

# بیومکانیک حرکت

علم ورزش، رباتیک و توانبخشی



نویسندگان:

توماس کی. اوچیدا و اسکات ال. دلپ

تصویرگر:

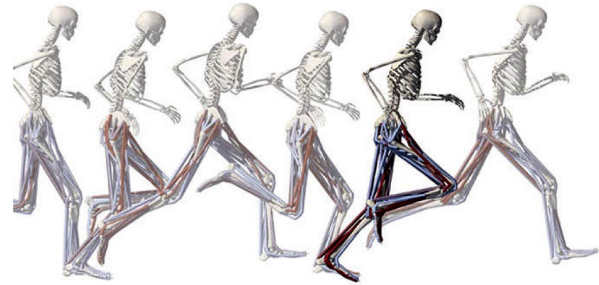
دیوید دلپ

ترجمه:

دکتر سیدمحمدرضا سیدنورانی  
استادیار گروه مهندسی مکاترونیک دانشگاه تبریز

# Biomechanics OF Movement

THE SCIENCE OF SPORTS, ROBOTICS, AND REHABILITATION



Thomas K. Uchida AND Scott L. Delp  
ILLUSTRATIONS BY David Delp

Translated by:

Mohammad-Reza Sayyed Noorani

Assistant Professor, Department of Mechatronics Engineering, University of Tabriz

ISBN : 978-622-7711-41-7



9 786227 714117

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

---

به نام خداوند جان و خرد ♦ کزین برتر اندیشه برنگذرد

---





# بیومکانیک حرکت

علم ورزش، رباتیک و توانبخشی

نویسندگان:

توماس کی. اوچیدا و اسکات ال. دلپ

تصویرگر: دیوید دلپ

ترجمه‌ی:

دکتر سیدمحمد رضا سیدنورانی

استادیار گروه مهندسی مکاترونیک دانشگاه تبریز

انتشارات دانشگاه تبریز

تبریز ۱۴۰۲

سرشناسه	: اوچیدا، تامس کی.؛ Uehida, Thomas K.
عنوان و نام پدیدآور	: بیومکانیک حرکت: علم ورزش، رباتیک و توانبخشی / نویسندگان توماس کی. اوچیدا، اسکات ال. دلپ؛ تصویرگر دیوید دلپ؛ ترجمه‌ی سید محمدرضا سید نورانی؛ ویراستار ادبی محمدعلی موسی‌زاده.
مشخصات نشر	: تبریز: دانشگاه تبریز، انتشارات، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	: ۳۳۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تبریز؛ ۸۳۳.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۷۷۱۱-۴۱-۷
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت (عنوان اصلی)	: Biomechanics of Movement: The Science of Sports, Robotics, and Rehabilitation, [2020]
عنوان دیگر	: علم ورزش، رباتیک و توانبخشی.
موضوع	: حرکت‌شناسی بدن انسان Human Mechanics بیومکانیک Biomechanics
شناسه افزوده	: Delp, Scott؛ دلپ اسکات؛
شناسه افزوده	: Delp, David؛ دلپ دیوید؛
شناسه افزوده	: سید نورانی، سید محمدرضا، ۱۳۶۳-، مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه تبریز، انتشارات
رده بندی کنگره	: QP303
رده بندی دیویی	: ۶۱۲/۱۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۲۵۵۰۵۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا



#### بیومکانیک حرکت: علم ورزش، رباتیک و توانبخشی

تالیف	: توماس کی. اوچیدا، اسکات ال. دلپ،
ترجمه	: دکتر سید محمدرضا سید نورانی
ویراستار ادبی	: دکتر محمدعلی موسی‌زاده
ناشر و فروست	: انتشارات دانشگاه تبریز؛ ۸۳۳
تاریخ و نوبت چاپ	: ۱۴۰۲-اول
شمارگان	: ۵۰۰ نسخه
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۷۷۱۱-۴۱-۷
قیمت	: ۲۰۰۰۰۰ ریال
سایت	: <a href="http://pprs.tabrizu.ac.ir">http://pprs.tabrizu.ac.ir</a>
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: گنج حضور
یادداشت	: این کتاب با کاغذ حمایتی منتشر شده است

این اثر مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۸۴ است. هر شخص حقیقی یا حقوقی که تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، منتشر، پخش، عرضه، تکثیر یا تجدید چاپ نماید مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

نشانی: تبریز- بلوار ۲۹ بهمن- دانشگاه تبریز- تلفن: ۰۴۱۳۳۳۹۲۶۵۵ و ۰۴۱۳۴۴۹۵۰۰۱

نمابر: ۰۴۱۳۳۲۹۴۱۱۹ آدرس پست الکترونیکی: [Publication@tabrizu.ac.ir](mailto:Publication@tabrizu.ac.ir)

## فهرست مطالب

۱	پیشگفتار	
۷	نخستین قدم‌ها	فصل (۱)
۲۷	توصیف حرکت	بخش اول
۲۹	رامرفتن	فصل (۲)
۵۹	دویدن	فصل (۳)
۸۳	تولید حرکت	بخش دوم
۸۵	زیست‌شناسی و نیروی ماهیچه	فصل (۴)
۱۰۷	معماری و دینامیک ماهیچه	فصل (۵)
۱۳۱	هندسه‌ی اسکلتی-عضلانی	فصل (۶)
۱۵۳	تحلیل حرکت	بخش سوم
۱۵۵	کمی‌سازی حرکت	فصل (۷)
۱۸۱	دینامیک معکوس	فصل (۸)
۲۰۱	بهینه‌سازی نیروی عضلانی	فصل (۹)
۲۲۷	حرکت ماهیچه-راننده	بخش چهارم
۲۲۹	شبیه‌سازی ماهیچه-راننده	فصل (۱۰)
۲۲۹	رامرفتن ماهیچه-راننده	فصل (۱۱)
۲۷۹	دویدن ماهیچه-راننده	فصل (۱۲)
۳۰۱	حرکت به پیش	فصل (۱۳)
۳۱۷	مراجع	

## مقدمه‌ی مترجم

کتاب حاضر ترجمه‌ی اثری ارزشمند از استاد بنام حوزه‌ی بیومکانیک، از زیرمجموعه‌های رشته‌ی مهندسی پزشکی، جناب پروفیسور اسکات دلپ و همکاران اوست که در سال ۲۰۲۱ توسط انتشارات دانشگاه ام.آی.تی در کشور ایالات متحده آمریکا به چاپ رسیده است. به جرأت می‌توان گفت این استاد برجسته‌ی دانشگاه استنفورد، مهندسی همه‌فن‌حریف در بیومکانیک محسوب می‌شود که با نگاهی بلند به آینده در این حوزه تلاش کرده است و پیشگامانه مباحث و الزامات ابزاری آن را عنوان و فراهم نموده است. در همین راستا باید به ظهور شبیه‌سازهای رایانه‌ای اشاره نمود که در دو دهه‌ی گذشته در بسیاری از حوزه‌های علمی تسری پیدا کردند و بی‌شک، در بیومکانیک باید از اسکات دلپ و همکاران او به‌خاطر ارائه‌ی آزاد و رایگان نرم‌افزار بسیار مفید اپن‌سیم قدردانی نمود. دلپ متوجه این نیاز شد و نه به‌عنوان مدیر یک شرکت تجاری، بلکه در کسوت یک استاد هوشمند هنرمند، با پیش‌بینی چالش‌های پیش‌روی حوزه‌ی بیومکانیک، اقدام به مجموعه پژوهش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی‌های دینامیکی و هوش محاسباتی نمود که دستاوردهای حاصل از آن تلاش‌ها را نیز در قالب آثاری فاخر از جمله مقالات، نرم‌افزار اپن‌سیم، وبگاه سیم‌تی‌کی، واسط‌های برنامه‌نویسی کاربردی اپن‌سیم، و اکنون کتاب حاضر انتشار داده است. این همه «اثرگذاری مثبت» از یک انسان قابل ستایش است. انگیزش و اثرگذاری مثبت بر زندگی مردم از کلیدواژه‌هایی است که دلپ در هر فرصتی در طول این کتاب از آن به‌عنوان هدفی در زندگی خود یاد نموده و به دیگران توصیه کرده است. دلپ این کتاب را نه به شیوه‌ی رسمی مرسوم بلکه با روایت‌گری تجربیات زندگی شخصی و حرفه‌ای خود به رشته‌ی تحریر درآورده است و از این رو با خواندن آن می‌توان کاملاً با روحیه‌ی انسان دوستی او آشنا شد. به علاوه ذکر این تجربیات در آغاز و خلال هر فصل به‌ویژه به دانشجویان نشان می‌دهد که دانش عمیق مهندسی که او می‌آموزد چگونه قابل بهره‌برداری عملی است. در این کتاب که خود یک شاهکار است، در دیباچه‌ی هر فصل از شاهکارهای علمی و ادبی جهان به فراخور مطلب پیش‌رو بهره گرفته شده است. نکته‌ی قابل تأملی است که در پیشگفتار ارزشمندی که دلپ بر کتاب خود نوشته است و توصیه می‌کنم که خوانندگان محترم آن را مطالعه کنند، او از مضمون ایباتی از دفتر ششم کتاب مثنوی معنوی مولوی استمداد جسته است. اولاً چه زیباست که استاد فرزانه‌ای چون او با دانشمند عارفی چون مولانا از ایران‌زمین آشنا است، و ثانیاً این ایبات انتخاب نیکو و به‌جایی بوده که چالش‌های عظیمی را که در بطن این دانش بین‌رشته‌ای که از سویی با انسان و از سوی دیگر با ابزار درگیر می‌شود نهفته است، به‌خوبی پیش‌گویی می‌کند و بی‌شک خود او نیز آشنا به آن‌ها بوده است.

هرچه گفته شود باز هم نمی‌توان آن‌طور که شایسته‌ی بازنمایی شخصیت نویسنده‌ی این کتاب است حق مطلب را در مورد او و اثرش به‌جا آورد اما همین‌قدر نیز می‌تواند انگیزه‌ای را که در من ایجاد کرد تا دقیقاً ۲ سال از کار تحقیقاتی‌ام را معطوف ترجمه، تنظیم و صفحه‌بندی این اثر، به‌شکل حاضر نمایم روشن کند. این کتاب حداقل ۱۰ سال از زندگی علمی مرا نیز به تصویر می‌کشید. اولین بار در رساله‌ی دکتری خودم در موضوع راه‌رفتن ربات‌های دوبا با مباحث بیومکانیک حرکت آشنا شده بودم و بعد در کارهای پژوهشی که ضمن پایان‌نامه‌های دانشجویانم تعریف می‌شد ربات‌های اسکلت‌خارجی توان‌افزا را شبیه‌سازی و کنترل کردیم و به‌این‌قسم آزمایشگاه و گروه پژوهشی «رباتیک توانبخشی» را در دانشگاه تبریز راه‌اندازی کردم.

قریب ۵ سال نیز در دانشگاه تبریز به تدریس «مدلسازی و تحلیل حرکات بدن» برای دانشجویان بیومکانیک مشغول بودم. در سال‌های اخیر که بر شبیه‌سازی‌های ماهیچه-رانیده و مدل‌های تعاملی بین انسان و ربات‌های اسکلت‌خارجی به کمک واسط برنامه‌نویسی کاربردی اُپن‌سیم با متلب و کنترل مبتنی بر یادگیری ماشینی آن‌ها تمرکز کرده بودم، به‌طور اتفاقی به این کتاب ارزشمند برخورددم و در آن هر آنچه کوشیده بودیم را مجتمع یافتیم. از این رو ترجمه این کتاب به‌منظور معرفی آن به همه‌ی علم و انسان دوستان را در اولویت قرار دادم و شروع به کاری عظیم نمودم!

همان‌طور که خود جناب اسکات دلپ در پیشگفتار ذکر کرده است، این فن علاوه بر مباحث فیزیولوژی و آناتومیکی با علوم مختلف مهندسی و نیز علم ورزش آمیخته است. اگرچه اصول مهندسی مکانیک در قلب تحلیل‌های بیومکانیک حرکت جای می‌گیرد، ولی به لحاظ عملی نیاز به طراحی حسگرها و داده‌برداری، بینایی ماشین و پردازش‌های تصویری، علم داده‌ها و هوش مصنوعی، شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و برنامه‌نویسی و خیلی فنون مهندسی دیگر برای اجرای یک پروژه‌ی بیومکانیکی لازم و ضروری هستند. حتی علم مواد و سازه‌ها نیز در برخی از مسائل اهمیت پیدا می‌کند، برای نمونه به فصل ۳ این کتاب می‌توان رجوع نمود. این گستردگی دانشی موردنیاز از شاخه‌های مختلف علوم و فنون مهندسی، در کنار موضوع اصلی که مورد مطالعه قرار می‌گیرد، یعنی انسان، سبب شده است که مهندسی پزشکی و به‌خصوص بیومکانیک و با نگاهی خاص‌تر «بیومکانیک حرکت» برای خیلی از دانشمندان و دانشجویان مشغول در حوزه‌های تخصصی متفاوت مورد توجه قرار گیرد. لذا این کتاب می‌تواند گزینه‌ی خوبی برای همه‌ی آن‌هایی باشد که مایل‌اند به‌شکلی ساده اما عمیق، و نیز دوستانه و عمل‌گرایانه وارد این بحث شوند.

من در ترجمه و تنظیم این اثر دوست‌داشتنی اسکات دلپ و همکارش توماس اوچیدا که با تصویرگری هنرمندانه‌ی برادرش دیوید دلپ به اوج خود رسیده است نهایت دقت و وسواس علمی و ادبی را به خرج دادم. با این حال من مترجم نبودم و از این رو مطمئناً ترجمه‌ی حاضر بی‌نقص نیست. ولی از تمام اندک دانش و تجربه‌ی خودم که در حوزه‌های مختلفی که این کتاب به آن‌ها ورود می‌کرد دستی برده بود استفاده کردم تا به‌خصوص دانشجویان عزیز در بهره‌مندی از این کتاب فاخر بیشترین نصیب را داشته باشند. شکل‌های کتاب اصلی اگرچه هنرمندانه طراحی یا بازنمایی شده بودند اما کیفیت وضوح آن‌ها در نسخه‌ی الکترونیکی که در اختیار من بود چندان دلچسب نبود. لذا تا آن‌جا که می‌شد وضوح شکل‌ها به‌طور نرم‌افزاری بهبود داده شد. در این‌جا شایسته است از دانشجوی خوبم خانم مهندس شقایق حسن‌زاده که در حال حاضر دانشجوی دکتری در رشته مهندسی پزشکی - بیومکانیک هستند بابت کمکی که در ترمیم شکل‌ها و نیز بازنویسی معادلات کتاب داشتند تشکر کنم. در آخر نیز این ترجمه را با کسب اجازه از پدیدآورندگان اصلی آن که حقیقتاً در پی نشر آزاد علم و اثرگذاری مثبت در جهت ارتقای کیفیت زندگی عموم مردم هستند، تقدیم به خانواده‌ی بزرگم که بی‌تردید جناب اسکات دلپ هم در آن است می‌کنم و با سپاس از خداوند بزرگ، برای همه‌ی آن‌ها سلامتی و بهروزی آرزو می‌نمایم.