**مروری بر مشخصه­های موثر در قابلیت تجاری شدن یک پروتز دست و مقایسه پروتزهای موجود**

سعید یاوری\*1، علی رحمانی2

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران

\* تهران، صندوق پستی 1457986315، yavari\_sd@yahoo.com

چکیده

در طول تاریخ همیشه نقص عضو به عنوان یک معضل، همراه زندگی انسان بوده است. انسان هم برای حل این معضل به ساخت انواع پروتزها روی آورده است. این مقاله به بررسی خصوصیت­های اصلی یک پروتز کارآمد دست باقابلیت تجاری سازی می­پردازد. منظور از پروتزهای تجاری، پروتزهایی هستند که به تولید انبوه می­رسد و توسط مردم در بازار پذیرفته می­شوند. به همین منظور، در این مقاله ابتدا تمامی مشخصه­های مهم و تاثیرگذار در طراحی پروتزها از روی پروتزهای تجاری شده مرور شده و سپس هریک از آنها بطور جداگانه مورد بررسی قرار می­گیرند. همچنین با استفاده از این خصوصیت­ها، انواع پروتزهای تجاری شده در سال­های اخیر که گسترش قابل توجهی هم داشته­اند، به همراه مشخصات کامل آنها با یکدیگر مقایسه شده­اند. به منظور بررسی دقیق­تر و مقایسه سریع­تر اطلاعات بدست آمده از پروتزها، تمامی مشخصات آنها در قالب یک جدول در کنار یکدیگر ارائه شده است. از آنجا که پروتزهای بررسی شده مربوط به سال­های اخیر می­باشند، این تحقیق می­تواند گرایش محققان در نحوه­ی طراحی پروتزها را نیز نشان دهد. در پایان مقاله نیز با توجه به اطلاعات بدست آمده از بررسی پروتزها، چند مشخصه­ی اصلی برای طراحی پروتزهای تجاری دست ارائه شده است.

**کلی**د ‌واژگ**ان**

پروتز دست، طراحی پروتز، مشخصه­های طراحی، استاندارد طراحی، پروتز تجاری

**A review on the characteristics of hand prostheses affecting the possibility of their commercialization and the existing prostheses comparison**

**Saeed Yavari 1\*, Ali Rahmani 2**

1- Master of Mechanical engineering, Shahid Rajaee teacher training University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor of Mechanical engineering, Shahid Rajaee teacher training University, Tehran, Iran

\* P.O.B 1457986315, Tehran, Iran, yavari\_sd@yahoo.com

**Abstract**

Throughout history, different types of disabilities have been accompanying mankind. To cope with this problem, human has made a variety of prostheses. This article investigates the main characteristics of an efficient commercialized hand prosthesis. Commercial prostheses are mass-produced prostheses that have been accepted by people in the market. Therefore, in this article, first, all the important and effective characteristics in the design of prostheses are reviewed from commercialized prostheses and then, each of them is studied separately. In addition, using these features, the types of prostheses commercialized in recent years that have expanded significantly, along with their complete specifications have been compared. In order to more accurately explore and compare the information obtained from the prostheses, all their specifications are presented in the form of a table. Because the prostheses examined are from recent years, the study could also show researchers how to design prostheses. At the end of the article, according to the information obtained from the study of prostheses, some main characteristics for designing commercial prostheses are presented.

**Keywords**

Hand prosthesis, prosthesis design, design features, design standard, commercial prosthesis

1- مقدمه

در سال­های اخیر با توجه به پیشرفت سریع علم و تکنولوژی، در زمینه­های مختلفی رشد و شکوفایی بسیاری صورت گرفته است. یکی زمینه­هایی که در دو دهه­ی اخیر پیشرفت­های خوبی را تجربه کرده­ است، مبحث توانبخشی[[1]](#footnote-1) می­باشد. از مهم­ترین زمینه­های موجود در مبحث توانبخشی می­توان به طراحی و ساخت پروتزها اشاره کرد که هر ساله تحقیقاتی بسیاری در این زمینه انجام می­شود. همچنین با توجه به نقش کلیدی که دست در ایجاد ارتباط انسان با محیط پیرامون خودش ایفا می­کند، یکی از مهمترین زمینه­ها در مبحث پروتزها مربوط به پروتز دست می­باشد. بنابراین تمرکز اختصاصی این تحقیق بر روی پروتزهای دست می­باشد که در ادامه به بحث گذارده می­شود. شروع ساخت پروتزهای امروزی را می­توان به دهه 1950 میلادی و به پروتز ریتر[[2]](#footnote-2) اختصاص داد [1]. دلیل این انتخاب را می­توان در دو عامل استفاده از علم رباتیک در یک پروتز برای اولین بار و همچنین تولید یک پروتز به صورت انبوه دانست. اما امروزه در پروتزهای دست از آخرین تکنولوژی­های روز دنیا استفاده می­شود تا بتوان به هدف نهایی که رسیدن به پروتزی چابک و کارآمد همانند دست طبیعی انسان است، نزدیک­ شد. البته این نکته قابل ذکر است که تا به امروز پروتزی به چابکی و کارآمد­ی دست انسان و در همان وزن و ابعاد طراحی و تجاری­ سازی­ نشده است. به همین دلیل حتی در پروتزهایی که با پیشرفته­ترین تکنولوژی­ها ساخته می­شوند هم ترکیب کاملی از کارایی، ظاهر و ابعاد مناسب، قیمت و وزن مطلوب مشاهده نمی­شود. شاید بتوان عدم وجود یک ترکیب ایده­آل در بین مشخصه­های موجود در طراحی یک پروتز را مهم­ترین دلیل برای تجاری نشدن بسیاری از پروتزهای آزمایشگاهی دانست. در مبحث مقالات مرتبط به پروتزهای دست می­توان گفت که عمده­ی این مقالات در سه دسته­ی کلی زیر جای می­گیرند: 1- شرایط آناتومی دست انسان و چگونگی مدل­سازی دینامیکی دست 2- انتخاب جنس پروتز و نحوه­ی طراحی انگشتان دست 3- انتخاب نوع محرک و نحوه­ی انتقال حرکت در انگشتان دست. البته در چند سال اخیر دسته­ی اول که مربوط به آناتومی و مدل­سازی دینامیکی دست می­باشد از نظر تعداد مقالات علمی نسبت به دو دسته­ی دیگر کاهش محسوسی داشته است. دلیل این اتفاق را می­توان کامل شدن مباحث در این زمینه­ دانست. به عبارت دیگر این زمینه­ی تحقیقی به حد اشباع خود رسیده ­است. از جمله منابعی که به طور کامل در این زمینه بحث کرده­اند می­توان به ویر[[3]](#footnote-3) [2] و پیتارک[[4]](#footnote-4) [3] اشاره کرد. دسته­ی بعدی مقالات که مربوط انتخاب جنس پروتز و نحوه­ی طراحی انگشتان است، دارای بیشترین تنوع و تعداد در پژوهش­های علمی می­باشد. این دسته همواره مورد توجه محققان بوده است و هیچگاه از اهمیت آنها کاسته نشده است. از جمله مقالاتی که در مبحث جنس پروتز تحقیق کرده­اند می­توان به کار میناس [[5]](#footnote-5)و همکاران [4] ، ژین­هوا [[6]](#footnote-6)و همکاران [5] و وانگ [[7]](#footnote-7)و همکاران [6] اشاره کرد. همچنین در مبحث نوع طراحی انگشتان هم می­توان از پژوهش یانگ [[8]](#footnote-8)و همکاران [7] و پالی[[9]](#footnote-9)و همکاران [8] نام برد که روش­های متداول در طراحی انگشتان را بررسی نموده­اند. اما دسته­ی سوم که مربوط به انتخاب نوع محرک و نحوه­ی انتقال حرکت در انگشتان می­شود دارای محبوبیت کمتری نسبت به دسته­ی قبلی می­باشد. در زمینه­ی انتخاب نوع محرک ماورویدس [[10]](#footnote-10)[9] به طور مفصل در مورد تمامی محرک­های موجود در پروتزها بحث کرده و آنها را از جهات مختلف مورد بررسی قرار داده است. در بحث نحوه­ی انتقال حرکت در انگشتان نیز مارکو و همکاران [[11]](#footnote-11)[10] و روسی و همکاران [[12]](#footnote-12)[11] به بررسی کامل دو روش اصلی در این زمینه پرداختند. اما همان طور که پیش­تر گفته شد، عمده­ی مقالات در زمینه­ی پروتزهای دست محدود به سه دسته­ی بالا می­شوند بنابراین مقالات دیگری وجود دارند که در دسته بندی گفته شده قرار نگیرند. بطور مثال بیدیس و همکاران [[13]](#footnote-13)[12] به بررسی انواع چالش­های موجود بین افراد دارای نقص عضو با پروتزها و همچنین میزان سطح رضایت­مندی افراد از پروتزها پرداخته­اند. همان طوری که مشاهده می­شود بیشتر تحقیقات در زمینه­ی پروتز دست به صورت متمرکز بر موضوعی خاص دلالت دارند. اما به منظور طراحی یک پروتز کارآمد و کاربردی نیاز به بدست آوردن ترکیبی ایده­آل بین مشخصه­های تاثیر گذار در طراحی پروتز دست می­باشد. در واقع نمی­توان با در نظر گرفتن یک یا دو مشخصه (مانند وزن و دوام) به پروتزی کاربردی و کارآمد رسید. به­همین منظور در این تحقیق تلاش شده است تا بررسی کاملی از مشخصه­های تاثیرگذار در طراحی پروتزهای دست صورت بگیرد تا بتوان به یک ترکیب بهینه­ای از مشخصه­ها دست یافت. بنابراین در ادامه ابتدا مهم­ترین مشخصه­های تاثیرگذار در طراحی پروتزها معرفی می­شوند. سپس به منظور مقایسه­ی بهتر نقش این مشخصه­ها در طراحی پروتزها و همچنین پیدا کردن گرایش طراحان در چند سال اخیر، چندین مدل از پروتزهای ساخته ­شده و شناخته شده مورد بررسی قرار گرفته­اند. برای مقایسه بهتر بین پروتزهایی که مشخصات آنها در تحقیق مورد بررسی قرارگرفته است، تمامی اطلاعات مربوط به این پروتزها در قالب جدولی در کنار یکدیگر ارائه شده است. در آخر نیز با توجه به اطلاعات استخراج شده از جدول، مشخصه­های مورد نیاز جهت طراحی و تولید یک پروتز دست تجاری (نه صرفا آزمایشگاهی) ارائه شده است.

**2- مشخصه­های طراحی**

برای طراحی یک محصول در هر زمینه­ای ابتدا می­بایستی اطلاعات کاملی از پارامترهای مورد نیاز آن محصول را بدست آورد تا بتوان بر مبنای این اطلاعات به مشخصه­های تاثیرگذار در طراحی دست ­یافت. همچنین با توجه به قدمت 50 ساله­ی پروتزهای دست، براحتی می­توان با بررسی و مطالعه تحقیقات پیشین به عوامل مهم و تاثیر گذار در طراحی پروتزها دست ­یافت. با توجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه از جمله مهم­ترین مشخصه­هایی که در طراحی پروتزها تاثیرگذار هستند می­توان به کارایی، دوام، سرویس و نگهداری، قیمت و وزن اشاره کرد که دو عامل آخری به مراتب از اهمیت­ بیشتری برخوردار می­باشند. البته مشخصه­های فرعی دیگری نظیر زیبایی نیز وجود دارند که به دلیل اهمیت کمتر نسبت به مشخصه­های ذکر شده، در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته­اند. در این تحقیق 20 مدل از نمونه­ها­ی ساخته شده پروتز دست انسان به منظور بررسی دقیق­تر نقش هر مشخصه در طراحی پروتز مورد ارزیابی قرار گرفته­اند. تلاش شده است انتخاب پروتزهای مورد بررسی قرار گرفته به گونه­ای باشد که تمامی روش­های موجود در طراحی پروتز دست را شامل شود تا مقایسه­ی بهتری صورت گیرد. در این تحقیق بازه­ی مورد نظر برای بررسی پروتزها بین سال­های2007 تا 2019 بوده است. اطلاعات استخراج شده­ از پروتزها در قالب جدولی در کنار هم ارائه شده است تا مقایسه بین پروتزها راحت­تر و سریع­تر صورت گیرد. در ادامه به منظور تحلیل دقیق­تر مطالب، هریک از مشخصه­های موجود در جدول به­صورت جداگانه معرفی و مورد بحث قرار می­گیرند.

1-2- وزن

همان طور که پیشتر گفته شده، یکی از مهم­ترین عوامل در مقبولیت یک پروتز وزن نهایی آن می­باشد. طبق بررسی آریانتو [[14]](#footnote-14) و همکاران در [13]، بهترین محدوده­ی وزنی برای طراحی پروتز زیر500 گرم می­باشد. این محدوده به صورت تجربی و بر اساس سطح رضایتمندی افراد نسبت به پروتزهای مختلف بدست آمده است. نیاز به وزن کمتر در پروتزها سبب به وجود آمدن دو روش اصلی در پروتزها شده است. یکی از آنها روش کم محرک[[15]](#footnote-15) می­باشد که در قسمت محرک­ها به آن پرداخته می­شود و دیگری روش استفاده از مواد پلیمری و سبک در طراحی پروتزها می­باشد. با مطالعه جدول 1 براحتی می­توان دریافت که در سالهای اخیر استفاده از فلزات در ساخت پروتزها بشدت کاهش یافته ­است. دلیل این اتفاق را می­توان در سه عامل اصلی سبک­تر بودن مواد پلیمری نسبت به فلزات، آسان و کم هزینه بودن فرآیند ساخت پروتزها با استفاده از مواد پلیمری و در آخر هم هزینه­ی سرویس و نگهداری کمتر پروتز نسبت به مواد فلزی جستجو نمود. از متداول­ترین مواد پلیمری که در ساخت پروتزها مورد استفاده قرار می­گیرد می توان به ABS [[16]](#footnote-16) و PLA[[17]](#footnote-17) اشاره کرد که بسیار در دسترس هستند. با مشاهده جدول 1 این نکته به وضوح مشخص می­باشد که تمامی پروتزهایی که با مواد پلیمری ساخته شده­اند، دارای وزنی در محدوده­ی ایده­آل یعنی زیر 500 گرم می­باشند. دلیل آسانی ساخت پروتزها به وسیله­ی مواد پلیمری را می­توان در استفاده از چاپگرهای سه بعدی در ساخت پروتزها دانست. با استفاده از این تکنولوژی براحتی می­توان پروتزهایی با ابعاد و شکل­های مختلفی تولید نمود. به همین دلیل در چند سال اخیر استفاده از پرینتر سه­ بعدی و مواد پلیمری بسیار مورد توجه قرار ­گرفته است، بطوری که از20 نمونه­ی مورد بررسی15 مورد از این روش برای ساخت استفاده کرده­اند. پس می­توان این نتیجه را گرفت که روش ایده­آل برای ساخت یک پروتز تجاری، استفاده از پرینتر سه بعدی به همراه مواد پلیمری می­باشد تا هم پروتزی سبک­تر و هم ساختی آسان­تر حاصل گردد. امروزه این نوع پروتزها در ابعاد و گونه­های مختلفی ساخته می­شوند که هر یک دارای کارایی مخصوص به خود می­باشند. شکل 1 یک نمونه­ی تجاری از پروتزهای ساخته شده با مواد پلیمری را نمایش می­دهد. این پروتز دست که برونل[[18]](#footnote-18) نام دارد، یکی از پر فروش­ترین پروتزهای تولیدی در بازار می­باشد. این پروتز دارای نه درجه­ی آزادی و چهار محرک است که یک محرک جداگانه برای هر سه انگشت شست، اشاره و میانی و یک محرک مشترک برای دو انگشت حلقه و کوچک دارد. وزن نهایی این محصول330 گرم می­باشد که وزنی بسیار مناسب با توجه به کارایی­ این محصول می­باشد. این محصول با استفاده از PLA ساخته شده است.

**2-2- محرک**

مبحث محرک رابطه­ی مستقیمی با قیمت، وزن و کارایی پروتز دارد. این رابطه به صورتی می­باشد که هرچه تعداد محرک­ها در پروتز بیشتر شود کنترل پذیری و به تبع آن کارایی پروتز بیشتر می­شود اما از طرفی وزن و قیمت نیز افزایش

پیدا می­کند که نکته­ای منفی در طراحی پروتزها می­باشد.



Fig 1 brunel prosthesis

شکل 1 پروتز برونل [28]

انتخاب بین این سه مشخصه یعنی تعداد محرک، وزن و قیمت بستگی به هدف کلی پروتز دارد که برای انجام چه اهدافی طراحی می­شود. بنابراین بسته به شرایط کاربری پروتز نوع و تعداد محرک­ها انتخاب می­شود. محرک­ها مورد استفاده در پروتزها به چهار دسته­ی کلی: بدنی[[19]](#footnote-19)، پنوماتیکی، SMA[[20]](#footnote-20) و موتورهای الکتریکی تقسیم می­شوند. البته محرک­های دیگری هم وجود دارند اما چهار محرک گفته ­شده بیشترین محبوبیت را دارا هستند. همان طور که در جدول1 مشاهده می­شود محرک­های موتوری نسبت به باقی محرک­ها بیشتر مورد استفاده قرار گرفته­اند بطوری که 13 مورد از 20 پروتز مورد مطالعه در جدول از این نوع محرک استفاده کرده­اند. دلیل این برتری را می­توان در تنوع بسیار زیاد آنها در شکل و اندازه و همچنین دسترسی راحت­تر نسبت به باقی محرک­ها دانست. البته این نکته دلیل بر آن نمی­شود که باقی محرک­ها را بطور کامل کنار گذاشت و مورد بررسی قرار نداد. چراکه هریک دارای برتری­های مخصوص به­خود هستند که در ادامه بررسی می­شوند. به طور مثال پروتزهایی که از محرک بدنی استفاده می­کنند به دلیل اینکه از حرکت بدن فرد به منظور ایجاد حرکت در انگشتان بهره می­برند، بسیار سبک و ارزان هستند اما در عوض از نظر سطح کارایی نسبت به باقی پروتزها در شرایط ضعیف­تری قرار می­گیرند. در نقطه­ی مقابل نیز محرک­ پنوماتیک قرار دارد که دارای کنترلی بسیار دقیق و سطح کارایی خوبی می­باشد.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **سال و مرجع** | **روش ساخت و جنس پروتز** | **مفصل بندی** | **درجه آزادی** | **تعداد انگشت فعال** | **نوع محرک** | **تعداد محرک** | **نوع اتقال حرکت** | **قیمت (دلار)** | **وزن**  **(گرم)** |
| 2007 [14] | لیزر، پلکسی گلس | دورانی | 15 |  | موتور الکتریکی | 2 | سیمی | 150 | - |
| 2009 [15] | ماشین کاری ، آلومینیوم | دورانی | 15 | 5 | موتور الکتریکی | 5 | سیمی |  | 580 |
| 2011 [16] | چاپ سه بعدی، ABS | دورانی | 10 | 5 | موتور الکتریکی | 5 | سیمی |  | 500 |
| 2014 [17] | ماشین کاری ، آلومینیوم | دورانی | 15 | 5 | موتور الکتریکی | 5 | گیربکس | 450 |  |
| 2014 [4] | لیزر ، پلکسی گلس | پیوسته |  | 5 | موتور الکتریکی | 5 | سیمی | 100 | 200 |
| 2014 [18] | چاپ سه بعدی، ABS | پیوسته | 2 | 0 | موتور الکتریکی | 2 | مکانیزم |  |  |
| 2014 [19] | ماشین کاری ، آلومینیوم | دورانی | 15 | 5 | SMA، موتور الکتریکی | 10 | سیمی |  |  |
| 2015 [20] | چاپ سه بعدی ، ---- | دورانی | 10 |  | بدنی | 1 | سیمی | 31 |  |
| 2015 [21] | ماشین کاری ، آلومینیوم | دورانی | 20 | 5 | پنوماتیک | 40 | تیوب هوا | 1000 | 1500 |
| 2015 [22] | چاپ سه بعدی، PLA | دورانی | 10 |  | بدنی | 1 | سیمی | 50 | 184 |
| 2015 [23] | چاپ سه بعدی ، ---- | پیوسته |  | 5 | SMA | 5 | سیمی | 600 | 282 |
| 2015 [24] | چاپ سه بعدی ، ---- | پیوسته | - | 5 | پنوماتیک | 5 | تیوب هوا | 100 | 350 |
| 2016 [25] | چاپ سه بعدی، ABS | دورانی | 10 | 5 | موتور الکتریکی | 5 | سیمی | 400 | 380 |
| 2016 [26] | چاپ سه بعدی، PLA | دورانی | 10 |  | بدنی | 1 | سیمی | 55 | 159 |
| 2016 [13] | لیزر، پلکسی گلس | دورانی | 15 | 5 | موتور الکتریکی | 6 | سیمی | 150 | 450 |
| 2017 [5] | چاپ سه بعدی ، ------ | دورانی | 15 | 5 | موتور الکتریکی | 10 | مکانیزم |  |  |
| 2016 [6] | ماشین کاری ، آلومینیوم | دورانی | 15 | 2 | موتور الکتریکی | 4 | مکانیزم |  | 560 |
| 2016 [27] | چاپ سه بعدی ، ------ | دورانی | 15 | 5 | تار مصنوعی | 5 | سیمی | 100 | 140 |
| 2018 [28] | چاپ سه بعدی، PLA | دورانی | 9 | 3 | موتور الکتریکی | 4 | سیمی | 1000 | 332 |
| 2019 [29] | چاپ سه بعدی ، ------ | دورانی | 15 | 1 | موتور الکتریکی | 2 | سیمی |  | 330 |

|  |  |
| --- | --- |
| Table 1 Comparison of prostheses | **جدول1**  مقایسه پروتزها |

محرک­های پنوماتیک از نظر حرکتی شبیه­ترین نوع به دست انسان می­باشد چراکه برای ایجاد حرکت در انگشتان از ماهیچه­ی بادی[[21]](#footnote-21) استفاده می­نماید [13]. اما این محرک هم به دلیل استفاده از شیرهای برقی که عموما بسیار گران هستند و همچنین حساسیت بالایی که نسبت به نشتی دارد، بطور معمول در پروتزهای تحقیقاتی مورد استفاده قرار می­گیرد و جنبه­ی تجاری­ سازی بسیار کمی دارد. و اما گروه چهارم محرک­ها که محرک SMA نام دارد قدمت کمتری نسبت به باقی محرک­ها دارد ولی به دلیل نسبت نیروی تولید شده به وزن بسیار خوبی که دارد به سرعت درحال پیشرفت بوده و در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته­است. از این محرک هم به صورت مفتول و هم به صورت تیغه در پروتزها استفاده شده است. اما مهم­ترین نکته­ی منفی در این محرک سرعت عملکرد آن می­باشد که بسیار پایین است. بنابراین به منظور جبران این ضعف نیاز به استفاده از گرم کن و سردکن می­باشد تا سرعت واکنش اس ام ای افزایش پیدا کند. اما اخیرا در برخی مقالات به منظور جبران سرعت کم این محرک، آن را با محرک موتوری ترکیب می­کنند تا شرایط حرکتی انگشتان بهبود پیدا کند [11]. در مجموع با توجه به مقبولیت محرک­های موتوری در بین تحقیقات چند سال اخیر می­توان این محرک را بهترین انتخاب برای تولید یک پروتز تجاری دانست. اما با توجه به وزن نسبتا زیاد این نوع محرک، تعداد آنها در پروتز حائز اهمیت می­باشد تا وزن کلی پروتز از محدوده­ی ایده­آل (زیر 500 گرم) عبور نکند. به همین دلیل به جای استفاده از روش تمام محرک[[22]](#footnote-22) از روش کم محرک[[23]](#footnote-23) در پروتزها استفاده می­شود تا بتوان پروتزهایی با وزن کمتر تولید نمود. در روش تمام محرک برای هر درجه آزادی، یک محرک در نظر گرفته ­می­شود اما در روش کم محرک به منظور کاهش وزن پروتز، از تعداد محرک­ها کم می­کنند. بنابراین در این روش تعداد درجات آزادی بیشتر از تعداد محرک­ها می­باشد. این کار به این دلیل صورت می­گیرد که عمدتا بخش زیادی از وزن پروتزها مربوط به محرک­هایشان می­شود. اگرچه با انجام این کار سطح توانایی حرکتی انگشتان کاهش پیدا می­کند ولی اثر مثبت کاهش وزن پروتز بسیار پررنگ­تر می­باشد. درستی این مطلب را به راحتی می­توان با بررسی جدول1 تصدیق کرد، چراکه از 20 پروتز بررسی شده 19 مورد آنها کم محرک بوده­اند. اما اینکه چه تعداد محرک می­بایستی در پروتز استفاده شود تا حالت بهینه به­وجود آید، مسئله­ی مهمی می­باشد. با نگاه دقیق­تر به جدول می­توان دریافت که نه عدد از 20 مقاله بررسی شده دارای پنج محرک بوده­اند، یعنی برای هر انگشت یک محرک. پس می­توان گفت پنج عدد محرک بهینه­ حالت برای انتخاب تعداد محرک می­باشد تا هم کارایی و هم وزن آن در محدوده­ی قابل قبولی باشد.

3-2- مفصل بندی

امروزه مدل­های دینامیکی متفاوتی برای دست انسان ارائه شده است اما متداول­ترین و پر استفاده­ترین روش در مقالات، مدل20 درجه آزادی می­باشد. تمام این20 درجه از نوع مفصل دورانی می­باشد. در این روش برای هر انگشت جهار درجه آزادی در نظر گرفته می­شود. که سه درجه برای حرکت صفحه­ای انگشت و یک درجه برای حرکت عرضی آن می­باشد [25]. اما طراحان به دلیل جلوگیری از پیچیدگی پروتز، از مفصل عرضی انگشتان صرف نظر می­کنند. بنابراین متداول ترین مدل دینامیکی مفاصل در پروتزها دارای15 درجه آزادی یا به عبارتی دارای 15 مفصل می­باشد. با بررسی اطلاعات جدول 1 نیز می­توان به محبوبیت مدل 15 درجه پی­برد، چرا که نه مورد از 20 پروتز بررسی شده از همین مدل استفاده کرده­اند. البته در برخی پروتزهای تجاری به منظور کاهش هزینه و وزن، یک درجه­ی آزادی دیگر نیز از هر انگشت حذف می­کنندکه با این کار درجه­ی آزادی پروتز به 10 درجه کاهش پیدا می­کند[23]. اخیرا با توجه به بیشتر شدن استفاده از مواد پلیمری و چاپگرهای سه بعدی در ساخت پروتزها، نوعی دیگر از طراحی انگشتان به وجود آمده ­است که در آنها دیگر مفصلی وجود ندارد. در واقع در این نوع طراحی، انگشتان همانند دست انسان به صورت بندبند ساخته نمی­شوند و بجای آن از یک تکه­ی به هم پیوسته استفاده می­شود. بنابراین در این روش برای ایجاد حرکت در انگشتان از خاصیت خم شوندگی عضو پیوسته استفاده می­شود. از مزیت­های این روش می­توان به ساخت راحت­تر، تطبیق پذیری بیشتر و وزن کمتر در قیاس با نوع مفصل­دار اشاره کرد. اما با توجه به جدول، محبوبیت پروتزهای مفصل­دار همچنان بیشتر از پروتزهای پیوسته بوده است. شاید بتوان مهم­ترین دلایل عدم موفقیت پروتزهای پیوسته نسبت به پروتزهای مفصل دار را در سختی به دست آوردن معادلات سینماتیکی انگشتان و عدم پیش بینی رفتار انگشتان در هنگام گرفتن اجسام دانست. در واقع به دلیل اینکه حرکت انگشتان در نوع مفصلی براساس چرخش دو عضو صورت می­گیرد بنابراین معادلات سینماتیکی آن براحتی قابل محاسبه می­باشد. اما در نوع پیوسته به دلیل اینکه حرکت انگشت بر مبنای خمش عضو صورت می­گیرد، بنابراین معادلات سینماتیکی آن به مبحث مکانیک مواد مربوط می­شود که به سادگی روش­های موجود در نوع مفصل­دار نیست. از این روی تا به امروز در تمامی پروتز­های تجاری ساخته شده از روش مفصل دار استفاده شده است و نوع پیوسته فقط محدود به نمونه­های تحقیقاتی بوده است.

4-2- انگشت فعال

یکی از مشخصه­هایی که نقش مستقیمی با کارایی پروتز دارد مشخصه­ی انگشت فعال می­باشد. این مشخصه نشان دهنده­ی تعداد انگشتانی از پروتز می­باشد که دارای حداقل یک (یا بیشتر) محرک مستقل باشند. چراکه در صورت وجود این حالت، امکان کنترل هر انگشت به صورت جداگانه و مستقل وجود دارد که در نتیجه­ی آن کارایی پروتز افزایش پیدا می­کند. اما اگر برای هر انگشت حداقل یک محرک وجود نداشته باشد، در واقع در این حالت می­بایستی چند انگشت به وسیله­ی یک محرک به حرکت در بیایند که در این صورت حرکت آنها دیگر مستقل نبوده و کوپله می­باشد. از طرفی چون در حرکت کوپله دیگر امکان کنترل انگشتان بطور مستقل وجود ندارد، بنابراین می­توان گفت این انگشتان از حالت فعال یا مستقل خارج شده­اند. همچنین ذکر این نکته حائز اهمیت می­باشد که فعال بودن یا نبودن انگشت ارتباطی با حرکت انگشت ندارد و به جنبه­ی کنترلی آن بر می­گردد. در مجموع می­توان بر اساس اطلاعات بدست آمده از جدول 1، بهترین تعداد انگشت فعال در یک پروتز را عدد پنج دانست چراکه از 20 پروتز بررسی شده، 12 عدد از آنها، پنج عدد انگشت فعال داشته­اند.

5-2- انتقال حرکت

نحوه انتقال حرکت در پروتزها به سه دسته مکانیزم یا لینک بندی، سیمی و چرخدنده­ای تقسیم می­شوند. البته نوع چرخدنده­ای یا گیربکس­دار به دلیل سنگین بودن دیگر مورد استفاده قرار نمی­گیرد. اما دو نوع دیگر انتقال حرکت در پروتزها رایج بوده و مورد استفاده قرار می­گیرند. البته با بررسی جدول 1 این نکته مشخص می­شود که نوع انتقال حرکت سیمی در طراحی پروتزها محبوب­تر می­باشد. دلیل این محبوبیت را می­توان در ساخت راحت­تر، وزن کمتر و ساختار ساده­تر این نوع انتقال حرکت دانست. به همین دلیل 13 مورد از پروتزهای مورد بررسی از این نوع انتقال حرکت استفاده کرده­اند. بنابراین می­توان از انتقال حرکت سیمی به عنوان بهترین روش برای استفاده در پروتزها انتخاب نام برد.

6-2- قیمت

در طراحی پروتزها، قیمت تنها مشخصه­ای است که محدوده­ی خاصی برای آن نمی­توان در نظر گرفت چراکه این محدوده بسته به نوع کاربری و منطقه­ای که پروتز برای آنجا ساخته می­شود، تفاوت پیدا می­کند. به طور مثال محدوده­ی قیمتی ایده­آل برای طراحی یک پروتز در کشور­های جهان اول در مقایسه با کشورهای جهان سومی متفاوت می­باشد. به همین دلیل در مبحث قیمت پروتزها، باز­ه­ی بزرگ 50 دلار تا 4000 دلار مشاهده می­شود که به ترتیب مربوط پروتزهای محرک بدنی تا پروتزهای تمام محرک پیشرفته می­باشد [14]. قیمت پروتز رابطه­ی مستقیمی با محبوبیت و مقبولیت یک پروتز تجاری دارد. در واقع بر خلاف پروتزهای تحقیقاتی، پروتزهای تجاری می­بایستی به گونه­ای طراحی شوند که بتوانند نظر جامعه آماری بزرگ­تری از افراد را به خود جلب کنند. به همین دلیل هرچه قیمت نهایی و همچنین هزینه­ی سرویس و نگهداری یک پروتز کمتر باشد، افراد بیشتری توانایی استفاده از آن را پیدا می­کنند. البته این نکته را نیز باید در نظر گرفت که کارایی پروتز هم در مقبولیت آن نقش بسزایی دارد و باید مورد توجه قرار بگیرد. اما همان طور که پیشتر گفته شد چون رابطه­ی کارایی یک پروتز با قیمت آن یک رابطه­ی مستقیم می­باشد بنابراین نمی توان عددی مشخصی را برای آن در نظر گرفت. ولی با توجه به اعداد به دست آمده از جدول 1 می­توان گفت محدوده­ی قیمتی ایده­آل جهت طراحی پروتزهای تجاری، زیر 400 دلار می­باشد چراکه 10 مورد از پروتزهای بررسی شده در بازه­ی کمتر از این مقدار بوده­اند.

3- جمع بندی و نتیجه­گیری

در این بررسی تلاش شده است تا مروری کامل بر نحوه­ی طراحی و ساخت پروتزهای دست صورت بگیرد تا به نقاط ضعف و قوت موجود در زمینه­ی طراحی پروتزها پی­برده شود. همچنین محوریت اصلی بررسی­های انجام شده در این تحقیق در حوزه­ی مکانیک می­باشد لذا از بررسی پروتزها در حوزه­­ الکترونیک صرف نظر شده است. درمبحث طراحی پروتز دست نیز همانند سایر زمینه­ها، ابتدا می­بایست تمامی عوامل تاثیرگذار در طراحی شناسایی شوند. سپس با بررسی این عوامل که به آنها مشخص­های طراحی می­گویند، می­توان به نحوه­ی تاثیرگذاری هریک ازین مشخصه­ها در طراحی پروتز دست یافت. همچنین به منظور درک بهتر تاثیر هر یک از مشخصه­­های موثر در طراحی پروتزها، 20 نمونه از انواع پروتزهای ساخته ­شده در 12 سال اخیر در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته­اند. برای مقایسه راحت­تر اطلاعات بدست آمده از بررسی پروتزها، این اطلاعات به صورت یک جدول در کنار یکدیگر ارائه شده­اند. سپس هریک از مشخصه­های موجود در جدول بطور کامل معرفی و مورد بحث قرار گرفته­اند. در پایان هر مبحث نیز بر اساس اطلاعات استخراج شده از جدول 1 موثرترین روش برای تولید یک پروتز تجاری ارائه شده است. در واقع در این تحقیق تلاش شده است تا یک استاندارد عمومی از مشخصه­های موجود در طراحی پروتزهای دست با محوریت پروتزهای کاربردی و تجاری بدست آید. البته ذکر این نکته حائز اهمیت می­باشد که هیچگاه نمی­توان به صورت دقیق استانداردی مشخص برای طراحی پروتزهای دست ارائه داد چراکه این استاندارد می­تواند با توجه به هدف اصلی طراحی پروتز تغییر کند. بنابراین با توجه به بررسی­های انجام شده در این تحقیق می­تواند گفت پروتزی که شامل مشخصه­های زیر باشد می­تواند از محبوبیت بالایی بین افراد استفاده کننده از آن داشته باشد و صرفا تیدیل به یک نمونه­ی آزماشگاهی نشود.

\* با استفاده از مواد پلیمری مانند ABS و PLA و با روش چاپ سه­ بعدی ساخته شده باشد.

\* دارای انگشتانی با مفاصل دورانی باشد.

\* کم محرک باشد

\*پنج انگشت فعال داشته باشد.

\* از موتورهای الکتریکی به منظور محرک استفاده شود.

\* از انتقال حرکت سیمی در آن استفاده شود.

\* وزنی کمتر از 500 گرم داشته باشد.

\* قیمتی در محدوده­ی زیر 400 دلار داشته باشد.

**4- مراجع**

[1]. Childress. Dudley S ,Historical aspects of powered limb prostheses , *Clin Prosthet Orthot* , Vol. 9, No. 1, pp2-13 ,1985.

[2]. Weir. R.F. Design of Artificial Arms and Hands for Prosthetic Application. *Standard Handbook of Biomedical Engineering & Design*, pp. 1-32, 2002.

[3]. Peña Pitarch. E. *Virtual human hand: Grasping strategy and simulation*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2008.

[4]. Liarokapis. M.V, Zisimatos. A.G, Bousiou. M.N and Kyriakopoulos. K.J, Open-source, low-cost, compliant, modular, underactuated fingers: Towards affordable prostheses for partial hand amputations. In  *36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* ,pp. 2541-2544 , 2014.

[5]. Liu. X., Zheng. X. and Li. S, Development of a humanoid robot hand with coupling four-bar linkage. *Advances in Mechanical Engineering*,Vol. 9,No. 1, p.1687814016686313, 2017.

[6]. Wang. N, Lao. K. and Zhang. X , Design and myoelectric control of an anthropomorphic prosthetic hand. *Journal of Bionic Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp.47-59, 2017.

[7]. Yang. J, Pitarch. E.P, Abdel-Malek. K., Patrick. A. and Lindkvist. L, A multi-fingered hand prosthesis. *Mechanism and Machine Theory*,Vol. 39 ,No. 6 , pp.555-581, 2004.

[8]. Palli. G, Melchiorri. C., Vassura, G., Scarcia, U., Moriello, L., Berselli. G., Cavallo, A., De Maria, G., Natale, C., Pirozzi, S. and May, C. The DEXMART hand: Mechatronic design and experimental evaluation of synergy-based control for human-like grasping. *The International Journal of Robotics Research*,Vol. 33, No. 5 , pp.799-824, 2014.

[9]. Mavroidis. C, Development of advanced actuators using shape memory alloys and electrorheological fluids. *Journal of Research in Nondestructive Evaluation*,Vol. 14, No. 1, pp.1-32, 2002.

[10]. Groenewegen. M.W., Aguirre. M.E. and Herder, J.L, Design of a partially compliant, three-phalanx underactuated prosthetic finger. In *ASME 2015 international design engineering technical conferences and computers and information in engineering conference*. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection , 2015.

[11]. Rossi. C., Savino, S., Niola, V. and Troncone, S.. A study of a robotic hand with tendon driven fingers. *Robotica*, Vol. 33,No. 5, pp.1034-1048, 2015

[12]. Biddiss, E., Beaton, D. and Chau, T. Consumer design priorities for upper limb prosthetics. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*,Vol. 2, No. 6 , pp.346-357, 2007.

[13]. Ariyanto. M., Ismail, R., Nurmiranto, A., Caesarendra, W. and Franke, J., December. Development of a low cost anthropomorphic robotic hand driven by modified glove sensor and integrated with 3D animation. In *2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)* ,pp. 341-346 , 2016.

[14]. Chen. T, Haas-Heger, M. and Ciocarlie, M., May. Underactuated hand design using mechanically realizable manifolds. In *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* pp. 7392-7398, 2018.

[15]. Dalley. S.A., Wiste. T.E., Withrow. T.J. and Goldfarb. M., Design of a multifunctional anthropomorphic prosthetic hand with extrinsic actuation. *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, Vol. 14, No. 6, pp.699-706, 2009.

[16].Bebionic, *prosthesis upper limb hands* , Accessed on 1 July 2018 https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics

/solution-overview/bebionic-hand

[17]. Zhang. T., Jiang. L., Fan, S., Wu, X. and Feng, W. Development and experimental evaluation of multi-fingered robot hand with adaptive impedance control for unknown environment grasping. *Robotica*, Vol. 34, No.5, pp.1168-1185, 2016.

[18]. Jing. X, Yong. X., Jiang. Y., Yokoi. H. and Kato. R, A low-degree of freedom EMG prosthetic hand with nails and springs to improve grasp ability. In *2014 7th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics(IEEE)* ,pp. 562-567, 2014.

[19]. Gao, F., Deng, H. and Zhang, Y. Hybrid actuator combining shape memory alloy with DC motor for prosthetic fingers. *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 223 , pp.40-48, 2015.

[20]. Dally, C., Johnson, D., Canon, M., Ritter, S. and Mehta, K., Characteristics of a 3D-printed prosthetic hand for use in developing countries. In *2015 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* , pp. 66-70 , 2015.

[21]. Oliver-Salazar, M.A., Szwedowicz-Wasik, D., Blanco-Ortega, A., Aguilar-Acevedo, F. and Ruiz-González, R., Characterization of pneumatic muscles and their use for the position control of a mechatronic finger. *Mechatronics*, Vol. 42 , pp.25-40, 2017.

[22]. Zuniga.J., Katsavelis. D., Peck. J., Stollberg. J., Petrykowski. M., Carson. A. and Fernandez. C, Cyborg beast: a low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC research notes*, Vol. 8 , No. 1 , p.10 , 2015.

[23]. She. Y., Li, C. Cleary. J. and Su. H.J, Design and fabrication of a soft robotic hand with embedded actuators and sensors. *Journal of Mechanisms and Robotics*, Vol. 7, No. 2 , 2015

[24]. Deimel. R and Brock. O, A novel type of compliant and underactuated robotic hand for dexterous grasping. *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 35, No. 1-3, pp.161-185, 2016.

[25]. J Raines*, Robotics Hand Development Kit-Ada V1.1 -Datasheet*, Accessed on may 2016; https://www.Bebionic.com/prosthetics/

upper-limb-prosthetics /open Bionics /bebionic-hand

[26]. Zuniga. J.M., Carson. A.M., Peck. J.M., Kalina. T, Srivastava. R.M. and Peck. K, The development of a low-cost three-dimensional printed shoulder, arm, and hand prostheses for children. *Prosthetics and orthotics international*, Vol.41, No. 2, pp.205-209, 2017.

[27]. Wu. L, de Andrade. M.J, Saharan. L.K., Rome. R.S., Baughman, R.H. and Tadesse. Y, Compact and low-cost humanoid hand powered by nylon artificial muscles. *Bioinspiration & biomimetics*, Vol. 12, No. 2, pp. 004-026, 2017.

[28]. OpenBionic, commercial prosthesis hands , Accessed on june 2018 ; https://openbionicslabs.com/shop/brunel-hand2

[29]. Liu. H, Xu. K., Siciliano. B. and Ficuciello.F, The MERO Hand: A Mechanically Robust Anthropomorphic Prosthetic Hand using Novel Compliant Rolling Contact Joint. In *2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)* ,pp. 126-132 , 2019.

1. Rehabilitation [↑](#footnote-ref-1)
2. Reiter [↑](#footnote-ref-2)
3. Weir [↑](#footnote-ref-3)
4. Pitarch [↑](#footnote-ref-4)
5. Minas [↑](#footnote-ref-5)
6. Xinhua [↑](#footnote-ref-6)
7. Wang [↑](#footnote-ref-7)
8. Yang [↑](#footnote-ref-8)
9. Palli [↑](#footnote-ref-9)
10. Mavroidis [↑](#footnote-ref-10)
11. Marco [↑](#footnote-ref-11)
12. Rossi [↑](#footnote-ref-12)
13. Biddis [↑](#footnote-ref-13)
14. Ariyanto [↑](#footnote-ref-14)
15. Under actuated [↑](#footnote-ref-15)
16. Acrylonitrile Butadiene Styrene [↑](#footnote-ref-16)
17. Poly Lactic Acid [↑](#footnote-ref-17)
18. Brunel hand 2 [↑](#footnote-ref-18)
19. Body actuated [↑](#footnote-ref-19)
20. Shape memory alloy [↑](#footnote-ref-20)
21. Air muscle [↑](#footnote-ref-21)
22. Full actuated [↑](#footnote-ref-22)
23. Under actuated [↑](#footnote-ref-23)