فهرست مطالب

فصل۱ **۸**

مقدمه **۸**

۱-۱. مقدمه ۲
۱-۲. انگیزه‌ها ۴
۱-۳. کاربردها ۵
۱-۴. تاریخچه بحث ۸
۱-۵. معماری های مختلف طراحی ۱۰
۱-۵-۱. معماری با ساختار اندام انسانی ۱۰
۱-۵-۲. معماری با ساختار غیر مشابه اندام انسانی ۱۱
۱-۵-۳. معماری با ساختار شبیه اندام انسانی ۱۱

فصل۲ **۲**

مواد و روش ها **۲**

۲-۱. بیومکانیک بدن انسان ۱۴
۲-۱-۱. مقدمه ۱۴
۲-۱-۲. آناتومی و فیزیولوژی بدن انسان ۱۴
۲-۱-۳. حرکت مفاصل ۱۶
۲-۱-۴. چرخه‌ی گام زدن ۱۹
۲-۱-۵. تحلیل بالینی راه رفتن (CGA) به عنوان یک ابزار طراحی ۲۴
۲-۱-۶. مچ پا ۲۶
۲-۱-۷. زانو ۳۱
۲-۱-۸. مفصل ران ۳۵
۲-۱-۹. دور و نزدیک شدن خالص مفصل ران ۴۰
۲-۱-۱۰. چرخش خالص پا ۴۱
۲-۱-۱۱. تاثیر تغییرات سرعت ۴۳
۲-۱-۱۲. نتایج تحلیل بیومکانیکی برای اگزواسکلتون ۴۵

.۲-۲ مدل‌سازی و کنترل دینامیکی یک اگزواسکلتون بالاتنه ۴۵
۲-۳. کنترل سختی.....۴۶
۲-۳-۲. روابط بین دینامیک سیستم رباتیک و انرژی آن برای کنترل سختی ۴۷
۲-۳-۳. شرایط پایداری سختی جدید برای کنترل سختی ۴۹
۲-۴. کنترلر نیرو ، موقعیت.....۵۲
۲-۴-۲. روابط بین دینامیک های سیستم رباتیک و انرژی آن برای کنترل نیرو موقعیت۵۳
۲-۴-۳. شرایط جدید پایداری سختی برای کنترل نیرو ، موقعیت ۵۵
۲-۵. کاربرد ۵۷
۲-۵-۱. وضعیت توانبخشی.....۵۷
۲-۵-۲. بازوی انسان ۶۰
۲-۵-۳. مدل ربات کمک توانبخشی ۶۰
۲-۵-۴. تولید مسیر ۶۱
۲-۵-۵. بحث و نتیجه گیری.....۶۳

فصل۳ نتیجه‌گیری و پیشنهادات **۱۴**
۳-۱. نتیجه‌گیری.....۷۸
۳-۲. پیشنهادات ۷۹
منابع.....۹۲

فهرست شکل‌ها

عنوان.....صفحه

شکل۱-۱. تصویر میکروسکپی از پوشش خارجی یک مورچه [۲]. ۲

شکل۱-۲. ساختار کلی یک اگزواسکلتون پایین‌تنه [۲]..... ۴

شکل۱-۳. بارهای حمل شده توسط واحدهای مختلف پیاده نظام آمریکا در طول سال های مختلف [۴]. ۶

شکل۱-۴. مثالی از معماری ساختار اندام انسانی(سمت چپ) و نامشابه با ساختار اندام انسانی (سمت راست) [۸]..۱۲

شکل۲-۱. صفحات توصیف آناتومیکی بدن در حالی که بدن در موقعیت آناتومیکی قرار گرفته است.

شکل۲-۲. درجات آزادی مفاصل [۲۰]. ۱۷

شکل۲-۳. در این شکل می‌توانید تفاوت بین بالاتنه و بخش محرک بدن را مشاهده کنید. همچنین مکان خط بار در حالت ایستاده نشان داده شده است. در صفحه‌ی میانی خط بار از بین گوش میانی و مرکز جرم بالاتنه عبور کرده و با گذشتن از پشت زانو وجلوی مچ به طرف پاشنه حرکت می‌کند. ابعاد و اندازه های داده شده برای مکان مرکز جرم بالاتنه (HAT CG) و جهت گیری پاها مبتنی بر اندازه گیری هایی است که در مورد ۵۰٪ مردان صادق است [۲۱]. ۱۸

شکل۲-۴. شکل ۲-۴ چرخه‌ی گام زدن. توزیع زمانی (که بر حسب درصد از بازه ی کامل است) با تغییر سرعت گام زدن کمی تغییر می‌کند. درصدهای نشان داده شده برای سرعت راه رفتن با میانگین ۱.۳ m/s است. مسیر مرکز جرم بالاتنه در صفحه‌ی میانی نیز در این شکل نشان داده شده است [۲۳]. ۲۱

شکل۲-۵. نحوه تعیین جهت برای زاویه‌ها..... ۲۵

شکل۲-۶. زاویه‌ی مچ در طول چرخه‌ی گام زدن [۲۷]. ۲۷

شکل۲-۷. ماکت سینماتیکی استفاده شده برای BLEEX [۲۷]. ۲۸

شکل۲-۸. گشتاور مفصل مچ در چرخه‌ی گام زدن [۲۷]. ۲۹

شکل۲-۹. توان لحظه‌ای مفصل مچ در چرخه گام زدن [۲۷]. ۳۱

شکل۲-۱۰. تغییرات زاویه‌ی مفصل زانو در چرخه‌ی گام زدن [۲۷]..... ۳۲

شکل۲-۱۱. تغییرات گشتاور مفصل زانو در چرخه‌ی گام زدن [۲۷]. ۳۴

شکل۲-۱۲. توان لحظه‌ای مفصل زانو در یک چرخه‌ی گام زدن [۲۷]. ۳۵

شکل۲-۱۳. تغییرات زاویه‌ی مفصل ران در یک چرخه‌ی گام زدن [۲۷]. ۳۶

شکل۲-۱۴. گشتاور مفصل ران در یک چرخه‌ی گام زدن [۲۷]. ۳۷

شکل۲-۱۵. توان لحظه‌ای مفصل ران [۲۷]. ۳۸
شکل۲-۱۶. کل توان لحظه‌ای برای یک فرد ۷۵ kg که بر روی یک سطح صاف با سرعت ۱.۳ m/s در حال راه رفتن است[۲۷]. ۳۸
شکل۲-۱۷. زوایای مفاصل در یک چرخه‌ی گام زدن، نسبت به درصد از یک چرخه‌ی کامل [۲۷]. ۳۹
شکل۲-۱۸. گشتاور مفاصل در یک چرخه‌ی گام زدن ، نسبت به درصد از یک چرخه‌ی کامل(گشتاورها نسبت به جرم بدن به هنجار شده‌اند.) [۲۷]. ۳۹
شکل۲-۱۹. زاویه دور و نزدیک شدگی خالص در سمت چپ و گشتاور مربوط به آن در سمت راست [۲۷]. ۴۰
شکل۲-۲۰. اطلاعات CGA توان، مربوط به دورشدگی و نزدیک شدگی خالص پا [۲۷]. ۴۱
شکل۲-۲۱. زاویه چرخش خالص در سمت چپ و گشتاور مربوط به آن در سمت راست [۲۷]. ۴۲
شکل۲-۲۲. اطلاعات CGA توان مربوط به چرخش مفصل‌ها [۲۷]. ۴۳
شکل۲-۲۳. روش کنترل سختی[۴]. ۴۹
شکل۲-۲۴. بازوی انسان متصل به ربات کمک توانبخشی سه درجه آزادی ۵۸
شکل۲-۲۵. نمونه اولیه ربات کمک توانبخش سه درجه آزادی ۵۹
شکل۲-۲۶. طراحی مکانیکی ربات کمک توانبخشی سه درجه آزادی ۵۹
شکل۲-۲۷. مسیر اندافکتور تحت کنترل سختی ۶۵
شکل۲-۲۸. خطای ردیابی در راستای محور X تحت کنترل سختی ۶۶
شکل۲-۲۹. خطای ردیابی در راستای محور Y تحت کنترل سختی ۶۶
شکل۲-۳۰. پاسخ نیروی تماسی تحت کنترل سختی در روی محور X ۶۷
شکل۲-۳۱. پاسخ نیروی تماسی تحت کنترل سختی در روی محور Y ۶۸
شکل۲-۳۲. قانون کنترلی u_1 تحت کنترل سختی ۶۸
شکل۲-۳۳. قانون کنترلی u_2 تحت کنترل سختی ۶۹
شکل۲-۳۴. قانون کنترلی u_3 تحت کنترل سختی ۶۹

فهرست جداول

عنوان.....صفحه

جدول۲-۱. نگارش استفاده در تعیین جهت گشتاورها در هریک از حرکت‌ها.....۶۰
جدول۲-۲. پارامتر های بازوی انسان ۶۱

اهداف پایان‌نامه

اگزواسکلتون[1] رباتی است که به وسیله‌ی یک انسان پوشیده شده و ضمن ایجاد یک پوشش محافظ برای بدن فرد می‌تواند با افزایش قدرت و مقاومت عضلات، فرد را در حرکت‌ها، مانورها و همچنین حمل و جابجایی بارها کمک نماید. هدف از اگزواسکلتون‌های پایین‌تنه فائق آمدن بر محدودیت‌های ربات‌های چندپا با افزودن یک اپراتور انسانی به سیستم است. این سیستم رباتیک از یک چارچوب شبیه کوله‌پشتی تشکیل یافته که بر روی دو پای رباتیک قرار گرفته است. اگر مکانیزم رباتیک در خدمت عامل انسانی آن قرار گیرد بسیاری از توانمندی‌های فوق‌العاده پیشرفته‌ی انسانی در درک محیط، مسیریابی و حفظ تعادل با بسیاری از توانمندی‌های مکانیکی ربات در هم می‌آمیزد و هم‌افزایی بسیار مناسبی را ایجاد می‌کند. بنابراین سیستم اگزواسکلتون پایین‌تنه تلاش می‌کند که قدرت و پایداری ربات‌های پیشرفته را با هوشمندی، مهارت و ظرافت عامل انسانی در هم بیامیزد.

فصل اول این پایان‌نامه مروری دارد بر انواع اگزواسکلتون‌ها، تاریخچه این تکنولوژی و پروژه‌های مهم علمی که تا کنون در زمینه طراحی و ساخت این نوع جدید از ربات‌ها در دنیا صورت گرفته است.

اولین گام در ساخت یک ربات، طراحی مکانیزم کلی آن و بیان یک توصیف ریاضی مبتنی بر فیزیک مسئله با استفاده از روش‌های علم مکانیک است. اما نکته‌ای که باید در نظر داشت این است که این ربات بر خلاف سایر ربات‌ها باید در تماس مستقیم با بدن انسان بوده و به نحوی حرکات بدن انسان را در سریعترین زمان و کمترین خطا مثل سایه دنبال کند، بنابراین اولین قدم در طراحی چنین سیستمی، آشنایی کامل با بیومکانیک بدن انسان، آناتومی استخوان‌ها و عضلات، آناتومی سیستم حرکتی و مباحث علمی در مکانیک حرکتی بدن انسان است. در بخش دوم از فصل دوم به این موضوع پرداخته‌ایم و سعی کرده‌ایم مباحث بیومکانیکی پراهمیت در طراحی و ساخت یک اگزواسکلتون پایین‌تنه را به بهترین شکل و به صورت خلاصه و مفید برای پژوهشگرانی که قصد مطالعه در این زمینه خاص را دارند ارائه نماییم. در بخش سوم نیز یک اگزواسکلتون پایین‌تنه در کلی‌ترین حالت آن و با اجتناب از پرداختن به جزییات طراحی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن و تنها با دید یک مکانیزم رباتیکی طراحی گردیده و با استفاده از روش‌های کلاسیک علم مکانیک و رباتیک از لحاظ دینامیکی مدل‌سازی شده است و روابط ریاضی لازم برای تحلیل چنین سیستمی استخراج گردیده‌اند. در ادامه با توجه به نبود یک مدل استاندارد برای تست عملکرد مدل اگزواسکلتون، مدل بدن انسان

[1] Exoskeleton

در فرایند ایستادن از حالت نشسته استخراج شده است تا بتوان با استفاده از این مدل، اگزواسکلتونی برای کمک به افراد جهت بلند شدن طراحی نمود.

در یک ربات اگزواسکلتون الگوریتم کنترلی تضمین می‌کند که ربات در هماهنگی کامل با فرد پوشنده به گونه‌ای حرکت کند که کمترین تبادل نیرو بین آنها به وجود بیاید. بخش پنجم این فصل از پایان‌نامه، روش "کنترل گشتاور مجازی" و "کنترل مبتنی بر افزایش حساسیت" برای کنترل یک اگزواسکلتون پایین‌تنه را ارائه می‌دهد. در روش "کنترل مبتنی بر افزایش حساسیت" ، حساسیت سیستم حلقه بسته نسبت به ورودی‌های نیرو و گشتاوری که از طرف کاربر اگزواسکلتون به آن وارد می‌شود افزایش داده می‌شود. این طرح کنترلی نیاز به هیچ گونه اندازه‌گیری مستقیمی از بدن فرد پوشنده و بخش‌های اتصال‌دهنده ربات و بدن ندارد و به جای آن، کنترل‌کننده مبتنی بر اندازه‌گیری‌هایی که بر روی اگزواسکلتون انجام می‌دهد و داده‌هایی که تنها از آن به دست می‌آورد، تعیین می‌کند که اگزواسکلتون چگونه حرکت کند تا کاربر نیروی بسیار کمی را احساس نماید. این روش بر روی یک مدل از یک اگزواسکلتون پایین تنه پیاده شده است، در این مدل یک عملگر نقش موتور طبیعی پا را بازی کرده و عملگر دیگر نقش اگزواسکلتون را بازی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از این روش کنترلی میزان مصرف انرژی را با هر نسبت دلخواهی بین موتور طبیعی پا و اگزواسکلتون تقسیم نمود.

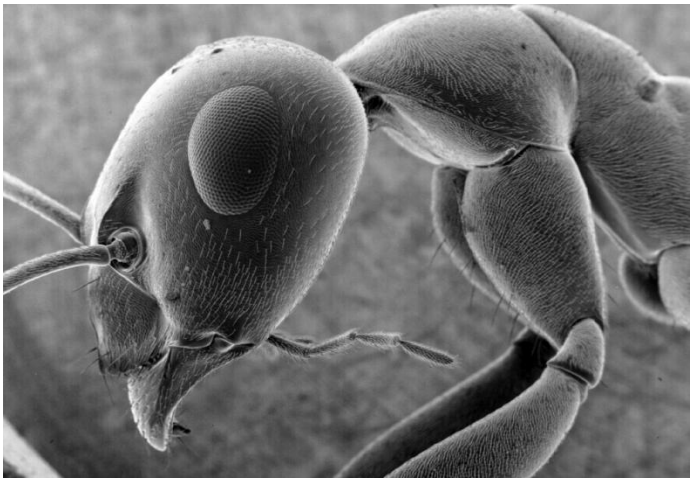
به طور خلاصه می‌توان گفت در این پایان‌نامه فهم دقیق و تا حد امکان ساده‌ای از یک اگزواسکلتون ارائه گردیده است و یک اگزواسکلتون برای کمک به افراد جهت انجام حرکت بلند شدن از حالت ایستاده طراحی شده است.

فصل۱

مقدمه

۱-۱. مقدمه

از لحاظ علمی واژه‌ی لاتین Exoskeleton، به پوشش سخت بیرونی بدن حشرات و سخت‌پوستان اشاره می‌کند، این پوشش خارجی، ضمن در برگرفتن ارگانیسم‌های داخلی بدن حشره یا سخت‌پوست، موجود را در برابر آسیب‌ها، فشارها و به طور کل محیط اطراف آن حفاظت می‌کند [۱]. این لغت را از این مبحث علمی قرض می‌گیریم و رباتی را که به وسیله‌ی یک انسان پوشیده شده و ضمن ایجاد یک پوشش محافظ برای بدن فرد می‌تواند در حمل و جابجایی بارها به آن فرد کمک کند را در زبان فارسی سخت‌پوش انسانی[۱] می نامیم.



شکل۱-۱. تصویر میکروسکپی از پوشش خارجی یک مورچه [۲].

هدف از اگزواسکلتون‌های پایین‌تنه فائق آمدن بر محدودیت‌های ربات‌های چند پا با افزودن یک اپراتور انسانی به سیستم است. این سیستم رباتیک از یک چارچوب شبیه کوله‌پشتی تشکیل یافته که بر روی دو پای رباتیک قرار گرفته‌اند، همانطور که شکل ۱-۱ نشان می‌دهد، این دو پای رباتیک به پاهای پوشنده‌ی ربات نیز متصل می‌شوند. اگر مکانیزم رباتیک در خدمت عامل انسانی آن قرار گیرد بسیاری از توانمندی‌های فوق‌العاده

[۱] Human exoskeleton

پیشرفته‌ی انسانی در درک محیط، مسیریابی و حفظ تعادل با بسیاری از توانمندی‌های مکـانیکی ربـات در هـم می‌آمیزد و توانمندی بسیار مناسبی را ایجاد می‌کند. بنابراین سیستم اگزواسکلتون‌های پایین‌تنه تلاش می‌کنـد که قدرت و پایداری ربات‌های پیشرفته را با هوشمندی، مهارت و ظرافت عامل انسانی در هم بیامیزد [۲].

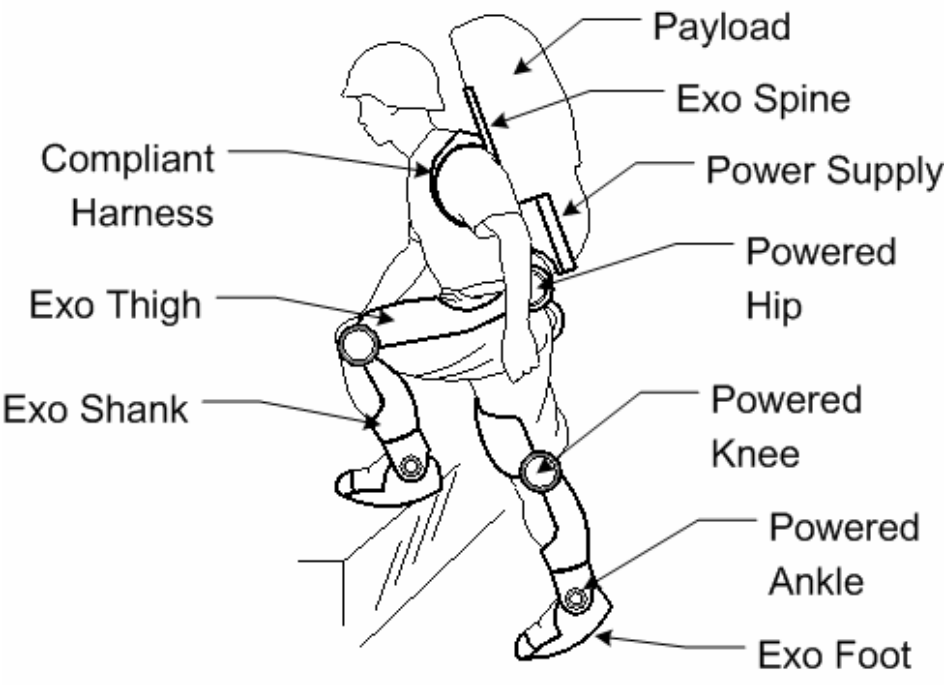
اگزواسکلتون‌های انسانی سختی حمل بار را برای انسان کاهش داده و یا کلاً حذف مـی‌کننـد. بـدن انسـان و حرکت آن با استفاده از دو پا، مکانیزم بی‌نظیری برای تحمل بارها و حرکـت در اطـراف بـا چـالاکی بـالا فـراهم می‌کند. این سیستم طبیعی قابلیت سازگاری با محیط‌هایی را دارد که سیستم‌های مبتنی بر چرخ در آن کارایی ندارند و یا استفاده از آنها بسیار مشکل می‌باشد.

حمل بارهای مختلف، جزئی جداناپذیر از زنـدگی روزانـه‌ی هـر فـردی اسـت. بـرای سـربازان جنگـی و نیـز امدادرسانان حمل بارهای مختلف بسیار حیاتی و جزئی از وظایف آنها مـی‌باشـد. متاسـفانه، حمـل بـار نـه تنهـا خسته‌کننده است بلکه می‌تواند به طور بالقوه باعث بروزخطرات و صدمات جبران‌ناپذیر به بدن افراد شود.

یک اگزواسکلتون انسانی توسط فرد پوشیده شده و بارهایی مثل یک کوله‌پشتی سنگین که پیش از این باید توسط سیستم اسکلتی عضلانی خود فرد تحمل می‌شد را تحمل می‌کند. در عین حـال اگزواسـکلتون نبایـد بـه گونه‌ای عمل کند که مانعی برای حرکات طبیعی فرد مانند ایستادن، نشستن، راه رفتن و دویدن ایجاد نماید، هم چنین باید تضمین کند که نیروهای مربوط به بار همیشه از طریق ساختار اگزواسکلتون منتقل شوند نه از طریق بدن انسان. اگزواسکلتون این مزیت‌ها را دارد که خستگی ناشی از حمل بار را برای فرد کاهش داده و مـی‌توانـد فاصله و زمان قابل تحمل برای حمل بـار را افـزایش دهـد. همچنـین فـردی کـه اگزواسـکلتون را مـی‌پوشـد از آسیب‌های مربوط به تنش‌های اعمالی به سلسله اعصاب، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل که ممکن بود بـه خـاطر حمل بارهای سنگین پیش بیایند در امان نگه می‌دارد[۳].

هزینه‌ای که در قبال این مزایای برجسته باید پرداخت کنیم این است که یک وسیله‌ی فیزیکی داریم کـه در فاصله‌ی بسیار نزدیک با بدن انسان قرار گرفته و نیازمند منبع توانی است که دائماً نیـاز بـه تعـویض و یـا شـارژ شدن دارد و کلیت ساختار نیزمی‌تواند از لحاظ فیزیکی دچار عیب و اشکال شده و دیگر قادر به حمل بار نباشـد و یا مانع بعضی مانورها و حرکت‌ها توسط پوشنده‌ی آن گردد [۲].

همانطور که در شکل ۱-۲ ملاحظه می‌کنید ، یک سرباز مجهز به اگزواسکلتون که قادر به حمل بار سـنگین می‌باشد ، با مشخص کردن اجزاء مختلف اگزواسکلتون نمایش داده شده است .



شکل ۱-۲. ساختار کلی یک اگزواسکلتون پایین‌تنه [۲].

۱-۲. انگیزه‌ها

در بسیاری از کارها زمانی که استفاده از یک ابزار خارجی و یا یک وسیله‌ی چرخ‌دار مثل ارابه یا چرخ دستی امکان‌پذیر نیست و یا غیر ممکن است باید خومان بار را حمل کنیم. زمانی هم که باری را حمل می‌کنیم معمولاً نیاز داریم که کارهای دیگر را نیز در عین حمل بار انجام دهیم برای مثال دری را باز کنیم و یا چیزی را جابجا کنیم. برای این منظور می‌توانیم از یک کوله پشتی که با یک کمربند به پشت ما بسته شده است و یا هر سیستم دیگری که بار را بر روی بدن ما حفظ کند استفاده کنیم.

طراحی سیستم رباتیکی که انعطاف‌پذیری یک باربند که به بدن انسان چسبیده باشد را داشته و در عین حال مزاحمتی برای انسان ایجاد نکند و هم چنین بتواند نیاز به اعمال نیرو توسط اعضای بدن و صرف انرژی

برای حمل آن را حذف نماید، هدف کلی تحقیقات در این زمینه است.

نسل‌های اول و دوم اگزواسکلتون‌هایی که در این آزمایشگاه‌های مختلف در سطح دنیا توسعه داده شده‌انـد و در این پایان‌نامه به آنها اشاره خواهد شد برای حفاظت زرهی پوشنده‌ی آن طراحی نشده‌اند، اما نسل‌های بعـدی آن که هم اکنون در حال طراحی و توسعه می‌باشند، قابلیت‌های مربوط به یک اگزواسکلتون طبیعی مثـل یـک حشره را نیز دارا می‌باشند. برخلاف انواع فانتزی و تخیلی این ربات‌ها که فیلم سازان و نویسندگان داسـتان‌هـای علمی تخیلی به آن می‌پردازند، ربات‌هایی که در این مرکز تحقیقاتی طراحی و ساخته می‌شوند، قرار نیست کـه نیروها و یا سرعت های مافوق بشری را برای پوشنده‌ی آن به همراه بیاورند بلکه این ربات‌هـا جهـت کاربردهـای عملی در حمل بار طراحی شده‌اند [۲].

از علت‌های این هدف‌گذاری به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

۱) حذف سختی و مشقت حمل بار بسیاری از مشکلات واقعی و موجود مربـوط بـه خسـتگی و آسـیب‌هـای ناشی از آن را در بسیاری از کاربردها حذف می‌کند.

۲) استفاده از وسیله‌ای که بتواند قدرت فیزیکی انسان را به صورت فوق‌العاده ای افـزایش دهـد، مسـتلزم آن است که فرد پوشنده‌ی اگزواسکلتون در موقعیت‌هایی قرار گیرد که در صورت درست عمل نکردن اگزواسـکلتون در معرض آسیب‌های جسمانی جدی قرار گیرد.

۳) اگزواسکلتونی که برای سرعت‌های بالا طراحی شده باشد قاعدتاً باید عضلات بدن پوشنده را مجبور نمایـد که با همان سرعت حرکت کنند که البته بدن انسان برای چنین حرکاتی ساخته نشده است.

۱-۳. کاربردها

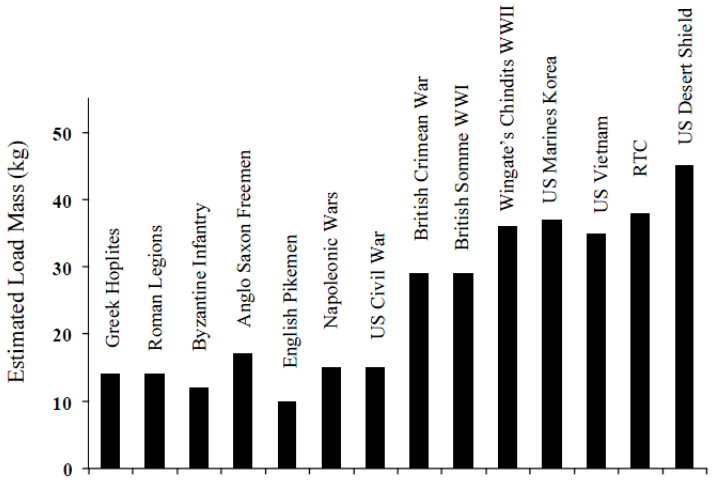
۱) حمل بار برای سربازان:

پروژه‌ی ربات اگزواسکلتون پایین‌تنه در دانشگاه کالیفرنیا (برکلی) در ابتدا با سرمایه‌گذاری آژانس پروژه‌هـای تحقیقاتی پیشرفته‌ی نظامی[۱] که یک سازمان سرمایه‌گذاری زیر نظر وزارت دفـاع آمریکـا اسـت شـکل گرفـت و

[۱] Advanced Researchment Projects Agency

نیروی پیاده نظام ارتش آمریکا مشتری اصلی این ربات می‌باشد. سربازها به طور معمول بارهای سنگین را در مسافت‌های طولانی حمل می‌کنند. در مقالات بسیاری ارتباط مستقیم بین حمل بارهای سنگین و تلفات و مشکلات ناشی از آن و عملکردهای نامناسب و گاه مرگ‌های بی‌دلیل سربازان ناشی به خاطر آن، بررسی شده است [۴].

در اکثر دستورالعمل های نظامی، بیشینه‌ی باری که توصیه می‌شود توسط یک سرباز برای رژه در یک مسافت ۳۳ کیلومتری حمل شود، ۲۲ کیلوگرم است. اگر چه آمار نشان می‌دهد، بار واقعی که معمولاً توسط یک سرباز در میدان جنگ حمل می‌شود بین ۴۰ کیلوگرم تا ۷۳ کیلوگرم است. این آمار نشان می‌دهد که بارهای حمل شده توسط سربازان حدوداً ۵۵ تا ۱۰۰ ٪ وزن خودشان می‌باشد در حالی که استانداردها می گویند وزن بارحداکثر باید ۳۰ تا ۴۰٪ وزن بدن باشد. بارهایی که توسط سربازان حمل می‌شود نه تنها خسته‌کننده است بلکه در دراز مدت تهدیدی برای سلامتی آنها نیز می‌باشد. نیاز برای ابزارها یاروش هایی که این بارها را برای سربازان کاهش دهد بی‌نهایت واضح و آشکار است [۴].



شکل ۱-۳. بارهای حمل شده توسط واحدهای مختلف پیاده نظام آمریکا در طول سال های مختلف [۴].

شکل۱-۳ تاریخچه‌ای از میزان بارهای حمل شده توسط سربازان واحد مختلف پیاده نظام آمریکا را نشان می‌دهد. برخلاف پیشرفت‌های زیادی که در طول این صده، در تکنولوژی ساخت مواد سبک وزن به دست آمده است، وزن کل بارهای حمل شده توسط سربازان افزایش یافته است. تا حدی که برای مثال در طول جنگ

جهانی اول سربازان بارهایی در حد ۸۵٪ وزن خود را حمل می‌کرده اند. طبق آمارها تغییرات اخیر در نحوه‌ی جنگ‌ها از جنگ‌هایی با وسعت‌های بالا به جنگ‌های تن به تن و چریکی باعث خواهد شد که سربازان مجبور به حمل بارهای سنگین‌تری نسبت به قبل شوند.

۲) کاربردهای غیرنظامی:

اگزواسکلتون‌ها کاربردهای زیادی علاوه بر حمل بار برای سربازان دارند. این ربات‌ها می‌توانند در عملیات امداد و نجات و حمل وسایل، غذا، آب و نیازهای دارویی به مناطق آسیب دیده و صعب‌العبور به کمک امدادرسانان بیایند. ارتقا در توانایی حمل بار این امکان را به امدادرسانان می‌دهد تا افراد آسیب‌دیده را از محل حادثه به پناهگاه‌ها انتقال دهند. به عبارتی هر امدادرسان خود به صورت یک آمبولانس تک نفره عمل می‌کند. به همین ترتیب یک اگزواسکلتون سربازان را قادر می‌سازد تا وسایل تنفسی و تجهیزات حیاتی که با حفظ جان سرباز در ارتباطند را بدون خستگی و برای مدت بیشتری حمل کنند. از دید صنعتی یک اگزواسکلتون را می‌توان تقریباً در هر سناریویی که نیاز به حمل تجهیزات، ظروف و بسته‌های بزرگ بین انبارها و خط تولید است به کار گرفت.

می‌توان از اگزواسکلتون برای تحویل بسته‌های پستی در مسیرهای صعب‌العبور و یا زمانی که نیاز است بسته‌های پستی خانه به خانه تحویل داده شوند، استفاده نمود. کارگران حمل بار می‌توانند برای کاهش آسیب‌ها به ستون فقرات و عضلات و استخوان‌های پا از اگزواسکلتون‌ها استفاده نمایند. از اگزواسکلتون‌ها هم چنین می‌توان در فیلمبرداری و یا صدابرداری برای برداشتن دوربین و میکروفن‌ها و تجهیزات صدابرداری سنگین استفاده نمود. والدین کودکان می‌توانند با پوشیدن اگزواسکلتون‌های ساده، کودکان خود را بر پشت خود حمل نمایند، بدون اینکه وزن آن را احساس کنند. به طور کل در هر کاربردی که یک بار باید به صورت فیزیکی جابجا شود استفاده از اگزواسکلتون‌ها می‌تواند سختی و آسیب‌های این کار رابرای انسان به حداقل برساند [۷].

۳) کاربردهای پزشکی:

تاکنون کاربردهای ربات‌های اگزواسکلتون برای افراد سالم و به عنوان وسیله‌ای برای افزایش توانایی‌های آن‌ها مورد تحقیق و پژوهش قرار گرفته است. تصور این موضوع به هیچ وجه دور از ذهن نیست که یک اگزواسکلتون را می‌توان به عنوان یک عضو یا اندام کمکی به کار گرفت. اندام کمکی وسیله‌ای برای نگهداشتن، اصلاح و یا

هم‌راستا کردن اندام و مفاصل ضعیف یا معلول می‌باشد [۵]. ساختار صلب یک اگزواسکلتون می‌تواند به صورت یک چارچوب برای تحمل اندام پایین تنه به کارگرفته شود. اگر تغییرات مناسبی در اگزواسکلتون ها ایجاد شود می‌توان از آن‌ها به عنوان یک عضو جانشین برای افرادی که بعضی از اندام خود را از دست داده‌اند و یا در قسمت پایین تنه دچار قطع عضو شده‌اند استفاده نمود. تغییرات باید به گونه‌ای باشد که اگزواسکلتون در این حالت بتواند به جای تحمل یک وزنه خارجی وزن خود بدن را تحمل نماید.

۱-۴. تاریخچه بحث

پدیده‌ی افزایش قدرت انسان با استفاده از اگزواسکلتون مکانیکی چندان جدید نیست. اولین اگزواسکلتون‌ها با اندام فعال در اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ و اوایل دهه‌ی ۷۰ در شرکت جنرال الکتریک[۱] و انستیتو Mihajlo Pupin در بلگراد ظهور پیدا کردند. پروژه‌ی ساخت اگزواسکلتون Hardiman در شرکت جنرال الکتریک به انجام رسید، این ربات یک اگزواسکلتون تمام تنه با وزن ۶۸ کیلوگرم بود که با یک سیستم دستوردهنده- فرمانبردار[۲] کنترل می‌شد. نگرانی‌های مربوط به امنیت سیستم و پیچیدگی‌های آن مانع از این شد که این ربات حتی بتواند راه برود و یا با حفظ تعادل پاهای خود را تکان دهد [۶].

اگزواسکلتون ساخت بلگراد یک اگزواسکلتون پایین‌تنه به اندازه‌ی بدن انسان بود که برای کمک به توان بخشی معلولین طراحی شده بود. این ربات نیز مثل ربات Hardiman حتی نمی‌توانست منبع توان خود را جابجا کند. این ربات تنها یک سری حرکات از پیش برنامه ریزی شده برای راه رفتن را می‌توانست دنبال کند، و این موضوع کارایی آن را به شدت محدود کرده بود. اگرچه در این پروژه، ایده ی "کنترل نقطه‌ی گشتاور صفر[۳]" ارائه گردید که هنوز در ربات‌های انسان نما به کار گرفته می‌شود [۷].

به دنبال تلاش‌هایی که در دهه‌ی ۷۰ صورت گرفت، افراد محدودی در سرتاسر دنیا این تحقیقات را دنبال کردند. یکی از پروژه‌های تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفت، پروژه‌ی توسعه‌دهنده‌ی الکتریکی توان بود که که در سال ۱۹۹۳ در دانشگاه برکلی آغاز گردید. این اگزواسکلتون تمام‌تنه مثل ربات Hardiman از عملگرهای

[۱] General Electric
[۲] Master-slave
[۳] Zero Moment Point Control

الکتریکی برای افزایش قدرت انسان، استفاده می‌نمود. در این پروژه از سنسورهای نیرو برای تشخیص و تقویت نیروی بدن استفاده گردید، با این حال، این ربات موفقیت محدودی در راه رفتن به دست آورد [۶].

با آغاز قرن بیست و یکم تحقیقات در زمینه ی اگزواسکلتون‌ها از پیش گرفته شد. در ژاپن انستیتو تکنولوژی کاناگاوا یک تنپوش تمام‌تنه را توسعه داد که از عملگرهای پنوماتیک برای اعمال نیرو استفاده می‌کرد. نیروها در سه عملگر آن در زانو، کمر و آرنج با اندازه گرفتن سختی عضلات متناظر در آن قسمت بدن، کنترل می‌شدند. اعمال نیروی محدود و فقدان یک منبع توان قابل حمل کاربردهای چنین اگزواسکلتونی را محدود نمود [۸].

دانشگاه تسوکوبا در ژاپن یک ابزار کمکی سبک وزن را توسعه داد که HAL[۱] نامیده شد. با استفاده از سنسورهای فشار که بر روی عضلات پا قرار می‌گیرند و نیز سنسورهای نیرو برای اندازه‌گیری نیروی عکس‌العمل زمین، ربات HAL عملگرهای خود در قسمت مفصل زانو و مفصل ران را به حرکت درمی‌آورد. این اگزواسکلتون یک منبع توان قابل حمل دارد اما تنها می‌تواند به عضلات پا برای حرکت توان رسانی کند و توانایی حمل بارهای خارجی را ندارد.در حال حاضر چندیدن ربات اگزواسکلتون پایین‌تنه‌ی دیگر برای کمک به افراد ناتون در حال طراحی و توسعه است [۹-۱۱].

گذشته از اگزواسکلتون‌ها، ابزارهای فعال دیگری نیز وجود دارند که ذکر آنها خالی از لطف نیست. یک ابزار توان بخشی پیشرفته که برای آموزش نحوه‌ی حرکت‌دهی اندام پایین‌تنه طراحی شده است، Lokomat نام دارد در این ربات قسمت بالایی آن بر روی یک پایه نصب شده و می‌تواند پای انسان را در مسیرهای از پیش تعیین شده حرکت دهد. اگرچه این ربات یک اگزواسکلتون نیست ولی محصولی موفقی می‌باشد که چالش‌هایی مشابه با چالش‌های یک اگزواسکلتون را در پیش روی خود داشته است [۱۲-۱۳].

ربات RoboKnee که به وسیله‌ی شرکت Yobotics توسعه داده شده است، یک اندام کمکی برای زانو است که توانایی و استقامت فرد پوشنده را در طول راه رفتن ارتقا می‌بخشد. این ربات از سنسورهای نیرو برای اندازه‌گیری نیروی عکس‌العمل زمین به پای انسان استفاده کرده و گشتاور مورد نیاز برای زانو را تخمین می‌زند. محققین در دانشگاه هوکایدوی ژاپن در حال توسعه‌ی ابزاری کمکی برای کمر می‌باشندکه به قسمت ران و بالاتنه متصل شده و از سیگنال‌های EMG برای کنترل موتورهای الکتریکی خود استفاده می‌کند. ابزارهای کمکی متنوع دیگری نیز تاکنون توسعه داده شده‌اند، برای مثال عضو کمکی زانو که از عملگرهای پنوماتیکی

[۳] Hybrid Assistive Leg

برای اعمال نیرو استفاده می‌کند [۱۴-۱۶].

۱-۵. معماری‌های مختلف طراحی

مهم‌ترین بخش طراحی یک اگزواسکلتون انتخاب معماری ساختار کلی اسکلت است. طرح‌های گوناگونی برای اتصال مفاصل و اندام را می‌توان برای طراحی یک پای متحرک در نظر گرفت، اما تمام این معماری‌ها در یکی از سه رده‌ی زیر قرار می‌گیرند:

۱-۵-۱. معماری با ساختار اندام انسانی

در این معماری تلاش بر این است که اندام ربات کاملاً بر اندام انسان منطبق باشند. با داشتن تطابق در سینماتیک حرکتی و درجات آزادی انسان و نیز طول‌های مساوی با اندام انسان، پاهای اگزواسکلتون دقیقاً موقعیت پاهای انسان را دنبال می‌کند. این موضوع بسیاری از مشکلات طراحی را ساده می‌کند. برای مثال دیگر نیازی نیست که نگران برخورد اعضای بدن با اعضای ربات باشیم. اگرچه یک مشکل عمده در اینجا این است که مفاصل پای انسان را با تکنولوژی‌های موجود در ساخت مفاصل به طور کامل نمی‌توان تقلید نمود. برای مثال حرکت دورانی زانو به صورت کاملاً دورانی نمی‌باشد و تلاش برای تقلید کامل سسینماتیک حرکتی آن منتج به ساخت یک سیستم مکانیکی پیچیده و احتمالاً بدون قوام خواهد شد.

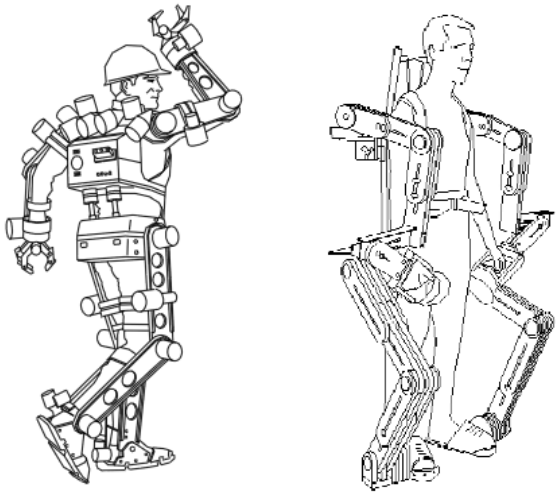
یک منبع نگرانی دیگر در ارتباط با این معماری این است که طول اندام اگزواسکلتون باید دقیقاً هم اندازه‌ی اندام بدن فرد پوشنده باشند. این بدان معنی است که برای افراد مختلف تقریباً تمام اندام اگزواسکلتون باید قابل تنظیم باشند. به طور کل معماری با ساختار اندام انسانی اشتباهاً به عنوان انتخاب ارجح یاد می‌شود زیرا به نظر اجازه می‌دهد که اگزواسکلتون به هر قسمت بدن فرد متصل شود [۸].

۱-۵-۲. معماری با ساختار غیر مشابه اندام انسانی

اگر چه که این گونه‌ی معماری در اگزواسکلتون‌ها معمول نیست ولی بسیاری از وسایل با این ساختار بسیار موفق بوده‌اند، برای مثال دوچرخه‌ها نمونه‌ای از این ساختار می‌باشند. این نوع معماری محدوده‌ی وسیعی از انتخاب‌ها رابرای طراحی پاها و دست‌ها فراهم می‌آورد، در عین حال که اگزواسکلتون به هیچ وجه حرکت انسان را محدود نکرده و تداخل ایجاد نمی‌کند.اغلب توسعه‌ی گونه‌ای از معماری که خیلی با ساختار پاها و دست‌ها متفاوت باشد و بازهم بتواند پاها و دست‌ها را در تمام مانورهای مورد نیاز حرکت دهد مشکل است. در این نوع معماری مسئله‌ی امنیت پوشنده‌ی اگزواسکلتون مهم‌تر می‌شود، زیرا اگزواسکلتون نباید پوشنده را مجبور به قرار گرفتن در پیکربندی کند که از لحاظ فیزیکی برای او قابل دسترس نیست. مسئله‌ی دیگر در ارتباط با این معماری این است که پاها و دست‌های اگزواسکلتون ممکن است که با پاهای انسان و یا اجسام خارجی برخورد کند زیرا مفاصل اگزواسکلتون در محل مفاصل بدن قرار نگرفته‌اند[۸].

۱-۵-۳. معماری با ساختار شبیه اندام انسانی

برای داشتن امنیت بالا و نیز حداقل برخوردهای ناخواسته با محیط اطراف، پروژه‌ی BLEEX گونه‌ای از معماری را برگزید که تقریباً شبیه معماری ساختار بدن انسان بود. بدین معنی که BLEEX از لحاظ سینماتیکی مشابه انسان بوده اما تمام درجات آزادی پا را شامل نمی‌شوند. به علاوه درجات آزادی بلیکس تنها از نوع مفاصل دورانی هستند. از آن جائی که پاها و دست‌های فرد پوشنده و اگزواسکلتون دقیقاً شبیه هم نیستند، اندام فرد پوشنده و ربات تنها در ابتدا و انتهای پایین‌تنه و بالاتنه به یکدیگر به طور صلب متصل شده‌اند.هر گونه اتصال در نقاط دیگر به علت عدم تشابه سینماتیکی باعث اعمال نیروهای بسیار زیادی به بدن فرد پوشنده خواهد شد. اما اتصالات سازگاری که حرکت نسبی بین بدن پوشنده و اگزواسکلتون را فراهم آورند قابل استفاده می‌باشند. مزیت دیگری که این نوع معماری دارد این است که به علت عدم تطابق یکسان با سینماتیک بدن انسان تغییر اندازه‌ی آن برای تناسب با پوشنده‌های مختلف امکان‌پذیر است . شکل ۱-۴ نشان‌دهنده مثالی از معماری ساختار اندام انسانی و نامشابه با ساختار اندام انسانی می‌باشد[۸].



شکل ۱-۴. معماری ساختار اندام انسانی(سمت چپ) و نامشابه با ساختار اندام انسانی (سمت راست) [۸].

فصل ۲

مواد و روش ها