

طراحی و پیاده سازی یک ربات هوشمند با قابلیت انجام بازی شطرنج به کمک پردازش تصویر

مژگان رنجبر اردستانی^{1*}، نوید اصل فتاحی²

۱- گروه مهندسی مکترونیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران

۲- گروه مهندسی مکترونیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران

چکیده

در این مقاله، یک سیستم هوشمند رباتیک بر اساس اصول بینایی ماشین، هوش مصنوعی و رباتیک طراحی و پیاده سازی شده است. در این طرح تصویر یک صفحه شطرنج با خانه های سیاه و سفید و مهره های رنگی قرمز و آبی توسط یک دوربین خوانده شده و از طریق پورت USB به کامپیوتر منتقل می شود. یک برنامه ی هوشمند کامپیوتری که در نرم افزار متلب برنامه نویسی شده است، تصویر مورد نظر را از پورت USB دریافت کرده و پس از یک مرحله پردازش تصویر بر اساس تفکیک رنگ ها، مکان مهره ها را تشخیص می دهد. سپس با توجه به مکان مهره ها، الگوریتم هوشمند بازی شطرنج را اجرا کرده و نوع حرکت مهره بعدی را از این الگوریتم بر اساس قواعد بازی شطرنج دریافت می کند. سپس با توجه به نوع حرکتی که باید انجام شود فرمان حرکت مورد نظر را از طریق پورت USB به مدار کنترل بازوهای مکانیک ارسال می کند. این مدار دارای پردازنده مرکزی بر اساس میکروکنترلر ARM سری LPC2368 می باشد. میکروکنترلر پس از دریافت فرمان از نرم افزار متلب، بازوهای مکانیکی را برای جابه جایی مهره از خانه ی مبدأ تا خانه ی مقصد راه اندازی و هدایت می کند. در این عملیات همواره به کمک دو پتانسیومتر از موقعیت حرکت بازوها فیدبک گرفته می شود تا حرکت آن ها تحت نظارت باشد.

کلمات کلیدی: پردازش تصویر، نرم افزار متلب، بازی شطرنج، میکروکنترلر LPC2368، سیستم هوشمند رباتیک

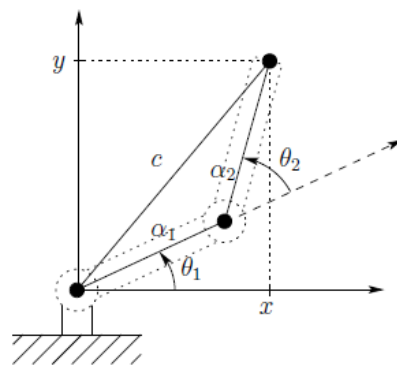
۱. مقدمه

ربات ها در صنعت کاربردهای فراوانی پیدا کرده اند. ربات ها برای اهداف خاصی طراحی می شوند و در طراحی آن ها باید محیط کار آن ها و تمامی پارامترهای مربوط را لحاظ کرد. ربات ها ساخته می شوند تا کار را برای انسان آسان تر کنند و یا این که در محیط هایی که برای سلامتی انسان مضر است، جایگزین انسان باشند. محاسبه ی طول بازوهای ربات، شکل مفاصل، دینامیک و سینماتیک ربات مربوط به حوزه ی مکانیک ربات می شود، لذا در این سیستم، مهندس مکانیک با توجه به نیاز، بازوها را طراحی کرده و اندازه ی گشتاور لازم را بدست می آورد و مهندس الکترونیک با توجه به این داده ها موتورها را انتخاب می کند [1]. از طرفی طراحی های مربوط به مسیر نیز در همین قسمت انجام می شود. امروزه هوش مصنوعی نیز به کمک این علم آمده و باعث شده ربات هایی ساخته شوند که خودشان قابلیت یادگیری دارند. از این منظر می توان ربات را مانند فرزند انسان دانست که در حال یادگیری راه رفتن است. بینایی مهمترین حس انسان است، لذا تصاویر مهم ترین نقش را در ادراک انسان دارند. پس با تفسیر تصاویر می توان بخشی از کارهایی را که قرار است انسان انجام دهد، با ربات

انجام داد. در این پروژه وقتی دوربین تصویری را می گیرد و داده های آن را به کامپیوتر می دهد، این داده ها فقط شامل رنگ نقاط تصویر است و عملاً به درد ورودی برای منطق شطرنج نمی خورد لذا لازم است تا این داده ها به داده های قابل قبول تبدیل شوند. این کار در این بخش انجام می شود و می توان گفت قسمت پردازش تصویر وظیفه دارد اطلاعات مفید را از تصویر گرفته شده، استخراج کند. در این پروژه از نرم افزار متلب به دلیل داشتن ابزارهای مختلف و سهولت در برنامه نویسی استفاده شده است. برای آنکه بتوانیم الگوریتم مورد نظر را اجرا کنیم لازم است، زیر سیستم های مزبور توسط یک برنامه با هم مرتبط باشند. لذا برای این کار برنامه اصلی را در نرم افزار متلب نوشتیم. طبق این برنامه الگوریتم مرحله به مرحله اجرا می شود و هر جا لازم باشد از زیر سیستم ها استفاده می گردد [2]. پس از فشردن کلید، برنامه نوشته شده در متلب از طریق ارتباط سریال با برد الکترونیکی از فشردن کلید مطلع شده و دوربین را فراخوانی می کند. دوربین از صفحه شطرنج تصویر برداری کرده و برنامه پردازش تصویر این تصویر را پردازش می کند و از روی آن، مکان مهره ها را استخراج می کند. حال برنامه مکان مهره ها را چک می کند، اگر درست بود که بازی را شروع شده اعلام می کند و بازی شروع شده و چراغ به رنگ سبز روشن می گردد [3]. در غیر این صورت چراغ خطا روشن شده و از بازی کن خواسته می شود دوباره مهره ها را درست بچیند. در این حالت بازیکن مهره ها را درست می چیند و دوباره کلید استارت را می زند. با زدن کلید استارت دوباره دوربین فعال شده و مراحل قبل اجرا می گردد. اگر بازی شروع شد در این حالت چراغ خطا که روشن بود خاموش می شود، با شروع شدن بازی به حریف گفته می شود که حرکت صحیح خود را انجام دهد [4].

۲. روش تحقیق

لازم است رباتی طراحی شود که بتواند صفحه شطرنج را ببیند، بنابراین باید این ربات دو درجه آزادی داشته باشد و از طرفی بتواند مهره را بردارد. مکانیزم برداشتن مهره مربوط به پنجه می شود که راه های متفاوتی برای این کار وجود دارد. یکی از آن ها استفاده از سیستم بال اسکرو دو محوره است. استفاده از این سیستم به دلیل هزینه زیاد برای کار ما مناسب نیست زیرا این سیستم دقت بالایی دارد و ما دقت زیادی نمی خواهیم. از ربات دو لینکی با دو مفصل لولایی استفاده می کنیم.

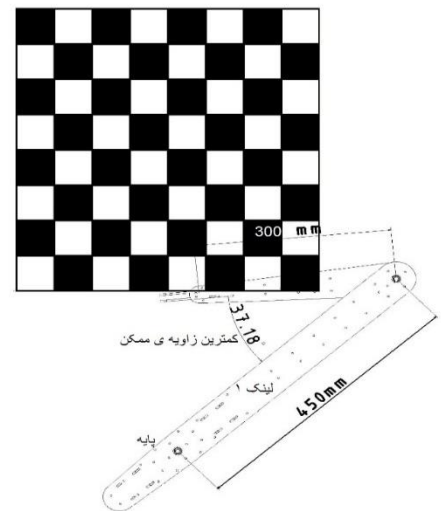
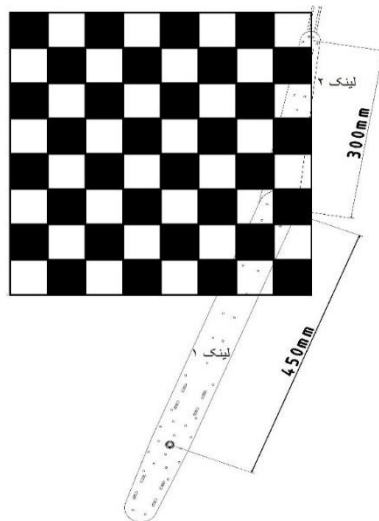


شکل ۱. ربات ۲ لینکی با ۲ مفصل لولایی

در این ربات طول لینکها ثابت است و تنها زاویهها عوض می شوند. برای طراحی باید طول لینکها طراحی شود. برای تعیین طول لینکها باید در نظر داشت که جمع طول لینکها بیشتر از بیشترین فاصله است. ربات باید تا حدی جمع شود که بتواند به نزدیکترین نقطه دست پیدا کند. بنابراین باید کمترین زاویه ربات هم مد نظر قرار داده شود. با احتساب موارد بالا ربات به صورت زیر طراحی شد:

طول لینک ۱ = ۴۵ سانتی متر

طول لینک ۲ = ۳۰ سانتی متر



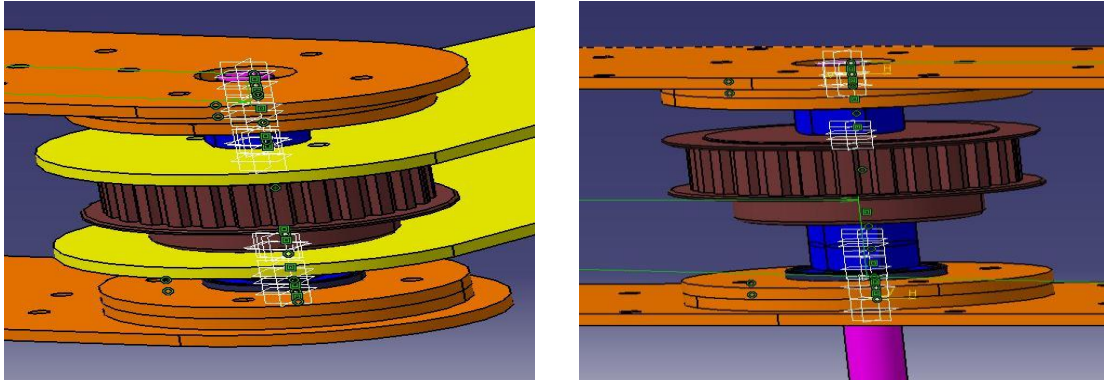
شکل ۲. بازوها در دو حالت بحرانی

بعد از معلوم شدن طول لینکها، حال نوبت به انتخاب جنس و روش ساخت می رسد. ربات باید طوری طراحی می شد که بتواند در مدت زمان طولانی دچار خزش نشود. از طرفی برای کاهش حجم موتورها لازم بود متریا ل مورد استفاده سبک باشد و استحکام مورد نیاز را داشته باشد. سهولت در ساخت و تبدیل طرح به محصول نیز از پارامترهای مهم در طراحی به شمار می رفت. لذا به این نتیجه رسیدیم که از پلکسی استفاده کنیم. برای طراحی بازوها ابتدا لازم است بیشترین گشتاور خمشی که به بازوها وارد می شود در هر لینک محاسبه شود. بنابراین چون ضریب الاستیسیته ی پلکسی را مستقیماً نداشتیم و برای محاسبات لازم داشتیم آن را با آزمایش بدست آوردیم. برای انجام آزمایش، یک تیر از جنس پلکسی با طول ۴۰ سانتی متر و ممان سطح $36(\text{mm})^4$ و سطح $37(\text{mm})^2$ را از یک طرف به گیره بستیم و سمت دیگر، تحت وزن تیر دچار خیز شد. خیز برابر با ۲۲ میلی متر بود که از این نتیجه برای محاسبه ی مقدار ممان سطح مورد نیاز برای طرح نهایی استفاده شد. می دانیم که خیز تیر با مقدار ممان سطح آن رابطه معکوس و با سطح مقطع رابطه مستقیم و با طول تیر به قوه ی چهار رابطه مستقیم دارد بنابراین با توجه به ارقام بالا داریم:

$$\text{اندازه ی ممان سطح بازو} / \text{اندازه سطح مقطع بازو} = (160) / (1)$$

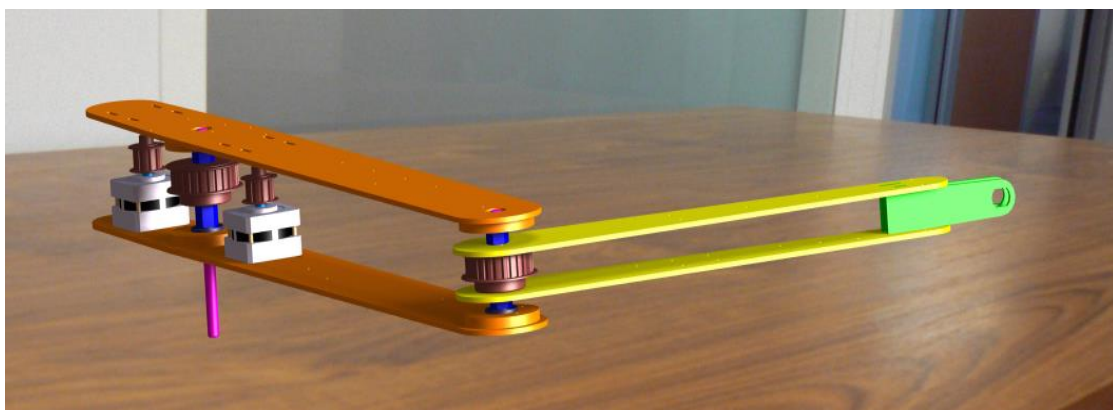
$$\text{اندازه ی ممان سطح بازو} / \text{اندازه سطح مقطع بازو} = (1313) / (1)$$

این مقدار علاوه بر این که قابل قبول است، ضریب اطمینان بالایی هم دارد. توسط نرم افزار کتیا که یک نرم افزار طراحی است، بازوها طراحی شده و توسط سی ان سی ساخته شد. برای طراحی مفاصل از دو عدد بلبرینگ مطابق شکل زیر استفاده شده است. از پیچ با شماره ۸ هم به عنوان شافت استفاده شده، همانطور که در شکل پیداست.



شکل ۳. طرح مفصل در کتیا و طریقه جاسازی بلبرینگ

در این ربات از پولی و تسمه تایمینگ برای انتقال حرکت استفاده شده است. یکی از پولی ها با نسبت ۲.۳ از پولی دیگر بزرگتر است و این موضوع باعث می شود گشتاور با همین نسبت افزایش یابد و دقت حرکت نیز افزایش می یابد. پولی بزرگ ۲۸ دنده و پولی کوچک ۱۲ دنده دارد. در این ربات پنجه وظیفه دارد مهره ها را بردارد و در نقطه ای دیگر قرار دهد. مکانیزم های متفاوتی برای این کار وجود دارد. مکانیزمی که ما در این پروژه استفاده کردیم شامل یک موتور گیربکس دار، یک لولا و سیم پیچ و هسته ی فریتی می باشد. اصول عملکرد به این صورت است که مهره ها از جنس آهن می باشند، بنابراین با آهنربا می توان آن را جذب کرد. لذا با ایجاد جریان در داخل سیم پیچ، هسته فریتی را آهنربا می کنیم و مهره را جذب کرده و با قطع جریان آن را رها می کنیم. در نهایت طرح نهایی این ربات در نرم افزار کتیا به شکل زیر پیاده سازی گشت.



شکل ۴. طرح نهایی در نرم افزار کتیا

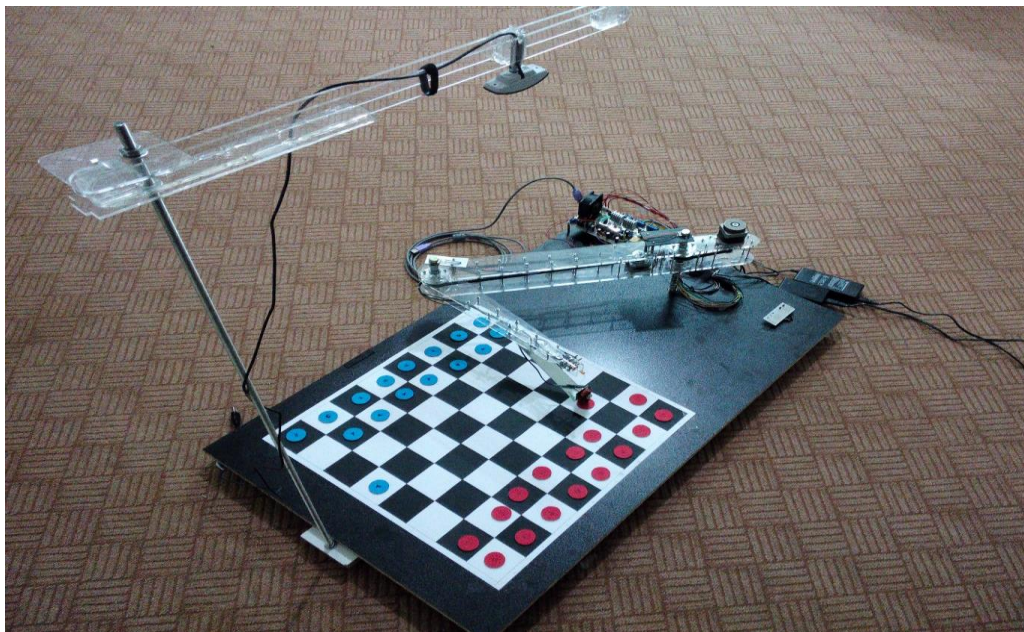
یکی از قسمت های مهم ربات شطرنج باز ساخته شده، قسمت الکترونیک و الکترومکانیکی سیستم است، که وظیفه ی آن دریافت موقعیت مهره ها از صفحه ی شطرنج و ارسال آن ها به کامپیوتر، دریافت و ارسال دستورات و موقعیت مهره ها و وضعیت بازی بین کامپیوتر و بازیکن حریف، کنترل دقیق موقعیت بازوهای مکانیکی و نیز کنترل مکانیزم جابجایی مهره ها است [5]. در ربات شطرنج باز ساخته شده در این پروژه از یک دوربین دیجیتال به عنوان چشم ربات استفاده شده است که در واقع وظیفه آن مشاهده ی صفحه ی شطرنج و مکان مهره های بازی است. این دوربین دیجیتال تصاویر گرفته شده را توسط درگاه ارتباطی خود به کامپیوتر منتقل می کند تا به وسیله برنامه نوشته شده، تصویر وضعیت مهره ها و بازی پردازش شود و تصمیمات لازم گرفته شود. برای این پروژه از وبکم مدل FaceCam 1020 Tattoo تولید شرکت Genius استفاده شده است [6]. در روند انجام پروژه پایه ی نگهدارنده ی دوربین را از آن جدا کردیم و دوربین را در ارتفاع ۸۵ سانتیمتری از صفحه ی شطرنج، توسط پایه ی نگهدارنده ی دیگری که ساختیم، نصب کردیم. ارتفاع ۸۵ سانتیمتری ارتفاعی است که صفحه ی شطرنج ۵۰ سانتیمتر مربعی را کاملاً در کادر عرضی تصویر پوشش می دهد. بازوهای ربات به وسیله دو موتور الکتریکی حرکت داده می شوند. در این پروژه به دلیل سهولت کنترل موقعیت موتورهای پله ای توسط میکروکنترلر و دقت بالای آن ها در کنترل موقعیت زاویه ای، از موتورهای پله ای به منظور کنترل موقعیت بازوها استفاده شده است. برای جابجا کردن بازوی اول ربات از استپر موتور ۵.۱ ولت ۱.۸ درجه مدل 4H4018X ساخت شرکت تایوانی TECO استفاده شده است [7]. موتور پله ای بازوی اول ربات یک موتور پله ای از نوع هایبرید است. این موتور با اندازه ی هر گام ۱.۸ درجه نیاز به ۲۰۰ گام برای پیمایش یک دور کامل دارد. این موتور دارای چهار سیم خروجی و یا به عبارتی دو دسته سیم پیچ است. با توجه به اینکه جریان مورد نیاز هر سیم پیچ ۱ آمپر و ولتاژ هر سیم پیچ ۵.۱ ولت ذکر شده است، لازم بود که جریان مورد نیاز سیم پیچ ها توسط یک مدار راه انداز (درایور) با قابلیت جریان دهی مناسب و یک منبع تغذیه با ولتاژ قابل تنظیم جهت تأمین ولتاژ و جریان مورد نیاز مدار راه انداز استفاده شود. به همین خاطر از تراشه شماره LM2576 ADJ که یک رگولاتور سویچینگ قابل تنظیم ۳ آمپری است، برای تأمین ولتاژ تغذیه ی مدار راه انداز موتور پله ای استفاده کردیم [8]. برای راه اندازی سیم پیچ ها نیز فرامین را از میکروکنترلر دریافت و به یک تراشه ی L298N اعمال نمودیم. تراشه ی L298N یک درایور تمام پل دوتایی است. در واقع دو عدد مدار تمام پل برای جریان دهی و جریان کشی حداکثر ۲ آمپری در حالت DC، درون این تراشه تعبیه شده است. برای جابجایی بازوی دوم که بازوی بزرگ تر ربات است، نیاز به موتور پله ای قوی تری نسبت به موتور پله ای بازوی اول داشتیم. بنابراین از موتور پله ای با گام ۱.۸ درجه و جریان ۲ آمپری استفاده کردیم. برای راه اندازی این موتور نیز مانند موتور پله ای اول از یک مدار شامل تراشه ی راه انداز موتور L298N و یک تراشه ی رگولاتور سویچینگ قابل تنظیم LM2576ADJ استفاده شد و ولتاژ ورودی سیم پیچ های موتور توسط مقاومت متغیر خروجی رگولاتور روی ۸ ولت تنظیم شد. برای برداشتن و قرار دادن مهره ها در این پروژه از یک عدد بوبین مغناطیس شونده استفاده کردیم. عملکرد این بوبین این گونه است که با ایجاد جریان داخل سیم پیچ هسته آهنربا می شود و مهره ها که واشرهای آهنی هستند را، جذب می کند. سعی کردیم برنامه ی این پروژه را به صورت ماژولار بنویسیم. برنامه نویسی به صورت ماژولار یعنی اینکه برنامه به صورت توابعی نوشته می شود که در یک برنامه اصلی از این توابع استفاده می کنیم. برای شروع برنامه نویسی در keil ابتدا یک پروژه جدید در نرم افزار ایجاد می کنیم. با ایجاد پروژه ی جدید پنجره ای مبتنی بر انتخاب میکرو باز می شود. در این پنجره از گروه ای سی های NXP میکروکنترلر LPC2368 را انتخاب می کنیم و بعد از تأیید پنجره بسته می شود. پروژه ایجاد شده و یک فایل با پسوند (.S) به پروژه اضافه می گردد. این فایل را فایل استارت اپ می نامند. و تنظیمات اولیه ی میکرو در آن قرار دارد. می توان با تغییر متن این فایل تنظیمات را تغییر داد ولی برای این کار نرم افزار امکانی را فراهم کرده است [9]. به این واسطه می توان از طریق CONFIGURATION WIZARD تنظیمات فایل استارت اپ را تغییر داد. در این پروژه از امکانات جانبی میکرو نظیر USART , ADC استفاده کردیم. بنابراین آن ها را در فایل استارت اپ فعال می کنیم. با انجام این تنظیمات و ذخیره ی آن ها در فایل استارت اپ وقتی میکرو شروع به کار می کند، ابتدا فایل استارت اپ تنظیمات را بارگذاری می کند.

پس از آن کاربر می تواند در داخل برنامه این تنظیمات را تغییر دهد. پس از این که فایل استارت اپ به پروژه اضافه و تنظیم شد نوبت به اضافه کردن برنامه اصلی به پروژه می رسد. بنابراین گزینه **new** را در نرم افزار می زنیم، فایل متنی به پروژه اضافه می گردد. این فایل متنی را با پسوند (.c) ذخیره می کنیم و به پروژه اضافه می کنیم و برنامه اصلی را در این قسمت نوشته و برنامه را کامپایل می کنیم. امکان مهمی که باید در طراحی آورده شود امکان پروگرام کردن میکرو در داخل مدار است. روش های پروگرام کردن متفاوتی وجود دارد. یکی از آن ها پروگرام کردن به روش **JTAG** است. در این روش برنامه نویسی می تواند علاوه بر این که میکرو را پروگرام می کند، آن را دیباگ هم کند. به این معنا که مرحله به مرحله برنامه را داخل میکرو اجرا کند و نتیجه را در کامپیوتر ببیند. با این کار راحت تر می توان عیب کار را پیدا کرد. برای ایجاد قابلیت **JTAG** باید پایه های **TCK, TMS, TDI, TDO, TRST** را به علاوه **VCC3.2, GND** توسط پین هدر به بیرون هدایت کرد. این کار را توسط پین هدر ۷ پین یک ردیفه انجام دادیم. قطعات توسط هویه معمولی ۴۰ وات بر روی برد مونتاژ شدند. سیم کشی ها هم با رنگ های مناسب طوری انجام شد که مانع حرکت ربات نشود و از طرفی ضخامت آن برای عبور جریان کافی باشد. سیم ها به طور مرتب دسته بندی شدند. این امر مانع سر درگمی و باعث حرکت روان ربات با وجود سیم ها می شود. قطعاتی نظیر **LM2576** و **L298N** به دلیل عبور جریان زیاد گرم می شوند لذا لازم است از خنک کار به علاوه فن استفاده شود. برای این المان ها هیت سینک های مخصوص را قرار دادیم و به فن عمل خنک کاری را انجام دادیم. توابع مربوط به هوش بازی، مجموعه توابعی است، که ما از آن ها جهت محاسبه حرکت کامپیوتر استفاده می کنیم. ما این توابع را از یک سایت دانلود کردیم. این توابع توسط **W.GARN** نوشته شده است. منتها قضیه ای که وجود داشت این بود که این توابع برای کار با ماوس بود و حریف باید با ماوس حرکت خود را انجام می داد و کامپیوتر هم حرکتش را انجام می داد و در صفحه نمایش نشان می داد، این یعنی اینکه ورودی، ماوس بود و خروجی، صفحه نمایش. در صورتی که ما می خواهیم خروجی ربات و ورودی تصویر داشته باشیم. بنابراین لازم شد تغییراتی در این سیستم اعمال کنیم.

۳. بحث و نتیجه گیری

در این پایان نامه از تکنیک های مختلف طراحی و ساخت اجزای مکانیکی، طراحی مدار الکترونیک، طراحی نرم افزاری و ساخت سخت افزار الکترونیکی، برنامه نویسی میکروکنترلر و برنامه نویسی در محیط **MATLAB** در کنار یکدیگر بهره برده شده است. با توجه به تکنیک های ساخت استفاده شده در این پروژه و ترکیب زمینه های مختلف مهندسی در روند انجام این کار می توان گفت که گام مناسبی، هر چند کوچک در روند صنعتی سازی ایده های دانشگاهی برداشته شده است، که با ادامه و ارتقای این روند می توان به دستاوردهای ارزشمندی در حوزه صنعت و تجاری سازی ایده های ترکیبی و بین رشته ای در این حیطه از مهندسی دست یافت. در این پروژه با توجه به ماهیت تحقیقاتی و آزمایشگاهی آن بخش بینایی ماشین و پردازش تصاویر و نیز بخش منطق بازی کننده شطرنج ربات، بر رابانه پیاده سازی شده است. برای پیاده سازی این دو بخش از نرم افزار **MATLAB** استفاده شده است. استفاده از نرم افزار **MATLAB** امکان استفاده از توابع خاصی همچون تابع تشخیص صفحه شطرنج را فراهم می آورد. همچنین از توابع تشخیص دایره، برای تشخیص مهره ها در تصویر صفحه استفاده شده است. این توابع و توابع این چنینی با دقت بالای خود و تنظیمات در دسترس خود، جهت کاربری مناسب تر و سهولت نسبی خود در استفاده، کمک زیادی در روند انجام پروژه هایی از این دست می توانند ایفا کنند. با کاهش زمان برنامه نویسی و عدم نیاز به پیاده سازی الگوریتم های پرکاربرد در پردازش تصویر می توان پروژه های بینایی ماشین گسترده تر و پیچیده تری را انجام داد که این از ویژگی های پردازش تصویر با نرم افزار **MATLAB** است. در این پروژه برنامه ای پردازش تصویر نوشته شده، با سرعت قابل قبول ۰.۸ ثانیه اجرا می شود. این زمان را با استفاده از دستور

clock به دست آوردیم. بیشتر زمان طی شده جهت انجام عملیات پردازش تصویر، صرف باز و بسته کردن درگاه USB دوربین دیجیتال می شود که این زمان به غیر از ۰.۸ ثانیه زمان صرف شده جهت پردازش صفحه و پیدا کردن مهره ها است. بازوهای ربات با داشتن موتورهای پله ای با دقت ۰.۹ درجه در هر نیم گام و نیز با استفاده از نسبت تبدیل ۱ به ۲ توسط مکانیزم تسمه و پولی، جابه جایی ۰.۴۵ درجه ای را در هر جابجایی بازو می توانند داشته باشند. این جابه جایی زاویه ای، در طول ۸۰ سانتیمتری مجموع دو بازو منجر به حدوداً ۶ میلیمتر فاصله ی هر نقطه از نقطه ی مجاور مورد پیمایش بازو می شود. این اندازه از دقت در پیمایش و دسترسی به نقاط مورد نظر، برای جابجایی مهره هایی با قطر ۳۰ میلی متر، در صفحه شطرنجی با خانه های به ضلع ۵۰ میلی متر مناسب است. در عمل نیز پویش بازوها در صفحه جهت جابجایی صحیح مهره ها مناسب و دقیق ارزیابی شده است. به طوریکه برای جابجایی هر مهره از مرکز هر خانه به هر خانه ی دیگر از صفحه، مجموع خطاهای مکان جذب مهره از مرکز خانه ی مبدأ و مکان قراردادن مهره در محل مورد نظر از نصف اندازه ی یک ضلع شطرنج کمتر بود. بنابراین در هنگام بازی با هر جابجایی یک مهره می توانستیم مطمئن باشیم که مهره درون خانه ی مورد نظر قرار می گیرد. برای نوشتن منطق بازی شطرنجی که در این پروژه استفاده گردید، از یک برنامه ی شطرنج گرافیکی نوشته به زبان MATLAB که با کاربر از طریق موشواره ی رایانه می توانست بازی کند استفاده شد. برای استفاده از این بازی لازم بود که یک بار برنامه ی نوشته شده به طور دقیق مطالعه شود تا بتوان تغییرات لازم را در آن اعمال نمود، به طوریکه برنامه ی مورد نظر به جای اینکه حرکت کاربر انسانی را از طریق توابع مربوط به موشواره ی رایانه دریافت کند، از طریق دوربین و برنامه ی پردازش تصویر نوشته شده دریافت کند. با توجه به ماژولار نوشته شدن برنامه ی متلب پروژه می توان بدون تغییرات چندانی، منطق شطرنج باز را ارتقاء داد و یا حتی منطق بازیگر قوی تری را جایگزین کرد. همچنین می توان الگوریتم پردازش تصویر برنامه را بهبود و یا تغییر داد و تکنیک های پردازش تصویر دیگری را نیز امتحان کرد. تصویر نهایی شده ی ربات شطرنج باز در شکل زیر می توان دید.



شکل ۵. تصویر نهایی ربات شطرنج باز پیاده سازی شده

منابع

۱. سهرابی س، مرجع کاربردی میکروکنترلرهای ARM، ۱۳۸۹، تهران، قدیس

۲. رافائل سی گونزالس_ ریچاردای ووودز، ترجمه عین الله جعفر نژاد قمی، ۱۳۹۰، چاپ سوم، بابل علوم رایانه
۳. دوجی ب. ۱۳۹۱. استریو ویژن: روشی برای فاصله یابی و غلبه بر مشکلات موجود در سیستم های فاصله یابی کنونی، جامعه مجازی برق و الکترونیک ایران.
۴. معلم پ، فائز ک. ۱۳۸۱. الگوریتم سریع در بینایی استریویی بر مبنای لبه با کمک کاهش فضای جستجو. دومین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی. ۲۶-۲۵ بهمن ماه ۱۳۸۱.

۵. Jose concolves ,and Paulo ,chess robot system :a multi disciplinary experience in automation , Instituto Polit ´ecnico de Bragan

6. David URTING and Y.2005olande BERBERS, A Low-Cost Chess Robot . KULeuven, Department of Computer Science

7. Hirschm ˘uller,H .2001. Autonomous Chess-Playing.

8.<http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AF%D9%88%D8%B1%D8%A8%DB%8C%D9%AC%DB%8C%D8> accessed 2/1/2015

9.http://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%AF%D9%88%D8%B1%D8%A8%DB%8C%D9%86_%D8%AF%DB%8C%D8%AC%DB%8C%D8%AA%D8%A7%D9%84 accessed 1/1/2015