اصول رُباتیکز

Principles of robotics

میلاد سلطانی

فهرست مطالب فصل دوم

- مقدمه
- مشخصات فنی و انواع ربات
- بازوی رباتیک
- مفاصل ربات و درجه آزادی
- چرخ دنده ها و انواع آنها
- یاتاقان و انواع آن
- مکانیسم ها
- سینماتیک مستقیم

فصل دوم

مکانیک رُبات

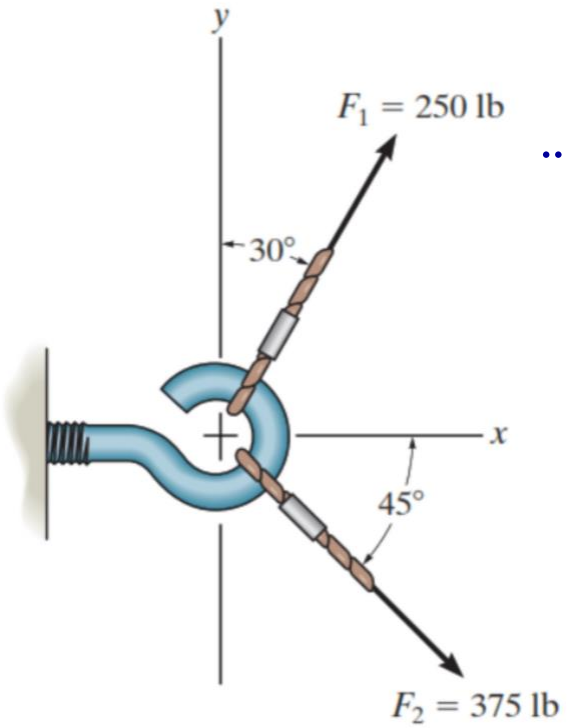
مقدمه

- مکانیک علمی است که به بررسی نیروهای وارد بر سیستم، گشتاور اعمال، شتاب ها و سرعت های ناشی از آنها می پردازد. با این رویکرد می توان علم مکانیک را به دو بخش کلی تقسیم کرد:

* **علم استاتیک:** بخش هایی را مورد بررسی قرار می دهد که روبات ثابت است و حرکتی ندارد.

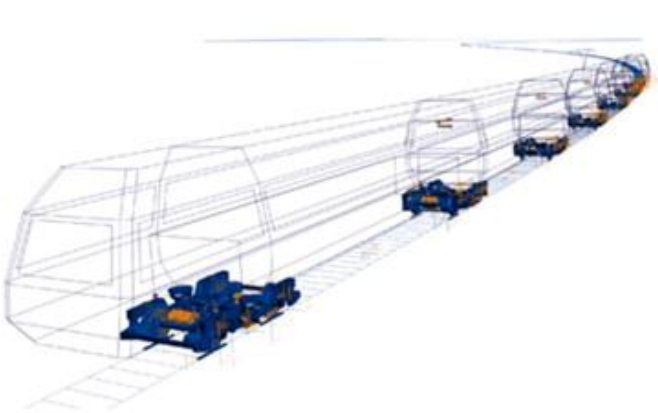
* **علم دینامیک:** سیستم روبات را در حالت حرکت تحلیل می کند.

شاخه های مکانیک در رُبات ها



- **استاتیک:** به بررسی تعادل نیروها در سامانه های بی حرکت می پردازد.
  - * استاتیک بخش های ثابت رُبات را بررسی می کند. مثل نیرو، فشار، گشتاور و ....

- **دینامیک:** سیستم رُبات را در حال حرکت تحلیل می کند.
  - * مثل جابجایی، سرعت، شتاب و ...



بخش های یک ربات

- یک رُبات بطور معمول دارای ۵ بخش است:
  - سیستم مکانیکی مَفصَل شده AMS (Articulated Mechanical System)
    - متشکل از بازوها، اتصالات و عوامل مکانیکی است که در یک مجموعه به هم پیوسته قرار دارند.
  - تحریک کننده ها (Actuators)
    - تحت شرایط کنترل شده و دقیق، توان لازم را برای سیستم مکانیکی مفصل شده فراهم می کند. مانند توان الکتریکی، هیدرولیکی و ...
  - ابزارها و سیستم های انتقال (Transmission System)
    - تحریک کننده ها را به AMS متصل کرده و توان فراهم شده را به بخش مکانیکی منتقل می کند. مانند تسمه دندانه دار، چرخ دنده و ...
  - حسگرها (Sensors)
    - کسب اطلاعات از وضعیت و موقعیت مفاصل رُبات و شرایط محیط مانند نور، گرما و صدا
  - پردازنده یا مغز رُبات CPU
    - اطلاعات دریافتی از حسگرها را پردازش کرده و رُبات را کنترل می کند.

مشخصات فنی جهت انتخاب رُبات مناسب

- بار قابل حمل (Payload)
  - ظرفیت بار قابل حمل توسط رُبات است.
  - از مهمترین پارامترهای انتخاب رُبات می باشد.
  - بار بیشتر از ظرفیت سبب کاهش قابلیت اطمینان شده و برعکس

- زمان انجام سیکل کاری
  - مجموع زمان هایی است که رُبات نیاز دارد تا یک کار مشخص را انجام دهد.
  - تابعی از زمان شتاب گیری، سرعت ماکزیمم و زمان های وقفه است.

مشخصات فنی جهت انتخاب رُبات مناسب

- قابلیت اطمینان (Reliability)
  - زمان متوسط بین هر بار خراب شدن MTBF (Mean Time Between Failure)، یک پارامتر تعیین قابلیت اطمینان است که با آزمایش های بلند مدت توسط سازنده حاصل می شود.

- محدوده کاری (Work Envelope)
  - فضایی که انتهای مُچ رُبات بدون عملگر نهایی به آن می رسد.
  - باید به اندازه ای بزرگ باشد که رُبات اجازه رسیدن به تمام نقاط مورد نیازش داشته باشد.
  - اگر فضا کوچکتر از محدوده کاری رُبات باشد، رُبات را محدود می کنند و اگر فضا بزرگتر باشد، بیش از یک رُبات استفاده می شود.

طبقه بندی ساختار مکانیکی رُبات

- به طور کلی رُبات ها از نظر ساختار مکانیکی به دو دسته سری و موازی تقسیم می شوند.

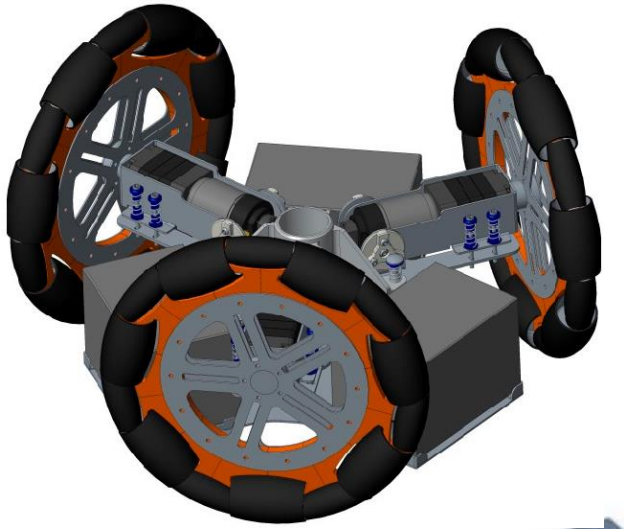
ربات سری

ربات موازی

مقایسه رُبات های سری و موازی

- در رُبات های سری لینک ها به صورت پشت سر هم به یکدیگر متصل شده اند.
- حل مسائل سینماتیک مستقیم در رُبات های سری آسان تر از رُبات های موازی است.
- خطای موقعیت در رُبات های سری بیشتر از موازی است.
- قابلیت تحمل بار در رُبات های سری کمتر از رُبات های موازی است.
- دقت رُبات های سری در مقایسه با رُبات های موازی کمتر است.
- سرعت و شتاب در رُبات های موازی بیشتر از رُباتهای سری است.

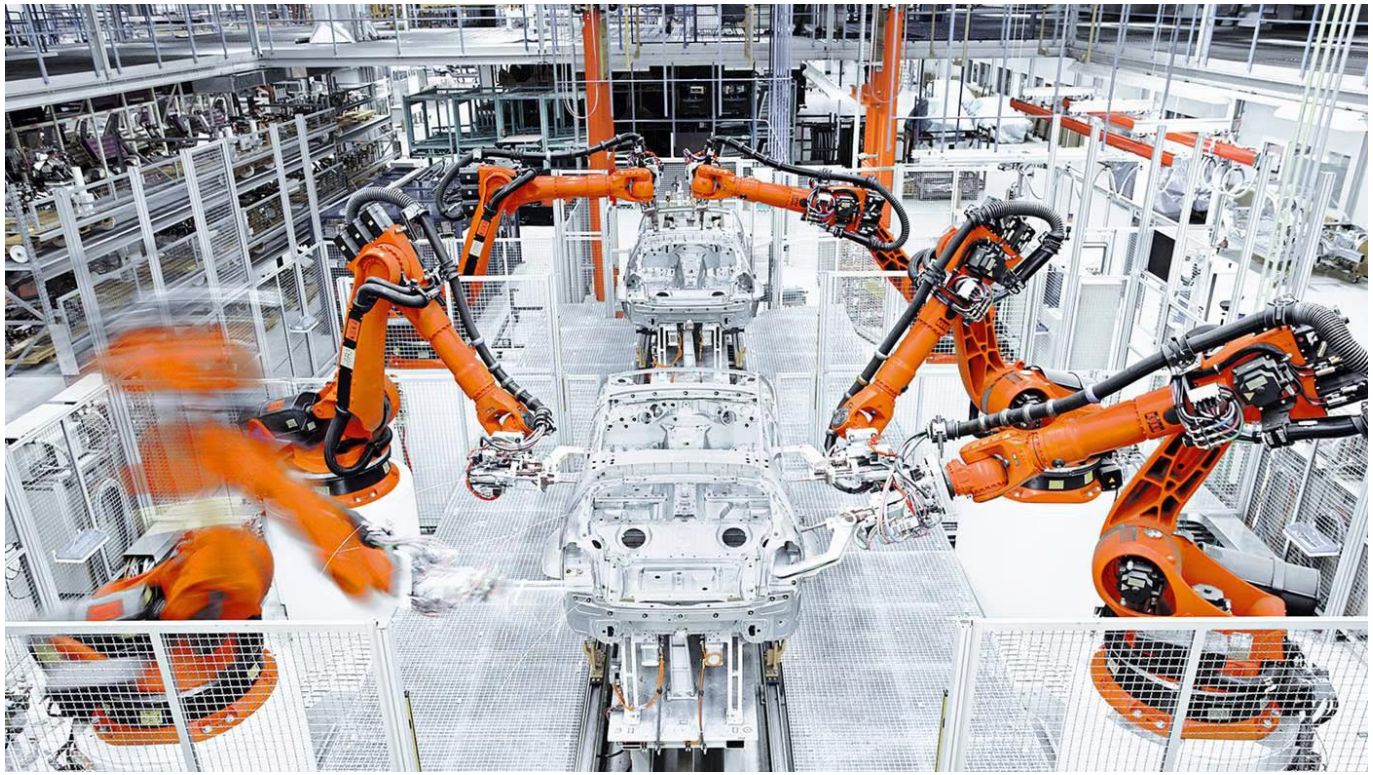
انواع رُبات متحرک



- رُبات های متحرک دارای دو حالت هستند:
- هولونومیک:
  * حرکت در تمام جهات امکان پذیر است،.
  * رُبات می تواند در حین حرکت به جلو حول خودش بچرخد.
- غیر هولونومیک:
  * نمی تواند در یک لحظه در هر جهتی که می خواهد حرکت کند.

بازوی رُباتیک

- نوعی بازوی مکانیکی (عموماً قابل برنامه‌ریزی) که کاربردهایی مشابه بازوی انسان دارد و ممکن است خود یک ربات بوده یا بخشی از یک ربات پیچیده‌تر باشد.
- اتصالات چنین بازویی امکان جابجایی چرخشی یا انتقالی (خطی) را فراهم کرده و یک زنجیره حرکتی (kinematic chain) را ایجاد می کنند.
- قسمت انتهایی زنجیره حرکتی بازوی مکانیکی، تأثیرگذار نهایی (End Effector) یا دست رباتیک نامیده شده و می‌تواند برای انجام هر وظیفه ای مثل جوشکاری، بستن، یا چرخاندن طراحی شود.
  - برای مثال بازوی ربات در خط مونتاژ اتومبیل اعمالی مثل جوشکاری، چرخاندن و قرار دادن قطعات انجام می‌دهند.



ربات های Kuka در خط مونتاژ اتومبیل

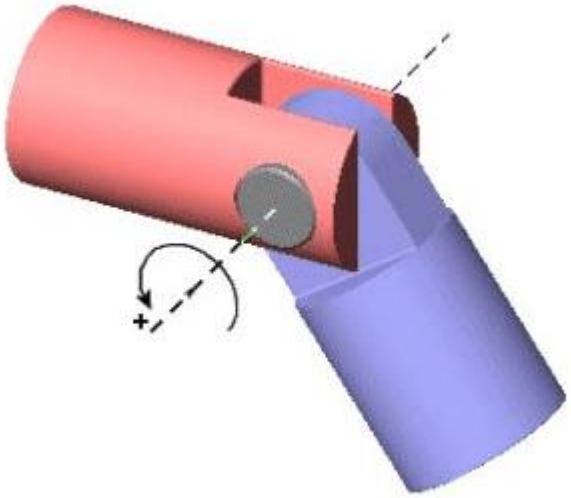
ربات PUMA

درجه آزادی (DOF)

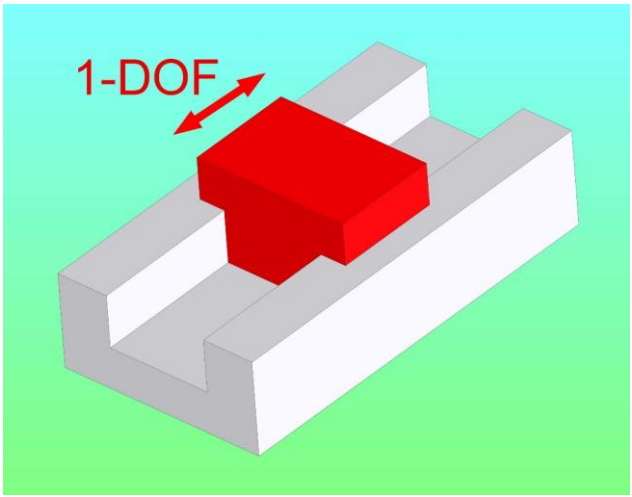
- هر درجه آزادی (Degrees of Freedom) را در بازوهای رباتیک که به شکل زنجیر به هم وصل شده اند می توان به صورت تعداد مفاصلی تعریف کرد که می توانند بچرخند یا حرکت جابجایی داشته باشند.

- درجه آزادی اهمیت بسزایی دارد ؛ چرا که می توان تعداد درجه آزادی بازوی رباتیک را برحسب کاربرد مورد نظر انتخاب کرد.

انواع مَفصَل (Joint)



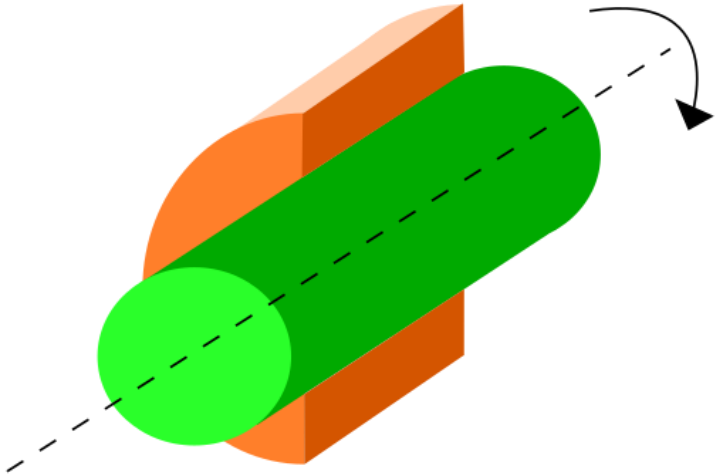
- **مفصل دورانی یا لولایی (Revolute Joint)**
  - تعداد درجات آزادی (Degree Of Freedom) DOF در این مفصل ۱ بوده و دو لینک می توانند نسبت به هم حرکت دورانی داشته باشند.



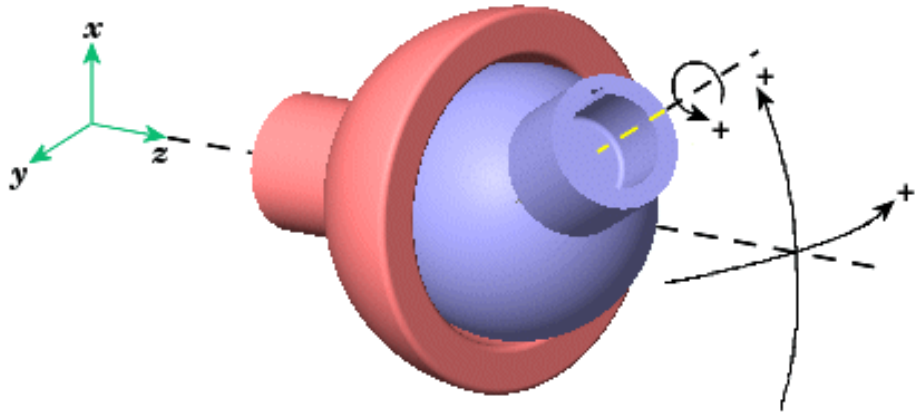
- **مفصل لغزشی یا کشویی (Prismatic Joint)**
  - تعداد درجات آزادی در این مفصل ۱ بوده و دو لینک می توانند نسبت به هم حرکت خطی داشته باشند.

انواع مَفصَل (Joint)

- **مفصل استوانه ای (Cylindrical Joint)**
  - تعداد درجات آزادی در این مفصل ۲ بوده و دو لینک می توانند نسبت به هم علاوه بر حرکت دورانی، حرکت خطی نیز داشته باشند.

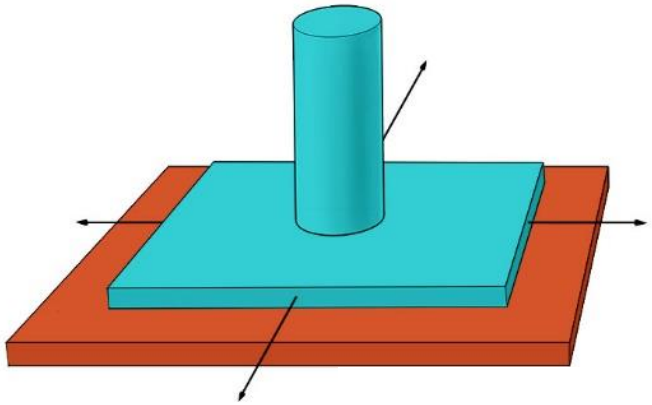


- **مفصل کروی (Spherical Joint)**
  - تعداد درجات آزادی در این مفصل ۳ بوده و دو لینک می توانند نسبت به حول سه محور دلخواه حرکت دورانی داشته باشند.



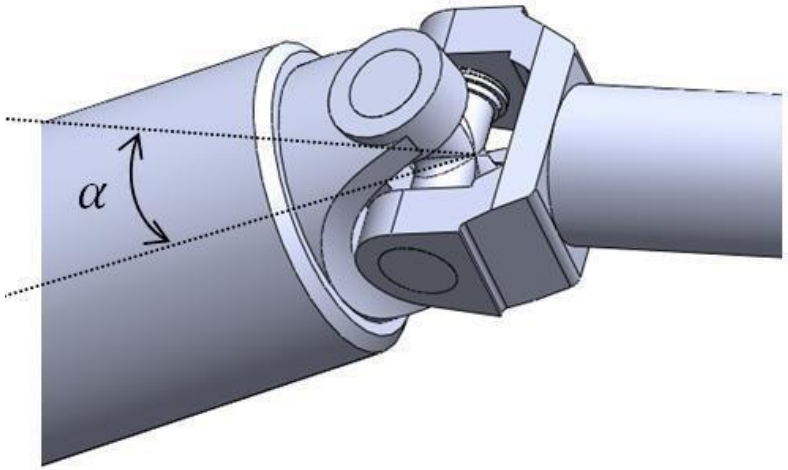
انواع مَفصَل (Joint)

مفصل سطحی (Planar Joint)



* تعداد درجات آزادی در این مفصل ۳ بوده و دو لینک می توانند نسبت به هم در امتداد دو محور دلخواه حرکت لغزشی و حول یک محور حرکت دورانی داشته باشند.

مفصل یونیورسال (Universal Joint)

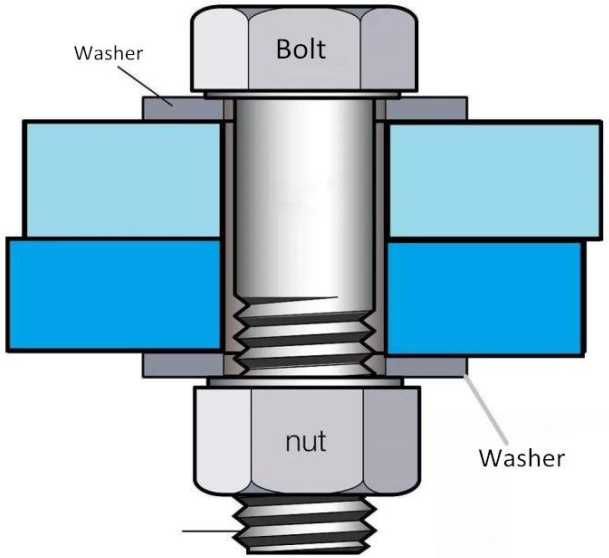


* تعداد درجات آزادی در این مفصل ۲ بوده و دو لینک می توانند نسبت به هم حول دو محور دلخواه حرکت دورانی داشته باشند.

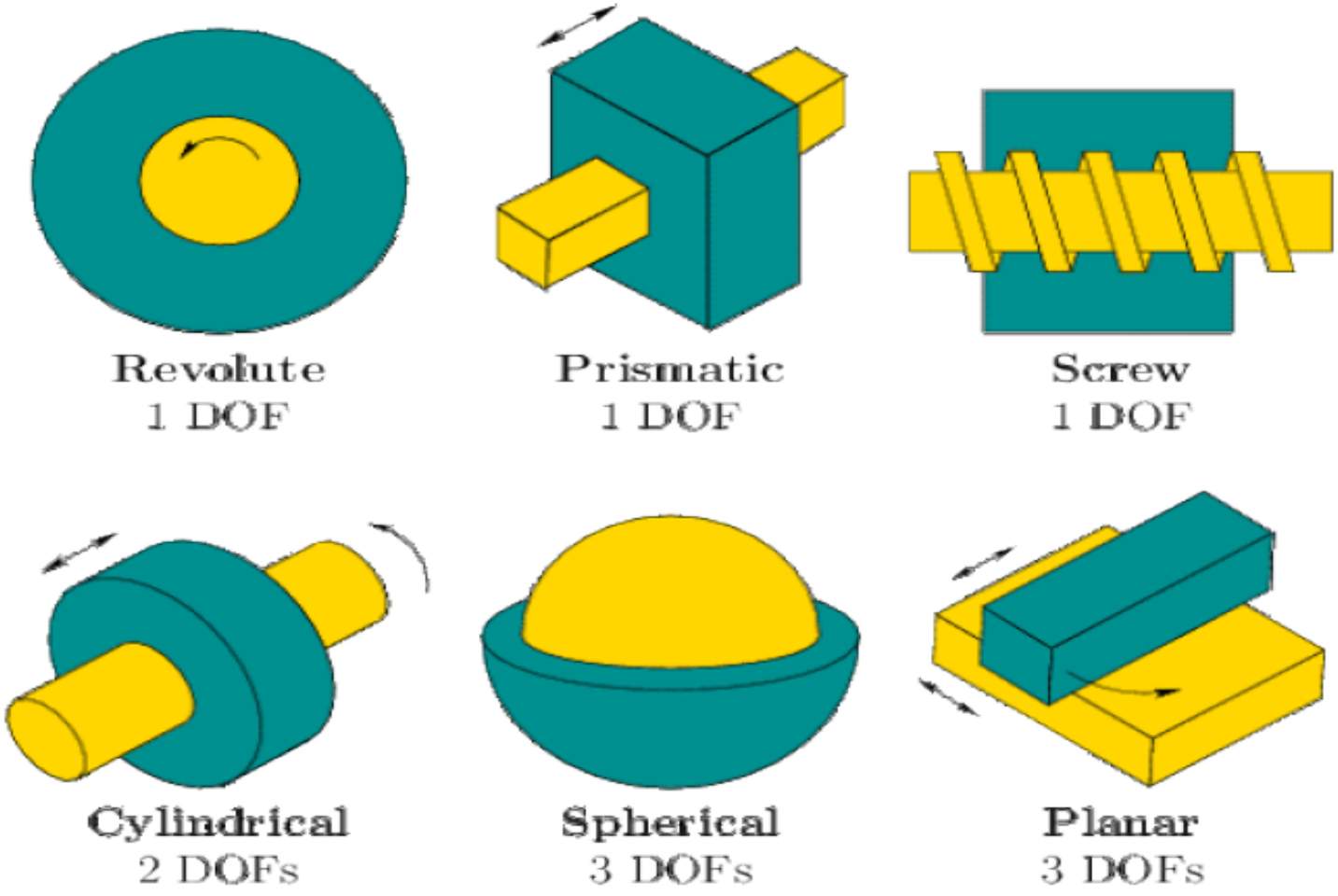
انواع مَفصَل (Joint)

- **مفصل پیچ (Screw Joint)**

* تعداد درجات آزادی در این مفصل ۱ می باشد و حرکت خطی و دورانی لینک ها نسبت به یکدیگر همزمان با هم اتفاق م یافتد



مقایسه درجات آزادی مفاصل



چرخ دنده ها

تعریف چرخ دنده:

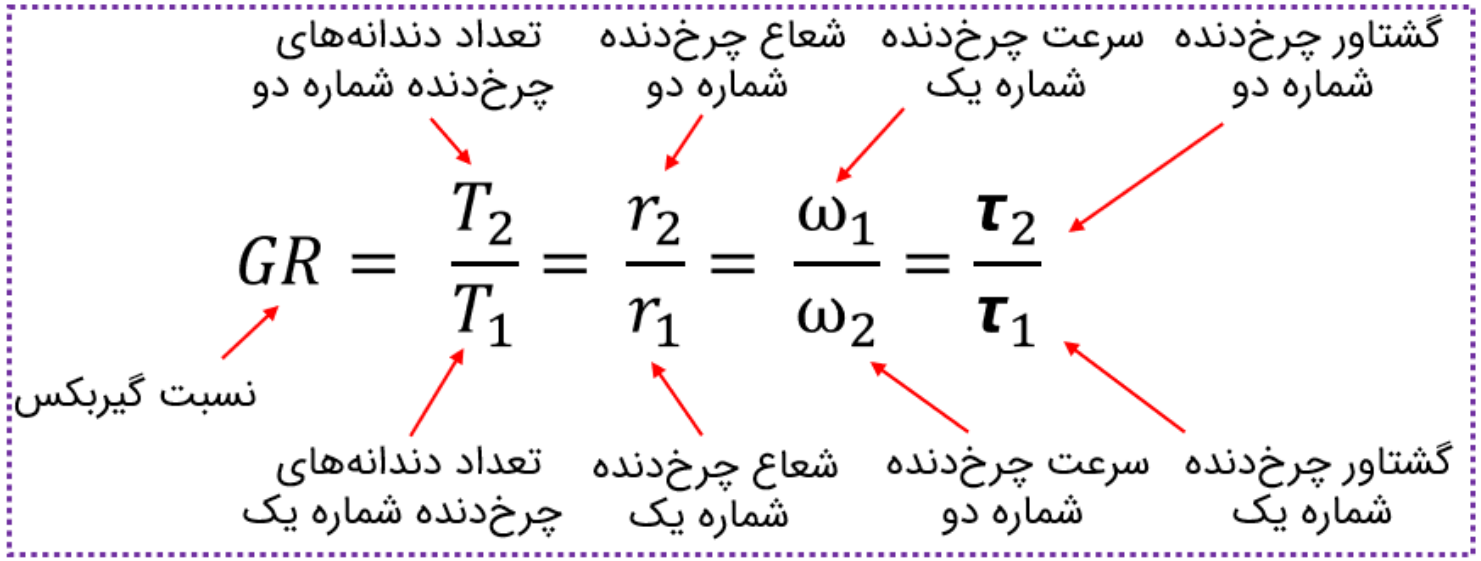
- چرخ دنده وسیله ای است برای انتقال توان دورانی از یک محور به محور دیگر که طی آن مقدار گشتاور و سرعت دورانی و جهت چرخش و راستای محوری می تواند تغییر کند.

ارتباط بین سرعت و قدرت در چرخ دنده ها:

- سرعت چرخ دنده با قدرت آن رابطه عکس دارد. اگر سرعت دو برابر شود قدرت آن نصب می شود. سرعت مشخصی که چرخ دنده ایجاد می کند و دقتی که دارد می تواند در جاهای دقیق مثل ساعت ها استفاده شود. در مکان هایی که دو محور تولید کننده نیرو و گیرنده نیرو به هم نزدیک هستند چرخ دنده گزینه مناسبی است.

چرخ دنده ها

- نسبت تبدیل مقداری است که سرعت و گشتاور با توجه به آن تغییر می کنند

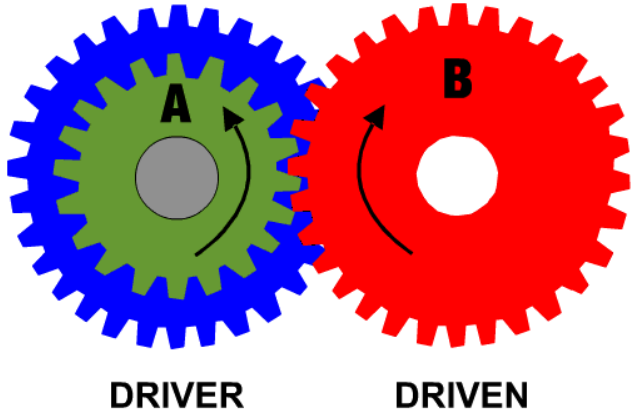


- جهت چرخش

* جهت چرخش دو چرخ دنده مجاور، همواره عکس یکدیگر خواهد بود؛ اگر زنجیره ای از چرخ دنده ها داشته باشیم، جهات چرخش به ترتیب عوض خواهند شد.

چرخ دنده ساده (Spur Gear)

- ساده ترین، ارزان ترین و پرکاربردترین نوع چرخ دنده است که در بسیاری از وسایل از این نوع استفاده می شود. برای استفاده محور هر دو چرخ دنده باید موازی باشد. استفاده از این چرخ دنده در برابر بارهای زیاد توصیه نمی شود، زیرا به شکستگی دندانه های چرخ دنده منجر می شود.



چرخ دنده های مارپیچ یا هلیکال (Helical Gear)

- این چرخ دنده بازده تقریبی ۸۰٪ عملکرد چرخ دنده ساده را داشته، فقط دنده های آن مایل است. به خاطر درگیر شدن تدریجی دنده ها با یکدیگر این چرخ دنده سر و صدای کمتری داشته، همچنین در مقایسه با چرخ دنده ساده نرم تر و با لرزش کمتر کار می کند.

* می توان از این نوع چرخ دنده ها در زوایای مختلف استفاده کرد.
* در جاهایی به کار می روند که بار زیادی به چرخ دنده وارد می شود.
* به دلیل پیچیدگی شکل، نسبتا گران است.

چرخ دنده های مارپیچ یا هلیکال (Helical Gear)

- این چرخ دنده در مکان هایی که دارای سرعت بالا و قدرت زیاد هستند بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند.
  - * این چرخ دنده به خاطر زاویه داشتن باعث ایجاد نیروی عمودی می شود که معمولاً برای خنثی کردن این نیرو در محور قرارگیری این نوع چرخ دنده از بلبرینگ و یاتاقان استفاده می شود.
  - * همچنین از این چرخ دنده می توان در وضعیتی که دو محور عمود بر یکدیگر هستند استفاده کرد.

چرخ دنده جناغی

- این چرخ دنده ها به خاطر شکل شان دو نیروی محوری خلاف جهت هم داخل شان تولید می کنند که همدیگر را خنثی می کنند و باعث می شوند نیاز به یاتاقان و بلبرینگ برای خنثی کردن نیرو نباشد. در مکان هایی که سرعت بالا داریم کارآیی این چرخ دنده اُفت می کند.

چرخ دنده مخروطی (Bevel Gear)

- این چرخ دنده به صورت دندانه ساده و دندانه مارپیچ ساخته می شود. که برای تغییر زاویه محور انتقال نیرو به کار برده می شود.
  - در بیشتر مواقع برای تغییر جهت ۹۰ درجه استفاده می شوند.
  - بازده این چرخ دنده ها تقریبا ۸۰ درصد است.

چرخ دنده شانه ای (Rack and Pinion)

- این چرخِ دنده با نام رک و پینیون (Rack and Pinion) هم شناخته می شود و برای تبدیل حرکت دورانی (چرخشی) به حرکت خطی (رفت و برگشت) استفاده می شود.
  - * این نوع چرخ دنده ها دارای بازده تقریبی ۹۰٪ می باشند.
  - * یکی از کاربرد این چرخ دنده ها در فرمان خودرو ها می باشد.

چرخ دنده حلزونی (Worm Gear)

- این چرخ دنده نسبت تبدیل بسیار بالایی داشته و برای اعمال تغییر شدید در سرعت و افزایش قدرت استفاده شده که باعث می شود حجم و وزن سیستم کمتر شود.
- این چرخ دنده به عنوان یکسو کردن جهت انتقال نیرو (قفل کن) نیز استفاده می شود.

* اگر چرخ دنده بالایی بخواهد بچرخد چرخ دنده حلزونی نمی گذارد بچرخد و با این کار باعث می شود سیستم قفل شود. از این قابلیت برای آسانسورها استفاده می شود که اگر موتور از کار افتاد آسانسور سقوط نکند.

یاتاقان (Bearing)

- وسیله‌ای است که اجازه یک حرکت نسبی مشخص بین دو قطعه یا بیشتر را می‌دهد که بطور نمونه به صورت چرخش یا حرکت خطی است. حداقل شش نوع معمول یاتاقان وجود دارد:
  - **یاتاقان ساده** که معمولاً بوش، یاتاقان‌های سر محور، یاتاقان بوش، یاتاقان‌های خان‌دار یا یاتاقان‌های ساده نامیده می‌شوند.
  - **یاتاقان غلتشی** مانند یاتاقان‌های ساچمه‌ای (بلبرینگ‌ها) و یاتاقان‌های غلتکی (رولربرینگ‌ها).
  - **یاتاقان مرصع** که نیروها در آن بوسیله پیچیدن جزئی خارج از مرکز محور، تحمل می‌شود.
  - **یاتاقان لغزشی** که در آن نیروها توسط یک سیال یا گاز تحمل می‌شوند.
  - **یاتاقان مغناطیسی** که در آن نیرو با کمک یک میدان مغناطیسی تحمل می‌شود.
  - **یاتاقان خمشی** که در آن حرکت با اِلمان نیرویی که خم می‌شود، تأمین می‌شود.

ویژگی های یاتاقان

- حرکت‌های معمولی که یاتاقان‌ها اجازه آن را می‌دهند عبارتند از:
  - **چرخش محوری:** مانند چرخش میله محور.
  - **حرکت خطی:** مانند کشو.
  - **حرکت کروی:** مانند لولای کاسه ساچمه‌ای.
  - **حرکت مفصلی:** مانند درها.
- یاتاقان‌ها تنوع گسترده‌ای در اندازه و جهتی نیرویی دارند که می‌توانند تحمل کنند.
  - نیروی غالب شعاعی
  - نیروی محوری (یاتاقان کف‌گرد)
  - نیروی مُمان عمود بر محور اصلی یا افقی

ویژگی های یاتاقان

- سرعت عملکرد یاتاقان‌ها متفاوت است.
  - * یاتاقان‌های ساده در سرعت‌های پایین کارایی دارند.
  - * یاتاقان‌های غلتشی سریعتر هستند.
  - * به دنبال آن یاتاقان‌های لغزشی و سرانجام یاتاقان‌های مغناطیسی قرار دارند که در نهایت بوسیله نیروی مرکزگرا و با غلبه بر مقاومت مواد، محدود می‌شوند.

- عمر یاتاقان ها متفاوت است.
  - * برخی بصورت بالقوه عمر نامحدود دارند.
  - * فاکتورهای دما، بار، نگهداری و تعمیر، ارتعاش، روانکاری و ... بر عمر یاتاقان ها تأثیر دارند

مرور مختصر یاتاقان ها

نوع	توصیف	سختی	سرعت	عمر	نکات
یاتاقان ساده (بوش)	استفاده از روانکار بین دو سطح متحرک و ثابت	خوب، در صورتی که میزان ساییدگی کم باشد. مقداری لقی معمولاً وجود دارد.	کم/ متوسط (غالباً نیاز به خنک کاری دارد)	متوسط (بسته به نوع روانکار)	ساده ترین نوع یاتاقان، استفاده وسیع از آن، اصطکاک نسبتاً زیاد
یاتاقان غلتشی	بکارگیری ساچمه یا غلتک برای کاهش اصطکاک	خوب، وجود اندکی لقی	متوسط-زیاد (غالباً نیاز به خنک‌کاری دارد)	متوسط (بسته به نوع روانکار، غالباً نیاز به تعمیر و مراقبت دارد)	مورد استفاده برای بارهای بیشتر و اصطکاک کمتر نسبت به یاتاقان ساده
یاتاقان مرصع	یاتاقان حول نقطه‌ای خارج از مرکز بر روی نشیمنگاه می‌گردد.	کم به علت انعطاف پذیری	کم	خوب، نیاز به تمیزکاری و روانکاری دارد.	عمدتا برای سرعت‌های کم و دقت‌های بالا مانند ساعت استفاده می‌شود.
یاتاقان لغزشی	محور درون یک سیال می‌گردد.	خیلی زیاد	خیلی زیاد، محدودیت سرعت معمولاً ناشی از نشت بندها است.	می‌توان عمر این نوع یاتاقان را بینهایت دانست؛	غبار و سنگریزه می‌توانند باعث خرابی این نوع یاتاقان گردند. در استفاده پیوسته نیاز به عملیات نگهداری ندارد.
یاتاقان مغناطیسی	دو سطح توسط مغناطیس از هم جدا نگه داشته می‌شوند.	کم	بینهایت	بینهایت	مصرف انرژی بالا، عدم نیاز به نگهداری.
یاتاقان خمشی	حرکت با تغییر شکل در ماده پدید می‌آید.	کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد یا کم، بستگی به کاربرد دارد.	دامنه حرکتی محدود

انواع یاتاقان

- یاتاقان ساچمه ای (Bell Bearing)
  - به نام بلبرینگ شناخته می شوند و معمول ترین نوع یاتاقان های مورد استفاده در چرخ های اسکیت، ماشین لباسشویی و دیسک سخت کامپیوترها هستند. این نوع یاتاقان بیشتر برای تحمل نیروهای شعاعی به کار رفته و می تواند نیروی کمی را هم در جهت محوری تحمل کند.

- یاتاقان های غلتکی (Roller Bearing)
  - به نام رولبرینگ شناخته شده و برای تحمل نیروهای بسیار زیاد در جهت شعاعی به کار می رود. در این نوع یاتاقان ها، غلتک ها به شکل استوانه بوده و در نتیجه سطح تماس بین حلقه داخلی و حلقه خارجی مانند یاتاقان های ساچمه ای یک نقطه نیست، بلکه به صورت خط است.

انواع یاتاقان

- یاتاقان های ساچمه ای کفی (Thrust Ball Bearing)

* برای کار در سرعت پایین و مواردی استفاده می شود که نیاز به دقت بالایی نیست. این نوع یاتاقان ها بار شعاعی زیادی را تحمل نکرده و در عوض برای تحمل نیروهای محوری به کار می روند.

- یاتاقان های غلتکی کفی (Roller Thrust Bearing)

* یاتاقان های غلتکی کفی می توانند بارهای محوری بسیار زیادی را تحمل کرده و به همراه یاتاقان های ساچمه ای معمولی، در محور چرخ دنده های مارپیچ به کار می شوند.

انواع یاتاقان

- یاتاقان های غلتکی مخروطی (Taper Roller Bearing)

* می توانند هم نیروهای محوری زیاد و هم نیروهای شعاعی زیاد را تحمل کنند. معمولاً این نوع یاتاقان ها در دو طرف محور و روبه روی یکدیگر استفاده می شود.

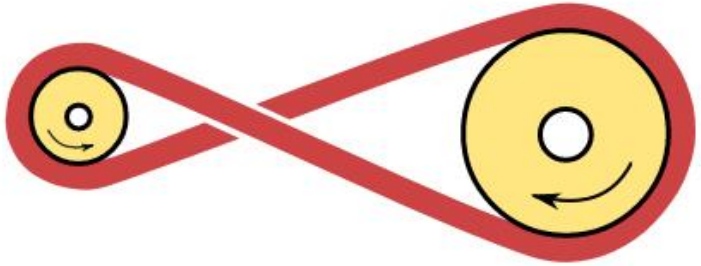
مکانیسم (Mechanism)

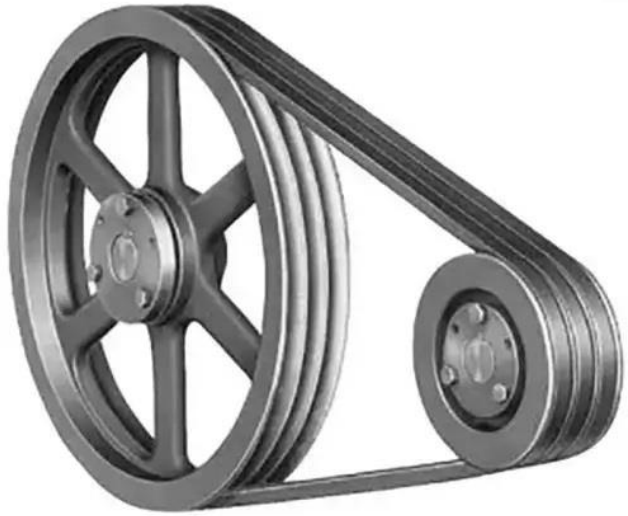
- دستگاهی برای تبدیل نیروهای ورودی به نیروهای خروجی مورد نظر است. همچنین مکانیسم، روالی است که برای انجام هدفی بر پا می‌شود. مکانیسم به زبان ساده به مجموعه ای از اجزا گفته شود که حرکت را تبدیل یا منتقل کنند، یا باعث حرکت یک جسم شوند.

- مکانیزم‌ها بطور کلی یکی از روش‌های زیر را کمک می‌گیرند:
  - حرکت قطعات: چرخ‌دنده، تسمه، زنجیر، بادامک، پیرو و بازو و غیره
  - سیستم اصطکاکی: ترمز و کلاچ
  - ساختار اجزا: قاب، بست، یاتاقان، فنر و کاسه نمد
  - المان‌های مخصوص: پین، خار و هزار خار و غیره

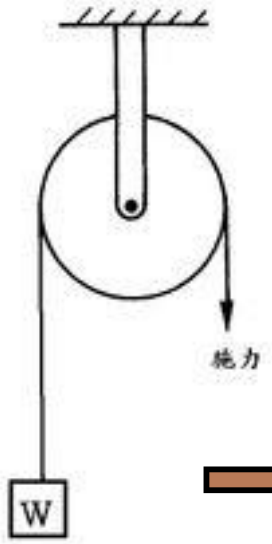
مکانیسم تسمه و پولی (Belt and Pulley)

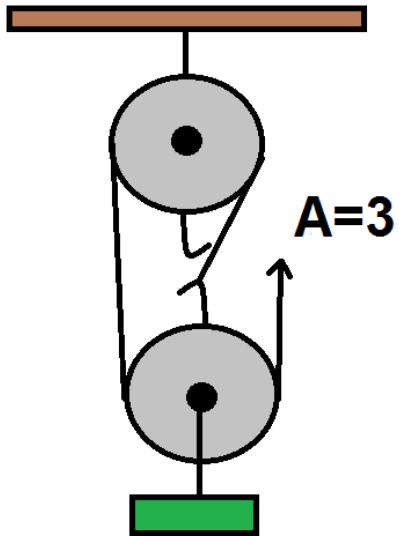
- با استفاده از تسمه و پولی می توانید حرکت دورانی را از محلی به محل دیگر منتقل کنید.
  - * در صورتی که اندازه پولی ها یکسان نباشد، به راحتی می توانید سرعت دورانی را تغییر دهید.
  - * اگر تسمه به صورت ضربدر وصل شده باشد، جهت حرکت چرخش برعکس یکدیگر خواهد بود.





انواع قرقره (Pulley)





- **قرقره ساده:**
  - در این قرقره زمانی که طناب به سمت پایین کشیده می شود، وزنه به همان مقداری که طناب پایین می رود، به سمت بالا حرکت می کند.
- **قرقره مرکب:**
  - در این قرقره طناب حول دو قرقره پیچیده شده است.
  - وزنه به جای اینکه مستقیم به طناب وصل شده باشد به قرقره پایین متصل است.
  - در این حالت زمانی که طناب کشیده می شود، وزنه با سرعت کمتری به سمت بالا حرکت کرده و در نتیجه نیروی لازم برای بالا کشیدن وزنه کاهش می یابد.

سایر مکانیسم ها

- مکانیسم رک و پینیون(Rack and Pinion Mechanism)
- مکانیسم های موازی (Parallel Mechanism)
- بادامک خارج از مرکز (Eccentric Cam)
- بادامک و پیرو
- مکانیسم بیضی کش (Elliptic Mechanism)
- مکانیسم کاردان (Cardan Mechanism)
- مکانیسم برگشت سریع (Quick Return Mechanism)
- مکانیسم چرخ ژنوا (Geneva Wheel Mechanism)
- مکانیسم جغجغه (Ratchet Mechanism)
- مکانیسم ترمز دوچرخه (Bicycle Brake Mechanism)
- مکانیسم ساعت (Escapement Mechanism)
- ماشین بخار (Steam Engine)
- ماشین اِسترلینگ (Sterling Machine)

نیرو و گشتاور و فشار

- وقتی نیروی F به جسمی با جرم M وارد شود آن جسم با شتاب a حرکت خواهد کرد.

$$F = m \times a$$

* F: نیرو برحسب نیوتن (N) - m: جرم (kg) - a: شتاب جسم (m/s^2)

- حاصلضرب نیرو در فاصله نیرو تا محل اثر آن (تکیه گاه) معادل گشتاور است.

$$T = F \times d$$

* T: گشتاور بر حسب نیوتن متر (N.m) - d: فاصله (m)

- میزان نیروی عمودی وارد بر سطح، فشار نامیده شده و با واحد (N/m^2) سنجیده می شود.

$$\mathrm{P} = \frac{F}{a}$$

جابجایی و سرعت و شتاب

- **جابجایی**: یعنی فاصله مستقیم مبدأ تا مقصد که جهت را نیز نشان می‌دهد.
- **مسافت**: عبارت است از طول کل مسیر طی شده توسط یک متحرک که ارتباطی به ابتدا و انتهای مسیر دارد.
- **سرعت متوسط:** به تغییرات مکان متحرک نسبت به زمان طی شده می‌گویند.

$$\mathrm{v} = \frac{d}{t}$$

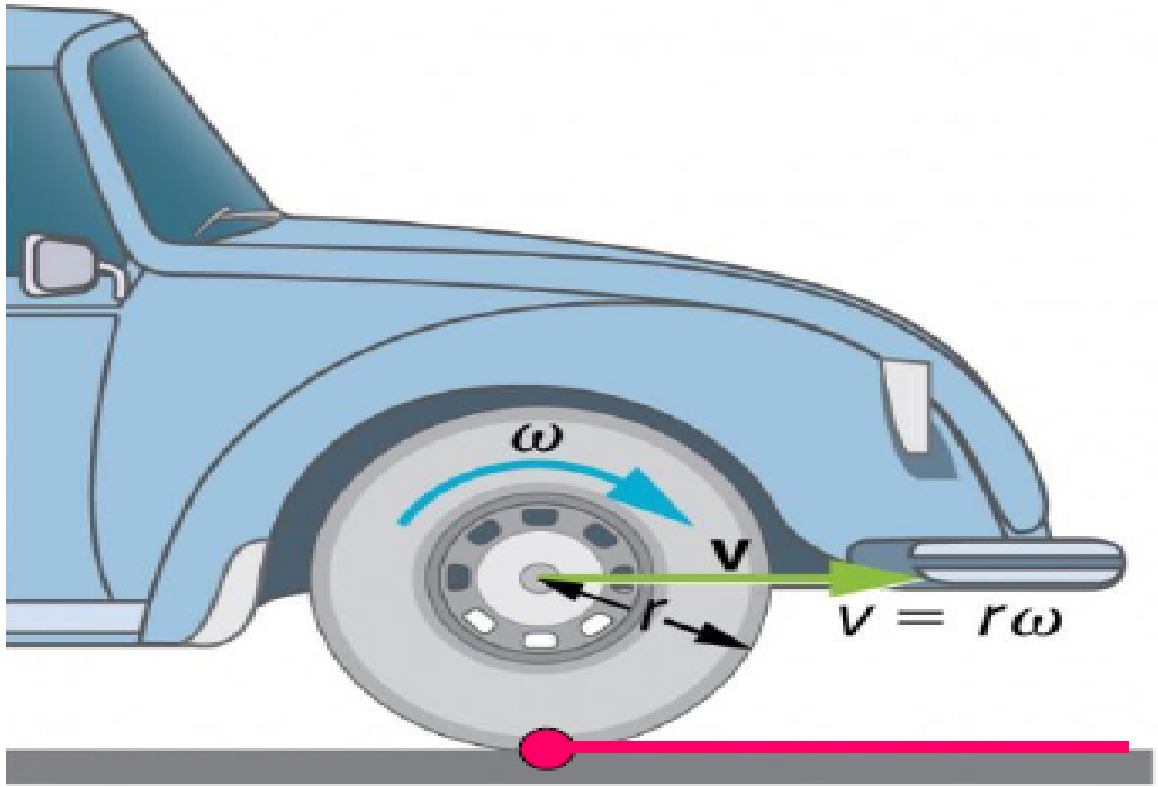
- **شتاب:** نسبت تغییرات سرعت به زمان را شتاب گویند.

$$\mathrm{a} = \frac{\Delta \mathrm{V}}{t}$$

جابجایی و سرعت

- **تعریف سرعت:**

میزان جابجایی جسم در واحد زمان را سرعت می‌گویند.



- **محاسبه سرعت خطی:**

برای تنظیم سرعت ربات باید سرعت زاویه ای چرخ های آن معلوم باشد. سپس با ضرب این سرعت در محیط چرخ می توان سرعت خطی چرخ را بدست آورد.

$$V = r\omega$$

در رابطه فوق، r شعاع چرخ، V سرعت خطی و ω سرعت دورانی چرخ بر حسب رادیان بر ثانیه می باشد.

جابجایی و سرعت

- **تبدیل واحد سرعت دورانی،**

سرعت دورانی معمولا توسط دو واحد مختلف رادیان بر ثانیه یا دور بر دقیقه بیان می شود. بر روی موتور ها سرعت دورانی بر حسب دور بر دقیقه (rpm) نوشته می شود. بنابراین باید ارتباط بین این دو سرعت را دانست. رابطه زیر این ارتباط را نشان می دهد.

$$1\ \frac{rev}{min} = \frac{2\pi}{60}\ \frac{rad}{s}$$

جابجایی و سرعت

مثال: اگر سرعت چرخش موتور ربات شما ۱۰۰ دور بر دقیقه باشد برای داشتن سرعت ۱ متر بر ثانیه قطر چرخ را بدست آورد.

حل: ابتدا سرعت دورانی را بر حسب رادیان بر ثانیه بدست می آوریم سپس در معادله سرعت خطی جایگذاری کرده و شعاع چرخ بدست می آید.

$$100\ \frac{rev}{min} = 100 \times \frac{2\pi}{60}\ \frac{rad}{s} = 10.47 \frac{rad}{s}$$

$$V = r\omega \ \rightarrow \ r = \frac{V}{\omega} = \frac{1}{10.47} = 0.095\ m$$

$$D = 2r = 0.191\ m = 191\ mm$$

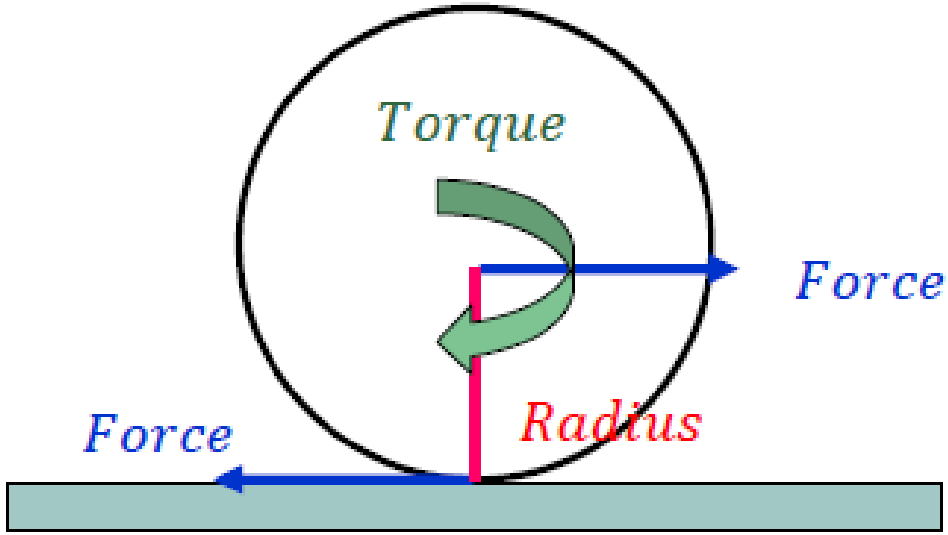
ارتباط بین قطر چرخ رُبات با گشتاور

- هر چقدر قطر چرخ ربات بزرگتر یا rpm موتور بیشتر باشد، ربات سریع تر خواهد رفت. ولی این مطلب زمانی که پای فاکتور دیگری مثل گشتاور در میان باشد خیلی درست نیست.
- اگر ربات شما به گشتاور بیشتری نیاز داشته باشد بیشتر توان خود را صرف تولید گشتاور می کند و در نتیجه ربات نسبت به محاسبات شما کندتر خواهد بود.
- به این ترتیب ربات ای سنگین تر گشتاور بیشتری لازم دارند. حالا آنچه نیاز دارید این است که گشتاور موتور، شتاب و قطر چرخ را مقایسه کنید. شما باید یک تعادل بین این سه فاکتور ایجاد کنید تا بتوانید گشتاور مناسب ربات خود را تأمین کنید.

گشتاور موتور و نیرو

- برای هل دادن ربات های دیگر، بالا رفتن از سربالایی یا ناهمواری های زمین یا داشتن شتاب بالا نیروی زیادی احتیاج است. همان طور که در مباحث استاتیکی مطرح می شود با دانستن قطر چرخ و گشتاور موتور می توانید نیروی ربات خود را بدست آورید.

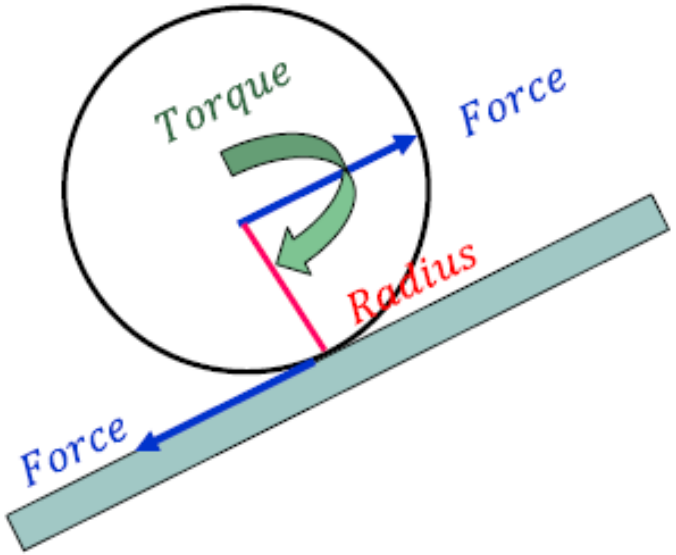
$$T = F.r \ \ (N.m)$$



شتاب

$$T = F.r \ \ (N.m)$$

$$a = g\sin\theta$$



- فاکتور دیگری برای انتخاب شتاب مناسب وجود دارد. اگر ربات از روی سطح شیب دار یا ناهمواری های سطح زمین بالا رود نیاز به شتاب بیشتری برای مقابله با جاذبه دارد.
- اگر ربات از دیوار صاف بالا رود به شتابی معادل ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه نیاز دارد که معادل نیروی کشش زمین به سمت پایین (نیروی جاذبه) است.
- برای خنثی کردن یک شیب ۲۰ درجه به شتابی معادل ۳/۳۵ متر بر مجذور ثانیه برای غلبه بر جاذبه نیاز دارد.

تبدیلات هندسی حرکت ربات ها

- انتقال دو بُعدی

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- دوران دو بُعدی

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

تبدیلات هندسی حرکت ربات ها

- انعکاس نسبت به مبدأ مختصات که x و y را تغییر می دهد:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- انعکاس نسبت به نیمساز ربع اول و سوم، خط y = x

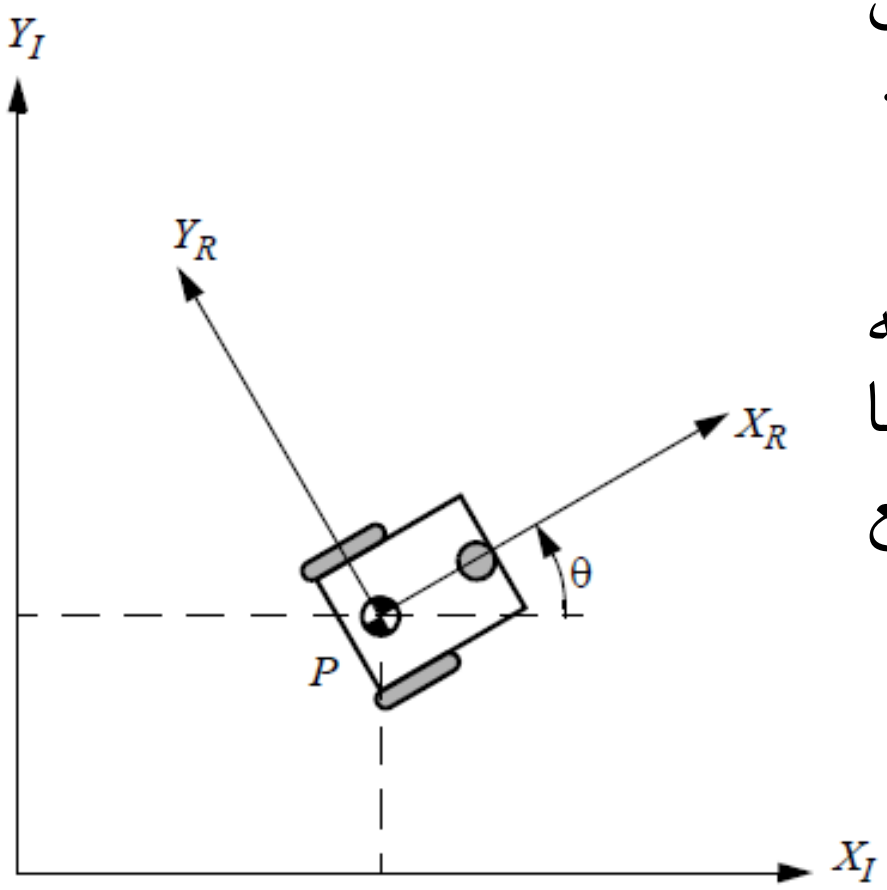
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- انعکاس نسبت به نیمساز ربع دوم و چهارم، خط y = -x

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

سینماتیک مستقیم ربات های متحرک

- به منظور مشخص کردن موقعیت ربات در صفحه، بین چارچوب مرجع و چارچوب ربات یک رابطه برقرار می کنیم.

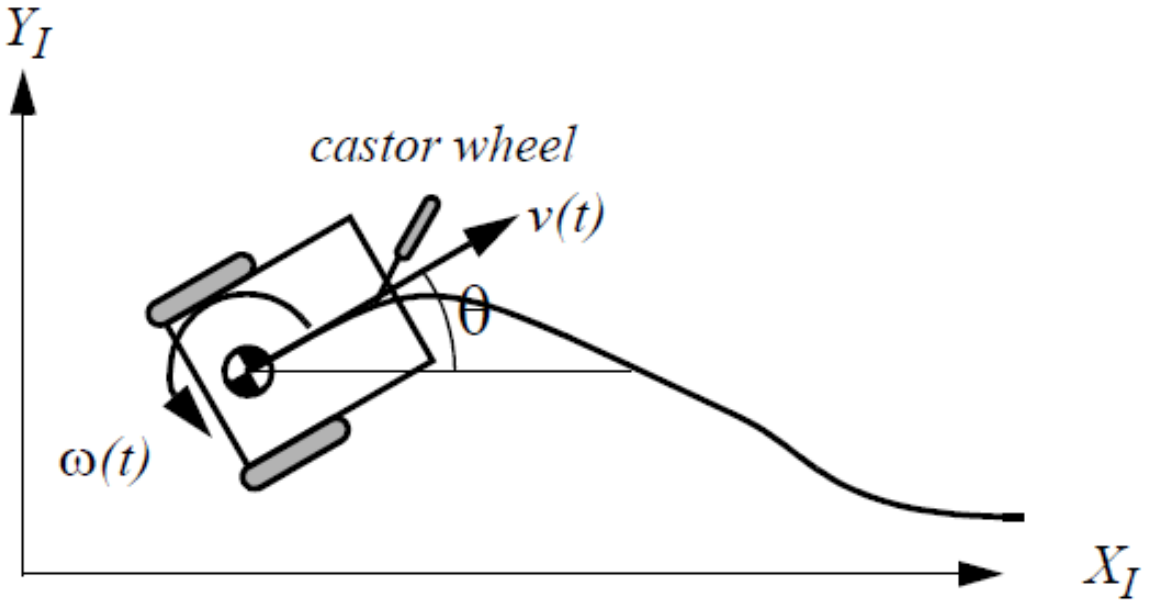


- برای تعیین موقعیت ربات، نقطه P را روی شاسی ربات به عنوان نقطه مرجع موقعیت آن انتخاب کنید. این نقطه با مختصات x و y و تفاوت زاویه ای θ بین فریم مرجع سراسری و محلی مشخص می شود.

$$\xi_I = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$$

سینماتیک مستقیم ربات های متحرک

- این ربات دیفرانسیل محرک دارای دو چرخ است که هر کدام قطر r دارد. نقطه مرجع P در مرکز بین دو چرخ محرک است و هر چرخ به فاصله l از P قرار دارد. با داشتن r و l و θ و سرعت چرخش هر چرخ، φ1 و φ2، یک مدل سینماتیک رو به جلو، سرعت کلی ربات را در چارچوب مرجع جهانی پیش‌بینی می‌کند:



$$\dot{\xi}_I = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = f(l, r, \theta, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2) .$$

سینماتیک مستقیم ربات های متحرک

$$\dot{x}_{r1} = (1/2) r \dot{\varphi}_1$$

$$\omega_1 = \frac{r\dot{\varphi}_1}{2l} .$$

$$\dot{x}_{r2} = (1/2) r \dot{\varphi}_2$$

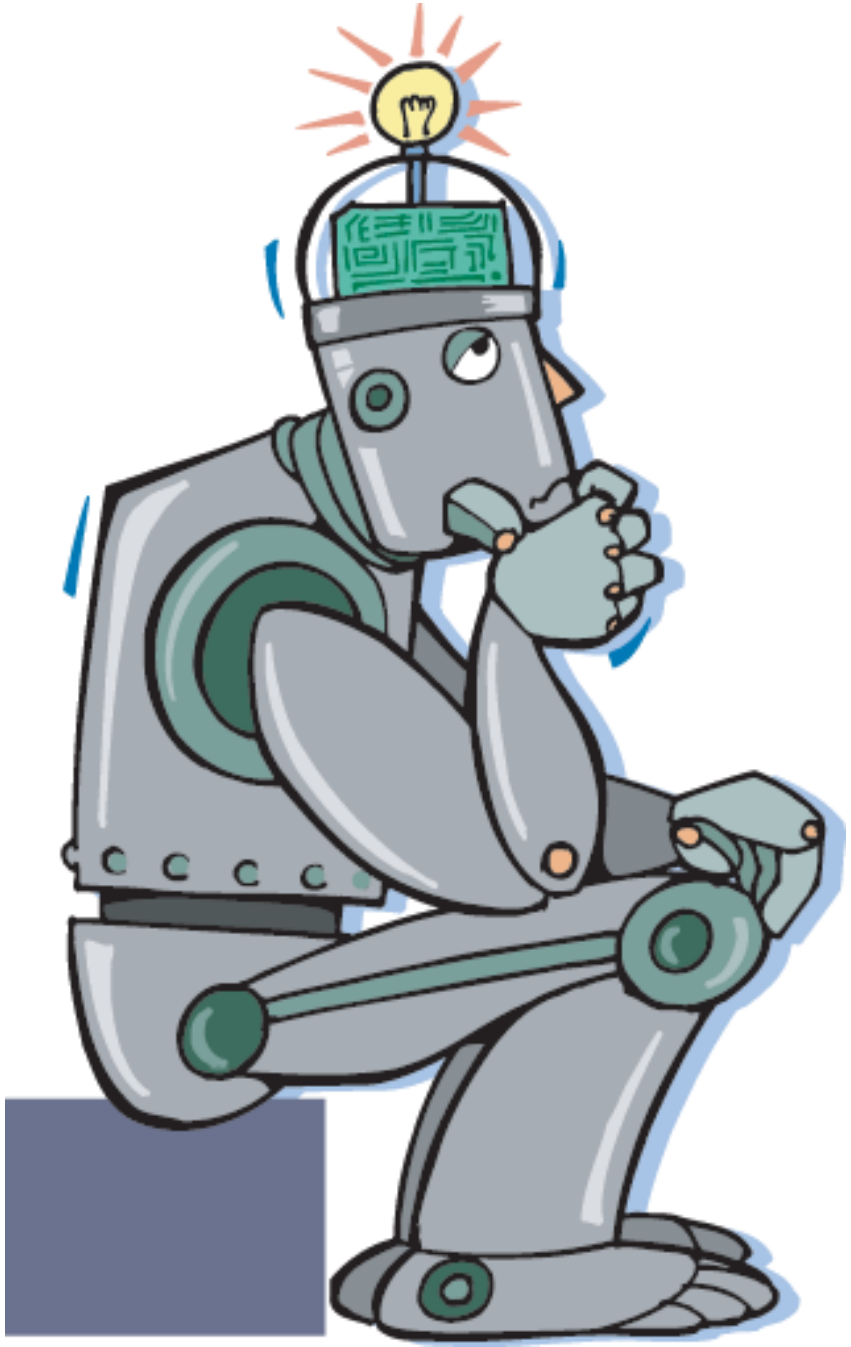
$$\omega_2 = \frac{-r\dot{\varphi}_2}{2l} .$$

$$R(\theta)^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} .$$

$$\dot{\xi}_I = R(\theta)^{-1} \dot{\xi}_R .$$

سینماتیک مستقیم ربات های متحرک

$$\dot{\xi}_I = R(\theta)^{-1}\dot{\xi}_R . \Longrightarrow \dot{\xi}_I = R(\theta)^{-1}\begin{bmatrix} \frac{r\dot{\varphi}_1}{2} + \frac{r\dot{\varphi}_2}{2} \\ 0 \\ \frac{r\dot{\varphi}_1}{2l} + \frac{-r\dot{\varphi}_2}{2l} \end{bmatrix} .$$



سؤال؟