

به نام خداوند بخشنده مهربان

# بیومکانیک عضلات اسکلتی

ولادیمیر ام. زاتسیورسکی  
بوریس ای. پریلوتسکی

مترجمان:

دکتر حیدر صادقی  
استاد دانشگاه خوارزمی

یاسمین علی پور عطاءبادی  
دانشجوی دکتری بیومکانیک ورزشی

ویراستار علمی متن فارسی:  
دکتر حیدر صادقی

---

نشر علم و حرکت

---

|                     |                                                                                                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | زاتسیورسکی، ولادیمیر ام. ۱۹۳۲ - Zatsiorsky, Vladimir M.                                                             |
| عنوان و نام پدیدآور | بیومکانیک عضلات اسکلتی / ولادیمیر ام. زاتسیورسکی، بوریس آی. پریلوتسکی؛ مترجمان حیدر صادقی، یاسمین علی پور عطاآبادی. |
| مشخصات نشر          | تهران: علم و حرکت، ۱۳۹۳.                                                                                            |
| مشخصات ظاهری        | ۲۷۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.                                                                                         |
| شابک                | ISBN 978-600-5543-66-7                                                                                              |
| وضعیت فهرست‌رزی     | فیا.                                                                                                                |
| یادداشت             | عنوان اصلی: Biomechanics of skeletal Muscles, c2012                                                                 |
| یادداشت             | واژه‌نامه، کتابنامه.                                                                                                |
| یادداشت             | کتابنامه.                                                                                                           |
| موضوع               | بیومکانیک -- فیزیولوژی                                                                                              |
| شناسه افزوده        | پریلوتسکی، بوریس ای. ۱۹۵۷ - Prilutsky, Boris I.                                                                     |
| شناسه افزوده        | صادقی، حیدر ۱۳۲۸ - مترجم                                                                                            |
| شناسه افزوده        | علیپور عطاآبادی، یاسمین، ۱۳۶۴ - مترجم                                                                               |
| رده‌بندی کنگره      | ۱۳۹۳ ۹۲/۷۴۰۲۵ QP۳۰۳/ز                                                                                               |
| رده‌بندی دیوئی      | ۶۱۲/۷۴۰۲۵                                                                                                           |
| شماره کتابشناسی ملی | ۲۵۱۱۰۰۵                                                                                                             |

این اثر مشمول قانون حمایت از مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است. هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، جروفه‌چینی و چاپ مجدد، چاپ افست، فتوکپی و انواع دیگر جاب و تکثیر، نشر یا پخش و یا عرضه کند، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.



تهران - سه راه طالقانی، خیابان خواجه نصیر طوسی، خیابان مقدم، پلاک ۷۹ واحد ۳ • تلفن ۷۷۵۲۵۶۸۴ • فاکس ۷۷۶۳۳۷۰۹ • نشانی پست الکترونیکی: elm.vaharekat@gmail.com

## بیومکانیک عضلات اسکلتی

ولادیمیر ام. زاتسیورسکی، بوریس آی. پریلوتسکی

مترجمان: دکتر حیدر صادقی، یاسمین علی پور عطاآبادی

حروف‌نگار و صفحه‌آرا: رنیا شاهوردی

طراح جلد: واگنریک شاهوردی

نشر علم و حرکت

چاپ اول، ۱۳۹۳ - تعداد ۵۰۰ نسخه

«همه حقوق برای ناشر محفوظ است»

قیمت ۲۰۰۰۰ تومان

شابک ۶۶-۷-۶۶۰۰-۵۵۴۳-۹۷۸ ISBN: 978-600-5543-66-7

## پیشگفتار

درک و تحلیل حرکت به عنوان جزء لاینفک وجود انسان مهمترین هدف دانش پژوهان در حوزه علوم حرکتی است. از این رو بخش وسیعی از مطالعات و تحقیقات در چند دهه اخیر بر شناسایی عوامل دخیل در حرکت و تعامل بین آنها تمرکز یافته است. عضله به عنوان اصلی ترین مختصه در تولید نیرو و ایجاد حرکت در این بین جایگاهی ویژه داشته است، از این رو، در خصوص ابعاد مختلف عملکرد عضلات به طور کلی و بیومکانیک عضله اسکلتی به نحوی خاص، اطلاعات مختلفی در میان مقاله ها و منابع گوناگون جمع آوری شده است. با این حال مطالب کمتر به صورت سازماندهی ارائه شده است.

با توجه به مطالعات انجام شده بر روی عضله، عملکردهای زیادی گزارش شده است. عضله های اسکلتی، به عنوان موتورهای بیولوژیکی، نیرو اعمال کرده و کار مکانیکی تولید می کنند، وقتی به همراه تاندون ها، مورد بررسی قرار می گیرند، به عنوان انتقال دهنده های نیرو و جذب کننده های شوک عمل می کنند. عضله، همچنین، در تولید گرما و تنظیم حرارت بدن ایفای نقش می کنند، گیرنده های عضلانی در حس جنبش عضلانی، حس حالت مکانیکی و پاسخ بدن، نقش دارند. در این کتاب بر عملکرد بیومکانیکی عضلات از سارکومر تا حرکت انسان تمرکز شده است و مکانیسم مولکولی تولید نیروی عضلانی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در این کتاب از رفتار مکانیکی یک عضله منفرد و معماری عضله در بدن انسان با استفاده از تکنیک های آزمایشگاهی جدید اطلاعاتی فراهم شده است. در بخشی دیگر از کتاب، خصوصیات مکانیکی تاندون ها و عضله های پسو و فعال و نقش آنها به عنوان انتقال نیرو و جذب شوک سخن به میان آمده است. بخش دیگری از کتاب به رفتار عضله در بافت زنده اشاره شده است. در مورد انتقال از نیرو عضله به گشتاور مفصل، عملکرد عضله های دو مفصلی در حرکات انسان، عمل اکستریک عضله و جنبه های بیومکانیکی هماهنگی عضله، خصوصاً مسیرهای جایگزین عضله و بهینه سازی اشاره شده است. امید است مطالب ارائه شده در این کتاب مورد استفاده علاقه مندان و دانش پژوهان و پژوهشگران علوم حرکتی قرار گیرد.

ویراستار علمی متن فارسی  
حیدر صادقی

## فهرست مطالب

پیشگفتار ۳

مقدمه نویسندگان ۱۳

بخش ۱ معماری و مکانیک عضله ۱۷

■ فصل ۱ معماری عضله ۱۹

۱-۱ فاسیکول‌های عضله و ساختار آنها ۲۳

۱-۱-۱ عضله‌های موازی و دوکی ۲۴

۱-۱-۲ عضله‌های پری ۲۵

۱-۱-۲-۱ مدل دو بُعدی (سطحی) عضله‌های پری ۲۶

۱-۱-۲-۲ زاویه پری در حالت سه بُعدی ۳۰

۱-۱-۳ عضله‌های همگرا و مدور ۳۳

۱-۲ خمیدگی فاسیکول عضله: فریم‌های فرنٹ ۳۴

۱-۳ معماری تار عضله در فاسیکول‌ها ۳۷

۱-۴ عضله به عنوان یک کامپوزیت تار تقویت شده ۴۱

۱-۵ طول تار عضله، فاسیکول و عضله: نسبت‌های طول-طول ۴۴

۱-۵-۱ طول تار و فاسیکول ۴۴

۱-۵-۲ نسبت‌های طول-طول ۴۵

۱-۶ مسیر عضله: مرکز جرم عضله ۴۸

۱-۶-۱ ارائه مستقیم الخط مسیر عضله ۴۸

۱-۶-۲ مدل مرکز جرم مسیر عضله ۴۹

۱-۶-۳ عضله‌های خمیده و عضله‌های پیچیده شده ۵۱

۱-۶-۴ عضله‌های پیچ خورده ۵۵

۱-۶-۵ عضله‌های متصل به بیش از دو استخوان ۵۷

۱-۷ سطح مقطع عرضی فیزیولوژیکی و آناتومیکی ۵۷

۱-۸ سطح اتصال عضله ۶۴

۱-۹ خلاصه ۶۸

۱-۱۰ پرسش‌ها ۷۱

۱-۱۱ فهرست منابع ۷۲

## ■ فصل ۲ خواص تاندون‌ها و عضلات پسو ۷۷

۲-۱ بیومکانیک تاندون‌ها و آپونوروس ۷۹

۲-۱-۱ رفتار ارتجاعی ۸۰

۲-۱-۱-۱ نسبت‌های استرس-استرین ۸۱

۲-۱-۱-۱-۱ نسبت‌های استرس-استرین در بخش ابتدایی ۸۳

۲-۱-۱-۱-۲ نسبت استرس-استرین در ناحیه خطی ۸۵

۲-۱-۱-۲ نیروهای تاندون ۸۷

۲-۱-۱-۳ کشش و درازشدگی در تاندون‌ها و آپونوروس ۸۸

۲-۱-۱-۴ معادله‌های ساختاری برای تاندون‌ها و لیگامنت‌ها ۹۱

۲-۱-۲ رفتار ویسکوالاستیک تاندون‌ها ۹۲

۲-۱-۲-۱ مفاهیم پایه ویسکوالاستیک ۹۲

۲-۱-۲-۲ خواص ویسکوالاستیک تاندون‌ها ۹۵

۲-۱-۲-۲-۱ مدل‌های محاسباتی تاندون‌ها ۹۶

۲-۱-۲-۲-۲ عوامل مؤثر بر خصوصیات مکانیکی تاندون‌ها ۹۷

۲-۱-۳ تعامل‌های تاندون با بافت‌های احاطه‌کننده آن ۹۸

۲-۱-۳-۱ نیروی برشی تاندون و انتقال جانی نیرو ۹۸

۲-۱-۳-۲ ماتریس‌های اتصال بین انگشت ۱۰۰

۲-۱-۳-۳ مقاومت سرخوردن بین تاندون‌ها و بافت‌های اطراف آنها ۱۰۲

۲-۱-۳-۴ تاندون پیچیده شده ۱۰۴

۲-۱-۳-۵ زه‌کمانی ۱۰۷

۲-۱-۳-۶ خواص تاندون و عملکرد عضله ۱۰۸

۲-۱-۳-۷ شاخص‌های معماری عضلانی-وتری ۱۱۰

۲-۲ خواص مکانیکی عضله‌های پسو ۱۱۱

۲-۲-۱ تون عضلانی: اکوپیونوتری ۱۱۲

۲-۲-۲ خواص مکانیکی عضله‌های آرام ۱۱۴

۲-۲-۲-۱ خواص ارتجاعی ۱۱۴

۲-۲-۲-۲ خواص ویسکوالاستیک عضله‌های پسو: مقاومت مکانیکی پسو در مفاصل ۱۱۷

۲-۳ انعطاف‌پذیری مفاصل ۱۲۰

۲-۴ خلاصه ۱۲۲

۲-۵ پرسش‌ها ۱۲۷

۲-۶ فهرست منابع ۱۲۸

### ■ فصل ۳ مکانیک عضله فعال ۱۳۳

۳-۱ تولید و انتقال نیروی عضله ۱۳۳

۳-۱-۱ روش‌های تجربی ۱۳۳

۳-۱-۲ انتقال از حالت استراحت به فعالیت ۱۳۴

۳-۱-۲-۱ حالت فعال عضله ۱۳۶

۳-۱-۲-۲ ایجاد نیرو در انسان: نرخ توسعه نیرو ۱۳۸

۳-۱-۳ انتقال از فعالیت به حالت استراحت: آرام شدن عضله ۱۴۱

۳-۱-۴ ثبات حجم عضله ۱۴۳

۳-۱-۵ انتقال نیرو و تغییر شکل داخلی (استرین) ۱۴۵

۳-۱-۵-۱ انتقال نیرو در تارهای عضله ۱۴۶

۳-۱-۵-۲ انتقال نیرو در عضله‌ها: جمع نیروهای تار عضله ۱۴۸

۳-۱-۵-۲-۱ عضله‌های موازی و دوکی ۱۴۸

۳-۱-۵-۲-۱-۱ عدم یکپارچگی در کوتاه شدن تارهای عضله ۱۴۸

۳-۱-۵-۲-۱-۲ حاصل جمع غیرخطی نیروهای تار ۱۵۱

۳-۱-۵-۲-۲ عضله‌های پری ۱۵۲

۳-۱-۵-۲-۲-۱ انتقال نیرو ۱۵۲

۳-۱-۵-۲-۲-۲ انتقال سرعت: نسبت چرخ دنده‌های میماری ۱۵۳

۳-۱-۶ استرس و فشار درون عضلانی ۱۵۶

۳-۱-۶-۱ نیروی خاص عضله ۱۵۶

۳-۱-۶-۲ تنش تانسور ۱۵۸

۳-۱-۶-۳ فشار مایع درون عضلانی ۱۶۰

۳-۱-۶-۳-۱ فشار هیدرواستاتیک و فشار اسمزی ۱۶۰

۳-۱-۶-۳-۲ عوامل مؤثر بر فشار درون عضلانی: به کارگیری قانون لاپلاس ۱۶۲

۳-۱-۶-۳-۳ تابع بیولوژیکی فشار درون عضلانی: سندروم کمپارتمان ۱۶۴

۳-۲ روابط عملکردی ۱۶۵

۳-۲-۱ روابط نیرو-طول ۱۶۶

۳-۲-۱-۱ منحنی‌های نیرو-طول ۱۶۶

۳-۲-۱-۲ عملکرد منحنی نیرو-طول فعال ۱۶۹

۳-۲-۱-۳ مشکل پایداری عضله ۱۷۲

۳-۲-۱-۴ منحنی نیرو-طول زیر بیشینه ۱۷۳

- ۳-۲-۱-۵ طول‌های عضله در بدن: شرح قسمت‌های منحنی نیرو-طول ۱۷۵
- ۳-۲-۲ روابط نیرو-سرعت ۱۷۸
- ۳-۲-۱ قطعه‌ای از تاریخ: نظریه چسبندگی عضله و تولید گرما ۱۷۸
- ۳-۲-۲ منحنی نیرو-سرعت هیل ۱۸۲
- ۳-۲-۳ انواع دیگر منحنی‌های نیرو-سرعت ۱۸۵
- ۳-۲-۳-۱ روابط نیرو-سرعت در یک حرکت ۱۸۵
- ۳-۲-۳-۲ روابط غیر پارامتری نیرو-سرعت ۱۸۷
- ۳-۲-۲-۴ توصیف ریاضیاتی منحنی نیرو-سرعت: معادلات مشخصه هیل ۱۸۸
- ۳-۲-۲-۵ روابط توان-سرعت ۱۹۱
- ۳-۲-۳ روابط نیرو-طول-سرعت ۱۹۲
- ۳-۳ اثرات سابقه در مکانیک عضله ۱۹۲
- ۳-۳-۱ افت نیرو بعد از کوتاه شدن عضله ۱۹۳
- ۳-۳-۲ اثرات آزاد سازی عضله: روش‌های آزاد سازی سریع و آزاد سازی کنترل شده مؤلفه‌های متوالی عضله ۱۹۴
- ۳-۴ خلاصه ۱۹۸
- ۳-۵ پرسش‌ها ۲۰۲
- ۳-۶ فهرست منابع ۲۰۴

## ■ فصل ۴ عضله‌ها به عنوان جذب کننده‌های نیرو و انرژی، مدل‌های عضله ۲۱۱

- ۴-۱ رفتار مکانیکی عضله حین کشش ۲۱۳
- ۴-۱-۱ تقویت نیروی پویا ۲۱۴
- ۴-۱-۱-۱ رابطه نیرو-سرعت برای عضله طول شده ۲۱۵
- ۴-۱-۱-۲ اثرات واگذاری ۲۱۶
- ۴-۱-۲ تقویت نیروی باقی مانده ۲۱۶
- ۴-۲ کوتاه شدن عضله بعد از کشش ۲۱۸
- ۴-۲-۱ کار و توان حین کوتاه شدن بعد از کشش ۲۱۸
- ۴-۲-۲ مصرف انرژی حین کشش و بازده کوتاه شدن عضله بعد از کشش ۲۲۰
- ۴-۳ اتلاف انرژی ۲۲۲
- ۴-۴ مدل‌های مکانیکی عضله ۲۲۳
- ۴-۴-۱ مدل هیل ۲۲۴
- ۴-۴-۲ مدل مقیاس گذاری ۲۲۶
- ۴-۵ خلاصه ۲۲۸
- ۴-۶ پرسش‌ها ۲۳۰

## بخش ۲ عضله‌ها در بدن ۲۳۵

### ■ فصل ۵ از نیروهای عضله تا گشتاورهای مفصل ۲۳۷

- ۵-۱ انتقال نیرو: از عضله به استخوان ۲۳۸
  - ۵-۱-۱ از عضله به تاندون ۲۳۸
  - ۵-۱-۲ از تاندون به استخوان ۲۴۱
  - ۵-۱-۳ قابلیت ارتجاعی تاندون و رابطه نیرو-طول ایزومتریک ۲۴۳
- ۵-۲ انتقال نیرو از طریق بافت نرم اسکلتی (فاسیا) ۲۴۷
  - ۵-۲-۱ ساختار فاسیا ۲۴۷
  - ۵-۲-۲ اتصال‌های عضلانی-وتری-فاسیا ۲۴۸
  - ۵-۲-۳ فاسیا به عنوان بافت نرم اسکلتی (اسکلت خارجی) ۲۵۰
    - ۵-۲-۳-۱ پلنتارفاسیا و مکانیسم چرخ جبه ۲۵۰
    - ۵-۲-۳-۲ پهن نیام و نوار ایلیوتیبیال ۲۵۲
- ۵-۳ بازوهای گشتاور عضله ۲۵۳
  - ۵-۳-۱ بردارهای بازوی گشتاور عضله و مؤلفه‌های آن ۲۵۳
    - ۵-۳-۱-۱ بازوهای گشتاور به صورت برداری ۲۵۳
    - ۵-۳-۱-۲ بازوهای گشتاور عضله در نزدیکی محورهای چرخش ۲۵۶
    - ۵-۳-۱-۳ بازوهای گشتاور عضله حول محورهای آناتومیک: عملکرد عضله در مفصل ۲۵۸
    - ۵-۳-۱-۴ بازوهای گشتاور عضله‌ها با مسیرهای منحنی: بازو گشتاور چهارسر رانی ۲۶۴
    - ۵-۳-۱-۵ بازوهای گشتاور عضله‌های چند مفصلی: عمل متناقض ۲۶۶
  - ۵-۳-۲ روش‌هایی برای تعیین بازوهای گشتاور عضله ۲۶۸
    - ۵-۳-۲-۱ روش‌های هندسی ۲۶۸
      - ۵-۳-۲-۱-۱ روش‌های آناتومیک ۲۶۹
      - ۵-۳-۲-۱-۱-۱ مدل‌های هندسی دوبعدی ۲۶۹
      - ۵-۳-۲-۱-۱-۲ مدل‌های هندسی سه بعدی ۲۷۲
      - ۵-۳-۲-۱-۲ روش‌های تصویربرداری هندسی ۲۷۳
      - ۵-۳-۲-۲ روش‌های عملکردی ۲۷۵
      - ۵-۳-۲-۲-۱ روش اکسکورژن (روش کینماتیک) ۲۷۶
      - ۵-۳-۲-۲-۲ روش اعمال بار (روش ایستا) ۲۸۱
    - ۵-۳-۲-۳ عوامل تأثیرگذار بر بازوی گشتاور عضله ۲۸۲
      - ۵-۳-۲-۳-۱ بازوی گشتاور به عنوان تابعی از زوایای مفصل ۲۸۲
      - ۵-۳-۲-۳-۲ بازوی گشتاور به عنوان تابعی از نیروی تولیدی عضله ۲۸۶



۳-۳-۵- مقیاس گذاری بازوهای گشتاور ۲۸۸

۳-۳-۵- تبدیل نیروهای عضله به گشتاورهای مفصل: ژاکوبین عضله ۲۹۱

۵-۴ خلاصه ۲۹۳

۵-۵ پرسش‌ها ۲۹۶

۵-۶ فهرست منابع ۲۹۸

## ■ فصل ۶ عضله‌های دو مفصلی در حرکت انسان ۳۰۳

۶-۱ عضله‌های دو مفصلی: یک حالت خاص از عضله‌های چند عملکردی ۳۰۳

۶-۱-۱ مشخصه‌های عملکردی عضله‌های دو مفصلی ۳۰۳

۶-۱-۲ مشخصه‌های آناتومیک و ریخت شناسی عضله‌های دو مفصلی ۳۰۶

۶-۲ وظایف عملکردی عضله‌های دو مفصلی ۳۰۸

۶-۲-۱ تجزیه و تحلیل کینتیکی عضله‌های دو مفصلی: تناقض لومبارد ۳۰۹

۶-۲-۲ تجزیه و تحلیل کینماتیکی عضله‌های دو مفصلی: راه حل تناقض لومبارد ۳۱۳

۶-۳ انتقال و ذخیره انرژی مکانیکی توسط عضله‌های دو مفصلی ۳۱۹

۶-۳-۱ عمل تاندون در عضله‌های دو مفصلی ۳۱۹

۶-۳-۱-۱ مثال‌های گویا عمل تاندون عضله‌های دو مفصلی ۳۲۰

۶-۳-۱-۲ روش‌های تخمین انتقال انرژی ۳۲۶

۶-۳-۱-۲-۱ انرژی تولید شده توسط گشتاور مفصل و عضله‌ها در یک مفصل ۳۲۶

۶-۳-۱-۲-۲ کار انجام شده توسط یک عضله دو مفصلی در مفصل مجاور ۳۲۹

۶-۳-۱-۳ عمل تاندون و اجرای پرس ۳۳۱

۶-۳-۲ ذخیره انرژی مکانیکی توسط عضله‌های دو مفصلی ۳۳۲

۶-۴ خلاصه ۳۳۵

۶-۵ پرسش‌ها ۳۳۹

۶-۶ فهرست منابع ۳۴۱

## ■ فصل ۷ عمل اکستریک عضله در حرکت انسان ۳۴۵

۷-۱ توان و کار مفصل به عنوان مقیاسی از عمل اکستریک عضله ۳۴۶

۷-۱-۱ کار و توان منفی در یک مفصل ۳۴۶

۷-۱-۲ کل توان و کار منفی در چندین مفصل ۳۴۸

۷-۱-۳ توان منفی حرکت مرکز جرم ۳۴۸

۷-۱-۴ دو روش در مصرف انرژی مکانیکی: فرود آمدن ملایم ۳۴۸

۷-۲ کار منفی در چندین فعالیت منتخب ۳۴۹

۷-۲-۱ راه رفتن ۳۵۰

۷-۲-۲ پایین آمدن و بالا رفتن از پله ۳۵۲

- ۷-۲-۳ دوییدن در سطوح هموار، سربالایی و سرازیری ۳۵۴
- ۷-۲-۴ فرود آمدن ۳۵۶
- ۷-۳ گشتاورهای مفصل طی اعمال اکستریک ۳۵۸
- ۷-۳-۱ حداکثر گشتاورهای مفصل طی اعمال اکستریک ۳۵۸
- ۷-۳-۲ تغییرات نیرو و جین و بعد از کشش ۳۶۰
- ۷-۳-۲-۱ تقویت نیروی پویا ۳۶۱
- ۷-۳-۲-۲ سختی کوتاه مدت ۳۶۲
- ۷-۳-۲-۳ فروپاشی تقویت نیروی پویا ۳۶۵
- ۷-۳-۳ تقویت نیروی باقی مانده در انسان ها ۳۶۶
- ۷-۴ فعالیت عضله طی اعمال اکستریک ۳۶۸
- ۷-۴-۱ فعالیت الکترومایوگرافی سطحی طی اعمال اکستریک ۳۶۸
- ۷-۴-۲ فعالیت واحد حرکتی طی اعمال اکستریک ۳۶۹
- ۷-۴-۳ تأخیر الکترومکانیکی ۳۷۰
- ۷-۵ هزینه فیزیولوژیکی عمل اکستریک ۳۷۱
- ۷-۵-۱ مصرف اکسیژن طی تمرین اکستریک و کانستریک ۳۷۱
- ۷-۵-۲ خستگی و درک اعمال طی عمل اکستریک ۳۷۳
- ۷-۵-۳ درد عضلانی بعد از تمرین اکستریک ۳۷۴
- ۷-۶ عمل بازگشت پذیر عضله: چرخه کشش - کوتاه شدن ۳۷۵
- ۷-۶-۱ تقویت تولید کار و توان مثبت ۳۷۷
- ۷-۶-۲ عملکردهای تقویت عملکرد در چرخه کشش - کوتاه شدن ۳۷۹
- ۷-۶-۳ بازده کار مثبت در چرخه کشش - کوتاه شدن ۳۸۴
- ۷-۷ خلاصه ۳۸۸
- ۷-۸ پرسش ها ۳۹۲
- ۷-۹ فهرست منابع ۳۹۳

## ■ فصل ۸ هماهنگی عضلانی در حرکات انسان ۳۹۹

- ۸-۱ مسیرهای جایگزین کینماتیک و مشخصات نامتغیر کینماتیکی حرکتهای بدن ۴۰۰
- ۸-۱-۱ خط سیر مستقیم الخط نقطه نهایی عضو ۴۰۴
- ۸-۱-۲ نمودار ناقوس مانند سرعت ۴۰۶
- ۸-۱-۳ قانون توان ۴۰۸
- ۸-۱-۴ قانون فیتز ۴۱۲
- ۸-۱-۵ اصل حداقل عمل ۴۱۴
- ۸-۲ مشخصه های نامتغیر کینماتیکی حرکتهای عضو بدن ۴۱۵

- ۸-۲-۱ کوواریانس گشتاور مفصل آرنج - شانه طی حرکت دسترسی دست ۴۱۶
- ۸-۲-۲ حداقل تغییر گشتاور مفصل ۴۱۶
- ۸-۲-۳ جهت و شکل بیضی‌های سختی ظاهری دست ۴۱۸
- ۸-۳ مسیرهای جایگزین عضله ۴۲۲
- ۸-۳-۱ منابع مسیرهای جایگزین عضله ۴۲۲
- ۸-۳-۲ ویژگی‌های نامتغیر الگوهای فعالیت عضله ۴۲۴
- ۸-۴ مسئله توزیع ۴۲۷
- ۸-۴-۱ بهینه‌سازی ایستا ۴۲۷
- ۸-۴-۱-۱ فرمول سازی برای مسئله ۴۲۷
- ۸-۴-۱-۲ توابع هزینه ۴۲۸
- ۸-۴-۱-۳ دقت روش‌های بهینه‌سازی ایستا: این روش‌ها چگونه کار می‌کنند؟ ۴۳۰
- ۸-۴-۲ بهینه‌سازی پویا ۴۳۳
- ۸-۴-۲-۱ مفاهیم پایه ۴۳۳
- ۸-۴-۲-۲ مسئله دینامیک مستقیم ۴۳۴
- ۸-۴-۳ بهینه‌سازی معکوس ۴۳۸
- ۸-۴-۴ روش‌های بهینه‌سازی در بیومکانیک و کنترل حرکت انسان ۴۴۱
- ۸-۵ خلاصه ۴۴۲
- ۸-۶ بررسی‌ها ۴۴۷
- ۸-۷ فهرست منابع ۴۴۸
- واژه نامه ۴۵۵
- درباره نویسندگان ۴۷۳