

Compariosion of Maxillary All-on-four, All-on-five and All-on-six: Finite element analysis

Ehsan Ghasemi¹ 
Amirhossein Fathi² 
Sharare Jahangiri³ 
Saeid Farahmand⁴ 

1. Department of Prosthodontics, Dental Materials Research Center, Dental Research Institute, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

2. Department of Prosthodontics, Dental Materials Research Center, Dental Research Institute, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

3. Dentist, Dental Research Institute, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

4. **Corresponding Author:** Post Graduate Student, Dental Students Research Committee, Department of Prostodontics, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran. **Email:** saeidfarahmand1324@gmail.com

Abstract

Introduction: The study's purpose was to compare the maxillary All-on-four, All-on-five, and All-on-six designs in terms of stress distribution in the bone and various components of the prosthesis design.

Materials & Methods: This finite element analysis study was carried out descriptively in 2024 at the Faculty of Dentistry in Isfahan. An edentulous maxillary model and three implant-based fixed prostheses were designed. Design 1 (All on four): two vertical anterior implants in the position of the lateral teeth and two posterior implants with an angle of 30 degrees in the position of the second premolars. Design 2(All on five): one vertical implant in the position of the central tooth, two vertical implants in the position of the lateral teeth, and two posterior implants with an angle of 30 degrees in the position of the second premolars. Design 3 (All on six): two vertical implants in the position of the central teeth, two vertical implants in the position of the canine teeth, and two short vertical implants in the position of the first molars. A force of 100 Newtons was applied to the left end of the superstructure, and then the maximum stress in the bone and corresponding prosthetic structures were compared.

Results: The All-on-Six design caused the least stress in the bone and prosthetic structures, and the All-on-Four design caused the most stress.

Conclusion: Among the designs evaluated, the All-on-six demonstrated the most favorable biomechanical performance. The All-on-four design exhibited the highest stress levels within bone and prosthetic components. While the All-on-five design presented intermediate stress levels compared to the other two models.

Key words: Dental implant; Maxilla; All on four; Support; Finite element analysis.

Received: 24.08.2024

Revised: 21.11.2024

Accepted: 24.12.2024

How to cite: Ghasemi E, Fathi A, Jahangiri Sh, Farahmand S. Compariosion of Maxillary All-on-four, All-on-five and All-on-six: Finite element analysis. J Isfahan Dent Sch 2025; 20(4): 275-89.

مقایسه‌ی طرح‌های All on four، All on five و All on six: مطالعه‌ی آنالیز اجزای محدود

احسان قاسمی^۱ IDامیرحسین فتحی^۲ IDشراره جهانگیری^۳ IDسعید فرهمند^۴ ID

۱. گروه پروتزهای دندانی، مرکز تحقیقات مواد دندانی، پژوهشکده‌ی علوم دندان پزشکی، دانشکده‌ی دندان پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.
 ۲. گروه پروتزهای دندانی، مرکز تحقیقات مواد دندانی، پژوهشکده‌ی علوم دندان پزشکی، دانشکده‌ی دندان پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.
 ۳. دندان پزشک، پژوهشکده‌ی علوم دندان پزشکی، دانشکده‌ی دندان پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.
 ۴. نویسنده مسؤول: دستیار تخصصی، کمیته‌ی پژوهشکده‌ی دانشجویی، گروه پروتزهای دندانی، دانشکده‌ی دندان پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.
 Email: saeidfarahmand1324@gmail.com

چکیده

مقدمه: هدف این مطالعه، مقایسه‌ی طرح‌های All on four، All on five و All on six: ماگزایلا از نظر نحوه‌ی توزیع استرس در استخوان و اجزای مختلف طرح پروتز بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه‌ی آنالیز اجزای محدود، بصورت توصیفی در سال ۱۴۰۳ در دانشکده‌ی دندان پزشکی اصفهان انجام شد که یک مدل ماگزایلا بی‌دندان و سه طرح پروتز ثابت متکی بر ایمپلنت داشت. طرح ۱ (All on four): دو ایمپلنت قدامی عمودی در موقعیت دندان‌های لترال و دو ایمپلنت خلفی با زاویه‌ی ۳۰ درجه در موقعیت پرمولرهای دوم. طرح ۲ (All on five): یک ایمپلنت عمودی در موقعیت دندان سانتال، دو ایمپلنت عمودی در موقعیت دندان‌های لترال و دو ایمپلنت خلفی با زاویه‌ی ۳۰ درجه در موقعیت پرمولرهای دوم. طرح ۳ (All on six): دو ایمپلنت عمودی در موقعیت دندان‌های سانتال، دو ایمپلنت عمودی در موقعیت دندان‌های کانین و دو ایمپلنت عمودی کوتاه در موقعیت مولرهای اول. یک نیروی ۱۰۰ نیوتون به انتهای سمت چپ سوپراستراکچر وارد شد. سپس حداکثر استرس حاصله در استخوان و ساختارهای پروتزی متناظر با یکدیگر مقایسه شدند.

یافته‌ها: کمترین میزان تنش در استخوان و ساختارهای پروتزی مربوط به طرح All on six و بیشترین میزان استرس مربوط به طرح All on four بود.

نتیجه‌گیری: طرح All on six بهترین رفتار بیومکانیک را نشان داد. طرح All on four بیشترین حد تنش در استخوان و ساختارهای پروتزی و طرح All on five شرایطی مابین دو مدل دیگر داشت.

کلید واژه‌ها: ایمپلنت دندانی؛ ماگزایلا؛ All on four؛ ساپورت؛ آنالیز المان محدود

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

استناد به مقاله: قاسمی احسان، فتحی امیرحسین، جهانگیری شراره، فرهمند سعید. مقایسه‌ی طرح‌های All on four، All on five و All on six: ماگزایلا: مطالعه‌ی آنالیز اجزای محدود. مجله دانشکده دندان پزشکی اصفهان. ۱۴۰۳؛ ۲۰: (۴) ۲۸۹-۲۷۵.

مقدمه

امروزه ایمپلنت، در درمان بی‌دندانی کامل و پارسیل بیماران، کمک شایانی کرده است؛ به دنبال بازسازی قوس فکی با کمک ایمپلنت و به روش ثابت، بیماران می‌توانند از راحتی، تکلم، فانکشن و کارآیی جویدنی مشابه دندان‌های طبیعی بهره‌مند شوند (۳-۱). در اکثر مطالعات بیان شده است که ساخت یک پروتز ثابت موفق، مستلزم کاشت حداقل ۶ تا ۸ عدد ایمپلنت در ماگزیرا و ۶ عدد ایمپلنت در مندیبل است (۴). این در حالی است که وجود یک سینوس ماگزیرالری بزرگ در فک بالا به ویژه در بیماران با تحلیل شدید ریح، کاشت ایمپلنت در نواحی خلفی ماگزیرا را بشدت محدود می‌کند (۷-۵).

همچنین در بیماران با تحلیل شدید ریح مندیبل و موقعیت نزدیک به کرسر کانال عصبی مندیبولار، کاشت ایمپلنت در ناحیه‌ی خلفی مستلزم جراحی جابجایی عصب (repositioning nerve)، استفاده از گرفت، استفاده از ایمپلنت‌های کوتاه و مشکلات دیگری است که برای پزشک و بیمار، سخت و هزینه‌بر است (۱۰-۸).

اولین بار در سال ۱۹۹۰ Mallo برای بازسازی قوس‌های مندیبل و ماگزیرالای آتروفیک، طرح All on four را مطرح کرد. این روش شامل قراردادی دو عدد ایمپلنت عمودی در ناحیه‌ی قدامی ریح و دو عدد ایمپلنت خلفی با زاویه‌ای حدود ۳۰ تا ۴۵ درجه جلوتر از سینوس ماگزیرال در فک بالا و در ناحیه‌ی Interforaminal در فک پایین است (۱۴-۱۱). میزان موفقیت (Success rate) و ماندگاری (Survival rate) ۹۲ تا ۱۰۰ درصدی برای این روش گزارش شده است (۱۵).

نحوه‌ی انتقال نیروها به استخوان اطراف ایمپلنت، یک فاکتور کلیدی در موفقیت ایمپلنت است (۱۶) و تمرکز استرس در اطراف ایمپلنت می‌تواند منجر به تحلیل استخوان شود؛ لذا ارزیابی دقیق مقادیر و نحوه‌ی توزیع استرس بر روی ایمپلنت و بافت‌های استخوانی اطراف، جهت ارائه طرح درمان مناسب ضروری است (۱۷).

امروزه کاربرد طرح All on four به دلیل نیاز به کاشت تعداد کمتر ایمپلنت، صرف هزینه و پیچیدگی جراحی کمتر،

بطور فزاینده‌ای به ویژه در مندیبل متداول شده است؛ این درحالی است که میزان موفقیت این طرح در ماگزیرا با توجه به کمیت و کیفیت پایین‌تر استخوان نسبت به مندیبل همچنان مشکوک است (۱۵، ۱۸). در همین راستا مطالعات متعددی جهت بررسی طرح All on four و مقایسه‌ی این روش درمانی با روش متداول کاشت شش ایمپلنت عمودی انجام شده است که با نتایج متفاوتی همراه بوده‌اند.

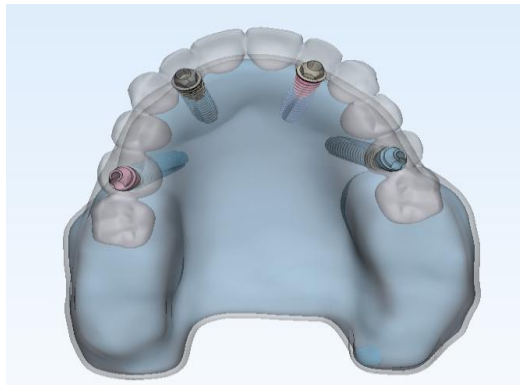
با بررسی مطالعات قبلی، نقطه نظر مشترکی در مورد طرح All on four و همچنین برتری یا عدم برتری این روش نسبت به درمان متداول با کاشت شش ایمپلنت عمودی (All on six) دیده نمی‌شود؛ همچنین مطالعات جامعی که درمان بی‌دندانی با پنج عدد ایمپلنت (All on five) را بررسی کرده باشند، اندک است. لذا مطالعه‌ی حاضر با هدف مقایسه‌ی روش All on four در ماگزیرا از نظر توزیع استرس و مقایسه‌ی آن با طرح All on five و All on six انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه‌ی آزمایشگاهی حاضر از نوع المان محدود و به روش پژوهش توصیفی بود؛ مطالعه در سال ۱۴۰۳، در دانشکده‌ی دندان پزشکی اصفهان با کد تأییدیه اخلاق IR.MUI.RESEARCH.REC.1402.025 انجام گردید.

به منظور ساخت مدل ماگزیرالای بی‌دندان از یک تصویر CBCT و از اسکنر اپتیکال (Solutionix Rexcan 4, Seoul, Korea) به منظور تهیه شکل سطح خارجی ایمپلنت‌ها و اباتمنت‌ها و پیچ اباتمنت‌ها استفاده شد. ایمپلنت‌های بن لول (Implantuim system, Dentium, Seoul, Korea) در سه سایز ۴*۷، ۴*۱۲ و ۴*۱۴ و مولتی یونیت اباتمنت‌ها (Implantuim system, Dentium, Seoul, Korea) با زاویه‌ی ۰ و ۳۰ درجه و پیچ اباتمنت (Implantuim system, Dentium, Seoul, Korea) اسکن شدند. تصاویر (Planmeca VisoG3, Helsinki) CBCT (Finland) با فاصله‌ی ۱ میلی‌متری بین اسلایس‌ها و اسکن اپتیکال وارد نرم‌افزار Mimics (Materialise HQ) اسکن

طول 12mm بطور عمودی (آگزیا) در ناحیه‌ی دندان
انسیزور لترال و دو ایمپلنت با قطر 4mm و طول 14mm و
زاویه‌ی ۳۰ درجه در ناحیه‌ی دندان پرمولر دوم دو طرف قرار
داده شد (شکل ۱).



شکل ۱: مدل شماره ۱

مدل ۲: طرح (All on five): یک ایمپلنت با قطر 4mm
و طول 12mm بطور آگزیا (عمودی) در ناحیه‌ی انسیزور
سانترال یک سمت، دو ایمپلنت با قطر 4mm و طول 12mm
بطور آگزیا (عمودی) در ناحیه‌ی انسیزور لترال دو سمت و
دو ایمپلنت با قطر 4mm، طول 14mm و زاویه‌ی ۳۰ درجه در
ناحیه‌ی پرمولر دوم دو طرف قرار داده شد (شکل ۲).



شکل ۲: مدل شماره ۲

مدل ۳- طرح (All on six): دو ایمپلنت با قطر 4mm و
طول 12mm به طور آگزیا (عمودی) در ناحیه‌ی انسیزور
سانترال دو طرف، دو ایمپلنت با قطر 4mm و طول 12mm

شده‌ند. به کمک
ابزار Segmentation، ماسک‌هایی برای دندان‌ها و استخوان
ماگزیا ایجاد شدند و سپس به کمک دستور Calculate
3D، مدل سه بعدی این اجزا ساخته و بر هم منطبق شدند.
سپس تمام بخش‌ها با فرمت "standard tessellation"
"language" از این نرم‌افزار اکسپورت شدند.

تبدیل هندسه‌ها در نرم‌افزار Geomagic (Artec 3D،
Luxembourg) انجام گردید (پارتهای با فرمت STL
اکسپورت شده از نرم‌افزار Mimics در نرم‌افزار Geomagic
تبدیل به پارت با فرمت STP شدند). بعد از تبدیل همه‌ی
هندسه‌ها به فرمت STP، این هندسه‌ها برای تحلیل وارد
نرم‌افزار ANSYS (Livermore Software Technology
Corporation (LSTC), Livermore, USA) شدند. سطح
بالایی مگزیا فیکس شد و نیروی معادل ۱۰۰ نیوتن به مدت
۳/۰ ثانیه برای شبیه‌سازی نیرو (سیکل) جویدن وارده بر
دندان‌ها، بر روی دندان خلفی سمت چپ وارد شد. ضخامت
استخوان کورتیکال به صورت یکنواخت ۱ میلی‌متر و مرکز
ماگزیا استخوان تراپیکولار در نظر گرفته شد. فرض شد که
ایمپلنت‌ها کاملاً اینتگره باشند. همچنین تمام مواد هموزن و
ایزوتروپیک و الاستیک خطی فرض شدند. اعداد مربوط به
مودول یانگ (ضریب الاستیسیته) و نسبت پواسون از مطالعات
قبلی (۱۹) استخراج گردید (جدول ۱). در مش‌بندی، تعداد
کل المان‌ها در مدل برابر با ۲۸۶۷۶۵ المان تتراهدرال و تعداد
گره‌ها برابر با ۵۰۸۳۴۹ بود.

جدول ۱- مودول یانگ و نسبت پویسون اجزای مدل (۱۹)

نسبت پویسون	مودول یانگ (مگاپاسکال)	ماده
۰/۳	۱۳/۷	استخوان کورتیکال
۰/۳	۰/۵	استخوان تراپیکولار
۰/۳۴	۱۱۴	تیتانیوم گرید ۵ (ایمپلنت و اباتمنت)
۰/۲۳	۱۰۵	Gold alloy (superstructure)

سه مدل پروتز ثابت متکی بر ایمپلنت ماگزیا طراحی
شد. مدل ۱: طرح All on four: دو ایمپلنت با قطر 4mm و

بطور آگزیال (عمودی) در ناحیه‌ی دندان کانین دو طرف و دو ایمپلنت با قطر 4mm و طول 7mm بطور آگزیال (عمودی) در ناحیه‌ی دندان مولر اول دوطرف قرار داده شد (شکل ۳).

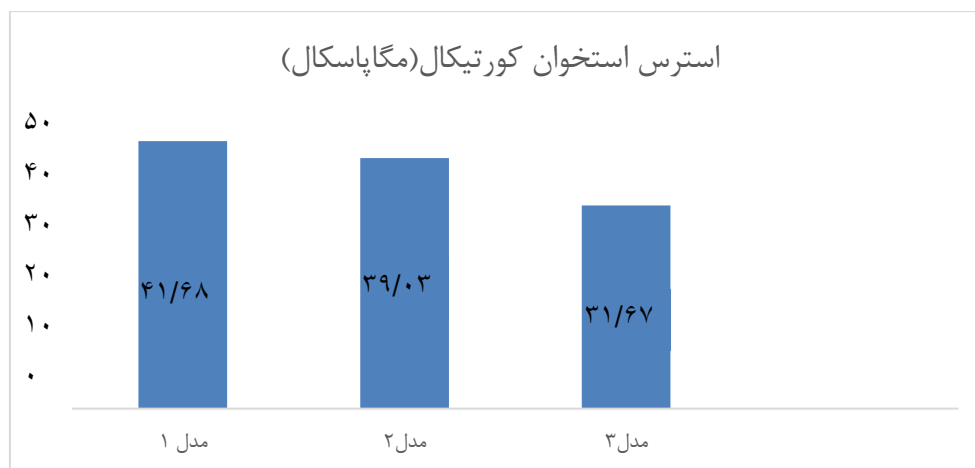


شکل ۳: مدل شماره ۳

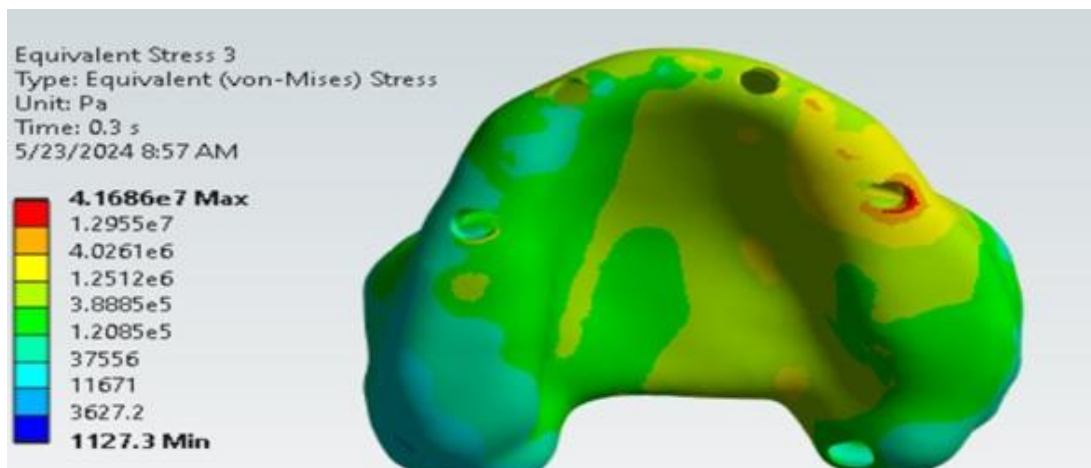
یک نیروی ۱۰۰ نیوتون برای شبیه‌سازی نیروی حاصل از سیکل جویدن به انتهای سمت چپ سوپراستراکچر وارد شد. آنالیز استرس وون میس (von Mises stress) در هر یک از طرح‌ها در وضعیت لودینگ انجام گردید سپس حداکثر استرس حاصله در استخوان و ساختارهای پروتزی متناظر با یکدیگر مقایسه شدند.

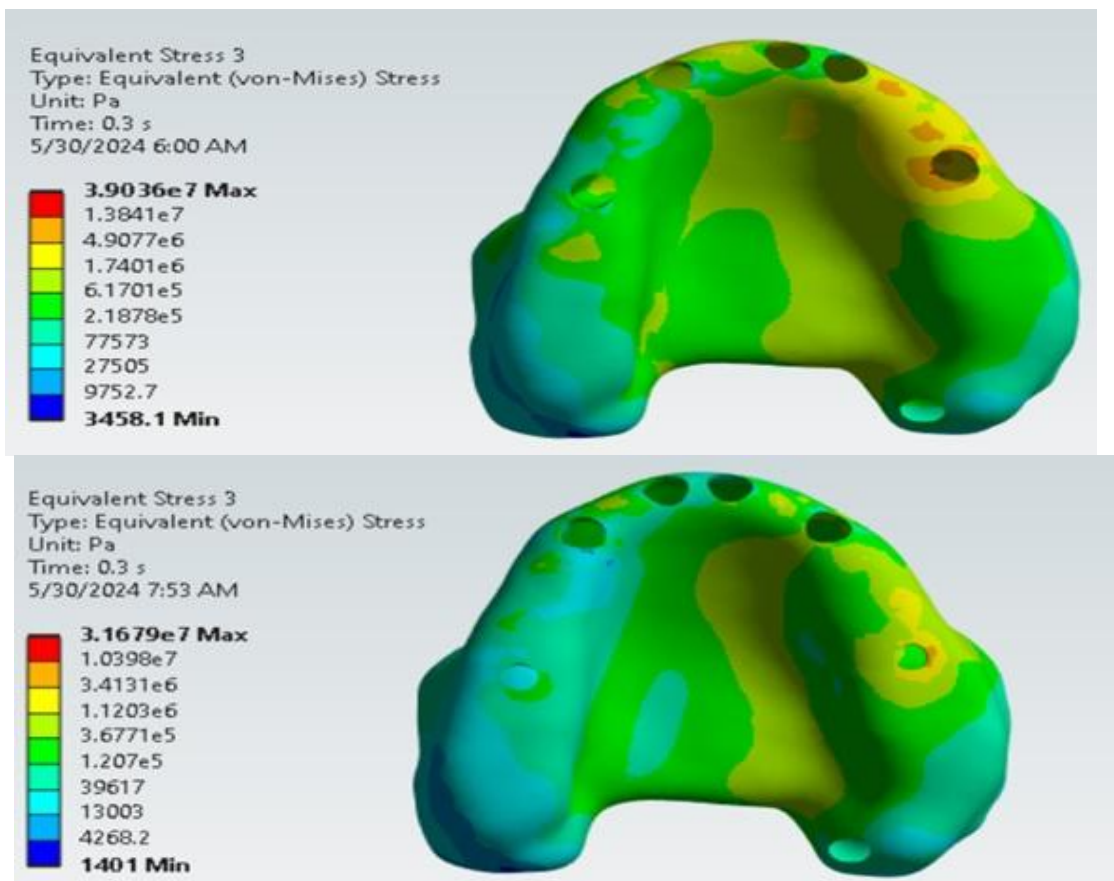
یافته‌ها

استرس استخوان کرسنال: تحت نیروی ۱۰۰ نیوتونی وارده بیشترین میزان استرس در استخوان کورتیکال در مدل شماره ۱ (۶۸/۴۱ مگاپاسکال) در ناحیه‌ی دیستال ایمپلنت خلفی سمت چپ (نزدیک به نیروی وارده) و کمترین استرس در مدل شماره ۳ (۳۱/۶۷ مگاپاسکال) مشاهده شد (نمودار ۱ و اشکال ۴ تا ۶).



نمودار ۱: مقایسه‌ی حداکثر استرس استخوان کورتیکال

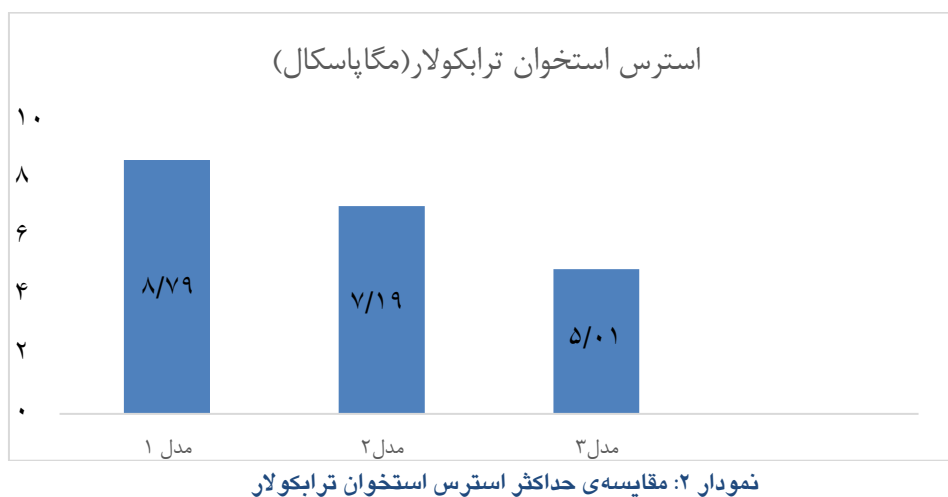


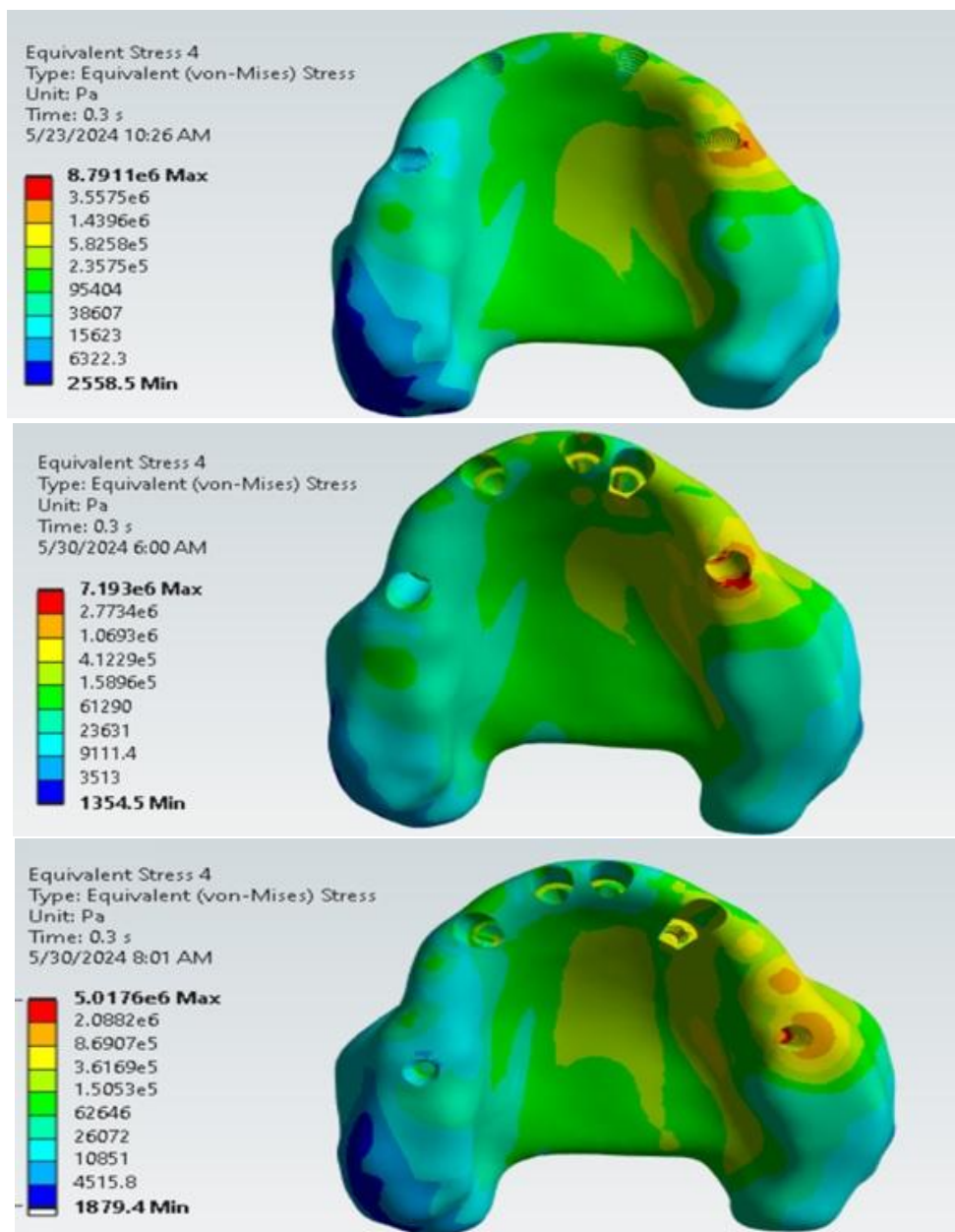


اشکال ۴-۶: نحوه‌ی توزیع استرس در استخوان کورتیکال در مدل‌های ۱ تا ۳

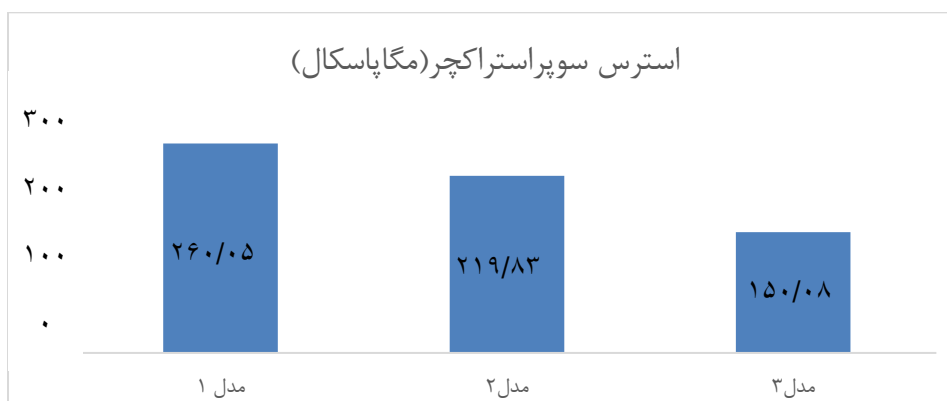
استرس سوپراستراکچر: تحت نیروی ۱۰۰ نیوتونی وارده
بیشترین میزان استرس در سوپراستراکچر در مدل شماره‌ی
(۰۵/۲۶۰)۱ مگاپاسکال در کانکتور بین پرمولر اول و دوم
سمت چپ و کمترین استرس در مدل شماره‌ی ۳ (۸/۱۵۰)
مگاپاسکال) مشاهده شد (نمودار ۳ و اشکال ۱۰ تا ۱۲).

استرس استخوان اسفنجی: تحت نیروی ۱۰۰ نیوتونی وارده
بیشترین میزان استرس در استخوان ترابکولار در مدل شماره‌ی
(۷۹/۸)۱ مگاپاسکال در دیستال ایمپلنت خلفی سمت چپ
(نزدیک به نیروی وارده) و کمترین استرس در مدل شماره‌ی ۳
(۰۱/۵) مگاپاسکال) مشاهده شد (نمودار ۲ و اشکال ۷ تا ۹).

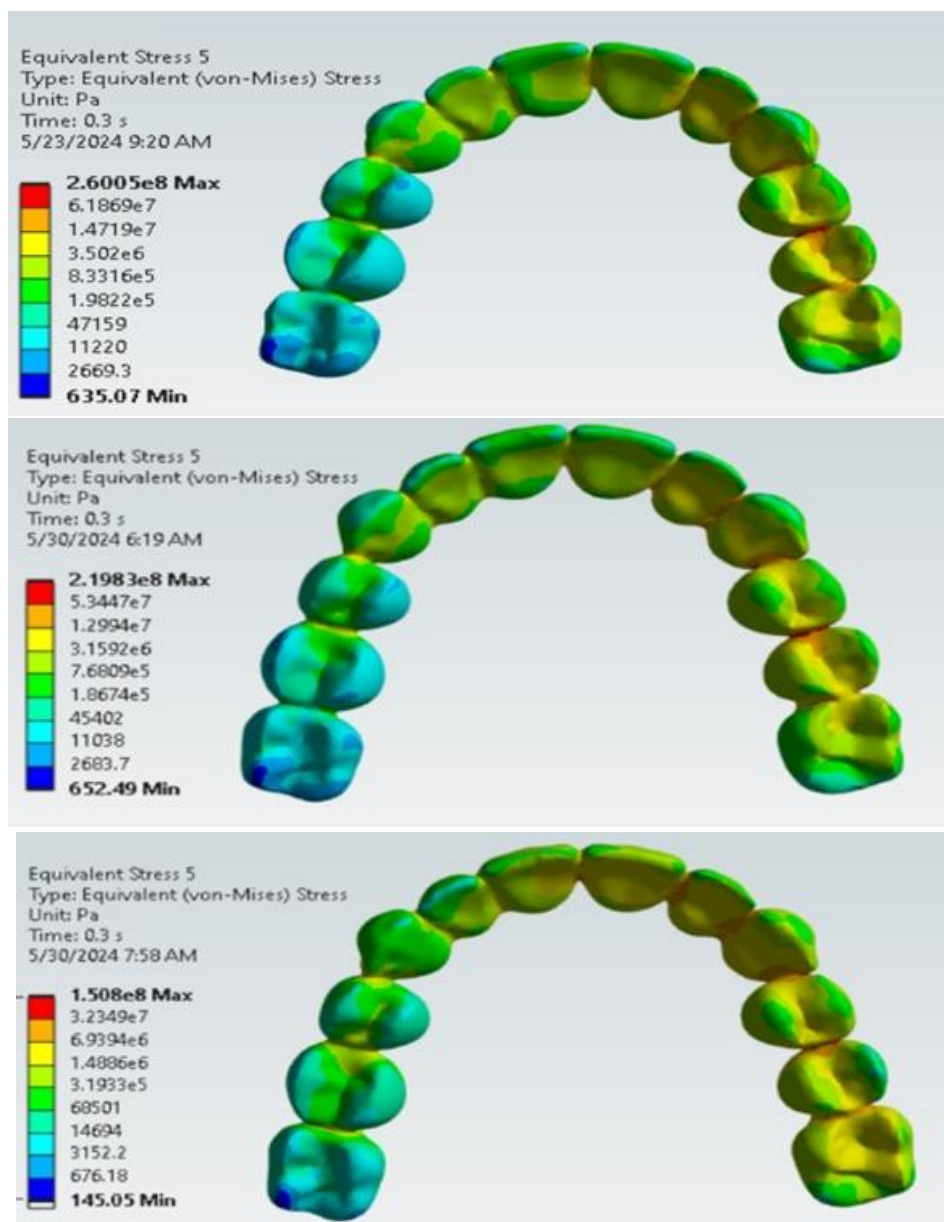




اشکال ۷-۹: نحوه‌ی توزیع استرس در استخوان ترایکولار در مدل‌های ۱ تا ۳



نمودار ۳: مقایسه‌ی حداکثر استرس سوپراستراکچر



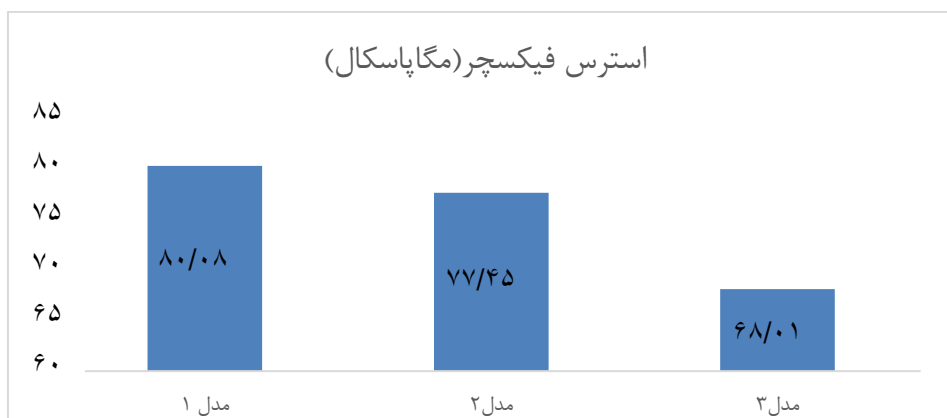
اشکال ۱۰-۱۲: نحوه‌ی توزیع استرس در سوپراستراکچر در مدل‌های ۱ تا ۳

شماره‌ی ۳ (۱۰/۹۸ مگاپاسکال) مشاهده شد (نمودار ۵ و اشکال ۱۶ تا ۱۸).

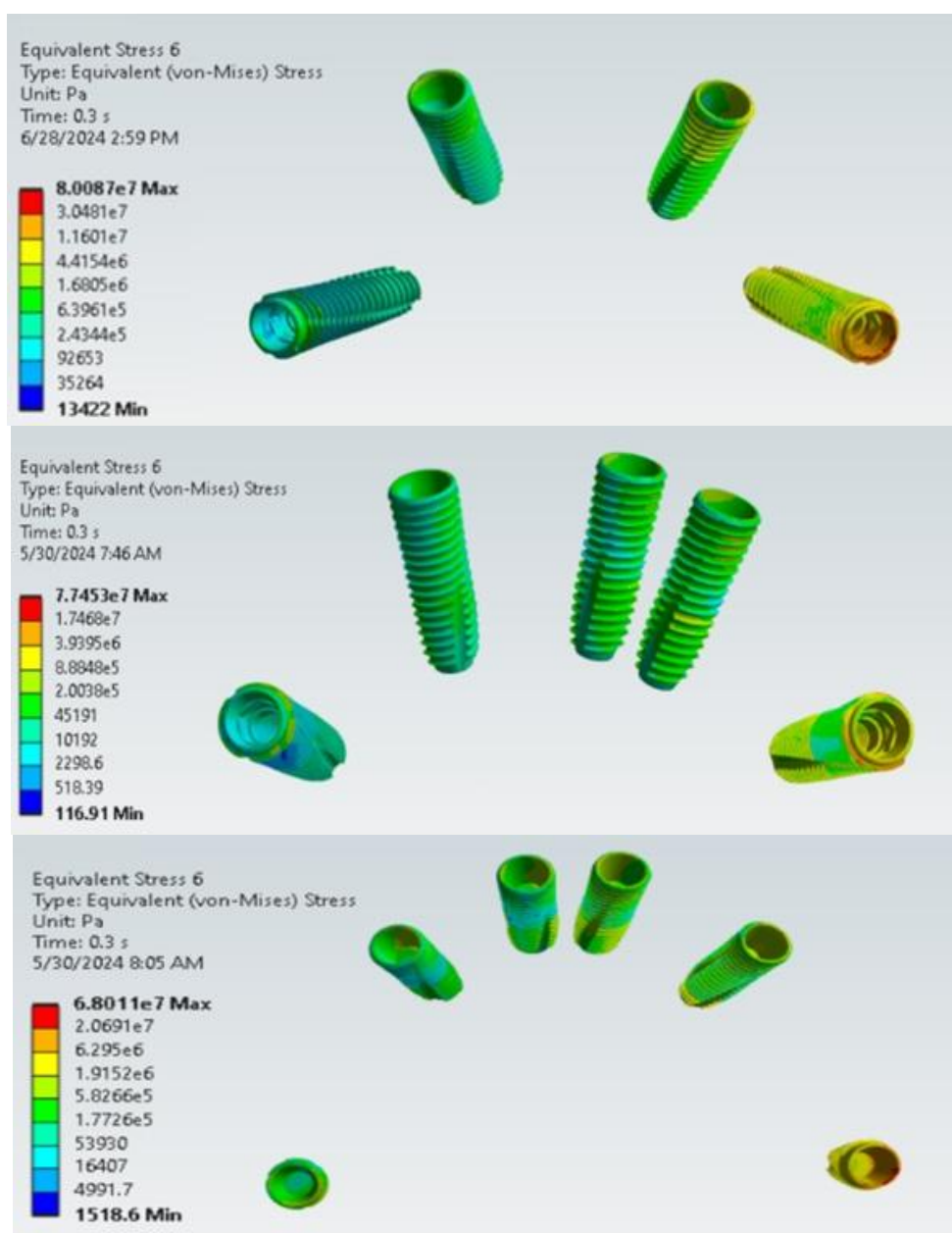
استرس پیچ اباتمنت: تحت نیروی ۱۰۰ نیوتونی وارد به بیشترین میزان استرس در پیچ اباتمنت در مدل شماره‌ی ۱ (۹۴/۲۱ مگاپاسکال) در ناحیه‌ی دیستال سر پیچ اباتمنت مربوط به ایمپلنت خلفی سمت چپ و کمترین استرس در مدل شماره‌ی ۳ (۵/۱۳ مگاپاسکال) مشاهده شد (نمودار ۶ و اشکال ۱۹ تا ۲۱). نکته جالب توجه توزیع یکنواخت استرس در همه‌ی شش پیچ اباتمنت مربوط به مدل شماره‌ی سه بود (شکل ۲۱).

استرس فیکسچر: تحت نیروی ۱۰۰ نیوتونی وارد به بیشترین میزان استرس در سوپراستراکچر در مدل شماره‌ی ۱ (۸/۸۰ مگاپاسکال) در ناحیه‌ی دیستال پلتفرم ایمپلنت خلفی سمت چپ و کمترین استرس در مدل شماره‌ی ۳ (۱/۶۸ مگاپاسکال) مشاهده شد (نمودار ۴ و اشکال ۱۳ تا ۱۵).

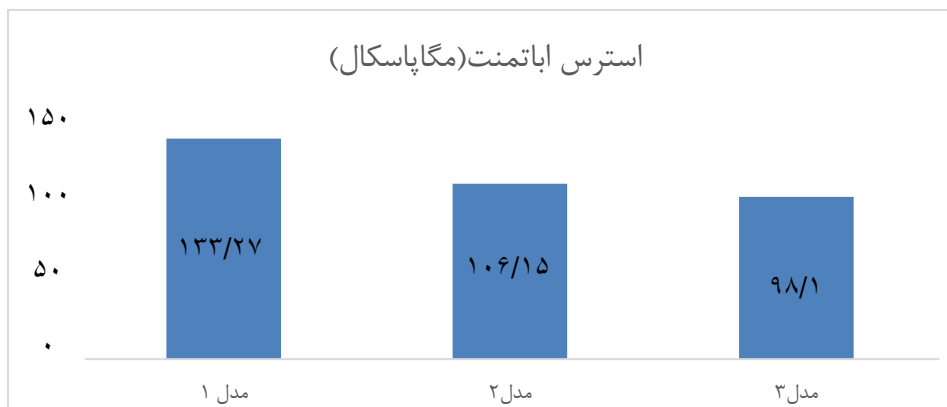
استرس اباتمنت: تحت نیروی ۱۰۰ نیوتونی وارد به بیشترین میزان استرس در اباتمنت در مدل شماره‌ی ۱ (۲۷/۱۳۳ مگاپاسکال) در ناحیه‌ی دیستال اباتمنت مربوط به ایمپلنت خلفی سمت چپ و کمترین استرس در مدل



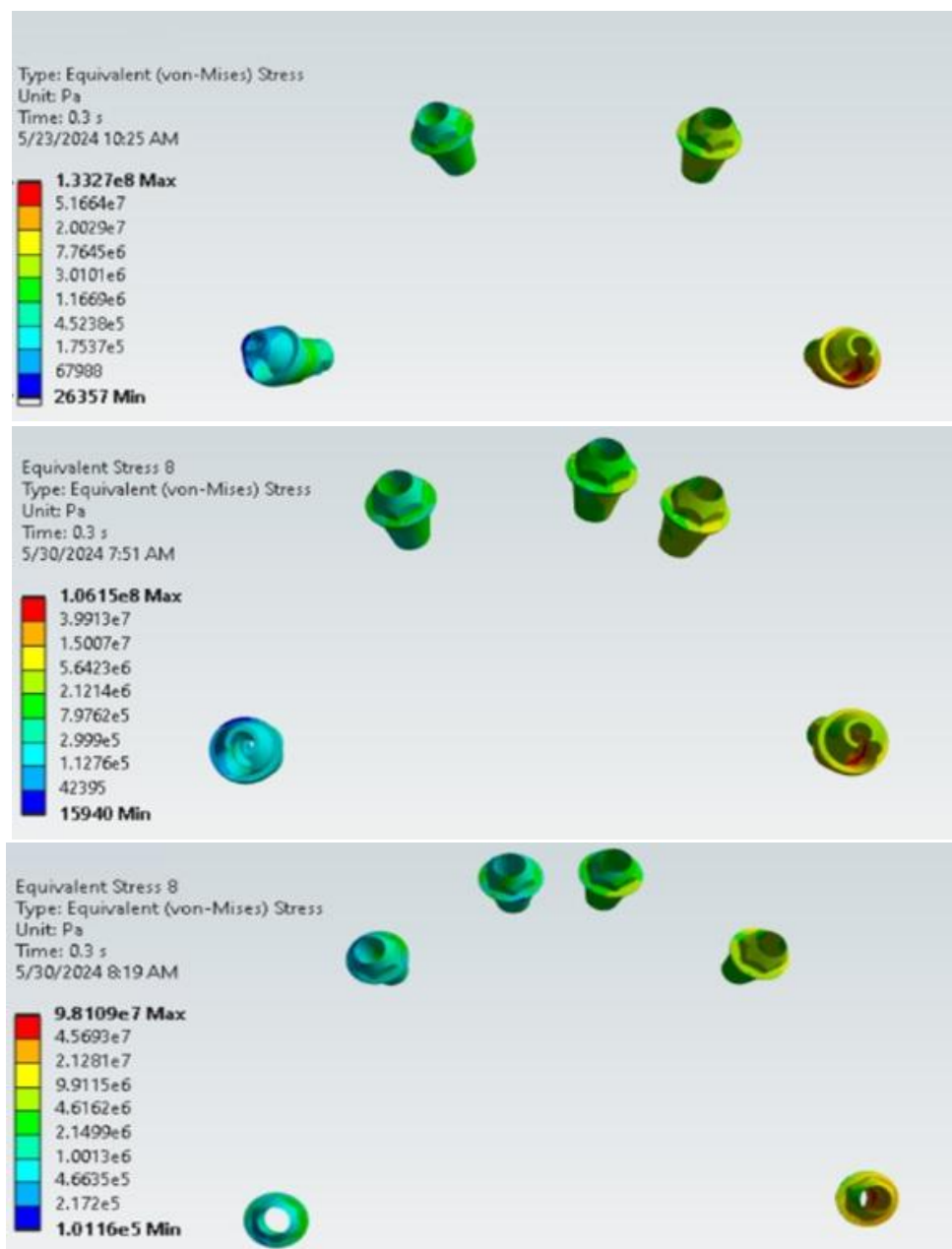
نمودار ۴: مقایسه حداکثر استرس فیکسچر



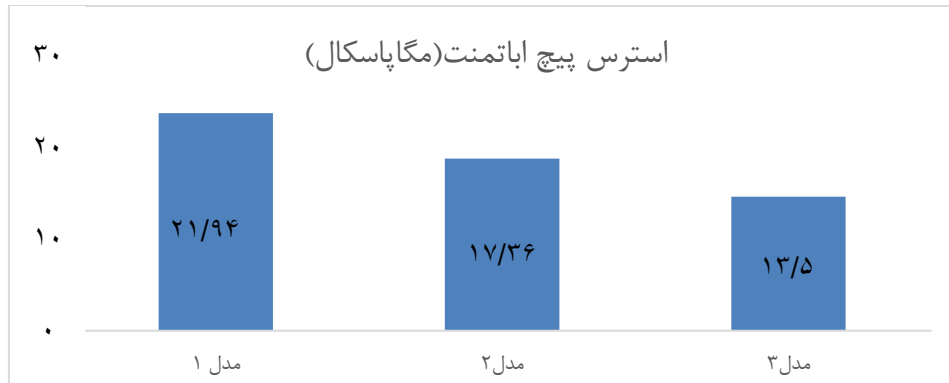
اشکال ۱۳-۱۵: نحوه‌ی توزیع استرس در فیکسچر در مدل‌های ۱ تا ۳



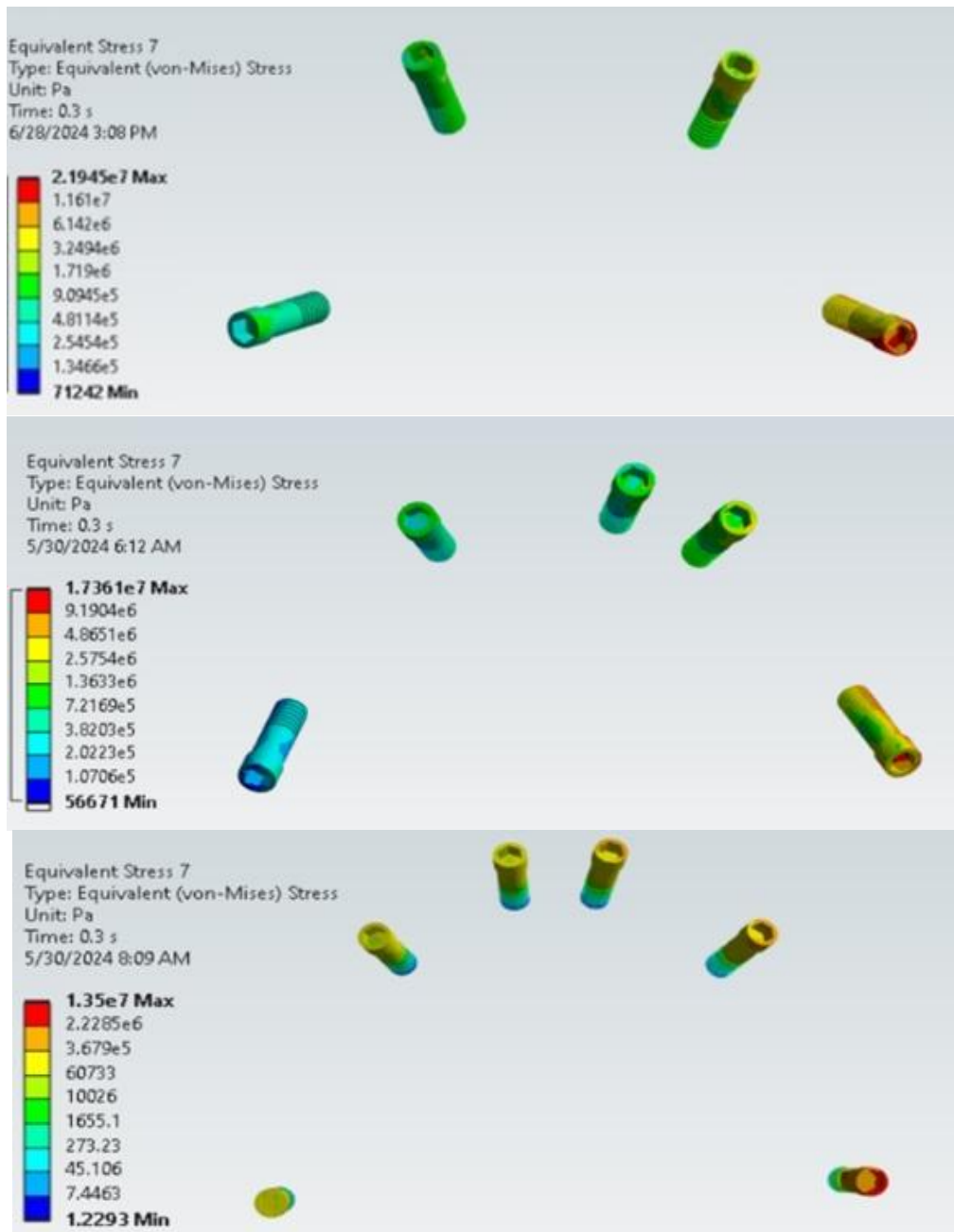
نمودار ۵: مقایسه‌ی حداکثر استرس اباتمنت



اشکال ۱۶-۱۸: نحوه‌ی توزیع استرس در اباتمنت در مدل‌های ۱ تا ۳



نمودار ۶: مقایسه‌ی حداکثر استرس پیچ اباتمنت



اشکال ۱۹-۲۱: نحوه‌ی توزیع استرس در پیچ اباتمنت در مدل‌های ۱ تا ۳

بحث

فرضیه‌ی صفر مطالعه این بود که افزایش تعداد پایه‌های ایمپلنت در طرح پروتزی می‌تواند اثر مثبتی بر رفتار بیومکانیک مجموعه و سطح استرس استخوان و ساختارهای پروتزی داشته باشد؛ با نتایج حاصل از مطالعه فرضیه‌ی صفر تأیید شد.

نتایج آنالیز المان محدود نشان داد که بین مدل‌های مختلف پروتز ثابت متکی بر ایمپلنت ماگزایلا از لحاظ میزان استرس استخوان و استرس اجزای پروتزی تفاوت وجود دارد. با مقایسه‌ی نتایج حاصل از مدل All on four (مدل شماره‌ی ۱) با مدل All on five (مدل شماره‌ی ۲) می‌توان نتیجه گرفت که افزودن یک ایمپلنت قدامی با کاهش تنش در استخوان و اجزای پروتزی همراه است گرچه این کاهش استرس در استخوان کورتیکال و اسفنجی به میزان قابل توجهی نبود. نتایج حاصله قابل بحث با نتایج حاصل از مطالعه‌ی Sun و همکاران بود. در این مطالعه FEA، مندیبل آتروفیک یک‌طرفه با سه مدل بازسازی شد؛ مدل All on four، مدل All on five-V با ۵ ایمپلنت عمودی و مدل All on five-O با ۳ ایمپلنت عمودی و دو ایمپلنت زاویه‌دار، در این مطالعه بین دو طرح All on five از نظر توزیع استرس تفاوت چندانی مشاهده نشد، اما هر دو مدل کاهش استرس و استرین را در ایمپلنت خلفی و استخوان اطراف نسبت به مدل All on four نشان دادند (۲۰).

در میان سه مدل بازسازی شده در مطالعه‌ی حاضر، کمترین میزان تنش در استخوان و ساختارهای پروتزی در مدل شماره‌ی ۳ (All on six) با شش ایمپلنت آگزایلا در نواحی سانتال، کانین و مولر اول مشاهده شد. این طرح فاقد کانتی لور بوده و از short implant برای ایمپلنت‌های موقعیت مولر اول استفاده شد.

مطالعه‌ی Kaya و Tuğcu (۲۱) و Bonifacius و همکاران (۲۲) نشان داد طرح All on six با قرار دادن دو ایمپلنت خلفی کوتاه بصورت عمودی و حذف کانتی لور منجر به کاهش قابل توجه استرس نسبت به طرح All on four می‌شود. همچنین Bhering و همکاران، عنوان کردند

بازسازی ماگزایلا تا دندان مولر دوم با طرح All on six (موقعیت ایمپلنت‌ها: دندان‌های لترال، پرمولر دوم و مولر دوم دوطرف) نسبت به بازسازی ماگزایلا تا دندان مولر اول با طرح All on four (موقعیت ایمپلنت‌ها: دندان‌های لترال و پرمولر دوم دوطرف) توزیع استرس و رفتار بیومکانیک مطلوب‌تری دارد (۲۳).

از سوی دیگر Saber و همکاران با هدف مقایسه‌ی روش All on four و All on six در بازسازی بی‌دندانی ماگزایلا با کمک FEA، پنج مدل طراحی کردند مدل اول تا چهارم بازسازی مدل ماگزایلا به روش All on four با ایمپلنت‌های خلفی ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و مدل پنجم طرح All on six بود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش زاویه‌ی ایمپلنت خلفی و بدنبال کاهش طول کانتی لور، استرس استخوان کاهش می‌یابد و طرح All on four با زاویه‌ی ۴۵ درجه ایمپلنت خلفی، کمترین سطح استرس را بین تمام مدل‌ها دارد. همچنین آن‌ها گزارش کردند طول کانتی لور مهم‌ترین فاکتور در سطح استرس استخوان است (۲۴). با بررسی دقیق‌تر در مطالعه‌ی مذکور و با مقایسه‌ی مدل All on six و All in four با ایمپلنت خلفی ۳۰ درجه درمی‌یابیم که سطح استرس در این دو طرح تقریباً مشابه است، در این دو طراحی بترتیب کانتی لور با طول ۱۳ و ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. این در حالی است که در مطالعه‌ی حاضر مدل All on six بدون وجود کانتی لور طراحی گردید و با بهترین نتایج همراه بود (۲۴).

Silveira و همکاران در مطالعه‌ی FEA، بریج سه واحدی متکی بر دو و سه ایمپلنت در مندیبل را با یکدیگر مقایسه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بدنبال وارد شدن نیروی آگزایلا و نیروی مایل، بریج سه واحدی متکی بر سه ایمپلنت در مقایسه با بریج سه واحدی متکی بر دو ایمپلنت با کاهش معنی‌داری در سطح استرس و استرین فیکسچرها همراه است که نشان‌دهنده‌ی اهمیت تعداد ایمپلنت‌ها در کاهش سطح استرس و استرین ساختارهای پروتزی است (۲۵).

همچنین Lee و همکاران، بدنبال مقایسه فتوالاستیک یک بریج شش واحدی در ناحیه‌ی قدامی ماگزایلا متکی بر ۲ تا ۶

گرفته شوند. مدل‌های ایجاد شده در اینگونه مطالعات (از جمله این مطالعه) در بسیاری جهات با شرایط کلینیکی واقعی تفاوت بسیار دارد. در این مطالعه تمامی ساختارها هوموژن و ایزوتروپیک و الاستیک خطی در نظر گرفته شدند، در حالی که نشان داده شده است استخوان انیزوتروپیک و غیر هوموژن است. فرض شد که همه ایمپلنت‌ها دارای تماس استخوانی ۱۰۰ درصد هستند که با شرایط واقعی کلینیکی همخوانی نداشت. ویژگی‌های مکانیکی استخوان به عوامل متعددی همچون نوع استخوان، سن، جنس و محل مورد بررسی در فک بستگی دارد بعلاوه ویژگی‌های مکانیکی استخوان در ناحیه‌ی قدامی و خلفی فک مشابه فرض شد این درحالی است که در واقعیت همیشه اینطور نیست. بنابراین تفسیر و تعمیم کلینیکی نتایج این مطالعه باید با احتیاط صورت گیرد.

نتیجه‌گیری

افزودن یک ایمپلنت قدامی (طرح All on five) نسبت به طرح All on four، با کاهش توزیع تنش در استخوان و ساختارهای پروتزی همراه خواهد بود. همچنین طرح All on six با ایمپلنت‌های کوتاه خلفی بهترین رفتار بیومکانیک را دارد، لذا در بازسازی بی‌دندانی کامل ماگزایلا با پروتز ثابت متکی بر ایمپلنت، هرگاه که ممکن باشد باید افزایش تعداد ایمپلنت‌ها (حتی با ایمپلنت‌های خلفی کوتاه) را در نظر داشت.

سپاسگزاری

مطالعه‌ی حاضر با کد علمی ۱۴۰۱۳۷۵، کد رهگیری ۵۹۵۸۳ در دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، دانشکده‌ی دندان پزشکی تأیید و انجام پذیرفت. قسمت عمده‌ی بودجه از منابع مالی دانشگاه تأمین شد. نویسندگان لازم می‌دانند مراتب قدردانی خود را از شرکت درسان طب پارس نمایندگی انحصاری ایمپلنت‌های Implantium کره، بابت همکاری در راستای تهیه‌ی فیکسچرها و مولتی اباتمنت‌های مورد نیاز را اعلام فرمایند. همچنین از جناب آقای مهندس مجتبی حسنی بابت طراحی و اجرای نرم‌افزاری مطالعه کمال قدردانی را داریم.

ایمپلنت به این نتیجه رسیدند که افزایش تعداد ایمپلنت با کاهش میزان تنش و نیز با تنش یکنواخت‌تر همراه است (۲۶). Korkmaz و Gümrükçü نیز در مطالعه‌ی خود بازسازی قوس ماگزایلی آتروفیک با ایمپلنت‌هایی با تعداد، طول و زاویه‌ی متفاوت را با یکدیگر مقایسه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بازسازی ماگزایلا با ۷ عدد ایمپلنت با توزیع استرس بهتری نسبت به بازسازی با چهار و پنج عدد ایمپلنت همراه است که با نتایج مطالعه‌ی حاضر همخوانی داشت (۲۷).

با وجود نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر و سایر مطالعات مشابه، بر اساس آنالیز المان محدود و مطالعات فتوالاستیک که به بررسی تأثیر تعداد ایمپلنت بر سطح استرس و استرین فیکسچر و استخوان اطراف پرداخته‌اند می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش تعداد ایمپلنت با کاهش میزان تنش در ایمپلنت‌ها و استخوان پیرامون همراه است این درحالی است که مطالعات سیستماتیک مختلفی عنوان می‌کنند که ارتباط معنی‌داری بین تعداد ایمپلنت استفاده شده در بازسازی بی‌دندانی کامل با ماندگاری پروتز، ماندگاری ایمپلنت‌ها، تحلیل استخوان مارژینال و مشکلات پروتزی بعدی وجود ندارد (۲۸، ۲۹). لذا می‌توان به این نتیجه رسید که هرگاه شرایط بیمار اجازه کاشت تعداد بیشتر ایمپلنت را فراهم سازد باید در طرح درمان استفاده از تعداد بیشتر ایمپلنت را مدنظر داشت درحالی که استفاده از حداقل تعداد ایمپلنت (طرح All on four) نیز می‌تواند با نتایج قابل قبول همراه باشد.

لازم به ذکر است مقادیر عددی به دست آمده در مطالعه‌ی حاضر علاوه بر طرح پروتز و شرایط لودینگ تحت تأثیر فاکتورهای دیگری همچون ارتفاع تاج، شکل قوس دندانی و استخوانی، انعطاف‌پذیری اجزاء و نیز قرار می‌گیرد. بنابراین مقدار حقیقی داده‌های مطالعه دارای ارزش اندک بوده و هدف اصلی مقایسه‌ی آن‌ها نسبت به یکدیگر جهت کمک به تصمیم‌گیری‌های کلینیکی می‌باشد. قبل از هرگونه تعمیم کلینیکی نتایج این مطالعه باید محدودیت‌های ذاتی مطالعات المان محدود در رابطه با توزیع استرس در نظر

References

1. Asawa N, Bulbule N, Kakade D, Shah R. Angulated implants: an alternative to bone augmentation and sinus lift procedure: systematic review. *J Clin Diagn Res* 2015; 9(3): ZE10-3.
2. Capelli M, Zuffetti F, Del Fabbro M, Testori T. Immediate rehabilitation of the completely edentulous jaw with fixed prostheses supported by either upright or tilted implants: a multicenter clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007; 22(4): 639-44.
3. Tealdo T, Bevilacqua M, Pera F, Menini M, Ravera G, Drago C, et al. Immediate function with fixed implant-supported maxillary dentures: a 12-month pilot study. *J Prosthet Dent* 2008; 99(5): 351-60.
4. Balshi SF, Wolfinger GJ, Balshi TJ. A retrospective analysis of 44 implants with no rotational primary stability used for fixed prosthesis anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007; 22(3): 467-71.
5. Agliardi E, Francetti L, Romeo D, Taschieri S, Del Fabbro M. Immediate loading in the fully edentulous maxilla without bone grafting: the V-II-V technique. *Minerva Stomatol* 2008; 57(5): 251-9, 259-63.
6. Graves S, Mahler BA, Javid B, Armellini D, Jensen OT. Maxillary all-on-four therapy using angled implants: a 16-month clinical study of 1110 implants in 276 jaws. *Dental Clinics* 2011; 55(4): 779-94.
7. Menini M, Signori A, Tealdo T, Bevilacqua M, Pera F, Ravera G, et al. Tilted implants in the immediate loading rehabilitation of the maxilla: a systematic review. *J Dent Res* 2012; 91(9): 821-7.
8. Block MS, Haggerty CJ, Fisher GR. Nongrafting implant options for restoration of the edentulous maxilla. *J Oral Maxillofac Surg* 2009; 67(4): 872-81.
9. Calandriello R, Tomatis M. Simplified treatment of the atrophic posterior maxilla via immediate/early function and tilted implants: a prospective 1-year clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7(Suppl 1): S1-12.
10. Sorni M, Guarinos J, García O, Peñarrocha M. Implant rehabilitation of the atrophic upper jaw: a review of the literature since 1999. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2005; 10(Suppl 1): E45-56.
11. Maló P, de Araújo Nobre M, Petersson U, Wigren S. A pilot study of complete edentulous rehabilitation with immediate function using a new implant design: case series. *Clin Implant Dent Relat Res* 2006; 8(4): 223-32.
12. Maló P, Friberg B, Polizzi G, Gualini F, Vighagen T, Rangert B. Immediate and early function of Brånemark System® implants placed in the esthetic zone: a 1-year prospective clinical multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003; 5(s1): 37-46.
13. Maló P, Rangert B, Nobre M. "All-on-Four" immediate-function concept with Brånemark System® implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003; 5(Suppl 1): 2-9.
14. Maló P, Rangert B, Nobre M. All-on-4 immediate-function concept with Brånemark System® implants for completely edentulous maxillae: a 1-year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7(Suppl 1): s88-s94.
15. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2001; 85(6): 585-98.
16. Gultekin BA, Gultekin P, Yalcin S. Application of finite element analysis in implant dentistry. Croatia: Intech: IntechOpen; 2012. p. 21-54.
17. Soto-Peñaloza D, Zaragoz-Alonso R, Peñarrocha-Diago M, Peñarrocha-Diago M. The all-on-four treatment concept: Systematic review. *J Clin Exp Dent* 2017; 9(3): e474-e488.
18. Poletto-Neto V, Tretto PHW, Zen BM, Bacchi A, Dos Santos MBF. Influence of implant inclination and prosthetic abutment type on the biomechanics of implant-supported fixed partial dentures. *J Oral Implantol* 2019; 45(5): 343-50.
19. Baggi L, Pastore S, Di Girolamo M, Vairo G. Implant-bone load transfer mechanisms in complete-arch prostheses supported by four implants: a three-dimensional finite element approach. *J Prosthet Dent* 2013; 109(1): 9-21.
20. Sun X, Tang X, Cheng K, Xia Z, Liu Y, Yang F, et al. Comparative biomechanics of all-on-4 and vertical implant placement in asymmetrical mandibular: a finite element study. *BMC Oral Health* 2024; 24(1): 425.
21. Kaya I, Tuğcu F. Evaluation of stress distribution on all-on-four concept and conventional implant designs: 3D finite element analysis. *Balkan Journal of Dental Medicine* 2021; 25(1): 46-52.
22. Bonifacius S, Rikmasari R, Dirgantara T, Sukotjo C, Sulaiman MY. A Biomechanical Finite Element Analysis of All-on-Four Concept using Short Implants in Maxilla. *J Int Dent Med Res* 2024; 17(1): 93-8.
23. Bhering CLB, Mesquita MF, Kemmoku DT, Noritomi PY, Consani RLX, Barão VAR. Comparison between all-on-four and all-on-six treatment concepts and framework material on stress distribution in

- atrophic maxilla: A prototyping guided 3D-FEA study. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 2016; 69: 715-25.
24. Saber FS, Ghasemi S, Koodaryan R, Babaloo A, Abolfazli N. The comparison of stress distribution with different implant numbers and inclination angles in all-on-four and conventional methods in maxilla: a finite element analysis. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2015; 9(4): 246-53.
 25. Silveira MPM, Campaner LM, Bottino MA, Nishioka RS, Borges ALS, Tribst JPM. Influence of the dental implant number and load direction on stress distribution in a 3-unit implant-supported fixed dental prosthesis. *Dent Med Probl* 2021; 58(1): 69-74.
 26. Lee JI, Lee Y, Kim YL, Cho HW. Effect of implant number and distribution on load transfer in implant-supported partial fixed dental prostheses for the anterior maxilla: A photoelastic stress analysis study. *J Prosthet Dent* 2016; 115(2): 161-9.
 27. Gümrükçü Z, Korkmaz YT. Influence of implant number, length, and tilting degree on stress distribution in atrophic maxilla: a finite element study. *Med Biol Eng Comput* 2018; 56(6): 979-89.
 28. De Luna Gomes JM, Lemos CAA, Santiago Junior JF, de Moraes SLD, Goiato MC, Pellizzer EP. Optimal number of implants for complete-arch implant-supported prostheses with a follow-up of at least 5 years: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2019; 121(5): 766-774.e3.
 29. Daudt Polido W, Aghaloo T, Emmett TW, Taylor TD, Morton D. Number of implants placed for complete-arch fixed prostheses: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29(Suppl 16): 154-83.