

## تأثیر پست‌های بیضوی روی توزیع تنش‌ها در دندان‌های درمان ریشه شده: یک آنالیز اجزای محدود سه‌بعدی

مجتبی محمودی\*، علیرضا سعیدی\*\*، مریم السادات هاشمی پور\*\*\*، پرویز امینی\*\*\*\*#

\* دکترای مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

\*\* استاد، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

\*\*\* دانشیار، تشخیص و بیماری‌های دهان و دندان، مرکز تحقیقات بیماری‌های دهان و دندان، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، ایران

\*\*\*\* دانشیار، گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، ایران

تاریخ ارائه مقاله: ۹۵/۱۲/۳ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۲

### Effect of Oval Posts on Stress Distribution in Endodontically Treated Teeth: A Three-Dimensional Finite Element Analysis

Mojtaba Mahmoodi\*, Alireza Saeedi\*\*, Maryamsadat Hashemipoor\*\*\*, Parviz Amini\*\*\*\*#

\* PhD, Dept of Mechanical Engineering, School of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

\*\* Professor, Dept of Mechanical Engineering, School of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

\*\*\*Associate Professor, Dept of Oral Medicine, Kerman Oral and Dental Diseases Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.

\*\*\*\* Associate Professor, Dept of Prosthodontics, School of Dentistry, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.

Received: 21 February 2017; Accepted: 3 July 2017

**Introduction:** In post-core crown restorations, the use of prefabricated composite posts concentrate stress at the cervical region and the use of metal posts (prefabricated and customized posts) concentrates stress at the interfaces. Fiber reinforced composite posts (FRCs) with oval cross-section (oval posts) were proposed for post-core crown restorations to reduce the stress levels at the cervical region. The aim of the present study was to investigate the impact of oval cross-section composite posts on stress distribution of premolar with oval-shaped canal by using three-dimensional (3D) finite element analysis.

**Materials and Methods:** An extracted premolar tooth was mounted, sectioned, and photographed to create a 3D model. The surrounding tissues of the tooth, periodontal ligament, as well as cortical and trabecular bones were modeled. Seven taper posts with two different cross-section geometries (circular and oval shapes) were modeled, as well. Then, the effect of post geometry, post material (carbon fiber and fiberglass), and cement material were investigated by 3D finite element analysis and the stress distribution results were compared.

**Results:** In all the models, the highest stress levels of the dentin were accumulated at the coronal third of the root, and the highest stress levels at the bonding layers were accumulated at the cervical margin. Narrow circular posts induced the highest stress levels, whereas the stress levels were reduced by using thick oval posts. Application of elastic cement reduces the stress at the bonding layers but increases stress at the dentin.

**Conclusion:** Finite element analysis showed that prefabricated oval posts are superior to traditional circular ones. The use of cement with low elastic modulus reduces the risk of debonding but raises the risk of root fracture.

**Key words:** FRC post, oval post, finite element analysis, principal stresses.

# Corresponding Author: p\_amini@kmu.ac.ir, dr\_amini@yahoo.com

J Mash Dent Sch 2017; 41(3): 251-62.

#### چکیده

**مقدمه:** در ترمیم‌های پست-کور کراون، استفاده از پست‌های پیش‌ساخته کامپوزیتی منجر به تمرکز تنش در ناحیه سرویکال و استفاده از پست‌های فلزی (پیش‌ساخته و ریختگی) منجر به تمرکز تنش در اینترفیس‌ها می‌شود. به منظور کاهش تنش در ناحیه سرویکال، پست‌های کامپوزیتی تقویت شده با فیبر (FRC) با سطح مقطع بیضوی (پست‌های بیضوی) برای ترمیم‌های پست-کور کراون پیشنهاد شده است. هدف از مطالعه حاضر این بود که به کمک آنالیز اجزای محدود سه‌بعدی، تأثیر پست‌های کامپوزیتی با سطح مقطع بیضوی را روی توزیع تنش‌ها در دندان‌های پرمولر با فرم کانال بیضوی بررسی کند.

# مولف مسؤول، نشانی: کرمان، بلوار جمهوری اسلامی، خیابان شفا، دانشکده دندانپزشکی، گروه پروتزهای دندانی، تلفن: ۰۹۱۳۱۴۰۴۵۱۹

E-mail: p\_amini@kmu.ac.ir, dr\_amini@yahoo.com

**مواد و روش‌ها:** یک دندان پرمولر کشیده شده مانع و مقاطع متوالی از آن تهیه شد. پس از تهیه عکس‌هایی از مقاطع عرضی آن یک مدل سه‌بعدی از آن تهیه شد. بافت‌های اطراف آن شامل لیگامنت و استخوان‌های کورتیکال و تراپی‌کولار نیز مدل شد. هفت پست مخروطی با دو سطح مقطع متفاوت (دایره‌ای و بیضوی) مدل و اثر هندسه پست، جنس پست (کربن فایبر و گلاس فایبر) و جنس سمان به کمک آنالیز اجزای محدود سه‌بعدی بررسی و توزیع تنش‌های آنها با یکدیگر مقایسه شد.

**یافته‌ها:** در تمام نمونه‌ها حداکثر تنش‌های ریشه در ناحیه یک سوم کرونالی آن و حداکثر تنش‌های لایه‌های باندکننده در ناحیه سرویکال متمرکز شد. پست‌های دایره‌ای باریک منجر به تمرکز بیشترین مقدار تنش شد در حالی که با به کارگیری پست‌های بیضوی ضخیم تنش‌ها کاهش یافت. استفاده از سمان با مدول الاستیسیته کم تنش در لایه‌های باندکننده را کاهش ولی تنش در عاج را افزایش داد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج اجزای محدود نشان داد که در ترمیم دندان‌های درمان ریشه شده با فرم کانال بیضوی استفاده از پست‌های پیش‌ساخته بیضوی نسبت به پست‌های رایج دایره‌ای ارجحیت دارد. استفاده از سمان با مدول الاستیسیته کم خطر دبا‌دینگ را کاهش ولی خطر شکست ریشه را افزایش می‌دهد.

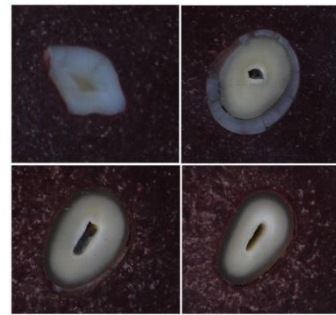
**کلمات کلیدی:** پست FRC، پست بیضوی، آنالیز اجزای محدود، تنش‌های اصلی.  
مجله دانشکده دندانپزشکی مشهد / سال ۱۳۹۶ دوره ۴۱ / شماره ۳: ۲۵۱-۲۶۲.

## مقدمه

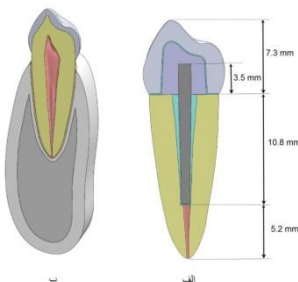
خواص مکانیکی که با ریشه دارند منجر به افزایش تنش در سطح تماس پست-ریشه می‌شوند ولی از آنجایی که مقاومت خمشی خوبی در مقابل تغییر شکل دارند منجر به کاهش تنش در ریشه می‌شوند. در مقابل پست‌های FRC سازگاری خوبی با بافت ریشه دارند ولی مقاومت خمشی کمی دارند؛ لذا منجر به کاهش تنش در سطوح تماس و افزایش تنش در ناحیه سرویکال می‌شوند.<sup>(۱-۱۰)</sup> ناحیه سرویکال یک ناحیه بحرانی در ترمیم‌های پست-کور کراون است که باید توجه ویژه‌ای به تنش‌های آن شود.<sup>(۱۱ و ۱۵)</sup> یکی از راه‌های افزایش مقاومت خمشی پست‌های FRC افزایش قطر آنهاست. ولی آماده‌سازی حفره پالپ جهت استفاده از پست‌هایی با قطر بزرگ‌تر باید با در نظر گرفتن حداقل ضخامت عاج انجام گیرد. از طرفی در اکثر ریشه‌ها، عرض مزودستیالی ریشه کمتر از عرض باکولینگوالی آن است. لذا محدودیت حداقل ضخامت عاج از سمت دیواره‌های مزیال و دیستال خواهد بود. (شکل ۱)

ترمیم دندان‌های درمان ریشه شده با تخریب وسیع تاج معمولاً با توجه به اثرات زیبایی و استحکام، با انواع روش‌های پست-کور کراون انجام می‌گیرد.<sup>(۱۲)</sup> اساساً دندانپزشکان جهت بازسازی این دندان‌ها از دو نوع سیستم پست-کور استفاده می‌کنند: پست‌های ریختگی و پست‌های پیش‌ساخته. پست‌های ریختگی طی فرآیند قالب‌گیری از حفره پالپ و ریختگی تهیه می‌شوند که نسبت به پست‌های پیش‌ساخته وقت‌گیرتر و گران‌تر هستند. پست‌های پیش‌ساخته معمولاً از مواد همسانگرد (ایزوتوپ) چون طلا، تیتانیوم، آلیاژ نیکل کروم، سرامیک و یا مواد (ان-ایزوتوپ) چون کامپوزیت‌های تقویت شده با فایبر (FRC) ساخته می‌شوند. در سال‌های اخیر پست‌های FRC جایگزین مناسبی برای پست‌های فلزی بوده‌اند که این امر به دلیل نتایج زیبایی قابل قبول‌تر، سازگاری نسبی، مقاومت به خوردگی بهتر، صرف وقت و هزینه کمتر است.<sup>(۳ و ۴)</sup> بررسی مطالعات گذشته نشان داده است که استیفنس (سفتی) پست‌ها یک پارامتر موثر در تعیین توزیع تنش‌ها در ریشه و ایتترفیس‌ها می‌باشد. پست‌های نسبتاً صلب مثل پست‌های فلزی به واسطه اختلاف زیاد

اتصال آنها به یکدیگر، دندان مدل شد. سپس بافت‌های اطراف دندان: لیگامان پریودونتال (PDL)، استخوان‌های کورتیکال و تراپیکولار مطابق با متوسط ابعاد آناتومی ارائه شده در سایر مقالات نیز مدل شد.<sup>(۱۲،۱۳)</sup> ضخامت PDL به طور متوسط  $0.2 \text{ mm}$  و حداقل ضخامت سمان در سطح تماس برابر با  $0.1 \text{ mm}$  در نظر گرفته شد.<sup>(۱۴-۱۶)</sup> (شکل ۲)



شکل ۱: تعدادی از مقاطع عرضی دندان پرمولر



شکل ۲: الف) مدل پست-کور کراون، ب) مدل دندان و بافت‌های اطراف آن

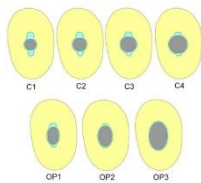
جهت شبیه‌سازی ترمیم پست-کور کراون، تاج دندان از  $1/5 \text{ mm}$  بالای ناحیه سرویکال برداشته شد. طول پست برابر با دو سوم طول ریشه به صورت مخروطی با ۲ درصد شیب در نظر گرفته شد.<sup>(۷)</sup> ابعاد کور و کراون با در نظر گرفتن  $1 \text{ mm}$  چمفر در ناحیه سرویکال،  $2 \text{ mm}$  ضخامت در کاسپ‌ها فانکشنال و  $1/5 \text{ mm}$  ضخامت در کاسپ‌های نان- فانکشنال در نظر گرفته شد. برای نزدیک کردن شرایط مدلینگ به شرایط کلینیکی، دیواره‌های کور با ۳ درجه تیپر نسبت به محور طولی دندان مدل شد.<sup>(۲)</sup> (شکل ۲) به منظور رسیدن به اهداف این تحقیق دو هندسه متفاوت برای پست‌ها در نظر گرفته شد: پست‌های مخروطی با سطح مقطع دایره‌ای (پست‌های دایره‌ای) با قطرهای  $1 \text{ mm}$  (C1)،  $1/2 \text{ mm}$  (C1.2)،  $1/4 \text{ mm}$  (C1.4)

در این مطالعه می‌خواهیم به کمک آنالیز اجزای محدود سه‌بعدی به بررسی پست‌های FRC با سطح مقطع غیردایره‌ای بپردازیم. این پست‌ها به صورت مخروطی و با سطح مقطع بیضوی (پست‌های بیضوی) هستند که قطر باکولینگوالی آنها از قطر مزبودیستالی شان بزرگ‌تر است و متناسب با شکل سطح مقطع ریشه طراحی شده‌اند. آنالیز اجزای محدود یک روش عددی کارآمد در تحلیل هندسه‌های پیچیده می‌باشد و اخیراً توسعه زیادی در دندانپزشکی پیدا کرده است. فرضیه صفر این مطالعه این بود که در دندان‌های درمان ریشه شده با فرم کانال بیضوی، استفاده از پست‌های پیش‌ساخته بیضوی نسبت به پست‌های گرد رایج تنش‌های بیشتری را ایجاد می‌کند.

### مواد و روش‌ها

یک دندان پرمولر اول مندیبل که به دلیل ارتودنسی کشیده شده بود درون یک رزین استوانه‌ای مانت شد. مانت شدن به نحوی انجام شد که محور طولی دندان و استوانه در یک راستا قرار گیرد. جهت رسیدن به ابعاد مینا، عاج و پالپ مقاطع عرضی متوالی از دندان مانت شده تهیه و در هر مرحله یک عکس به کمک یک دوربین دیجیتال از هر مقطع گرفته شد. جهت تهیه مدل سه‌بعدی دندان، عکس‌ها وارد محیط نرم‌افزار مدلینگ SolidWorks شد و پس از مشخص کردن کانتورهای مینا، عاج و پالپ و

محدود نمونه‌ها وارد محیط نرم‌افزار تحلیلی Abaqus شدند. در این نرم‌افزار خواص مکانیکی اجزاء مطابق با داده‌های نشان داده شده در جداول ۱ و ۲ به هر یک از اجزاء نسبت داده شد. خواص مکانیکی پست‌های FRC به صورت ناهمسانگرد و خواص مکانیکی بقیه مواد به صورت همسانگرد در نظر گرفته شد.<sup>(۱۷ و ۱۸)</sup> جهت ساده‌سازی آنالیز اجزای محدود مدول الاستیسیته بافت PDL ثابت و مطابق با داده‌های ارائه شده در سایر مقالات لحاظ شد.<sup>(۱۹ و ۲۰)</sup> در واقع مدول الاستیسیته بافت PDL به مقدار بار اعمالی بستگی دارد.<sup>(۲۱ و ۲۰)</sup> مقدار در نظر گرفته شده در این مطالعه یک مقدار تقریبی مناسب می‌باشد.



شکل ۳: نمای اکلوزالی از پست‌های سمان شده

(C1.6) ۱/۶ mm و پست‌های مخروطی با سطح مقطع بیضوی با قطرهای (OP1) ۱-۱/۶ mm، (OP2) ۱/۲-۱/۹ mm و (OP3) ۱/۶-۲/۵ mm. ابعاد پست‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که طی آماده‌سازی حفره پالپ جهت سمان پست حداقل ۲ mm ضخامت برای نسج عاج باقی بماند.<sup>(۸)</sup> در بررسی هندسه و ابعاد پست‌ها از پست کربن فایبر و سمان با مدول الاستیسیته کم استفاده شد. علاوه بر این به منظور بررسی جنس پست‌های FRC و جنس سمان دو پست کربن فایبر و گلاس فایبر و دو سمان یکی با مدول الاستیسیته کم (سمان ۱) و دیگری با مدول الاستیسیته زیاد (سمان ۲) نیز مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. در بررسی جنس پست و جنس سمان قطر پست ثابت و برابر با ۱ mm در نظر گرفته شد.

آماده‌سازی کانال ریشه به منظور بررسی پست‌های بیضوی به نحوی انجام شد که قطر بزرگ‌تر پست در جهت باکولینگوال و قطر کوچک‌تر آن در جهت مزیدویستال قرار گیرد. در تمام نمونه‌ها فضای اضافی ناشی از نامتقارن بودن حفره پالپ با سمان پر شد. (شکل ۳)، پس از اتمام فرآیند مدلینگ، جهت انجام آنالیز اجزای

جدول ۱: خواص مواد

مواد	مدول الاستیسیته (GPa)	نسبت پواسون	منابع
عاج	۱۸/۶	۰/۳۱	(۴ و ۳۶)
استخوان کورتیکال	۱۳/۷	۰/۳	(۴ و ۳۷)
استخوان اسفنجی	۱/۳۷	۰/۳	(۴ و ۳۷)
لیگامنت	۰/۰۶۸۹	۰/۴۵	(۴ و ۱۹ و ۱۶ و ۱۷)
زیرکونیا	۲۰۰	۰/۳۳	(۳۸)
سمان ۱	۵/۱	۰/۲۷	(۱۰ و ۱۵)
سمان ۲	۱۸/۳	۰/۳	(۳۹)
رزین کامپوزیتی (کور)	۱۲	۰/۳۳	(۴۰)

جدول ۲: خواص پست‌های FRC

منابع	گلاس فایبر	کربن فایبر	ثابت الاستیک
(۴)	۱۱	۸/۵	$E_1=E_2$ (GPa)
(۴)	۴۰	۱۲۵	$E_3$ (GPa)
(۴)	۰/۳۲	۰/۳۲	$\nu_{21}$
(۴)	۰/۰۷	۰/۰۱۷	$\nu_{23}$
(۴)	۰/۲۶	۰/۲۵	$\nu_{31}$
(۴)	۴/۲	۳/۲	$G_{21}$ (GPa)
(۴)	۴/۲	۳/۱	$G_{23}$ (GPa)
(۴)	۴/۲	۳/۱	$G_{31}$ (GPa)

E: مدول الاستیسیته؛  $\nu$ : نسبت پواسون؛ G: مدول برشی؛ ۱ و ۲ جهت‌های عرضی و ۳ جهت طولی پست می‌باشد. مدول الاستیسیته و نسبت پواسون با ضابطه  $\frac{\nu_{ij}}{E_i} = \frac{\nu_{ji}}{E_j}$  با هم در ارتباط هستند.

بیضوی نسبت به پست‌های FRC با سطح مقطع دایره‌ای ایجاد کنند. علاوه بر این یک آنالیز آماری (تست-t) روی نتایج آنالیز اجزای محدود به کمک نرم افزار SPSS با ویرایش ۲۰ انجام شد تا در خصوص معنی‌دار بودن تاثیر شکل سطح مقطع پست‌ها (دایره‌ای و بیضوی)، جنس سمان و همچنین جنس پست (گلاس فایبر و کربن فایبر) بررسی انجام شود.



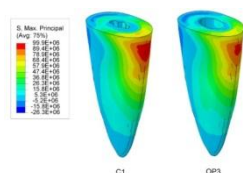
شکل ۴: شرایط مرزی در نظر گرفته شده در اطراف دندان مدل شده

#### یافته‌ها

در تمام نمونه‌ها، حداکثر تنش‌های ریشه در ناحیه یک سوم کروئالی آن رخ داد. (شکل ۵) حداکثر تنش کششی در سمت لینگوال و حداکثر تنش فشاری در سمت باکال واقع شد. افزایش قطر پست‌های دایره‌ای از ۱ mm به ۱ mm تاثیر زیادی روی تنش‌ها در ریشه نداشت، ولی منجر

جهت شبیه‌سازی نیروهای جوینده در تمام نمونه‌ها یک بار توزیع شده مایل به شدت ۲۰۰ N تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور طولی، روی کاسپ فانکشنال اعمال شد.<sup>(۷,۲۲)</sup> سطوح مزایال و دیستال استخوان کورتیکال به صورت ثابت و تماس در بین تمام اجزاء به صورت کاملاً باند شده در نظر گرفته شد (شکل ۴). تمام نمونه‌ها با المان‌های هرمی ۱۰ گره‌ای با سه درجه آزادی در هر گره المان‌بندی شدند. جهت دستیابی به تعداد مناسب المان‌ها، آنالیز حساسیت به مش نیز انجام شد و نمونه‌ها تقریباً با ۷۶۳۰۰ المان و ۱۲۹۳۰۰ گره المان‌بندی شدند. به منظور دستیابی به توزیع تنش در نمونه‌ها، هر یک از آنها تحت آنالیز اجزای محدود سه‌بعدی قرار گرفت. از نظر مکانیکی عاج، سمان، و سرامیک‌ها در گروه مواد شکننده دسته‌بندی می‌شوند. لذا در آنالیز اجزای محدود تنش‌های اصلی یعنی حداکثر تنش‌های کششی و فشاری جهت مقایسه نمونه‌ها محاسبه شد.<sup>(۲۸-۲۳-۲۳ و ۱۱)</sup> تا به این سوال پاسخ داده شود که آیا پست‌های FRC با سطح مقطع بیضوی می‌توانند تنش‌های کمتری را در ترمیم دندان‌هایی با فرم کانال

این تنش‌ها در لایه‌های باندکننده و عاج متأثر از جنس سمان می‌باشد؛ با کاهش مدول الاستیسیته سمان، تنش در عاج افزایش و در سمان کاهش می‌یابد و از نظر آماری تأثیر جنس سمان روی مقادیر حداکثر تنش تأثیر معنی‌داری است ( $P < 0/009$ ). همچنین آنالیز آماری نشان می‌دهد که از نظر حداکثر تنش فشاری در سمان پست، بین پست‌های دایره‌ای و پست‌های بیضوی تفاوت معنی‌دار است ( $P < 0/05$ ).



شکل ۵: توزیع تنش‌های کششی در ریشه دندان پرمولر پایین تحت بار مایل ۲۰۰ N

به کاهش تنش‌ها در لایه‌های باندکننده به خصوص سمان پست شد. در حالی که افزایش قطر پست‌های بیضوی منجر به کاهش تنش‌ها در ریشه و لایه‌های باندکننده شد، طوری که پست بیضوی OP3 منجر به تمرکز کمترین مقدار تنش در ریشه و لایه‌های باندکننده نسبت به سایر پست‌ها شد. (جدول ۳)

نتایج اجزای محدود نشان داد که حداکثر تنش‌ها در لایه‌های باندکننده متأثر از ابعاد پست می‌باشد. سمان کراون تنش بیشتری را نسبت به سمان پست در خود متمرکز کرد و حداکثر تنش‌های کششی در سمان کراون در ناحیه سرویکال و در سمان پست در ناحیه کروئالی آن واقع شد. (شکل‌های ۶ و ۷) نتایج ارائه شده در جداول ۵ و ۵ نشان می‌دهد پست گلاس فایبر تنش کمتری را در سمان پست نسبت به پست کربن فایبر ایجاد می‌کند ولی تفاوت معنی‌داری بین این پست‌ها وجود ندارد. علاوه بر

جدول ۳: تأثیر شکل سطح مقطع و قطر پست‌ها روی توزیع تنش‌ها

سمان کراون		سمان پست		عاج		قطر پست (mm)	شکل سطح مقطع پست
MCS (MPa)	MTS (MPa)	MCS (MPa)	MTS (MPa)	MCS (MPa)	MTS (MPa)		
۸۴/۴	۸۴/۰	۶۵/۶	۸۱/۷	۱۰۹/۵	۹۶/۹	۱	دایره‌ای
۸۴/۳	۸۳/۸	۶۳/۶	۷۵/۹	۱۰۹/۷	۹۶/۱	۱/۲	دایره‌ای
۸۴/۲	۸۲/۹	۵۴/۴	۷۰/۱	۱۰۸/۶	۹۶/۹	۱/۴	دایره‌ای
۸۴/۲	۸۱/۹	۵۶/۵	۶۹/۲	۱۰۸/۳	۹۵/۷	۱/۶	دایره‌ای
۸۴	۸۲/۶	۵۱/۵	۷۳	۱۰۸/۱	۹۶/۱	۱-۱/۶	بیضوی
۸۳/۴	۸۱/۲	۵۱/۷	۷۱/۱	۱۰۷/۶	۹۴/۹	۱/۲-۱/۹	بیضوی
۸۰/۸	۷۷/۰	۳۹/۴	۵۳/۸	۱۰۴/۹	۹۲/۷	۱/۶-۲/۵	بیضوی

MTS: حداکثر تنش کششی، MCS: حداکثر تنش فشاری



شکل ۶: توزیع تنش‌های کششی در سمان کراون تحت بار مایل

شکل ۷: توزیع تنش‌های کششی در سمان پست تحت بار مایل ۲۰۰N

۲۰۰N مقطع باکولینگوالی

جدول ۴: تاثیر جنس پست و جنس سمان روی توزیع تنش‌ها

سمان کراون		سمان پست		عاج		جنس سمان	جنس پست
MCS (MPa)	MTS (MPa)	MCS (MPa)	MTS (MPa)	MCS (MPa)	MTS (MPa)		
۸۴/۹	۸۳/۷	۶۲/۰	۷۸/۴	۱۰۹/۷	۹۶/۵	سمان ۱	گلاس فایبر
۱۲۲/۹	۱۵۳/۹	۱۰۶/۲	۱۳۵/۵	۱۰۶/۰	۹۳/۵	سمان ۲	گلاس فایبر
۸۴/۴	۸۴/۰	۶۵/۶	۸۱/۷	۱۰۹/۵	۹۶/۹	سمان ۱	کربن فایبر
۱۲۴/۳	۱۵۵/۶	۱۱۰/۱	۱۲۹/۸	۱۰۵/۹	۹۳/۹	سمان ۲	کربن فایبر

MTS: حداکثر تنش کششی، MCS: حداکثر تنش فشاری

جدول ۵: نتایج آماری (تست-t) جهت بررسی تاثیر پارامترهای مختلف روی حداکثر تنش‌ها

پارامترهای مورد بررسی	مقدار میانگین		مقدار میانگین		مقدار میانگین		مقدار میانگین		مقدار میانگین		P
	MCS (SD)	MTS (SD)	MCS (SD)	MTS (SD)	MCS (SD)	MTS (SD)	MCS (SD)	MTS (SD)	MCS (SD)	MTS (SD)	
شکل دایره‌ای	۸۴/۳	۸۳/۲	۶۰/۰	۷۴/۲	۱۰۹/۰	۹۶/۴	۰/۹۹	۰/۷	۰/۶	۰/۲۵۷	سطح
مقطع بیضوی	۸۲/۷	۸۰/۳	۴۷/۵	۶۶/۰	۱۰۶/۹	۹۴/۶	۰/۹۹	۰/۷	۰/۳	۰/۲۵۷	مقطع
پست	۸۴/۳	۸۳/۲	۶۰/۰	۷۴/۲	۱۰۹/۰	۹۶/۴	۰/۹۹	۰/۷	۰/۶	۰/۲۵۷	پست
جنس سمان ۱	۸۴/۳	۸۳/۲	۶۰/۰	۷۴/۲	۱۰۹/۰	۹۶/۴	۰/۹۹	۰/۷	۰/۶	۰/۲۵۷	جنس سمان
جنس سمان ۲	۸۲/۷	۸۰/۳	۴۷/۵	۶۶/۰	۱۰۶/۹	۹۴/۶	۰/۹۹	۰/۷	۰/۳	۰/۲۵۷	جنس سمان
جنس پست گلاس	۸۴/۳	۸۳/۲	۶۰/۰	۷۴/۲	۱۰۹/۰	۹۶/۴	۰/۹۹	۰/۷	۰/۶	۰/۲۵۷	جنس پست
جنس پست فایبر	۸۲/۷	۸۰/۳	۴۷/۵	۶۶/۰	۱۰۶/۹	۹۴/۶	۰/۹۹	۰/۷	۰/۳	۰/۲۵۷	جنس پست
کربن فایبر	۸۴/۳	۸۳/۲	۶۰/۰	۷۴/۲	۱۰۹/۰	۹۶/۴	۰/۹۹	۰/۷	۰/۶	۰/۲۵۷	کربن فایبر
کربن فایبر	۸۲/۷	۸۰/۳	۴۷/۵	۶۶/۰	۱۰۶/۹	۹۴/۶	۰/۹۹	۰/۷	۰/۳	۰/۲۵۷	کربن فایبر

MTS: حداکثر تنش کششی، MCS: حداکثر تنش فشاری

## بحث

نتایج ارائه شده در این تحقیق بر مبنای حداکثر تنش‌های کششی و فشاری بود. از آنجایی که استحکام کششی و فشاری همه مواد مورد استفاده جهت پیش‌بینی شکست در دسترس نبود. لذا بر اساس ترد بودن مواد، حداکثر تنش‌های اصلی مبنای مقایسه نمونه‌ها قرار گرفت.<sup>(۲۲)</sup> در واقع کاهش تنش در نمونه‌ها احتمال شکست را کاهش می‌دهد.<sup>(۸)</sup> شکست سمان یکی از عوامل ایجاد دبان‌دینگ است، لذا جهت پیش‌بینی خطر شکست کوهزیو، حداکثر تنش‌های کششی و فشاری در لایه‌های باندکننده نیز محاسبه شد.<sup>(۲۹)</sup>

بار اعمالی در این مطالعه برابر با ۲۰۰ N و بر اساس متوسط نیروهای فانکشنال مربوط به جویدن غذاهای سفت بود.<sup>(۷)</sup> از آنجایی که نیروهای فانکشنال تمایل دارند دندان‌های پرمولر را در راستای باکولینگوالی خم کنند لذا قطر بزرگ‌تر پست‌های بیضوی در این راستا در نظر گرفته شد تا مقاومت خمشی آنها در مقابل خمش ناشی از نیروهای فانکشنال افزایش یابد.

نتایج اجزای محدود نشان داد که استفاده از پست بیضوی OP3 کمترین تنش را در ریشه و لایه‌های باندکننده نسبت به سایر پست‌ها ایجاد می‌کند. لذا فرضیه این تحقیق مبنی بر اینکه در دندان‌های درمان ریشه شده با فرم کانال بیضوی، پست‌های پیش‌ساخته بیضوی نسبت به پست‌های گرد رایج تنش‌های بیشتری را ایجاد می‌کنند، رد می‌شود. در واقع پست‌های FRC به‌علت اینکه مدول الاستیسیته کمی دارند، سازگاری خوبی با ریشه دارند ولی مقاومت خمشی آنها در مقابل خمش کم است. همانطور که در شکل ۳ هم دیده می‌شود، پست OP3 دارای

بیشترین ابعاد با رعایت حداقل ضخامت عاج در بین سایر پست‌ها بود. افزایش سطح مقطع پست منجر به افزایش مقاومت خمشی آن و کاهش ضخامت سمان پست می‌شود. با کاهش ضخامت سمان پست، تغییر شکل آن کاهش و در نتیجه تنش‌های آن کاهش می‌یابد. علاوه بر این افزایش مقاومت خمشی پست منجر به افزایش مقاومت آن در مقابل تغییر شکل و در نتیجه کاهش انتقال نیروها به ریشه و ناحیه سرویکال می‌شود. Ozgur و همکارانش<sup>(۳۰)</sup> به این نتیجه رسیدند که پست‌های دایره‌ای کامپوزیتی نسبت به پست‌های بیضوی کامپوزیتی تنش‌های بیشتری را ایجاد می‌کنند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

علاوه بر این، نتایج نشان داد که با افزایش قطر پست‌های دایره‌ای، تنش در سمان پست به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در واقع همانطور که در شکل ۳ نیز دیده می‌شود با افزایش قطر پست‌های دایره‌ای، ضخامت سمان کاهش و سمان کمتری برای پر کردن فضای خالی بین پست و حفره پالپ به‌کار برده می‌شود و از آنجایی که مدول الاستیسیته سمان نسبتاً کم است کاهش ضخامت آن منجر به کاهش تغییر شکل و در نتیجه کاهش تنش در آن می‌شود. همچنین نتایج نشان داد افزایش قطر پست‌های FRC تأثیری روی تنش‌ها ریشه ندارد که این نتیجه توسط Rodriguez و همکارانش<sup>(۳۱)</sup> تأیید می‌شود. آنها به این نتیجه رسیدند که تنش در ریشه مستقل از قطر پست گلاس فایبر است.

استفاده از پست‌های FRC منجر به تمرکز تنش‌های کششی در سمت لینگوال و تنش‌های فشاری در سمت باکال و در ناحیه یک سوم کروئالی ریشه شد. این نتایج با



تنش‌های کششی و فشاری ناشی از بار ۲۰۰ N در عاج دندان از استحکام کششی و فشاری عاج کمتر بود، لذا می‌توان این نتیجه را گرفت که تحت بار ۲۰۰ N احتمال شکست ریشه کم است. البته نیروهای فانکشنال و پارافانکشنال ممکن است در عمل بیشتر از ۲۰۰ N باشند. علاوه بر این اگر نیروهای فانکشنال روی دندان‌های ترمیم شده به صورت مکرر اعمال شوند کاهش تنش‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای منجر به کاهش خطر شکست خستگی می‌شود.<sup>(۳۴ و ۳۵)</sup> لذا می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پست‌های پیش‌ساخته بیضوی به واسطه کاهش تنش در دندان‌های ترمیم شده با پست-کور کراون منجر به کاهش خطر شکست آنها می‌شود.

در این تحقیق یک آنالیز سه‌بعدی به کمک روش اجزای محدود روی دندان‌های درمان ریشه شده و پر شده با پست-کور کراون انجام گرفت تا تاثیر هندسه، جنس پست‌های FRC و جنس سمان روی توزیع تنش‌ها بررسی شود. در نظر گرفتن بارهای فانکشنال به‌صورت استاتیکی و رفتار خطی بافت PDL از جمله محدودیت‌های این تحقیق هستند که شاید رفع آنها منجر به نتایج مطمئن‌تری شود. البته رفع این محدودیت‌ها منجر به پیچیدگی مدلینگ و آنالیز اجزای محدود می‌شود.

### نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت‌های این تحقیق، نتایج نشان داد نیروهای فانکشنال در دندان‌های پرمولر ترمیم شده با پست‌های FRC، منجر به تمرکز تنش‌ها در ناحیه یک سوم کرونالی ریشه و ناحیه سرویکال می‌شود. در دندان‌های تک ریشه با فرم کانال بیضوی، پست‌های بیضوی نسبت به پست‌های رایج دایره‌ای تنش‌های کمتری را در سمان

یافته‌های ارائه شده توسط سایر محققان تطابق دارد، به عنوان مثال Pegoretti و همکارانش<sup>(۴)</sup> نشان دادند که پست‌های FRC تنش‌های زیادی را در ناحیه سرویکال ایجاد می‌کنند. Gonzalez-Luch و همکارانش<sup>(۱۱)</sup> به این نتیجه رسیدند که شکست در ترمیم‌های انجام شده با پست‌های انعطاف پذیر از ناحیه سرویکال و از سمت لینگوال ریشه شروع می‌شود.

نتایج اجزای محدود نشان داد تفاوت محسوسی بین پست‌های کربن فایبر و گلاس فایبر از نظر تمرکز تنش در ریشه و سمان کراون وجود ندارد اما پست گلاس فایبر تنش‌های کمتری را در سمان پست نسبت به پست کربن فایبر ایجاد می‌کند که این به واسطه کمتر بودن اختلاف خواص مکانیکی گلاس فایبر با سمان پست است. Uddanwadiker و همکارانش<sup>(۱۹)</sup> نشان دادند تفاوتی بین پست‌های کربن فایبر و گلاس فایبر مخروطی از نظر تمرکز تنش در ریشه وجود ندارد که با نتایج این مطالعه تطابق دارد. علاوه بر این نتایج نشان داد که استفاده از سمان‌هایی با مدول الاستیسیته بالا (سمان ۲) منجر به کاهش تنش‌ها در عاج و افزایش آنها در لایه‌های باندکننده می‌شود. در واقع افزایش مدول الاستیسیته سمان مقاومت آن را در مقابل تغییر شکل افزایش می‌دهد که این امر منجر به جذب بیشتر نیروها و انتقال کمتر آنها به ریشه می‌شود. لذا می‌توان این نتیجه را گرفت که استفاده از سمان با مدول الاستیسیته کم منجر به کاهش خطر شکست سمان و در نتیجه کاهش خطر دبان‌دینگ می‌شود ولی از طرفی خطر شکست ریشه را افزایش می‌دهد.

استحکام کششی و فشاری عاج دندان به ترتیب برابر با ۱۰۴ MPa و ۲۹۷ می‌باشد.<sup>(۳۲ و ۳۳)</sup> از آنجایی که حداکثر

### تشکر و قدرانی

این مقاله بخشی از رساله دکترا رشته مهندسی مکانیک به شماره ۲۳۸۱۷۴۶ می‌باشد. درضمن این تحقیق با همکاری مرکز تحقیقات بیماری‌های دهان و دندان دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی کرمان و بخش مهندسی مکانیک دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت. بدینوسیله از معاونت‌های محترم پژوهشی هر دو دانشگاه جهت همکاری با این تحقیق تقدیر و تشکر می‌گردد.

پست ایجاد می‌کند. پست گلاس فایبر تنش‌های کمتری را در سمان پست نسبت به پست کربن فایبر ایجاد می‌کند ولی تفاوت آنها معنی‌دار نیست. استفاده از سمان با مدول الاستیسیته کم، خطر دبان‌دینگ را کاهش می‌دهد ولی منجر به افزایش خطر شکست ریشه می‌شود.

### منابع

1. Amarante MV, Pereira MV, Darwish FA, Camarão AF. Stress prediction in a central incisor with intra-radicular restorations. *Mater Res* 2011; 14(2): 189-94.
2. Shillingburg HT, Sather DA, Wilson EL, Cain JR, Mitchell DL, Blanco LJ, et al. *Fundamentals of fixed prosthodontics*. 4<sup>th</sup> ed. Hanover Park: Quintessence; 2012. P. 214.
3. Fernandes AS, Shetty S, Coutinho I. Factors determining post selection: A literature review. *J Prosthet Dent* 2003; 90(6): 556-62.
4. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomater* 2002; 23(13): 2667-82.
5. Pierrisnard L, Bohin F, Renault P. Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: A mechanical study using finite element analysis. *J Prosthet Dent* 2002; 88(4): 442-8.
6. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. *J Prosthet Dent* 2005; 94(4): 321-9.
7. Maceri F, Martignoni M, Vairo G. Mechanical behaviour of endodontic restorations with multiple prefabricated posts: A finite-element approach. *J Biomech* 2007; 40(11): 2386-98.
8. Eskitaşçıoğlu G, Belli S, Kalkan M. Evaluation of two post core systems using two different methods (fracture strength test and a finite elemental stress analysis). *J Endod* 2002; 28(9): 629-33.
9. Genovese K, Lamberti L, Pappalettere C. Finite element analysis of a new customized composite post system for endodontically treated teeth. *J Biomech* 2005; 38(12): 2375-89.
10. 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(11): 1035-44.
11. González-Lluch C, Pérez-González A. Analysis of the effect of design parameters and their interactions on the strength of dental restorations with endodontic posts, using finite element models and statistical analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2016; 19(4): 428-39.
12. Watanabe H, Abdul MM, Kurabayashi T, Aoki H. Mandible size and morphology determined with CT on a premise of dental implant operation. *Surg Radiol Anat* 2010; 32(4): 343-9.
13. Katranji A, Misch K, Wang HL. Cortical bone thickness in dentate and edentulous human cadavers. *J Periodont* 2007; 78(5): 874-8.

14. Aversa R, Apicella D, Perillo L, Sorrentino R, Zarone F, Ferrari M, et al. Non-linear elastic three-dimensional finite element analysis on the effect of endocrown material rigidity on alveolar bone remodeling process. *Dent Mater* 2009; 25(5): 678-90.
15. Soares CJ, Castro CG, Santos Filho PCF, Soares PV, Magalhães D, Martins LRM. Two-dimensional FEA of dowels of different compositions and external surface configurations. *J Prosthodont* 2009; 18(1): 36-42.
16. Dejak B, Mlotkowski A. Three-dimensional finite element analysis of strength and adhesion of composite resin versus ceramic inlays in molars. *J Prosthet Dent* 2008; 99(2): 131-40.
17. Gurbuz T, Sengul F, Altun C. Finite element stress analysis of short-post core and over restorations prepared with different restorative materials. *Dent Mater J* 2008; 27(4): 499-507.
18. Poiate IA, Vasconcellos AB, Andueza A, Pola IR, Poiate E. Three dimensional finite element analyses of oral structures by computerized tomography. *J Biosci Bioeng* 2008; 106(6): 606-9.
19. 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(5): 363-70.
20. Pietrzak G, Curnier A, Botsis J, Scherrer S, Wiskott A, Belser U. A nonlinear elastic model of the periodontal ligament and its numerical calibration for the study of tooth mobility. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2002; 5(2): 91-100.
21. Pini M, Wiskott H, Scherrer S, Botsis J, Belser U. Mechanical characterization of bovine periodontal ligament. *J Periodontal Res* 2002; 37(4): 237-44.
22. Mahmoudi M, Saidi AR, Amini P, Hashemipour MA. Influence of inhomogeneous dental posts on stress distribution in tooth root and interfaces: Three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent*. In press.
23. Budynas RG, Nisbett JK. Shigley's Mechanical engineering design. 9<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill Co; 2004. P. 219.
24. Fu G, Deng F, Wang L, Ren A. The three-dimension finite element analysis of stress in posterior tooth residual root restored with postcore crown. *Dent Traumatol* 2010; 26(1): 64-9.
25. Ichim I, Kuzmanovic D, Love R. A finite element analysis of ferrule design on restoration resistance and distribution of stress within a root. *Int Endod J* 2006; 39(6): 443-52.
26. Lin D, Li Q, Li W, Zhou S, Swain MV. Design optimization of functionally graded dental implant for bone remodeling. *Compos Part B-Eng* 2009; 40(7): 668-75.
27. Lin C-L, Chang Y-H, Lin Y-F. Combining structural-thermal coupled field FE analysis and the Taguchi method to evaluate the relative contributions of multi-factors in a premolar adhesive MOD restoration. *J Dent* 2008; 36(8): 626-36.
28. Archangelo CM, Rocha EP, Anchieta RB, Martin M, Freitas AC, Ko CC, et al. Influence of buccal cusp reduction when using porcelain laminate veneers in premolars. A comparative study using 3-D finite element analysis. *J Prosthodont Res* 2011; 55(4): 221-7.
29. Li H, Yun X, Li J, Shi L, Fok A, Madden M, et al. Strengthening of a model composite restoration using shape optimization: A numerical and experimental study. *Dent Mater* 2010; 26(2): 126-34.
30. Er O, Kilic K, Esim E, Aslan T, Kilinc HI, Yildirim S. Stress distribution of oval and circular fiber posts in amandibular premolar: A three-dimensional finite element analysis. *J Adv Prosthodont*. 2013; 5(4): 434-9.
31. Rodriguez CP, Sancho BRU, Barjau EA, Forner NL, Perez GA, Sanchez MF. Influence of prefabricated post dimensions on restored maxillary central incisors. *J Oral Rehabil* 2007; 34(2):141-52.
32. Powers JM, Sakaguchi RL. Craig's Restorative Dental Materials. 13<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2006. P. 84.
33. Sano H, Ciucchi B, Matthews W, Pashley DH. Tensile properties of mineralized and demineralized human and bovine dentin. *J Dent Res* 1994; 73(6): 1205-11.
34. Matsuo S, Watari F, Ohata N. Fabrication of a functionally graded dental composite resin post and core by laser lithography and finite element analysis of its stress relaxation effect on tooth root. *Dent Mater J* 2001; 20: 257-74.

35. Shi L, Fok AS, Qualtrough A. A two-stage shape optimization process for cavity preparation. *Dent Mater* 2008; 24(11): 1444-53.
36. Jiang W, Bo H, Yongchun G, LongXing N. Stress distribution in molars restored with inlays or onlays with or without endodontic treatment: A three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent* 2010; 103(1): 6-12.
37. Wang F, Lee H, Lu C. Thermal-mechanical study of functionally graded dental implants with the finite element method. *J Biomed Mater Res A* 2007; 80(1): 146-58.
38. Abu Kasim NH, Madfa AA, Hamdi M, Rahbari GR. 3D-FE analysis of functionally graded structured dental posts. *Dent Mater J* 2011; 30(6): 869-80.
39. ShahrbaF S, Mirzakouchaki B, Ghassemieh E, Martin N. Effect of the crown design and interface lute parameters on the stress-state of a machined crown-tooth system: A finite element analysis. *Dent Mater* 2013; 29(8): 123-31.
40. 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(4): 605-11.