

طراحی و ساخت پروتز دست مصنوعی FUM Bionic Hand

سعید بهرامی مقدم^۱، حامد جعفرزاده^۲، رضا برزنونی^۳، احمد حاجی پور^۴، علیرضا اکبرزاده توتونچی^۵

۱-دانشجو کارشناسی ارشد مکاترونیک دانشگاه حکیم سبزواری

۲-دانشجو کارشناسی سخت افزار دانشگاه فردوسی مشهد

دانشجو کارشناسی مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد-3

۴-عضو هیئت علمی دانشگاه حکیم سبزواری

۵-عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این مقاله، به بررسی رویه‌ی طراحی و ساخت اولین نمونه از پروتز دست بانام FUM Bionic Hand در آزمایشگاه رباتیک دانشگاه فردوسی مشهد می‌پردازیم. ابتدا با مروری بر انواع پروتزهای دست ساخته‌شده (تحقیقاتی یا تجاری) ویژگی‌های مهم و موردنیاز و همچنین ایده‌های اصلی طراحی را مشخص می‌کنیم و در ادامه طراحی مکانیکی و مدارات الکترونیکی پروتز FUM Bionic Hand را موردبررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم. از مهم‌ترین ویژگی‌های مکانیکی این دست می‌توان به درجات آزادی مجزا برای هر انگشت، استفاده از مکانیسم تاندون جهت کوپل نمودن حرکت بندهای هر انگشت، قابلیت جداسازی انگشتان به صورت مجزا بدون نیاز به جداسازی سایر انگشتان و جاسازی تمامی محرک‌ها و مدارات الکترونیکی در قسمت کف دست اشاره نمود. در نهایت روند ساخت و تولید این دست توسط ماشین‌آلات گوناگون، جنس بدنه و مدارات الکترونیکی موردبررسی قرار گرفته می‌شود.

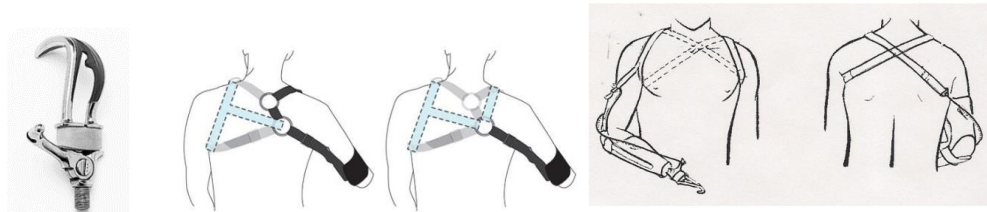
واژگان کلیدی: دست مصنوعی، EMG، FUM Bionic Hand، پروتز

مقدمه

در ایران افراد زیادی دچار معلولیت های قطع دست و پا به دلایل مختلفی همچون سوانح، جنگ و یا بیماری هایی از قبیل: دیابت و معلولیت مادرزادی می باشند. در بیشتر موارد افراد معلول بدون استفاده از پروتز یا پروتزهای ساده و بدون هیچ گونه قابلیت حرکتی با معلولیت خود کنار می آیند. از سوی دیگر در سالیان اخیر، به دلیل پیشرفت های شگرف در حوزه های فناوری مانند مکانیک، کامپیوتر و الکترونیک و در کل علم بیونیک شاهد معرفی محصولات پیشرفته هستیم که زندگی را برای انسان ها ساده تر کرده است. حوزه پروتزهای مصنوعی نیز از این قاعده مستثنی نبوده و دچار پیشرفت قابل ملاحظه ای شده است به گونه ای که اکنون پروتزهای مصنوعی بیونیک با قابلیت های حرکتی گوناگون و قابلیت فرمان پذیری به صورت مستقیم از انسان می باشند. با وجود همه این پیشرفت ها، در سطح بین المللی تعداد محدودی کمپانی می باشند که به ارائه پروتزهای مصنوعی با قیمت اقتصادی به گروه وسیعی از مشتریان این محصول می پردازند. در ایران، با وجود نیاز فراوان، این محصولات بسیار کمیاب تر از سایر بازارهای منطقه و بسیار پرهزینه است (حقانی و همکاران، ۱۳۹۱).

با مطالعه ی سیر تکاملی پروتزهای دست اولین گونه های متحرک چنگک هایی بودند اوایل قرن نوزده میلادی توسعه (josef T.Belter et al, 2011) (Ali, 2013) یافتند.

این پروتزها به عنوان ابزاری مفید و قابل اعتماد در زندگی روزمره افراد معلول در طول سالیان مورد استفاده قرار گرفته شدند. مفهوم اصلی در طراحی چنگک بدین صورت است که همه این ابزارها از دو چنگک ساخته شده اند. در بین آن ها از فنر مکانیکی بهره گرفته می شده است. جهت بستن چنگک ها نیروی محرکه لازم توسط کابل از شانه فردی که از چنگک استفاده می کرد تأمین می شد (شکل-۱)؛ اما کاربران از نقاط ضعف این پروتزها ناراضی بودند. خستگی ماهیچه های شانه در صورت کار مداوم یا سنگین با چنگک، ظاهر بسیار متفاوت از دست طبیعی انسان و عدم توانایی در انجام حرکات پیچیده از جمله مهم ترین نقاط ضعف این چنگک ها بود؛ اما با توجه به قدمت آن، امروزه نیز به دلیل نقاط پایین، سادگی و عدم نیاز به تعمیرات پی در پی، (Ventimiglia, 2012) قوت فراوانی که دارند از جمله قیمت مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۱- چنگک های پروتز و تسمه های اتصال به بدن

این چنگک ها تنها دارای یک درجه ی آزادی بودند که در سیر تکامل آن ها استفاده از موتور الکتریکی جایگزین ارتباط کابلی شد. آن ها نیز در ابتدا از یک درجه آزادی بهره می بردند اما با پیشرفت علم به درجات آزادی آن ها افزوده شد و برای حرکت دادن اختیاری انگشتان آن از سیگنال EMG بهره برده شد (MIGUELEZ, 2009).

در سالیان اخیر دست های مصنوعی با قابلیت حرکت هر انگشت به صورت مستقل به بازار عرضه شده اند. طراحی و کار آبی این دست ها بسیار پیشرفته تر از نسل های قبلی است. اولین کمپانی عرضه کننده دست های مصنوعی کمپانی تاج به که محصول تولیدی آن آی-لیمب نام دارد، مبنای طراحی آی-لیمب انگشت هایی با قابلیت حرکت یونیکس است مستقل است. پس از این، شرکت آراس ال استیپر اقدام به معرفی دست بی یونیک نمود. این دست در طراحی شباهت بسیار زیادی به دست آی-لیمب دارد، اما تلاش شده است که قیمت آن از قیمت آی-لیمب کمتر باشد.

(touch bionic,2012)(Advanced Arm Dynamics,2012)

کمپانی ادونس آرم داینامیکس پروتزی را معرفی نمود که به عنوان پیشرفته ترین پروتزی دست شناخته شده است. نام تجاری آن میشل آنجلو است و یکی از ویژگی های بارز آن طراحی انگشتان به ویژه انگشت شست در این دست است که قابلیت مانور بسیار بالایی شبیه به انگشت طبیعی انسان است. متأسفانه قیمت بالای این دست (در حدود ۱۰۰,۰۰۰ دلار) مشتریان و حتی شرکت های بیمه قادر به تأمین منبع مالی لازم (Pittman, 2012) باعث شده که درصد بسیار بالایی از جهت خریداری آن نباشند

از سوی دیگر در حوزه تحقیقاتی نیز بر روی دست های پروتزی کارهای زیادی انجام شده است. یکی از نمونه های بارز سرمایه گذاری در بخش تحقیق بر روی این محصولات را سازمان دارا DARPA دارا است. در چند سال گذشته این سازمان تصمیم گرفته است که سرمایه گذاری عظیمی بر روی تحقیقات این پروتزا جهت کمک به تعداد زیادی از سربازان که در میدان جنگ دچار معلولیت عضو گردیده اند انجام دهد. نتیجه این سرمایه گذاری ها دو دست APL و DEKA بود. این دو نمونه دست تقریباً قادر هستند بیشتر کارهایی که دست طبیعی انسان انجام می دهد را تکرار کنند. بودجه تحقیقاتی دست APL در حدود یک صد میلیون دلار و دست DEKA در حدود بیست میلیون دلار بوده است.

(Dillow, 2011) (DEKA Research, 2009)

جهت تحریک انگشتان در دست های مصنوعی و همچنین دست های رباتیک دو روش وجود دارد:

۱- fully actuated: که هر بند یک actuator مستقل داشته و حرکت بندها از هم مستقل است. قدر مسلم این است که این روش دارای پیچیدگی های زیاد در زمینه طراحی مکانیکی، کنترل و ... است. تنها دست های معدودی هستند که به این روش ساخته شده اند. همچنین از جنبه کاربردی در دست های طبیعی نیز اگر به این قضیه نظر کنیم این روش چندان کاربردی نیست.

۲- under actuated: در این روش حرکت چند مفصل به حرکت یک مفصل دیگر کوپل شده است. معمولاً این گونه در نظر گرفته می شود که در هر انگشت مفصل پایه، مفصل ثابت و سایر مفاصل، متحرک می باشند. بدین ترتیب از پیچیدگی های موجود کاسته می شود. این روش فوق در پروتزی FUM Bionic Hand انتخاب شده است. در روش under actuated به دو روش حرکت مفاصل به هم کوپل می شود:

۱- استفاده از اهرم جهت انتقال حرکت

۲- استفاده از تاندون و پولی جهت انتقال حرکت

مزیت روش اول دینامیک نسبتاً ساده آن است. به این دلیل که اتصال بین مفاصل کاملاً صلب است و می توان در هر لحظه، مکان هر یک از بندها را به طور دقیق پیش بینی نمود.

در روش دوم به دلیل استفاده از تاندون و پولی اتصال مفاصل انعطاف پذیرتر است. این خاصیت به انگشت ویژگی shape adaptivity می دهد.

Shape adaptivity: اگر انگشت دارای این خاصیت باشد، در هنگام گرفتن اشیاء انگشت به طور کامل شکل شیء را می گیرد. در این صورت پایداری عمل گرفتن افزایش می یابد و احتمال افتادن شیء از دست کاهش می یابد.

به دلیل این که روش دوم خاصیت Shape adaptivity دارد، جهت کوپل کردن مقابل به هم انتخاب شده است.

در استفاده از تاندون سه روش برای کوپل کردن حرکت وجود دارد:

۱- استفاده از دو تاندون موافق و مخالف

۲- استفاده از یک تاندون و فنر پیچشی

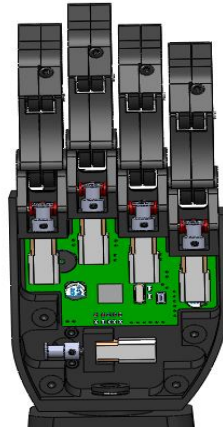
۳- استفاده از دو تاندون موافق و مخالف و فنر پیچشی

جهت بسته شدن انگشت همواره از یک تاندون استفاده می شود. گاهی برای باز کردن انگشت هم از یک تاندون مخالف استفاده می شود. استفاده از فنر پیچشی در مفاصل این مزیت را دارد که در هنگام جمع شدن انگشت، انرژی در خود ذخیره می کند و جهت باز شدن می توان از این انرژی استفاده کرد. همچنین در صورت استفاده از فنر، انگشت حالت نسبتاً صلب به خود گرفته و در صورت وارد شدن تنش می تواند مقداری از انرژی تنش را جذب نماید. در طراحی پروتز FUM Bionic hand تصمیم گرفته شده است که از روش نخست یعنی دو تاندون موافق و مخالف جهت باز و بسته کردن انگشت استفاده شود. با توجه به این که معمولاً در انگشتان انسان، بند سوم درجه آزادی نسبتاً کمی دارد، در بعضی از دست ها مشاهده شده است که از بند سوم صرف نظر کرده اند و انگشت ها دوبندی ساخته می شوند. تقریباً دست تجاری ای موجود نیست که انگشت های آن سه بندی باشد. همچنین در کوپل کردن حرکت انگشتان با تاندون، انگشت های سه بندی دینامیک نسبتاً پیچیده تری در مقایسه با انگشت های دوبندی دارند. مشکلات ساخت نیز از نکات واضح دیگر است لذا با توجه به دلایل ذکر شده FUM Bionic hand انگشتان دوبندی دارد (Claudio Melchiorri, Makoto Kaneko, 2014).

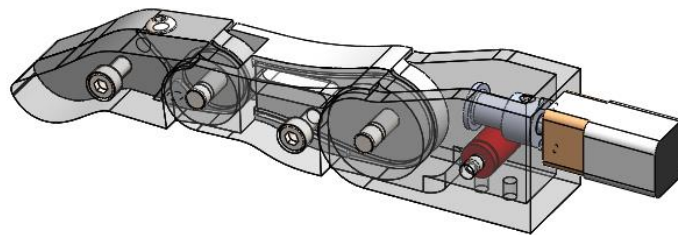
روش تحقیق

دست مصنوعی FUM Bionic Hand دارای شش درجه آزادی است. هریک از انگشت ها یک درجه آزادی و یک درجه آزادی دیگر نیز جهت چرخش مچ دست در نظر گرفته شده است. یکی از مهم ترین ویژگی های طراحی شده دست مزبور این است که کلیه موتورهای و بردهای الکترونیکی در قسمت کف دست جانمایی شده اند. (شکل ۲-۲) بدین ترتیب همه افراد معلول از ناحیه دست (صرف نظر از محل قطع دست) قادر به استفاده از این پروتز می باشند. نوع دیگر رایج در طراحی دست های پروتز جانمایی موتورها و بردها در قسمت مچ است. قرار دادن موتورها در قسمت مچ باعث می شود

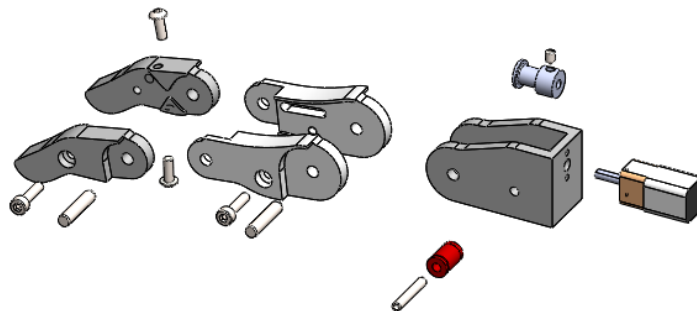
افرادی که از قسمت مچ به پایین دچار معلولیت باشند نتوانند از این پروتز استفاده کنند. هر یک از انگشتها به صورت دوبندی طراحی شده اند. جهت کوپل کردن حرکت دو بند هر انگشت نیز از مکانیسم تاندون استفاده شده است (شکل-۳) و (شکل-۴).



شکل-۲: جانمایی موتورها و مدار الکترونیکی

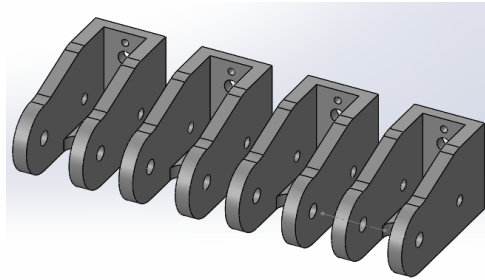


شکل-۳: انگشت طراحی شده FUM Bionic Hand



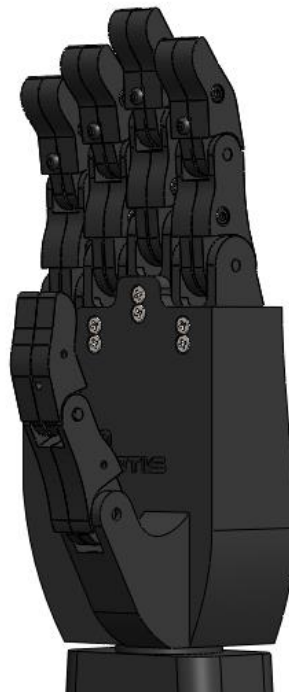
شکل-۴: نمای انفجاری انگشت FUM Bionic Hand

از ویژگی های طراحی این دست قابلیت تعویض هر یک از انگشتان به طور مجزا است همچنین جهت ساده تر شدن عملیات ساخت، ابعاد همه انگشتان یکسان در نظر گرفته شده است. (شکل-۵)



شکل-۵: یکسان سازی ابعاد قطعات

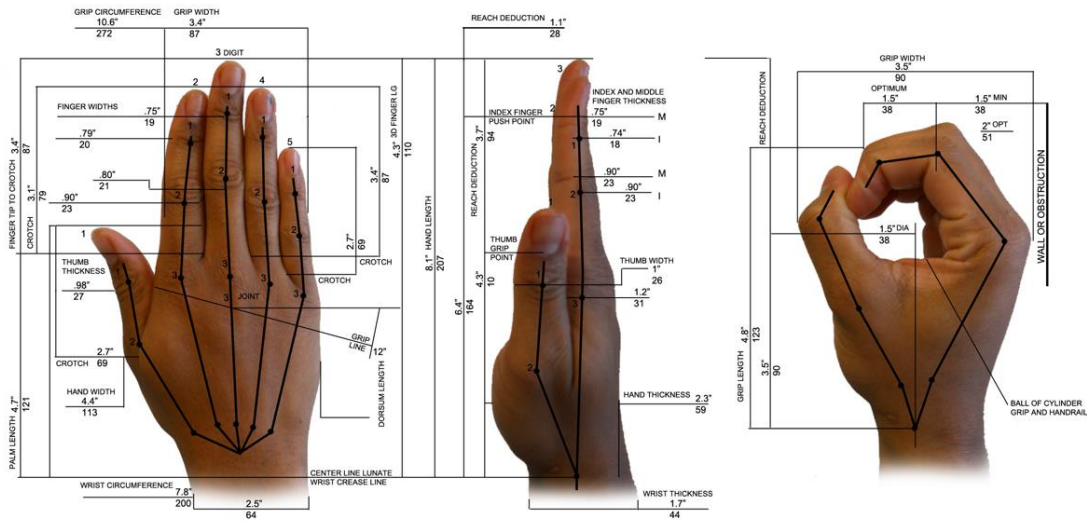
انگشت شست در این پروتز به صورت یک درجه آزادی و پایه ثابت طراحی شده است زیرا به کمک ساده نمودن مراحل ساخت می انجامد. لازم به یادآوری است که درجه آزادی انگشت شست مربوط به باز و بسته شدن آن است (شکل-۶).



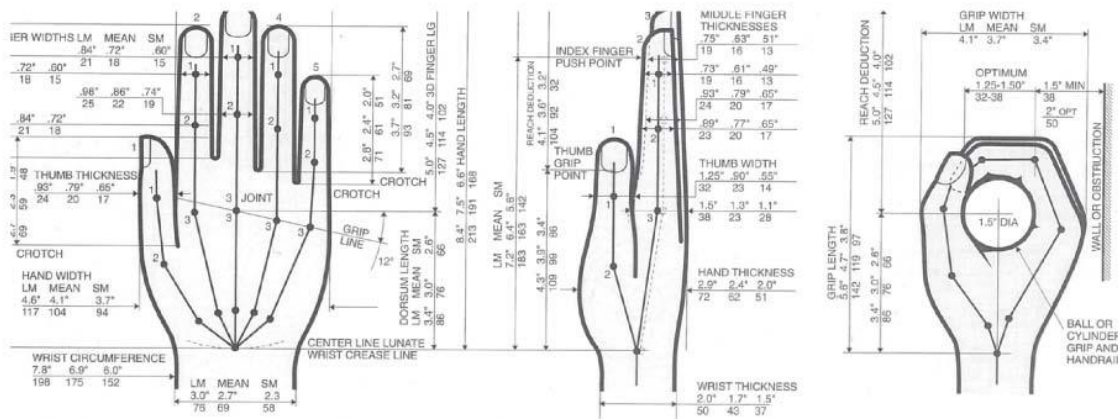
شکل-۶: نمای انگشت شست دست FUM Bionic Hand

جهت طراحی دست با ابعاد نزدیک به دست انسان، از داده های آماری که با اندازه گیری ابعاد قسمت های مختلف دست افراد به دست آمده است استفاده شده است. (شکل-۷) و (شکل-۸) ابعاد میانگین دست انسان را نمایش می دهد. این دو شکل، یکی از مهم ترین منابع در طراحی دست FUM Bionic Hand می باشند.

Anthropometric Hand Measurements
Cary M. Robinson



شکل-۷: ابعاد دست انسان



شکل-۸: ابعاد دست انسان

در مورد انتخاب موتور گشتاور و سرعت مورد نیاز در هر یک از انگشتان دست ها با رجوع به مقالات مرتبط در زمینه طراحی پروتزا مشخص گردید که سرعت زاویه ای هر یک از مفاصل دست طبیعی انسان در حدود ۳ تا ۴ رادیان بر ثانیه (حدوداً بین ۲۸,۶ تا ۳۸,۲ دور بر دقیقه) است. همچنین گشتاور تقریبی ۱۹۳ میلی نیوتون متر گشتاور مورد نیاز در موتور است.

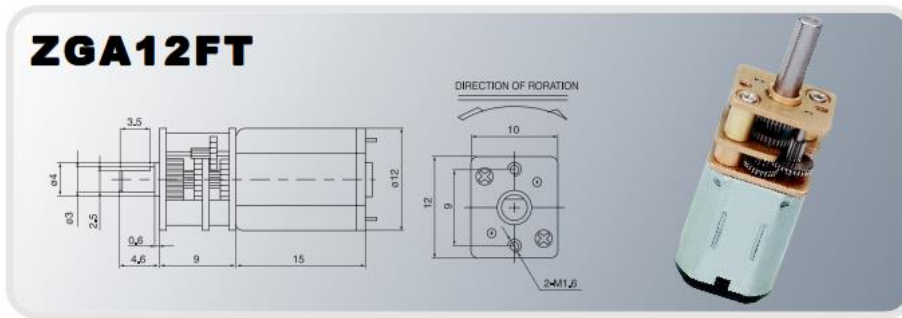
(Skylar A. Dalley et al, 2009) یکی از اولویت های مهم در انتخاب موتور قابلیت جاسازی در کف دست بود. به همین جهت و با توجه به تحقیقات میدانی. انجام گرفته موتور DC ای که تقریباً تمامی معیارهای مهم از جمله وزن،

گشتاور، دور موتور و اندازه‌ی مطلوب ما را داشته باشد، در ایران تنها در مدل Zheng سری ZGA12 یافت شد. تنها مشکل عدم وجود انکودر در این نوع موتورها است که در صورت نیاز به کنترل حلقه بسته راه حل پیشنهادی استفاده از پتانسیل متر است. در (جدول-۱) مشخصات برخی از موتورهای قابل استفاده ذکر شده‌اند.

جدول-۱: مشخصات برخی از موتورهای قابل استفاده

No	motor	Type	speed	torque	Dimension
1	Buehler Motor-1.61.077.006	DC Planetary Gear Motor	55 rpm	1 nm	90x30 mm
2	Buehler Motor-1.61.070.325	DC Planetary Gear Motor	53 rpm	1300 mN.M	90x47
3	Buehler Motor-1.61.077.623	DC Planetary Gear Motor	75 rpm	1000 mN.M	90X30
4	Buehler Motor-1.61.077.622	DC Planetary Gear Motor	140rpm	550 mN.M	90X31
5	Buehler Motor-1.61.077.715	DC Planetary Gear Motor	23rpm	1800mN.M	90X32

در نهایت موتورهای چینی مدل Zheng سری ZGA12 جهت استفاده در انگشت‌ها انتخاب گردید. این نوع موتورها دارای گیربکس ساده در خروجی خود می‌باشند. مزیت اصلی این موتورها قیمت ارزان و فراوانی در بازار ایران است، مشخصات موتور در (عکس-۹) آمده است.

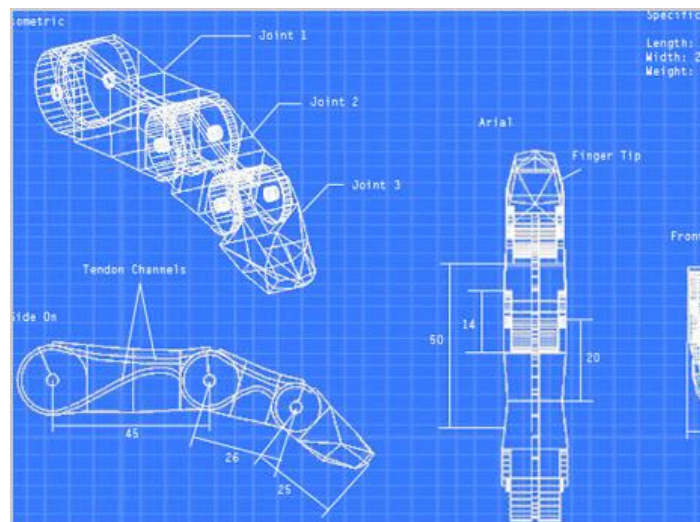


■ 技术参数 Technical Data

电压 Voltage(VDC)	6V	6V	6V	6V	6V	6V	6V	6V
減速比 Reduction Ratio	1/298	1/150	1/298	1/298	1/100	1/50	1/30	1/50
空載转速 No-Load Speed(Rpm)	35	60	70	80	120	200	330	400
額定转速 Rated Speed(Rpm)	30	50	58	60	100	180	300	350
額定力矩 Rated Torque(Kg.cm)	0.2	0.15	0.4	0.5	0.6	0.05	0.04	0.05
額定電流 Rated Current(Amp)	0.14	0.11	0.21	0.21	0.21	0.095	0.085	0.1

شکل - ۹: مشخصات موتور ZGA12

در هر انگشت از یک تاندون پیوسته استفاده شده است. مسیر تاندون در (شکل - ۱۰) نمایش داده شده است.

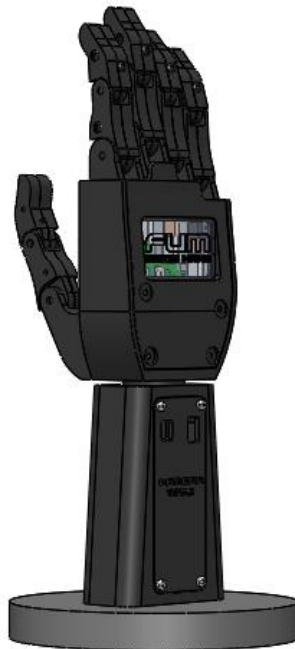


شکل - ۱۰: مسیر تاندون درون انگشت

جنس تاندون ها از نخ ماهیگیری انتخاب شده است. نوع خاصی از نخ ماهیگیری به نام مونوفیلامنت (monofilament) به عنوان تاندون استفاده شده است. این نوع نخ های ماهیگیری از فیبر پلاستیک ساخته شده اند. مونوفیلامنت ها در ضخامت ها و استحکام کششی متفاوتی به روش اکستروژن ساخته می شوند. فرآیند اکستروژن نه تنها قطر مونوفیلامنت بلکه استحکام کششی آن را نیز کنترل می نماید. نوع مونوفیلامنت مورد استفاده به عنوان تاندون در دست FUM Bionic Hand دارای ضخامت ۰,۴ میلی متر و قدرت تحمل ۲۱ کیلوگرم بار کششی است. در برخی از نمونه های دست مصنوعی ساخته شده، از الیاف کولار استفاده می کنند. این الیاف ها به دلیل نسبت بالای استحکام کششی به وزن،

دارای کاربردهای فراوانی در حوزه های گوناگون همچون تایر دوچرخه ها، قایق های مسابقه و جلیقه های ضد گلوله هستند. نسبت استحکام کششی به وزن فایبر کولار پنج برابر این نسبت در فولاد است (سرانجام، عبدالهی فر، ۱۳۹۱).

پس از طراحی کامل دست (شکل-۱۱) و قبل از ساخت آن، جهت حصول اطمینان از کار کردن مکانیسم طراحی شده و رفع نواقص احتمالی یک انگشت به صورت نمونه اولیه توسط پرینتر سه بعدی تولید شود (شکل-۱۲). آلومینیوم گرید ۷۰۰۰ برای ساخت دست برای مرحله ی تولید نهایی استفاده شد. این فلز علاوه بر نسبت وزن به حجم قابل قبول دارای سایر ویژگی هایی همچون قابلیت ماشین کاری خوب، استحکام بالا، مقاومت در برابر حرارت و خوردگی و در دسترس بودن در بازار ایران است جهت ساخت از روش ماشین کاری استفاده شد. عمده قطعات به دلیل دقت بالا و داشتن فرز CNC منحنی های پیچیده به کمک دستگاه ساخته شده اند (شکل-۱۳).



شکل-۱۱: نمایی از پروتز طراحی شده

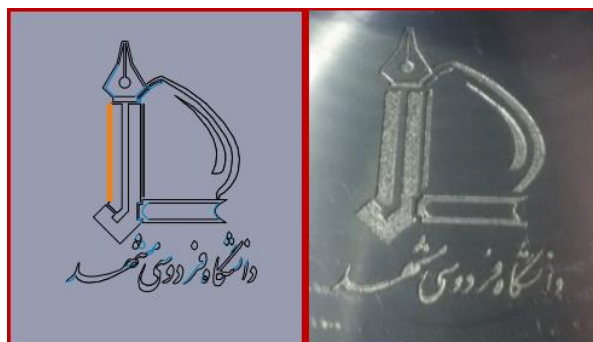


شکل-۱۲: نمونه ی اولیه



شکل-۱۳: قطعات پروتز بعد از ماشین کاری

پس از مرحله ساخت جهت حک سه آرم بر روی دست FUM Bionic Hand از خدمات پانتوگرافی استفاده شد. پانتوگرافی در واقع همان فرز CNC با ابعاد کوچک و اندازه ابزارهای ریز تا حدود قطر ۰,۱ میلی متر است که برای حکاکی یا انجام ماشین کاری های ظریف مورد استفاده قرار می گیرد (شکل-۱۴).



شکل-۱۴: پانتوگرافی

مرحله نهایی ساخت آندایز قطعات است. آندایز یک فرآیند الکتروشیمیایی ((Electrochemical process است که برای افزایش ضخامت لایه ی اکسیدی که به صورت طبیعی روی سطح فلزات تشکیل می شود، مورد استفاده قرار می گیرد.

مدارات الکترونیکی دست مصنوعی ساخته شده، از دو قسمت اصلی تشکیل شده است، قسمت اول پردازنده ی صلی قسمت دوم واحد راه انداز موتور ها است. در این مدارات به دلیل اینکه فشار محاسباتی زیادی بر روی پردازنده وجود دارد، می بایست از پردازنده ای استفاده گردد تا بتواند با Multi-Tasking سازگار باشد تا به تمام وظایف رسیدگی کند. به همین دلیل از کنترل کننده ی STM32F407VGT6 انتخاب شده که توان پردازشی ۲۱۰ میلیون دستور در ثانیه را دارد. یکی از بزرگترین چالش ها برای طراحی مدار، قرار دادن ۵ درایور برای ۵ موتور و اندازه گیری جریان آنها بود. برای حل این مشکل از درایور های L293 استفاده شد، این درایور ها که به صورت SMD در بازار موجود هستند، نسبت به نمونه های مشابه کوچکترین ابعاد ممکن را دارند. اندازه گیری فعالیت عضلانی به وسیله پتانسیل الکتریکی، الکترومایوگرافی (EMG) نامیده می شود. الکترومایوگرافی از دیرباز جهت تحقیقات پزشکی و تشخیص مشکلات عصبی-عضلانی مورد استفاده قرار می گرفته است. در سالیان اخیر، با کوچک تر و در عین حال قوی تر شدن کنترل کننده ها و مدارات مجتمع، مدارات و سیگنال های EMG در حوزه های پروتز، رباتیک و دیگر سیستم های کنترل کاربرد فراوانی یافته اند. برخی از کاربردهای این سنسورها عبارتند از: بازی های ویدیویی، ربات ها، تجهیزات پزشکی، تجهیزات الکترونیکی قابل حمل و پوشیدنی و اکزواسکتون ها هستند.

همان گونه که قبلا نیز ذکر شد، در دست FUM Bionic Hand جهت ارتباط دست به بدن و گرفتن فرمان از اعصاب ماهیچه دست از ماژول EMG استفاده شده است (شکل-۱۵).



شکل-۱۵: ماژول EMG استفاده شده

این ماژول جهت ارتباط مستقیم به کنترل کننده ها طراحی شده است؛ بنابراین خروجی آن به صورت سیگنال های خام EMG نمی باشند بلکه به صورت تقویت شده، یک سو شده و پالایش شده است به طوری که با مبدل آنالوگ به دیجیتال کنترل کننده به راحتی قابل استفاده باشد. در (شکل-۱۶) نمونه کامل ساخته شده را به تصویر کشیده ایم.



شکل-۱۶: نمونه کامل ساخته شده FUM Bionic Hand

بحث و نتیجه گیری

برای ساخت یک پروتز هوشمند، در ابتدا نیازمند مطالعات دقیقی در حوزه های مختلف علمی می باشیم. ما پس از گذشت مدت زمانی در حدود ۹ ماه به طراحی و پیاده سازی پروتز پرداختیم. اولین گام شناسایی نکات کلیدی مکانیکی و الکترونیکی پروتز است، سپس شبیه سازی و پس بررسی های جامع ساخت یک پیش نمونه است. در نمونه اولیه بسیاری نقص ها نمایان می شود که عامل مهمی در ساخت نمونه ای با حداقل خطاست. در (جدول-۲) و (جدول-۳) به مقایسه ی FUM Bionic Hand و سایر پروتز ها می پردازیم.

جدول-۲: مشخصات FUM Bionic Hand

Mechanical Specifications							
DOF	Actuation Method	Number of Actuators	Finger Coupling Method	Weight	Dimension (mm)		
					Height	Length	Width
۶	DC gear motor	۵	Tendon-MCP to PIP phalange	۷۰۰ g	۴۰	۲۰۶	۸۶

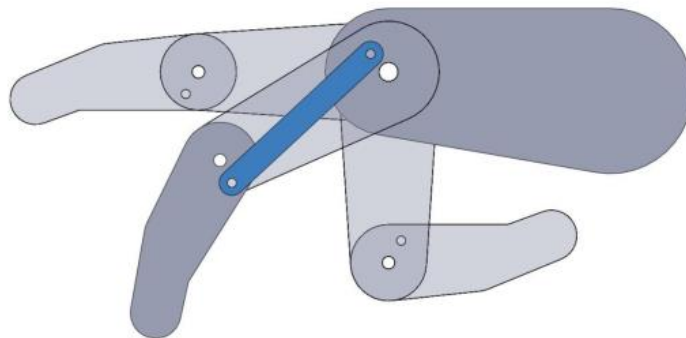
جدول-۳: مشخصات سایر پروتز ها

شیوه کوپل مفاصل	نوع محرک	تعداد محرک ها	درجات آزادی	ابعاد			وزن (گرم)	توسعه دهنده	
				ضخامت	عرض	طول			
Fixed Pinch	DC موتور	۱	۱	-	-	-	۵۰۰-۳۵۰	Otto Bock	Sensor Hand

اتصال با linkage - مفصل MCP به PIP	موتور - دنده DC حلزونی	۶	۶	-	-	-	-	Vincent Systems	Vincent Hand
اتصال با - تاندون- مفصل MCP به PIP	موتور - دنده DC حلزونی	۵	۶	۴۰	۸۰	۱۸۰	۴۶۵-۴۶۰	Touch Bionics	iLimb Pulse
اتصال با linkage - مفصل MCP به PIP	DC موتور - پیچ خطی	۵	۶	۵۰	۹۰	۱۹۰	۵۳۹-۴۹۵	RSL Steeper	Bebionic V2
بادامک با اتصال به تمام انگشت ها	-		۲	-	-	-	۴۲۰	Otto Bock	Michelangelo

با مقایسه ای ساده کاملاً مشخص می شود که پروتزها دارای روند تقریباً ثابتی هستند و FUM Bionic Hand نیز در همان روند ثابت و اصلی قرار دارد.

گرچه نمونه ی طراحی و ساخته شده دست به روش تاندون داری ویژگی های منحصر به خود است، اما استفاده مطلق از تاندون جهت کوپل حرکت موتور به دو بند انگشت برای ورژن های صنعتی چندان مناسب به نظر نمی رسد. از این رو پیشنهاد می شود از مکانیسم میله جهت اتصال حرکت دو بند به یکدیگر و از یک جفت چرخ دنده حلزونی جهت اتصال حرکت موتور به بند اول استفاده گردد (شکل-۱۷).



شکل-۱۷: مکانیسم پیشنهادی

انگشت شست دارای یک درجه آزادی است و پایه آن بر روی کف دست قرار داده شده است. طبق مقالات در حدود ۴۰ درصد از کارآیی دست مربوط به انگشت شست است؛ بنابراین به نظر می رسد جهت افزایش کارآیی دست نیاز به بازبینی طراحی انگشت شست است. میتوان در این راستا دو کار انجام داد (josef T.Belter et al,2011)

۱. تغییر زاویه و مکان انگشت شست به گونه ای که در عین دارا بودن همان یک درجه آزادی توانایی مانورپذیری بیشتری در گرفتن اشیاء متفاوت داشته باشد.

۲. افزودن یک درجه آزادی چرخشی به پایه انگشت شست. در صورت انتخاب این مسیر نیاز به انجام تغییراتی در ابعاد انگشت شست جهت برقراری تناسب ابعادی با سایر اجزای دست است. همچنین احتمالاً نیاز به انجام تغییراتی در چینش موتورها یا تعداد آنها جهت افزایش فضای موجود در کف دست است زیرا از یکی دلایل اصلی این که انگشت شست به صورت یک درجه آزادی انتخاب شده کمبود فضا در کف دست برای موتورها است.

۱- منابع

حقانی، م. ف. (۱۳۹۱). عوامل مرتبط با کیفیت زندگی افراد معلول با قطع اندام تحتانی. نشریه پرستاری ایران، ۳۲-۴۴

سرانجام، ع.ع. (۱۳۹۱). بررسی امکان استفاده از فیبر طبیعی به جای فیبر شیشه در ساخت مواد مرکب. ششمین همایش ملی و اولین همایش بین المللی مدیریت پسماند (ص. ۲۶۸-۲۷۷). تهران: سیویلیکا

Advanced Arm Dynamics. (۲۰۱۲). *BeBionic V*. بازیابی از *Advanced Arm Dynamics*:
<http://www.armdynamics.com/caffeine/uploads/files>

Ali, A. H. (۲۰۱۳). *AN INVESTIGATION OF ELECTROMYOGRAPHIC (EMG) CONTROL OF DEXTRIOUS HAND PROSTHESES FOR TRANSRADIAL AMPUTEES*. Plymouth: Plymouth University.

Carrozza, M. C. (2005). On the development of a novel adaptive prosthetic hand with compliant joints: experimental platform and EMG control. *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 3951–3956). Oskoei: IEEE/RSJ.

Claudio Melchiorri, M. K. (۲۰۱۴). *Handbook of robotics*. Berlin: Springer.

Josef T. Belter, J. L. (۲۰۱۱). *Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic*. New Haven: JRRD.

Konrad, P. (۲۰۰۵). *The ABC of EMG*. Messa: Noraxon INC.

Li, H. G. (۱۹۹۷). Fuzzy variable structure control. *IEEE Trans.* ۳۱۲–۳۰۶,

M. Zecca, S. M. (۲۰۰۲). Control of Multifunctional Prosthetic Hands by Processing the Electromyographic Signal. *Critical Reviews TM in Biomedical Engineering*. ۴۸۵–۴۵۹,

MIGUELEZ, J. (۲۰۰۹). Upper Extremity Prosthetics. *In Care of the Combat Amputee*-۶۱۱, ۶۱۳

Muzumdar, A. (۲۰۰۴). *Powered Upper Limb Prostheses*. Berlin: Springer.

Pittman, M. (۱۹۹۲, ۲۰۱۲). *Local Man Gets First of its kind prosthetic hand* از *Local Man Gets First of its kind prosthetic hand*. KSTP.com: <http://kstp.com/news/stories/S۲۴۵۱۱۹۶.shtml?cat=۱>

R. A. R. C. Gopura, D. S. (۲۰۱۳). *Recent Trends in EMG-Based Control Methods for*. Rijeka : InTech.

Raibert, M. C. (۱۹۸۱). Hybrid position/force control of manipulator. *Transactions of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. ۱۳۳–۱۲۶,

Scherillo, P. S. (۲۰۰۳). Parallel force/position control of a novel biomechatronic hand prosthesis. *IEEE/ASME Int Conf. Adv. Intell. Mechatronic* (ص. ۹۲۰–۹۲۵). Tokyo: IEEE/ASME Int.

Sciavicco, L. S. (۲۰۰۰). *Modeling and Control of Robot Manipulators* (نسخه ۲) nd. (New York: Springer.

Skyler A. Dalley, T. E. (۲۰۰۹). design of a multifunctional Anthropomorphic prosthetic hand with the extrinsic actuation. *IEEE/ASME Transaction on Mechatronic*.

Tomovic, R. B. (۱۹۶۲). An adaptive artificial hand. *IRE Transactions on Automatic*. ۱۰–۳,

Touch Bionics. (۲۰۱۲). *iLimb Features*. بازیابی از touchbionics:
<http://www.touchbionics.com/products/active>

Ventimiglia, P. (۲۰۱۲). *Design of a Human Hand Prosthesis*. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.