

## بررسی اثر ابعاد و شکل هندسی پست‌های پیش ساخته و جنس کرون بر میزان و توزیع تنش وارد به ریشه‌ی دندان‌های مولر به روش واکاوی اجزای محدود

مجتبی محمودی<sup>\*</sup>، سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب<sup>\*\*</sup>، علیرضا سعیدی<sup>\*\*\*</sup>، مریم السادات هاشمی پور<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> فوق لیسانس مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران  
<sup>\*\*</sup> استاد گروه مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران  
<sup>\*\*\*</sup> دانشیار گروه مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران  
<sup>\*\*\*\*</sup> استادیار گروه بیماری‌های دهان و عضو مرکز تحقیقات بیماری‌های دهان و دندان، دانشکده‌ی دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان، کرمان، ایران

### چکیده

**بیان مساله:** پژوهشگران همواره در صدد ارزیابی درمان‌های مناسب به همراه تامین زیبایی و استحکام دندان هستند. در دندان‌های درمان ریشه شده‌ای که ساختار تاجی خود را به گونه‌ی کامل از دست داده‌اند و یا دچار تخریب گسترده‌ی تاج هستند، معمولاً برای گیر ترمیم از پست استفاده می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد با توجه به وارد شدن تنش‌های گوناگون بر دندان، توزیع تنش با استفاده از الگوهای گوناگون پست نیاز به بررسی دارد.

**هدف:** هدف از این پژوهش، بررسی اثر ابعاد و شکل هندسی پست‌های موازی، مخروطی و پیش ساخته بر تنش وارد به ریشه‌ی دندان‌های مولر ترمیم شده با پست- کور و کرون (سرامیکی، نیکل- کروم و آلومینا) به روش واکاوی اجزای محدود (FEM) بود.  
**مواد و روش:** یک دندان مولر دوم فک پایین سالم در یک بلوک آکریلی استوانه‌ای مانت و پس از برش، نگاره‌هایی از مقاطع آن فراهم گردید. سپس، با استخراج کانتورهای به دست آمده از مرزهای دندان و اتصال آنها به یکدیگر به کمک نرم افزار Solidworks یک الگوی رایانه‌ای از آن فراهم شد. پس از اتمام الگو، جهت بررسی تنش، ترمیم‌ها و پست‌های گوناگون طراحی گردیدند و نمونه‌ها تحت باری با گستره‌ی ۲۴۰ نیوتن (وارد کردن نیرویی با توان ۲۴۰ نیوتن بر روی ۲۳ میلی‌متر از سطح اکلوژال) و تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه نسبت به محور طولی دندان و در جهت باکال روی کاسپ‌های فانکشنال قرار گرفتند. برای همانند سازی محیط پیرامون دندان و فضای لیگامان پیوندتال، در همه‌ی ترمیم‌ها استخوان پیرامون دندان نیز الگوسازی شدند.

**یافته‌ها:** نتایج عددی نشان داد که ترمیم‌های انجام شده با پست- کور و کرون موجب تمرکز تنش در ناحیه‌ی سرویکال می‌شود. بالاترین میزان تنش فشاری در پست موازی به قطر ۱/۴ (D۱/۴)، برابر ۳۲/۳ مگاپاسکال و کمترین مقدار در پست مخروطی دویل تپیر به عنوان پست اصلی و کمکی (شماره‌ی ۱)، برابر ۲۶/۷ مگاپاسکال گزارش گردید. همچنین، بیشترین و کمترین تنش کششی به ترتیب در پست موازی D۱/۴ (۴۸/۷ مگاپاسکال) و پست مخروطی شماره‌ی ۱ (۴۶/۷ مگاپاسکال) دیده شد. افزایش مدول الاستیسیته از میزان ۱۰۰ تا ۳۰۰ سبب افزایش میزان تنش‌های فشاری از ۶۹/۵ به ۳۸۰/۵ مگاپاسکال و همچنین افزایش میزان تنش کششی از ۶۹/۳ به ۳۸۰/۳ مگاپاسکال گردید.  
**نتیجه‌گیری:** بر پایه‌ی واکاوی انجام شده، بیشترین تمرکز تنش در ترمیم‌های انجام گرفته با پست- کور و کرون مربوط به حالتی است که از پست‌هایی به قطر ۱/۴ میلی‌متر و یا پست دویل تپیر به عنوان پست اصلی و کمکی (شماره‌ی ۱) استفاده شود. تنش‌ها با کاهش مدولوس الاستیسیته‌ی کرون کمی کاهش می‌یابند. تنش‌های حداکثر در عاج باقی‌مانده‌ی دندان با افزایش قطر پست‌ها کاهش می‌یابد و با تغییر ابعاد پست‌های موازی و مخروطی به گونه‌ی نامنظمی تغییر می‌کند. جنس کرون نیز اثر کمی بر روی تمرکز تنش‌ها دارد.

**واژگان کلیدی:** روش اجزای محدود، پست- کور، کرون، تنش

## درآمد

امروزه اندودانتیکس از پویاترین رشته‌های تخصصی دندانپزشکی در درمان به شمار می‌رود و به موازات رشد مناسب این رشته، تجهیزات، مواد و روش‌های نوین در حال پیشرفت است. ترمیم دندان‌های اندو شده و همگام بودن با اطلاعات و فناوری‌های روز و استفاده‌ی بهینه از آنها در کار درمان این دندان‌ها چالشی برای متخصصین و دندانپزشکان عمومی است<sup>(۱)</sup>. پژوهشگران همواره در صدد ارایه‌ی درمان‌ها و انتقال مناسب نیروهای فانکشنال به همراه تامین زیبایی و استحکام دندان هستند<sup>(۲)</sup>. به طور معمول در صورتی که میزان تاج از دست رفته به اندازه‌ای باشد که گیر کافی برای ترمیم نداشته باشد، وجود پست لازم است تا جایگزینی برای ساختار از دست رفته‌ی دندان و گیر ترمیم باشد. در ترمیم دندان‌های اندو شده با پست‌های دندانی، دو گونه پست ریختگی و پیش‌ساخته برای درمان استفاده می‌گردد. پست‌های ریختگی بر پایه‌ی قالب گرفته شده از درون محفظه‌ی کانال از زمان‌های قدیم توسط دندانپزشکان استفاده می‌شده است. این پست‌ها به واسطه‌ی قالب گرفته شده از محفظه‌ی کانال به خوبی محفظه‌ی کانال را پوشش می‌دهد، هر چند که استفاده از این پست‌ها معمولاً وقت‌گیر و گران است. به تازگی پست‌های پیش‌ساخته با انواع گوناگون از لحاظ ابعاد، جنس و شکل به جامعه‌ی دندانپزشکی معرفی شده‌اند. به طور کلی پست‌ها از نظر طرح به موازی، مخروطی و کالبدی تقسیم‌بندی می‌شوند. طرح موازی و مخروطی در پست‌های پیش‌ساخته و شکل کالبدی تنها با پست ریختگی امکان‌پذیر است<sup>(۳)</sup>. پست باید به گونه‌ای انتخاب شود که با نیازهای دندان همخوانی داشته باشد. به بیانی، نایستی دندان و ترمیم را با پست منطبق کرد بلکه سیستم و الگوی آماده‌سازی باید بر پایه‌ی موقعیت و به گونه‌ی مناسب انتخاب شود. هنگام نیاز به آماده سازی پست برای تامین گیر کور، فضای پست باید در کمترین مقدار (از لحاظ طول، قطر و تقارب) و با توجه به نیاز آماده شود. برداشتن میزان زیاد عاج، ریشه را به گونه‌ی جدی ضعیف و آن را مستعد به شکستن می‌نماید. در ضمن، آماده‌سازی فضای پست بیشتر از حد و یا گسترش آماده‌سازی به ورای قسمت مستقیم کانال سبب سوراخ شدن ریشه‌ی دندان می‌شود<sup>(۳)</sup>.

مقاومت به شکست دندان‌های ترمیم شده با پست یک موضوع برای بررسی‌های متعدد *In vitro* و *In vivo* و پژوهش‌های

نظری شده است. در خصوص اینکه چه پست و یا روشی برای ترمیم، مناسب‌ترین انتخاب است دیدگاه‌های متفاوت و ناهمخوانی در پژوهش‌ها یافت می‌شود. یکی از دلایل این ناهمخوانی تغییرات گسترده در نتایج و یا به بیانی همانند نبودن نتایج با یکدیگر در پژوهش‌های *In vitro* است. شمار بررسی‌ها بر روی دندان‌های درمان شده با پست به کمک واکاوی اجزای محدود رو به افزایش است. این روش به گونه‌ی معمول به دو صورت الگوهای دو بعدی (2Dimention) و سه بعدی (3Dimention) انجام می‌شود که نتایج الگوهای سه بعدی نسبت به دوبعدی دقیق تر ولی در عوض وقت-گیرتر و گران تر است. نتایج واکاوی اجزای محدود به گونه‌ی توزیع تنش در ساختار الگو نشان داده می‌شود. این تنش‌ها ممکن است تنش‌های کششی، فشاری، برشی و یا تنش معادل ون‌مایرز (Vonmises) باشد. به گونه‌ی معمول در مکانیک، تنش‌های کششی و فشاری بسیار بالا برای مواد ترد و تنش‌های ون‌مایرز برشی بسیار بالا برای مواد نرم مبنای مقایسه قرار می‌گیرد. همچنین، از تنش‌های برشی بسیار بالا در سطح‌های تماسی برای بررسی اثر، دی‌باندینگ استفاده می‌شود که نیازمند شناخت کاملی از گونه‌ی تماس و خواص المان‌های تماسی است<sup>(۴)</sup>.

پژوهش‌های کمی به اثر قطر پست بر روی مقاومت به شکست دندان پرداخته‌اند. آسموسن (Asmussen) و همکاران<sup>(۵)</sup>، به کمک FEM به بررسی ترمیم دندان‌های اندو شده پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پست‌های موازی باند شده (Bonded) نسبت به پست‌های مخروطی باند نشده (non-bonded) تنش‌های کمتری را تولید می‌کنند. تنش در ریشه با افزایش قطر پست‌ها کاهش یافته و کاهش طول پست‌ها موجب افزایش تنش در ریشه می‌شود، گرچه محل تنش حداکثر در موقعیت اپیکال پست گزارش گردید. همچنین نتایج پژوهش آنها نشان داد که جنس پست‌های پیش‌ساخته اثر کمی بر روی توزیع تنش‌ها دارد و با افزایش مدول الاستیسیته، تنش در ریشه کمی کاهش می‌یابد. زارون (Zarone) و همکاران<sup>(۶)</sup>، به کمک FEM، ترمیم‌های گوناگون روی دندان‌های اندو شده‌ی پیشین مرکزی بالا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در دندان سالم توزیع تنش‌ها تقریباً یکنواخت است، با این وجود تنش‌های کمی در ناحیه‌ی سرویکال متمرکز شده و مواد با مدولوس الاستیسیته‌ی بالا همچون آلومینا موجب مقاومت در مقابل تغییر شکل دندان و در نتیجه تمرکز تنش در اینترفیس پست و عاج می‌شوند. همچنین، مواد با مدولوس

با الگوی یاد شده در کالبد شناسی آش (Ash)<sup>(۸)</sup> همخوانی داشت. برای تهیه‌ی الگوی سه بعدی دندان، در آغاز دندان در یک رزین اکریلی به گونه‌ای که محور طولی استوانه و دندان در یک راستا قرار گیرد، مانت گردید. سپس مقطع عرضی استوانه با دستگاه الکتروپولیش ساییده و نگاره فراهم شد. نگاره‌های گرفته شده پس از کالیبره شدن و ویرایش، وارد محیط نرم افزار Solidworks گردید و با اتصال کانتورهای به دست آمده از مقاطع گوناگون دندان الگوهای مینا، عاج و پالپ هر یک به گونه‌ی جداگانه همانند سازی شد. پس از میان بردن حجم عاج از مینا و حجم پالپ از عاج، مینا و عاج به گونه‌ی تقریباً دقیقی الگوسازی گردیدند. با طراحی و الگوسازی مینا و عاج، الگوی سه بعدی دندان مولر ساخته شد. در المان‌بندی، از المان‌های ۱۰ گره‌ای با اندازه‌ی کلی ۰/۸ میلی‌متر استفاده گردید، که به گونه‌ی متوسط منجر به ۱۶۹۰۰۰ المان شد (نگاره‌ی ۱).



نگاره‌ی ۱ المان‌بندی دندان مولر

با اتمام الگوسازی، دندان همانند سازی شده از ناحیه‌ی سرویکال قطع و ترمیم پست-کور و کرون برای آن در نظر گرفته شد که در همه‌ی آنها، پست بزرگتر با طول ۱۱/۵ میلی‌متر در کانال دیستال به عنوان پست اصلی فرونشاندن شد که از این مقدار، ۷ میلی‌متر آن برابر دو سوم طول ریشه در حفره‌ی پالپ و بقیه‌ی آن (۴ میلی‌متر) در زیر کور در نظر گرفته شد. پست کوچکتر نیز، به طول ۵/۷۵ میلی‌متر در کانال مزیال به عنوان پست کمکی فرونشاندن شد که از این مقدار ۳/۷۵ میلی‌متر آن معادل یک سوم طول ریشه در حفره‌ی پالپ (درون پالپ) و بقیه‌ی آن (۲ میلی‌متر) در زیر کور در نظر گرفته شد. از آنجا که پست‌های پیش‌ساخته به خوبی فضای کانال ریشه و محفظه‌ی پالپ را پوشش نمی‌دهند از

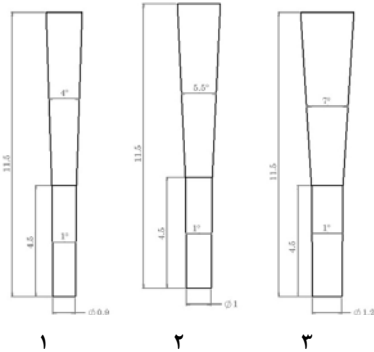
الاستیسیته‌ی کم همچون مواد کامپوزیتی، تنش‌های کمی در دندان‌های ترمیم شده تولید می‌کنند. بنابراین، استفاده از مواد مدلوس الاستیسیته‌ی نزدیک به عاج، توزیع تنشی همانند دندان سالم از خود نشان می‌دهد. همچنین این پژوهشگران نشان دادند که ترمیم با کرون آلومینا با مدلوس الاستیسیته‌ی بالا نسبت به سرامیک فلدسپات با مدلوس الاستیسیته‌ی پایین‌تر سبب تنش بیشتری در ناحیه‌ی سرویکال می‌شود. یودانوادیکر (Uddanwadiker)<sup>(۹)</sup> و همکاران<sup>(۱۰)</sup>، به کمک FEM به بررسی توزیع تنش در دندان‌های اندو و ترمیم شده پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که تنش با افزایش مدلوس الاستیسیته‌ی پست کاهش می‌یابد و استفاده از پست‌های پیچی موجب تمرکز تنش زیادی در پست و ریشه می‌شود. پست‌های مخروطی نیز، نسبت به پست‌های موازی تنش‌های کمتری را ایجاد می‌کنند و پست‌های پیش‌ساخته‌ی مخروطی با کور کامپوزیتی از نظر استحکام و انعطاف‌پذیری مطلوب‌تر بوده و ابعاد پست می‌تواند در جهت کاهش تنش و کاهش خطر شکست ریشه و پست موثر باشد.

هدف از پژوهش کنونی، بررسی اثر ابعاد و هندسه‌ی پست و جنس کرون بر روی توزیع تنش در دندان‌های مولر اندو و ترمیم شده با پست-کور و کرون به کمک روش واکاوی اجزای محدود سه‌بعدی بود. در این بررسی، از یک الگوی تقریباً دقیق برای دندان مولر جهت واکاوی استفاده گردید و در ترمیم‌های انجام شده فرض گردید که دندان ساختار تاجی خود را به گونه‌ی کامل از دست داده است. پژوهش‌های همانند نشان‌دهنده‌ی این موضوع است که تاکنون واکاوی دقیقی به منظور شناسایی رفتار مکانیکی دندان مولر تحت نیروهای فانکشنال انجام نشده و در بیشتر پژوهش‌ها به دلیل هندسه‌ی پیچیده‌ی دندان، الگوی هندسی ساده و بیشتر دو بعدی و یا دندان تک ریشه جهت همانند سازی دندان استفاده شده است. بنابراین، با توجه به ضرورت نگهداری دندان‌های مولر به نظر می‌رسد انجام پژوهشی که نشان‌دهنده‌ی اثر گونه‌ی پست و کرون بر روی میزان فشارهای اکلوزالی باشد ضروری است.

## مواد و روش

در این پژوهش، از یک دندان مولر دوم فک پایین جهت الگوسازی استفاده شد. دندان مورد استفاده دارای دو ریشه، اندازه و شکل طبیعی بود و از نظر شکل، طول تاج، ریشه و شکل ریشه‌ها

ابعاد به کار برده شده برای پست‌های مخروطی به گونه‌ای انتخاب گردید تا تقریبی از نشان تجاری RTD باشد (Euro-Post Anthogyr S.A., Sallanches, France) که این ابعاد در نگاره‌ی ۳ نشان داده شده‌است.



**نگاره‌ی ۳** ابعاد پست های مخروطی به کار برده شده (۱) پست شماره‌ی ۱، (۲) پست شماره‌ی ۲، (۳) پست شماره‌ی ۳

در گروه ج، به بررسی اثر کرون بر روی توزیع تنش دندان‌های اندو و ترمیم شده با پست - کور کرون پرداخته شد. برای این منظور، یک دندان اندو و ترمیم شده با پست موازی D2/2 به عنوان پست اصلی و پست موازی D1 به عنوان پست کمکی و هر دو از جنس تیتانیوم الگوسازی گردیده و سپس سرامیک، آلیاژ نیکل- کروم و آلومینا برای کرون در نظر و مورد واکاوی قرار گرفت. در همه‌ی الگوها، شکل کور به گونه‌ای طراحی شد که از شکل کروناال عاج پیروی نماید، همچنین سطح اکلوژال کرون همچون سطح اکلوژال مینا همانندسازی شد. لیگامان پریدنتال (PDL) یک بافت نرم برای دندان در استخوان آئول است که دندان را طی عمل جویدن تقویت کرده و از شکست استخوان آئول و ریشه به علت پایین بودن مدولس الاستیسیته‌ی آن جلوگیری می‌نماید بنابراین، نقش موثری در توزیع تنش‌ها بازی می‌کند. این بافت و استخوان پیرامون آن، همچون استخوان کورتیکال و اسفنجی نیز الگو شدند که در الگوی آنها از ابعاد کالبدی استفاده گردید (نگاره‌ی ۲).

پژوهش‌های زیادی تنها به بررسی نیروهای عمودی روی دندان پرداخته‌اند، در حالی که زاویه‌ی اعمال نیروهای اکلوژال در حالت طبیعی خیلی پیچیده‌تر است، ولی با توجه به چرخش فک طی جویدن به نظر می‌آید نیروهای مایل شرایط اعمال بار را دقیق‌تر الگوسازی می‌نمایند (۹ و ۱۰). بنابراین در این پژوهش نیرویی با گستره‌ی برابر ۲۴۰ نیوتن تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه نسبت

سمان زینک فسفات به عنوان ماده‌ی پرکننده‌ی این فضا و ماده‌ی سمان کننده‌ی پست و عاج استفاده گردید (نگاره‌ی ۲).

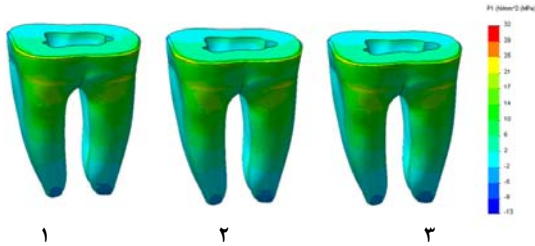


**نگاره‌ی ۲** بخش‌های گوناگون دندان درمان ریشه شده با پست- کور و کرون و استخوان پیرامون آن

در این بررسی سه گروه در نظر گرفته شدند:

- در گروه الف، برای بررسی قطر پست‌های موازی، الگوهای زیر در نظر گرفته شد که در همه‌ی آنها از پست تیتانیومی پیش‌ساخته و کور کامپوزیتی و کرون سرامیکی استفاده شده است.
- ۱) دندان اندو و ترمیم شده با پست موازی به قطر ۱/۴ میلی‌متر (D1/4) به عنوان پست اصلی و موازی به قطر ۱ میلی‌متر (D1) به عنوان پست کمکی.
  - ۲) دندان اندو و ترمیم شده با پست موازی به قطر ۱/۸ میلی‌متر (D1/8) به عنوان پست اصلی و پست موازی به قطر ۱ میلی‌متر (D1) به عنوان پست کمکی.
  - ۳) دندان اندو و ترمیم شده با پست موازی به قطر ۲/۲ میلی‌متر (D2/2) به عنوان پست اصلی و پست موازی به قطر ۱ میلی‌متر (D1) به عنوان پست کمکی.
- کانال‌های دندان‌ها برای گروه‌ها یکسان آماده‌سازی شدند و فضای اضافه برای قطرهای کوچکتر با سیمان پر شد که به علت مقدار فضای کم اشغال شده از این مقدار صرف نظر گردید.
- در گروه ب، برای بررسی ابعاد پست‌های مخروطی، الگوهای زیر در نظر گرفته شد، که در همه‌ی آنها از پست تیتانیومی پیش‌ساخته، کور کامپوزیتی و کرون سرامیکی استفاده گردید.
- ۱) دندان اندو و ترمیم شده با پست دابل تیپر (Tapper) شماره‌ی یک به عنوان پست اصلی و کمکی.
  - ۲) دندان اندو و ترمیم شده با پست دابل تیپر شماره‌ی ۲ به عنوان پست اصلی و پست شماره‌ی ۱ به عنوان پست کمکی.
  - ۳) دندان اندو و ترمیم شده با پست شماره‌ی ۳ به عنوان پست اصلی و پست شماره‌ی ۱ به عنوان پست کمکی.

است. همان گونه که در نگاره دیده می شود، در همه ی الگوها بیشترین تنش کششی در ناحیه ی سرویکال و در سمت مزبولینگوال رخ داده است. در ضمن، تنش های کششی با تغییر قطر پست، کمی تغییر می کنند.



**نگاره ی ۴** توزیع تنش های کششی در دندان های ترمیم شده با پست های موازی با قطرهای گوناگون (۱) دندان ترمیم شده با پست D ۱/۴ (۲) دندان ترمیم شده با پست D ۱/۸ (۳) دندان ترمیم شده با پست D ۲/۲ که در هر سه الگو از پست D ۱ به عنوان پست کمکی استفاده شده است. رنگ قرمز بیانگر تنش های زیاد و رنگ آبی بیانگر تنش های کم است.

تغییرات تنش های کششی و فشاری در دندان های ترمیم شده با انواع پست های موازی و مخروطی در جدول ۲ نشان داده شده است.

**جدول ۲** جدول تغییرات تنش های کششی و فشاری در دندان های ترمیم شده با انواع پست های موازی و مخروطی

نوع پست	مقادیر تنش حداکثر تنش فشاری (مگاپاسکال)	حداکثر تنش کششی (مگاپاسکال)
D ۱/۴	۳۲/۳	۴۸/۷
D ۱/۸	۳۰/۶	۴۸/۳
D ۲/۲	۲۷/۷	۴۸/۳
شماره ی ۱	۲۶/۷	۴۶/۷
شماره ی ۲	۲۹/۳	۴۷/۱
شماره ی ۳	۲۸/۱	۴۶/۱

پست موازی با قطر ۱/۴ میلی متر نسبت به دیگر پست ها بیشترین تنش کششی را ایجاد کرده و افزایش قطر از ۱/۴ میلی متر موجب کاهش تنش کششی در ناحیه ی سرویکال می شود. تغییرات تنش های فشاری با قطر پست ها به شدت تنش های کششی ارتباطی نداشته، هر چند تنش های فشاری در این پست ها با افزایش مدولوس الاستیسیته به گونه ی نامحسوسی کاهش می یابند. البته میان پست هایی با قطر ۱/۸ و ۲/۲ میلی متر از نظر شدت تنش های فشاری تفاوتی وجود ندارد و در همه ی نمونه ها بیشترین تنش فشاری در ناحیه ی سرویکال و در سمت

به محور طولی دندان و در جهت باکال روی کاسپ های فانکشنال برای همانندسازی نیروهای فانکشن در نظر گرفته شد و جا به جایی های سطوح عرضی استخوان کورتیکال و اسفنجی در همه ی جهات ثابت گرفته شد. هر چند مینا و عاج به واسطه ی طبیعت پیچیده شان غیرهمگن هستند، ولی غیرهمگنی آنها محدود به دیدگاه میکروسکوپی است، بنابراین در این بررسی این مواد همگن ضروری بودند<sup>(۱۱)</sup>. در جدول ۱ خواص این مواد آورده شده است.

**جدول ۱** خواص مواد دندانی

مواد دندانی	مدولوس الاستیسیته (گیگاپاسکال)	ضریب پواسون
مینا	۷۲/۷	۰/۳۳
عاج	۱۸/۶	۰/۳۱
استخوان کورتیکال	۱۳/۷	۰/۳
استخوان اسفنجی	۱/۳۷	۰/۳
پریودنتال لیگامان	۰/۰۶۸۹	۰/۴۵
کامپوزیت	۱۲	۰/۳
زینک فسفات	۲۲/۴	۰/۲۵
تیتانیوم	۱۲۰	۰/۳
کروم کبالت	۲۰۰	۰/۳۳
آلومینا	۳۸۰	۰/۲۵
سرامیک	۶۹	۰/۲۸

با در نظر گرفتن المان چهار وجهی ۱۰ گره ای با توابع شکل درجه ی ۲، الگوها المان بندی و واکاوی حساسیت به مش انجام گردید و سپس واکاوی اجزای محدود به کار گرفته شد. همچنین، در همه ی الگوها از یک المان بندی سازگار با در نظر گرفتن تماس باند شده در سطح های تماسی و واکاوی حساسیت به مش استفاده گردید. المان مورد استفاده، المان چهار وجهی ۱۰ گره ای با توابع شکل مرتبه ی ۳ است. پس از پایان مرحله ی پیش پردازش، الگوها وارد مرحله ی پردازش در محیط نرم افزار تحلیلی Cosmos گردیدند و پس از حل، نتایج مربوط به توزیع تنش ها مد نظر قرار گرفته شد. در این پژوهش از نرم افزار Solid Works Premium ۲۰۰۹ SP ۴/۰ × ۸۶ × ۶۴ (محصول شرکت SRAC-USA) برای الگوسازی نمونه و از نرم افزار Cosmos Works (محصول شرکت SRAC-USA) برای واکاوی استفاده گردید.

## یافته ها

نگاره ی ۴، نشان دهنده ی توزیع تنش های کششی در دندان های ترمیم شده با پست های موازی با قطرهای گوناگون

مزایای ایجاد شد.

بالا، برتر هستند که در ترمیم از پستی با قطر ۲/۲ میلی متر استفاده شده باشد. البته استفاده از پست های با قطر بزرگتر نیازمند برداشت زیاد بافت عاج در فرآیند آماده سازی کانال ریشه هستند و خطر سوراخ شدن ریشه در استفاده از این پست ها بالاست.

در بررسی جنس کرون دندان های اندو و ترمیم شده با پست پیش ساخته، در همه ی ترمیم ها تنش های کششی بسیار بالا در ناحیه ی سرویکال و در سمت مزبولینگوال جمع می شوند. همچنین تفاوت چشمگیری میان توزیع تنش های کششی در این ترمیم ها دیده نمی شود و تنها تنش کششی از کرون سرامیکی به کرون نیکل - کرومی کمی افزایش می یابد و میان کرون نیکل - کرومی و آلومینایی تفاوت چشمگیری وجود ندارد. همچنین، از نظر تنش فشاری در همه ی نمونه ها، تنش ها در ناحیه ی سرویکال و در سمت مزبولینگوال متمرکز شده اند. همان گونه که در جدول ۳ نیز دیده می شود با افزایش مدولوس الاستیسیته، تنش های فشاری بسیار بالا نیز افزایش می یابد. این افزایش از کرون سرامیکی به نیکل - کرومی محسوس و از کرون نیکل - کرومی به آلومینایی نامحسوس است. این پژوهش همچون دیگر بررسی های همانند نیاز به واکاوی آماری نداشته و تنها با استفاده از ارزیابی های مکانیکی و برنامه ی Cosmos و ANSYS اطلاعات پردازش می شوند.

**جدول ۳** حداکثر تنش های کششی و فشاری با تغییر مدولوس الاستیسیته ی کرون در دندان های اندو و ترمیم شده با پست های پیش ساخته

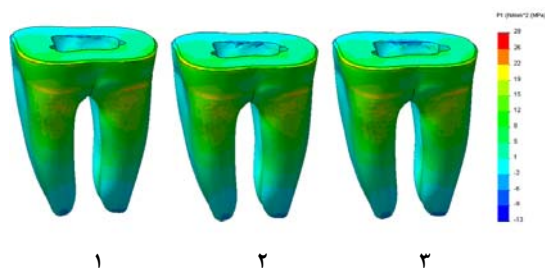
مدولوس الاستیسیته	مقادیر تنش حداکثر تنش فشاری (مگاپاسکال)	مقادیر تنش حداکثر تنش کششی (مگاپاسکال)
۱۰۰	۶۹/۵	۶۹/۳
۲۰۰	۲۰۰/۵	۲۰۰/۳
۳۰۰	۳۸۰/۵	۳۸۰/۳

بنابراین، می توان نتیجه گرفت که کرون های با مدولوس الاستیسیته ی پایین تنش های فشاری کمتری را نسبت به کرون های با مدولوس الاستیسیته ی بالا تولید می کنند، که این افزایش چندان زیاد نیست بنابراین، جنس کرون به واسطه ی اثر کم آن عامل مهمی برای مهار تنش های مخرب نیست.

### بحث

از آنجا که در ترمیم دندان های اندو شده، شکسته شدن

تمرکز تنش های کششی در همه ی ترمیم های انجام شده با پست های مخروطی نیز در ناحیه ی سرویکال و در سمت مزبولینگوال گزارش گردید (نگاره ی ۵). از نظر شدت تنش نیز، همان گونه که در جدول ۲ دیده می شود، قاعده ی خاصی در روند افزایش و یا کاهش تنش ها با تغییر ابعاد پست های مخروطی دیده نمی شود، ولی آنچه قابل توجه است، دندان ترمیم شده با پست شماره ی ۲ بیشترین تنش را در ناحیه ی سرویکال متمرکز می کند. البته از نظر شدت تنش تفاوت چشمگیری میان ترمیم با پست شماره ی ۲ و ۳ دیده نمی شود و تنها پست شماره ی ۱ است که اختلاف به نسبت چشمگیری از نظر شدت تنش با پست های شماره ی ۲ و ۳ دارد. از نظر تنش فشاری بسیار بالا، میان پست های مخروطی گوناگون تفاوت چشمگیری وجود ندارد، ولی همان گونه که در جدول ۲ دیده می شود، بیشترین تنش فشاری همچون تنش کششی در پست شماره ی ۲ است و تنش های فشاری در پست های شماره ی ۱ و ۳ تفاوت کمی با پست شماره ی ۲ دارند.



**نگاره ی ۵** توزیع تنش های کششی در دندان های ترمیم شده با پست های مخروطی با ابعاد گوناگون (۱) دندان ترمیم شده با پست شماره ی ۱، (۲) دندان ترمیم شده با پست شماره ی ۲، (۳) دندان ترمیم شده با پست شماره ی ۳ که در هر سه الگو از پست شماره ی ۱ به عنوان پست کمکی استفاده شده است. رنگ قرمز بیانگر تنش های زیاد و رنگ آبی بیانگر تنش های کم است.

در مقایسه ی میان پست های موازی و مخروطی همان گونه که در جدول ۲ دیده می شود، پست های مخروطی به گونه ی متوسط نسبت به پست های موازی، تنش های کمتری در ناحیه ی سرویکال ایجاد می کنند و تنش های فشاری در همه ی نمونه های ترمیمی با پست های مخروطی کمتر از پست های موازی بوده و تنش های کششی در پست شماره ی ۱ نیز نسبت به دیگر پست ها در کمترین اندازه است. بنابراین، تنها زمانی پست های موازی نسبت به پست های شماره ی ۲ و ۳ از لحاظ تنش کششی بسیار

پذیرفته است. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که تنش در ریشه با افزایش قطر پست‌ها کاهش می‌یابد که نتایج این بررسی هم راستا با این نتیجه است. ماکری (Maceri) و همکاران<sup>(۱۴)</sup>، در پژوهش خود که به بررسی تأثیر قطر و شمار پست‌ها در سیستم ترمیمی خود پرداخته بودند به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطح مقطع پست‌ها، تنش‌ها در ریشه کاهش می‌یابد. همچنین اکاماتو (Okamoto) و همکاران<sup>(۱۵)</sup>، در پژوهش خود که قطر پست‌های کامپوزیتی را روی توزیع تنش‌ها در دندان پیشین مرکزی بالا بررسی کردند به این نتیجه رسیدند که با افزایش قطر پست‌ها تنش‌ها اندکی کاهش می‌یابند. بررسی‌های انجام شده توسط دیگر پژوهشگران نیز نشان دهنده‌ی همین مطلب است<sup>(۱۶-۱۸)</sup>. نتایج این بررسی نشان داد که پست‌های مخروطی، تنش‌های کمتری را نسبت به پست‌های موازی ایجاد می‌کنند که نتایج بررسی‌های یودانوادیکر و همکاران<sup>(۱۷)</sup>، نیز این موضوع را تایید می‌کند. از دیگر نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، بررسی رفتار جنس کرون بود. در این پژوهش آشکار شد که جنس کرون معیاری مهم برای مهار تنش‌ها نیست و با افزایش مدولوس الاستیسیته‌ی کرون، تنش‌ها در ناحیه‌ی سرویکال اندکی افزایش می‌یابند.

جنووس (Genovese) و همکاران<sup>(۱۹)</sup>، که در پژوهش خود به بررسی اثر جنس کرون نیز پرداخته بودند به این نتیجه رسیدند، که کرون‌های سفت‌تر نسبت به کرون‌های انعطاف پذیرتر تنش‌های بیشتری را در ناحیه‌ی سرویکال تولید می‌کنند. همچنین زارون و همکاران<sup>(۲۰)</sup>، با بررسی دو جنس آلومینا با مدولوس الاستیسیته‌ی بالا و سرامیک فلدسپات با مدولوس الاستیسیته‌ی پایین برای دو ترمیم با پست‌هایی با مدولوس‌های متفاوت و انجام آزمون FEM به این نتیجه رسید که آلومینا تنش بیشتری را نسبت به سرامیک در ناحیه‌ی سرویکال ایجاد می‌کند. نتایج این پژوهش به خوبی این نتایج را تایید می‌کند و با دیگر بررسی‌ها همانند است<sup>(۲۰-۲۱)</sup>.

شماری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که پست موازی بهتر بوده و تنش کمتری ایجاد می‌کند. در ضمن، با افزایش قطر پست فشار زیاد می‌شود و پست‌های تپیر فشار بیشتری ایجاد می‌کنند، که دلایل این اختلاف می‌تواند ناشی از موارد زیر باشد. این بررسی بر روی دندان مولر با دو ریشه انجام گردیده است در حالی که شماری از بررسی‌های یاد شده بر روی دندان‌های تک ریشه

ریشه پدیده‌ای نامطلوب برای بیمار و دندانپزشک است بنابراین، در این پژوهش تنش در ریشه بررسی شد. همچنین به علت ترد بودن عاج، تنش‌های کششی و فشاری بسیار بالا مبنای مقایسه قرار گرفتند.

دندانپزشکان زیادی از پست‌های پیش‌ساخته به واسطه‌ی مقرون به صرفه بودن آنها از لحاظ زمان و هزینه برای ترمیم دندان‌های اندو شده استفاده می‌کنند. با توجه به تنوع موجود در این پست‌ها از لحاظ جنس و شکل و اهمیتی که دندانپزشکان به استحکام و پایداری ترمیم می‌دهند، بررسی معیار شکل برای پست‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. همان‌گونه که از نتایج موجود در این پژوهش آشکار می‌شود در استفاده از پست‌های پیش‌ساخته تنش‌های زیادی در ناحیه‌ی سرویکال جمع می‌گردد و افزایش قطر پست‌های موازی موجب کاهش تنش‌ها در ریشه می‌شود و پست‌های مخروطی به واسطه‌ی همخوانی خوبی که با شکل کانال دارند، به نسبت تنش‌های کمتری را در ریشه تولید می‌کنند. همچنین، جنس کرون اثر کمی بر روی توزیع تنش‌ها در ناحیه‌ی سرویکال دارد و با افزایش مدولوس الاستیسیته، تنش‌ها کمی افزایش می‌یابند.

پگورتی (Pegoretti) و همکاران<sup>(۹)</sup>، در پژوهشی که بر روی دندان‌های پیشین مرکزی بالا و ترمیم شده با پست‌های پیش‌ساخته‌ی کامپوزیتی داشتند، نشان دادند که پست‌های پیش‌ساخته موجب تمرکز تنش زیادی در ناحیه‌ی سرویکال می‌شوند. اکادا (Okada) و همکاران<sup>(۱۰)</sup>، نیز با وارد کردن نیرو و الگو سازی دندان تک ریشه به نتیجه‌ای همانند پگورتی رسیدند که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. همچنین، بررسی‌های انجام شده توسط کینی (Kinney) و همکاران، آسموسن و همکاران، جانسون (Johnson) و همکاران، دروموند (Drummond) و همکاران تایید کننده‌ی همین موضوع است<sup>(۵ و ۱۱-۱۳)</sup>. آسموسن و همکاران<sup>(۵)</sup>، در پژوهش خود به کمک FEM به اثر قطر و شکل پست‌ها پرداختند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که پست‌های موازی نسبت به پست‌های مخروطی تنش‌های کمتری در ریشه ایجاد می‌کنند که نتایج آنها با پژوهش کنونی ناهمخوانی دارد و این می‌تواند به علت در نظر گرفتن شکل معمول و هماهنگ با پست برای پالپ باشد. در ضمن، این پژوهشگران بر روی دندان پیشین مرکزی و تک ریشه بررسی خود را انجام دادند و این در حالی است که بررسی کنونی بر روی دندان مولر و چند ریشه انجام

### نتیجه گیری

- پست های پیش ساخته باعث تمرکز تنش های زیادی در ناحیه ی سرویکال می شوند.
- با افزایش قطر پست، تنش های بسیار بالا در ریشه کاهش می یابند.
- پست های مخروطی نسبت به پست های موازی تنش های کمتری را در ناحیه ی سرویکال تولید می کنند.
- جنس کرون اثر کمی روی توزیع تنش ها خواهد داشت.

### سپاسگزاری

این پژوهش با پشتیبانی مالی و معنوی معاونت تحقیقات و فن آوری دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام پذیرفته است که به این وسیله مراتب سپاسگزاری از این معاونت اعلام می گردد.

انجام شده اند. این امکان وجود دارد که پست های موازی برای دندان های تک ریشه و پست های مخروطی برای دندان های چند ریشه پست هایی مطلوب باشند، چون هندسه های آنها با هم تفاوت زیادی دارند و توزیع تنش، بسیار به هندسه بستگی دارد. بیان این - که پست های مخروطی اثر گوه ای دارند یک درک فیزیکی برای مسایل معین است و نمی توان با قاطعیت راجع به مسایل نامعین چنین قضاوتی کرد. درست است که با افزایش قطر پست ها ریشه ضعیف تر می شود ولی این افزایش قطر به افزایش سطح تماس و در نتیجه کاهش تنش می انجامد. بنابراین در افزایش و یا کاهش قطر پست ها و یا تغییر شکل آنها دو پرسش وجود دارد: ۱- ابعاد پست تا چه اندازه کوچک انتخاب شود تا کمترین برداشت از عاج به دست آید؟ ۲- ابعاد تا چه اندازه بزرگ انتخاب گردد تا بیشترین سطح تماس را داشته باشیم؟ در راستای یافتن این دو پرسش ممکن است به ابعاد و هندسه ای دست یافت که افزایش و یا کاهش ابعاد آن شرایط نامناسبی را ایجاد نماید.

\*\*\*\*\*

### References

1. Nazarimoghaddam K, Asadian H. Endodontics: Principles and Practice. 2th ed. Tehran; Tehran University: 2004. p. 4-5.
2. Soares CJ, Santana FR, Castro CG, Santos-Filho PC, Soares PV, Qian F, et al. Finite element analysis and bond strength of a glass post to intraradicular dentin: comparison between microtensile and push-out tests. Dent Mater 2008; 24: 1405-1411.
3. Torabinejad M, Walton RE. Endodontics: Principles and Practice. 4th ed. Washington; Saunders: 2009. p. 24-29.
4. Dieter G.E. Mechanical Metallurgy. 2nd ed., St. Louis, McGraw-HILL Book Company: New York; 1976: p. 190.
5. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. J Prosthet Dent 2005; 94: 321-329.
6. Zarone F, Sorrentino R, Apicella D, Valentino B, Ferrari M, Aversa R, et al. Evaluation of the biomechanical behavior of maxillary central incisors restored by means of endocrowns compared to a natural tooth: a 3D static linear finite elements analysis. Dent Mater 2006; 22: 1035-1044.
7. Uddanwadiker RV, Padole PM, Arya H. Effect of variation of root post in different layers of tooth: linear vs nonlinear finite element stress analysis. J Biosci Bioeng 2007; 104: 363-370.
8. Ash MM, Nelson S. Wheeler's dental anatomy, physiology, and occlusion. 8th ed. Philadelphia; W.B.Saunders Co: 2003. p. 221.
9. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. Biomaterials 2002; 23: 2667-2682.
10. Okada D, Miura H, Suzuki C, Komada W, Shin C, Yamamoto M, et al. Stress distribution in roots restored with different types of post systems with composite resin. Dent Mater J 2008; 27: 605-611.



11. Kinney JH, Marshall SJ, Marshall GW. The mechanical properties of human dentin: a critical review and re-evaluation of the dental literature. *Crit Rev Oral Biol Med* 2003; 14: 13-29.
12. Johnson JK, Sakumura JS. Dowel form and tensile force. *J Prosthet Dent* 1978; 40: 645-649.
13. Drummond JL, Toepke TR, King TJ. Thermal and cyclic loading of endodontic posts. *Eur J Oral Sci* 1999; 107: 220-224.
14. Maceri F, Martignoni M, Vairo G. Mechanical behaviour of endodontic restorations with multiple prefabricated posts: a finite-element approach. *J Biomech* 2007; 40: 2386-2398.
15. Okamoto K, Ino T, Iwase N, Shimizu E, Suzuki M, Satoh G, et al. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution in composite resin cores with fiber posts of varying diameters. *Dent Mater J* 2008; 27: 49-55.
16. Morgano SM. Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts. *J Prosthet Dent* 1996; 75: 375-380.
17. Trabert KC, Caput AA, Abou-Rass M. Tooth fracture--a comparison of endodontic and restorative treatments. *J Endod* 1978; 4: 341-345.
18. Holmes DC, Diaz-Arnold AM, Leary JM. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 1996; 75: 140-147.
19. Genovese K, Lamberti L, Pappalettere C. Finite element analysis of a new customized composite post system for endodontically treated teeth. *J Biomech* 2005; 38: 2375-2389.
20. Toparli M. Stress analysis in a post-restored tooth utilizing the finite element method. *J Oral Rehabil* 2003; 30: 470-476.
21. Yaman SD, Alaçam T, Yaman Y. Analysis of stress distribution in a maxillary central incisor subjected to various post and core applications. *J Endod* 1998; 24: 107-111.