

## شبیه سازی سیستم هاورس با استفاده از دانش اورینگامی و سنجش مقاومت مکانیکی آن

ناصر مهدوی شهری Ph.D.\*، رویا جاجوندیان M.Sc.\*\*، عطیه اسدپور B.Sc.\*، سیدمجتبی زبرد Ph.D.\*\*\*

\* گروه زیست شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد و گروه زیست شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد مشهد

\*\* دانشکده پرستاری و مامایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد

\*\*\* دانشگاه مهندسی دانشکده فردوسی مشهد

وصول: مردادماه ۸۵، پذیرش: مهرماه ۸۵

### چکیده

**هدف:** هدف از این پژوهش مطالعه مقدماتی الگوی حاکم در ساختار سیستم هاورس استخوان و ارتباط برقرار کردن بین علوم بیونیک و سبیرنتیک در راستای ادراک بیشتر مفاهیم در علوم مختلف و استفاده بهینه از سیستمها و مدل های زیستی برای طراحی صنعتی است.

**مواد و روش ها:** در تحقیق حاضر با کمک از علم اورینگامی و با استفاده از کاغذ به عنوان یک ماده اولیه و ابتدایی و در دسترس و الگوگیری از شکلهایی با سطح مقطع دایره در سیستم هاورس در قیاس با دو مدل مثلث و مربع، میزان تغییر شکل در برابر فشار و حداکثر قدرت تحمل نیرو مطالعه و بررسی شد.

**یافته ها:** نتایج به دست آمده نشان می دهند که مدل دایره در قیاس با دو مدل دیگر چه در حالت منفرد و چه در حالت چند تایی حداکثر مقاومت در برابر نیروی وارده را از خود نشان می دهد.

**نتیجه گیری:** در واقع حضور سیستمهای هاورس و ساختار بی بدیل قرارگیری تیغه های استخوانی و نظم ذاتی آنها می تواند نمونه ای از مدل های ایده آل در طراحی ساختارهای محافظت کننده ای باشد که در صنعت برای حمایت و محافظت از وسایل و ایجاد استحکام به کار گرفته می شوند.

**کلیدواژه ها:** بیونیک، سیستم هاورس، مقاومت، حداکثر نیرو، تغییر شکل

### مقدمه

جهان زنده پیرامون بشر همواره الهام بخش انسان بوده است.

برای مثال پرواز پرندگان هزاران سال رویا آفرین و الهام بخش

✉ آدرس مکاتبه: استان خراسان شمالی، بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد

بجنورد، دانشکده پرستاری و مامایی، صندوق پستی: ۹۴۱۵۶

E-mail: jajvandian@gmail.com

طرحهای بیشماری از ماشینهای پرنده بوده است

جهت تهیه فایل **WORD** این مقاله به سایت **DaneshResan.com** مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید  
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

نخستین صورت محسوسی که مثل «ایده» خود را در آن نمودار می‌سازد، طبیعت است و از این رو نخستین صورت زیبایی را می‌توان طبیعت دانست [۴].

اوریگامی<sup>۱</sup> نیز یکی از شاخه‌های هنر است که به عنوان کار تفریحی، هنری، آموزشی در عرصه‌های وسیعی مطرح است و حتی می‌توان رگه‌هایی از آن را در طراحی صنعتی دید. هدف اصلی این رشته، تلاش در جهت ایجاد خلاقیت و ساخت ابزاری است که در عین سادگی کاربرد بالایی دارند.

استخوان یا بافت استخوانی، به لحاظ سخت بودن از سایر بافتهای نگهدارنده کاملاً متمایز است [۵] این بافت؛ از بافتهای نرم حمایت کرده، اندامهای حیاتی همچون محتویات جمجمه و قفسه سینه و نخاع را در خود جای می‌دهد. همچنین مخزن نگهداری املاح از جمله کلسیم، فسفات و سایر یونهاست. از طرفی، استخوانها دستگاهی از اهرمها را تشکیل می‌دهند که نیروهای تولید شده در هنگام انقباض عضلات را چند برابر می‌کنند و آنها را به حرکات بدنی مبدل می‌سازند [۶]. تقریباً بخش عمده‌ای از کارایی تحسین برانگیز بافت استخوان متراکم را باید مدیون وجود تیغه‌های سازمان یافته سیستم هاورس<sup>۲</sup> یا استئونها در ماتریکس استخوان متراکم (دیافیز استخوان دراز) دانست. هر سیستم هاورس از لایه‌های متحدالمرکز تشکیل شده که هر کدام بین ۳ تا ۷ میکرون ضخامت داشته، تیغه‌های هاورس<sup>۳</sup> نامیده می‌شوند [۵] تعداد تیغه‌های هر سیستم بین ۴ تا ۲۰ لایه متغیر است و جدیدترین لایه‌ها، داخلی ترین آنهاست. سلولهای استخوانی بین این تیغه‌ها قرار دارند و کانالیکولها با مجاری هاورس ارتباط می‌یابند. در اشاره مختصر به سازمان بندی استخوان باید گفت دو نوع سیستم هاورس در استخوان دیده می‌شود که عبارتند از استئون اولیه (سیستم هاورس آتیپیک) که اولین استئونهایی

موجودات زنده را می‌توان نوع ویژه‌ای ماشین با مکانیسم معین و بسیار پیچیده‌ای دانست که باید با هم اندیشی زیست‌شناسان و مهندسان درکانون یک علم مشترک، به نام بیونیک به بحث گذاشته شوند تا بتوان درهایی به اسرار آنها گشود [۱]. دانش بیونیک بر پایه تقلید ساز و کارهای زیست‌شناختی بنا نهاده شده است [۲]. این دانش هنوز بسان کودکی نوپاست که در ابتدای جاده‌ای منتهی به افقهای روشن گام بر می‌دارد. در این دانش روشهای ساخت سیستمهای مکانیکی با مشخصاتی متناظر با ویژگیهای موجودات زنده مورد بررسی قرار می‌گیرند [۱]. علامت اختصاری بیونیک، از تقاطع چاقوی جراحی، دستگاه هویه لحیم و علامت انتگرال شکل گرفته است که نشانگر هم اندیشی و اتفاق نظر زیست‌شناسان صنعت گران و ریاضی دانان در دانشی است که می‌تواند نوید بخش قابلیت نفوذ علم بیونیک در تمام چیزهایی باشد که تاکنون هیچکس به آن نفوذ ننموده است [۳]. به عبارت ساده می‌توان گفت بیونیک علم سیستمهایی است که خصوصیات ویژه سیستمهای زنده را دارند و به سیستمهای زنده شبیه‌اند [۱].

باید گفت موجودات زنده محصول هنرمندی انتخاب طبیعی در گذر زمان بوده اند و تکامل موجب پیدایش مکانیسمهایی منحصر به فرد در زمان و مکان خاص خود شده است که می‌توان از روی آنها نسخه برداری کرد. چرا که ملکولهای خطی DNA, RNA و پروتیین، سه سیستم مملو از اطلاعات اند که در سراسر مسیر تکامل مانند حلقه‌های فنر روی یکدیگر قوس می‌خورند. هر روند تکامل به ضرب چکش روی سندان مقاوم تجربیات زندگی فرو زده می‌شود و این رفتار است که اهمیت حیاتی در تعیین این موضوع دارد که آیا DNA به نسل بعد منتقل خواهد شد یا نه؛ و ما نه فقط به وسیله توارث ژنی بلکه به وسیله مراقبت توسط نسل قبل در جریان رشد اولیه مان و انواع تجربیاتی که در زندگی خود با آنها برخورد کرده‌ایم برای زندگی آماده می‌شویم. بنابراین فرآیند تکامل را باید مطالعه کرد و از آن بسیاری چیزها آموخت. به عبارتی

1- Origami  
2- Haversian Syatem  
3- Haversian lamellae

مختلف را قادر می‌سازد با وجود تفاوت اصطلاحات فنی خود، مقصود یکدیگر را بفهمند [۱]. بنابراین در پژوهش حاضر سعی شد با مطالعه در حیطه دانش بیونیک و سیرنیتیک؛ در کنار علم شناخت استخوان و بافت اختصاصی تشکیل دهنده آن؛ زمینه‌های ارتباط این علوم باهم فراهم شود تا بتوان با یاد آوری منطق خلل ناپذیر حاکم بر نظام پر شکوه خلقت، گامی در راستای استفاده بهینه از سیستمها و مدل‌های زیستی در طراحیهای صنعتی برداشت و با استناد به الگوی بی بدیل استخوان و سختی و استحکام این بافت در موارد دیگری از جمله طراحی سازمان‌بندیهای مقاوم در برابر فشار در مواردی مثل ضربه گیر یا پایه‌ها یا در مواردی مثل قرار دادن این الگوها در بین وسایل سنگین به منظور جلوگیری از بروز شکستگیها و کاهش ضربات حاصل از حمل و نقل یا جابجایی بین وسایل، با هدف حداکثر کارایی با حداقل هزینه و حداقل وزن بهره برد.

## مواد و روشها

نوارهایی از مقوای ضخیم به طول ۱۰۰ و عرض ۱ سانتی متر به تعداد واحدهای سازنده سیستم هاورس ماکت برش زده شد و هر نوار به شکل لایرنیتی دور اشکال مربع، مثلث و دایره درحول خود پیچیده شد. واحدهای سازنده ماکت به این ترتیب جداگانه ساخته شد. واحدهای مورد نیاز با استفاده از چسب مایع درکنار هم قرار گرفتند. برای جلوگیری از بهم ریختگی ماکت در زمان وارد کردن فشار، دور واحدهای متصل به هم، نواری از جنس مقوای اولیه پیچیده شد. برای آزمایش استحکام ماکت با پلیمر، ماکتهای یکسانی با همان شرایط قبلی تهیه شد و حفرات موجود در ماکت با چسب آکواریوم پر شد. همچنین ماکتهایی به شیوه‌های قبل و از مقوای نازک باطول ۵۰ و عرض ۱/۵ سانتی متر نیز تهیه شد. لازم به ذکر است که در کل ماکتها، قطر بخش سطحی لایرنیت واحدهای تشکیل دهنده ماکتها در تمام اشکال و تمام واحدها یکسان و برابر ۲ سانتی متر انتخاب شد. از هر شکل

هستند که شکل می‌گیرند و بدون تیغه هستند و استخوانهای ثانویه (سیستم هاورس تیپیک) که تیغه‌های متحد‌المرکز در اطراف مجاری عروقی استخوان بالغ را شکل می‌دهند [۷]. بخش مرکزی هر سیستم هاورس را یک کانال مرکزی حاوی عروق خونی، اعصاب و بافت همبند تشکیل می‌دهد که تیغه‌های متحد‌المرکز استخوان با نظم تحسین برانگیزی در اطراف این محور مرکزی قرار گرفته اند [۲]. در مجاورت پریوست، تیغه‌های سیستم هاورس به موزات محیط استخوان قرار می‌گیرند و سیستم پریوستی<sup>۱</sup> را شکل می‌دهند. در مجاورت آندوست نیز تیغه‌هایی به موزات حفره مغزی قرار گرفته، سیستم آندوستی<sup>۲</sup> را پدید می‌آورند. به این ترتیب دیافیز اغلب از سیستم هاورس و به مقادیر کمتر از سیستمهای بین هاورسی، آندوستی و پریوستی تشکیل شده است [۸]. تیغه‌های بنیایی هاورس<sup>۳</sup> خود به دو صورت دیده می‌شوند: تیغه‌های موازی<sup>۴</sup> که به شکل فضا‌های مثلثی یا چهار ضلعی مابین سیستمهای هاورس را پر می‌کند و موازی با محور اصلی استخوان طویل هستند [۵] و تیغه‌های منحنی<sup>۵</sup> که سیستمهای هاورس ناقص فاقد مجرا و متشکل از چند تیغه استخوانی نیم دایره هستند و در اثر تغییر شکل و جابجایی سیستمهای هاورس در رشد استخوان پدید می‌آیند و تیغه‌های اطرافی داخلی و خارجی در زیر پریوست و اطراف سوراخ مرکزی استخوان و زیراندوست.

شبهت بسیاری از استخوانها به اهرمهای ساخته بشر، ستونهای نگهدارنده و داربستها می‌تواند زمینه اندیشه‌های جالبی با استفاده از مفاهیم و معیارهای مکانیکی باشد. از آنجایی که در قلمرو بیونیک مدل، پلی است میان زیست شناس و مهندس؛ و مدل خوب، پژوهشگران زمینه‌های

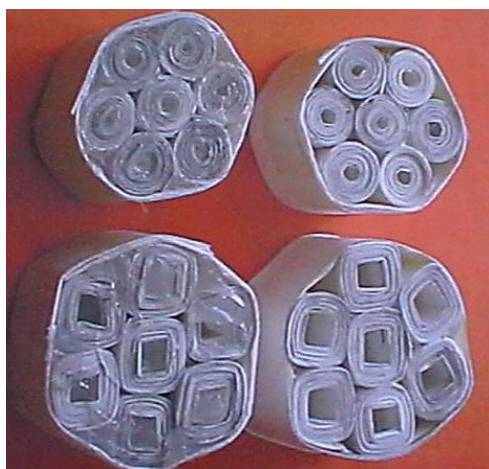
- 1- Outer basic Lamellar
- 2- Inner basic lamellar
- 3- Intermediate lamellae
- 4- Parallel lamellae
- 5- Carved lamellae

شد و توسط کامپیوتر متصل به دستگاه، نمودار فشارهای وارد شده بر ماکتها برحسب تغییر نیرو بر تغییر طول رسم شد. همچنین نمودارها سنجش قدرت مقاومت در برابر تغییر شکل و انعطاف پذیری بر اساس نیرو نیز در هر ۵ مدل به صورت جداگانه رسم شدند.

ماکت، یک واحد تکی نیز برای تعیین استحکام واحدها ساخته شد. اشکال ماکت سیستم هاورس به صورت ماکت مثلثی، دایره‌ای و مربعی به شیوه فوق تهیه شد که در شکل شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است برای القای فشار بر ماکتها از دستگاه کشش، فشار Zwic با Lotzer ۲۵ تنی استفاده



شکل ۱. مدل‌های تکی و چند تایی از سیستم هاورس در شکلهای مربع، مثلث و دایره



شکل ۲. مدل‌های چند تایی از سیستم هاورس به صورت ساده و همراه با پلیمر



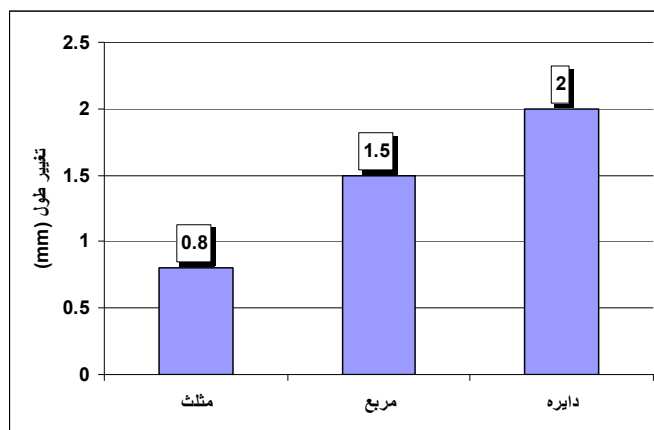
بدون پلیمر در ۳ ماکت ساخته شده در نمودار ۳ آورده شده است. همان‌گونه که در نمودار مشاهده می‌شود، در هر دو حالت ساده و دارای پلیمر به ترتیب مدل دایره، مربع و مثلث می‌توانند تغییر طول بیشتری بدون از دست دادن شکل خود داشته باشند که میزان انعطاف پذیری در هر سه مدل در حالت همراه با پلیمر افزایش می‌یابد.

مقایسه مقاومت در برابر حداکثر نیروی وارده نیز در مدل‌های چند تایی ساخته شده نشان دهنده کاهش میزان مقاومت از شکل دایره به سمت مدل مربع و مثلث در هر دو حالت دارای پلیمر و بدون پلیمر است (نمودار ۴).

## یافته‌ها

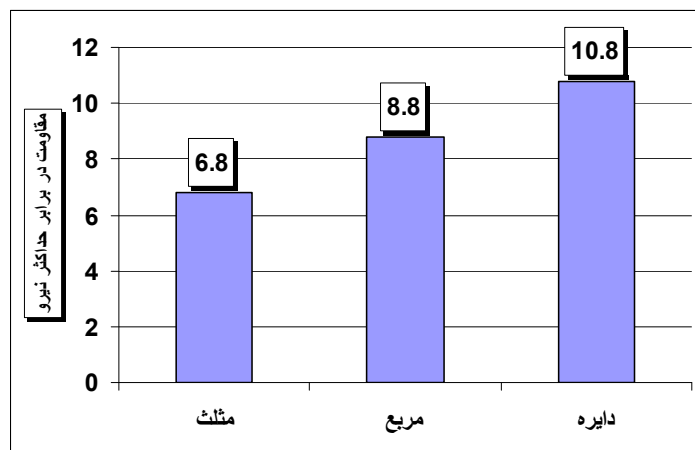
سنجش و مقایسه انعطاف پذیری و مقاومت در برابر حداکثر نیروی وارده در ۳ نوع مدل منفرد ساخته شده، نشان می‌دهد که به ترتیب دایره، مربع و مثلث می‌توانند در مقابل فشار ثابت حداکثر تغییر طول را بدون تغییر شکل داشته باشند (نمودار ۱). مقایسه مقاومت در برابر حداکثر نیروی وارده نیز در مدل‌های منفرد ساخته شده نشان دهنده کاهش میزان مقاومت از شکل دایره به سمت مدل مربع و مثلث است. (نمودار ۲).

سنجش میزان انعطاف‌پذیری و تغییر طول بدون تغییر شکل در مدل چند تایی بر حسب شکل در دو حالت همراه پلیمر و

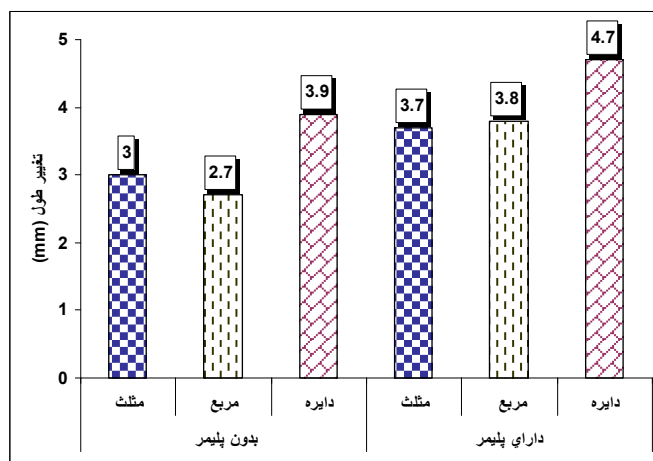


نمودار ۱. مقایسه میزان تغییر طول بر حسب میلی متر در برابر فشار بدون از دست دادن شکل در سه مدل منفرد

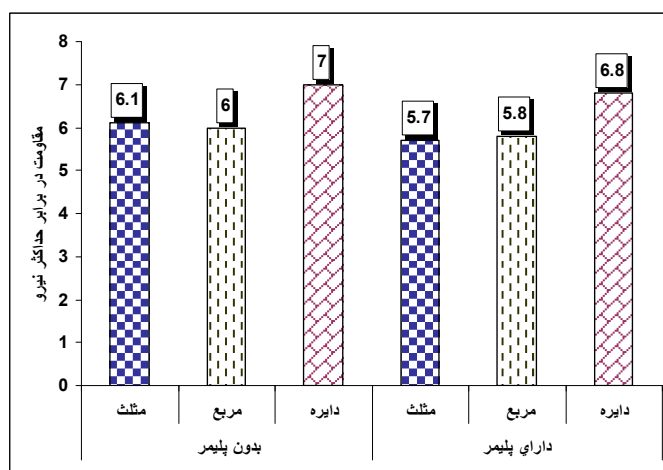




نمودار ۲. مقایسه میزان مقاومت در برابر حداکثر نیروی وارده در سه مدل منفرد



نمودار ۳. مقایسه میزان تغییر طول بر حسب میلی متر در سه مدل چندتایی در حالت همراه و بدون پلیمر



نمودار ۴. مقایسه مقاومت در برابر حداکثر نیرو و آمده در سه مدل چندتایی در حالت همراه و بدون پلیمر

## بمٹ

مقایسه قدرت انعطاف در مقابل فشار در سه مدل ساخته شده به صورت منفرد، در نمودار ۱ نشان می‌دهد شکل دایره در مقایسه با مربع و مثلث، بیشترین توانایی جابجایی و تغییر طول بدون از دست دادن ساختار خود را داراست و در مقابل مثلث واجد کمترین توانایی انعطاف‌پذیری در مقابل فشار است. بنابراین می‌توان گفت در شرایطی که حفظ ساختار در مقابل فشار و تحمل بالا بدون تغییر شکل حائز اهمیت باشد و انعطاف‌پذیری مشکل ایجاد نکند، مدل دایره در مقایسه با مربع و مثلث گزینه بسیار مناسبی محسوب می‌شود. مقاومت بالاتر دایره در مقابل حداکثر فشار در نمودار ۲ نیز مناسب

بودن الگوی دایره‌ای شکل هاورس را در شرایط تحمل فشار تایید می‌کند. نمودار ۳ نشان می‌دهد که در ماکت چند تایی نیز مشابه با مدل منفرد؛ مدل دایره انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به دو مورد دیگر نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در حضور پلیمر، میزان انعطاف‌پذیری به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که می‌تواند حاصل تاثیر پلیمر در پخش شدن نیرو در کل شکل باشد. همچنین نمودار شماره ۴ نیز نشان دهنده حداکثر قدرت مقاومت در برابر حداکثر نیرو در شکل دایره است. پس در مواردی که نیاز به تحمل نیروی بیشتری است، دایره می‌تواند بهتر از دو شکل دیگر کاربرد داشته باشد. انعطاف‌پذیری قابل توجه مدل دایره در مقابل فشار بدون

طبق تئوری Terajectional، طرح تراپکولاراستخوان منطبق بر مسیر فشارهای وارده بر آن مطرح می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر نیز به صراحت نشان می‌دهند که الگوی دایره در سازمان بندی سیستم هاورس مقاوم‌ترین و مناسب‌ترین الگویی است که هنرمندی تحسین برانگیز خلقت یکتا هنرمند آفرینش در گذر نیروهای پیش برنده فرگشت به موازات بیشمار شاهکارهای خلقت به نظم کشیده است و اینجاست که انسان می‌تواند با اندیشیدن و الگوگیری از نظام خلقت مسیر خود را به سمت توسعه پایدار بیابد و جهل بر علم بی نظیر خلقت را با نور مطلق جایگزین سازد.

در پایان باید یادآوری نمود که افزایش علاقه متخصصین مکانیک به حرکت انسان و سایر موجودات زنده سبب توسعه تحقیقات روی بافت استخوان شده و پژوهشهای متعددی در باره پارامترهای فیزیکی استخوان انجام شده است. به نحوی که شباهت بسیاری از استخوانها به اهرمهای ساخته انسان، ستونهای نگهدارنده، قوسها، و داربستها ما را وادار می‌دارد با استفاده از مفاهیم و معیارهای مکانیکی به بررسی نحوه عمل آنها پردازیم. امروز می‌توانیم آینده‌ای را تجسم نمود که در آن بیونیک نقش مهمی خواهد یافت و با افقهای تازه‌ای که پیوسته نمودار می‌شوند می‌توان به تماشای درخشش بیونیک و هنر اورینگامی در آینده‌ای نه چندان دور نشست.

در این بین موارد زیر می‌تواند در پژوهشهای بعدی مد نظر علاقمندان قرار گیرد: تکرار آزمایش با مدل سازی دقیق از سیستم هاورس و افزایش تعداد و جهت لایه‌ها در استخوان، تغییر میزان فضای خالی بین تیغه‌های استخوانی در مدل و اندازه گیری میزان مقاومت مدل و مقایسه آنها، مقایسه مدل‌های دایره با بیضی‌هایی با کانونهای مختلف، مقایسه مدل‌ها مختلف دایره با جنسهای مختلف نظیر کاغذ و مقوا و صفحات چوب یا پلاستیک و فلز و مقایسه پاسخ به فشار.

تغییر شکل؛ در قیاس با دو مدل مربع و مثلث می‌تواند مرتبط با فقدان زوایای نوک تیز در این مدل باشد. چرا که در هنگام اعمال نیرو، جوانه زنی ترک اغلب از نقاط نوک تیز و گوشه‌ها آغاز می‌شود. همچنین با استناد به یافته‌های حاصل از این پژوهش، شکل دایره در حالت چند تایی نیز می‌تواند حداکثر نیرو را بدون تغییر ساختار تحمل کند به‌علاوه در افزایش تعداد واحدها تغییر قابل توجه مشاهده نمی‌شود.

در خصوص انعطاف و تحمل بالاتر مدل مربع در قیاس با مثلث می‌توان سطح بزرگتر مربع را در افزایش قابلیت تحمل نیرو موثر دانست.

در کل با استناد به نتایج این پژوهش می‌توان گفت انعطاف‌پذیری مدل کاملاً به شکل ساختار بستگی دارد به نحوی که ساختارهای مثلثی با داشتن گوشه‌های نوک تیز و حداقل سطح، کمترین انعطاف‌پذیری را دارند، و در مقابل شکل دایره حداکثر انعطاف‌پذیری را در هر دو حالت منفرد و چند تایی نشان می‌دهند. از طرفی به نظر می‌رسد حداکثر نیرویی که توسط ساختارها تحمل می‌شود بطور مستقیم با سطح مقطع آنها همبستگی دارد. به طوری که ساختارهای دایره‌ای با کمترین گوشه نوک تیز و بیشترین سطح مقطع، حداکثر تحمل نیروی وارده را نشان می‌دهند، به نحوی که در مدل‌های چند تایی این خصوصیات افزایش می‌یابد. از طرفی افزودن پلیمر به‌عنوان فاز نرم و قابل انعطاف، با پرنمودن فضاهای خالی و افزایش سطح مقطع می‌تواند قدرت تحمل نیرو و عدم تغییر شکل در مقابل فشار را افزایش دهد که با افزایش انعطاف‌پذیری در اکثر موارد خواهد انجامید.

لازم به یادآوری است که گاليله (۱۶۳۸) اهمیت احتمالی وجود بافت اسفنجی میان استخوانها را تشخیص داد و ادعا نمود که در میان دو استوانه هم وزن آنکه توخالی است، نسبت به آنکه توپر است، استحکام بیشتری دارد. امروزه نیز

## References

می‌گیرد)، ترجمه بهزاد م. قوامی پ. نشر سروش، ۱۳۶۰.

۱. ژراردین ل: بیونیک (تکنولوژی از جانداران الهام

۲. **میرونف ا.** بیونیک عنصر زندگی، ترجمه کاوه ح، انتشارات گوتنبرگ، ۱۳۶۵.
۳. **پکلیس و.** الفبای سیبرنتیک، ترجمه آزاد منش ا، نشر سپیده انقلاب، ۱۳۷۳.
۴. **هسکت ج.** طراحی صنعتی. ترجمه رضایی نصیر غ. ۱۳۸۰
۵. **پوستی ا.** بافت شناسی مقایسه‌ای و هیستوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۸.
۶. **کوئیرا ژ.** بافت شناسی پایه، ترجمه صادقی ع، عسگری م، جواهری پ، انتشارات دانش پژوه ۱۳۸۲.
۷. **ویلیامز پ.** راجز استخوان شناسی، آناتومی گری، ترجمه سمیعی ف، انتشارات چهر، ۱۳۶۱.
۸. **آروند م، گنجی ف.** بافت‌شناسی عملی، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد، ۱۳۷۹.