مدرسان شریف

فصل اول

« بیومکانیک چیست؟»

در گذشته واژه‌ی حرکت‌شناسی برای توصیف مجموعه اطلاعات علمی در مورد ساختمان و عملکرد دستگاه‌های عضلانی ـ استخوانی انسان به کار برده شده است. بعدها اصول مکانیکی و مطالعه کاربرد آن برای حرکات انسان به عنوان جزء جدایی‌ناپذیر حرکت‌شناسی به طور وسیعی پذیرفته شد. کم‌کم حرکت‌شناسی و موضوع مورد مطالعه در آن شامل کلیه جنبه‌های علوم مختلف که در رابطه با حرکت انسان است گردید، در این زمان واژه حرکت‌شناسی مفهوم اصلی خود را از دست داد، زیرا علاوه بر عملکرد دستگاه‌های عضلانی ـ استخوانی و مطالعه در اصول مکانیکی و کاربرد آنها در حرکات انسان، مطالب و موضوعات دیگری را نیز در برگرفت. بنابراین واژه‌های تازه به منظور روشن کردن این وضع به وجود آمد که از آن جمله: مکانیک انسانی، پویایی زیستی، جنبش زیستی، جنبش آدمی و سرانجام جنبش‌شناسی انسانی. هریک از واژه‌های فوق طرفدارانی در بین دانشمندان این رشته داشت تا سرانجام از بین آنها واژه بیومکانیک مشخص شده و مورد قبول اکثریت دانشمندان این شاخه از علوم واقع شد.

بیومکانیک

بیومکانیک (Biomechanic) کلمه‌ای مرکب است که از دو کلمه‌ی (Bio) به معنی زیست، زندگانی، موجود زنده و (Mechanic) علمی است که به بررسی نیروهای داخلی و خارجی تأثیرگذار بر یک جسم می‌پردازد. حال از ترکیب این دو کلمه می‌توان به علم بیومکانیک رسید که علمی است که به بررسی نیروهای داخلی و خارجی تأثیرگذار بر بدن موجود زنده می‌پردازد.

بیومکانیک یکی از علوم چند منظوره است که با پرداختن به اصول فیزیکی و زیست شناختی، آدمی را در درک چگونگی حرکات موجودات زنده یاری می‌کند. از این رو آشنایی با مبانی این علم راهی است برای درک حرکات پایه یا پیچیده‌ای که در فعالیت‌های ورزشی مشاهده می‌شود و هدف از آن بهبود کیفیت حرکات و توانا کردن شخص در اجرای فنون حرکت است. تقریباً در اوایل دهه‌ی ۷۰ میلادی، جامعه‌ی بین‌المللی واژه‌ی **"بیومکانیک"** را برای مطالعه سیستم‌های حیاتی از دید مکانیکی انتخاب نمود. بیومکانیک از ابزار مکانیک برای مطالعات آناتومیکی و بررسی کارکرد اندام حیاتی استفاده می‌کند. این علم طیف گسترده‌ای را از مطالعه‌ی تئوری تا کاربردهای عملی می‌پوشاند.

بیومکانیک به صورت‌های زیر تعریف شده است:

علمی است که نیروهای داخلی و خارجی را که بر روی بدن تأثیر می‌گذارند مورد مطالعه قرار داده و تأثیرات حاصله را بررسی می‌کند.

کاربرد قوانین مکانیکی در رابطه با حرکت و جابجایی.

علم مطالعه حرکت در موجودات زنده.

در رابطه با تکنیک‌ها و مهارت‌های ورزشی، بیومکانیک به این شرح تعریف می‌شود:

بیومکانیک علمی است که با بکارگیری قوانین فیزیک و مکانیک در حرکت‌های ورزشی و فعالیت‌های روزمره انسان، تجزیه و تحلیل عمل و عکس‌العمل نیروهای داخلی و خارجی و تأثیرات نهایی این نیروها بر بدن انسان صحبت می‌کند.

Biomechanics: The study of motion and the effect of the forces on biological systems.

مثال۱: کدام تعریف در مورد بیومکانیک صحیح است؟

۱) علمی است که نیروهای داخلی و خارجی را بررسی می‌کند.

۲) تأثیر نیروهای داخلی و خارجی را بررسی می‌کند.

۳) مطالعه اساس فیزیکی حرکت‌های مختلف بدن.

۴) علمی است که به بررسی نیروهای داخلی و خارجی تأثیرگذار بر بدن می‌پردازد و اثرات آنها را بررسی می‌کند.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» بیومکانیک علمی است که به بررسی نیروهای داخلی و خارجی تأثیرگذار بدن می‌پردازد و اثرات آنها را بررسی می‌کند.

مکانیک

مکانیک علمی است که به بررسی نیروهای داخلی و خارجی تأثیرگذار بر یک جسم می‌پردازد و اثرات نهایی آنها را بررسی می‌کند و حوزه‌های مختلفی چون مکانیک اجسام جامد (Rigid-body mechanics)، اجسام قابل تغییر (Deformable-body mechanics)، مکانیک مایعات (Fluid mechanics) ، مکانیک نسبیت (Relativistic mechanics) و مکانیک کوانتوم (Quantum mechanics) را در برمی‌گیرد. درک قوانین و اصول فیزیکی حاکم بر اجسام جامد و مایع در دو حوزه کلی صورت گرفته است:

۱ـ بررسی عوامل مرتبط با اجسام متحرک (پویا) که موضوع علم دینامیک است: **۱ـ کینماتیک (kinematic) ۲ـ کینتیک (kinetic)**

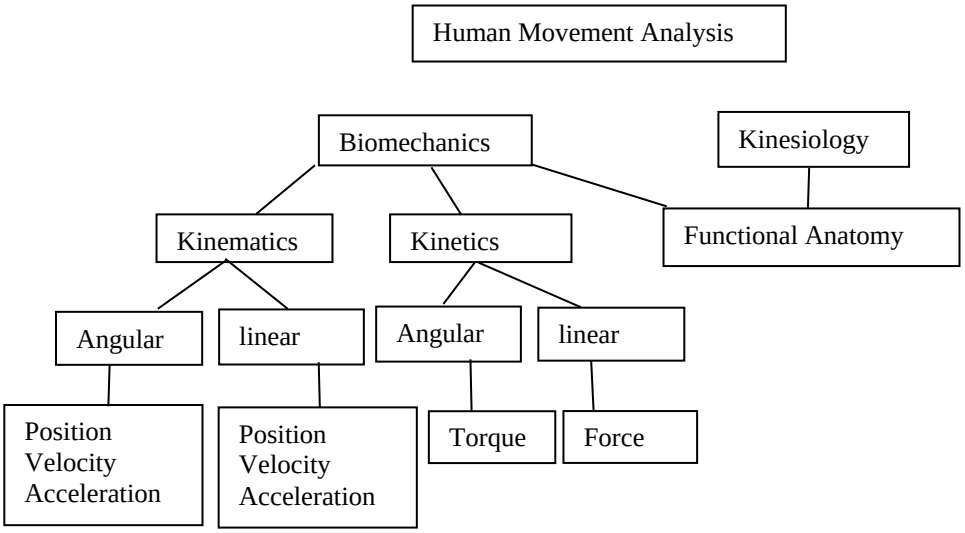
۲ـ بررسی عوامل مرتبط با اجسام غیرمتحرک (ایستا) که موضوع علم استاتیک است.

دینامیک یا مطالعه اجسام در حال حرکت خود دو بعد دارد که بررسی چگونگی و علت حرکت (پویایی) آنهاست. بعد بررسی چگونگی و یا اثر حرکت را تجزیه و تحلیل کینماتیکی حرکت اجسام نیز می‌گویند. به عبارت دیگر **مطالعه حرکت بدون علت یا نیروهای وارده بر آن** را گویند که در آن فضا، زمان و موقعیت حرکت جسم مورد توجه قرار می‌گیرد که به دو بخش تقسیم می‌شود:

۱ـ کمی: که با اعداد و ارقام سرو کار دارد. (سرعت، شتاب، جابه‌جایی و ...)

۲ـ کیفی: به کیفیت یک حرکت توجه می‌کند. (امتیاز دادن به فنون ورزشی و...)

اما بعد بررسی علت حرکت اجسام را تجزیه و تحلیل کینتیکی حرکت اجسام گویند که در آن به تأثیر نیرو در اصلاح یا تسهیل حرکت جسم و یا ممانعت از آن اشاره می‌شود. به عبارت دیگر **بررسی علت حرکت اجسام در مکانیک را کینتیک** گویند که به تأثیر نیرو اشاره دارد. (جاذبه، اصطکاک، نیروی عضلانی و .....)



Mechanics: the branch of applied mathematics concerned with motion and forces producing motion.
Dynamics: the branch of mechanics in which the system being studied undergoes acceleration.
Statics: A branch of mechanics in which the system being studied undergoes no acceleration.
Kinematics: Area of study that examines the spatial and temporal of motion (Position, Velocity, acceleration)
Kinetics: study of the forces that act on a system.
Kinesiology: study of human movement.

مثال۲: کدام گزینه در مورد کینتیک صحیح است؟

۱) مطالعه‌ی اجسام در حال سکون
۲) علم حرکت اجسام و علت حرکت آن
۳) علم اجسام متحرک و غیرمتحرک
۴) مطالعه‌ی اجسام متحرک بدون علت آن

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» کینتیک علم حرکت اجسام است که به بررسی علت حرکت اجسام می‌پردازد.

مثال۳: کدام گزینه در مورد کینماتیک صحیح است؟

۱) مطالعه‌ی اجسام در حال سکون
۲) علم حرکت اجسام و علت حرکت آن
۳) علم اجسام متحرک و غیرمتحرک
۴) مطالعه‌ی اجسام متحرک بدون علت آن

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» کینماتیک به بررسی حرکت اجسام بدون علت آنها می‌پردازد.

تاریخچه علم بیومکانیک

نقش‌های روی دیوار غارها توجه نسل دوره باستان را به روش اجرای مهارت‌های حرکتی نشان می‌دهد. مصریان باستان اهرام ثلاثه را بدون استفاده از ابزارهای پیشرفته‌ی محاسباتی بنا کردند. تصویر بسیاری از بازی‌ها و چگونگی اجرای مهارت‌ها، مانند آنچه از آن با نام کشتی روم، یونان، شنای کرال و اصلاحات موقعیتی دوندگان یاد می‌شود، روی دیوار غارها نقش بسته است. در بررسی‌هایی که در مطالعات ارسطو قرن ۱۴ پیش از میلاد صورت گرفته است، مشخص شده که وی قصد داشته تا با استفاده از تحلیل‌های هندسی، کارکرد ماهیچه‌ها را در تولید حرکت حیوانات توصیف کند. ارسطو، گویی چشم‌های عقاب گونه داشته زیرا بدون استفاده از دستگاه‌ها و وسایل آزمایشگاهی درباره موقعیت بدن، مرکز ثقل دوندگان، پرندگان و پرتاب کننده‌ها نظریات کارگشایی دارد. حدود ۲۰۰۰ سال بعد، لئوناردو داوینچی (۱۵۱۹ – ۱۴۲۵ بعد از میلاد) در نقاشی‌های آناتومیکی معروفش، مکانیک ایستادن، راه رفتن و پریدن را تشریح کرد. **لئوناردو داوینچی را پایه‌گذار تفکر بیومکانیک** شناخته‌اند. او عمل عضلات را هنگام اجرای مهارت‌های حرکتی به تصویر کشید. گالیله (۱۶۴۳ – ۱۵۶۴ بعد از میلاد) حدود ۱۰۰ سال بعد اولین تلاش‌ها را برای آنالیز ریاضی کارکردهای فیزیولوژیکی انجام داد. گالیله در شناسایی و تعیین شتاب سقوط آزاد تأثیر اساسی داشته است. به خاطر تلاش‌های پیشگامانه ویلیام هاروی (۱۶۵۷ – ۱۵۷۸ بعد از میلاد) در تعریف آناتومیکی گردش خون در بدن، او را **پدر مکانیک سیالات زیستی** (Biofluid) مدرن می‌دانند. آلفونسو بورلی را نیز به خاطر فعالیت‌های گسترده‌اش در زمینه تفسیر و توضیح نیروهایی که توسط ماهیچه‌ها تولید می‌شود، نقش استخوان‌ها به عنوان محور و ارتباط تنگاتنگ سیستم استخوانی با ماهیچه‌ها، **پدر مکانیک جامدات زیستی** (Biosolid) قلمداد می‌کنند. نقش بورلی در مطالعه حرکت انسان تا حدی مؤثر بوده که استایندلر معتقد است باید او را پدر بیومکانیک جدید دانست. از اولین متونی که به بررسی کمی بیومکانیک راه رفتن و آنالیز گیت (Gait) می‌پرداخت، می‌توان به کتاب (De muto Animalum) نوشته‌ی بورلی اشاره کرد. وی شاگرد گالیله بود و در کارهایش از نتایجی که گالیله در مطالعات خود به دست آورده بود برای پیشبرد اهدافش در زمینه مطالعه بیومکانیک استفاده نمود. ارشمیدس، ریاضی‌دان یونانی و ارائه کننده اصل سیالات، **پایه‌گذار نظری اصول حاکم بر شناوری مدرن** شناخته می‌شود، ضمن آنکه نظریات او درباره اهرم‌ها و مباحث مربوط به قرقره‌ها بسیار مدرن بیان شده است. نیوتن، قوانین سه‌گانه مربوط به حرکت را مطرح کرد که امروزه برای درک حرکت بشر از آن استفاده می‌شود. آمر، تأثیر قوی بین بیومکانیک و حوزه مربوط به کارآیی و مکانیک بدن را به وجود آورد.

شاخه‌های علم بیومکانیک

۱- آنتروپومتری (Anthropometery): کلمه‌ای یونانی است که از دو واژه Anthropo به معنی انسان و Metery به معنی سنجش، تشکیل شده است. بطور کلی اندازه‌گیری ابعاد بدن در دو وضعیت صورت می‌گیرد: ۱- وضعیت ساکن ۲- وضعیت متحرک

در وضعیت ثابت اندازه‌گیری بدن در حالتی صورت می‌گیرد که بدن هیچ حرکتی نداشته باشد و این اندازه‌گیری را اصطلاحاً **آنتروپومتری استاتیک** گویند. در وضعیت متحرک اندازه‌گیری ابعاد بدن در حالتی که بدن در حالت حرکت می‌باشد، صورت خواهد گرفت. این اندازه‌گیری نیز **آنتروپومتری دینامیک** گفته می‌شود. بطور کلی آنتروپومتری شامل اندازه‌گیری اندازه‌های مختلفی از طول بدن، وزن، حجم اندام‌ها، فضای حرکتی و زوایای حرکتی هر یک از اندازه‌ها بوده و در نهایت تهیه آمار و اطلاعات منتج از آن در تعیین شکل و اندازه ابزار و وسایلی است که در محیط کار مورد استفاده این افراد قرار می‌گیرد. **آنتروپومتری در دو زمینه کاربرد دارد:**

۱- برای تطبیق و تناسب ماشین با انسان در جهت راحتی و افزایش بازده کاربر.

۲- جهت استاندارد سازی وسایل و تجهیزات مورد استفاده برای یک فرد یا کل جامعه.

در این زمینه علاوه بر ابعاد بدن، نوع وسایل و تجهیزات مورد استفاده، جنس، میزان تحمل نیرو، فشار و سایر فاکتورهای مربوطه به انسان از قبیل سن، جنس، نژاد، ساختار بدنی (ورزشکار، چاق، لاغر و ...) نوع شغل، رژیم غذایی، وضعیت سلامتی، وضعیت بدن (Posture)، زمان (ابتدای روز، پایان روز)، تغییرات ارادی (مثل منقبض کردن عضله)، لباس و تجهیزات فردی مورد توجه قرار می‌گیرد که البته مهمترین آنها، سن، جنس و تفاوت‌های نژادی است.

۲- توانبخشی(Rehabilitation): در علوم بهداشتی توانبخشی یا بازتوانی فرآیندی است که در آن به فرد کمک می‌شود تا توانایی از دست رفته خود پس از یک واقعه، بیماری یا آسیب را که منجر به محدودیت عملکردی وی شده است مجدداً به دست آورد. توانبخشی حوزه علمی بسیار وسیعی در مجموعه خدمات بهداشتی و درمانی محسوب می‌گردد و به افراد کمک می‌کند تا پس از ابتلا به مشکلاتی نظیر سکته، ضایعات نخاعی، جراحی‌های ارتوپدی، ضربه مغزی، سوختگی، کم‌شنوایی، اختلال پردازش مرکزی شنوایی، مشکلات تعادل و غیره تا حد امکان بر مشکل خود غلبه کرده و استقلال عملکردی قبلی خود را بازیابد. در توانبخشی برخلاف پزشکی هیچگونه دارویی تجویز نمی‌شود و روند بازیافتن توانایی‌ها تدریجی است. از نظر توانایی‌های جسمی، ذهنی و گفتاری بیماران توانبخشی به شاخه‌های مختلف تقسیم می‌شوند که باعث ایجاد شاخه‌های توانبخشی زیر می‌شود:

۱ـ ارتوپدی فنی ۲ـ بینایی سنجی ۳ـ شنوایی شناسی ۴ـ مدیریت توانبخشی ۵ ـ فیزیوتراپی ۶ ـ کار درمانی ۷ـ مددکاری اجتماعی ۸ـ گفتار درمانی

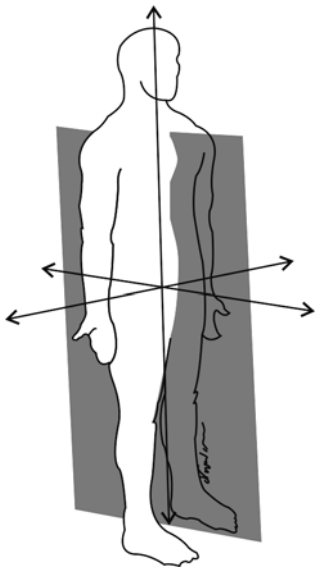
صفحات حرکتی (Planes of motion)

حال برای توصیف کردن یک حرکت، براساس موقعیت آناتومیکی بدن و برحسب اینکه در کدام صفحه و کدام محور انجام می‌شود، نام‌گذاری شده است. صفحات ساجیتال، هوریزنتال و فرونتال سه صفحه‌ی اصلی هستند، که هر صفحه بر دو صفحه‌ی دیگر نیز عمود است که نقطه‌ی تلاقی این سه صفحه از مرکز ثقل بدن عبور می‌کند.

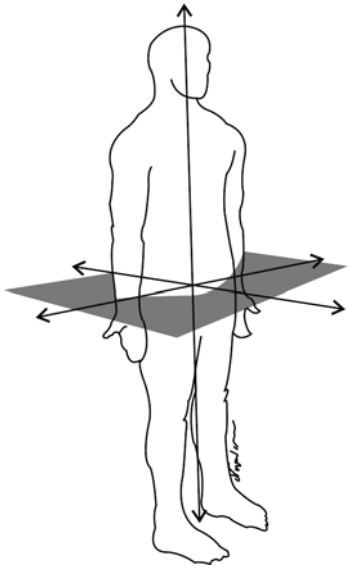
صفحه‌ی سهمی یا ساجیتال (Sagittal) صفحه‌ای است که بدن انسان را به دو قسمت راست و چپ تقسیم می‌کند. دقت شود در بدن انسان فقط یک صفحه‌ی ساجیتال اصلی وجود دارد که بدن را به ۲ قسمت مساوی تقسیم می‌کند.

صفحه هوریزنتال (Horizontal) یا افقی (Transverse)، صفحه‌ای است که به صورت افقی از بدن انسان عبور می‌کند، به‌طوری که بدن انسان را به دو قسمت بالا و پایین تقسیم می‌کند.

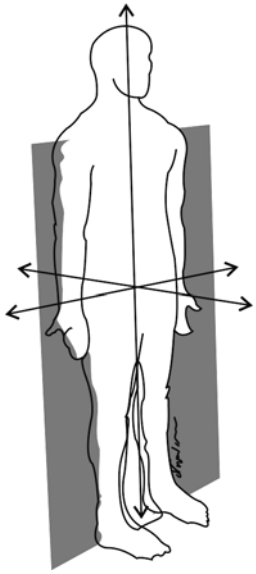
صفحه‌ی فرونتال (Frontal) یا جانبی (Lateral)، صفحه‌ای است که بدن انسان را به دو قسمت قدامی (جلویی) و خلفی (پشتی) تقسیم می‌کند.



شکل ۳: صفحه سهمی، بدن انسان را به دو قسمت چپ و راست تقسیم می‌کند.



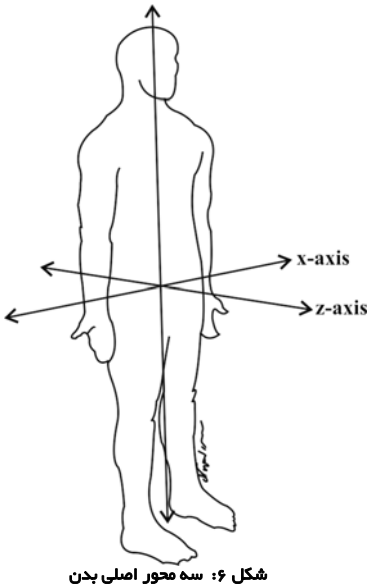
شکل ۴: صفحه هوریزنتال، بدن انسان را به دو قسمت بالا و پایین تقسیم می‌کند.



شکل ۵: صفحه فرونتال، بدن انسان را به دو قسمت قدامی و خلفی تقسیم می‌کند.

صفحات و محورهای حرکتی

بر هر یک از سطوح حرکتی که از روی مفاصل متحرک بدن عبور می‌کند، محوری عمود می‌شود که حرکات مختلف اندام‌ها حول آن محور انجام می‌شود. در بدن انسان، سه محور اصلی به‌عنوان محورهای حرکتی شناخته می‌شوند که هر کدام موجب چرخش در یکی از صفحات آناتومیکی را فراهم می‌کند. این محورها عبارتند از:

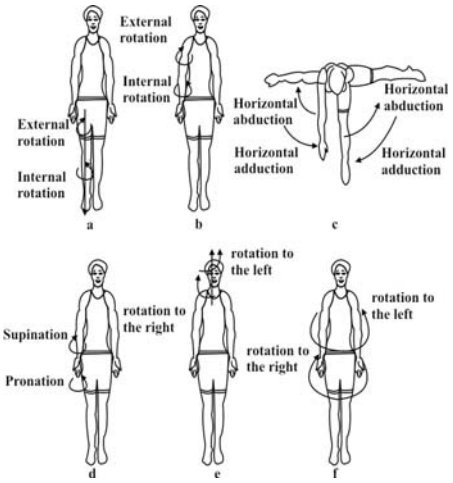


شکل ۶: سه محور اصلی بدن

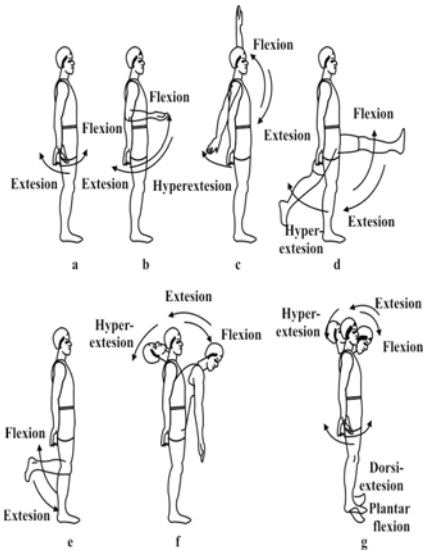
محور عمودی یا ورتیکال:
این محور بر سطح هوریزنتال وارد می‌شود و برای دیدن حرکات حول آن بایستی از بالا و یا پایین نگاه کرد. حرکاتی که در طول این محور صورت می‌گیرد عبارت است از: چرخش به چپ یا راست (Rotation to left or right) و چرخش به داخل و خارج (External Rotation), (Internal Rotation)

محور فرونتال:
این محور بر سطح ساجیتال عمود می‌شود و دیدن حرکات حول این محور از پهلو صورت می‌گیرد.
حرکاتی که حول این محور صورت می‌گیرد عبارت است از: تا شدن (Flexion)، باز شدن (Extension)، خم شدن بیش از اندازه (Hyperflexion) و باز شدن بیش از اندازه (Hyperextension).

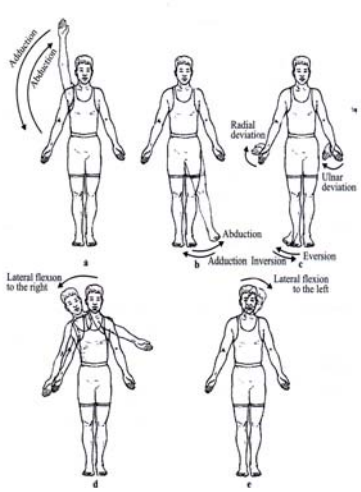
محور ساجیتال:
این محور بر سطح فرونتال عمود می‌شود و برای دیدن حرکات حول آنها بایستی از روبه‌رو یا پشت نگاه کنیم. حرکاتی که حول این محور صورت می‌گیرد عبارت است از: دور شدن (Abduction)، نزدیک شدن (Adduction)، خم شدن جانبی (lateral flexion)، دور شدن بیش از اندازه (HyperAbduction) و نزدیک شدن بیش از اندازه (Hyper Adduction)



شکل ۷: محور ورتیکال که برای دیدن حرکات حول آن بایستی از بالا یا پایین نگاه کرد.



شکل ۸: محور فرونتال که برای دیدن حرکات حول آن بایستی از پهلو نگاه کرد.

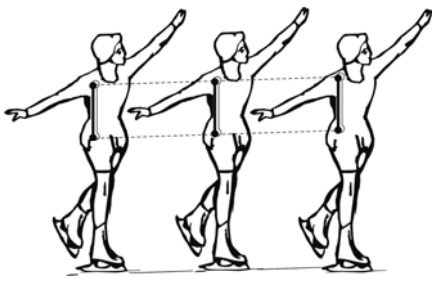


شکل ۹: محور ساجیتال که برای دیدن حرکات حول آن بایستی از روبه‌رو یا پشت نگاه کرد.

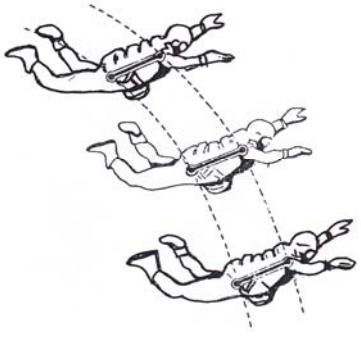
انواع حرکت

۱ـ حرکت انتقالی (خطی): حرکتی است که کلیه اجزاء جسم دقیقاً مسافت یکسانی را در جهت و زمان مشابهی طی کرده باشند، که یکی از راه‌های ارزیابی حرکت انتقالی کشیدن خط فرضی مستقیم بر روی جسم است. اگر در طول مسافت، خط فرضی ثابت ماند و همواره موازی با وضعیت اولیه‌ی آن باشد این نشان‌دهنده‌ی آن است که حرکت از نوع انتقالی است.

حرکت انتقالی یا **مستقیم الخط** است و یا **منحنی الخط**. در حرکت انتقالی مستقیم الخط، سیستم در یک مسیر خطی مستقیم حرکت می‌کند. برای مثال در شکل ۱۰، برای درک بهتر حرکت خطی مستقیم الخط به نحوه‌ی جابه‌جایی دو نقطه A و B بدن ورزشکار توجه کنید. حرکت عمودی توپ بسکتبال زمانی که دست ورزشکار به طرف زمین رها می‌شود نیز نمونه‌ی دیگری از انواع حرکت‌های خطی مستقیم الخط است. اما در حرکت منحنی الخط، جسم (بخش یا کل آن) مسیری منحنی را طی می‌کند. برای مثال در شکل ۱۱ سقوط یک چتر باز را که در مسیری منحنی شکل انجام می‌شود، می‌بینیم. واحد اندازه‌گیری حرکت انتقالی، سانتی متر، متر و کیلومتر است.



شکل ۱۰: حرکت انتقالی در خط مستقیم (مستقیم الخط)



شکل ۱۱: حرکت انتقالی در خط منحنی (منحنی‌الخط)

مثال۱: حرکت انتقالی حرکتی است که ..... .

۱) کل اجزاء جسم مسافت یکسانی را طی کنند.

۲) کل اجزاء جسم در جهت و زمان مشابهی حرکت کنند.

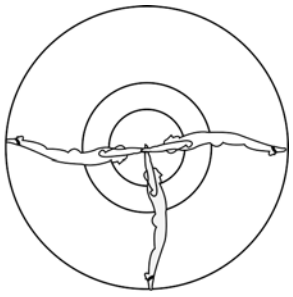
۳) کلیه اجزاء جسم دقیقاً مسافت یکسانی را در جهت و زمان مشابهی طی کرده باشند.

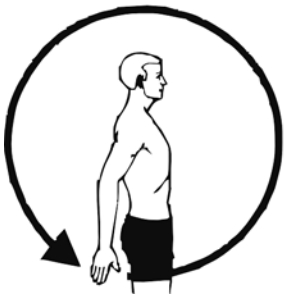
۴) اجزاء جسم در مسافت یکسانی و جهت مشابهی حرکت کند.

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» حرکت انتقالی حرکتی است که کلیه اجزاء جسم مسافت یکسانی را در زمان و جهت مشابهی طی کنند.

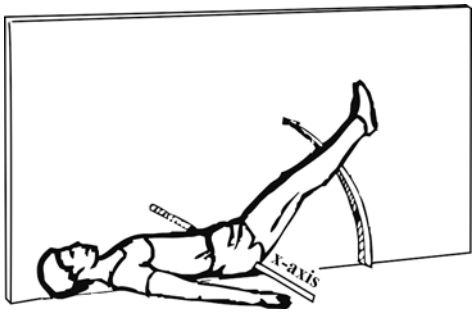
۲ـ حرکت دورانی (چرخشی): حرکتی است که در آن جابه‌جایی جسم حول محوری ثابت انجام گرفته باشد و منتهی به حرکتی زاویه‌ای و یا چرخشی شود. محور چرخش محلی است ثابت که حرکت دورانی حول آن انجام می‌شود. برای مثال همه حرکت‌های زاویه‌ای در بدن انسان، حول محور مفاصل انجام می‌شود. شعاع چرخش، فاصله محور چرخش (مفصل) تا نقاط مذکور را گویند. حرکت یا جابه‌جایی زاویه‌ای نقاط ذکر شده، حرکت زاویه‌ای را به وجود می‌آورد که از آن به عنوان نتیجه چرخش زاویه‌ای نیز یاد می‌کنند. اصطلاح جابه‌جایی زاویه‌ای حول محور داخلی زمانی به کار می‌رود که چرخش از درون جسم عبور کند. برای مثال حرکت دورانی که در مفصل شانه رخ می‌دهد نمونه‌ای از حرکت حول محور داخلی است. اگر محور چرخش خارج از بدن قرار داشته باشد، حرکتی که انجام می‌شود حول محور خارجی است مثل چرخیدن ژیمناست به دور میله بارفیکس. به عبارت دیگر حرکت دورانی را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد:

حرکتی است که کلیه اجزاء جسم در زمان و جهت یکسان حول یک محور، زاویه‌ای برابر را طی کند. واحد اندازه‌گیری حرکات دورانی، درجه، رادیان یا چرخش است.





شکل۱۲ : a) حرکت زاویه‌ای حول محور داخلی؛ b) حرکت زاویه‌ای حول محور خارجی



شکل۱۳: حرکت چرخشی حول محور داخلی

نکته۱: حرکت دورانی باعث انتقال جسم از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر نمی‌شود، بلکه باعث چرخش یک جسم حول یک محور یا نقطه اتکا می‌گردد.

مثال۲: حرکت دورانی حرکتی است که..... .

۱) کلیه اجزاء جسم در زمان و جهت یکسان حرکت می‌کند.

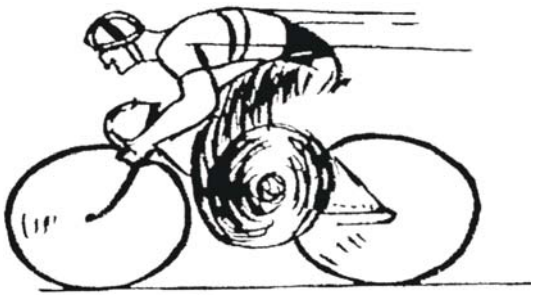
۲) حول یک محور، زاویه‌ای برابر را طی می‌کند.

۳) کلیه اجزاء جسم در زمان و جهت یکسان، مسافت یکسانی را طی کند.

۴) کلیه اجزاء جسم در زمان و جهت یکسان حول یک محور، زاویه‌ای برابر را طی کنند.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» حرکت دورانی حرکتی است که کلیه اجزاء جسم در زمان و جهت یکسان حول یک محور، زاویه‌ای یکسان را طی کند.

۳ـ حرکت عام یا متداول (General Motion): این حرکت از ترکیب دو حرکت انتقالی و چرخشی به وجود می‌آید و در حرکات ورزشی از عمومیت بیشتری برخوردار است. برای مثال دوچرخه‌سواری را در نظر بگیرید که بالاتنه‌ی او حرکت انتقالی و پاهای او که کار رکاب زدن را انجام می‌دهد، در نتیجه‌ی حرکت دورانی است. در مجموع این دو حرکت، شاهد حرکت عام یا متداول هستیم. در مثال دوچرخه‌سوار، حرکت دورانی در مفاصل ران، زانو و پا روی پدال دوچرخه نشانی از حرکت زاویه‌ای است که نتیجه آن حرکت دوچرخه سوار به سمت جلو است. توپ بسکتبال که در حال چرخش به سمت حلقه بسکتبال حرکت می‌کند نیز نشانی از ترکیب دو حرکت خطی و زاویه‌ای است.



شکل ۱۴: حرکت متداول ـ ترکیبی از انتقالی و چرخشی

شنا کردن، حرکت پرش‌کننده ارتفاع از زمان بلند شدن تا فرود، پرتاب وزنه، پرتاب دیسک، دویدن و راه رفتن و ... همگی از نوع حرکات عام یا متداول هستند. برای مثال در سیکل راه رفتن بالاتنه فرد حرکت انتقالی انجام می‌دهد و مفاصل ران، زانو، مچ پا در حول محور مفصل خود حرکات دورانی و یا چرخشی انجام می‌دهند که در مجموع کل حرکت را می‌توان جزو حرکات عام یا متداول دانست.

نکته۲: در یک سیکل کامل راه رفتن یک Stride از دو Step متوالی تشکیل می‌شود.

مثال۳: حرکت پاهای دوچرخه‌سوار هنگام رکاب زدن حرکتی از نوع ..... است.

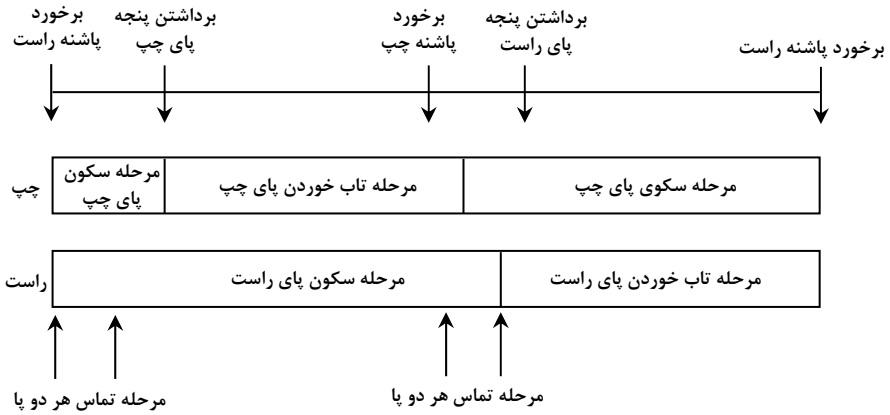
۱) انتقالی ۲) دورانی ۳) ترکیبی ۴) عام یا متداول

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» در این‌جا فقط اشاره به پاهای دوچرخه‌سوار هنگام رکاب زدن دارد. رکاب زدن حرکتی است از نوع حرکات دورانی یا چرخشی چون حرکت طول یک محور انجام می‌شود. حال اگر بالاتنه به تنهایی مدنظر باشد چون تمام اجزاء بالاتنه در زمان مشابهی، مسافت یکسانی را طی می‌کنند، حرکت، حرکت انتقالی است. اما اگر حرکت کل بدن دوچرخه‌سوار (هم بالاتنه و هم پایین تنه مدنظر باشد) ترکیبی از دو حرکت انتقالی و چرخشی که همان حرکت عام یا متداول است ایجاد خواهد شد.

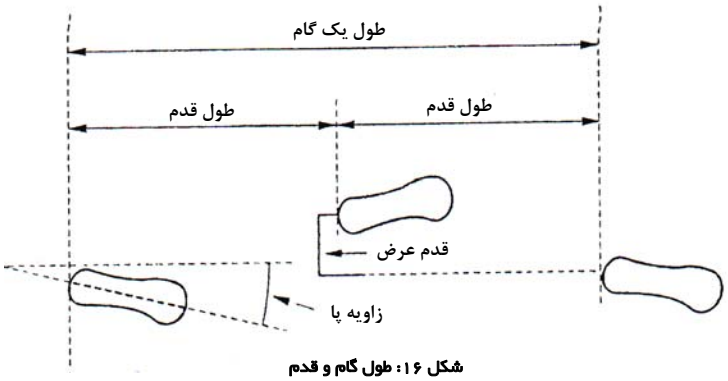
توصیف گیت (Gait)

از آنجایی که گیت در افراد مختلف (جوانان، بزرگسالان، افراد مسن، زن و مرد، و ...) یکسان نیست لذا گیت بیشتر به معنی روش راه رفتن است و نه خود راه رفتن. در زمان راه رفتن هر دو اندام تحتانی به طور متناوب وزن را تحمل کرده و به جلو حرکت می‌کنند، به طوری که در تمام مراحل راه رفتن حداقل یک اندام روی زمین قرار دارد، اما در دویدن در یک مرحله هیچ یک از اندام تحتانی با زمین تماسی ندارد.

به طور کلی سیکل گیت فاصله بین دو برخورد متوالی پاشنه یک پا می‌باشد. این فاصله یا مسافت را یک گام (Stride) نیز می‌نامند. بنابراین هرگام از دو قدم (Step) تشکیل می‌شود. از نظر علمی هر قدم، فاصله بین برخورد پاشنه یک پا و برداشتن پنجه پای دیگر از زمین است.



شکل ۱۵: فواصل زمانی مختلف در سیکل گیت



شکل ۱۶: طول گام و قدم

هر سیکل گیت، از دو فاز استانس (Stance) یا سکون و سوئینگ (Swing) یا تاب خوردن تشکیل می‌شود که فاز استانس ۶۰% زمان و فاز سوئینگ ۴۰% زمان هر سیکل را تشکیل می‌دهند. فاز استانس یا سکون از ۵ مرحله تشکیل می‌شود:

۱ـ برخورد یا تماس پاشنه پا با زمین (Heel Contact) ۲ـ Foot Flat ۳ـ Mid Stance ۴ـ برداشتن پاشنه از زمین (Heel off) ۵ـ برداشتن پنجه پا از زمین (Toe off)

فاز سوئینگ یا تاب خوردن نیز از سه مرحله تشکیل می‌شود: ۱ـ شتاب گرفتن (Acceleration) ۲ـ Mid swing ۳ـ Deceleration

اگر در یک سیکل گیت، پای مقابل را نیز مورد بررسی قرار دهیم به این نتایج خواهیم رسید:

اولاً اینکه وقتی پای راست در فاز سکون است، پای چپ در مرحله سوئینگ یا تاب خوردن (Swing) است. ثانیاً در لحظه برخورد پاشنه یک پا با زمین، پنجه پای مقابل در حال بلند شدن از زمین یا همان Toe off است. این مرحله را اصطلاحاً Double Support می‌نامند چون این فاصله زمانی که حدود ۱۸ تا ۲۲ درصد سیکل گیت است هر دو پا روی زمین قرار می‌گیرند. در این مرحله مرکز ثقل بدن در پایین‌ترین وضعیت خود می‌باشد. هرگاه از جلو به پاهای شخصی که در حال گام برداشتن است نگاه کنیم متوجه خواهیم شد که زاویه‌ای بین مسیر حرکت و محور طولی استخوان‌های کف پا وجود دارد. این زاویه در هر پا حدود ۱۵ تا ۲۰ درجه است که اصطلاحاً به آن Foot Angle گفته می‌شود. حال اگر از پشت سر به پاشنه پاهای شخص در حال حرکت نگاه کنیم، خواهیم دید که فاصله دو پاشنه حدود ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر است که آن را عرض قدم (Step width) می‌نامند. این دو مؤلفه در پایداری طرفی بدن انسان به هنگام راه رفتن بسیار مؤثر بوده و چنانچه تعادل شخص در اثر بیماری و کهولت سن کاهش یابد، این مقادیر افزایش خواهد یافت. ریتم یا آهنگ راه رفتن (Cadence) به تعداد قدم‌ها در دقیقه گفته می‌شود که به سن و جنس بستگی دارد به طور طبیعی زنان ۱۱۸ قدم و مردان ۱۱۳ قدم در دقیقه راه می‌روند. برای مثال خانمی با طول گام ۱/۲۵ متر و آهنگ راه رفتن ۱۲۰ قدم در دقیقه دارای سرعت راه رفتنی معادل $۱/۲۵\frac{m}{s}$ است.

نکته۳: سرعت راه رفتن برای مردان حدود $۱/۳۷\frac{m}{s}$ و برای زنان $۱/۲۳\frac{m}{s}$ اندازه‌گیری شده است.

نکته۴: سرعت راه رفتن قهرمانان ورزش پیاده‌روی حدود $۴/۵\frac{m}{s}$ اندازه‌گیری شده است. (البته سیکل گیت آنان غیرطبیعی مشاهده شد).

مؤلفه‌های راه رفتن (Determinants of Gait)

طول اندام تحتانی در افراد بالغ و طبیعی در حدود یک متر است این اندام در مرحله‌ی سوئینگ (Swing) به اندازه‌ی ۴۰ درجه نسبت به خط قائم زاویه پیدا می‌کند، پس میزان جابه‌جایی مرکز ثقل حدود ۵ سانتی‌متر است که با توجه به طول پا و زاویه‌ی ایجاد شده بسیار ناچیز است. در هنگام راه رفتن طبیعی مکانیزم‌های وجود دارد که این امر را موجب می‌شوند و به آن‌ها اصطلاحاً مؤلفه‌های گیت گفته می‌شود:

۱ـ چرخش لگن: این عامل باعث چرخش لگن حول محور طولی شده و مفصل ران در حال سوئینگ را به جلو می‌برد، بنابراین در هر گام درجات کمتری از فلکسیون و اکستانسیون مفصل ران مورد نیاز خواهد بود، زیرا مقداری از طول گام را چرخش لگن تأمین می‌کند. علاوه بر آن به واسطه‌ی درجات زاویه‌ای کمتری که در مفصل ران تولید می‌شود، از حرکات عمودی تنه نیز کاسته می‌شود.

۲ـ تیلت لگن (Pelvic Tilt): در فاز استانس (Stance) مفصل ران به طرف بالا می‌رود. این بالا رفتن به لگن اجازه می‌دهد تا در طرف دیگر که ساق پا مشغول سوئینگ و جلو رفتن است، تیلت کرده یا کج شود. کج شدن لگن توسط عضلات آبداکتور مفصل ران که در فاز استانس قرار دارد کنترل شده و در نتیجه مرکز ثقل از مفصل ران، پایین‌تر باقی بماند. با پایین آمدن مفصل ران در طرفی که مشغول سوئینگ است، مفصل زانو خم شده و مفصل مچ پا دورسی فلکشن می‌کند تا از برخورد پا با زمین جلوگیری کند.

۳ـ فلکشن زانو در فاز استانس: در مرحله‌ی Mid-stance، مفصل زانو به صورت تدریجی از فلکسیون به اکستانسیون رفته و لذا از بالا رفتن بیش از حد مفصل ران جلوگیری می‌شود.

۴ـ مکانیسم مچ پا: در هنگام برخورد پاشنه با زمین، طول ساق پا کمی زیاد می‌شود، بنابراین مفصل ران در شروع فاز استانس (Stance) بیش از حد پایین نمی‌آید.

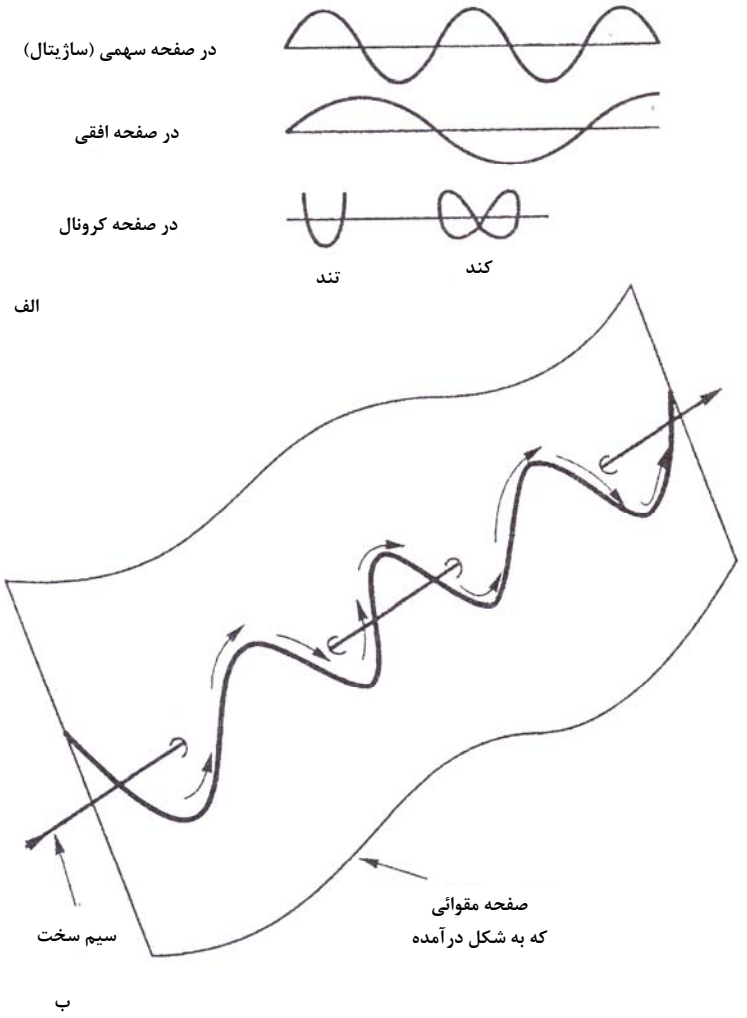
۵ـ مکانیسم پنجه‌ی پا: اواخر فاز استانس یعنی زمانی که پاشنه‌ی پا زمین را ترک می‌کند، طول مؤثر ساق پا افزایش می‌یابد، علت این امر رفتن پنجه پا به پلانتار فلکشن است.

۶ـ جابه‌جایی طرفی لگن (Lateral Displacement): از آنجایی که قاعده‌ی راه رفتن کم است، جابه‌جایی لگن کاهش می‌یابد. قاعده‌ی راه رفتن یا عرض طبیعی بین دو قدم حدود ۸ سانتی‌متر است بنابراین میزان جابه‌جایی مرکز ثقل به طرف اندام در حال استانس زیاد نیست.

نکته۵: همه‌ی این عوامل گفته شده مربوط به یک سیکل راه رفتن طبیعی یک فرد بالغ با سرعتی حدود $۱/۳ \frac{m}{s}$ است.

حرکات قسمت‌های مختلف بدن هنگام راه رفتن

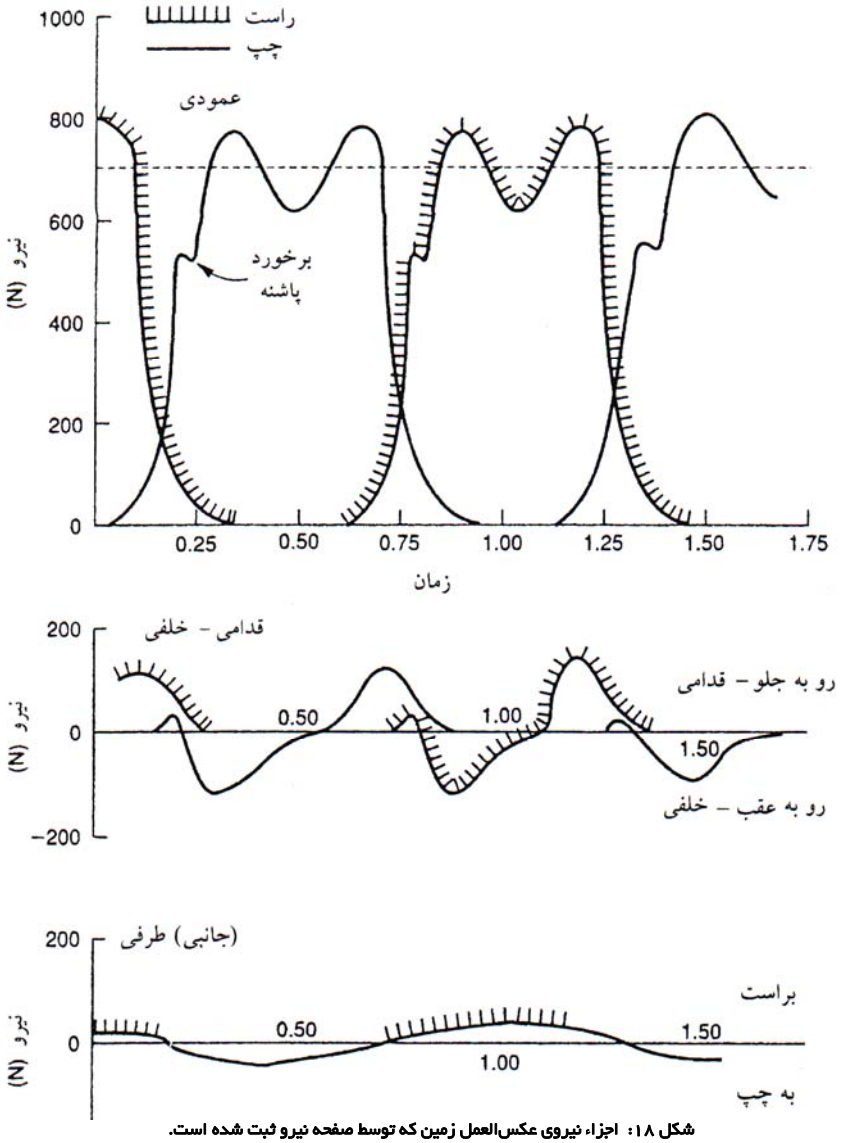
در هنگام راه رفتن علاوه بر پاها، سایر قسمت‌های بدن نیز حرکت می‌کنند که حرکت بعضی از قسمت‌ها برای حفظ تعادل و کاهش انرژی می‌باشد. دست‌ها به هنگام راه رفتن تاب می‌خورند و تنه به بالا و پایین و چپ و راست می‌رود. اگر به فردی که در حال راه رفتن از کنار دیواری است نگاه کنیم، متوجه خواهیم شد که بدن او به طرف بالا و پایین می‌رود. حال اگر در طول دیوار خطی افقی به موازات سرشخص رسم کنیم، مقدار بالا و پایین رفتن سرمعلوم خواهد شد. بالا و پایین رفتن عمودی (صفحه ساجیتال) به صورت یک منحنی سینوسی و به اندازه پنج سانتی متر است حداکثر بالا رفتن مرکز ثقل انسان در میدِ استانس (Mid Stance) در هر یک از دو پا است ضمن اینکه حداکثر پایین آمدن مرکز ثقل انسان در فاز دابل ساپورت (Double support) یعنی زمانی که هر دو پا روی زمین قرار دارد، می‌باشد.



شکل ۱۷:
الف) جابجایی مرکز ثقل بدن، ب) مدل ارائه شده برای نمایش حرکت مرکز ثقل بدن در موقع راه رفتن

مرکز ثقل در صفحه افقی نیز به راست و چپ و به طرف اندام در حال تحمل وزن منحرف می‌شود. هر چند دامنه نوسانات مرکز ثقل در صفحه افقی آرامتر است ولی به همان میزان ۵ سانتی‌متر است، در حالی که دوره آن طولانی‌تر و دو برابر حالت قبلی است. به عبارت دیگر مرکز ثقل در صفحه افقی، تنها یک نوسان در هر گام انجام می‌دهد. حال اگر مدلی از مقوا با یک میله طولی به عنوان محور تابع سینوسی تغییرات مرکز ثقل بسازیم و به آن از جلو یا پشت نگاه کنیم، خواهیم دید که مرکز ثقل در صفحه‌ی کرونال حرکت کرده و مسیر آن به شکل U است. مشابه این تغییرات در مرکز ثقل انسان ضمن راه رفتنِ سریع اتفاق می‌افتد ولی در راه رفتن با سرعت کم، حداکثر بالا رفتن مرکز ثقل قبل از حداکثر جابه‌جایی طرفی اتفاق می‌افتد، لذا مسیر حرکت آن به صورت عدد هشت لاتین است.

لگن خاصره نیز کم و بیش با تغییرات مرکز ثقل تغییر می‌کند اما به دلیل وجود مفاصل ران و ساکروایلیاک حرکت آن زیاد نیست. لگن به هنگام راه رفتن کمی به جلو و عقب و چپ و راست متمایل می‌شود و بیشتر از همه حول محور عمودی و به جلو می‌چرخد. وقتی پای راست را جلو می‌بریم، نیمه راست لگن نیز به جلو می‌چرخد و برعکس با جلو بردن پای چپ، لگن طرف چپ به جلو می‌رود. همین تغییرات ولی با دامنه کمتر در قسمت فوقانی تنه و کمربند شانه و بازوی در حال تاب خوردن (در طرف مقابل) اتفاق می‌افتد. مفصل ران در فاز Swing (تاب خوردن)، فلکشن کرده تا ساق بتواند جلو برود. این مفصل در فاز Stance (سکون) به آهستگی اکستنشن می‌کند که حداکثر آن کمی قبل از برداشتن پنجه پا از زمین (انتهای فاز استانس) است. در شکل بخوبی نشان داده شده است که مفصل ران در $\frac{۲}{۳}$ مدت زمان سیکل گیت، درجاتی از فلکسیون به خود می‌گیرد. دامنه حرکتی لگن با افزایش سرعت راه رفتن زیادتر می‌شود، ولی راه رفتن معمولی مردان و زنان مسن‌تر حدود ۵ درجه و در زنان جوان‌تر کمی بیشتر است. مفصل زانو در ابتدای مرحله سکون فلکشن می‌کند، علاوه بر آن فلکشن شدیدتری (تا درجه) در مرحله تاب خوردن انجام می‌دهد. مفصل مچ پا تقریباً از حرکات مفصل زانو تبعیت می‌کند. این مفصل موقعی که زانو فلکشن می‌کند، دوبار پلانتار فلکشن انجام داده و در مواقع اکستنشن زانو دوبار دورسی فلکشن انجام می‌دهد. مفصل مچ پا در لحظه برخورد پاشنه پا با زمین، به حالت ۹۰ درجه قرار دارد، سپس به واسطه‌ی انقباض محیطی عضلات دورسی فلکسور، به تدریج وضعیت پلانتار فلکشن به خود گرفته و کف پا را به شکل صاف روی زمین قرار می‌دهد (Foot Flat). سپس از این مرحله که با چرخش استخوان درشت نی (Tibia) روی پای ثابت شده برروی زمین صورت می‌گیرد، مفصل مچ پا تا کمی پس از برداشتن پاشنه از زمین (Heel off)، وضعیت دورسی فلکشن خواهد بود و بعد از آن همزمان با فلکشن زانو سریعاً به حالت پلانتار فلکشن می‌رود. در هنگام برداشتن پنجه پا از زمین و نیز طی مرحله تاب خوردن (Swing)، مفصل مچ پا دورسی فلکشن می‌کند تا تماس انگشتان پا با زمین قطع شود، سپس مفصل مچ پا به حالت ۹۰ درجه یا خنثی برگشته و خود را آماده برخورد مجدد پاشنه پا با زمین، یعنی برداشتن قدمی دیگر می‌کند.



شکل ۱۸: اجزاء نیروی عکس‌العمل زمین که توسط صفحه نیرو ثبت شده است.

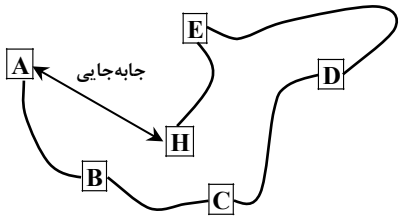
فصل چهارم

« حرکت خطی»

توصیف حرکت از هر نوع و شکل که باشد، شاخه‌ای از علم بیومکانیک است که در آن به مسافت طی شده توسط جسم، چگونگی سرعت و میزان سرعت جسم پرداخته می‌شود. کینماتیک خود به دو بخش کینماتیک خطی (linear kinematics) و کینماتیک زاویه‌ای (Angular kinematics) تقسیم می‌شود. در کنیماتیک خطی به مطالعه چگونگی حرکت جسم زمانی که همه‌ی قسمت‌های آن در جهت و فواصل مکانی و زمانی یکسان حرکت می‌کنند، می‌پردازیم. در حالی که در کنیماتیک زاویه‌ای به توصیف حرکات چرخشی جسم خواهیم پرداخت. در این فصل کنیماتیک خطی یا توصیف حرکت خطی جسم و در فصل بعد به کینماتیک زاویه‌ای یا توصیف حرکت زاویه‌ای جسم به تفصیل خواهیم پرداخت.

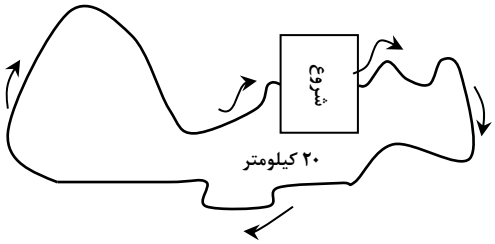
مسافت (Distance) و جابه‌جایی (Displacement)

مسافت و میزان جابه‌جایی کمیت‌هایی هستند که عموماً برای توصیف اندازه حرکت بکار می‌روند. وقتی جسمی از یک نقطه به نقطه دیگر نقل مکان می‌کند، مسافتی که از این طریق طی می‌کند برابر با طول راه خواهد بود. بنابراین مقدار جابه جایی آن جسم را می‌توان به وسیله‌ی اندازه‌گیری طول خط مستقیمی که نقطه شروع را به پایان متصل می‌کند، اندازه گرفت. برای مثال، دوچرخه سواری مطابق شکل از نقطه A به B رفته و سپس از نقطه B به C و همین‌طور از C به D. در طی مراحل بعدی این دوچرخه سوار از D به E و از E هم به H نقل مکان می‌کند. مسافت طی شده برابر است با کل مسیر طی شده توسط دوچرخه سوار که برابر است با **مسافت = A+B+C+D+E+H اما جابه‌جایی وی برابر است با کوتاه‌ترین فاصله بین نقطه‌ی شروع و نقطه‌ی پایان**. (شکل ۱)



شکل ۱: کوتاه‌ترین فاصله بین نقطه شروع و نقطه پایان (جابه‌جایی) و کل مسیر طی شده برابر است با مسافت.

به مثال دیگری در این مورد توجه کنید. دونده‌های دوی استقامت از نقطه‌ی شروع مطابق شکل مقابل شروع به دویدن می‌کنند. این دوندگان بعد از گذراندن ۲۰ کیلومتر به نقطه‌ی پایان که همان نقطه‌ی شروع است می‌رسند. مسافت طی شده توسط این دوندگان برابر طول راه خواهد بود (۲۰ کیلومتر) اما از آنجایی که نقطه‌ی شروع و پایان مسابقه یکسان است پس جابه‌جایی انجام نشده و صفر است. (شکل ۲)



شکل ۲: مسافت طی شده ۲۰ کیلومتر و جابه‌جایی صفر است.

نکته۱: تنها اختلافی که بین مسافت و جابه‌جایی وجود دارد آن است که، میزان جابه‌جایی همواره باید جهت و اندازه داشته باشد ولی برای مسافت فقط کافی است که طول مسیر را اندازه بگیریم. به عبارت دیگر قید جهت در مسافت ضرورتی ندارد.

مثال۱: دونده‌ی دوی ۸۰۰ متر، از خط استارت، شروع به دویدن می‌کند و در دور دوم ۲۰۰ متر قبل از خط پایان دیگر قادر به ادامه‌ی مسابقه نیست. مسافت طی شده و جابه‌جایی او چقدر است؟

۱) ۴۰۰و ۲۰۰ ۲) ۲۰۰ و ۶۰۰ ۳) ۶۰۰ و ۲۰۰ ۴) ۲۰۰و ۴۰۰

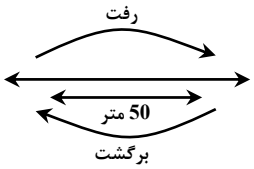
☑ **پاسخ:** گزینه «۳» مسافت طی شده = ۲۰۰ متر + یک دور کامل ⇒ ۶۰۰ = ۴۰۰ + ۲۰۰ متر

جابه‌جایی= کوتاه‌ترین فاصله بین خط شروع و محل ایستادن = ۴۰۰ − ۲۰۰ = ۲۰۰ متر

مثال۲: اگر یک شناگر طول یک استخر ۵۰ متری را ۳ بار رفت و برگشت شنا کند، مسافت و جابه‌جایی او کدام است؟

۱) ۱۰۰ و ۳۰۰ ۲) ۳۰۰و ۳۰۰ ۳) ۱۵۰ و ۱۵۰ ۴) ۳۰۰ و ۰

پاسخ: گزینه «۴»



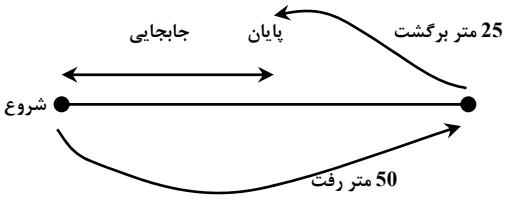
مسافت طی شده متر ۳۰۰ = (۵۰ متر برگشت)+ (۵۰متر رفت) ×۳

جابه‌جایی صفر است چون شناگر در محل شروع شنای خود، حرکت را به پایان می‌رساند.

مثال۳: اگر شناگری ۷۵ متر شنا کند و طول استخر ۵۰ متر باشد، مسافت و جابه‌جایی ..... و ..... است؟

۱) ۲۵و ۵۰ ۲) ۷۵ و ۵۰ ۳) ۷۵ و ۷۵ ۴) ۷۵ و ۲۵

پاسخ: گزینه «۴» مسافت طی شده ۷۵ متر است اما جابجایی = کوتاهترین فاصله بین نقطه شروع و پایان



متر ۲۵ = ۵۰−۲۵ ⇒ جابه‌جایی و متر ۷۵= مسافت طی شده

تندی (Speed) و سرعت (Velocity)

چگونگی حرکت جسمی از یک نقطه به نقطه دیگر معمولاً توسط تندی و یا سرعت توصیف می‌شود. به نظر می‌رسد این دو کمیت مشابه باشند اما در اکثر مواقع اینطور نیست. بسیاری از مردم به واسطه اهمیتی که تندی در زندگی روزمره‌شان دارد با مفهوم آن آشنا هستند. **تندی میزان مسافت طی شده در واحد زمان است** و آن را با متر بر ثانیه و یا کیلومتر بر ساعت می‌سنجند. برای مثال اگر ماشینی مسیر ۱۸۰ کیلومتری را در مدت ۳ ساعت طی کند، تندی متوسط آن ۶۰ کیلومتر در ساعت است. از طرف دیگر حد متوسط بردار سرعت، مقدار **جابه‌جایی جسم نسبت به زمان** انجام گرفتن حرکت مد نظر است. به عبارت دیگر تندی (s) میزان تغییرات مسافت را نشان می‌دهد، در حالی که در بردار سرعت متوسط (V) میزان تغییرات جابه‌جایی مد نظر است.

تندی: از تقسیم کردن مسافت طی شده بر زمان انجام حرکت حاصل می‌شود:

$$\text{Speed (تندی)} = \frac{\text{length (مسافت طی شده)}}{\text{time (زمان)}} \Rightarrow \overline{S} = \frac{L}{T}$$

سرعت متوسط: از تقسیم کردن مقدار جابه‌جایی جسم بر زمان انجام حرکت حاصل می‌شود:

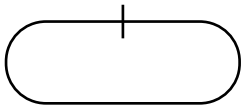
$$\text{Velocity (سرعت)} = \frac{\text{displacement (جابه‌جایی)}}{\text{time (زمان)}} \Rightarrow V = \frac{d}{T}$$

نکته۲: تندی کمیتی نرده‌ای (عددی) است و سرعت کمیتی برداری است.

مثال۴: دونده‌ای مسافت ۴۰۰ متر را در ۵۰ ثانیه طی می‌کند. تندی و سرعت متوسط آن کدام است؟

۱) ۸ m/s و۸ m/s ۲) ۰m/s و ۸ m/s ۳) ۸ m/s و ۰m/s ۴) ۰m/s و ۰m/s

پاسخ: گزینه «۲» مسافت طی شده برابر ۴۰۰ متر و جابجایی او صفر است.



$$S = \frac{L}{t} \Rightarrow S = \frac{۴۰۰}{۵۰} = ۸\,m/s\ ,\ V = \frac{d}{t} = \frac{۰}{۵۰} = ۰$$

مثال۵: یک شناگر طول استخر ۲۵ متری را ۵ بار در مدت ۱۲۰ ثانیه شنا می‌کند. سرعت متوسط و تندی او به ترتیب ..... و ..... است.

۱) ۱۰۴ m/s و ۲۰ m/s ۲) ۱۰/۴ m/s و ۲ m/s ۳) ۰/۲۰ m/s و ۱/۰۴ m/s ۴) ۱/۰۴ m/s و ۰/۲۰ m/s

پاسخ: گزینه «۳» ۲۵m= کوتاه‌ترین فاصله میان نقطه شروع و پایان = جابه‌جایی و ۱۲۵ m =۵×۲۵= مسافت طی شده

$$S = \frac{L}{t} \Rightarrow \frac{۱۲۵\,(m)}{۱۲۰\,(s)} = ۱/۰۴\,m/s\ ,\ V \Rightarrow \frac{d}{t} = \frac{۲۵\,(m)}{۱۲۰\,(s)} = ۰/۲۰\,m/s$$

نکته۳: وقتی جسمی در خط مستقیم در حرکت می‌باشد سرعت لحظه‌ای آن با مقدار تندی لحظه‌ای آن برابر است.

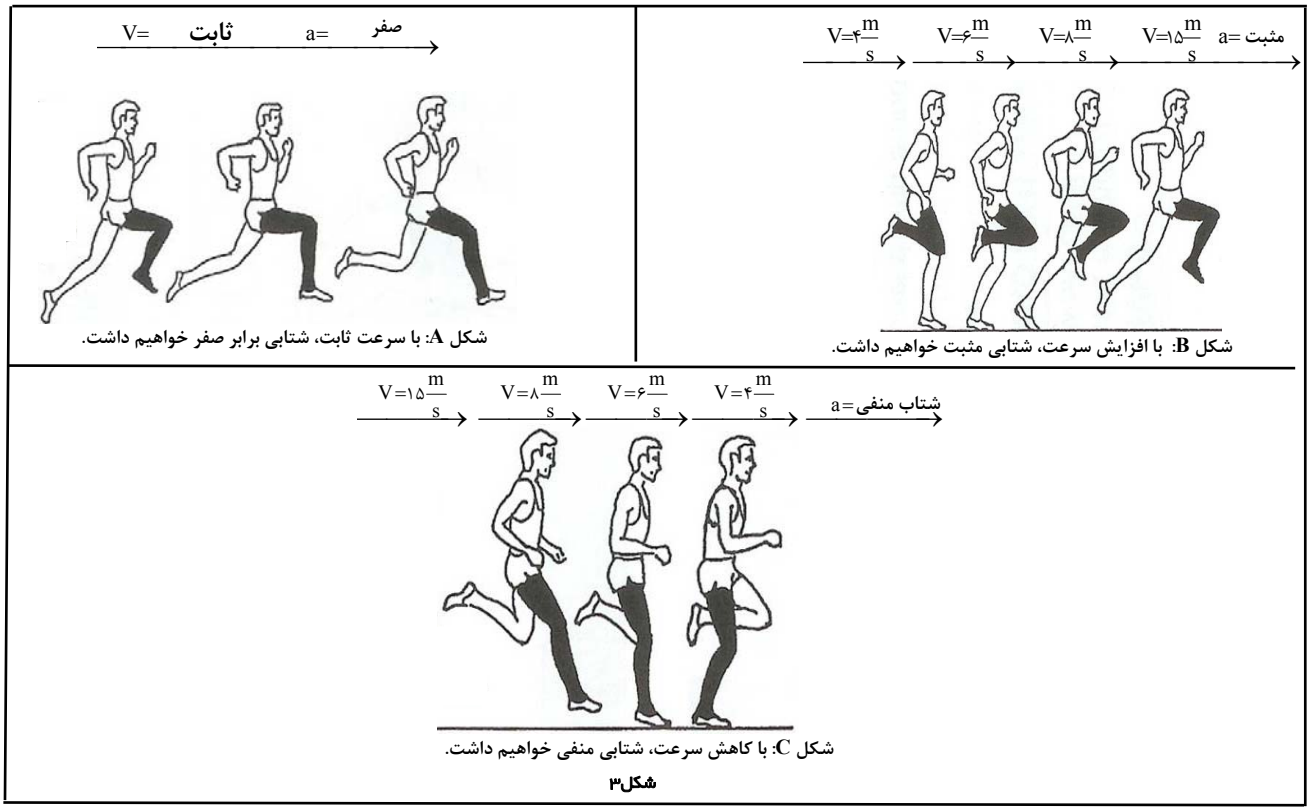
نکته۴: در اجرای فنون ورزشی، مفهوم بردار سرعت و سرعت لحظه‌ای است که دارای ارزش و اهمیت می‌باشد و نه میانگین آنها. بطور مثال سرعت و بردار سرعت لحظه‌ای ورزشکار در لحظه پرتاب و یا پرش است که می‌تواند در نتیجه نهایی پرتاب و یا پرش تعیین کننده و اثرگذار باشد.

شتاب (Acceleration)

در بسیاری از حرکت‌های ورزشی سرعت ثابت نیست و حرکت بدن انسان اغلب در هر دو بعد مقدار و جهت تغییراتی دارد. کمیتی که بیومکانیست‌ها برای توصیف چگونگی تغییرات سرعت بدن به کار می‌برند، شتاب نام دارد. **به تغییرات سرعت در واحد زمان شتاب می‌گویند** به عبارت دیگر به تغییرات موقعیت جسم در واحد زمان شتاب گویند. در بسیاری از فعالیت‌های ورزشی، ورزشکارانی که بتوانند در کوتاه‌ترین مدت شتاب حرکت خود را کم و زیاد کنند موفق‌تر از دیگران هستند. برای مثال پرنده‌ی پرش طول سعی می‌کند شتاب خود را در لحظه جدا شدن از زمین به حداکثر میزان خود برساند و یا بازیکن بسکتبال باید قادر باشد نه تنها در کوتاه‌ترین زمان سرعت خود را افزایش دهد، بلکه باید بتواند همین سرعت را ناگهان به حداقل رسانده و یا سریعاً متوقف شود. دونده‌ای را در نظر بگیرید که مطابق شکل در حال دویدن است. در حالت A دونده با سرعت ثابت در حال دویدن است، از آنجایی که سرعت ثانویه او برابر سرعت اولیه است و تغییری در سرعت او ایجاد نمی‌شود **شتاب صفر** است. اما در حالت B سرعت ورزشکار در حال افزایش است و سرعت ثانویه بیشتر از سرعت اولیه او می‌شود، پس **شتاب مثبت** است. حال وضعیتی را در نظر بگیرید که دونده پس از گذشتن از خط پایان سرعتش را کم می‌کند یعنی سرعت ثانویه او کمتر از سرعت اولیه‌اش می‌شود. در این حالت مطابق شکل C، **شتاب منفی** می‌شود. پس می‌توانیم بگوییم که شتاب حرکت، عدی مثبت، صفر و یا منفی است. **واحد اندازه‌گیری شتاب، متر بر مجذور ثانیه** $(\frac{m^2}{s})$ **است.**

برای بدست آوردن شتاب متوسط از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

$$\text{acceleration} = \frac{\text{Velocity}_2\ (\text{سرعت ثانویه}) - \text{Velocity}_1\ (\text{سرعت اولیه})}{\text{time}_2\ (\text{زمان ثانویه}) - \text{time}_1\ (\text{زمان اولیه})} \Rightarrow \bar{a} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$



شکل A: با سرعت ثابت، شتابی برابر صفر خواهیم داشت.

شکل B: با افزایش سرعت، شتابی مثبت خواهیم داشت.

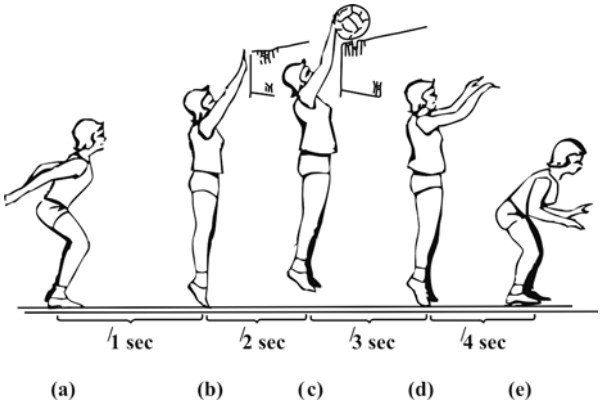
شکل C: با کاهش سرعت، شتابی منفی خواهیم داشت.

شکل۳

والیبالیستی را در نظر بگیرید که مطابق شکل در حال دفاع کردن در روی تور است، سرعت و شتاب حرکت او در لحظات مختلف برابر است با:

در دو نقطه a و b: سرعت جسم در زمان b (سرعت نهایی) نسبت به نقطه a (سرعت اولیه صفر است) افزایش می‌یابد. از طرفی جهت به سمت بالا منفی، است پس سرعت مثبت ولی شتاب منفی است.

در دو نقطه b و c : سرعت جسم در موقعیت d (سرعت نهایی) نسبت به c (سرعت اولیه) افزایش یافته، جهت به سمت پایین، سرعت مثبت و شتاب نیز مثبت خواهد شد. **اما در دو نقطه d و e :** سرعت نهایی در نقطه e صفر، پس سرعت منفی و حرکت دارای شتاب منفی نیز خواهد بود.



شکل ۴: والیبالیست در حال دفاع کردن روی تور

به طور قراردادی جهت حرکت به سمت بالا منفی و جهت حرکت به سمت پایین مثبت در نظر گرفته می‌شود.

مثال۶: اگر فردی شروع به دویدن کند و سرعتش بعد از ۲۰ ثانیه به ۱۰ متر بر ثانیه برسد، شتاب او کدام است؟

۱) $۵\,m/s^۲$ ۲) $۵۰\,m/s$ ۳) $۰/۵\,m/s^۲$ ۴) $۰/۰۵\,m/s^۲$

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» چون از حالت ساکن شروع به دویدن کرده پس:

داده‌های مسئله : $T_۲ = ۲۰S$ و $V_۲ = ۱۰\frac{m}{s}$ خواسته مسئله و : $a = ?\ \ V_۱ = ۰$

$$a = \frac{V_۲ - V_۱}{t_۲ - t_۱} \Rightarrow a = \frac{۱۰ - ۰}{۲۰} = ۰/۵\,m/s^۲$$

مثال۷: شتاب دونده‌ای که در مدت ۵ ثانیه سرعتش را از ۱۲ به ۷ متر بر ثانیه می‌رساند کدام است؟

۱) $۱۰\,m/s^۲$ ۲) $-۱\,m/s^۲$ ۳) $۱\,m/s^۲$ ۴) $۰/۱\,m/s^۲$

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» $a = ?$: خواسته مسئله و $t = ۵\,m/s$, $V_۲ = ۷\,m/s$, $V_۱ = ۱۲\,m/s$: داده‌های مسئله

$$a = \frac{V_۲ - V_۱}{t} \Rightarrow a = \frac{۷ - ۱۲}{۵} = \frac{-۵}{۵} \Rightarrow a = -۱m/s^۲$$

مثال۸: شتاب دوچرخه سواری $۱۰\,m/s^۲$است اگر سرعت اولیه‌ی او $۵\,m/s$ باشد، سرعت ثانویه‌ی او چقدر بوده؟ این تغییرات سرعت در ۴ ثانیه اتفاق افتاده است؟

۱) $۴۵\,m/s$ ۲) $۸\,m/s$ ۳) $۴/۵\,m/s$ ۴) $۳۵\,m/s$

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» $V_۲ = ?$ خواستهٔ مسئله , $V_۱ = ۵\,m/s\ \ t = ۴\,s$, $a = ۱۰\,m/s^۲$, : داده‌های مسئله

$$a = \frac{V_۲ - V_۱}{t} \Rightarrow ۱۰ = \frac{V_۲ - ۵}{۴} \Rightarrow ۴۰ = V_۲ - ۵ \Rightarrow V_۲ = ۴۵\,m/s$$

نکته۵: هرگاه جسم متحرکی در زمان مشخص، شتاب و جهت یکسان داشته باشد، حرکت آن از نوع حرکات ثابت یا یکنواخت است.

معادلات حرکت یکنواخت اجسام

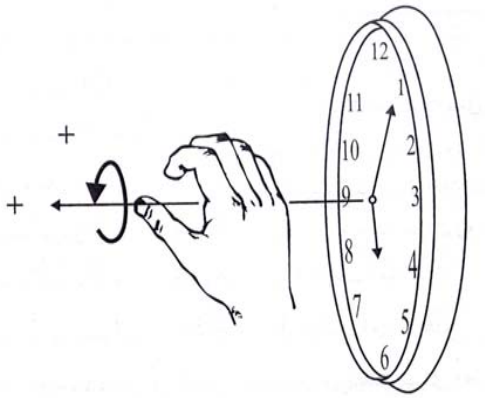
زمانی که مفاهیمی چون سرعت و شتاب را شناختیم، با متغیرهایی چون زمان ، شتاب ، سرعت و مسافت می‌توان معادلاتی را بدست آورد که در توصیف بسیاری از حرکات ورزشی به کار می‌روند. در معادلات زیر که از آنها با عنوان معادلات حرکت یکنواخت یاد می‌شود، $V_۰$ سرعت اولیه، V سرعت نهایی، x مقدار جابه‌جایی جسم در اثر حرکت، a شتاب حرکت جسم در طول مسیر (اگر حرکت عمودی باشد شتاب جاذبه زمین است که برابر است با $g = ۹/۸\frac{m^۲}{s}$) و t مدت زمانی که حرکت انجام می‌شود، هستند. از کاربردهای این معادلات می‌توان به محاسبه‌ی مدت زمان افتادن یک جسم اشاره

مثال۲: ژیمناستی به دور میله‌ی بارفیکس ۱۴۰درجه می‌چرخد و سپس در همان حالت می‌ایستد، مسافت و جابه‌جایی زاویه‌ای آن کدام است؟

۱) ۱۴۰و ۱۴۰درجه　　۲) ۱۴۰و ۲۲۰درجه　　۳) ۲۲۰و ۱۴۰درجه　　۴) صفر و ۲۲۰درجه

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» گفته شده اگر زاویه‌ی طی شده ۱۸۰ درجه و یا کمتر از آن باشد مسافت و جابه‌جایی زاویه‌ای برابرند.

سرعت زاویه‌ای و تندی زاویه‌ای



شکل ۲: هنگامی که انگشتان خم شده جهت حرکت عقربه‌های ساعت را نشان دهند، جهت مثبت حرکت زاویه‌ای به نمایش گذاشته می شود. در این حالت انگشتان شمست در جهت مثبت حرکت محور چرخش قرار می‌گیرد.

سرعت متوسط زاویه‌ای یک جسم، **میزان تغییرات جابه‌جایی زاویه‌ای در یک محدوده زمانی** مشخص است. سرعت زاویه‌ای کمیتی برداری است که با (ω) نشان داده می‌شود. از طرف دیگر تندی زاویه‌ای با **میزان تغییرات مسافت زاویه‌ای در یک محدوده زمانی** مشخص تعریف می‌شود که با (σ) نشان داده می‌شود که به‌صورت جبری زیر نوشته می‌شوند:

$$\text{(تندی زاویه‌ای)}\ \sigma=\frac{\Delta\phi(\text{تغییرات مسافت زاویه‌ای})}{\Delta t(\text{تغییرات زمان})}\ ,\ \text{(سرعت زاویه‌ای)}\ \omega=\frac{\Delta\theta(\text{تغییرات زاویه‌ای})}{\Delta t(\text{تغییرات زمان})}$$

برای تعریف جهت بردار سرعت زاویه‌ای از قانون انگشتان دست راست استفاده می‌کنیم. اگر انگشتان دست راست به‌صورت جمع شده در جهتی که چرخش انجام می‌شود. قرار گیرد، انگشت شست جهت بردار حرکت زاویه‌ای را نشان می‌دهد.

شتاب زاویه‌ای (Angular Acceleration)

برای توصیف و درک کامل علل حرکت زاویه‌ای، محاسبه و فهم شتاب زاویه‌ای بسیار مهم است. شتاب حرکت زاویه‌ای که مقدار متوسط آن را با حرف a نشان می‌دهند عبارت است از **میزان تغییرات سرعت زاویه‌ای یک جسم در رابطه با** زمان یا به عبارت دیگر **تغییرات سرعت زاویه‌ای تقسیم بر زمان** که به‌صورت جبری زیر نوشته می‌شود:

$$\text{(شتاب زاویه‌ای)}\ \bar{a}=\frac{\text{سرعت زاویه‌ای ثانویه }(\omega_2)-\text{سرعت زاویه‌ای اولیه }(\omega_1)}{\text{زمان }(t)}\Rightarrow\ \bar{a}=\frac{\omega_2-\omega_1}{t}$$

واحد اندازه‌گیری شتاب زاویه‌ای، درجه بر مجذور ثانیه است.

مثال۳: اگر ژیمناستی در حال دوران به دور میله‌ی بارفیکس باشد، در لحظه‌ی عبور از وضعیت افقی نسبت به زمین سرعت زاویه‌اش ۵۰ درجه بر ثانیه باشد و هنگامی که به وضعیت عمودی به زیر میله‌ی بارفیکس می‌رسد سرعت زاویه‌اش به ۲۰۰ درجه بر ثانیه می‌رسد، حد متوسط شتاب آن را حساب کنید اگر فاصله زمانی این دو نقطه در ۰/۳ ثانیه طی شده باشد؟

۱) ۴۰۰درجه بر مجذور ثانیه　　۲) ۵۰۰ درجه بر مجذور ثانیه　　۳) ۴۰۰ درجه بر ثانیه　　۴) ۵۰۰ درجه بر ثانیه

☑ **پاسخ:** گزینه «۲»

$?=\bar{a}$: خواسته مسئله　:　$t=3s$　و　درجه بر ثانیه $\omega_2=200$ و درجه بر ثانیه $\omega_1=500$: داده‌های مسئله

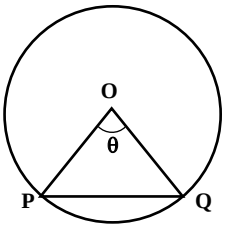
$$\bar{a}=\frac{\omega_2-\omega_1}{t}\Rightarrow\bar{a}=\frac{200-50}{3}\quad \bar{a}=500\ \text{درجه بر مجذور ثانیه}$$

دقت شود واحد اندازه‌گیری شتاب زاویه‌ای درجه بر مجذور ثانیه است.

واحدهای اندازه‌گیری در حرکت زاویه‌ای

برای اندازه‌گیری مسافت زاویه‌ای حداقل ۳ واحد مختلف اندازه‌گیری ممکن است به کار رود. وقتی در شیرجه از **چرخش** صحبت می کنیم به ذهن خطور می‌کند که شیرجه رونده در حول محور افقی بدن می‌چرخد و سپس وارد آب می‌شود. گاهی این چرخیدن با پیچ مطرح می‌شود که منظور در این حالت آن است که شیرجه رونده در حول محور طولی بدن خود نیز می‌پیچد. که واحد اندازه‌گیری در اینجا دور بدن می‌باشد که هر دور کامل مساوی با ۳۶۰ درجه می‌باشد. واحد دوم که برای اندازه‌گیری حرکت زاویه‌ای به کار می‌رود **درجه** است که منظور از هر درجه برابر است با $\frac{۱}{۳۶۰}$ دور که در زندگی روزانه خود بسیار از آن استفاده می‌کنیم و در پرتاب‌ها کاربرد بسیار دارد. اما واحد سوم که برای اندازه‌گیری حرکت زاویه‌ای به کار برده می‌شود **رادیان** است که در ورزش به ندرت استفاده می‌شود. رادیان را به صورت زیر تعریف می‌کنند:

هر گاه طول قوس PQ برابر با شعاع دایره باشد زاویه POQ که به وسیله دو شعاع قوس PQ در مرکز دایره ساخته می‌شود مساوی یک رادیان است. یک رادیان ۵۷/۳ درجه می‌باشد که مساوی با ۱۶% از یک دور کامل باشد.



$\theta = 1\text{Radian}$

$$\frac{\text{محیط دایره}}{\text{شعاع}} = \frac{۲\pi r}{r} = ۲\pi$$

اگر شیرجه رونده‌ای یک دور و نیم چرخش را با دو پیچ اجرا کند باید بگوییم این شیرجه رونده به اندازه ۷۲۰ درجه می‌پیچد و ۵۴۰ درجه می‌چرخد. ($۱/۵ \times ۳۶۰ = ۵۴۰$ ، $۲ \times ۳۶۰ = ۷۲۰$) دقت شود هر دور دایره ۶/۲۸ رادیان یا ۲π است. پس به طور خلاصه واحدهای اندازه‌گیری حرکت زاویه‌ای

۱- دور (۳۶۰ درجه) ۲ـ درجه ($\frac{۱}{۳۶۰}$) ۳ـ رادیان (۵۷/۳ درجه) هستند.

سرعت خطی (Linear Velocity) و سرعت زاویه‌ای (Angular Velocity)

در اکثر ورزش‌ها، ورزشکاران ممکن است از حرکت زاویه‌ای به منظور افزایش و ایجاد سرعت بیشتر در وسیله خود استفاده کنند. پرتاب کننده‌ی چکش سه یا چهار مرتبه و هر بار با سرعت بیشتری به دور خود و به منظور افزایش سرعت چکش می‌چرخد و سپس آن را در فضا رها می‌کند. بازیکن گلف نیز تقریباً همین کار را با تاب دادن چوب گلف خود قبل از ضربه‌زدن به توپ انجام می‌دهد. در اکثر ورزش‌های پرتابی و بخصوص در موارد پرتابی دو و میدانی ورزشکاران برای به دست آوردن سرعت بیشتر در وسیله خود به حرکات چرخشی و یا زاویه‌ای متوسل می‌شوند. ارتباط بین سرعت خطی و سرعت زاویه‌ای براساس فرمول زیر می‌باشد:

که در آن V سرعت خطی، r شعاع دوران، ω سرعت زاویه‌ای است. $\mathbf{V = r\omega}$

بنابر رابطه فوق هر چه سرعت زاویه‌ای بیشتر باشد، سرعت رهایی نیز بیشتر خواهد شد.

این معادله نشان دهنده‌ی این موضوع است که سرعت خطی (V) برابر است با حاصلضرب سرعت زاویه‌ای (ω) شعاع دوران (r). متغیرهای V و ω و r بردار بوده و دارای هر دو ویژگی مقدار و جهت مشخص برای r و V هستند. در ضرب برداری، نتیجه ضرب برداری عمود بر بردارهای اصلی است. حال برای تعیین رابطه بین شتاب خطی و زاویه‌ای، با استفاده از معادله فوق و تغییرات در هر دو بخش مربوط به مقدار و جهت هر بردار چنین خواهیم داشت:

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{\Delta(r \times \omega)}{\Delta T} \Rightarrow a = (\omega \times \frac{\Delta r}{\Delta t}) + (\frac{\Delta \omega}{\Delta T} \times r) \Rightarrow a = (\omega \times v) + (a \times r) \xrightarrow{\text{پس}} a = \omega \times (\omega \times v) + (a \times r)$$

$$\xrightarrow{\text{در آخر خواهیم داشت}} a = r\omega^{۲} + ra$$

از آنجا که جهت سرعت در طول حرکت زاویه‌ای تغییر می‌کند، $r\omega$ هرگز صفر نمی‌شود، اما ra در صورتی که مقدار سرعت ثابت باشد، ممکن است صفر شود.

نکته۲: هرگاه ۱۵ سانتی متر به شعاع دورانی چکش اضافه شود این تغییر می‌تواند بیش از ۱۰ متر در نتیجه پرتاب مؤثر واقع شود. (سمت چرخش و زاویه پرتاب ثابت باشند).

مثال۴: قانون شست دست در حرکات زاویه‌ای طوری است که در آن انگشت شست ..... و ۴ انگشت دیگر .....را نشان می‌دهد.

۱) چرخش ـ جهت حرکت　　۲) جهت حرکت ـ جهت حرکت　　۳) جهت حرکت ـ چرخش　　۴) چرخش ـ چرخش

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» در قانون دست راست، انگشت شست جهت حرکت زاویه‌ای و ۴ انگشت دیگر چرخش را مشخص می‌کند.

مثال ۵: کدام فرمول رابطه‌ی سرعت خطی و زاویه‌ای را نشان می‌دهد؟

۱) $V = r\omega^2$　　۲) $a = \frac{V^2}{r}$　　۳) $a = r\omega^2$　　۴) $V = r\omega$

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» ارتباط بین سرعت خطی و زاویه‌ای براساس فرمول $V = r\omega$ است.

شتاب مماسی (Tangential Acceleration) و شتاب شعاعی (Radial Acceleration)

بازیکن بولینگ برای حمل توپ ابتدا آن را به طور عمودی پایین می‌آورد و در انتهای حرکت حمل توپ از حالت عمودی به وضعیت افقی تبدیل می‌شود و در بین این دو وضعیت ابتدا و انتهای حرکت توپ بولینگ طی یک سری حرکت که جهت آن اغلب به طرف پایین و به جلو می‌باشد، تغییر محل پیدا می‌کند. برای تغییر جهت حرکت یک جسم باید شتاب حرکت آن زیادتر شود. در مورد توپ بولینگ تغییر جهت حرکت توپ توسط اثر باز دارنده بازو،که اجازه نمی‌دهند توپ در مسیر اولیه خود یعنی به طرف پایین حرکت کند، به وجود می‌آید. این اثر باز دارنده باعث می‌شود تا مسیر توپ عوض شده و به طرف داخل دایره و در جهت دلخواه تسریع گردد. این تغییر حرکت را به نام **شتاب شعاعی** می نامند و از فرمول:

$$\text{Redial acceleration} = \frac{\text{Velocity}^2 \text{ (سرعت)}}{\text{Radial (شعاع دوران)}} \Rightarrow a_R = \frac{V^2}{r} \xrightarrow{\text{از آنجایی که } (V=r\omega)}$$

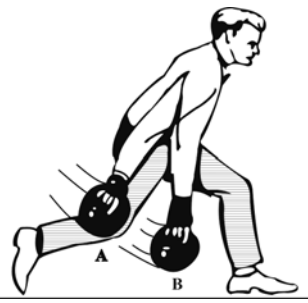
$$a_R = \frac{(r\omega)^2}{r} \Rightarrow a_R = \frac{r^2\omega^2}{r} \xrightarrow{\text{پس خواهیم داشت}} a_R = r\omega^2$$

که در فرمول فوق، V نمایانگر سرعت خطی، r شعاع دوران و ω سرعت زاویه‌ای است.

حال درحرکت طبیعی بولینگ موقعی که توپ را بازیکن حمل و برای پرتاب آماده می کند، مقدار و جهت حرکت دائماً به طرف پایین و جلو و تا لحظه رهایی توپ تغییر می‌کند. میزان تغییرات سرعت توپ در مسیر منحنی آن همان **شتاب مماسی** بر توپ می‌باشد که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Tangential Acceleration (شتاب مماسی)} = \frac{\text{Velocity}_2 \text{ (سرعت مماس ثانویه)} - \text{Velocity}_1 \text{ (سرعت مماس اولیه)}}{\text{Time (زمان)}} \Rightarrow a_T = \frac{V_2 - V_1}{T}$$

مثال۶: اگر سرعت توپ بولینگی در آخرین لحظه‌های رهایی ۲۰ متر بر ثانیه و ۰/۲ ثانیه قبل از آن ۱۰ متر بر ثانیه باشد، شتاب مماسی و شعاعی آن کدام است؟ (طول دست بولینگ باز ۷۵ سانتی‌متر و شعاع توپ ۵۵ سانتی‌متر است).



۱) ۵۰ و ۵۰ متر بر مجذور ثانیه

۲) ۳۰۷و ۳۰۷ متر بر مجذور ثانیه

۳) ۳۰۷و ۵۰ متر بر مجذور ثانیه

۴) ۵۰ و ۳۰۷ متر بر مجذور ثانیه

☑ **پاسخ:** گزینه «۳»

داده‌های مسئله: $t = 0/2s$ ، $V_1 = 10\frac{m}{s}$ ، $V_2 = 20\frac{m}{s}$　　خواسته مسئله: $a_R = ?$ ، $a_T = ?$

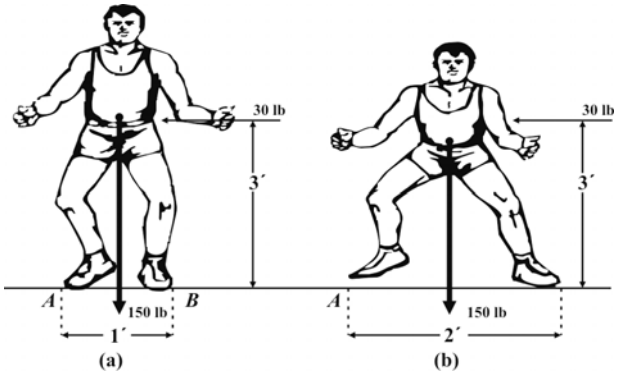
شعاع چرخش = شعاع توپ + طول دست $\Rightarrow$ شعاع چرخش $= 0/75 + 0/55 = 1/35m$

$a_R \frac{V_2 - V_1}{t} \Rightarrow \frac{20-10}{0/2} = 50$ متر بر مجذور ثانیه $\frac{m}{s^2}$　،　$a_T = \frac{V^2}{r} \Rightarrow a_T = \frac{(20)^2}{1/3} = \frac{400}{1/3} = 307$ متر به مجذور ثانیه $\frac{m}{s^2}$

عوامل مؤثر بر پایداری

۱ـ وضعیت و طرز قرار گرفتن خط گرانش زمین در ارتباط با محدوده سطح اتکا: کشتی‌گیری را در نظر بگیرید، هنگامی که پاهای او نزدیک به هم هستند از طرف حریف نیروی بر کشتی‌گیر وارد شده و تعادلش براحتی برهم می‌خورد اما اگر کشتی‌گیر پاهای خود را کمی باز کند، پایداری خود را افزایش می‌دهد چونکه با زیاد کردن فاصله بین دو پا مساحت سطح اتکا بیشتر شده و سطح اتکا هم رابطه‌ی مستقیمی با پایداری دارد. با افزایش سطح اتکا، فاصله خط گرانش زمین تا محدوده سطح اتکا زیاد می‌گردد. مثال دیگر، می‌توان به شناگری اشاره کرد که در وضعیت شروع مسابقه است. او در این حالت سعی می‌کند تا خط گرانش زمین را که از داخل بدنش می‌گذرد را به حاشیه‌ی جلویی سطح اتکا نزدیک کند تا بلافاصله پس از صدای تپانچه بتواند با کمترین نیرو حرکت خود را به جلو آغاز کند.

دونده سرعت هم که در وضعیت شروع مسابقه است همین کار را انجام می‌دهد تا خط گرانش زمین را تا آنجا که ممکن است به لبه یا حاشیه جلویی سطح اتکا نزدیک کند تا پس از صدای شروع بتواند با کمترین نیرو حرکت خودرا شروع کند. بازیکن مدافع در بسکتبال چنانچه در مقابل حریفی قرارگیرد که سعی دارد به طرف حلقه فرار کند باید خط گرانش بدن خود را متمایل به حاشیه عقب سطح اتکا در آورد تا در صورتی که حریف فرارکرد بتواند با حداقل نیرو تعادل خود را در جهت عقب به هم زده و شروع به حرکت کند تا حریف نتواند او را جا بگذارد.



شکل ۲۳: پایداری تعادل تحت تأثیر مسافت خط گرانش تا محدوده سطح اتکاء می‌باشد.

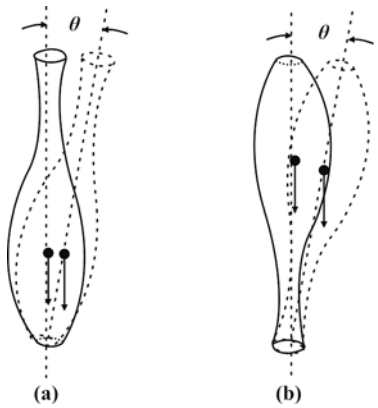
۲ـ وزن: وزن رابطه‌ی مستقیمی با پایداری دارد. هر چه وزن یک جسم بیشتر باشد پایداری آن بیشتر و هر چه وزن آن کمتر باشد پایداری آن نیز کمتر است. برای مثال کشتی‌گیری را در نظر بگیرید که وزن بیشتری نسبت به حریف خود دارد. کشتی‌گیری که دارای وزن بیشتری است پایداری بیشتری نسبت به کشتی‌گیر کم وزن‌تر دارد و تعادلش دیرتر و سخت‌تر به هم می‌خورد.

مثال۱۴: در مبحث وزن هر چه وزن یک جسم بیشتر باشد پایداری آن .....

۱) کمتر است. ۲) بیشتر است. ۳) متعادل است. ۴) هیچکدام

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» در مبحث وزن هرچه وزن یک جسم بیشتر باشد پایداری آن بیشتر است. برای مثال کشتی‌گیری را در نظر بگیرید که وزن بیشتری نسبت به حریف دارد در این صورت کشتی‌گیری که دارای وزن بیشتری است پایداری بیشتری نسبت به کشتی‌گیر کم وزن دارد.

۳ـ ارتفاع مرکز گرانش جسم در رابطه با سطح اتکا آن: ارتفاع مرکز گرانش رابطه‌ی معکوسی با پایداری دارد. هر چه ارتفاع مرکز گرانش بالاتر باشد پایداری آن کمتر و تعادل آن زودتر به هم می‌خورد و هر چه ارتفاع مرکز گرانش پایین‌تر باشد پایداری بیشتر و تعادل دیرتر بر هم می‌خورد. برای مثال می‌توان به میله‌ی سوئدی اشاره کرد که آن را با هر دو سرش به حالت تعادل روی زمین قرار می‌دهیم. سطح اتکا از نظر مساحت در وضعیت‌های a و b برابر است اما مرکز گرانش آنها با توجه به اینکه کدام سر روی زمین قرار گرفته است با هم متفاوت است. مرکز گرانش در هر دو حالت روی خط مرکزی است که میله‌ی سوئدی را به دو نیمه‌ی مساوی و مشابه تقسیم می‌کند. اما مرکز ثقل در حالتی که سر پهن میله روی زمین قرار گیرد فاصله آن تا زمین کمتر و در نتیجه پایداریش نیز بیشتر است.



شکل ۲۴: در شرایط یکسان مانند میله‌های رسم شده در این تصویر.

مثال۱۵: کدامیک از موارد زیر از عوامل موثر بر پایداری نمی‌باشند؟

۱) اندازه حرکت زاویه‌ای ـ وزن ـ انتقال اندازه حرکت
۲) وضعیت و طرز قرار گرفتن خط گرانش زمین ـ انتقال اندازه حرکت، ارتفاع مرکز گرانش جسم در رابطه با سطح اتکا
۳) وزن ـ مرکز ـ شناوری ـ انتقال اندازه حرکت
۴) وضعیت و طرز قرار گرفتن خط گرانش زمین ـ وزن ـ ارتفاع مرکز گرانش جسم در رابطه با سطح اتکاء آن

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» وضعیت و طرز قرار گرفتن خط گرانش زمین ـ وزن ـ ارتفاع مرکز گرانش جسم در رابطه با سطح اتکاء آن

اندازه حرکت زاویه‌ای (Angular Momentum)

شکل ۲۵: یک شیرجه رو را که با دستکاری در گشتاور اینرسی میزان چرخش بدن را هنگام ورود به استخر کنترل کرده است نشان می‌دهد.

اجسامی که دارای حرکت چرخشی هستند، اندازه حرکت زاویه‌ای آنها برابر است با حاصلضرب اندازه گشتاور اینرسی و سرعت زاویه‌ای:

(سرعت زاویه‌ای) ω × (گشتاور اینرسی) I = (اندازه حرکت زاویه‌ای) L

گشتاور اینرسی و سرعت زاویه‌ای رابطه عکس با هم دارند. وقتی یک شیرجه‌رو در حال اجرای مهارت در فضا است، گشتاورهای خارجی بر روی بدن آن اثری ندارد و به همین دلیل اندازه حرکت زاویه‌ای نیز ثابت می‌ماند. حال اگر شیرجه‌رو در فضا تغییری در گشتاور اینرسی خود به وجود آورد باید حتماً تغییری در سرعت زاویه‌ای‌اش به وجود آورد تا اندازه حرکت زاویه‌ای‌اش ثابت بماند. بنابراین زمانی که بدنش را جمع می‌کند سرعت زاویه‌ای افزایش و گشتاور کاهش و هنگامی که بدنش را برای فرود آمدن باز می‌کند، سرعت زاویه‌ای‌اش کاهش و گشتاور اینرسی افزایش می‌یابد.

مثال۱۶: در مبحث اندازه حرکت زاویه‌ای زمانی که شیرجه رو در حال اجرای مهارتی در فضا است به محض آنکه تغییری در گشتاور اینرسی خود به وجود آورد سرعت زاویه‌ای ..... و گشتاور اینرسی ..... و هنگامی که بدنش را برای فرود آمدن باز می‌کند سرعت زاویه‌ای‌اش ..... و گشتاور ..... می‌یابد.

۱) کاهش ـ افزایش ـ کاهش ـ کاهش
۲) افزایش ـ کاهش ـ کاهش ـ افزایش
۳) کاهش ـ کاهش ـ افزایش ـ کاهش
۴) کاهش ـ افزایش ـ افزایش ـ افزایش

☑ **پاسخ:** گزینه «۲»

انتقال اندازه حرکت

اندازه حرکت زمانی که جسم در فضا معلق است، مقداری ثابت است. برای مثال شیرجه‌رونده‌ای را در نظر بگیرید که مهارت جک از جلو را به نمایش می‌گذارد. وقتی که او به وضعیت جک می‌رود گشتاور اندازه حرکت زاویه‌ای پاهای او کم شده و به صفر می‌رسد و یا نزدیک صفر می‌شود. و گشتاور اندازه حرکت زاویه‌ای دستها و تنه بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. اما این روند موقعی که شیرجه رونده در وضعیت فرود در آب است برعکس می‌شود. از گشتاور حرکت زاویه‌ای دستها و تنه کاسته شده و به صفر نزدیک و یا به صفر می‌رسد در صورتی که پاها به پا تاب خورده و در خط بقیه بدن قرار می‌گیرد. به این روند که در آن گشتاور اندازه حرکت زاویه‌ای در جسم مجدداً پخش و توزیع می‌شود را **انتقال اندازه حرکتی یا انتقال گشتاور** گویند.

مثال۱۷: به روندی که در آن گشتاور اندازه حرکت زاویه‌ای در جسم پخش و توزیع می‌شود را ..... گویند.

۱) اندازه، حرکت زاویه‌ای
۲) انتقال اندازه حرکت
۳) ارتفاع مرکز گرانش
۴) پایداری

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» به روندی که در آن گشتاور اندازه حرکت زاویه‌ای در جسم پخش و توزیع می‌شود را انتقال اندازه حرکتی یا انتقال گشتاور اینرسی گویند.

رابطه قوانین نیوتن با حرکت‌های دورانی

قانون اول: جسمی که در حال چرخش حول محوری است پیوسته با یک گشتاور زاویه‌ای ثابت به چرخش خود ادامه می‌دهد مگر اینکه جفت نیرو یا نیروی برونگرایی بر آن وارد شود. ژیمناست مبتدی که در حال فراگیری نیم پشتک است جهت آماده شدن برای فرود، بدن خود را جمع و بسته می‌کند. او بطور غریزی می‌داند که اندازه حرکت زاویه‌ای او برای اجرای مهارت بطور کامل کافی نیست و لذا بدن خود را جمع کرده و از این طریق به سرعت زاویه‌ای خود می‌افزاید تا لااقل از زمین خوردن به پشت اجتناب کند. **به قانون اول نیوتن در رابطه با حرکت‌های زاویه‌ای، اصل بقا اندازه حرکت زاویه‌ای می‌گویند.**

قانون دوم: میزان تغییر اندازه حرکت زاویه‌ای یک جسم متناسب است با نیرویی که موجب چرخش آن جسم می‌شود و لذا دارای جهتی همانند نیروی یاد شده است و می‌توان به شکل جبری زیر نوشت:

$$\text{Torque} = I \times \alpha \xrightarrow{\alpha=\frac{\omega_2-\omega_1}{t}} T = I \times \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$$

(گشتاور اعمال شده که در آن I گشتاور اینرسی، a شتاب زاویه‌ای، ω_1 و ω_2 سرعت زاویه‌ای اولیه و ثانویه و t زمان).

نیروی بالابرنده

همانطور که گفته شد نیروی بالا برنده یا سوق، نیرویی است عمود بر نیروی کشش و سبب حرکت جسم به سمت بالا می‌شود. پرتاب کنندگان دیسک و نیزه سعی می‌کنند تا وسیله‌ی ورزشی خود را طوری پرتاب کنند که با حداقل نیروی کشش مواجه شوند و در نتیجه از سرعت حرکت به تدریج بکاهند و در عین حال از مؤلفه‌ی بالابرنده بیشترین استفاده را بکنند طوری که وسیله‌ی ورزشی در هوا حفظ شده و طول مدت پرواز را زیاد کند.
در پرش با اسکی نیز همین هدف دنبال می‌شود یا در اسکی روی آب برای بالا رفتن و روی سطح آب قرارگرفتن از همین اصول پیروی می‌شود. وقتی زاویه‌ی بین جریان هوا و جسم صفر و ۹۰ درجه باشد، نیروی بالابرنده بسیار ناچیز و یا صفر است و هنگامی که زاویه حمله ۲۷ یا ۲۸ درجه باشد،نیروی بالابرنده حداکثر خواهد بود. جهت صفحه یک جسم با جریان هوا را زاویه‌ی حمله گویند. بهترین زاویه‌ی حمله ۱۰ درجه می‌باشد که نسبت نیروی بالابر بر نیروی کشش آن به حداکثر می‌رسد.

رابطه فشار و عمق

غواصان بخوبی می‌دانند که زمانی که به عمق دریا و دریاچه می‌روند همزمان با ورود آنها به اعماق دریا، فشار نیز افزایش می‌یابد. در رابطه با فشار اتمسفر نیز همزمان با افزایش ارتفاع، کاهش می‌یابد به همین دلیل نیز سفینه‌های فضایی به کابین‌های تنظیم فشار مجهز هستند. فشار در مایعات فقط بستگی به عمق دارد، بنابراین هر افزایش فشار در سطح به تمام نقاط در مایع منتقل می‌شود. این اصل توسط دانشمند فرانسوی بلایزر پاسکال کشف شد که بعدها به **قانون پاسکال** معروف شد: **تغییری که روی فشار سطح حاصل می‌شود به تمام نقاط درون مایع و به دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود.**

دانستنی‌ها

ارشمیدس (Arachimedes) ، ریاضیدان، فیزیکدان و مهندس یونانی یکی از بزرگترین دانشمندان عهد عتیق بود. ارشمیدس اولین کسی بود که محاسبه دقیق نسبت محیط دایره به قطر آن پرداخت و چگونگی محاسبه حجم و مساحت سطح جسم دوار را مشخص کرد. از اختراعات مهم ارشمیدس می‌توان به **پیچ ارشمیدس** اشاره کرد که یک تیوپ سیم پیچی است که به صورت مایل می چرخد و برای بالا بردن آب از انبار کشتی‌ها استفاده می‌شد. همچنین ارشمیدس را به عنوان **مخترع تیر و کمان** و **دستگاه‌های مرتبط با سیستم‌های اهرمی** و **وزن نمودن اجسام سنگین** و **کاشف نیروی شناوری** بر روی اجسام می‌شناسند. براساس روایت مورخان، هیرون شاه از ارشمیدس خواست تا مشخص کند آیا تاج شاهی‌اش از طلای خالص است و یا اینکه با برخی فلزهای دیگر آمیخته شده بدون اینکه صدمه‌ای به تاج پادشاه برساند. ارشمیدس هنگامی که در حال حمام کردن بود متوجه شد با وارد کردن اندام فوقانی و یا اندام تحتانی در ظرف آب، مقداری از آب جابه‌جا می‌شود و به همین وسیله راه حل را برای پاسخ به پادشاه پیدا نمود. این راه حل که بعدها به **قانون ارشمیدس** مشهور شد این بود که هرگاه جسمی به‌طور کامل یا بخشی از آن در سیال غوطه‌ور شود، توسط نیرویی روی سیال، شناور نگه داشته می‌شود که مقدار آن نیرو، برابر اندازه‌ی وزن سیال جابه‌جا شده به وسیله آن جسم است. نیروی رو به بالا که سیال روی جسم شناور در آن عمل می‌کند، نیروی شناوری نامیده می‌شود. براساس قانون ارشمیدس، بزرگی نیروی شناوری همیشه برابر با وزن سیال جابه‌جا شده به وسیله جسم شناور در سیال است. نیروی شناوری به‌صورت عمودی به مرکز ثقل سیال جابه‌جا شده اعمال می‌شود.

تست‌های طبقه‌بندی شده فصل هشتم

۱ـ حفره‌های ریز بر روی توپ گلف، موجب کاهش کدام‌یک از نیروهای کششی زیر می‌شود؟ (سراسری ۸۱)

۱) سطح ۲) شکل ۳) اِدی ۴) امواج هوا

۲ـ کدام یک از موارد ذیل درباره شناگری که در سطح آب به شکل مایل در آب غوطه‌ور و ساکن است صحیح می‌باشد؟ (سراسری ۸۲)

۱) نیروی شناوری به سر او نزدیکتر است.
۲) نیروی شناوری و وزن او در یک راستا قرار دارند.
۳) نیروی گرانش به سر او نزدیکتر است.
۴) نیروی وزن به پاهای او نزدیک می‌باشد.

۳ـ با تغییر تناسب بافت‌های بدن در اثر گذشت عمر و افزایش درصد چربی بدن، قابلیت شناوری او در آب: (آزاد ۸۳)

۱) زیادتر می‌شود.
۲) کمتر می‌شود.
۳) تغییری پیدا نمی‌کند.
۴) به اندازه کمی کاهش پیدا می‌کند.

۴ـ مقدار آبی که به وسیله بدن شناگر جابه‌جا می‌شود تحت تأثیر عملکرد کدام نیروها به حالت تعادل در می‌آید؟ (آزاد ۸۳)

۱) وزن آب و وزن شناگر
۲) وزن شناگر و نیروی شناوری
۳) نیروی شناوری و وزن آب
۴) نیروی شناوری و مقاومت فشار آب

۵ـ در حالت شناوری (به صورت افقی) بر روی آب اگر: (سراسری ۸۴)

۱) پاها را جمع کنیم نیروی شناوری و خط ثقل از هم دور می‌شوند.
۲) پاها را جمع کنیم نیروی شناوری و خط ثقل به هم نزدیک می‌شوند.
۳) دست‌ها را به بالای سر ببریم نیروی شناوری و خط ثقل از هم دور می‌شوند.
۴) دست‌ها را به تنه نزدیک کنیم نیروی شناوری و خط ثقل به هم نزدیک می‌شوند.

۶ـ چرا به شناگران توصیه می‌شود تا هنگام سرخوردن در آب حدود ۱۰ سانتی‌متر زیر سطح آب باشند؟ زیرا ..... (آزاد ۸۴)

۱) شکل و سطح کشش کم می‌شود.
۲) کشش موج کم شود.
۳) نیروی جلو برنده افزایش می‌یابد.
۴) نیروی بالا برنده افزایش می‌یابد.

۷ـ نیروی شناوری برابر است با: (سراسری ۸۵)

۱) فشاری که وزن بدن شناگر به آب وارد می‌کند.
۲) فشاری که جرم بدن شناگر بر آب وارد می‌کند.
۳) برآیند نیروهای عمودی که آب بر جسم وارد می‌کند.
۴) برآیند حاصل از وزن جسم (مرکز ثقل) و مرکز شناوری جسم

۸ـ شناگر کرال سینه، در حرکت پارویی دست به سمت داخل (مسیر حرکت دست به سمت خط میانی بدن به سمت عقب) و در حرکت پارویی دست به سمت خارج (مسیر حرکت دست از خط میانی به سمت پهلو، عقب و بالا) نیروی پیش‌برنده اصلی خود را به ترتیب از کدام نیروها تأمین می‌کند؟ (آزاد ۸۵)

۱) نیروی بالا برنده، نیروی بالا برنده
۲) نیروی بالا برنده، نیروی کشش
۳) نیروی کشش، نیروی بالا برنده
۴) نیروی کشش، نیروی کشش

۹ـ مؤثرترین نیروی رانش بر بدن شناگر، کدام است؟ (آزاد ۸۵)

۱) افزایش سطح مقطع بدن شناگر ۲) افزایش چگالی آب ۳) افزایش نیروی شناوری ۴) افزایش نیروی جلوبرنده شناگر

۱۰ـ شناگری که موقعیت اندام فوقانی‌اش را از کنار سر به سمت پهلوی اندام تحتانی حرکت می‌دهد: (آزاد ۸۹)

۱) حرکت مرکز شناوری به سمت پا، همسان با مرکز گرانش می‌شود.
۲) حرکت مرکز شناوری به سمت پا، بزرگتر از مرکز گرانش می‌شود.
۳) حرکت مرکز شناوری به سمت پا، کوچکتر از مرکز گرانش می‌شود.
۴) در مرکز شناوری و مرکز گرانش، اتفاقی نمی‌افتد.

پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده فصل هشتم

۱ـ گزینه «۲» شکل کشش به چند عامل مختلف وابسته است که عبارتند از: ۱) سطح مقطع جسم که عمود بر جریان هوا می‌باشد. ۲) شکل خارجی ۳) صافی و نرمی سطح جسم. همان‌طور که ذکر شد صافی و نرمی سطح جسم از عوامل تأثیرگذار بر شکل کشش می‌باشد و حفره‌های ریز بروی توپ گلف باعث کاهش شکل کشش می‌شود تا اندازه سرعت و برد توپ افزایش یابد.

۲ـ گزینه «۲» وقتی که مرکز شناوری و مرکز ثقل بدن در امتداد یک خط عمودی(در راستای هم) قرار گیرند بدن شناگر در وضعیت حالت شناور باقی می‌ماند. وقتی که مرکز شناوری منطبق بر مرکز ثقل نباشد ویا در یک خط و عمود بر یکدیگر قرار نگیرند،مرکز شناوری همواره نسبت به مرکز ثقل بدن به سر شناگر نزدیکتر خواهد بود و در واقع وزن بدن و نیروی شناوری به شکل جفت نیرو عمل کرده و سعی می‌کنند پایین تنه‌و پاها را به پایین فشار دهند. در چنین مواردی پاها به تدریج در آب فرو رفته و به نقطه‌ای می‌رسند که در آن وضعیت مرکز شناوری و مرکز ثقل بدن در امتداد یک خط عمودی قرار گیرند و سپس بدن شناگر در آن وضعیت به حالت شناور باقی می‌ماند.

۳ـ گزینه «۱» بدن انسان محتوی چربی (وزن مخصوص $\simeq ۰/۸$، عضله (وزن مخصوص $\simeq ۱$) و استخوان (وزن مخصوص $\simeq ۱/۵$ تا ۱) و ... است. از آنجایی که وزن مخصوص چربی کمتر است با افزایش چربی بدن شناوری افراد نیز بهتر خواهد شد. برای مثال زنان دارای چربی نسبی بیشتری نسبت به مردان هستند و لذا این امر سبب می‌شود که وزن مخصوص بدن آنها کمتر از مردان شود و در نتیجه شناوری بهتری نیز داشته باشند. پس با افزایش چربی، وزن مخصوص کاهش و شناوری بهتر می‌شود.

۴ـ گزینه «۲» آبی که به وسیله شناگر جابه‌جا می‌شود، تحت تأثیر عملکرد دو نیروی عمودی (وزن شناگر که رو به پایین است و نیروی شناوری که از ظرف آب عمود بر بدن شناگر وارد می‌شود) به حالت تعادل در می‌آید. زمانی که این آب متعادل است این دو نیرو نه تنها از نظر مقدار مساوی هستند بلکه باید در جهت خط مستقیم و مخالف یکدیگر عمل کنند و لذا نیروی شناوری مانند وزن باید از داخل مرکز گرانش آبی که در شرف جابه‌جایی است عمل کند.

۵ـ گزینه «۲» در حالت شناوری (به صورت افقی) نیروی شناوری و خط ثقل از یکدیگر دور هستند ولی اگر پاها را به سمت داخل جمع کنیم، نیروی شناور و خط ثقل به هم نزدیک شده و در نزدیکی یک راستا قرار می‌گیرند. به مجموع نیروهای عمودی به سمت بالا که از طرف آب بر شناگر وارد می‌شود نیروی شناوری می‌گویند و بزرگی نیروی شناوری برابر با مقدار آبی است که ورزشکار در حالت شناوری بر روی آب جابجا می‌کند (قانون ارشمیدس)

۶ـ گزینه «۲» کشش موج نیرویی است که در خلاف جهت حرکت شناگران در آب وارد می‌شود و باعث کندتر شدن حرکت آنان می‌شود. برای جلوگیری از این نیرو، به شناگران توصیه می‌شود در هنگام سرخوردن زیر سطح آب حرکت کنند.

۷ـ گزینه «۳» برآیند نیروهای عمودی به سمت بالا که از طرف آب بر شناگر وارد می‌شود را نیروی شناوری می‌گویند. بزرگی نیروی شناوری برابر با مقدار آبی است که ورزشکار در حالت شناوری بر روی آب جابه‌جا می‌کند (قانون ارشمیدس) وقتی یک جسم یا ورزشکار روی سطح آب غوطه ور (شناور) است، در حالت تعادل قرار دارد که باید حاصل جمع نیروهای وارد بر آن در هر جهت صفر باشد.

۸ـ گزینه «۳» نیروی بالابرنده یا سوق نیرویی است عمود بر نیروی کشش که سبب حرکت جسم به سمت بالا می‌شود. در شناگران کرال سینه، در حرکت پا زور به سمت خارج نیروی تأثیرگذار نیروی بالابرنده است و در حرکت پا روی دست به سمت داخل که موجب حرکت به سمت خط میانی بدن و عقب می‌شود، نیروی کشش است.

۹ـ گزینه «۳» نیروی شناوری به مجموعه نیروهای عمودی به سمت بالا که از طرف آب بر شناگر وارد می‌شود گویند. پس مؤثرترین نیروی رانش پریدن شناگر، افزایش دادن نیروی شناوری است.

۱۰ـ گزینه «۱» زمانی که یک جسم یا ورزشکار روی سطح آب شناور است دو نیرو بر آن وارد می‌شود: ۱ـ نیروی وزن شناگر که به سمت پایین است. ۲ـ نیروی شناوری که به سمت بالا است. در تعریف نیروی شناوری گفته شد که به مجموع نیروهای عمودی به سمت بالا که از طرف آب بر شناگر وارد می‌شود گویند. پس با توجه به تعاریف فوق می‌توان گفت زمانی که شناگر اندام فوقانی‌اش را از کنار سر به سمت پهلوی اندام تحتانی حرکت می‌دهد، مرکز شناوری به سمت پا، همسان با مرکز گرانش می‌شود.

آزمون فصل هشتم

۱ـ زمانی شناگر در آب غوطه‌ور می‌ماند که:

۱) وزن مخصوص بیشتر از یک باشد.
۲) وزن مخصوص یک باشد.
۳) وزن مخصوص صفر باشد.
۴) وزن مخصوص کمتر و حداکثر برابر یک باشد.

۲ـ واکس زدن کف قایق‌های مسابقه‌ای برای..... است.

۱) کاهش سطح کشش
۲) کاهش شناوری
۳) افزایش سطح کشش
۴) افزایش شناوری

۳ـ وزن مخصوص زنان نسبت به مردان..... و شناوری آنان..... است.

۱) کمتر ـ کمتر
۲) بیشتر ـ کمتر
۳) بیشتر ـ بیشتر
۴) کمتر ـ بیشتر

۴ـ جریان متلاطم یا ادی:

۱) دارای فشار زیادی هستند
۲) دارای فشار کمی هستند
۳) دارای فشارهای متغیر هستند
۴) فشاری برابر با صفر دارند.

۵ـ Drag force همان:

۱) نیروی شناوری
۲) نیروی کشش
۳) وزن مخصوص
۴) غوطه‌وری

۶ـ در ابتدا و انتهای عمر انسان، وزن مخصوص..... و شناوری..... است.

۱) کم ـ زیاد
۲) زیاد ـ کم
۳) زیاد ـ زیاد
۴) کم ـ کم

۷ـ کدامیک از عوامل زیر بر شناوری یک جسم تأثیرگذار نیست؟

۱) حجم هوای درون شش‌ها
۲) وزن مخصوص
۳) تغییر تناسب بافتهای مختلف بدن
۴) شکل کشش

۸ـ در زوایای..... و ..... نیروی بالا برنده حداکثر خواهد بود.

۱) ۰ و ۹۰ درجه
۲) ۲۷ و ۰ درجه
۳) ۲۷ و ۲۸ درجه
۴) ۲۸ و ۹۰ درجه

۹ـ بعضی از شناگران در مسابقات شنا تمامی طول اول استخر را در زیر آب شنا می‌کنند، علت این امر:

۱) افزایش نیروی کشش سطح
۲) کاهش نیروی کشش سطح
۳) افزایش کشش موج
۴) کاهش کشش موج

۱۰ـ شناگر مبتدی موقعی در حال غوطه‌ور در سطح آب باقی می‌ماند که وزن بدن او.....

۱) بیشتر از وزن آب هم حجم آن باشد.
۲) هوای بیشتری را در ریه‌هایش محبوس کند.
۳) کوچکتر یا مساوی وزن آب هم حجم بدن او باشد.
۴) نسبت عضلات بدن او به چربی‌اش بیشتر باشد.

۱۱ـ در قایقرانی بادی دلیل افزایش سطح بادبان‌ها:

۱) کاهش کشش
۲) افزایش شناوری
۳) کاهش شناوری
۴) افزایش شکل کشش

۱۲ـ دلیل اینکه دوچرخه سوار بر روی فرمان خم می‌شود یا اسکی باز در هنگام پایین آمدن خود را به شکل تخم مرغ درمی‌آورد کدام است؟

۱) افزایش شکل کشش
۲) کاهش شکل کشش
۳) افزایش نیروی وزن به جلو
۴) برای تعادل بیشتر

۱۳ـ پاروهای قایقرانی طوری ساخته می‌شود که وقتی در آب حرکت می‌کند باعث:

۱) افزایش شکل کشش شود.
۲) کاهش شکل کشش شود.
۳) افزایش نیروی شناوری شود.
۴) کاهش نیروی شناوری شود.

۱۴ـ چرا بعضی از شناگران در سطح مسابقات جهانی، موهای سر و بدن خود را می‌تراشند؟

۱) نیروی کشش را کاهش دهند.
۲) نیروی کشش را افزایش دهند.
۳) نیروی شناوری را کم کنند.
۴) نیروی شناوری را زیاد کنند.