

# مکاترونیک و رباتیک



مرتضی هومان فرد  
محمد جواد فتوحی

بسمه تعالی

# مکاترونیک و رباتیک

با سلام

با رشد روزافزون علم مکاترونیک و رباتیک در عرصه جهانی و به موازات آن ، پیشرفت این علم در داخل کشور و استقبال چشمگیر علاقمندان مستعد ایرانی از این علم ، ضرورت وجود منابع مرجع جهت استفاده علاقمندان روز به روز بیشتر احساس می شود . متأسفانه هنوز آنچنان که شایسته است این منابع در اختیار علاقمندان داخلی قرار نگرفته است .

کتابی که هم اکنون پیش روی شماست ، تلاشی است با هدف ارایه مرجعی عملی به دوستانی که قصد ورود به این عرصه را دارند . در این کتاب هر فصل با ابتدایی ترین مباحث شروع می گردد و تا ایجاد یک دید عملی در خواننده ادامه می یابد . تمامی مباحث عملی این کتاب حاصل تجربیات شخصی مولفین در طول پروژه ها و ربات های مختلف می باشد . فصل اول معرفی مختصری از مسابقات رباتیک انجام می گیرد . در فصل دوم مباحث مکانیکی طراحی ربات ، در فصل سوم مباحثی از الکترونیک پایه ربات و در فصل چهارم نحوه برنامه نویسی ربات ارایه می گردد .

نسخه حاضر ویرایش اولیه این کتاب می باشد و به امید خدا پس از تکمیل به صورت کتاب چاپی در اختیار دوستان قرار خواهد گرفت . این نسخه از کتاب به عنوان مرجع درسی در دوره آموزشی رباتیک در مجتمع آموزشی ربات سازان تدریس شده است .

همچون هر نوشته ای ، این کتاب نیز از عیب و نقص مصون نمی باشد ، لذا از تمامی دوستان خواهشمندیم نظرات خود را با ما در میان گذارند .

با تشکر

محمد جواد فتوحی

JFOTUHI@GMAIL.COM

مرتضی هومان فرد

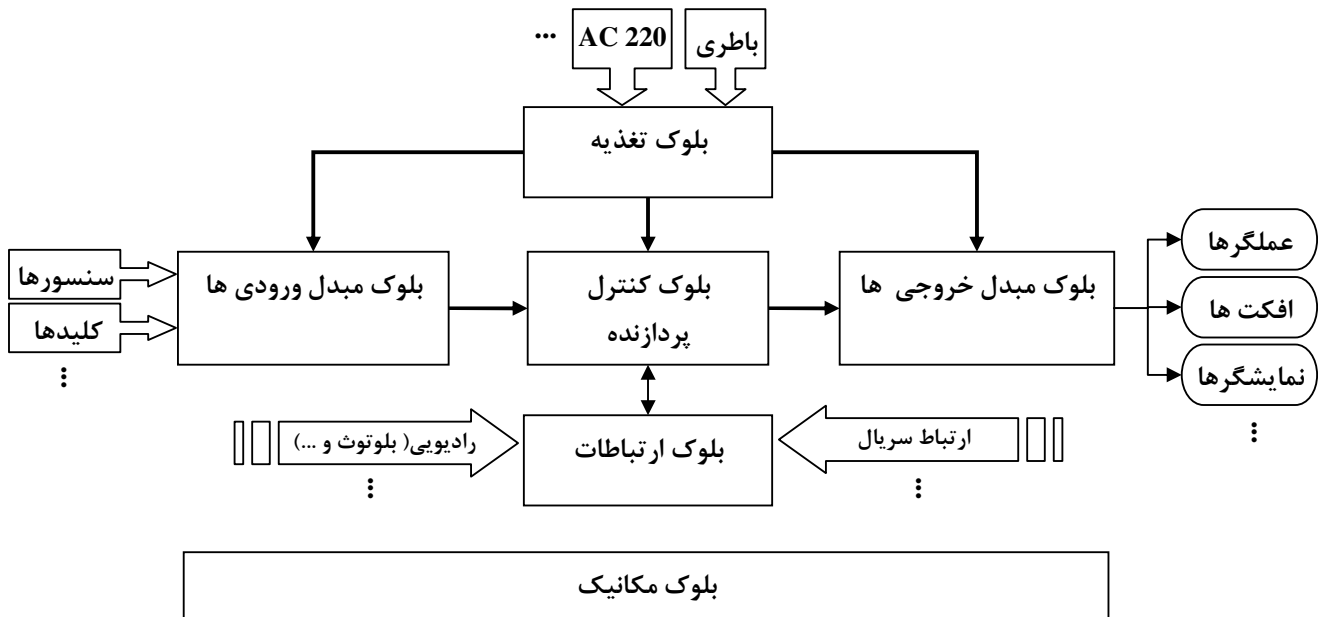
MHOOMAN@GMAIL.COM

## فهرست

صفحه	عنوان
۴	مقدمه .....
۶	فصل اول ، آشنایی با مسابقات رباتیک .....
۱۳	فصل دوم ، مکانیک ربات .....
۳۲	فصل سوم ، الکترونیک ربات .....
۸۵	فصل چهارم ، برنامه نویسی ربات .....

## مقدمه

ساختار پروژه های مکاترونیک و رباتیک :



یک پروژه مکاترونیک از بخش های زیر تشکیل شده است :

۱. بلوک ورودی ها
۲. بلوک خروجی ها
۳. بلوک پردازنده و کنترل
۴. بلوک ارتباطات
۵. بلوک مکانیک

### بلوک ورودی ها :

این بلوک شامل تمام مدارهای تبدیل کننده ورودی های غیرهم جنس به داده های مشخص و قابل استفاده برای بلوک پردازنده و کنترل می باشد .

### بلوک پردازنده و کنترل :

این بلوک شامل پردازنده و مدارهای جانبی می باشد که براساس الگوریتم پردازنده داده های ورودی را پردازش و داده های خروجی را تولید می کند .

### بلوک خروجی ها :

این بلوک داده های خروجی بلوک پردازنده را به داده های قابل استفاده برای عملگرها ، نمایشگرها و افکت ها تبدیل و تقویت می کند .

**بلوک ارتباطات :**

این بلوک شامل مدارهایی جهت ارتباط با سیستم های خارجی است.

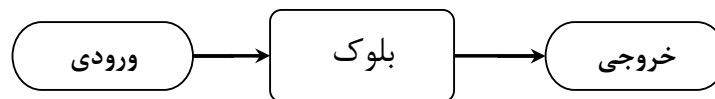
**بلوک مکانیک :**

این بلوک شامل شاسی ، اجزای مکانیکی ، محرک ها ، اتصالات فیزیکی ، نگهدارنده ها و ... می باشد که بستری برای بلوک های دیگر می باشد .

**بلوک تغذیه :**

این بلوک ولتاژ و جریان مورد نیاز تمامی بلوک ها را تامین می کند . تغذیه ورودی ربات ( برق ، باتری ، منبع تغذیه و ... ) مستقیماً وارد این بلوک شده و ولتاژ و جریان مناسب هر بلوک را تامین می کند .

در این نوشته سعی شده است که به تمام مباحث مکاترونیک و رباتیک با دیدگاه کنترل نگاه شود . این دیدگاه کار با اجزای مکاترونیک و حل مسایل را ساده می کند . بدین معنا که به هر قطعه و مجموعه به صورت بلوک نگاه کنیم . در مباحث رباتیک و مکاترونیک ما به جزییات و مواد تشکیل دهنده یک بلوک نیاز نداریم و فقط کاربرد آن بلوک اهمیت دارد .

**دسته بندی اجزا تشکیل دهنده ربات ها از دیدگاه طراحی :**

- ۱- مکانیک
- ۲- الکترونیک
- ۳- برنامه نویسی

## فصل اول

### آشنایی با مسابقات رباتیک

امروزه علم رباتیک ، مکاترونیک و اتوماسیون در حال نفوذ به تمامی جنبه های زندگی انسان می باشد . هم اکنون مسابقات رباتیک جزو معتبرترین رویدادهای علمی جهان می باشد .

#### مسابقات ربوکاپ :

مسابقات ربوکاپ یا جام جهانی ربوکاپ یک رویداد بین المللی برای توسعه علوم رباتیک ، هوش مصنوعی و سایر زمینه های مرتبط است . فدراسیون جهانی ربوکاپ در تلاش است جهت توسعه تحقیقات هوش مصنوعی و ربات های هوشمند تمامی فن آوری های پیشرفته را به مشارکت و آزمون فرا خواند . ربوکاپ بازی فوتبال را با هدف ایجاد نوآوری هایی برای حل مسائل اجتماعی صنعتی به عنوان محور اصلی فعالیت های خود انتخاب نموده است . در این راستا هدف نهایی تشکیل یک تیم کاملاً هوشمند از ربات های انسان نماست که بتوانند در سال ۲۰۵۰ در برابر تیم منتخب فیفا به پیروزی دست یابند . جهت دستیابی به این هدف فناوری های گوناگونی از جمله طراحی عامل های خودکار ، همکاری چند عامله ، سیستم های بلادرنگ و حسگرهای ربات های محلی در محیطی پویا و جنبه های نرم افزاری مد نظر قرار می گیرند . از جمله کاربردهای اصلی فناوری های ربوکاپ جستجو و نجات در زمان وقوع بلایای طبیعی چون زلزله جهت کاهش خسارات جانی می باشد .

مسابقات رباتیک IranOpen به عنوان معتبرترین مسابقه رباتیک داخلی ، هر ساله فروردین ماه با حضور صد ها تیم داخلی و خارجی به میزبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین برگزار می گردد . بعد از IranOpen مسابقات رباتیک موشهای هوشمند قرار دارد که توسط سازمان علمی مهندسی برق کشور برگزار می گردد و تا کنون ۶ دوره از آن برگزار گردیده است . مسابقات آزاد دیگری نیز توسط سایر واحدهای دانشگاهی و موسسات علمی برگزار می گردد .

عمده ترین رشته های رباتیک برگزار شده در این مسابقات عبارتند از :

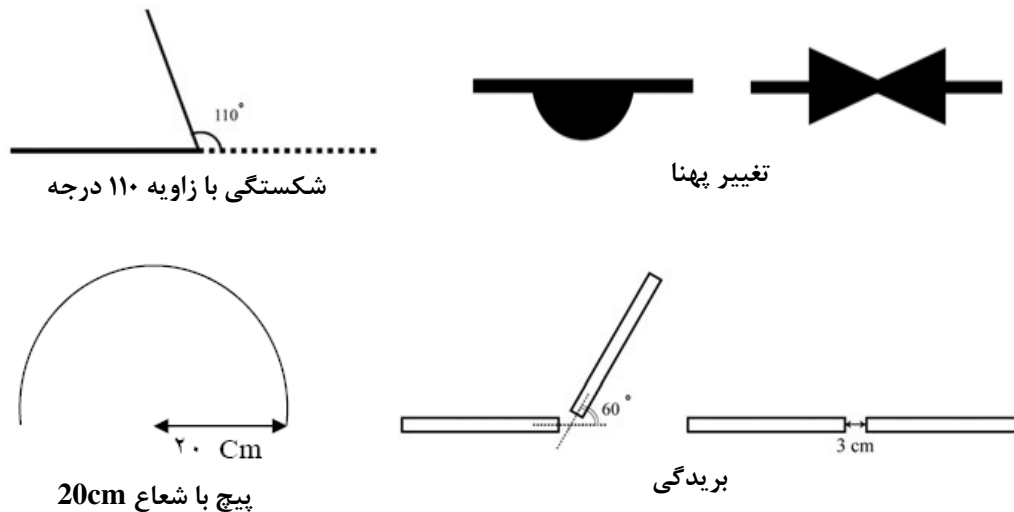
۱. ربات های انسان نما HumanOid
۲. ربات های فوتبالیست سائز کوچک Small Size
۳. ربات های فوتبالیست سائز متوسط Middle Size
۴. ربات های امدادگرواقعی Rescue Real
۵. ربات های خانگی @Home
۶. ربات های نمایشی Demo
۷. ربات های مین یاب Deminer
۸. فوتبال دانش آموزی ۱ به ۱ Junior Soccer 1 on 1
۹. فوتبال دانش آموزی ۲ به ۲ Junior Soccer 1 on 1
۱۰. ربات های جنگجو
۱۱. تعقیب خط عادی ، ویژه و مغناطیسی

## ۱. رشته تعقیب خط Line Follower , Path Finder , Tracer

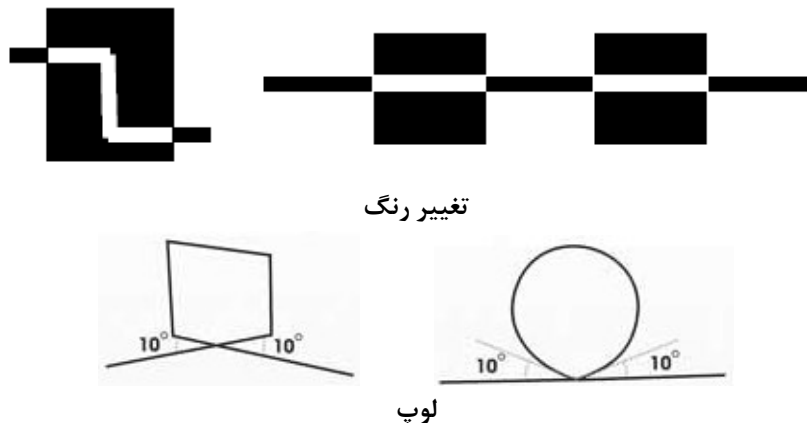
رشته تعقیب خط به سه شاخه تعقیب خط معمولی ، تعقیب خط ویژه و تعقیب خط مغناطیسی تقسیم می گردد که در ادامه به معرفی این سه شاخه می پردازیم .

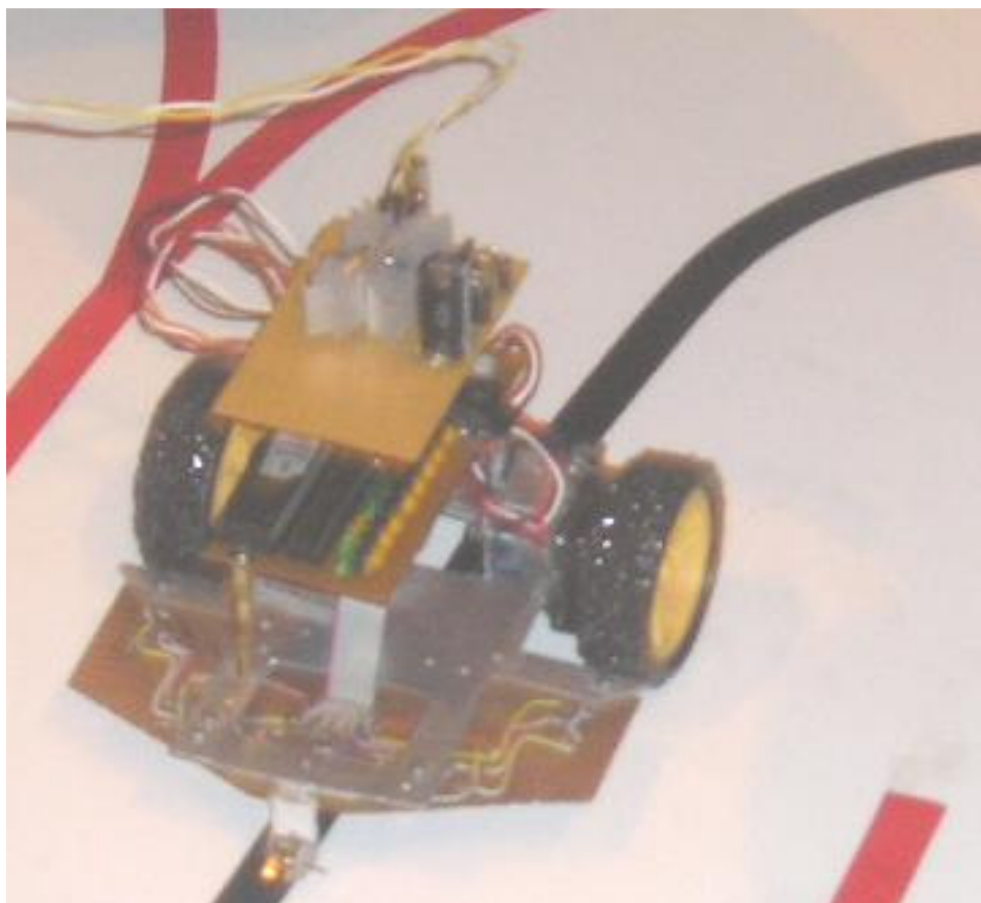
**تعقیب خط معمولی :** در این رشته هدف تعقیب خط سیاه در زمینه سفید و یا خط سفید در زمینه سیاه می باشد . پهنای خط ۱.۸ سانتیمتر معدل پهنای چسب برق می باشد .

این مسابقه در دومرحله برگزار می گردد . در مرحله اول مسیر شامل بریدگی ، نقطه چین ، تغییر پهنای شکستگی با زوایای مختلف ، پیچ با شعاع مختلف می باشد و ربات باید توانایی تعقیب چنین مسیری را داشته باشد .



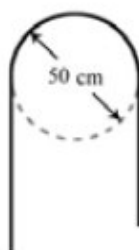
در مرحله دوم علاوه بر موارد فوق ، تغییر رنگ و لوپ نیز به مسیر اضافه می گردد .





### تعقیب خط مغناطیسی :

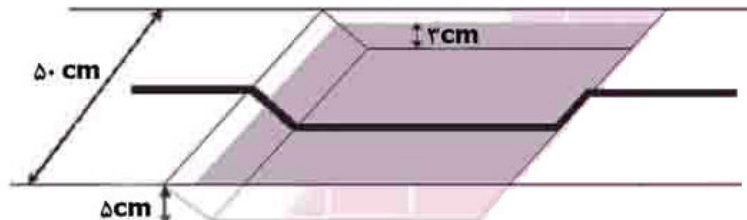
در این رشته هدف تعقیب میدان مغناطیسی حاصل از سیم حامل جریان متناوب به مقدار  $2/5 \pm 0/5^{(A)}$  می باشد . فرکانس جریان متناوب ، فرکانس برق شهر 50HZ بوده و قطر سیم حامل جریان ، نمره 2.5mm می باشد . سیم در زیر پیست تعبیه شده و غیر قابل مشاهده می باشد .  
نوع مسیر در تعقیب خط مغناطیسی بسیار ساده تر از تعقیب خط معمولی می باشد . در تعقیب خط مغناطیسی تنها المان موجود در مسیر ، پیچ هایی به شعاع چرخش حداقل 25cm و زاویه چرخش حداکثر ۱۸۰ درجه می باشد .



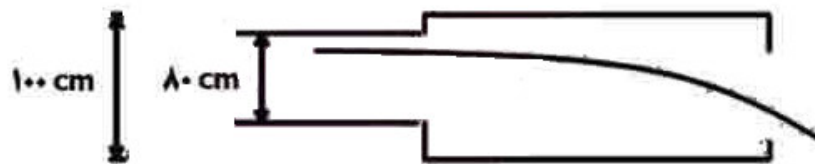


### تعقیب خط ویژه :

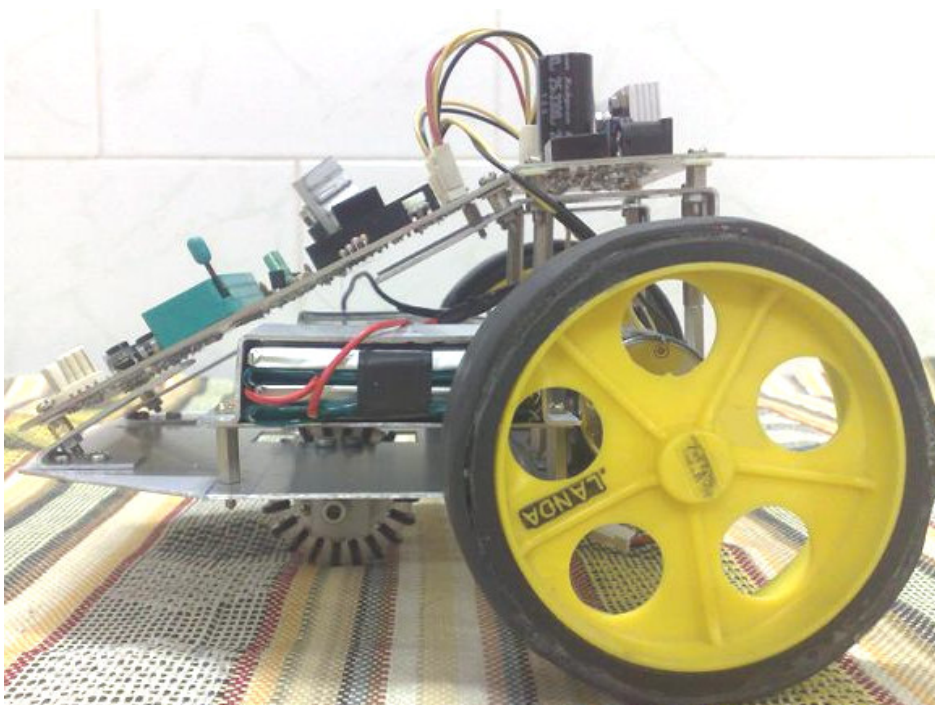
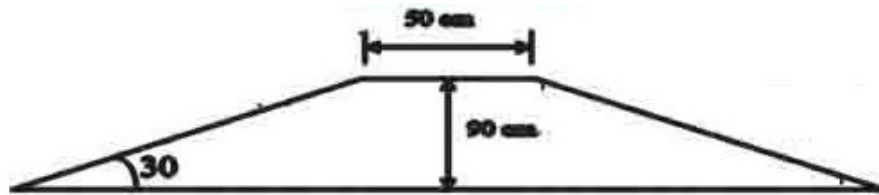
این شاخه از رشته تعقیب خط شامل دو مسیر جنگل و کوهستان می باشد که ربات ها باید این دو مسیر را طی کنند . مسیر جنگل شامل رودخانه و تونل می باشد . عرض رودخانه ۵۰ سانتیمتر بوده و عمق آن حداکثر ۵ سانتیمتر می باشد . ارتفاع آب رودخانه از کف آن حداکثر ۳ سانتیمتر می باشد .



طول تونل بین ۱۶۰-۲۰۰ سانتیمتر و در طی آن احتمال پیچ وجود دارد . عرض دهانه تونل بین ۸۰-۱۰۰ سانتیمتر متغیر بوده و ارتفاع آن بین ۴۰-۶۰ سانتیمتر می باشد که عرض داخل تونل نیز بین ۸۰-۱۰۰ سانتیمتر متغیر است . در بدنه بالایی تونل شکافی جهت عبور سیم منبع تغذیه تعبیه شده است .



مسیر کوهستان شامل شیب به سمت بالا با زاویه حداکثر ۳۰ درجه و سپس مسیر مستقیم به طول حداقل ۵۰ سانتیمتر و شیب به سمت پایین می باشد .



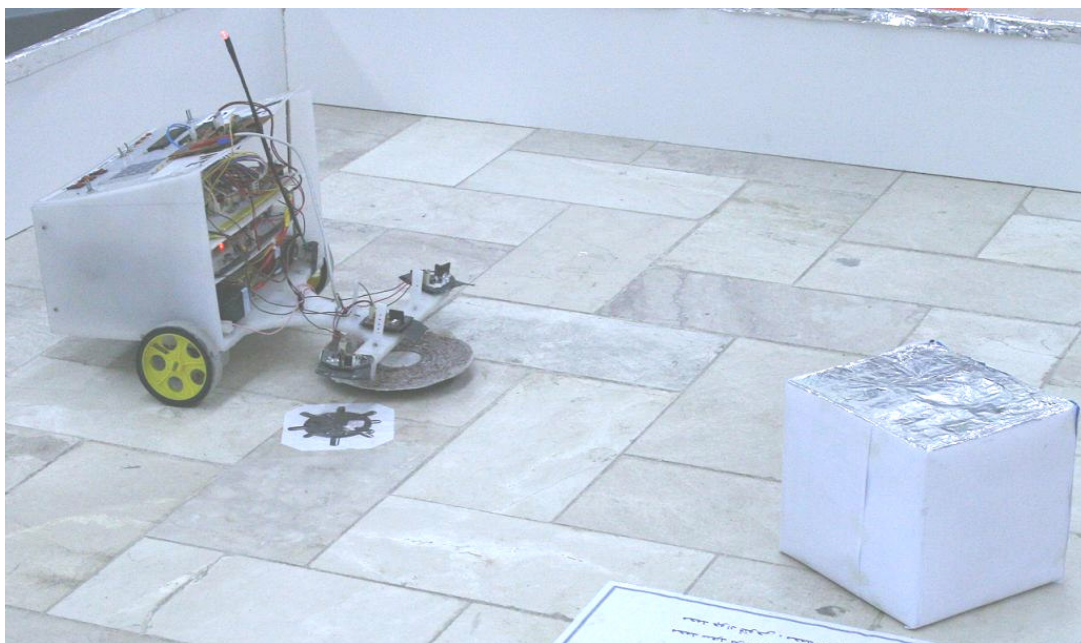
### مین یاب خود کار :

هدف این رشته کشف و اعلام مختصات مین هایی است که در عمق ۶ الی ۷ سانتی متری قرار دارند . در این رشته ربات باید بتواند در یک زمین ۳\*۳ یا ۵\*۵ متر به جستجو بپردازد و مین ها را کشف کند ، دور تا دور زمین توسط دیواره ای به رنگ سفید و به ارتفاع ۵۰ سانتی متر محصور شده است . محدوده مین گذاری شده از هر طرف ۵۰ سانتی متر با دیواره ها فاصله دارد.

محدوده مین گذاری شده با خطوط فرضی به مربع عای فرضی به ابعاد ۵۰ سانتیمتر تقسیم شده است که مین ها در وسط این مربع های فرضی قرار دارند .

مین ها به شکل استوانه و در دو جنس فلزی و پلاستیکی می باشند . مین های فلزی تو خالی از جنس قوطی کنسرو و در همان ابعاد می باشد . مین های پلاستیکی نیز در همان ابعاد از جنس پلاستیک فشرده می باشد که یک قرص آهنی به ارتفاع 2mm و شعاع 15mm بر روی آن قرار دارد . در چهار گوشه های زمین استوانه های رنگی قرار دارد که ربات ها با استفاده از این استوانه ها و الگوریتم های پردازش تصویر مختصات خود و مین را کشف می کنند .

بهترین ربات در این رشته ربانی است که با بهترین الگوریتم در کمترین زمان بیشترین مین را کشف نماید .



### مین یاب کنترل از راه دور :

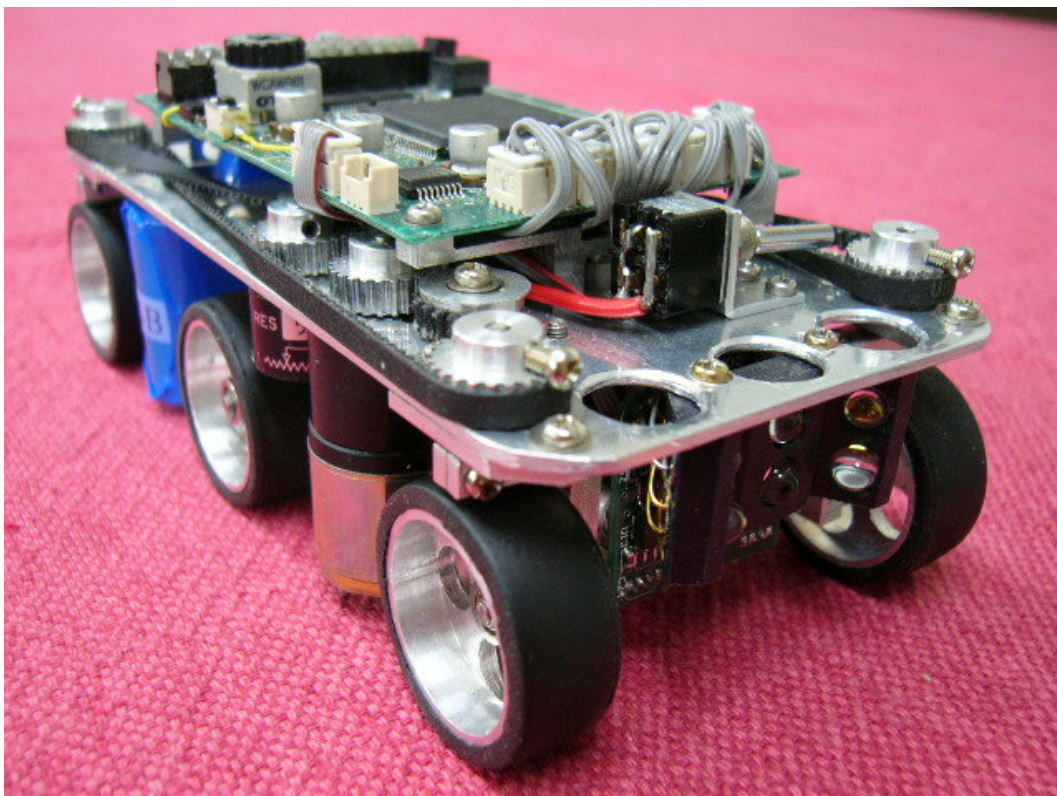
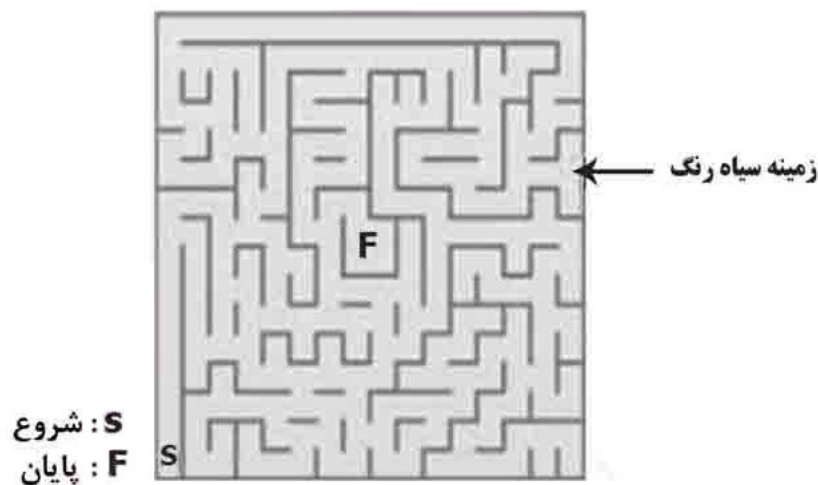
در این رشته هدف حرکت در زمین های ناهموار و کشف مین های دفن شده در عمق ۵-۱۵ سانتیمتری زمین می باشد . در این رشته ربات توسط اپراتوری که در فاصله ۲۰ الی ۳۰ متری پیست قرار دارد کنترل می گردد . اپراتور هیچ دید مستقیمی بر روی جزییات زمین ندارد .

ابعاد تقریبی زمین ۶ در ۸ متر می باشد و دارای شیب هایی به زاویه ۳۵ درجه به صورت تپه هایی به عمق ۷۵ سانتیمتر و دره هایی به عمق ۷۵ سانتیمتر می باشد . همچنین ممکن است حوضچه های آب به عمق ۱۵ سانتیمتر در زمین وجود دارد .

### میکروماوس :

هدف رشته میکروماوس عبور از مسیرهای پرپیچ و خم و رسیدن به مرکز زمین در کوتاه ترین زمان ممکن می باشد . پیست میکروماوس شامل مسیرهای پر پیچ و خمی می باشد که توسط دیواره های سفید رنگ به ارتفاع ۵ سانتیمتر و ضخامت ۱.۶ سانتیمتر ایجاد شده است . زمین میکروماوس مشکی رنگ می باشد و به ۱۶\*۱۶ خانه ۱۸\*۱۸ سانتیمتری تقسیم شده است . خانه مقصد در مرکز زمین قرار دارد بطوری که در مرکز پیست چهار خانه بدون دیوار به یکدیگر متصل شده اند .

هر ربات ۱۰ دقیقه مهلت دارد تا از یکی از گوشه های زمین شروع کرده و با عبور از مارپیچ ها به مرکز زمین برسد . در صورتی که ربات زودتر از ۱۰ دقیقه به مرکز زمین برسد می تواند دوباره از خانه مرکز شروع به پیمایش مارپیچ ها کرده و با کشف مسیرهای کوتاهتر زمان خود را کاهش دهد . در این رشته رقابت بر سر بهترین الگوریتم ها می باشد .





**جنگجو :**

هدف از این رشته ساخت رباتی با بهترین وسیله دفاعی و ضربه ای جهت ضربه زدن و نابود کردن ربات حریف است.

در این ربات از وسایل ضربه ای و دفاعی مختلفی استفاده می شود از جمله چکش ، اره ، پتک ، ... استفاده از شعله ، اسلحه پرتابی و مایعات در مسابقات جنگجو ممنوع می باشد .

ربات باید بیشترین استحکام را داشته باشد تا بتواند در مقابل ضربه های ربات حریف در امان بماند . در این رشته ربات ها در در زمینی محافظت شده به رقابت می پردازند ، زمین از بیرون دید کامل دارد ، هر ربات یک اپراتور دارد که از بیرون زمین ربات را کنترل می کند .

زمین شامل چاله ، آتش ، اره های برنده و ... است که می توانند به ربات ها ضربه وارد کنند . سیستم ارتباطی ربات باید به گونه ای طراحی گردد تا نویزهای محیطی و سیگنال های ارسالی سایر ربات ها تاثیری بر روی عملکرد آن نداشته باشد .



## فصل دوم

### مکانیک ربات

هر رباتی به بستری جهت موجودیت یافتن نیاز دارد که این بستر همان مکانیک است. مکانیک ربات شامل شاسی ، موتور ها ، چرخ ها ، بست ها و .. می باشد .  
مهمترین مسئله در هر پروژه رباتیک طراحی آن می باشد. طراح با دقت و معلومات کامل تمام جوانب را در نظر می گیرد و بهترین ایده را ارائه می کند .

#### بدنه (شاسی):

بدنه وظیفه نگهداری تمام اجزا روبات را به عهده دارد ، طراحی و ساخت بدنه بستگی به وزن و حجم اجزا دارند. بدنه می تواند از جنس آلومینیم ، چوب ، پلک و ... باشد اگر جنس بدنه و قسمتی که مدارهای روبات آنجا سوار می شود از جنس فلزی باشد بهتر از یک پلک جهت جدا سازی مدار و بدنه استفاده شود و یا با استفاده از اسپیسر بین مدار و بدنه ربات فاصله ایجاد می کنیم .  
بهتر است از موادی شروع کنیم که بدنه و اجزای ربات از آن ساخته می شود.

#### چوب:

چوب یک ماده بسیار خوب در طراحی رباتهاست . چوب به راحتی بریده شده ، سوراخکاری و چسب کاری می شود . ایجاد تغییرات در چوب به ابزارهای خاصی نیاز ندارد و با استفاده از ابزارهای روزمره به آسانی می توان قطعات را ساخت و در صورت خراب شدن ، قطعات جدید را جایگزین کرد . در بسیاری از موارد می توانقطعه های آلومینیومی را با چوب شبیه سازی کرد .

#### پلاستیک :

امروزه صدها نوع از پلاستیک ها در زندگی روزمره ما به کار می روند . اما فقط پلی کربنات ها و آکرلیک ها در رباتیک متداول هستند .

#### آکرلیک و پلاستیک پلی کربنات :

آکرلیک و پلاستیک پلی کربنات بسیار سخت، قوی و دارای رنگ های روشن هستند و به صورت ورقه هایی به با ضخامت ۶ ، ۱۲ ، ۲۴ میلیمتر و ... ساخته می شوند .

آکرلیک دارای استحکام کششی بسیار بیشتری در در مقایسه با پلی کربنات است . آکرلیک را می توان سوراخکاری کرد و اجزای مختلف آن را به هم متصل نمود .

متداول ترین نوع تجاری آکرلیک ، پلکسی گلاس (Plexiglass) نامیده می شود . برای بریدن آکرلیک ها باید از ابزارهای تیز با سرعت برش کم استفاده کرد . زیرا اگر ابزارهای برش کند باشند می توانند باعث خرد شدن یا کدر شدن سطح آکرلیک شوند .

در مواردی که ضخامت پلکسی گلاس کمتر از ۵ میلیمتر باشد برای برش می توان از کاتر استفاده کرد . اما اگر ضخامت پلکسی گلاس بیش از آن باشد ، توصیه می شود از ابزارهای مخصوص برش و توسط افراد متخصص استفاده شود . شکل دیگر آکرلیک ها که در برابر ضربه مقاوم می باشد ایمپلکس (Implex) نامیده می شود . این نوع برای ماشین کاری مناسب تر می باشد . زیرا خطر شکستن آن در برش به مراتب کمتر است .

پلی کربنات ها دارای مقاومت بسیار زیادی در برابر ضربه هستند و انواعی از آنها به صورت متداول "شیشه ضدگلوله" نامیده می شوند . متداول ترین نوع تجاری پلی کربنات ها "لکسان Lexan" نامیده می شود . پلی کربنات ها دارای قابلیت های بسیار بیشتری برای ماشین کاری هستند .

آکریلیک ها و پلی کربنات ها قابلیت های خوبی برای تغییر شکل در برابر حرارت دارند . متداول ترین برای تغییر شکل آنها با حرارت ، استفاده از حرارت مستقیم آتش می باشد . برای انجام این کار می توانید ورقه های پلاستیمک را به طور مستقیم بر روی باریکه ای از آتش قرار دهید . اگر مایل به ارایه کار دقیق تری هستید می توانید پلاستیک را برای چند دقیقه بر روی المنت یک گرمکن برقی قرار داده و و سپس ورقه ها را در جهت دلخواه خم کنید .

آکریلیک ها و پلی کربنات های تجاری دارای یک ورقه محافظ در هر دو طرف آنها برای جلوگیری از آسیب دیدگی در هنگام حمل و نقل می باشند ، که از یک ورقه قهوه ای رنگ و ضخیم تشکیل شده است . این پوشش به راحتی از پلاستیک جدا می شود . اما توصیه می شود قبل از جدا کردن آن ، کلیه اندازه گیری ها و ابعاد را روی آن نشانه گذاری کنید و پس از برش پلاستیک آن را جدا کنید . در غیر این صورت فرایند اندازه گیری و برشکاری باعث مخدوش شدن سطح پلاستیک خواهد شد .

آکریلیک ها مخصوصا نوع پلکسی گلاس آن در اندازه های مختلف و رنگ های گوناگون در ایران موجودند .



### آلومینیم:

در بین تمامی فلزاتی که در دسترس هستند ، آلومینیوم بهترین ماده برای ساخت ربات تعقیب خط است . آلومینیوم ، فلزی نرم و سبک ، اما قوی است ، با ظاهری نقره ای - خاکستری مات و لایه نازک اکسیداسیون که در اثر برخورد با هوا در سطح آن تشکیل می شود ، از زنگ خوردگی بیشتر جلوگیری می کند . وزن آلومینیوم تقریباً یک سوم فولاد یا مس است . چکش خوار ، انعطاف پذیر و به راحتی خم می شود . همچنین بسیار بادوام و مقاوم در برابر زنگ خوردگی است . علاوه ، این عنصر غیر مغناطیسی ، بدون جرقه ، دومین فلز چکش خوار و ششمین فلز انعطاف پذیر است .

### تفلون:

پلاستیک فشرده است . قابل انعطاف و بسیار مناسب برای کار های رباتیک می باشد . با حرارت به شکل دلخواه در می آید . به راحتی سوراخ می شود و سبک است .

### سیستم حرکتی ربات:

این قسمت شامل سیستم حرکتی روبات می شود. حرکت روباتها با استفاده از پا، چرخ یا ریل و.. انجام می شود. چرخها یا پاها را می توان با موتورها، سولنوئیدها ، آلیاژهای حافظه دار (SMA) و.. به حرکت درآورد. که معمولاً در بیشتر رباتها از موتور و چرخ استفاده می شود.

یکی از مهمترین اجزای یک روبات نیروی محرکه آن است. برای حرکت دادن سازه ای که ساخته اید نیاز به انرژی مکانیکی دارید. این انرژی معمولاً توسط یک موتور الکتریکی تامین می شود. موتور الکتریکی یا اصطلاحاً آرمیچرها در واقع مبدل های انرژی هستند. موتورهای الکتریکی می توانند انرژی الکتریکی که از ترمینالهای آن وارد می شود را به انرژی مکانیکی تبدیل کنند. انرژی مکانیکی معمولاً به صورت دوران در شافت (محور) موتور ظاهر می شود. دوران این محور (شافت) دو مشخصه اساسی دارد : یکی سرعت دوران آن و دیگری قدرت آن. از ضرب سرعت خطی (متر بر ثانیه) در نیروی موتور می توانید توان نهایی خروجی آن را محاسبه کنید.

ایده کلی این است که وقتی که یک ماده حامل جریان الکتریسیته تحت اثر یک میدان مغناطیسی قرار می گیرد، نیرویی بر روی آن ماده از سوی میدان اعمال می شود. در یک موتور استوانه ای ، روتور به علت گشتاوری که ناشی از نیرویی است که به فاصله ای معین از محور روتور به روتور اعمال می شود، می گردد. با توجه به اینکه گفتیم موتور یک مبدل است، اگر موتور شما ایده آل باشد توان خروجی که بدست می آورید با توان ورودی یعنی انرژی الکتریکی مصرف شده برابر خواهد بود. موتورهای الکتریکی انواع مختلفی دارند از جمله استپ موتورها ، سرور موتورها ، موتورهای DC ، موتورهای AC و ... هر یک از موتورهای نام برده شده ویژگی خاصی دارد مثلاً استپ موتورها دارای دقت بالایی هستند و با توجه به نوع موتور می توان دقت گردش موتور در حد چند درجه کنترل نمود. از ویژگی های اساسی موتورهای DC این است که جهت حرکت و سرعت حرکت آنها به راحتی قابل کنترل است. با تغییر متوسط ولتاژ ورودی می توانید سرعت موتور را تغییر دهید و با تغییر پلاریته ( جهت اتصال تغذیه به موتور ) جهت دوران شافت تغییر خواهد نمود.

توان خروجی از ضرب سرعت در قدرت و با استفاده از فرمول  $W=f.d$  بدست می آید. بسته به کارکرد ربات ، توان مصرفی ، دقت لازم و پارامترهایی از این قبیل نوع موتور روبات انتخاب می شود. بی شک یکی از مشخصه های اصلی موفقیت یک ربات انتخاب صحیح موتور محرک ربات می باشد.

### برای انتخاب موتور ربات به موارد زیر توجه می کنیم :

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| ۱- در دست بودن منبع تغذیه         | ۹- اطمینان الکتریکی و حرارتی                                |
| ۲- شرط یا عوامل راه اندازی        | ۱۰- قابلیت نگهداری و عمر مفید                               |
| ۳- سرعت عملکرد کار مطلوب          | ۱۱- ظاهر مکانیکی مناسب (اندازه، وزن، میزان صدا، محیط اطراف) |
| ۴- پیچیدگی کنترل و هزینه          | ۱۲- مشخصه های راه اندازی (گشتاور - سرعت) مناسب              |
| ۵- قابلیت کار کردن به جلو و عقب   | ۱۳- ولتاژ نامی  |
| ۶- مشخصه های شتاب (وابسته به بار) | ۱۴- جریان نامی  |
| ۷- بازده مناسب در بار اسمی        | ۱۵- دور بر دقیقه (RPM)                                      |
| ۸- توانایی تحمل اضافه بار         |   |

### مقایسه انواع موتورها

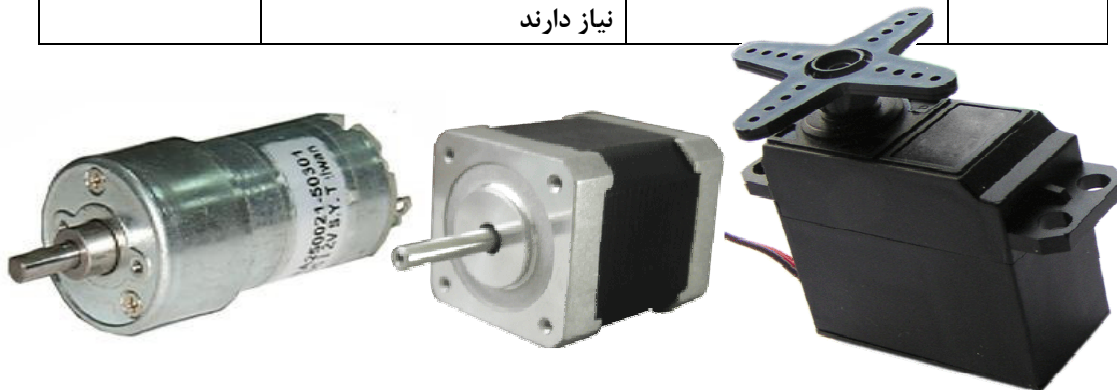
قبل از آنکه اصول و مبانی انتخاب هر یک از موتورها را بررسی کنیم، موتورها را با توجه به عملکرد، روش جابجایی و امتیازاتی که دارند به سه دسته موتورهای DC گیربکس دار، موتورهای پله ای و سرو موتور تقسیم بندی می کنیم.

در جدول زیر انواع مختلف موتورها با توجه به قدرت شان طبقه بندی شده اند.

نوع موتور	قدرت موتور	کلاس وزنی
موتور DC گیربکس دار	بیشترین قدرت	مناسب برای تمام وزن ها
سرو موتور		مناسب برای ربات ها تا سقف ۲/۵ کیلوگرم
موتور پله ای	کمترین قدرت	برای ربات های سبک تا سقف ۱ کیلوگرم

در مرحله بعد، باید در مورد نوع موتوری که برای استفاده در ربات مناسب باشد تصمیم گیری شود. در جدول زیر مزایا و معایب هر یک از انواع موتور نشان داده شده است.

نوع موتور	مزایا	معایب	مناسب برای
موتور DC	متنوع، قدرتمند و در دسترس هستند، اینترفیس آن ها ساده است	سریع و گران قیمت هستند، جریان زیادی مصرف می کنند، اتصال چرخ ها به آن ها دشوار است، کنترل آن ها پیچیده است (PWM)	ربات های بزرگ
سرو موتور	گیربکس و سرعت مناسب دارند، متنوع، ارزان و برای ربات های کوچک مناسب هستند، به آسانی به چرخ ها متصل می شوند، اینترفیس آن ها آسان است	توانایی حمل وزن های زیاد را ندارند، سرعت آن ها قابل تغییر نیست	ربات های کوچک، ربات های انسان نما
موتور پله ای	کنترل سرعت و اینترفیس آنها آسان است، تنوع زیادی دارند، برای محیط های سرپوشیده مناسب هستند.	نسبت به قدرت شان سنگین هستند، جریان زیادی مصرف می کنند، اتصال آنها به چرخ ها دشوار است، قدرتمند نیستند، به سیستم های کنترل پیچیده ای نیاز دارند	ربات تعقیب خط، ربات حل ماز





### موتور DC:

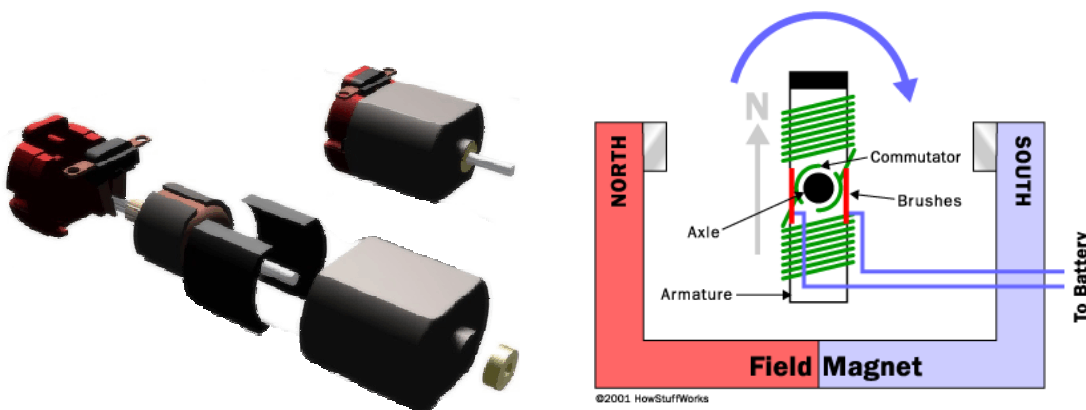
بدون شک موتورهای DC متداول ترین موتورها در عرصه رباتیک هستند. زیرا این موتورها چندمنظوره، در دسترس و نسبتاً ارزان قیمت هستند.

موتورهای DC جزو قدرتمندترین موتورها هستند. در دهها سال گذشته محققان تلاش های گسترده ای را برای بهبود بازده، سرعت و قدرت این موتورها انجام داده اند. امروزه موتورهای DC پیشرفته با بازده بیش از ۹۰ درصد طراحی و ساخته می شوند. بیشتر موتورهایی که به منظور استفاده در پروژه های رباتیک ارائه می شوند، بازدهی بین ۴۰ تا ۷۰ درصد دارند. با این وجود، به اندازه کافی قدرتمند هستند. این موتورها جریان بیشتری می کشند و باتری ها را سریع تر تخلیه می کنند.

### عملکرد یک موتور DC:

در یک موتور DC، آهن ربای دائمی میدان مغناطیسی ایجاد می کند و روتور در داخل آن می چرخد. روتور که در بخش مرکزی موتور قرار دارد تعدادی قطب دارد، که هر کدام یک سیم پیچ دارند. سیم پیچ ها در مرکز شفت به یک سوئیچ متصل شده اند که اصطلاحاً کموتاتور نامیده می شود. جاروبک ها به سیم های مثبت و منفی موتور (که سیم پیچها را تغذیه می کنند) به گونه ای متصل می شوند که یکی از قطب ها میدان مغناطیسی را دفع و دیگری آن را جذب می نماید. هنگامی که روتور می چرخد، کموتاتور جهت میدان مغناطیسی را عوض می کند. وجود قطب ها باعث تداوم حرکت روتور می گردد.

در شکل زیر مکان آهن ربای دائمی (شمال به جنوب) روتور با دو قطب و چگونگی برق دار شدن جاروبک ها در تماس با کموتاتور نشان داده است. در نزدیکی شفت روتور، دو ورقه به سیم پیچ های مربوطه (که در اطراف قطب ها قرار دارند) وصل شده اند. جاروبک ها موتور را به گونه ای تغذیه می کنند که میدان مغناطیسی روتور همیشه میدان مغناطیسی آهن ربا را تعقیب نماید. این عمل باعث چرخش موتور می گردد. عبور جریان بیشتر از سیم پیچ ها باعث تقویت میدان مغناطیسی و چرخش سریع تر موتور می شود.



عبور جریان از سیم پیچ ها یک میدان مغناطیسی ایجاد می کند که باعث چرخش موتور می گردد. تمام جریان ها به منظور حرکت موتور کشیده می شوند و مقدار جریان با نحوه ی حرکت موتور متناسب است. هنگامی که موتور در زیر بار کاملاً متوقف شود مقدار جریان، جریان توقف نامیده می شود و موتور در این وضعیت بیشترین گشتاور را دارد. بیشترین مقدار جریان (جریان توقف) در هنگام راه اندازی موتور نیز کشیده می شود.

### تهیه موتور DC

موتورهای DC با سرعت ۸۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ RPM و حتی بیشتر می چرخند. آشکار است که این مقادیر سرعت برای ربات هایی که همواره باید تحت کنترل باشند، بسیار زیاد و دور از دسترس است. خوشبختانه راه حل این مشکل موتورها وجود دارد و آن استفاده از گیربکس است.

اضافه کردن گیربکس از دو طریق به بهبود عملکرد ربات کمک می کند: اول این که سرعت خروجی کاهش می یابد و دیگر این که خروجی قدرتمندتر می شود. با انتخاب یک گیربکس مناسب، می توان موتور را در یک RPM بالا به گونه ای راه اندازی نمود که موتور بیشترین بازده را با استفاده از حداقل جریان داشته باشد. بدین ترتیب طول عمر باتری ها نیز افزایش می یابد.

وقتی سرعت موتور با استفاده از چرخ دنده کاهش یافت، به صورت همزمان سرعت دورانی کاهش و قدرت خروجی افزایش می یابد. این کاهش سرعت و افزایش گشتاور با یکدیگر متناسب اند و رابطه خطی دارند. به عبارتی دیگر، اگر گشتاور موتور در ۱۰۰۰۰ RPM، ۱ نیوتن متر باشد و سرعت را ۴ مرتبه کاهش دهیم، سرعت نهایی ۲۵۰۰ RPM و گشتاور خروجی ۴ نیوتن متر خواهد بود. این روابط در شرایط ایده آل برقرار است. اما در شرایط واقعی، مقداری از انرژی به علت اصطکاک در چرخ دنده ها و گیربکس تلف می شود. در نتیجه سرعت و گشتاور نهایی کمتر از مقدار پیش بینی شده خواهد بود.

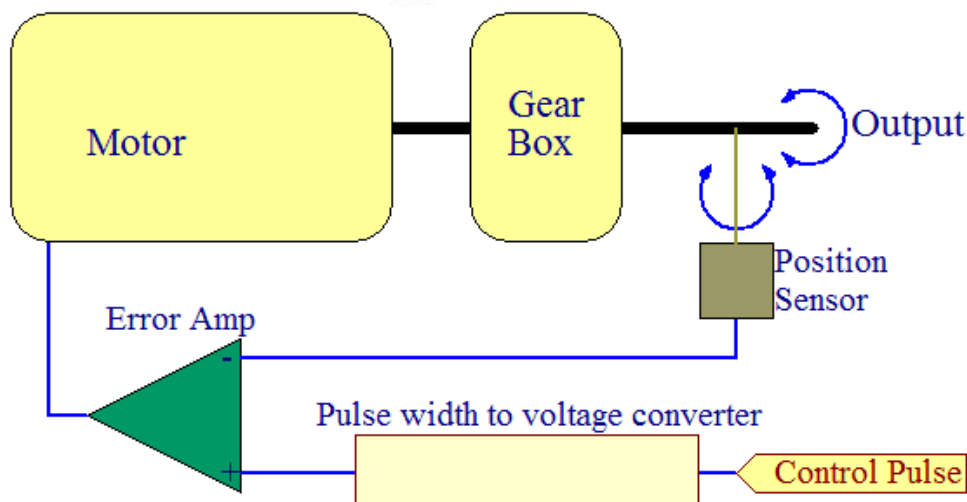
ساختن گیربکس موتور به هیچ وجه توصیه نمی شود. مگر آن که به یک فرزند، یک ماشین تراش و تعداد زیادی ماشین آلات اوراق شده دسترسی داشته باشید. اگر کمی خوش شانس باشید، می توانید موتوری را بیابید که خصوصیات آن بر روی موتور نوشته شده باشد. این مشخصات به شما اجازه می دهد تا توان موردنیاز را محاسبه کنید. گاهی اوقات توان موتور با یکای وات بر روی موتور یا در دیتاشیت موتور نوشته می شود و نیازی به محاسبه آن نخواهد بود. در غیر اینصورت باید از روی ظاهر موتور توان آن را تخمین زد. در پروژه های رباتیک باید از یک موتور گیربکس دار به گونه ای استفاده کرد که RPM مناسب داشته و توان بیشتری را در اختیار ربات قرار دهد.

### سرو موتور

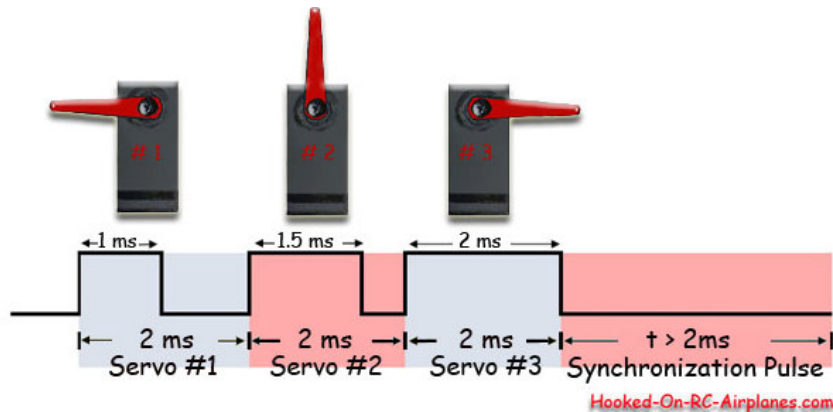
سروموتورها می توانند قوی تر یا ضعیف تر از موتورهای پله ای باشند. زیرا تعداد زیادی از موتورهای پله ای وجود دارند که بزرگ تر و قدرتمندتر از سروموتورها هستند. روش انتخاب این موتورها در قسمت های بعدی بیان خواهد شد. سروموتورها دومین موتور قدرتمند در زمینه رباتیک هستند. امروزه تعداد زیادی از کمپانی ها سرو موتورهای ارزان قیمت و با کیفیت تولید می کنند. معروف ترین سازندگان سرو موتورها Futaba, Airtronics و Hitec هستند که محصولات متنوعی را تولید می کنند.

### عملکرد یک سروموتور

اساس کار سرو موتور همانند یک موتور DC است (که به یک گیربکس با نسبت کاهش سرعت ۱:۱۸۰ وصل شده است) اگر یک سرو موتور را باز کنید، مشاهده می کنید که موتور داخل آن بسیار کوچک است. در داخل جعبه پلاستیکی موتور یک مدار کنترلر قرار دارد. این مدار سیگنال کنترلی که به سرو موتور فرستاده می شود را به جابجایی شفت خروجی تبدیل می کند. سروموتورها معمولاً دامنه حرکتی ۶۰ دارند. اما برخی نمونه ها با دامنه ی ۹۰ و یا بیشتر هم ساخته شده اند. یک پتانسیومتر (مقاومت متغیر) موقعیت شفت خروجی را در تمام لحظات اندازه گیری می کند و مدار کنترلر می تواند شفت سرو موتور را دقیقاً در نقطه ی مورد نظر قرار دهد.



کنترل این نوع موتورهای DC، کنترل موتور حلقه بسته نامیده می شود و واژه سرو نیز از این ویژگی گرفته شده است. یک کنترلر خارجی به موتور اعلام می کند که تحت تأثیر سیگنالی که مدولاسیون نسبی پالس (PPM) نامیده می شود به کدام نقطه برود. این مطب به این معنی است که پهنای پالس پس از رمزنگاری در اختیار کنترلر قرار می گیرد. این سیگنال گاهی اوقات به اشتباه PWM نامیده می شود. PWM سیکل کاری را تغییر می دهد، که بین صفر تا صد درصد زمان دوره است. PPM از زمان یک تا دو میلی ثانیه (در یک دوره ۲ میلی ثانیه ای) برای رمزنگاری اطلاعات استفاده می کند. شکل زیر موقعیت بازوی کنترلی سروموتور را به ازای مقادیر مختلف سیگنال PPM نشان داده شده است.



#### طبقه بندی سروموتورها

سروموتورها با توجه به مقدار گشتاور و سرعت شان طبقه بندی می شوند (اونس - اینچ یا گرم - سانتی متر). یک سرو موتور با مقدار  $\frac{40}{0.21}$  اونس - اینچ، موتوری است که در فاصله یک اینچی (2.5 سانتی متری) از وسط چرخ که اغلب بلبرینگ دارد یک نیروی ۴۰ اونسی اعمال می کند و باعث چرخش ۶۰ درجه ای در مدت زمان ۰.۲۱ ثانیه می شود. مقادیر سرعت معمولاً در بازه ی ۰.۱۱-۰.۲۱ ثانیه قرار دارند. سروموتورها با گشتاورهایی بین ۱۷ تا ۲۰۰ اونس اینچ طراحی و ساخته می شوند. قیمت سرو موتورها با سرعت و قدرت آن ها متناسب است. سروموتورهایی که برای استفاده در رباتیک انتخاب می شوند باید به اندازه ی کافی قدرتمند بوده، ابعاد مناسب داشته و شکل ظاهری آن ها به گونه ای باشد که بر روی ربات قابل نصب باشند.

همان گونه که پیش بینی می شود، کوچک ترین سروموتورها ضعیف ترین آن ها و بزرگ ترین موتورها قوی ترین آن ها هستند. البته استثناء هایی هم در این زمینه وجود دارد و در برخی موارد سرو موتورهایی کوچک تر قوی تر از نمونه های بزرگ تر هستند. ولتاژ کار این موتورها ۴/۸ ولت و در برخی موارد ۶ ولت است. معمولاً سرو موتورهایی که با ۶ ولت کار می کنند سرعت و قدرت بیشتری دارند. معیار دیگر انتخاب سرو موتورها، استفاده یا عدم استفاده از بلبرینگ هاست. بلبرینگ ها برای نگه داشتن شفت خروجی موتور به کار می روند و موتور را کم صداتر، قوی تر و بادوام تر می سازند. بلبرینگ ها اگرچه باعث افزایش قیمت موتور می شوند، اما در مواردی که بار بیش از حد بر روی شفت موتور قرار می گیرد استفاده از آنها ضروری است.