این مطالعه با هدف مقایسه میزان تغییر رنگ تاج دندان ناشی از سیلر های اندو Pulpdent, AH plus, Colorado به صورت آزمایشگاهی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه تجربی درون آزمایشگاهی، با تأیید کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی مشهد (کد IR.MUMS.DENTISTRY.REC.1401.050) انجام شد. در مجموع، ۴۸ دندان پرمولر تک‌ریشه انسانی کشیده شده به دلایل ارتودنسی انتخاب شدند. دندان‌های دارای پوسیدگی، ترک یا ترمیم قبلی پس از بررسی با نور لایت‌کیور حذف و با نمونه سالم جایگزین شدند. پس از جرم‌گیری با دستگاه اولتراسونیک (SKL Ultrasonic scaler) (Shengzhou, China) و انجام برساژ، نمونه‌ها با استفاده از توربین و فرز الماسی (837L-014, Dia Tessin, Bangkok, Thailand) در فاصله ۳ میلی‌متری اپیکال به CEJ برش داده شدند. برای تکمیل برش از تریمر استفاده شد، به‌طوری‌که تاج دندان همراه با ۳ میلی‌متر کروئالی ریشه حفظ گردید. سپس آماده‌سازی اتاقک پالپ انجام شد؛ بدین صورت که ابتدا با فایل شماره ۳۰ فضای اصلی پالپ چمبر باز شد و سپس با فایل شماره ۱۵ بقایای پالپ و دبری‌ها از نواحی شاخک‌های پالپی حذف شدند. در ادامه، مشابه مطالعه Partovi و همکاران^(۱۸)، از دریل‌های Gates Glidden شماره ۲ و ۳ (Mani, Utsunomiya, Japan) برای یکنواخت‌سازی فضای داخلی استفاده شد. آماده‌سازی به‌صورت محیطی و بدون اعمال نیروی عمودی انجام گرفت تا از نازک شدن دیواره‌ها جلوگیری شود. به‌منظور ایجاد

به علاوه، سیلرهای نانو سرامیک سازگاری نسبی بالاتری در مقایسه با سیلرهای سرامیکی معمول نشان داده‌اند.^(۱۴) Saghiri و همکاران^(۱۵)، در ارزیابی تاثیرات ناشی از افزودن نانو ذرات اکسی‌کلرید بیسموت به سیلر های اندودنتیک، به این نتیجه رسیدند که استفاده از این نانوذرات (nano-BiOCl) در سیلرهای اندودانتیک، با بهره‌گیری از ویژگی‌های منحصربه‌فرد مقیاس نانو، منجر به بهبود چشمگیر خواص فیزیکی و شیمیایی شده است. این نانوذرات با ارتقای هم‌زمان رادیوپاسیته و استحکام باند، عملکرد درمانی را افزایش داده و به دلیل کاهش قابل توجه تغییر رنگ، ثبات زیبایی‌شناختی دندان را بهتر از مواد متداول حفظ می‌کنند. در نهایت، این ماده به عنوان جایگزینی برتر برای اکسید بیسموت، نویدبخش کارایی بالاتر و پایداری بلندمدت در درمان‌های ریشه است.^(۱۵) همچنین در مطالعه Soltani و همکاران^(۱۶)، که اخیراً در ایران انجام شد، به مقایسه تغییر رنگ ناشی از سیلر های AH26، MTA Base (Maruchi)، دو فرمولاسیون نوین شامل نانوذرات روی (Zn-nano) و نانوذرات ترکیبی روی/مس (Zn.Cu-nano) پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد تغییر رنگ ناشی از فرمولاسیون های نوین حاوی ذرات نانو نسبت به AH26 کمتر بوده و می‌تواند به دلیل تغییر رنگ کمتر در مقایسه با برخی سیلرهای اپوکسی رزین، جایگزین مناسبی برای مدیریت زیبایی دندان‌های قدامی محسوب شوند.

سیلر Colorado با فرمولاسیون نانوذرات زینک اکساید می‌باشد که فناوری نانو باعث تغییر خواص آن نسبت به سایر سیلر های زینک اکساید شده است. با توجه به جدید بودن تکنولوژی نانو و پراکنده بودن مطالعاتی که صرفاً خاصیت ایجاد تغییر رنگ در تاج دندان را در مورد سیلرهای برپایه تکنولوژی نانو بررسی کرده باشند، بدین منظور تفاوت تغییر رنگ ناشی از این سیلر در مقایسه با سیلر Pulpdent (که

برای شستشو، ابتدا هیپوکلریت سدیم ۵/۲۵ درصد (Morvabon, Tehran, Iran) با سرنگ ۵ سی سی در فضای پالپ چمبر قرار داده شد و با فایل شماره ۲۰ (K Files, Mani, Utsunomiya, Japan) به مدت ۵ ثانیه به دیواره‌ها آغشته گردید. پس از ۲۰ ثانیه، شستشو با سرم نرمال سالین ۰/۹ درصد (Darou Pakhsh, Tehran, Iran) انجام شد. سپس نمونه‌ها با ۱۷ EDTA درصد (Morvabon, Tehran, Iran) به مدت ۶۰ ثانیه شستشو داده شده و مجدداً با نرمال سالین شسته شدند.

در پایان، نمونه‌ها با جریان ملایم هوا (پوآر) به مدت ۱۰ ثانیه خشک شده و برای حذف رطوبت باقیمانده، از پیروپونت شماره ۳۰ (Meta-Biomed, Chungcheongbuk, Korea) استفاده شد.

نمونه‌ها به جهت ثبات حین رنگ سنجی روی موم قرار داده شدند و نوک پروب دستگاه روی یک سوم میانی دندان‌ها قرار گرفت (درمورد دستگاه اسپکتروفتومتر Vita Easyshade Advance نیازی به مانت کردن نمونه‌ها نیست. تنها چیزی که باید در جای خود قرار گیرد، پایه کالیبراسیون (Calibration Block Holder) است که به خود بیس دستگاه متصل می‌شود).

رنگ‌سنجی اولیه (T0) قبل از قرار دادن سیلر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (VITA Easyshade Advance 4, Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) در حالت "Tooth Single" و به نحوی که سر پروب دستگاه به صورت عمودی و با فشار ملایم و یکنواخت کاملاً بر روی سطح دندان تماس داده شده بود، انجام گرفت. سطح نمونه‌ها و هم چنین نوک پروب کاملاً تمیز و خشک بودند تا دقت اندازه‌گیری بالا برود. به منظور حذف خطاهای احتمالی قبل از هر بار اندازه‌گیری رنگ، کالیبراسیون دستگاه طبق دستورالعمل

دسترسی یکنواخت، در ناحیه CEJ مقدار بیشتری از عاج برداشته شد تا ضخامت دیواره‌ها و قطر حفره ورودی در تمامی نمونه‌ها مشابه گردد. در طول آماده‌سازی، از سرم نرمال سالین ۰/۹ درصد برای شستشو استفاده شد. برای جلوگیری از اثرات مخدوش‌کننده مواد ترمیمی و میکرولیکیج، از ایجاد حفره دسترسی از سطح تاجی اجتناب شد. پس از اتمام آماده‌سازی، نمونه‌ها به مدت ۱۸۰ ثانیه در دستگاه اولتراسونیک (Codyson) (Shenzhen, China) قرار داده شدند و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

در ادامه، از نمونه‌ها تصویربرداری رادیوگرافی (RVG) انجام شد و نمونه‌های دارای ترک یا نقص، حذف و جایگزین شدند. سپس نمونه‌ها شماره‌گذاری شده و به صورت تصادفی (با استفاده از جدول اعداد تصادفی) به چهار گروه مساوی ($n=12$) تقسیم شدند. تصادفی سازی نمونه‌ها به جهت حذف عوامل مداخله‌گری چون اختلاف در رنگ اولیه نمونه‌ها، حجم فضای پالپ چمبر، وجود شاخک‌های پالپی و اختلاف در ضخامت عاج و مینا بین نمونه‌ها انجام شد.

نمونه‌ها بر اساس نوع سیلر مورد استفاده به چهار گروه تقسیم شدند:

- گروه ۱: AH Plus (Dentsply Sirona, DeTrey, Konstanz, Germany)
- گروه ۲: Pulpdent (Pulpdent, Watertown, MA, USA)
- گروه ۳: Colorado (Fanavarani Pishro Sanat, Mashhad, Iran, Arad)
- گروه ۴: آب مقطر (کنترل)

رنگ‌سنجی در چهار زمان انجام شد:

- T0: قبل از قرار دادن سیلر
- T1: ۷۲ ساعت بعد قرار دادن سیلر
- T2: ۳۰ روز بعد قرار دادن سیلر
- T3: ۹۰ روز بعد قرار دادن سیلر

تغییر رنگ کلی (ΔE) با فرمول CIELAB به صورت زیر محاسبه شد:

$$\Delta E = \sqrt{[(L2-L1)^2 + (a2-a1)^2 + (b2-b1)^2]}$$

مقدار ΔE بیش از ۳/۳ به عنوان تغییر رنگ قابل تشخیص بالینی در نظر گرفته شد.^(۹)

حجم نمونه بر اساس نتایج مطالعه Zarei و همکاران^(۹) توسط نرم افزار ۱۵ pass جهت آزمون اندازه گیری های تکراری محاسبه گردید، بدین صورت که در هر گروه حداقل ۱۲ نمونه قرار گرفت. شایان ذکر است که میزان ۲۰ درصد ریزش نمونه ها مد نظر قرار گرفت. حجم نمونه (۴۸ دندان در ۴ گروه) بر اساس آنالیز Repeated Measures تعیین شد. داده ها با نرم افزار SPSS تحلیل شدند. برای مقایسه درون گروهی از آزمون Repeated Measures ANOVA و برای مقایسه بین گروهی از آزمون ANOVA یک طرفه استفاده شد. سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته ها

میانگین و انحراف معیار تغییر رنگ (ΔE) در گروه های مورد مطالعه در زمان های مختلف در جدول ۱ و مقایسه دو به دوی گروه ها در جدول ۲ ارائه شده است. نمودار های ΔE در زمان های مختلف مورد بررسی بین گروه های مختلف نیز در شکل ۲ و ۳ آورده شده است. به طور کلی، روند تغییرات نشان داد که تمامی گروه های سیلر در مقایسه با گروه کنترل، افزایش قابل توجهی در ΔE داشتند. بررسی تغییرات در طول زمان با استفاده از آزمون Repeated Measures ANOVA نشان داد که تنها در گروه

سازنده انجام شد. تمامی اندازه گیری ها توسط یک اپراتور ثابت، در شرایط نوری یکسان و در ساعات مشخص (۱۰ تا ۱۲ صبح) انجام گرفت. محل اندازه گیری در یک سوم میانی سطح باکال تاج دندان بود. همه نمونه ها در فواصل بین اندازه گیری مختصات رنگ، در محیط تاریک (داخل انکوباتور)، در آب مقطر با pH=۰ به نحوی که تا سطح برش را پوشش دهد، در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد با رطوبت ۹۸ درصد نگهداری شدند.

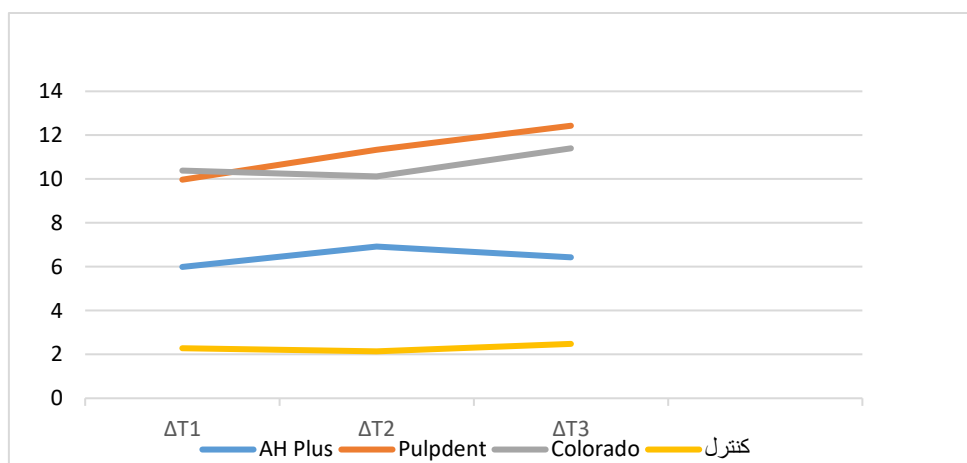
برای افزایش دقت، هر نمونه سه بار اندازه گیری شد و میانگین آن ثبت گردید. بعد از هر بار اندازه گیری دستگاه، مقادیر رنگ در سیستم LAB ثبت و سپس به سیستم CIELAB تبدیل شدند. ثبت داده ها به صورت Blind و بدون اطلاع از گروه بندی انجام شد. پس از رنگ سنجی اولیه، سیلرها مطابق دستور کارخانه آماده شدند:

- AH Plus: مخلوط دو خمیر به نسبت مساوی
- Pulpdent: ۴ اسکوپ پودر و ۸ قطره مایع
- Colorado: مخلوط دو تیوب به نسبت مساوی

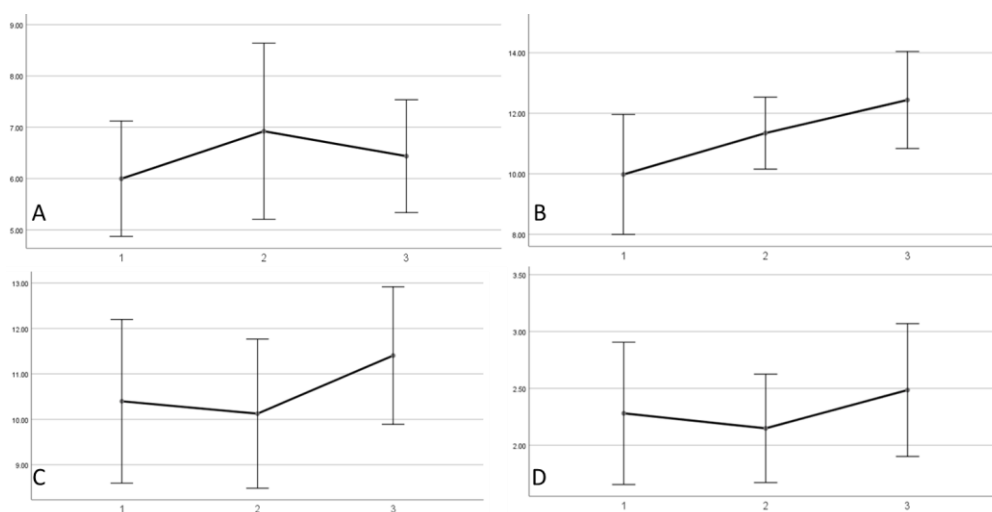
قرار دادن سیلر توسط فردی خارج از تیم مطالعه انجام شد. سیلر با استفاده از سوند وارد اتاقک پالپ شده و با لنتولو شماره ۴۰ به طور کامل در فضای پالپ چمبر توزیع شد (شکل ۱). در گروه کنترل، از آب مقطر استفاده شد. پس از حدود ۳۰ دقیقه، نمونه ها به صورت عمودی (دهانه پالپ به سمت بالا) در ظروف حاوی گاز استریل قرار داده شدند. پس از یک ساعت، آب مقطر به گونه ای اضافه شد که تا سطح برش (۳ میلی متر زیر CEJ) را پوشش دهد، بدون آنکه وارد اتاقک پالپ شود. نمونه ها در انکوباتور (محیط تاریک و فاقد نور) با دمای ۳۷ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹۸ درصد و محیطی خنثی (pH=۰) نگهداری شدند. انتهای اپیکالی نمونه ها سیل نشد تا از ایجاد تغییر رنگ کاذب ناشی از مواد ترمیمی جلوگیری شود.



شکل ۱. آغشته کردن فضای اتافک پالپ به سیلر



شکل ۲. نمودار ΔE در زمان های مختلف مورد بررسی بین گروه های مختلف



شکل ۳. نمودار A متعلق به گروه AH Plus، نمودار B متعلق به گروه Pulpdent، نمودار C متعلق به گروه Colorado و نمودار D متعلق به گروه کنترل

می‌گردید. اعداد به صورت LAB Hunter گزارش می‌شدند که پس از وارد کردن در سایت Colormine.org بر مبنای LAB star تبدیل شده و سپس خروجی گرفته می‌شد. مقادیر رنگ اولیه و رنگ نهایی هر نمونه در سه بازه زمانی به این صورت محاسبه گردید و سپس داده های ΔE به جهت محاسبه های آماری به آمارگر داده شد.

در تمامی زمان‌های بررسی، گروه AH Plus به طور معنی‌داری کمترین میزان تغییر رنگ را در مقایسه با دو گروه دیگر نشان داد ($p < 0/001$). از سوی دیگر، بیشترین مقادیر ΔE به طور مداوم در گروه Pulpdent مشاهده شد و پس از آن Colorado قرار گرفت. با این حال، اختلاف بین دو گروه Pulpdent و Colorado در هیچ‌یک از زمان‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود ($p = 1/0$), که نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً مشابه این دو سیلر از نظر ایجاد تغییر رنگ است. در مجموع، روند تغییرات نشان‌دهنده افزایش تدریجی ΔE در طول زمان در اغلب گروه‌ها بود، هرچند این افزایش فقط در گروه Pulpdent به سطح معنی‌دار آماری رسید. همچنین، تمامی گروه‌های سیلر در اولین زمان اندازه‌گیری (۷۲ ساعت) مقادیر ΔE بالاتر از آستانه قابل تشخیص بالینی

Pulpdent افزایش ΔE به صورت وابسته به زمان از نظر آماری معنی‌دار بود. ($p = 0/01$). در این گروه، مقدار ΔE از ۹/۹۷ در ۷۲ ساعت به ۱۲/۴۳ در ۹۰ روز افزایش یافت که نشان‌دهنده روند پیشرونده تغییر رنگ است. در مقابل، گروه‌های AH Plus و Colorado اگرچه افزایش عددی در ΔE نشان دادند، اما این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبودند (به ترتیب $p = 0/24$ و $p = 0/11$). گروه کنترل نیز تغییرات ناچیزی در طول زمان نشان داد که معنی‌دار نبود ($p = 0/30$).

نتایج آزمون ANOVA یک طرفه نشان داد که در تمامی زمان‌های اندازه‌گیری (T_1 , T_2 و T_3), اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها وجود داشت ($p < 0/001$). آزمون تعقیبی Bonferroni نشان داد که در همه زمان‌ها، هر سه گروه سیلر به طور معنی‌داری ΔE بیشتری نسبت به گروه کنترل داشتند ($p < 0/001$). این یافته بیانگر تأثیر مستقیم مواد سیلر بر تغییر رنگ تاج دندان است.

اعداد به صورت مقیاس LAB گزارش می‌شدند و در جدولی متناسب با شماره هر دندان بدون مشخص بودن گروه، یادداشت می‌گردیدند. جهت اطمینان بیشتر، هر نمونه سه بار رنگ سنجی می‌شد و عدد میانگین یادداشت

جدول ۱. بررسی میانگین ΔE در بازه‌های زمانی مختلف در گروه‌های مورد بررسی

(p-value) ^b	بازه زمانی*			گروه های مورد بررسی
	T0-T3	T0-T2	T0-T1	
۰/۲۴	۶/۴۳ ± ۱/۷۳	۶/۹۲ ± ۲/۷۰	۵/۹۹ ± ۱/۷۶	AH Plus
۰/۰۱	۱۲/۴۳ ± ۲/۵۲	۱۱/۳۴ ± ۱/۸۷	۹/۹۷ ± ۳/۱۱	Pulpdent
۰/۱۱	۱۱/۴۰ ± ۲/۳۷	۱۰/۱۲ ± ۲/۵۸	۱۰/۳۹ ± ۲/۸۳	Colorado
۰/۳۰	۲/۴۸ ± ۰/۹۱	۲/۱۴ ± ۰/۷۴	۲/۲۸ ± ۰/۹۸	کنترل (آب مقطر)
	< ۰/۰۰۱ ^a	< ۰/۰۰۱ ^a	< ۰/۰۰۱ ^a	p-value

(a) آنالیز واریانس یک طرفه (b) آنالیز داده های تکراری

*مقادیر هر بازه زمانی بر اساس ΔE و به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شده است

T0 = قبل از قرار دادن سیلر T2 = ۳۰ روز بعد از قراردادی سیلر

T1 = ۷۲ ساعت بعد از قراردادی سیلر T3 = ۹۰ روز بعد از قراردادی سیلر

جدول ۲. مقایسه دو به دوی ΔE در سیلرهای مختلف مورد بررسی

زمان مورد بررسی	گروه اول	گروه دوم	اختلاف میانگین (گروه اول-گروه دوم)	نتیجه آزمون آماری Bonferroni
$\Delta T1$	آب مقطر	Colorado	- ۸/۱۱	<۰/۰۰۱
		AH Plus	- ۳/۷۱	<۰/۰۰۱
		Pulpdent	- ۷/۶۹	<۰/۰۰۱
	Colorado	AH Plus	۴/۴۰	<۰/۰۰۱
		Pulpdent	۰/۴۱	۱
		Pulpdent	- ۳/۹۸	<۰/۰۰۱
$\Delta T2$	آب مقطر	Colorado	- ۷/۹۷	<۰/۰۰۱
		AH Plus	- ۴/۷۷	<۰/۰۰۱
		Pulpdent	- ۹/۱۹	<۰/۰۰۱
	Colorado	AH Plus	۳/۲۰	<۰/۰۰۱
		Pulpdent	- ۱/۲۲	۱
		Pulpdent	۴/۴۲	<۰/۰۰۱
$\Delta T3$	آب مقطر	Colorado	- ۸/۹۱	<۰/۰۰۱
		AH Plus	- ۳/۹۵	<۰/۰۰۱
		Pulpdent	- ۹/۹۵	<۰/۰۰۱
	Colorado	AH Plus	۴/۹۶	<۰/۰۰۱
		Pulpdent	- ۱/۰۳	۱
		Pulpdent	- ۶/۰۰	<۰/۰۰۱

جدید (Colorado) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمامی سیلرها موجب تغییر رنگ معنی دار و از نظر بالینی قابل تشخیص شدند که با یافته‌های مطالعات پیشین همخوانی دارد.^(۵، ۷، ۱۰) این موضوع اهمیت انتخاب ماده مناسب و همچنین دقت در حذف کامل باقی مانده سیلر از اتاقک پالپ را به ویژه در نواحی زیبایی برجسته می‌سازد. در میان مواد بررسی شده، AH Plus کمترین میزان تغییر رنگ را نشان داد. این یافته را می‌توان به ساختار رزینی اپوکسی پایدار آن نسبت داد که پس از ست شدن، واکنش پذیری شیمیایی کمتری دارد و فاقد اوژنول به عنوان یک عامل

($\Delta E > 3/3$) را نشان دادند، که بیانگر وقوع سریع تغییر رنگ پس از کاربرد سیلرها است. در مقابل، گروه کنترل در تمامی زمان‌ها زیر این آستانه باقی ماند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که نوع سیلر تأثیر قابل توجهی بر شدت و روند تغییر رنگ دارد و سیلرهای مبتنی بر ZOE، به ویژه Pulpdent، بیشترین پتانسیل تغییر رنگ را در مقایسه با سایر مواد نشان می‌دهند.

بحث

در این مطالعه، پتانسیل تغییر رنگ تاج دندان ناشی از دو سیلر متداول (AH Plus و Pulpdent) و یک سیلر نانو هیبرید

بیشتر در فرمولاسیون، برای کاهش اثرات کروموژنیک وجود دارد.

نکته قابل توجه دیگر این است که تمامی سیلرها در همان ۷۲ ساعت اول از آستانه قابل تشخیص بالینی ($\Delta E > 3/3$) عبور کردند. این موضوع نشان می‌دهد که تغییر رنگ می‌تواند در مدت زمان کوتاهی پس از درمان آغاز شود و احتمالاً نقش عوامل اولیه مانند باقی‌ماندن سیلر در اتاقک پالپ بسیار حیاتی است. بنابراین، تکنیک‌های بالینی دقیق در پاکسازی اتاقک پالپ و استفاده از مواد مناسب می‌توانند نقش مهمی در کاهش این عارضه داشته باشند.

با وجود اهمیت یافته‌ها، این مطالعه دارای محدودیت‌هایی است. شرایط درون‌آزمایشگاهی نمی‌تواند به‌طور کامل محیط پیچیده دهان را شبیه‌سازی کند؛ عواملی مانند بزاق، محصولات باکتریایی، تغییرات pH و نور ممکن است بر روند تغییر رنگ تأثیر بگذارند. همچنین متغیر بودن ضخامت عاج و سن دندان‌ها نیز می‌تواند بر روند تغییر رنگ اثر بگذارد. در این مطالعه عواملی هم چون وجود ترک، ترمیم قبلی، نوع ماده شست و شو ثابت در نظر گرفته شدند و اثر آنها مورد بررسی قرار نگرفت. با توجه به این که در این مطالعه ΔE محاسبه شد فقط تغییر رنگ مورد بررسی قرار گرفت و همچنین نمونه‌ها به صورت تصادفی انتخاب شدند، تأثیر رنگ اولیه دندان‌ها بر میزان تغییر رنگ بررسی نشد و پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده به بررسی اثر این عوامل بر تغییر رنگ ناشی از سیلر بپردازند. همچنین در این مطالعه به دلیل اینکه دندان‌های قدامی که سالم و فاقد هرگونه ترک و پوسیدگی باشند، خیلی به ندرت و بیشتر به دلایل بیماری‌های پریدونتال کشیده می‌شوند، در جمع آوری تعداد بالای آن‌ها محدودیت وجود داشت. به همین دلیل از دندان‌های پرمولر سالم که عموماً به دلایل ارتودنسی کشیده می‌شوند، استفاده شد. استفاده از دندان‌های پرمولر به جای دندان‌های قدامی ممکن است

کروموژنیک است. با این حال، باید توجه داشت که حتی این نوع سیلر نیز کاملاً عاری از اثرات تغییر رنگ نیست که می‌تواند به حضور ترکیباتی مانند بیسموت اکساید یا سایر اجزای فرمولاسیون مربوط باشد.^(۷) نتایج حاضر با گزارش‌های Marciano و همکاران^(۸) و Forghani و همکاران^(۹)، که AH Plus را به‌عنوان ماده‌ای با پایداری رنگی نسبی معرفی کرده‌اند، مطابقت دارد.

در مقابل، Pulpdent بیشترین تغییر رنگ را ایجاد کرد و این تغییر رنگ در طول زمان روند افزایشی معنی‌داری داشت. این پدیده به‌طور گسترده به اکسیداسیون اوژنول آزاد و تشکیل ترکیبات رنگی مانند کوئینون‌ها نسبت داده می‌شود.^(۷) علاوه بر این، نفوذ این ترکیبات به توپول‌های عاجی می‌تواند موجب تثبیت و تشدید تغییر رنگ در طول زمان گردد. نتایج این بخش با مطالعه Ekici و همکاران^(۶)، که افزایش تدریجی تغییر رنگ در سیلرهای ZOE را گزارش کردند، همخوانی دارد. این یافته‌ها تأکید می‌کند که سیلرهای مبتنی بر ZOE، به‌ویژه در مواردی که ملاحظات زیبایی مطرح است، باید با احتیاط بیشتری مورد استفاده قرار گیرند.

سیلر Colorado به‌عنوان یک ماده نانوهیبرید ZOE، نتایجی بینابینی نشان داد. اگرچه میزان تغییر رنگ آن کمتر از Pulpdent بود، این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود. استفاده از نانوذرات اکسید روی در این سیلر ممکن است باعث افزایش سطح تماس و واکنش کامل‌تر با اوژنول شود و در نتیجه مقدار اوژنول آزاد قابل اکسیداسیون را کاهش دهد.^(۱۹) با این حال، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که این بهبود احتمالی هنوز به سطحی نرسیده است که بتواند به‌طور معنی‌دار از تغییر رنگ جلوگیری کند. بنابراین، هرچند نانوتکنولوژی می‌تواند رویکردی امیدوارکننده در بهبود ویژگی‌های سیلرها باشد، اما همچنان نیاز به اصلاحات

سیلر Pulpdent بیشترین تغییر رنگ را ایجاد کرد و روندی افزایشی و وابسته به زمان نشان داد. سیلر Colorado به عنوان یک ماده نانو هیبرید، میزان تغییر رنگی کمتر از Pulpdent داشت، اما این اختلاف از نظر آماری معنی دار نبود.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با مجوز کمیته اخلاق شماره IR.MUMS.DENTISTRY.REC.1401.050 در دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد انجام شد. از معاونت پژوهشی دانشگاه برای حمایت مالی قدردانی می‌کنیم. این مطالعه از پایان‌نامه دکترای عمومی دندانپزشکی با شماره ۴۰۱۰۱۶۲ استخراج شده است.

تضاد منافع

تمامی نویسندگان اظهار می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در این پژوهش وجود ندارد.

بازتاب دقیقی از شرایط بالینی در نواحی با اهمیت بالای زیبایی نباشد که این موضوع از محدودیت های مطالعه می باشد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده بر روی دندان های قدامی، با دوره های پیگیری طولانی تر و در شرایط نزدیک تر به محیط دهان انجام شوند.

در مجموع، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اگرچه پیشرفت هایی مانند استفاده از نانو ذرات می‌توانند در بهبود برخی ویژگی های مواد مؤثر باشند، اما انتخاب سیلر مناسب و رعایت اصول کلینیکی همچنان عوامل تعیین کننده در پیشگیری از تغییر رنگ دندان پس از درمان ریشه هستند.

نتیجه گیری

در این مطالعه آزمایشگاهی، تمامی سیلرهای اندودانتیک مورد بررسی (Pulpdent، AH Plus و Colorado) منجر به ایجاد تغییر رنگ تاج دندان به صورت قابل تشخیص بالینی شدند. سیلر AH Plus کمترین میزان تغییر رنگ را نشان داد و از نظر پایداری رنگی عملکرد بهتری نسبت به سایر مواد داشت.

منابع

1. Rohaninasab M, Alamdar M. The effects of home bleaching and laser bleaching on tooth color change: A comprehensive review. J Mashhad Dent Sch 2025; 49(1): 50-9. (Persian)
2. Zare Jahromi M, Barekatein M, Golriz N, Khaki N. Comparative evaluation of fifth and sixth generations of dentin bonding agents on the prevention of tooth discoloration induced by white Mineral Trioxide Aggregate. J Mashhad Dent Sch 2019; 43(4): 360-8. (Persian)
3. Yamaguchi M, Noiri Y, Itoh Y, Komichi S, Yagi K, Uemura R, et al. Factors that cause endodontic failures in general practices in Japan. BMC Oral Health 2018; 18(1): 70.
4. Almeida JF, Gomes BP, Ferraz CC, Souza-Filho FJ, Zaia AA. Filling of artificial lateral canals and microleakage and flow of five endodontic sealers. Int Endod J 2007; 40(9): 692-9.
5. Komabayashi TCD, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. Dent Mater J 2020; 39(5): 703-20.
6. Ekici M EA, Kaskatı T, Helvacıoğlu Kıvanç B. Tooth crown discoloration induced by endodontic sealers: A 3-year ex vivo evaluation. Clin Oral Investig 2019; 23(5): 2097-102.
7. Bakhori SK, Mahmud S, Mohamad D, Masudi SA, Seenı A. Surface morphological and mechanical properties of zinc oxide eugenol using different types of ZnO nanopowder. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl 2019; 100: 645-54.

8. Marciano MA, Camilleri J, Mondelli R, Amoroso Silva P, Cavenago B, Del Carpio-Perochena A, et al. Potential tooth staining due to root canal sealers containing bismuth oxide and formaldehyde. *ENDO* 2015; 9(1): 39-45.
9. Saunders SA. Current practicality of nanotechnology in dentistry. Part 1: Focus on nanocomposite restoratives and biomimetics. *Clin Cosmet Investig Dent* 2009; 1: 47-61.
10. Khurshid Z, Zafar M, Qasim S, Shahab S, Naseem M, AbuReqaiba A. Advances in nanotechnology for restorative dentistry. *Materials* 2015; 8(2): 717-31.
11. Versiani MA, Abi Rached-Junior FJ, Kishen A, Pécora JD, Silva-Sousa YT, de Sousa-Neto MD. Zinc oxide nanoparticles enhance physicochemical characteristics of Grossman sealer. *J Endod* 2016; 42(12): 1804-10.
12. Kesler Shvero D, Zaltsman N, Weiss EI, Polak D, Hazan R, Beyth N. Lethal bacterial trap: Cationic surface for endodontic sealing. *J Biomed Mater Res A* 2016; 104(2): 427-34.
13. DaSilva L, Finer Y, Friedman S, Basrani B, Kishen A. Biofilm formation within the interface of bovine root dentin treated with conjugated chitosan and sealer containing chitosan nanoparticles. *J Endod* 2013; 39(2): 249-53.
14. Collado-González M, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, Ortolani-Seltenerich PS, Lozano A, Forner L, et al. Biocompatibility of three new calcium silicate-based endodontic sealers on human periodontal ligament stem cells. *Int Endod J* 2017; 50(9): 875-84.
15. Saghiri MA, Shekarian M, Abdolmaleki A, Conte M, Morgano SM. Discoloration, radiopacity, and push-out bond strength of bismuth-based radiopacifiers in endodontic sealers. *Odontology* 2026;1-12.
16. Soltani S SE, Shahradian N, Sangrodi PA, Majidi E. Investigation of discoloration of anterior teeth with three types of substances used in endodontic treatment. *Clin Exp Dent Res* 2025; 11(6): e70204.
17. Meincke DK, Prado M, Gomes BP, Della Bona A, Sousa EL. Effect of endodontic sealers on tooth color. *J Dent* 2013; 41(Suppl 3): e93-6.
18. Partovi M, Al-Havvaz AH, Soleimani B. In vitro computer analysis of crown discoloration from commonly used endodontic sealers. *Aust Endod J* 2006; 32(3): 116-9.
19. Zarei M, Javidi M, Jafari M, Gharechahi M, Javidi P, Rad MS. Tooth discoloration resulting from a nano zinc oxide-eugenol sealer. *Iran Endod J* 2017; 12(1): 74-7.
20. Forghani M, Gharechahi M, Karimpour S. In vitro evaluation of tooth discoloration induced by mineral trioxide aggregate Fillapex and iRoot SP endodontic sealers. *Aust Endod J* 2016; 42(3): 99-103.