لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۶، دورهٔ ۱۴، شمارهٔ ۲، صفحات: ۱۱-۲ .

مقاله پژوهشی

اثـر تابش لیـزر دی‌اکسـیدکربن همراه بـا فلورایدتراپی موضعی بر جذب فلوراید در مینای دندان شیری

شمس‌الملوک نجفی [۲،۱]
قاسم میقانی [۳]
محمدجواد خرازی‌فر [۱]
رسول مخصوصی [۶]
بتول کریمی [۴]
سید مصطفی فاطمی [۵،۴]

خلاصه

مقدمه: علی‌رغم کاهش چشـمگیر پوسیدگی در دهه‌های گذشته، هنوز هم این بیماری یک مشکل سلامت عمومی به خصوص در کشورهای درحال توسعه است. درسال‌های‌اخیر، کاربرد ترکیبی لیزر و فلوراید به‌عنوان روشی نوین در پیشگیری از پوسیدگی معرفی شده است. هدف از مطالعهٔ حاضر، بررسـی اثر تابش لیزر دی‌اکسیدکربن همراه‌با فلورایدتراپی موضعی بر جذب فلوراید در مینای دندان شیری به‌روش in vitro بود.

روش بررسـی: در این تحقیق تعداد ۲۵ دندان آسـیای شیری کشیده‌شدهٔ بدون پوسیدگی انتخاب و یک‌سوم میانی دندان‌ها به چهار قسمت مساوی تقسیم شدند و به‌طور تصادفی در ۵ گروه قرار گرفتند. گروه۱: فلورایدتراپی به‌تنهایی، گروه۲: فلورایدتراپی و متعاقب آن لیزرتراپی، گـروه۳: لیزرتراپی و متعاقب آن فلورایدتراپی، گـروه۴: لیزرتراپی و متعاقب آن فلورایدتراپی و مجـدداً لیزرتراپـی و گروه ۵: کنترل (بدون اعمال هیچ‌گونه تیماری). لیزر مورد اسـتفاده دی اکسـیدکربن با طول‌موج ۱۰۶۰۰ نانومتر، توان متوسـط یک وات، عرض پالس ده میلی‌ثانیه و فرکانس ۲۰ هرتز بود که با انرژی هر پالس (fluence) معادل $0.0002\ j/cm^2$ و چگالی هر پالس $0.016\ j/cm^2$ اسـتفاده گردید. در فرآیند فلوراید‌درمانی، ژل فلوراید سدیم ۲/۷ درصد مورد اسـتفاده قرار گرفت. میزان فلوروآپاتیت و کریستالیزاسیون به‌ترتیب با روش‌های FTIR و XRD اندازه‌گیری شد. تغییرات مرفولوژیکی سطحی نیز توسط استریومیکروسکوپ و اسکن میکروسـکوپ الکترونی ارزیابی گردید. داده‌ها با اسـتفاده از آزمون ANOVA و Tukeyبا استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه‌وتحلیل گردید.

یافته‌ها: در بررسی FTIR، میزان گروه هیدروکسیل‌هیدروکسی‌آپاتیت بررسی شد که کاهش آن به‌معنی واکنش با یون فلوراید بود. نتایج حاصل از آزمون چندمقایسـه‌ای آزمایش FTIR نشـان داد که گروه کنترل با تمام گروه‌های دیگر تفاوت معنی‌دار داشـت و در این گروه سطح گـروه هیدروکسیل‌هیدروکسـی‌آپاتیت (۸/۳±۶۶/۶۸) در بالاترین میزان نسـبت به گروه‌های دیگر قرار داشـت. مقدار بنیان هیدروکسـیل باقیمانده در گـروه فلورایدتراپی (۳/۳±۳۳/۹۹) به‌میـزان معنی‌داری کمتر از گروه کنترل و بیشـتر از گروه‌های تحت تابش لیزر بوده اسـت. بین گروه‌های ترکیب، لیزر- فلورایدتراپی (۳/۱۱±۱۲/۳۵)، فلوراید-لیزرتراپی (۲/۲۷±۸/۰۸) و لیزر- فلوراید-لیزرتراپی (۲/۸۴±۵/۸۸) تفاوت معنی‌داری وجود نداشـته اسـت. شـاخص کریستالی‌شـدن در تست XRD در بین گروه‌های آزمایشـی و کنترل فاقد اختلاف معنی‌دار بودند (P>۰/۰۵). تصاویر حاصل از بررسی مرفولوژیکی استریومیکروسکوپیک و میکروسکوپ

۱. *مرکز تحقیقات دندانپزشـکی، دانشـگاه علوم پزشکی تهران، تهران ایران*

۲. *گروه بیماری‌های دهان، دانشکدهٔ دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران ایران*

۳. *گـروه دندانپزشـکی کـودکان، دانشـکدهٔ دندانپزشکی دانشـگاه علوم پزشکی تهران، تهران ایران*

۴. *گروه پژوهشـی لیزرپزشـکی، مرکز تحقیقات لیـزر در پزشـکی، جهـاد دانشـگاهی واحد علوم پزشکی تهران، تهران ایران*

۵. *گـروه مواد دندانی، دانشـکدهٔ دندانپزشـکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران ایران*

۶. *دندانپزشک*

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

الکترونی (SEM) نمونه‌های آزمایشی، نتایج حاصل از ارزیابی FTIR را مورد تأیید قرار داد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد فلوراید‌تراپی به‌تنهایی و یا کاربرد به‌همراه لیزر CO_2 تراپی باعث افزایش جذب فلوراید در دندان‌های شیری می‌شود. ولی کاربرد توأم فلوراید‌تراپی و لیزرتراپی باعث هم‌افزایی در جذب بیشتر فلوراید در دندان‌های شیری نسبت‌به کاربرد تنهایی فلوراید‌تراپی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: لیزرتراپی، فلوراید‌تراپی، جذب فلوراید، دندان‌های شیری

نویسندهٔ مسئول: سیدمصطفی فاطمی، تلفن: ۰۲۱۶۶۴۹۰۷۶۴
پست الکترونیک: drfatemi@gmail.com

مقدمه

باوجود کاهش عمدهٔ میزان بروز پوسیدگی طی چند دههٔ گذشته در کشورهای توسعه‌یافته هنوز پوسیدگی دندانی شایع‌ترین بیماری مزمن در کودکان دبستانی است[۱]. در صورت ادامهٔ روند پوسیدگی با درگیری پالپ و عوارض درد، عفونت و کشیدن دندان یا درمان‌های دشوار و پر هزینه روبه‌رو خواهیم شد. در مطالعات همه‌گیرشناسی، شیوع پوسیدگی در کشورهای برخوردار حدود ۹۰-۶۰ درصد گزارش شده است[۲]. پژوهشگران زیادی نشان داده‌اند که درمان با لیزرهای گوناگون مانند CO_2، Nd:YAG. و آرگون می‌تواند سبب کاهش معدنی‌زدایی لایهٔ زیرسطحی مینا شود[۳]. درنتیجه، پژوهش‌های دائم برای بررسی هزینهٔ اثربخشی درمان‌های پیشگیرانهٔ پوسیدگی اهمیت زیادی در سلامت کلی دهان پیدا می‌کند. تاکنون، برای درمان‌های پیشگیرانهٔ پوسیدگی افزون بر رعایت دقیق بهداشت دهان از مکمل‌های فلوراید و شیاربند استفاده شده‌است. نشان داده‌شده‌است که جذب فلوراید در فرورفتگی و شیارهای دندان کمتر از سطوح صاف است. بنابراین، استفاده از شیاربندها در این نواحی پیشنهاد شده‌است. گاهی شیارهای باریک سطح جوندهٔ دندان‌ها را برای دسترسی موهای مسواک به پلاک میکروبی حذف می‌کنند. بااین حال، ایجاد پوسیدگی ثانویه مشاهده شده است. روش جدید کاربرد لیزر همراه با فلوراید است. تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده است که فلوراید با غلظت کم در محلول Buffer اسیدی به‌صورت کامل مانع پوسیدگی ثانویه شده است. این وضعیت در دهان بسیار پیچیده‌تر می‌شود. زیرا حملات اسیدی مکرر وجود دارد و سطوح مختلف دندانی وضعیت‌های گوناگونی را نشان می‌دهند. از میان لیزرهای گوناگون، لیزر CO_2 در کاهش معدنی‌زدایی لایهٔ زیرسطحی مؤثرتر بوده است. توضیحات مختلفی برای افزایش مقاومت اسید با درمان لیزر، مانند کاهش تراوایی، تغییراتی در ترکیب شیمیایی مینا یا هر دو با هم داده شده است. تابش لیزر CO_2 با طول‌موج ۱۰/۶ µm و روش پیوسته منجربه کاهش آشکار میزان حلالیت اولیهٔ مینا می‌شود. نتایج مشابهی هنگام بررسی اثر کاربرد فلوراید تکمیلی، پیش یا پس از درمان با لیزر، منجربه افزایش جذب فلوراید و کاهش تجزیه در محیط اسیدی شده است. جدیدترین مطالعهٔ پیوستگی طول‌موج ۱۰/۶ µm را با قدرت W ۲ (۲ وات) برروی مینا بلافاصله پس از کاربرد محلول آمین- فلوراید آزموده است[۴]. به‌نظر می‌رسد لیزر CO_2 کارآمدترین نوع لیزر است که دلیل آن همبستگی ضریب جذب مینا با طول‌موج لیزر تابانده شده است[۵]. مطالعات گوناگون از یافته‌های افزایش جذب فلوراید با درمان لیزر پشتیبانی می‌کنند. تغییر شکل آنی هیدروکسی‌آپاتیت با تابش پرقدرت لیزر CO_2 به فلورآپاتیت در حضور فلوایدامین در آزمایشگاه نشان داده‌شده‌است. هنگامی‌که درمان لیزر در ترکیب با کاربری فلوراید باشد، به‌نظر می‌رسد مزایای زیادی نسبت‌به کاربرد فلوراید به‌تنهایی داشته باشد. البته، برخی آثار نامناسب برروی سطح مینا مانند ترک‌های مینایی و نواحی ذوب‌شده پس از درمان با لیزر مشاهده شده است. تاکنون سازوکارهای آثار ترکیبی تابش لیزر و فلوراید به‌طور کامل معلوم نشده است. هم‌اکنون، دست‌کم دو نظریه مربوط به دونوع شکل‌گیری فلوراید تحریک (القا) شده با درمان لیزر مطرح شده است. یکی مطالعهٔ الکترون پویشی میکروسکوپی است و عنوان می‌کند که درمان لیزر- فلوراید سبب رسوب ذرات متعدد کروی یا گرد می‌شود که ازنظر ریخت‌شناسی شبیه رسوبات فلوراید کلسیم برروی سطح‌های ریشه ای است[۶]. این رسوبات سست پیوند فلوراید ممکن است ذخیره‌ای برای باز پرکردن فلوراید ازدست‌رفته درطی روندهای معدنی‌زدایی دوره‌ای استفاده شوند. روش دیگر که با آزمایش‌های اندکی پشتیبانی می‌شود، بر نقش لیزر در افزایش جذب فلوراید در داخل ساختار بلوری دندان به شکل پیوند محکم تأکید دارد[۷]. در آزمایشی با استفاده از پودرهای مینا، افزایش چهارده برابر جذب فلوراید را پس‌از تابش لیزر نشان داده است[۸]. نفوذ فلوراید به عمق ۲۰ µm در سطح ریشه با موفقیت با لیزر Nd/YAG به نتیجه رسیده است. با استفاده از هیدروکسی‌آپاتیت (HA) مصنوعی نشان داده شده است که درمان با لیزر CO_2 در حضور فلوراید حتی می‌تواند آن را به فلورآپاتیت (FA) تبدیل کند[۹].

درطی چند دههٔ گذشته کاهش چشمگیری در پوسیدگی دندان هم در کشورهای توسعه‌یافته و هم در کشورهای درحال توسعه مشاهده

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

شده‌است[۱۰]. براســاس گزارش WHO حدود ۷۰ درصد از کشورهای جهان به هدف WHO در زمینهٔ ســلامت دهان که رسیدن به DMFT معادل ۳ در کودکان ۱۲ ســاله بوده است، دست یافته‌اند[۱۱]. بااین‌حال پوســیدگی دنــدان هنوز هم یک مشــکل ســلامت عمومــی خصوصاً در کشــورهای درحال توسعه محســوب می‌شــود[۱۲]. اهمیت این مشکل زمانی بیشــتر می‌شــود که بدانیم بعضی از افراد ریسک بالاتری برای ابتلا به این بیماری دارند. به‌طوری‌که مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده‌اند که درصــد اندکی از کودکان درصد بالایی از پوســیدگی را به‌خود اختصاص داده‌انــد[۱۰]. در چنین مواردی اســتفاده از روش‌های جدید و مقرون‌به صرفهٔ پیشــگیری از پوســیدگی برای کنترل کامل بیماری بسیار اهمیت می‌یابد. تأثیر فلوراید در پیشگیری از پوسیدگی و نقش مهم آن در افزایش رمینرالیزاســیون و مهار دمینرالیزاســیون و نیز تأثیر آن در ایجاد اختلال در متابولیسم و تولید اسید توسط باکتری‌های پوسیدگی‌زا به‌خوبی اثبات شده است[۱۳]. کاربرد فلوراید موضعی در اشکال مختلف مانند ژل، فوم، وارنیش و محلول منجربه رســوب کریســتال‌های سطحی کلسیم فلوراید (CaF_2) در ســطح مینا می‌شــود که منبعی برای آزادســازی فلوراید در روند دمینرالیزاســیون است. درعین حال مقادیر اندکی فلوراید در مینا به شــکل فلوروآپاتیت وجود دارد. فلوروآپاتیت درمقایســه با کلسیم-فلوراید تشکیل‌شــده حلالیت پایین‌تری دارد و مقاومت طولانی‌تری در برابر روند پوسیدگی فراهم می‌کند. به‌همین‌دلیل کاربردهای متنوع فلوراید موضعی برای دســتیابی به حداکثر اثر ضدپوســیدگی آن ضروری است. همچنین کاربرد فلوراید همراه با روشــی که بتواند جذب آن را افزایش دهد، روشی تضمین‌کننده در جهت پیشگیری از پوسیدگی خواهد بود[۱۴].

ازســویی‌دیگر، از زمــان اختراع لیــزر یاقوتی، لیزرهــای مختلفی برای اســتفاده در دندانپزشــکی به‌عنوان روشــی جایگزین برای تغییر ســطح دندان و افزایش مقاومت آن به اســید مورد مطالعــه قرار گرفته‌اند. از آن زمان تاکنون مطالعات بســیاری در رابطه با کاربرد انواع مختلف لیزر مثل لیزرهای با جذب بالا در مینا (Er, Cr:YSGG, Er:YAG, CO_2) و نیز لیزرهای با جذب کم (آرگون و Nd:YAG)) در زمینهٔ دندانپزشکی پیشــگیری انجام شده‌اســت و نتایج این مطالعات نشان داده‌است که هر دو گــروه این لیزرها در این زمینــه موفق بوده‌اند[۱۴و۱۵]. درحال‌حاضر، تابــش لیزر به‌تنهایی یا به‌عنــوان مکمل درمان‌های کنونی پیشــگیری‌از پوسیدگی هم در مینای سالم و هم در پوسیدگی‌های اولیه (Incipient caries) مطرح اســت[۱۶]. ثابت شده است که ترکیب انواع مختلف لیزر با فلوریداســیون موضعی دندان، مؤثرتر از روش‌های سنتی فلوریداسیون اســت و مقاومت مینا به پوســیدگی را افزایش و حلالیت آن را به اســید کاهش می‌دهد. نکتهٔ مهم این که اســتفاده از لیزر ســبب شرکت فلوراید در ســاختار مینا هم در سطح مینا به‌شکل کلسیم فلوراید و هم در داخل ســاختار کریستالی آن به‌شکل فلوروآپاتیت می‌شود. ترکیب لیزر- فلوراید درمقایسه با کاربرد جداگانهٔ هر یک از دو روش در کاهش آغاز پوسیدگی و ایجاد تأخیر در پیشــرفت پوســیدگی مؤثرتر اســت[۱۷]. نتایج مطالعهٔ Valério و همــکاران (۲۰۱۵) در بررســی اثر لیزر CO_2 و فلوراید‌تراپی در کنترل ضایعهٔ پوسیدگی در دندان‌های شیری دمینرالیزه‌شده نشان داد کــه لیزر CO_2 می‌تواند به‌عنوان یک منبع اضافی در کنترل و پیشــرفت پوسیدگی در مینای دندان‌های شیری باشد[۱۸].

باتوجه به همهٔ شــواهد موجود، این مســئله نامشــخص است که کدام فلوریــد (پیوند محکم یا ســست پیوند) نقش اصلــی را در افزایش جذب فلوراید مینایی دارد که به آن لیزر تابانده شده‌است. باتوجه به نقش بسیار مهم لیزر در کاهش حلالیت مینا در اســید و توصیهٔ بیشــتر پژوهشگران در این زمینه، این مطالعه به‌منظور آماده‌ســازی زمینهٔ کاربرد بالینی لیزر طراحی گردیده اســت. هدف از اجرای این مطالعهٔ آزمایشــگاهی، ارزیابی پدیدهٔ اثر تابش لیزر پرقدرت دی‌اکســیدکربن بر پیشگیری از پوسیدگی مینا با کاربرد ژل فلوراید موضعی در دندان‌های کشیده‌شدهٔ شیری بود.

روش بررسی

این مطالعه از نوع تجربی اســت که به روش In Vitro انجام شد. ابتدا ۲۵ عدد دندان آســیای شیری کشیده‌شدهٔ بدون پوسیدگی انتخاب و بعد از تمیزکردن جهت ضدعفونی در محلول ۱ درصد کلرامین‌تی به‌مدت یک هفته نگهداری شــدند. پس‌از ضد عفونی در آب مقطر اســتریل نگهداری شدند. یک‌سوم میانی سطح گونه‌ای (باکال) و یا زبانی (لینگوال) هر دندان بعد مزیودیستالی جدا نموده به‌گونه‌ای که فاصله تا سطح جونده یک میلی متر باشــد. پس‌از تراشــیدن عاج با هندپیس هر سطح بریده‌شده به چهار قســمت مساوی تقسیم شــدند و به‌طور تصادفی در گروه‌های آزمون قرار داده شدند.

گروه‌های آزمایش عبارت بودنداز:

- گروه اول: فلوراید‌تراپی به‌تنهایی
- گروه دوم: فلوراید‌تراپی و متعاقب آن لیزرتراپی
- گروه سوم: لیزرتراپی و متعاقب آن فلوراید‌تراپی
- گروه چهارم: لیزرتراپی و متعاقب آن فلوراید‌تراپی و مجدداً لیزرتراپی
- گروه پنجم: کنترل بدون اعمال هیچگونه درمانی

مشــخصات پارامتری لیزر مورد استفاده در این پژوهش براساس مقالات مشــابه به این شرح بود: لیزر دی‌اکسیدکربن با طول‌موج ۱۰۶۰۰ نانومتر، توان متوسط یک وات، عرض پالس ده میلی‌ثانیه و فرکانس ۲۰ هرتز مورد استفاده قرارگرفت.

بــر این مبنا انرژی هر پالــس (fluence) معادل $0.0002\ j/cm^2$ و چگالی هر پالــس $0.016\ j/cm^2$ برآورد گردید. نقطهٔ کانونی تابش لیزر ۰/۸ میلی‌مترمربــع و زمان پرتودهی برای هر نقطهٔ کانونی چهار ثانیه بود.

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

خروجی دستگاه لیزر پیش‌از تابش کالیبره گردید.

همچنین در فرآیند فلورایددرمانی، ژل فلوراید سدیم ۲/۷ درصد با روش پوشاندن سطح دندان توسط لایهٔ به ضخامت یک میلی‌متری ژل با استفاده از میکروبراش به‌مدت ۵ دقیقه مورد استفاده قرارگرفت.

بعداز فلورایدتراپی و لیزردرمانی، نمونه‌ها جهت حذف فلوراید سست به‌مدت ۲۴ ساعت در محلول ۱ مولار KOH قرار داده شدند. جهت حذف آلودگی‌ها بین تمام مراحل نمونه‌ها در دستگاه اولتراسونیک قرار داده شدند. پس‌از اعمال درمان‌ها، برای بررسی میزان تشکیل فلورو آپاتیت و فلورهیدروکسی‌آپاتیت از روش FTIR و برای بررسی تغییرات کریستالیزاسیون و صفحات کریستالی از روش XRD و جهت بررسی مورفولژیک از استریومیکروسکوپ و میکروسکوپ الکترونی به‌قرار زیر استفاده شد.

در این آزمون‌ها مقاطع تهیه‌شدهٔ سطحی تبدیل به پودر کرده و با XRD تغییرات کریستالی دندان بررسی گردید از هر گروه ۵ نمونه مورد آزمون قرار گرفت تا تغییرات صفحات کریستالی بررسی شوند. مقاطع تهیه‌شدهٔ سطحی را تبدیل به پودر کرده و با FTIR تغییرات پیوندهای مینای دندان بررسی گردید. از هر گروه ۵ نمونه مورد آزمون قرار گرفت. جهت بررسی مورفولوژیک، نمونه‌ها بااستریومیکروسکوپ (با بزرگ‌نمایی صدبرابر) مشاهده شدند و تفاوت‌های شکلی احتمالی به‌صورت توصیفی ارزیابی گردید. همچنین از هر گروه پس‌از مشاهده با استریومیکروسکوپ یک نمونه جهت تهیهٔ نمونهٔ میکروسکوپ الکترونی تحت پوشش طلا قرار گرفت و تصاویر تغییرات سطحی جهت توصیف تغییرات احتمالی سطوح تهیه گردید. کلیهٔ دستگاه‌ها جهت ارزیابی متغیر مورد نظر کالیبره شده بودند.

به‌منظور ارزیابی توصیفی نتایج بررسی هر گروه آزمایشی، ابتدا کشیدگی و چولگی داده‌ها و تقارن تابع توزیع بررسی گردید و آزمون شاپیرو-ویلک و اسمیرنوف-کولموگروف نرمال بودن توزیع داده‌ها را مورد آزمون قرار داد.

از میانگین، انحراف معیار، کمینه، بیشینه و جهت بررسی معنی‌دار بودن اثر گروه‌ها بر میزان متغیرهای مورد ارزیابی از آزمونANOVA و برای مقایسهٔ بین گروه‌ها از آزمون Tukey HSD استفاده شد.

یافته‌ها

پس‌از انجام تست‌های FTIR و بررسی پیوندهای یونی و ملکولی، میزان هیدروکسیل متصل به هیدروکسی‌آپاتیت به‌عنوان شاخص اثر فلورایدتراپی انتخاب گردید. درخصوص این شاخص می‌توان گفت که باتوجه به اثر شدید الکترونگاتیوی فلوراید، یون فلوئور جایگزین این عامل شده و موجب کاهش سطح این عامل در طیف‌سنجی FTIR می‌شود.

باتوجه به نیاز به یک مرجع در سنجش میزان کاهش شدت و جذب عامل هیدروکسیل، بنیان فسفات موجود در هیدروکسی‌آپاتیت که در فلوروآپاتیت نیز حفظ می‌شود به‌عنوان مرجع انتخاب گردیده است.

متغیر اعلام‌شده در گروه‌های مختلف تحت‌آزمون درواقع نسبت بین گروه هیدروکسیل و فسفات می‌باشد که با تبدیل هیدروکسی‌آپاتیت به فلوروآپاتیت میزان آن کاهش می‌یابد. میانگین میزان هیدروکسیل متصل به هیدروکسی‌آپاتیت در گروه فلورایدتراپی ۳/۳±۳۳/۹۹ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۲۲/۴۵ و ۳۸/۴ به‌دست آمد. میانگین میزان هیدروکسیل متصل به هیدروکسی‌آپاتیت در گروه فلورایدتراپی سپس لیزرتراپی ۲/۲۷±۸/۰۸ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۶/۲ و ۱۱/۷۸ به‌دست آمد. میانگین میزان هیدروکسیل متصل به هیدروکسی‌آپاتیت در گروه لیزرتراپی سپس فلورایدتراپی ۳/۱۱±۱۲/۳۵ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۷/۸۶ و ۱۶/۱۹ به‌دست آمد. میانگین میزان هیدروکسیل متصل به هیدروکسی‌آپاتیت در گروه لیزرتراپی-فلورایدتراپی-لیزرتراپی ۲/۸۴±۵/۸۸ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۲/۳۷ و ۹/۱۹ به‌دست آمد. در گروه شاهد نیز میانگین میزان هیدروکسیل متصل به هیدروکسی آپاتیت ۸/۳±۶۶/۶۸ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۵۴/۱ و ۷۶/۴۷ به‌دست آمد. این نتایج به‌همراه روش‌های آماری در جدول‌های ۱ تا ۵ منعکس گردیده است.

نتایج حاصل‌از آزمون چندمقایسه‌ای نشان داد که گروه کنترل با تمام گروه‌های دیگر تفاوت معنی‌دار دارد و در این گروه سطح گروه هیدروکسیل در بالاترین میزان نسبت‌به گروه‌های دیگر قرار دارد و نشان‌دهندهٔ حداقل تبدیل هیدروکسی‌آپاتیت به فلوروآپاتیت است. همچنین این نتایج نشان‌دهندهٔ این بود که گروه فلورایدتراپی (به‌تنهایی) نیز با تمام گروه های دیگر(ازجمله گروه کنترل و گروه‌های لیزرتراپی) تفاوت معنی‌دار داشته است. مقدار بنیان هیدروکسیل باقیمانده در گروه فلورایدتراپی به میزان معنی‌داری کمتر از گروه کنترل و بیشتر از گروه‌های تحت‌تابش لیزر بوده است.

نتایج همچنین نشان داد که بین گروه‌های ترکیب لیزر و فلورایدتراپی تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است، اگرچه در تمام این گروه‌ها مقدار بنیان هیدروکسیل باقیمانده به میزان معنی‌داری کمتر از گروه کنترل و فلورایدتراپی به‌تنهایی بوده است.

پس از انجام تست‌های XRD[1] و بررسی صفحات کریستالی برمبنای شاخص‌های میلر، شاخص کریستالینیتی CI به‌عنوان شاخص بررسی مقایسه‌ای گروه‌ها درنظر گرفته‌شد. در این شاخص که توسط پیرسون و همکاران ذکر شده است، مقدار پیک‌های پراش در صفحات کریستالی

۱. یکی از کاربردهای رایج xrd تشخیص وجود برخی مواد کریستالی معروف در ماده با انطباق دادن طیف پراش اشعهٔ ایکس ماده با بانک‌های اطلاعاتی معتبر بین‌المللی مانند ICDD است.

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

جدول۱: مقادیر توصیفی گروه‌های آزمایشی مورد بررسی در تست FTIR

گروه‌های آزمایشی	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	Skewness	Kurtosis
فلوراید‌تراپی	۲۹/۴۵	۳۸/۴	۳۲/۹۹	۳/۳	۱/۲۳	۱/۱
فلوراید‌تراپی سپس لیزرتراپی	۶/۲	۱۱/۸۷	۸/۰۸	۲/۲۷	۱/۵۶	۱/۹
لیزرتراپی سپس فلوراید‌تراپی	۷/۸۶	۱۶/۱۹	۱۲/۳۵	۳/۱۱	-۰/۴۴	۰/۳۵۷
لیزرتراپی- فوراید‌تراپی- لیزرتراپی	۲/۳۷	۹/۱۹	۵/۸۸	۲/۸۴	-۰/۰۴	-۱/۹۶
شاهد	۵۴/۱	۷۶/۴۷	۶۶/۶۸	۸/۳	-۰/۷۲	۱/۱

جدول۲: آزمون شاپیرو-ویلک و اسمیرنوف-کولموگروف توزیع نرمال داده‌ها در تست FTIR

گروه‌های آزمایشی	Shapiro-Wilk			Kolmogorov-Smirnov		
	آماره	df	Sig.	آماره	df	Sig.
فلوراید‌تراپی	۰/۹۰۷	۵	۰/۴۵۱	۰/۲۴۷	۵	۰/۲
فلوراید‌تراپی سپس لیزرتراپی	۰/۸۵۱	۵	۰/۱۹۷	۰/۲۵۳	۵	۰/۲
لیزرتراپی سپس فلوراید‌تراپی	۰/۹۸۹	۵	۰/۹۷۶	۰/۱۵۱	۵	۰/۲
لیزرتراپی- فوراید‌تراپی- لیزرتراپی	۰/۹۵۶	۵	۰/۷۸۲	۰/۱۸۹	۵	۰/۲
شاهد	۰/۹۵۶	۵	۰/۸۶۶	۰/۲۱۱	۵	۰/۲

جدول۳: آزمون One Way ANOVA جهت تعیین اختلاف معنی‌داری گروه‌ها در تست FTIR

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
بین گروه‌ها	۱۳۰۶۳/۴	۴	۳۲۶۵/۸۵	۱۵۸/۵	۰/۰۰۰۱
درون گروه‌ها (خطا)	۴۱۲/۱	۲۰	۲۰/۶		
کل	۱۳۴۷۶/۵	۲۴			

جدول۴: مقایسهٔ میانگین مقادیر هیدروکسیل گروه‌ها به روش آزمون توکی در تست FTIR

گروه‌های آزمایشی	میانگین	اختلاف معنی‌داری*
فلوراید‌تراپی	۳۲/۹۹	b
فلوراید‌تراپی سپس لیزرتراپی	۸/۰۸	c
لیزرتراپی سپس فلوراید‌تراپی	۱۲/۳۵	c
لیزرتراپی- فلوراید‌تراپی- لیزرتراپی	۵/۸۸	c
شاهد	۶۶/۶۸	a

*وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌داری میانگین‌ها است.

ذیل محاسبه می‌شود:

صفحه (۲۱۱) : h صفحه (۱۱۲) :a صفحه (۳۰۰) : b صفحه (۲۰۲) : c

سپس شاخص کریستالینیتی یا Crystallinity Index با فرمول ذیل محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{a+b+c}{h}$$

کاهش این شاخص می‌تواند بیانگر کاهش کریستالینیتی و به بیان دیگر افزایش آمورف شدن ماده (در اینجا ترکیب آپاتیت) است. نتایج توصیفی داده‌های CI در این پژوهش در جدول ۶ منعکس گردیده است. میانگین میزان CI در گروه فلوراید‌تراپی ۱/۷۷±۰/۱۲ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۱/۶ و ۱/۹ به‌دست آمد. میانگین میزان CI در گروه فلوراید تراپی سپس لیزرتراپی ۱/۷±۰/۱۵ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۱/۵۴ و ۱/۸۹ به‌دست آمد. میانگین میزان CI در گروه لیزرتراپی سپس فلوراید‌تراپی ۱/۷۵±۰/۰۷۷ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۱/۶۸ و ۱/۸۷ به‌دست آمد. میانگین میزان CI در گروه لیزرتراپی- فلوراید‌تراپی- لیزرتراپی ۱/۶۸±۰/۱۳ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۱/۵ و ۱/۸ به دست آمد. در گروه شاهد نیز میانگین CI ۱/۸۴±۰/۱۲ و کمینه و بیشینهٔ آن نیز به‌ترتیب ۱/۷۲ و ۲ به‌دست آمد. این نتایج به‌همراه روش‌های آماری در جدول‌های ۶ تا ۸ منعکس گردیده است.

نتایج ارزیابی مرفولوژیک: تصاویر حاصل از بررسی مرفولوژیکی استریومیکروسکوپیک و میکروسکوپ الکترونی (SEM) نمونه‌های

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

جدول۵: مقادیر سطح معنی‌داری اختلاف میانگین گروه‌ها در آزمون توکی در تست FTIR

گروه (I)	گروه (J)	اختلاف میانگین (I-J)	P. Value
شاهد	فلورایدتراپی	۳۳/۶۸	۰/۰۰۱
	لیزر تراپی سپس فلورایدتراپی	۵۴/۳۲	۰/۰۰۱
	فلورایدتراپی سپس لیزرتراپی	۵۸/۶	۰/۰۰۱
	لیزر تراپی- فلورایدتراپی- لیزرتراپی	۶۰/۸	۰/۰۰۱
فلورایدتراپی	شاهد	-۳۳/۶۸	۰/۰۰۱
	لیزر تراپی سپس فلورایدتراپی	۲۰/۶۴	۰/۰۰۱
	فلورایدتراپی سپس لیزرتراپی	۲۴/۹	۰/۰۰۱
	لیزر تراپی- فلورایدتراپی- لیزرتراپی	۲۷/۱	۰/۰۰۱
لیزر تراپی سپس فلورایدتراپی	شاهد	-۵۴/۳	۰/۰۰۱
	فلورایدتراپی	-۲۰/۶۴	۰/۰۰۱
	فلورایدتراپی سپس لیزرتراپی	۴/۲۷	۰/۵۸۲
	لیزر تراپی- فلورایدتراپی- لیزرتراپی	۶/۴۷	۰/۲۰۱
فلورایدتراپی سپس لیزر- تراپی	شاهد	-۵۸/۶	۰/۰۰۱
	فلورایدتراپی	-۲۴/۹	۰/۰۰۱
	لیزر تراپی سپس فلورایدتراپی	-۴/۲۷	۰/۵۸۲
	لیزر تراپی- فلورایدتراپی- لیزرتراپی	۲/۲	۰/۹۳۷
لیزر تراپی- فلورایدتراپی- لیزر تراپی	شاهد	-۶۰/۸	۰/۰۰۱
	فلورایدتراپی	-۲۷/۱	۰/۰۰۱
	لیزر تراپی سپس فلورایدتراپی	-۶/۴۷	۰/۲۰۱
	فلورایدتراپی سپس لیزرتراپی	-۲/۲	۰/۹۳۷

آزمایشی، نتایج حاصل از ارزیابی FTIR را مورد تأیید قرار داد. میزان فلوراید در سطح نمونه‌های شاهد در حداقل بود که این مورد در تصاویر استریومیکروسکوپیک قابل مشاهده نبوده و در تصاویر SEM نیز سطح عادی کریستال‌های کلسیم مینا قابل مشاهده است. با کاربرد ژل فلوراید، جذب سطحی فلوراید در نمونه‌ها افزایش یافته که نقاط سفید در تصاویر استریومیکروسکوپیک و کریستال‌های درشت توده‌ای در تصاویر SEM نشان‌دهندهٔ جذب فلوراید است. با کاربرد لیزرتراپی همراه با فلورایدتراپی، میزان جذب فلوراید افزایش فاحشی داشته که نقاط سفید جزیره‌ای در نمونه‌ها در تصاویر استریومیکروسکوپیک و توده‌ها درشت سفید در تصاویر SEM حاکی از جذب بالای فلوراید در این نمونه‌ها است (جدول۹).

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی منابع علمی موجود و در دسترس اگرچه شیوع پوسیدگی دندان در بسیاری از کشورها کاهش یافته است، ولی این بیماری هنوز شایع ترین بیماری دندان در میان کودکان به‌شمار می‌رود. بنابراین، پیشگیری از پوسیدگی به‌جای درمان باید به‌عنوان یک هدف ضروری برای سلامت دندان در نظر گرفته شود. ثابت شده است که درمان فلوراید یکی از روش‌های مؤثرترین در افزایش مقاومت مینای دندان در برابر دمینیرالیزاسیون است[۱۹]. فلوراید موضعی قادر به جلوگیری از توسعه و یا کاهش پیشرفت پوسیدگی دندان‌های شیری است[۲۰]. به‌تازگی، استفاده لیزر به‌عنوان یک روش جدید پیشگیری از پوسیدگی فراهم گردیده است و لیزر درمانی به‌عنوان یک روش جایگزین و یا مکمل برای اصلاح سطح دندان و افزایش مقاومت آن در برابر اسیدهای عامل پوسیدگی دندان است[۲۱].

هدف نهایی در این تحقیق این بود که اثر تابش لیزر دی‌اکسیدکربن همراه با فلورایدتراپی موضعی بر جذب فلوراید در مینای دندان‌های شیری مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در این تحقیق تأثیر ترتیب کاربرد هریک از روش‌های لیزر تراپی و فلورایدتراپی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

در مطالعهٔ حاضر نتایج حاصل از آزمون چند مقایسه‌ای آزمایش FTIR نشان داد که گروه کنترل با تمام گروه‌های دیگر تفاوت معنی‌دار دارد و در این گروه سطح گروه هیدروکسیل (۸/۳±۶۶/۶۸) در بالاترین میزان نسبت به گروه‌های دیگر قرار دارد و نشان‌دهندهٔ حداقل تبدیل هیدروکسی‌آپاتیت به فلوروآپاتیت است. همچنین این نتایج نشان‌دهندهٔ این بود که گروه فلورایدتراپی (به‌تنهایی) نیز با تمام گروه‌های دیگر(ازجمله گروه کنترل و گروه‌های لیزرتراپی) تفاوت معنی‌دار داشته است. مقدار بنیان هیدروکسیل باقیمانده در گروه فلورایدتراپی (۳/۳±۳۳/۹۹) به میزان معنی‌داری کمتر از گروه کنترل و بیشتر از گروه‌های تحت تابش لیزر بوده است. نتایج همچنین نشان داد که بین گروه‌های ترکیب، لیزر- فلورایدتراپی (۳/۱۱±۱۲/۳۵)، فلوراید-لیزرتراپی (۲/۲۷±۸/۰۸) و لیزر- فلوراید-لیزرتراپی (۲/۸۴±۵/۸۸)، تفاوت معنی‌داری وجود نداشته است، اگرچه در تمام این گروه‌ها مقدار بنیان هیدروکسیل باقیمانده به میزان معنی‌داری کمتر از گروه کنترل و فلورایدتراپی به‌تنهایی بوده‌است. این تحقیق نشان داد که میزان کاهش بنیان هیدروکسیل و یا افزایش جذب فلوراید در روش‌های درمان ترکیبی فلورایدتراپی و لیزرتراپی نسبت‌به کاربرد تنهایی فلورایدتراپی و شاهد به مراتب بیشتر می‌باشد که این مورد نشان‌دهندهٔ تأثیر هم‌افزایی لیزرتراپی CO_2 و فلورایدتراپی در جذب فلوراید است. همچنین هرچند که کاربرد توأم لیزرتراپی CO_2 و فلورایدتراپی در جذب فلوراید فاقد اختلاف معنی‌دار بود ولی با این وجود میزان جذب فلوراید در کاربرد ابتدا فلورایدتراپی و متعاقب آن لیزرتراپی CO_2 نسبت‌به کاربرد ابتدا لیزرتراپی CO_2 و متعاقب آن فلورایدتراپی بیشتر بود. از مطالعات با نتایج همسو با تحقیق حاضر می‌توان به نتیجهٔ مطالعهٔ Gao و همکاران [۲۲] در بررسی اثر ترکیبی لیزر CO_2 و فلوراید در دمینیرالیزاسیون ریشهٔ دندان اشاره نمود. آن‌ها نشان دادند که میزان کاهش دمینرالیزاسیون ریشه در گروه لیزر و گروه ترکیب لیزر و فلورایددرمانی نسبت‌به سایر گروه‌های معنی‌دار بود. بیشترین کاهش دمینرالیزاسیون ریشه در گروه ترکیب لیزرتراپی و فلوراید درمانی بود. نتیجهٔ مطالعهٔ Tagliaferro و همکاران[۲۳] در بررسی اثر لیزر دی‌اکسیدکربن و فسفات‌فلوراید بر دمینرالیزاسیون مینای دندان‌های شیری نیز همسو با نتیجهٔ تحقیق حاضر بود. آن‌ها گزارش نمودند که میزان دمینرالیزاسیون

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

جدول۶: مقادیر توصیفی گروه‌های آزمایشی مورد بررسی در تست XRD

گروه‌های آزمایشی	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	Skewness	Kurtosis
فلورایدتراپی	۱/۶	۱/۹	۱/۷۷	۰/۱۲	۰/۵۹	۰/۰۷
فلورایدتراپی سپس لیزرتراپی	۱/۵۴	۱/۸۹	۱/۷	۰/۱۵	-۰/۲۳	-۱/۸
لیزرتراپی سپس فلورایدتراپی	۱/۶۸	۱/۸۷	۱/۷۵	۰/۰۷۷	۱	-۰/۵
لیزرتراپی- فلورایدتراپی- لیزرتراپی	۱/۵	۱/۸	۱/۶۸	۰/۱۳	-۰/۶۸	-۰/۷۸
شاهد	۱/۷۲	۲	۱/۸۴	۰/۱۲	۰/۰۲۵	-۱/۹۴

جدول۷: آزمون شاپیرو-ویلک و اسمیرنوف-کولموگروف توزیع نرمال داده‌ها در تست XRD

گروه‌های آزمایشی	Shapiro-Wilk			Kolmogorov-Smirnov		
	آماره	df	Sig.	آماره	df	Sig.
فلورایدتراپی	۰/۹۴۹	۵	۰/۷۲۹	۰/۲۰۵	۵	۰/۲
فلورایدتراپی سپس لیزرتراپی	۰/۸۸۴	۵	۰/۳۲۷	۰/۲۸۷	۵	۰/۲
لیزرتراپی سپس فلورایدتراپی	۰/۹۳۷	۵	۰/۶۴۴	۰/۲۴	۵	۰/۲
لیزرتراپی- فلورایدتراپی- لیزرتراپی	۰/۹۲۲	۵	۰/۵۴۴	۰/۲۰۶	۵	۰/۲
شاهد	۰/۸۹۶	۵	۰/۹۲۲	۰/۲۳۷	۵	۰/۲

جدول۸: آزمون One Way ANOVA جهت تعیین اختلاف معنی‌داری گروه‌ها در تست XRD

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
بین گروه‌ها	۰/۰۷۷	۴	۰/۰۱۹	۱/۳۱۹	۰/۲۹۷
درون گروه‌ها (خطا)	۰/۲۹۲	۲۰	۰/۰۱۵		
کل	۰/۳۶۹	۲۴			

مینا در گروه تیمارشـده با لیزر دی‌اکسـیدکربن و APF نسبت‌به شاهد کاهش معنی‌داری داشـت و لیزر دی‌اکسیدکربن به‌همراه APF باعث کاهش پوسیدگی در مینای دندان‌های شـیری شد. همچنین Leylak و Akyuz[۲۴] در بررسی پیشـگیری از تحلیل و پوسـیدگی مینا و جذب فلوراید در هر دو نوع دندان‌های شیری و دائمی با استفاده از لیزر Er:YAG، لیزر Nd: YAG و لیزر CO_2 به همراه فلورایدتراپی (APF) نشان دادند کاربرد توأم لیزرتراپی و فلورایددرمانی در یک دورهٔ زمانی چندروزه از تحلیل کلیسـم دندانی پیشگیری می‌نمود. همچنین آن‌ها نشـان دادند که این امر در دندان‌های شـیری که تحلیل کلسیم سریع‌تر از دندان‌های دائمی اسـت، دارای اهمیت بالایی در پیشـگیری از پوسیدگی دندان های شـیری اسـت. Mathew و همکاران[۲۵] نیز در بررسی و مقایسهٔ اثر لیزر Er:YAG و لیزر CO_2 همراه با فسـفات‌فلوراید بـر مقاومت مینای دندان‌های انسـانی در مقابل اسید نشان دادند که فلورایدتراپی همراه با لیزر Er: YAG و یا بـا لیزر CO_2 اثر هم‌افزایی بالایی در کاهش دمینرالیزاسـیون مینای دندان نسبت‌به کاربرد تنهایی درمان با فلوراید و یا لیزردرمانی داشت.

دهقان خلیلی و فکرآزاد[۲۶] در تعیین و مقایسهٔ تأثیر استفاده از لیزر CO_2، ژل فسفات‌فلوراید (APF) و درمان ترکیبی این موارد بر افزایش مقاومت مینا در مقابل حلالیت اسیدی و شـروع روند پوسیدگی نشان دادند کاربرد فلورایدتراپی و لیزرتراپی به‌صورت جداگانه و یا به‌صورت ترکیبی نسبت‌به شاهد باعث افزایش قابـل توجه مقاومت مینـای دندان گردید که از این نظر بـا نتایج تحقیق حاضر همسـو بـود ولی از این نظر که میزان انحلال اسـیدی مینای دنـدان در کاربرد تنهایی ژل فلوراید بسـیار پایین‌تر کاربرد لیزرتراپی به‌تنهایی و یا توأم لیزرتراپی و فلورایدتراپـی بود با نتایج تحقیق حاضر همسـو نبـود. در مطالعهٔ آن‌ها کاربرد فلورایدتراپـی و لیزرتراپی فاقد اثر هم‌افزایی بود. علـت این اختلاف نتایج را می توان در روش کار و صفت مورد بررسـی، جسـتجو کرد. در تحقیق آن‌ها میزان مقاومت در برابر انحلال اسیدی اندازه‌گیری شده‌بود درحالی‌که در تحقیق حاضر میزان جذب فلوراید از طریق میزان بنیان هیدروکسیل باقیمانده اندازه‌گیری شد. همچنین نکتهٔ مهم دیگر اینکه نتایج تحقیق حاضر برروی دندان‌های شـیری بود درحالی‌کـه نتایج تحقیق دهقان خلیلی و فکرآزاد بر روی دندان‌های دائمی بوده است. به همین دلیل نتایج مختلف دور از انتظار نیست. در مطالعهٔ Monteiro و همکاران[۲۷] در بررسی پتانسیل لیزر CO_2 همراه با فلوراید در مهار پوسیدگی

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

مینای دندان مشاهده گردید که با وجود اینکه کاربرد لیزر CO_2 و فلوراید‌تراپی باعث کاهش پوسیدگی نمونهٔ مینای دندان انسان می‌گردد، ولی تابش لیزر CO_2 در $0/45\ j/cm^2$ نتوانست اثر هم‌افزایی بر فلوراید‌تراپی داشته‌باشد. این نتیجه نیز از دیدگاه عدم هم‌افزایی لیزر CO_2 بر فلوراید‌تراپی با نتیجهٔ تحقیق حاضر همسو نبود که در آزمایش آن‌ها نیز نه‌تنها برروی دندان‌های دائمی مطالعه صورت گرفته بود، بلکه صفت مورد بررسی در این تحقیق میزان حلالیت کلسیم مینای دندانی در محیط اسیدی اندازه‌گیری شده بود.

در تحقیق حاضر تصاویر حاصل‌از بررسی مرفولوژیکی استریومیکروسکوپیک و میکروسکوپ الکترونی (SEM) نمونه‌های آزمایشی، نتایج حاصل از ارزیابی FTIR را مورد تأیید قرار داد به‌طوری‌که میزان جذب سطحی فلوراید در گروه‌های آزمایشی توأم فلوراید‌درمانی و لیزرتراپی بیشتر از شاهد و کاربرد تنهایی ژل فلوراید بود که نقاط سفید جزیره‌ای در نمونه‌ها در تصاویر استریومیکروسکوپیک و توده‌ها درشت سفید در تصاویر SEM حاکی از جذب بالای فلوراید در این نمونه‌ها است. Tagliaferro و همکاران[۲۸] در ارزیابی تغییرات فیزیکی و ترکیبی دمینرالیزاسیون مینای دندان‌های شیری القاشده با لیزر دی‌اکسیدکربن گزارش نمودند که در تصاویر Fourier transform Raman spectroscopy کاهش معنی‌دار محتوی مواد معدنی در گروه پوسیده و لیزر نسبت‌به گروه شاهد نشان داد. به‌علاوه محتوی کربنات در نمونه‌های تابش‌شده با لیزر در مقایسه با سایر گروه‌ها کاهش معنی‌داری نشان داد. آن‌ها هیچگونه تغییرات فیزیکی معنی‌داری در نمونه‌ها در ارزیابی با SEM مشاهده نکردند.

در تحقیق حاضر میانگین شاخص کریستالی شدن تست XRD در گروه فلوراید‌تراپی ۱/۷۷±۰/۱۲، در گروه فلوراید‌تراپی سپس لیزرتراپی ۱/۷±۰/۱۵، در گروه لیزرتراپی سپس فلوراید‌تراپی ۱/۷۵±۰/۰۷۷، در گروه لیزرتراپی- فلوراید‌تراپی- لیزرتراپی ۱/۶۸±۰/۱۳ و در گروه شاهد نیز میانگین CI ۱/۸۴±۰/۱۲ به‌دست آمد. با این وجود اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی و شاهد مشاهده نگردید ($P>0/05$). این نتیجه با نتیجهٔ تحقیق Liu و همکاران همسو نبود. آن‌ها در بررسی تأثیر کاربرد تنهایی و ترکیبی فلوراید‌تراپی و لیزرتراپی در میزان کریستالی‌شدن دندان‌های دائمی و اندازه‌گیری شاخص CI به‌روش Micro-XRD نشان دادند که میزان CI در گروه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت. درحالی‌که در نتایج حاصل‌از FTIR، تصاویر استریومیکروسکوپ و میکروسکوپ الکترونی اختلاف قابل‌توجهی بین شاهد و گروه‌های آزمایشی در تحقیق حاضر مشاهده گردید. این امر می‌تواند نشان‌دهندهٔ تفاوت ناشی‌از دوز لیزر به‌همراه تفاوت در روش اندازه‌گیری XRD باشد. همچنین نوع دندان‌های مورد آزمایش (شیری یا دائمی) نیز می‌تواند در نتیجهٔ آزمایش مؤثر باشد.

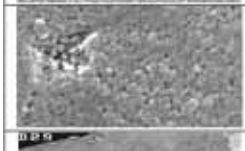
باتوجه به لیزرتراپی و انجام فلوراید‌تراپی در دو سطح خارج مینا و CEJ، به نظر می‌رسد میزان مینای تحت تیمار به نسبت کل مینا در حد کافی باشد که بتوان نتایج به‌دست‌آمده را به اثر لیزر و فلوراید‌تراپی در مینا تعمیم داد اگرچه اثر لیزر در این تحقیق به میزان واضحی بعد از فلوراید مؤثر بوده اما باتوجه به دوز کم و زمان تابش کوتاه لیزر، تغییرات قابل توجهی در ساختار کریستالی مینا به وجود نیاورده است.

نتایج حاصل‌از این تحقیق نشان داد که کاربرد فلوراید‌تراپی به‌تنهایی و یا کاربرد به‌همراه لیزر CO_2 تراپی باعث افزایش جذب فلوراید در دندان‌های شیری می‌شود. ولی کاربرد توأم فلوراید‌تراپی و لیزرتراپی باعث هم‌افزایی در جذب بیشتر فلوراید در دندان‌های شیری نسبت‌به کاربرد تنهایی فلوراید‌تراپی می‌گردد. همچنین نوع ترتیب کاربرد توأم فلوراید‌تراپی و لیزرتراپی تأثیر چندانی در میزان جذب فلوراید دندان‌های شیری ندارد. اما، مطالعات بیشتر آزمایشگاهی و کلینیکی برروی دندان‌های شیری برای نتیجه‌گیری قطعی لازم است.

محدودیت‌های تحقیق: این تحقیق به‌صورت آزمایشگاهی و با نمونه‌های در دسترس انجام شده‌است که یافتن نمونه‌های مناسب از دشواری‌های انجام اینگونه پژوهش‌ها می‌باشد.

پیشنهاد: باتوجه به اینکه مطالعات کاربرد لیزردرمانی و فلوراید‌تراپی در زمینهٔ دندان‌های شیری بسیار اندک بود. لذا، پیشنهاد می‌شود اثر کاربرد سایر انواع لیزردرمانی و فلوراید‌تراپی در جلوگیری از پوسیدگی دندان‌های شیری مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول۹: نتایج حاصل از بررسی مرفولوژیکی استریومیکروسکوپیک و میکروسکوپ الکترونی

گروه‌های آزمایشی	ارزیابی استریومیکروسکوپیک	ارزیابی میکروسکوپ الکترونی
شاهد		
فلوراید‌تراپی		
فلوراید‌تراپی- لیزرتراپی		
لیزرتراپی- فلوراید‌تراپی		
لیزرتراپی- فلوراید‌تراپی- لیزرتراپی		

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

References:

1. Petersen PE, Bourgeois D, Ogawa H. Estupinan-Day S, Ndiaye C. The global burden of oral diseases and risks to oral health. Bull World Health Organ 2005; 83: 661-9.

2. Zhang C, Kimura Y, Matsumoto K. The effects of pulsed Nd:YAG laser irradiation with fluoride on root surface. Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery, 1996; 14(6): 399–403.

3. Westerman GH, Hicks MJ, Flaitz C, Powell GL. In vitro enamel caries formation: argon laser ,light-emitting diode and APF treatment effect. Am J Dent 2004; 17: 383-7.

4. Hsu J, Fox JL, Wang Z, Powell GL, Otsuka M, Higuchi WI. Combined effects of laser irradiation/solution fluoride ion on enamel demineralization. J Clin Laser Med Surg. 1998; 16(2): 93-105. Erratum in: J Clin Laser Med Surg 1998; 16(5): 294-5.

5. Cowan J, Wilson NH, Wilson MA, Watts DC. The application of ESEM in dental materials research. Journal of Dentistry 1996; 24(5): 375–7.

6. Stephen W. Caries in young populations-worldwid. In: W.H. Bowen and L.A. Tabak, Editors, Cariology for the nineties, University of Rochester Press, Rochester, New York, USA 1993: 37–50.

7. Meurman JH, Hemmerle J, Voegel JC, Rauhamaa-Makinen R, Luomanen M. Transformation of hydroxyapatite to fluorapatite by irradiation with high-energy CO2 laser. Caries Research 1997; 31(5): 397–400.

8. Goodman BD, Kaufman HW. Effects of an argon laser on the crystalline properties and rate of dissolution in acid of tooth enamel in the presence of sodium fluoride. Journal of Dental Research 1977; 56(10): 1201–7.

9. Stephen Hsu Chin-Ying. Effects of CO2 laser on fluoride uptake in enamel. Journal of Dentistry 2004; 32(2): 161-7.

10. Azevedo Rodrigues LK, Nobre dos Santos M, Pereira D, Assaf AV, Pardi V. Carbon dioxide laser in dental caries prevention. J Dent. 2004; 32(7): 531-40.

11. Rezaei Y, Bagheri H, Esmaeilzadeh M. Effects of laser irradiation on caries prevention. J Lasers Med Sci. 2011; 2(4): 159-64.

12. Chin-Ying SH, Xiaoli G, Jisheng P, Wefel JS. Effects of CO2 laser on fluoride uptake in enamel. J Dent. 2004; 32(2): 161-7.

13. Souza-Gabriel AE, Colucci V, Turssi CP, Serra MC, Corona SA. Microhardness and SEM after CO2 laser irradiation or fluoride treatment in human and bovine enamel. Microscop Res Tech. 2010; 73(11): 1030-5.

14. Bevilácqua FM, Zezell DM, Magnani R, da Ana PA, Eduardo Cde P. Fluoride uptake and acid resistance of enamel irradiated with Er:YAG laser. Lasers Med Sci. 2008; 23(2): 141-7.

15. Vlacic J, Meyers IA, Walsh LJ. Laser-activated fluoride treatment of enamel as prevention against erosion. Aust Dent J. 2007; 52(3): 175-80.

16. Azevedo DT, Faraoni-Romano JJ, Derceli JDR, Palma-Dibb RG. Effect of Nd:YAG laser combined with fluoride on the prevention of primary tooth enamel demineralization. Braz Dent J. 2012; 23(2): 104-9.

17. Villalba-Moreno J, González-Rodríguez A, de Dios LópezGonzález J, Bolaños-Carmona MV, Pedraza-Muriel V. Increased fluoride uptake in human dental specimens treated with diode laser. Lasers Med Sci. 2007; 22(3): 137-42.

18. Valério RA, Rocha CT, Galo R, Borsatto MC, Saraiva MCP, Corona SAM. CO2 Laser and Topical Fluoride Therapy in the Control of Caries Lesions on Demineralized Primary Enamel. The Scientific World Journal, 2015; Article ID 547569, 6 pages.

19. Clarkson JJ. International collaborative re-search on fluoride. J Dent Res. 2000; 79(4): 893-904.

20. Marinelli CB, Donly KJ, Wefel JS, Jakob-sen JR,

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]

Denehy GE. An in vitro comparison of three fluoride regimens on enamel reminerali-zation. Caries Res. 1997; 31(6): 418-22.

21. Oliveira M, Zezell DM, Meister J, Franzen R, Stanzel S, Lampert F. CO2 laser (10.6 μm) parameters for caries prevention in dental enamel. Caries Res. 2009; 43(4): 261-8.

22. Gao XL, Pan JS, Hsu CY. Laser-Fluoride Effect on Root Demineralization. Dent Res, 2006; 85(10): 919-23.

23. Tagliaferro EPS, Rodrigues LKA, Soares LES, Martin AA, Santos MND. Physical and Compositional Changes on Demineralized Primary Enamel Induced by CO2 Laser. Photomedicine and Laser Surgery, 2009; 27(4): 585-90.

24. Leylak B, Akyuz S. In Vitro Evaluation of Prevention of Enamel Erosion and Fluoride Uptake by Laser and Fluoride Application. MUSBED 2013; 3(Suppl.2): S36.

25. Mathew A, Reddy NV, Sugumaran DK, Peter J, Shameer M, Dauravu LM. Acquired acid resistance of human enamel treated with laser (Er:YAG laser and CO2 laser) and acidulated phosphate fluoride treatment: An in vitro atomic emission spectrometry analysis. Contemp Clin Dent. 2013; 4(2): 170-5.

26. Dehqan Khalili S, Fekrazad R. Increase the resistance of tooth enamel against decay using lasers, carbon dioxide, fluoride gel, and the combination of the two. Quarterly Journal of Medicine, the police, the Armed Forces Special Abstract Dental Congress, 2013: 50-51.

27. Monteiro T, Oliveira R, Ramos TM, Oliveira ME, Christian APEL, Fischer H, Eduardo CP, Steagall W, Freitas PM. Potential of CO2 lasers (10.6 μm) associated with fluorides in inhibiting human enamel erosion. Braz Oral Res., (São Paulo) 2014; 28(1): 1-6.

28. Tagliaferro EP, Rodrigues LK, Nobre Dos Santos M, Soares LE, Martin AA. Combined effects of carbon dioxide laser and fluoride on demineralized primary enamel: an in vitro study. Caries Res. 2007; 41(1): 74-6.

[Downloaded from icml.ir on 2026-05-27]