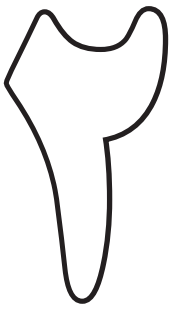


فصل ۲

اصول مکانیکی مربوط به اسکلت

مقدمه

هدف از این فصل از کتاب حاضر آشنا نمودن دانشجویان اعضای مصنوعی، ارگونومی، کاردرمانی، تربیت بدنی و متخصصین ارتوپدی و فیزیوتراپی با مبانی نوین تجزیه و تحلیل اصول بیومکانیک در سیستم‌های اسکلتی عضلانی است تا دانشجویان و متخصصین را برای درک بهتری از مدل بیومکانیک سیستم اسکلتی عضلانی انسان آماده نماید.

این مدل آموزشی از سه بخش تشکیل شده از:

۱ – آنالیز بیومکانیکال

۲ – بیومکانیک اندام تحتانی

۳ – بیومکانیک اندام فوقانی

بخش اول، مقدمه‌ای را برای تکنیک‌های استفاده شده در آنالیز مسائل بیومکانیکی را فراهم می‌کند، **بخش دوم**، بیومکانیک اندام تحتانی که شامل شامل بیومکانیک راه رفتن (Gait) است را معرفی می‌کند و **بخش سوم**، شامل بیومکانیک اندام فوقانی و تنه است که آنالیز نیروهای وارده به ستون فقرات در طی فعالیت‌های روز مره از جمله بلند کردن شیء را در بر می‌گیرد.

ساختار مدل

۱ – آنالیز بیومکانیکال: آنتروپرمتری، نیروهای مفصل، گشتاورهای پیرامون مفصل و مکانیک عضلات

۲ – بیومکانیک اندام تحتانی: مفاصل لگن (Hip)، زانو (Knee) مچ و پا (Ankle and foot) و بیومکانیک Reciprocal gait

۳ – بیومکانیک اندام فوقانی: مفاصل نشانه، آرنج، مچ و دست و بیومکانیک بلند کردن شیء

آنالیز بیومکانیکال

۱– مدل‌های Link Segment

۱–۱ دینامیک- دینامیک معکوس

۲–۱ نیروهای عمل‌کننده بر قطعات بدن

۳ –۱ استاتیک – دینامیک / دینامیک – شبه استاتیک

۲– آنتروپومتری

۲–۱ طول قطعه (Segement)

۲–۲ جرم قطعه و مرکز جرم

۲–۳ ممان اینرسی و شعاع چرخشی

۲–٤ آنتروپومتری عضله

۳– نیروها در مفاصل

۳–۱ نیروی بین سگمانی

۳–۲ نیروی مفصل

۳–۳ نیروی استخوان روی استخوان

۳–٤ اصطلاحات و تعاریف

٤– گشتاورهای پیرامون مفاصل

٥– مکانیک عضله

٥–۱ نیرو – طول

٥–۲ نیرو – سرعت

٥–۳ صفحهٔ مقطع عرضی فیزیولوژیکی و معماری عضله

٥–٤ الکترومایوگرافی

٥–٥ توزیع عضلات مساله

٥–٥–۱ روش Reduction

٥–٥–۲ روش Optimisation

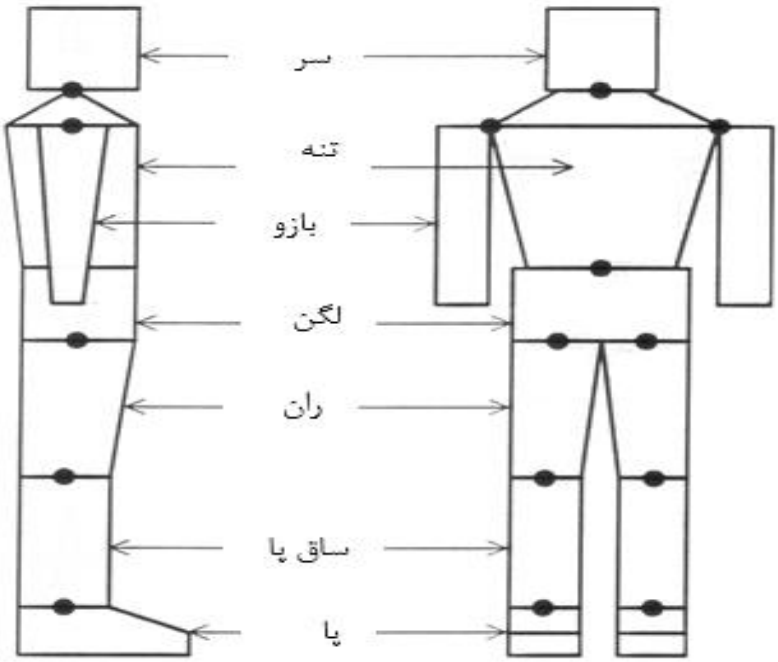
در این بخش "مدل مکانیک اسکلتی"، شما به برخی از تکنیک‌های استفاده شده برای آنالیز بیومکانیکی سیستم اسکلتال توجه خواهید کرد. مخصوصاً، شما متوجه خواهید شد که چگونه بیومکانیک برای تخمین نیروها و گشتاورهایی که در مفصل عمل می‌کنند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای انجام این، یک مدل بیومکانیکی از بدن انسان باید در نظر گرفته شود. مدل باید بر اساس یک درک از فرم و عملکرد (آناتومی سیستم اسکلتی عضلانی و آنتروپومتری) و (عملکرد عضلات و لیگامان‌ها) باشد.

چون تمام متغیرها نمی‌توانند اندازه‌گیری شوند، پس مدل باید در نهایت به تعدادی از مفروضات تکیه کند.

۱– مدل‌های Link-Segment

بدن انسان شامل بخش‌هایی است که به سادگی تعریف می‌شوند و نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. برای مثال، سر می‌تواند نسبت به توراکس (سینه) حرکت کند. در بیومکانیک، بخش‌های مختلف بدن، body segment یا ساده‌تر Segments نامیده می‌شوند. تعریف صحیح از سگمنت‌ها بر طبق مسئله‌ای که مطالعه می‌شود، متفاوت است. برای مثال، اگر شما علاقمند به مطالعهٔ بیومکانیک راه رفتن باشید، ممکن است مدلی شبیه به تصویر ۱ را ترسیم نمایید. در این مدل شما احتمالاً تمام بازو را به عنوان یک body segment در نظر خواهید گرفت، هر چند، اگر شما علاقمند به مطالعه حرکت انگشتان در طی تایپ کردن هستید، تمام بازو را به عنوان یک segment در نظر خواهید گرفت، اما در هر صورت شما باید هر استخوان بند انگشت را هم به عنوان یک بخش مجاز نیز در نظر داشته باشید.

در عوض، شما باید هر استخوان بند انگشت را به عنوان یک بخش مجزا در نظر بگیرید.

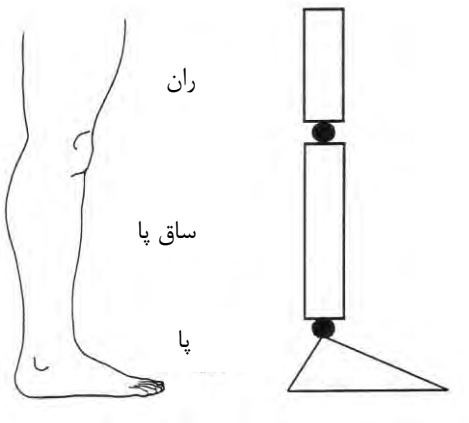


تصویر ۱: مدل Link Segment شامل یازده بخش: سر، تنه، بازوها، لگن، ران‌ها، ساق‌های پا و پاها

هر سگمنت بدن، نسبت‌های مکانیکی مربوط به خود را دارند؛ یعنی هر کدام طول وجرم مربوط به خود را دارند. این نسبت‌های مکانیکی اغلب به نسبت‌های مشابه تمام بدن وابسته هستند. برای مثال، طول ران به قد فرد بستگی دارد.

نسبت‌های مکانیکی بدن به‌صورت مفصل در بخش بعدی در مبحث آنتروپومتری توضیح داده شده‌اند. سگمنت‌های بدن معمولاً با هم گروه‌بندی می‌شوند که مدل Link Segment نامیده می‌شود.

در تصویر ۲ یک مدل از تمام بدن را نشان می‌دهد که در آن سگمنت‌های خاص به یک‌دیگر متصل شده‌اند. معمولاً اتصالات با مفاصل آناتومیکی منطبق هستند.



تصویر ۲: مدل Link Segment اندام تحتانی شامل سه بخش (ران، ساق پا و پا) و دو مفصل (زانو و مچ پا)

همهٔ مدل‌های بیومکانیکی باید بر اساس تعدادی از فرضیات باشند. دو فرضیه کاربردی که معمولاً در نظر گرفته می‌شوند، شامل:

۱- سگمنت‌های بدن، rigid یا به صورت جسم صلب هستند.

۲- مفاصل بدون اصطکاک هستند.

در ادامه فرضیه اول (صلب بودن قطعات بدن) می‌توان نتیجه گرفت که در حین انجام حرکات:

۱- پوزیشن یا مکان هندسی مرکز جرم نسبت به سگمنت، فیکس شده و ثابت باقی می‌ماند.

۲- ممان اینرسی هر سگمنت ثابت می‌ماند.

۳- طول هر سگمنت ثابت می‌ماند.

فرضیه‌های دیگر هم ممکن است برای حل یک مسئله پیچیده و یا وقتی که معادله‌ای برای همهٔ اندازه‌های مورد نیاز، موجود نیست، لازم شود؛ برای مثال، ممکن است فرض شود که یک حرکت بطور کامل در یک صفحه انجام می‌شود؛ راه رفتن اغلب در این زمینه بحث می‌شود. اما باید توجه داشته که فرضیه‌های بالا همیشه پذیرفته نمی‌شوند.

۱-۱ دینامیک معکوس

وقتی همه نیروهایی که روی سگمنت بدن یا هر شیء دیگر عمل می‌کنند، شناخته شده باشند، ممکن است با ستفاده از روش کنتیک (Kinetics)، حرکت حاصله را پیش‌بینی کنند. تکنیکی که برای رسیدن به این هدف استفاده می‌شود، دینامیک مستقیم نامیده می‌شود. (تصویر ۳A) برای مثال اگر یک نیرو به کتابی که روی میز است اعمال شود، کتاب شتاب می‌گیرد و دارای سرعت می‌شود. در این مورد، بزرگی نیروی اعمال شده، ضریب اصطکاک بین کتاب و میز و جرم کتاب مشخص هستند پس حرکت کتاب می‌تواند با استفاده از دینامیک مستقیم، پیش‌بینی شود.

در بیومکانیک، همهٔ نیروهایی که روی یک سگمنت بدن عمل می‌کنند به ندرت شناخته شده هستند. در عوض، معمول‌تر است حرکتی که از این نیروها ناشی می‌شود، شناخته شده باشد. بااستفاده از این دانش حرکت، شتاب سگمنت بدن محاسبه می‌شود. با استفاده از شتاب و جرم سگمنت، بزرگی نیروی حاصل محاسبه می‌شود. این روند دینامیک معکوس نامیده می‌شود. (تصویر ۳B) دینامیک معکوس: تکنیکی است که اغلب در آنالیز بیومکانیکی سیستم اسکلتی عضلانی بسیار بکار می‌رود.

A) دینامیک مستقیم:

نیروها--> نیروی برآیند--> شتاب-->حرکت

B) دینامیک معکوس:

حرکت --> شتاب--> نیروی برآیند

تصویر۳: (A) دینامیک مستقیم (B) دینامیک معکوس

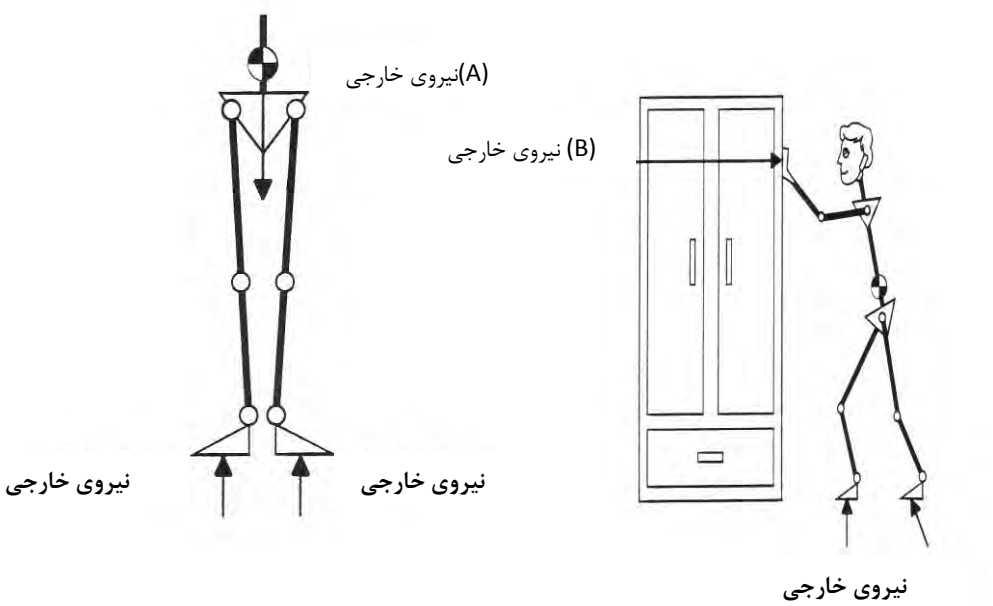
۲-۱- نیروهای عمل‌کننده بر سگمنت‌های بدن

نیروهایی که روی یک سگمنت بدن در یک مدل Link segment عمل می‌کنند، می‌توانند به‌صورت زیر طبقه‌بندی شوند:

- نیروهای خارجی (External)
- نیروهای داخلی (Internal)
- نیروهای اینرسی

نیروهای خارجی: نیروهایی هستند که از جاذبه ناشی می‌شوند و بطور مستقیم به یک سگمنت بدن وارد می‌شوند. باید توجه داشت که نیروهای خارجی، ناشی از فعالیت مشترک با محیط هستند.

برای مثال، در طی ایستادن ۲ نیروی خارجی مستقیماً به بدن اعمال می‌شود، یکی روی هر پا و دیگری بعلت نیروی جاذبه زمین است. (تصویر ۴A) به همین صورت، اعمال فشار در مقابل یک شیء، نیروی خارجی ایجاد می‌کند که روی دست اعمال می‌شود (۴B).



تصویر ٤: نیروهای خارجی در حین هل دادن و نیروهای خارجی در حین ایستادن

بیشتر نیروهای خارجی که مستقیماً به بدن وارد می‌شوند، می‌توانند توسط ترنس دیوسرهای نیرو اندازه‌گیری شوند. (ترنسدیوسرهای نیرو، وسایلی هستند که می‌توانند نیروها را اندازه‌گیری کنند). البته نیروهایی که در اثر جاذبه هستند، می‌توانند محاسبه شوند. در حقیقت، نیروهای خارجی باید اندازه‌گیری شوند تا نیروها در مفاصل محاسبه شوند. نیروی ناشی از جاذبه، مساوی با وزن سگمنت‌ها است که برابر حاصلضرب جرم سگمنت و شتاب ناشی از جاذبه می‌باشد.

در یک مدل Link segment، نیروهای خارجی همچنین روی هر سگمنت بدن عمل می‌کنند. این نیروها به‌علت فعالیت مشترک یک سگمنت بدن با اشیاء در خارج از مدل Link segment، نزدیکی و وزن

سگمنت‌های بدن است. برای مثال در تصویر۵، نیروهای خارجی که بر سه سگمنت بدن عمل می‌کنند را نشان می‌دهد که بیومکانیک اندام فوقانی را تشکیل می‌دهد.

نیروهای داخلی، نیروهایی در درون بدن می‌باشند که توسط انقباض عضلات ایجاد می‌شوند. همچنین نیروهایی که توسط لیگامان‌ها منتقل می‌شوند. نیروهایی که به‌علت اصطکاک در مفصل ایجاد می‌شوند هم مثال‌هایی از نیروهای داخلی هستند، هر چند، این نیروها معمولاً بسیار کوچک هستند که نادیده گرفته می‌شوند و مفاصل در بیشتر مدل‌های Link Segment بدون اصطکاک در نظر گرفته می‌شوند.

تصویر۵: نیروهای خارجی در سگمنت‌های مختلف بدن از بیومکانیک اندام فوقانی

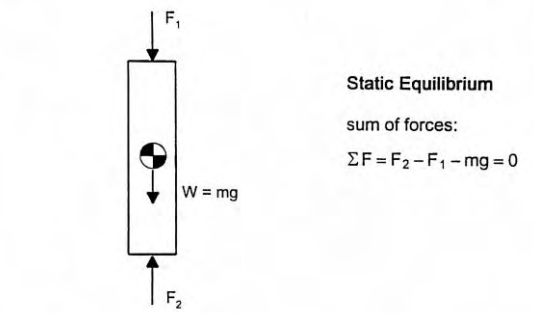
نیروهای اینرسی: نیروهایی هستند که در اثر اینرسی سگمنت بدن زمانی که شتاب می‌گیرد، عمل می‌کنند.

نیروی اینرسی مساوی با حاصلضرب جرم سگمنت در شتاب آن است و در بسیاری از شرایط، شتاب یک سگمنت بدن بسیار کوچک است و این نیروی اینرسی نادیده گرفته می‌شود که نیروی اینرسی نادیده گرفته می‌شود.

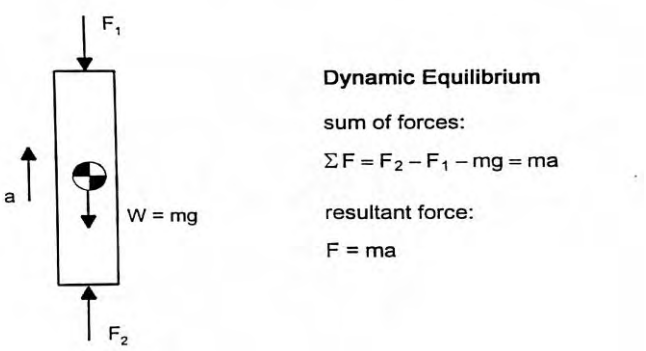
۳ – ۱ استاتیک، دینامیک یا شبه استاتیک

همهٔ اجسام در تعادل استاتیک یا دینامیک هستند.

جسمی که در تعادل استاتیک است، نیروی برآیند یا گشتاور عمل کننده بر آن صفر است؛ بنابراین شیء یا در وضعیت استراحت و یا اگر در حرکت با سرعت خطی یا سرعت زاویه ای است، سرعت آن ثابت باقی می‌ماند یا حرکت به صورت یکنواخت است (تصویر ۶). برای محاسبه دقیق نیروهایی که بر اجزاء یک جسم (جسمی که در حال تعادل دینامیک می‌باشد که دارای شتاب است) عمل می‌کند، از دینامیک معکوس استفاده می‌شود.



تصویر ٦: تعادل استاتیک



تصویر ۷: تعادل دینامیک

جسمی که در تعادل دینامیکی قرار دارد دارای نیروی حاصل یا گشتاوری است که بر آن اثر می‌کند. بنابر این جسم پویا در حال شتاب خطی و/یا شتاب زاویه‌ای است (تصویر ۷). نیروی حاصل از تعادل برابر است با جرم جسم ضرب در شتاب جسم. با استفاده از دینامیک معکوس، محاسبه نیروی برایند عمل‌کننده بر اجزاء بدن که سبب شتاب می‌شود، ممکن است. هر چند، وقتی یک سگمنت در تعادل استاتیک است (در وضعیت استراحت یا حرکت با سرعت ثابت است) دارای شتاب نیست و نیروی برآیند هم وجود ندارد؛ بنابراین، مسائل بیومکانیکی که سگمنت‌های بدن در حال تعادل استاتیک است، خیلی ساده حل می‌شوند.