

۲۰۲۲۹۱۷

# بیومکانیک ستون مهره‌ها

نویسنده: ارجمند  
حامد اسدی



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی  
دانشگاه صنعتی شریف

۳۴۴

### بیومکانیک ستون مهره‌ها

تألیف دکتر نوید ارجمند (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف)، مهندس حامد اسدی  
مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چاپ اول: ۱۳۹۸

شمارگان: ۲۰۰

بها: ۱۲۰۰۰ تومان

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-216-2

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۲۱۶-۲

تلفن: ۰۲۱-۶۴۰۷۰۰۰، ۰۲۱-۶۶۱۶-۱۳۱۲۹

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب - خیابان شهید منیرى جاوید (اردیبهشت) - ساختمان بهمن - پلاک ۸۷ - تهران - واحد ۴۰۲

تلفن: ۰۲۱-۵۱۳۳-۶۶۹۶۷۸۹۶

فروش اینترنتی: [book.sharif.ir](http://book.sharif.ir)

پست الکترونیکی: [publishing@sharif.ir](mailto:publishing@sharif.ir)

|                                                                                     |                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| موضوع: کمر درد                                                                      | سرشناسه: ارجمند، نوید، ۱۳۵۵                                                |
| موضوع: Backache                                                                     | عنوان و نام پدیدآور: بیومکانیک ستون مهره‌ها / تألیف نوید ارجمند، حامد اسدی |
| موضوع: بیومکانیک                                                                    | مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۷           |
| موضوع: Biomechanics                                                                 | مشخصات ظاهری: ۱۲۸ ص. مصور، جدول                                            |
| شناسه افزوده: اسدی، حامد، ۱۳۶۹                                                      | شابک: 978-964-208-216-2                                                    |
| شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی                               | وضعیت فهرست‌نویسی: فیا                                                     |
| شناسه افزوده: Sharif University of Technology, Institute of Scientific Publications | یادداشت: واژه‌نامه                                                         |
| رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۷ ۴پ۹ الف/ QP۳۳۰                                                 | یادداشت: نمایه                                                             |
| رده‌بندی دیویی: ۶۱۲/۷۶                                                              | موضوع: ستون فقرات - خواص مکانیکی                                           |
| شماره کتابشناسی ملی: ۵۴۸۷۸۱۲                                                        | موضوع: Spine - Mechanical properties                                       |

## بسم الله الرحمن الرحيم

### فهرست مطالب

| هفت | پیشگفتار                                                                     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------|
| ۱   | فصل ۱. مقدمه                                                                 |
| ۲   | ۱-۱ شیوع بیماری کم درد                                                       |
| ۳   | ۲-۱ عوامل ایجاد کمردرد                                                       |
| ۴   | ۳-۱ نقش مهندس بیومکانیک در کاهش خطر آسیب کمر                                 |
| ۵   | فصل ۲. تحلیل بیومکانیکی ستون مهره ها                                         |
| ۷   | ۱-۲ حد تحمل بخش های مختلف ستون مهره ها                                       |
| ۹   | ۲-۲ اندازه گیری مستقیم بارهای مکانیکی وارد بر ستون مهره ها                   |
| ۱۱  | ۳-۲ اندازه گیری غیرمستقیم بارهای مکانیکی وارد بر ستون مهره ها                |
| ۱۴  | ۴-۲ اندازه گیری بارهای وارد بر ستون مهره ها با استفاده از مدل های آزمایشگاهی |
| ۱۵  | فصل ۳. آناتومی ستون مهره ها                                                  |
| ۱۵  | ۱-۳ درجات آزادی ستون مهره ها                                                 |
| ۱۶  | ۲-۳ معرفی بخش های مختلف ستون مهره ها                                         |
| ۱۸  | ۳-۳ آناتومی مهره ها                                                          |
| ۲۱  | ۴-۳ آناتومی دیسک                                                             |
| ۲۳  | ۵-۳ آناتومی رباط های ستون مهره ها                                            |
| ۲۳  | ۶-۳ خواص مکانیکی دیسک                                                        |
| ۲۶  | ۷-۳ عضلات ستون مهره ها                                                       |

|    |                                                                 |
|----|-----------------------------------------------------------------|
| ۳۳ | فصل ۴. آناتومی و حرکت ستون مهره‌ها                              |
| ۳۳ | ۴-۱ نقش عضلات در بدن                                            |
| ۴۰ | ۴-۲ نیروی فعال و غیرفعال عضلات                                  |
| ۴۲ | ۴-۲ اندازه‌گیری مشخصات هندسی عضلات                              |
| ۴۳ | ۴-۴ مفاهیم پایه‌ای بیومکانیک ستون مهره‌ها                       |
| ۴۵ | ۴-۵ اندازه‌گیری پارامترهای حرکتی                                |
| ۴۶ | ۴-۶ ویژگی‌های استخوانی ستون مهره‌ها                             |
| ۴۷ | ۴-۷ تن‌سنجی                                                     |
| ۴۹ | فصل ۵. مدل‌های بیومکانیکی ستون مهره‌ها                          |
| ۴۹ | ۵-۱ اندازه‌گیری نیروهای وارده بر ستون مهره‌ها در یک فعالیت مشخص |
| ۵۲ | ۵-۲ روش‌های پیش‌بینی فشارهای درون ستون مهره‌ها                  |
| ۵۳ | ۵-۳ گشتاور خمشی بافت‌های غیرفعال ( $M_p$ )                      |
| ۵۵ | ۵-۴ نقش عضلات آگونیست و آنتاگونیست                              |
| ۵۸ | ۵-۵ نقص مکانیکی عضلات                                           |
| ۵۹ | ۵-۶ حل مسئله افزونگی نیروها                                     |
| ۶۲ | ۵-۷ مدل‌های بیومکانیکی بر پایه بهینه‌سازی                       |
| ۷۱ | ۵-۸ مدل‌های بیومکانیکی بر پایه الکترومایوگرافی (EMG)            |
| ۷۸ | ۵-۹ سازوکارهای کمکی                                             |
| ۸۲ | ۵-۱۰ کمبودهای عمده مدل‌های بیومکانیکی دارای یک مفصل تعادلی      |
| ۸۲ | ۵-۱۱ مقایسه مدل‌های بر پایه EMG و بهینه‌سازی                    |
| ۸۳ | ۵-۱۲ اعتبارسنجی مدل‌های بیومکانیکی                              |
| ۸۵ | فصل ۶. پایداری ستون مهره‌ها                                     |
| ۸۵ | ۶-۱ مفهوم پایداری ستون مهره‌ها                                  |
| ۸۷ | ۶-۲ تعیین بار بحرانی ستون مهره‌ها در برابر ناپایداری مکانیکی    |
| ۸۷ | ۶-۳ تحلیل پایداری ستون مهره‌ها با استفاده از روش اجزای محدود    |
| ۸۹ | ۶-۴ مطالعه تجربی پایداری ستون مهره‌ها                           |

|     |                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------|
| ۹۱  | فصل ۷. راهنمای باربرداری نایاش                                 |
| ۹۱  | ۷-۱ معیارهای منظور شده در رابطه نایاش                          |
| ۹۳  | ۷-۲ معادله اصلاح شده نایاش در سال ۱۹۹۱                         |
| ۱۰۰ | ۷-۳ محدودیت‌های راهنمای باربرداری نایاش                        |
| ۱۰۱ | فصل ۸. ابزار و نرم‌افزارهای محاسبه بارهای وارد بر ستون مهره‌ها |
| ۱۰۱ | ۸-۱ رابطه محاسبه دستی بار فشاری روی ستون مهره‌ها               |
| ۱۰۲ | ۸-۲ چند جمله‌ای ساد                                            |
| ۱۰۳ | ۸-۳ نرم‌افزار 3DSPP دانشگاه میشیگان                            |
| ۱۰۳ | ۸-۴ نرم‌افزار Many Body                                        |
| ۱۰۵ | ۸-۵ معادلات رگرسیون                                            |
| ۱۰۵ | ۸-۶ مدل بیومکانیکی اتصال . قطعه                                |
| ۱۰۹ | مراجع                                                          |
| ۱۱۵ | واژه‌نامه فارسی - انگلیسی                                      |
| ۱۱۹ | فهرست راهنما                                                   |

## پیشگفتار مؤلفان

ستون مهره‌های انسان به‌طور دائم در معرض بارهای مکانیکی قرار دارد که مقدار آنها بسته به نوع فعالیت فنی، ریاضی، فیزیکی تغییر می‌کند. ستون مهره‌ها سازه‌ای مکانیکی است که از بافت‌های سخت (استخوان‌ها) و بافت‌های نرم (عضلات، رباط‌ها، دیسک‌ها و...) تشکیل شده و در اثر این بارها در معرض خطر آسیب مکانیکی مختلف قرار می‌گیرد. بنابراین مانند سایر سازه‌های مکانیکی که نیاز به تحلیل نیرو و تنش برای طمعان از عدم تسلیم و شکست دارند، ستون مهره‌های انسان نیز نیاز به تحلیل نیرو دارد تا اطمینان حاصل شود که در فعالیت‌های روزمره فیزیکی، شغلی، ورزشی و تفریحی دچار آسیب مکانیکی نمی‌شود.

هدف اصلی از نگارش این کتاب بیان روش‌های مختلف آزمایشگاهی و تحلیلی - عددی برای تحلیل نیروی وارد بر ستون مهره‌ها در حین فعالیت‌های حیرت‌انگیز انسان است. پس از بیان روش‌های مستقیم و غیرمستقیم آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری انواع بارهای مکانیکی وارد بر ستون مهره‌ها در حین فعالیت‌های فیزیکی و اثبات کاربردی نبودن این روش‌ها، دلیل آسیب‌زایی و نیز هزینه‌های بالای آزمایشگاهی، تلاش شده است روش‌های شبیه‌سازی و مدل‌سازی برای تحلیل نیروهای ستون مهره‌ها ارائه شود. دلیل تمرکز کتاب بر ستون مهره‌ها به دو دلیل است؛ شیب استخوانی اسکلتی - عضلانی در ستون مهره‌ها بسیار بیشتر از سایر مفاصل مانند مچ پا و دست، زانو، شانه و آرنج است. دیگر اینکه همه مفاصل بدن تک‌مفصل هستند و در نتیجه هندسه نسبتاً ساده‌ای دارند، در حالی که ستون مهره‌های انسان مفاصل متعدد به‌هم پیوسته با هندسه و آناتومی بسیار پیچیده دارد، طوری که فهم بیومکانیک آن باعث تسهیل در فهم سایر مفاصل بدن نیز می‌شود.

تاکنون کتابی در زمینه تحلیل نیروهای ستون مهره‌های انسان تألیف نشده و بیشتر مطالب این کتاب برگرفته از مقالات نویسنده اول و فعالیت‌های پژوهشی وی در طول پانزده سال گذشته است. نویسندگان کوشیده‌اند مطالب را به زبان ساده ارائه کنند تا هر دانشجوی یا مهندس آشنا با دروس پایه استاتیک و مقاومت مصالح بتواند مطالب کتاب را به‌سادگی دنبال کند. امید است این کتاب در جهت ارتقای دانش پژوهشگران و متخصصان این حوزه مفید واقع شود.