مقاله

ربات‌های اسکلت خارجی و کاربردهای آن

زهرا حسینی باب‌اناری
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شیراز
mozhde_h1988@yahoo.com

امیر لطف‌آور*
استادیار دانشکدهٔ مهندسی مکانیک و هوافضا
دانشگاه صنعتی شیراز
lotfavar@sutech.ac.ir

حسین حقگو
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شیراز
mechanic_hh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱

چکیده

بیش از یک قرن، متخصصان و دانشمندان در جستجوی توسعهٔ استخوان‌بندی‌های خارجی یا همان ربات‌های اسکلت خارجی[1] و آتل‌های طراحی‌شده برای تقویت قدرت بدنی انسان بوده‌اند. اگرچه هنوز چالش‌های بسیاری بر سر راه طراحی این ادوات وجود دارد، اما پیشرفت‌های حاصل در پیشبرد این عرصه از دانش بسیار اثرگذار بوده است. در این مقاله، نخست ربات‌های پوشیدنی[2] معرفی می‌شوند، سپس دسته‌بندی آنها، به‌عنوان وسائلی که به‌صورت سری یا موازی با اعضای بدن قرار می‌گیرند، مطرح و در نهایت برخی از کاربردهای عملی آنها ارائه می‌شود.

واژگان کلیدی: ربات‌های پوشیدنی، ربات‌های اسکلت خارجی، توانبخشی، افزایش توان حرکتی، رباتیک

۱. مقدمه

موضوع ربات‌های اسکلت خارجی به سال‌ها پیش بازمی‌گردد. با اینکه این طرح از دیرباز ذهن دانشمندان را به‌خود مشغول کرده [۱]، اما عملی‌کردن آن به پیشرفت‌هایی در زمینهٔ رباتیک و کنترل نیاز داشت. با توجه به فرایند بسیار پیچیدهٔ بدن انسان در تصمیم‌گیری و واکنش در شرایط گوناگون، در عمل ساخت رباتی که بتواند از این جهات شبیه انسان باشد، غیرممکن می‌نمود. بنابراین این ایده مطرح شد که بهتر است رباتی ساخته شود تا انسان با پوشیدن آن، دستورات حرکتی و تصمیمات خود را به ربات انتقال دهد [۲]. این ربات‌ها را می‌توان برای بخشی از بدن، بالاتنه یا پایین‌تنه و یا حتی برای کل بدن ساخت. با انجام این طرح اموری که انسان به‌راحتی قادر به انجام آنها نیست را می‌توان انجام داد، ضمن آنکه از مزایای حرکات نرم و پیچیدهٔ انسان نیز بهره برد.

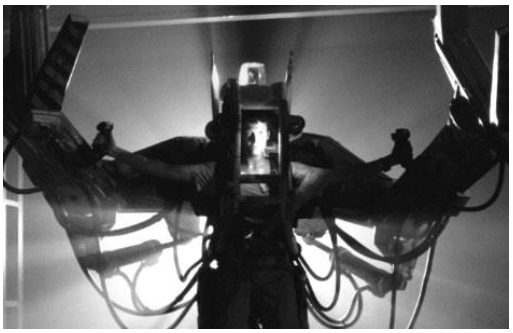
در این سیستم آرمانی، انسان با قدرت درک و حسابگری خود تصمیمات لازم را می‌گیرد و بخش رباتیک سیستم نیز با استفاده از مزایایی چون قدرت، سرعت و دقت، کار را به بهترین شکل ممکن انجام می‌دهد [۲]. برای اولین بار کتاب‌ها و فیلم‌های علمی - تخیلی ایدهٔ اولیهٔ تولید ربات‌های اسکلت خارجی را به دانشمندان القا نمودند. البته در این فیلم‌ها به‌نوعی ماکتی از ربات‌های پوشیدنی ساخته و ارائه می‌شد که از لحاظ علمی بی‌ارزش بودند. بدین

ترتیب، نخستین تلاش واقعی برای طراحی و ساخت یک ربات اسکلت خارجی به دهۀ ۱۹۶۰ م بازمی‌گردد که پژوهشگرانی از امریکا و یوگوسلاوی سابق به این موضوع پرداختند [۱].

در سال ۱۹۶۵ م، در مرکز تحقیقات و توسعۀ شرکت جنرال الکتریک[۳]، برای ساخت نوعی ربات اسکلت خارجی پروژه‌ای با نام هاردی‌من[۴] را آغاز شد [۳]. هدف این پروژه اینگونه تعریف شده بود که شخصی درون آن قرار بگیرد و یخچالی به وزن ۶۵۰ کیلوگرم را به‌راحتی از زمین بلند و جابه‌جا کند. از دیگر اهداف این پروژه این بود که بتوانند از آن در ساخت‌وسازهای زیر آب، تأسیسات هسته‌ای و حتی فضا استفاده کنند [۴]. ربات ساخته‌شده، که در شکل ۱ نمایش داده شده است، با کمک انرژی هیدرولیک و برق نیروی خود را تأمین می‌کرد و به سنگینی یک خودرو بود. با این‌حال تلاش دانشمندان در آن زمان چندان موفقیت‌آمیز نبود و تنها توانستند یکی از بازوهای ربات را راه‌اندازی کنند و اعلام کردند که حرکت و کنترل همزمان هر دو دست ربات با توجه به فناوری موجود امری غیرممکن است [۲].

شکل ۱. ربات اسکلت خارجی هاردی‌من [۲]

با توجه به تجربۀ ناموفق گذشته، پس از آن بیشتر تحقیقات و پروژه‌ها در زمینۀ گسترش و ارائۀ ربات‌های اسکلت خارجی تنها در حد یکی از اعضای بدن همچون دست یا پا گسترش یافت تا اینکه در سال ۱۹۸۶ م، فیلمی با نام بیگانه‌ها[۵] اکران شد. در این فیلم با الهام از ربات هاردی‌من، یک ربات اسکلت خارجی کامل به تصویر کشیده شد؛ رباتی که از آن برای جابه‌جایی بلوک‌های بزرگ سیمانی و جایگذاری موشک‌ها در محل پرتاب استفاده می‌شد (شکل ۲).



شکل ۲. صحنه‌ای از فیلم بیگانه‌ها، ساختۀ جیمز کامرون[۶]
در این صحنه استفاده از اسکلت خارجی به تصویر کشیده شده است

اما در ادامۀ فیلم، شخصیت اصلی داستان با استفاده از قدرت شگفتی که این ربات به او می‌داد سرگرم مبارزه با موجودات فرازمینی شده، آنها را شکست می‌دهد.

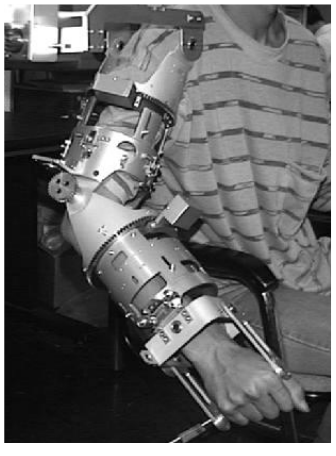
با نمایش عمومی و استقبال کم‌نظیر از این فیلم، ایدۀ ساخت ربات‌های اسکلت خارجی کامل در ذهن دانشمندان بار دیگر قوت گرفت و با پیشرفت دانش کنترل و هوش مصنوعی، راه برای پیشبرد این پروژه هموارتر شد [۲]. حتی در سال ۲۰۰۳ م نیز در قسمت سوم از فیلم‌های سه‌گانۀ ماتریکس[۷] ایدۀ این ربات‌ها دوباره مطرح شد و این ادوات به‌عنوان عنصری حیاتی و مؤثر در جنگ‌های آینده به‌تصویر کشیده شدند.

۲. تحقیقات علمی ربات‌های اسکلت خارجی

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، پس از شکست پروژۀ هاردی‌من، بیشتر پروژه‌های صنعتی و تحقیقات دانشگاهی در زمینۀ ربات‌های اسکلت خارجی در جهت شبیه‌سازی از اعضای انسان پیش رفت. اگرچه هنوز راهی طولانی تا

تحقق رؤیای واقعی انسان درمورد ربات‌های اسکلت خارجی باقی مانده است، اما در واقع این شبیه‌سازی‌ها گام‌های نخستین و اساسی در راستای ساخت ربات‌های اسکلت خارجی کامل بودند. نمونه‌ای از این ربات‌ها با عنوان سنسورآرم[۸] در دانشگاه توکیو[۹] ساخته شد که هدف آن، استفاده از مفهوم واقعیت مجازی[۱۰] بود [۲]. این ربات موفق، که در شکل ۳ نمایش داده شده است، دارای نه درجه آزادی شامل هفت مفصل چرخشی و دو مفصل منشوری است که توسط موتورهای جریان مستقیم به‌حرکت درمی‌آیند [۵].

نمونه‌ای دیگر از ربات‌های موفق اسکلت خارجی، ربات آرم‌مستر[۱۱]، ساخت شرکت سارکوز[۱۲]، در سال ۱۹۹۰ م، است که دارای توان هیدرولیکی است. هدف از ساخت این ربات اسکلت خارجی انجام فعالیت‌های مشخص درون آب و کنترل آن از راه دور بوده است. این ربات دارای هفت درجه آزادی در قسمت بازو و سه درجه آزادی در قسمت مچ برای کنترل انگشت شصت و یک انگشت دیگر است و قدرت خروجی عملگرهای آن در کتف ۹۷ نیوتن متر، در آرنج ۵۰ نیوتن متر، در مچ ۲۲ نیوتن متر و در دست ۵/۵ نیوتن متر می‌باشد [۵]. در دانشگاه برکلی[۱۳] نیز دکتر همایون کازرونی[۱۴] و همکارانش بر روی پروژه‌های متعددی در زمینهٔ ربات‌های اسکلت خارجی فعالیت کرده‌اند؛ پروژه‌هایی در شبیه‌سازی دست یا پای انسان، با دو نوع سیستم انتقال قدرت الکتریکی و هیدرولیکی از جمله این پروژه‌ها می‌باشند [۶]. جدیدترین و شاید مهمترین آنها بلیکس[۱۵] نام دارد و هدف آن شبیه‌سازی کامل حرکات انسان است. این پروژه در واقع در سال ۲۰۰۰ م توسط آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفتهٔ دفاعی[۱۶] وابسته به وزارت دفاع امریکا[۱۷]، با هدف ساخت یک ربات اسکلت خارجی برای افزایش قدرت و توان انسان در کاربردهای نظامی تعریف شده بود. قرارداد پنجاه میلیون دلاری این پروژه با سه مجموعهٔ شرکت سارکوز، آزمایشگاه ملی اوک ریج[۱۸] و آزمایشگاه رباتیک بخش مهندسی انسان[۱۹] در دانشگاه برکلی به مدیریت دکتر کازرونی منعقد شد.



شکل ۳. ربات اسکلت خارجی سنسورآرم [۲]

شکل ۴. ربات اسکلت خارجی آرم‌مستر [۵]

شکل ۵. ربات اسکلت خارجی بلیکس [۶]

در ژاپن نیز دربارهٔ ربات‌های اسکلت خارجی تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است. شاخص‌ترین ربات اسکلت خارجی ساخته‌شده در این کشور سوئیت‌هال[۲۰] نام دارد که توسط گروه دکتر سانکای[۲۱]، در دانشگاه تسوکابای[۲۲]، ساخته شده است. هدف از ساخت این ربات، کمک به افراد سالمند و ناتوان در حرکت و حمل اجسام گوناگون می‌باشد [۷].

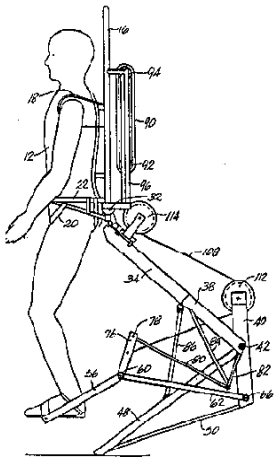
۳. دسته‌بندی ربات‌های اسکلت خارجی

ربات‌های اسکلت خارجی براساس کاربرد و نحوهٔ قرارگیری بر روی بدن به چهار دستهٔ کلی تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه به معرفی و شرح هر یک پرداخته می‌شود.

۳-۱. اسکلت‌های خارجی سری با عضو

اجزای انعطاف‌پذیر بدن همچون لیگامان‌ها[۲۳] و تاندون‌ها به‌عنوان اجزایی که نقش مهمی در بهره‌وری و تعادل حرکت دارند شناخته می‌شوند. انسان‌ها و حیوانات از این بافت‌ها برای کاهش افت‌های ضربه‌ای با ذخیرهٔ مقدار قابل توجهی از انرژی هنگام برخورد با زمین و نیز برای فراهم‌کردن نیروی محرکه طی وضعیت پایانی در راه‌رفتن، دویدن و پریدن استفاده می‌کنند. راهبردهای بیولوژیک الهام‌بخش طراحان سطح مسیرهای دویدن و وسائل قابل پوشیدن مانند کفش‌ها و اسکلت‌های خارجی است. اسکلت‌های الاستیک، که به‌صورت سری با پا قرار می‌گیرند، مقدار انرژی کرنشی بیشتری را نسبت به سطوح دوندگی مرجع ذخیره و آزاد می‌کنند که مقدار آن حدود پنج ژول بر گام برای مسیر دوندگی در مقابل ۸۰ ژول بر گام برای اسکلت خارجی الاستیک است. بدین ترتیب باور بر این است که این‌گونه اسکلت‌ها سرعت و بهره‌وری دویدن انسان را تقویت می‌کنند. ابداعات قابل توجه در این سطح از اسکلت‌ها را می‌توان در پاوراسکیپ[۲۴] (شکل ۶) و اسپرینگ‌واکر[۲۵] (شکل ۷) مشاهده کرد که بیشینهٔ سرعت دویدن یا بهره‌وری دویدن را بهبود می‌بخشند. اما چون طول عضو همراه با دستگاه به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، در نتیجه کار برای جابه‌جایی پا طی فاز هوازی و نیاز انرژی کل برای تبادل حرکت نیز افزایش می‌یابد. بدین ترتیب این دسته از اسکلت‌ها هزینهٔ متابولیک دویدن را افزایش می‌دهند که در واقع بر مزیت افزایش طول عضو غلبه می‌کنند [۱].

شکل ٦. اسکلت خارجی پاوراسکیپ [۱]



شکل ۷. اسکلت خارجی اسپرینگ‌واکر [۱]

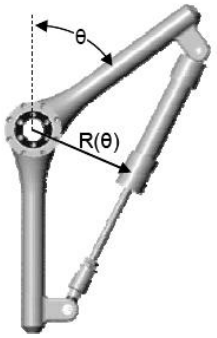
۳-۲. اسکلت‌های خارجی موازی با عضو برای انتقال بار

این دسته از اسکلت‌های خارجی به‌صورت موازی با عضو پایین‌تنهٔ انسان برای انتقال بار به زمین به‌کار می‌روند. از مزیت‌های اصلی این اسکلت‌های خارجی این است که وزن بدن را به‌طور مستقیم به زمین منتقل می‌کنند و در نتیجه بار تحمل‌شده توسط اعضای بیولوژیک را کاهش داده، نیازهای متابولیک برای راه‌رفتن، دویدن و جست‌وخیز کردن را پایین می‌آورند. همچنین این نمونه از اسکلت‌های خارجی به‌دلیل موازی‌بودن با اعضای پایین‌تنه، طول عضو را زیاد نمی‌کنند و در نتیجه نیاز انرژی کل برای حفظ تعادل حرکت را افزایش نمی‌دهند.

گروه بیومکاترونیک مؤسسهٔ فناوری مساچوستس[۲۶] نوعی اسکلت خارجی الاستیک ساخته‌اند که نیازهای متابولیک لازم برای جست‌وخیز مداوم را کاهش می‌دهد. این اسکلت خارجی شامل فنرهای ورقه‌ای از جنس فایبرگلاس[۲۷] است که کل پا را فرا می‌گیرد و قادر است طی هر گام وزن بدن را مستقیماً به زمین منتقل کند.

شکل ۸ اسکلت خارجی مؤسسهٔ فناوری مساچوستس [۱]

پوشیدن این اسکلت خارجی توان متابولیک خالص برای پریدن مداوم را نسبت به پرش عادی تا میانگین ۲۴ درصد کاهش می‌دهد. هنگامی‌که شخص از فنرهای موازی خارجی استفاده می‌کند، این فنرها کار مکانیکی انجام‌شده توسط پاها و نیاز متابولیک بدن نسبت به پریدن بدون پوشش را کاهش می‌دهند. چون بیومکانیک پریدن مشابه دویدن است، می‌توان از آثار بیومکانیکی و متابولیکی بدن در اثر پوشیدن این نوع از اسکلت‌های خارجی طی فعالیت پریدن استفاده کرد و انرژی لازم طی فعالیت دویدن با یک اسکلت خارجی پای موازی بسیار الاستیک را پیش‌بینی نمود. واضح است که برای تقویت کارایی دویدن انسان، اسکلت‌های خارجی سبک و الاستیک، که به‌صورت موازی با پای انسان عمل می‌کنند، بستر تحقیقاتی بسیار مهمی را ایجاد می‌کنند. اسکلت‌های خارجی موازی همچنین تا تقویت توان حمل بار انسان نیز پیش رفته‌اند. این نوع از اسکلت‌ها می‌توانند به افرادی که در حمل بار فعالیت می‌کنند با افزایش ظرفیت حمل بار و کاهش احتمال صدمه‌های وارده به کمر و پا به بهبود صرفهٔ متابولیک حرکت و کاهش سطح سختی کار کمک کنند. از نمونه‌های مشهور در این نوع از اسکلت‌های خارجی می‌توان به ربات بلیکس (شکل ۵)، ساختهٔ دکتر کازرونی، اشاره کرد. از عمده تفاوت‌های این ربات اسکلت خارجی این است که از منظر انرژی خودگردان[۲۸] است و منبع قدرت خود را حمل می‌کند. در واقع، سازنده آن را به‌عنوان نخستین ربات اسکلت خارجی تحمل‌کنندهٔ بار و خودگردان از نظر انرژی معرفی کرده است [۱]. ربات اسکلت خارجی بلیکس سه درجه آزادی در انتهای ران، یک درجه در زانو و سه درجه در قوزک دارد. از این درجات آزادی، چهار درجهٔ کشیدگی - خمیدگی[۲۹] و دور - نزدیک‌شدن انتهای ران، کشیدگی -خمیدگی زانو و کشیدگی - خمیدگی قوزک تحریک می‌شوند. چپ و راست‌شدن مفصل قوزک و چرخش انتهای ران به‌وسیلهٔ بارگذاری فنری است و چرخش قوزک آزاد است و تحریک نمی‌شود [۱ و ۸]. داده‌های سینماتیکی و تحریک ربات اسکلت خارجی با فرض رفتاری مشابه یک انسان ۷۵ کیلوگرمی و به‌کارگیری داده‌های تحلیلی کلینیکی برای راه‌رفتن طراحی شده‌اند [۱، ۸ و ۹]. از جنبه‌های جالب که در طراحی سینماتیک ربات اسکلت خارجی مورد استفاده قرار گرفته است، چرخش مفصل انتهای ران است که بین دو پای اسکلت خارجی تقسیم می‌شود و بنابراین با انتهای ران شخص برخوردی ندارد. به‌طور مشابه چپ و راست‌شدن قوزک نیز با مفصل انسان یکجا نیست و برای سادگی روی سمت جانبی پا قرار گرفته است. پنج درجه آزادی چرخش دیگر اسکلت خارجی روی مفاصل انسان منطبق‌اند [۱ و ۸]. مطابق شکل ۹ اسکلت خارجی با سیلندرهای هیدرولیکی خطی دوطرفه، که روی یک چینش مثلثی با مفصل‌های چرخشی سوار شده‌اند، تحریک می‌شود و یک بازوی گشتاور مؤثر را نتیجه می‌دهد که با زاویهٔ مفصل تغییر می‌کند [۱۰].



شکل ۹. چینش مثلثی سیلندر هیدرولیکی خطی اسکلت خارجی بلیکس [۱۰]

بلیکس به‌طور میانگین ۱۱۴۳ وات توان هیدرولیکی طی راه‌رفتن روی زمین صاف افقی و ۲۰۰ وات توان الکتریکی برای موتور و کنترل آن مصرف می‌کند. در مقابل، یک شخص ۷۵ کیلوگرمی تقریباً ۱۶۵ وات توان متابولیک طی راه‌رفتن روی سطح صاف افقی مصرف می‌کند [۱، ۸ و ۹]. بلیکس با محرک‌های هیدرولیکی خطی طراحی شده است، چون امکان تحریک‌های کوچکتر براساس توان مخصوص بالای آنها (نسبت توان محرک به وزن آن) را دارد [۱ و ۸]. همچنین طی یک تحقیق نشان داده شد که مصرف توان طی راه‌رفتن روی سطح صاف افقی به‌وسیلهٔ موتور الکتریکی نسبت به محرک هیدرولیکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد [۱]. اما وزن به‌کارگیری مفصل با محرک الکتریکی تقریباً دو برابر مفصل با محرک هیدرولیکی است؛ یعنی ۴/۱ کیلوگرم در مقابل ۲/۱ کیلوگرم. سیستم کنترلی بلیکس به‌گونه‌ای طراحی شده است که با توجه به اطلاعات حسگرهای اصلی روی اسکلت خارجی، برهمکنش بین انسان و اسکلت خارجی را کمینه کند. این ربات اسکلت خارجی همچون یک ربات دوپا می‌تواند تعادل خود را حفظ کند، اما شخص باید یک نیروی راهنمای جلوبرنده را برای هدایت سیستم طی راه‌رفتن اعمال کند. سیستم کنترلی اطلاعات ارسالی از هشت اِنـکودر[۳۰] و شانزده شتاب‌سنج[۳۱] خطی برای محاسبهٔ زاویه، سرعت زاویه‌ای و شتاب زاویه‌ای هر هشت مفصل تحریک‌شده استفاده می‌کند [۱ و ۸]. همچنین در این سیستم کنترلی از یک سوئیچ و حسگر توزیع بار در هر پا برای محاسبهٔ تماس زمین و توزیع نیرو بین پاها طی دو مرحله استفاده می‌شود [۱ و ۸]. در این سیستم کنترلی از هشت حسگر نیروی شش‌محوره برای استفاده در کنترل نیروی هر محرک و شیب‌سنج برای محاسبهٔ جهت‌گیری کوله‌پشتی با توجه به گرانش، استفاده می‌شود [۱ و ۸]. برای خودگردان‌بودن ربات اسکلت خارجی از منظر انرژی با انتخاب یک محرک، تلاش زیادی برای ساخت یک منبع تغذیهٔ هیبرید هیدرولیکی - الکتریکی قابل حمل انجام شد [۱۱]. بنابر گزارش‌ها، استفاده‌کنندگانی که بلیکس را پوشیدند می‌توانند یک بار ۷۵ کیلوگرمی را طی راه‌رفتن با سرعت ۰/۹ متر بر ثانیه حمل کنند و یا با سرعت ۱/۳ متر بر ثانیه بدون بار راه بروند. نسل دوم ربات اسکلت خارجی برکلی در حال آزمایش است. این وسیلهٔ جدید، به‌دلیل به‌کارگیری محرک الکتریکی با سیستم انتقال هیدرولیکی، به‌طور تقریبی نصف وزن اسکلت خارجی اصلی و حدود ۱۴ کیلوگرم را داراست [۱۲].

۳-۳. اسکلت‌های خارجی موازی عضو برای تقویت گشتاور و کار

این نوع از ربات‌های اسکلت خارجی به‌موازات اعضای انسان و برای تقویت گشتاور و کار عمل می‌کنند. تاکنون اسکلت‌های خارجی متنوعی ساخته شده‌اند تا گشتاور و کار را تقویت کنند. این نوع از اسکلت‌های خارجی بار اصلی را به زمین منتقل نمی‌کنند، بلکه به آسانی کار و گشتاور مفصل را تقویت می‌نمایند. بنابراین می‌توان از آنها برای کاهش درد مفاصل یا افزایش قدرت مفاصل فلج یا ضعیف استفاده کرد. در دانشگاه تسوکوبای ژاپن، یوشیکی سانکایی و همکارانش طرح یک ربات اسکلت خارجی برای دو هدف تقویت کارایی و توانبخشی ارائه کرده‌اند. ساختار پا در ربات اسکلت خارجی تمام‌بدن هال بدین صورت است که یک موتور جریان مستقیم برای خم و راست‌شدن در مفاصل ران و زانو قرار گرفته است و درجه آزادی خم و راست‌شدن مچ

منفعل شده است. اجزای عضو پایینی توسط یک کفش مخصوص با حسگر نیروی عکس‌العمل سطح، تسمهٔ روی ران و نرمهٔ ساق پا و یک کمربند پهن دور کمر با بدن شخص در تماس است [۱]. این ربات در ساختارهای متفاوتی مثل تمام بدن یا تنها پایین‌تنه ساخته شده است که در شکل ۱۰ مدل تمام‌تنهٔ آن نمایش داده شده است.

شکل ۱۰. ربات اسکلت خارجی هال [۱]

سیستم ربات اسکلت خارجی هال ۵ از تعدادی قیود حسی برای کنترل استفاده می‌کند. الکترودهای پوستی – سطحی ای. ام. جی. [۳۲] که زیر کفل و در بالای زانو روی هر دو طرف جلو و عقب بدن شخص قرار دارد، پتانسیومتر برای اندازه‌گیری زاویهٔ مفصل، حسگرهای نیروی عکس‌العمل زمین، یک ژیروسکوپ[۳۳] و شتاب‌سنج که برای تخمین چگونگی پیچ‌وتاب خوردن روی کوله‌پشتی قرار می‌گیرد. این قیود در دو سیستم کنترلی که یکی بر پایهٔ ای. ام. جی. و دیگری بر پایهٔ الگوی راه‌رفتن هستند با یکدیگر قصد شخص را محاسبه و تقاضای وی را اجرا می‌کنند. براساس گزارش‌ها، دو ماه طول می‌کشد که دستگاه را برای یک شخص خاص به‌صورت بهینه کالیبره نمود [۱ و ۱۲]. هال ۵ هم‌اکنون در حال آماده‌سازی برای تجاری‌شدن است.

اصلاحات از مدل‌های قبلی شامل اعضای بالاتنه، واحدهای توان سبک‌تر و فشرده‌تر، عمر بیشتر باتری حدود ۱۶۰ دقیقه زمان عملکرد دائم و یک پوستهٔ زیباتر در حال انجام است. وزن کل وسیلهٔ تمام‌تنه ۲۱ کیلوگرم است. یک کاربر که ربات هال را می‌پوشد می‌تواند وزنی معادل ۴۰ کیلوگرم بیشتر از حالت عادی بلند کند. علاوه بر این، دستگاه می‌تواند توان گشتاور پای کاربر را از ۱۰۰ به ۱۸۰ کیلوگرم افزایش دهد [۱۱].

۳-۴. اسکلت‌های خارجی موازی عضو که تحمل انسان را افزایش می‌دهند

در بدن انسان هزاران ماهیچه برای حرکت و سفت‌کردن اندام و اعضا نیرو اعمال می‌کنند. طی تمرین کامل، فقط قسمت کمی از این ماهیچه‌ها خسته می‌شوند. برای یک فعالیت غیرهوازی تکرارشونده، یک اسکلت خارجی موازی عضو می‌تواند برای توزیع مجدد بار دوره‌ای روی تعداد بیشتری از ماهیچه‌ها برای به تأخیرانداختن خستگی طراحی شود. البته این نوع اسکلت خارجی تا به‌حال عملی نشده است.

۴. جمع‌بندی

در این مقاله انواع ربات‌های اسکلت خارجی معرفی و دسته‌بندی شدند. کاملاً مشخص است که این دانش بسیار نوپاست و می‌توان قله‌های پیشرفت بسیاری برای آن متصور بود. امروزه با پیشرفت دانش و فناوری این ربات‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، تا جایی‌که براساس نیازهای انسانی نمونه‌های متنوعی از آنها ساخته و به‌کار گرفته شده‌اند. انواع متفاوت ربات‌های اسکلت خارجی در این مقاله بررسی و کاربردهای آنها ذکر شد. باوجود تلاش‌های گسترده برای طراحی و به‌کارگیری اسکلت‌های خارجی و آتل‌های موتوردار، بسیاری از چالش‌های طراحی همچنان باقی مانده است. مثلاً یک اسکلت خارجی پای قابل حمل، هنوز باید برای کاهش قابل ملاحظه در نیازهای متابولیک

راه‌رفتن و دویدن توسعه یابد. بسیاری از دستگاه‌های پیچیده همچون اسکلت خارجی اسپرینگ‌واکر و ربات اسکلت خارجی حمل بار مؤسسهٔ فناوری مساچوستس امریکا مصرف را افزایش می‌دهند. فاکتورهای متعددی وجود دارد که کارایی ربات‌های اسکلت خارجی و آتل‌ها را محدود می‌کنند. وسائل موتوردار امروزی اغلب سنگین‌اند و توان و گشتاور محدودی دارند و تقویت حرکت کاربر را دشوار می‌کنند. از طرفی عواملی چون شکل غیرطبیعی و ایجاد سروصدا سبب کاهش شدید جذابیت دستگاه شده است. محدودیت‌های فناوری محرک نیز سبب ادامهٔ تحقیق و توسعه در مورد محرک‌های ماهیچه‌ای مصنوعی در زمینهٔ وسائل قابل پوشیدن شده است.

۵. مآخذ

[1] Herr H., "Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions", *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2009.

[۲] سعیدپورآذر، رضا. "طراحی و تحلیل مکانیزم برای یک ربات راه‌روندهٔ پوشیدنی"، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۴.

[3] Dick, J., "Human Bipedal Locomotion Device", U.S. Patent, 1991.

[4] Hardiman, http://www.davidszondy.com/future/robot/hardiman.htm (accessed Jan 8, 2014)

[5] Caldwell, G., N.G. Tsagarakis. "SOFT Exoskeleton for Upper and Lower Body Rehabilitation – Design, Control and Testing." *International Journal of Humanoid Robotics*, Vol. 4, No. 3, 2007, pp. 549–573.

[6] Kazerooni, H., "Exoskeletons for Human Performance Augmentation", *Springer Handbook of Robotics*, edited by O.K. Bruno Siciliano, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008.

[7] Sankai Y., "Leading Edge of Cybernics: "Robot Suit HAL", SICE-ICASE International Joint Conference, Bexco, Busan, Korea, 2006.

[8] Zoss, A.B., Kazerooni, H., Chu, A. "Biomechanical design of the Berkeley lower extremity exoskeleton (BLEEX)." *IEEE ASME Trans Mechatron 2006*, 11(2):128-138.

[9] Chu, A., Kazerooni, H., Zozz, A: "On the biomimetic design of the Berkeley lower extremity exoskeleton (BLEEX)." *Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain 2005:4345-4352.

[10] Kazerooni, H., Zoss, A., "Architecture and hydraulics of a lower extremity exoskeleton." *Proc of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Orlando, Florida USA, 2005.

[11] Amundson, K., J. Raade, N. Harding, H. Kazerooni. "Hybrid hydraulicelectric power unit for field and service robots." *Proceedings of the IEEE IRS/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, August 2–6, 2005; Alberta, Canada 2005:3453-3458.

[12] Guizzo, E., H. Goldstein: "The rise of the body bots." *IEEE Spectrum 2005*, 42(10):50-56.

پی‌نوشت

1. exoskeleton

2. wearable robots

۳. شرکت جنرال الکتریک یک شرکت خوشه‌ای امریکایی و چندملیتی است. امروزه این شرکت از بزرگترین فعالان در زمینهٔ تولید تجهیزات الکتریکی محسوب می‌شود.

4. Hardiman

۵. بیگانه‌ها (Aliens) نام فیلمی به کارگردانی جیمز کامرون، محصول سال ۱۹۸۶ م، است. این فیلم نخستین دنباله فیلم موفق بیگانه (ریدلی اسکات) به‌شمار می‌رود. بیگانه‌ها در ژانر خود از برترین فیلم‌ها به‌حساب می‌آید [ویراستار].

6. James Francis Cameron (1954 –)

۷. ماتریکس (The Matrix) فیلمی علمی - تخیلی به نویسندگی و کارگردانی برادران واچوفسکی است که در سال ۱۹۹۹ م اکران شد. این فیلم آمیزه‌ای از اکشن، هنرهای رزمی و یک فیلمنامهٔ چندلایه است. این فیلم برندهٔ چهار جایزهٔ اسکار در بخش‌های فنی بوده است [ویراستار].

8. Sensor arm

9. University of Tokyo, http://www.u-tokyo.ac.jp (accessed Nov 14, 2013)

10. Virtual Reality

11. Arm master

۱۲. سارکوز (Sarcos) از جمله شرکت‌های فعال در عرصهٔ دانش مهندسی رباتیک، سیستم‌های میکرو الکترو مکانیک، تجهیزات پزشکی و انواع برسازه است که در پارک تحقیقاتی دانشگاه یوتا، در ایالت یوتای امریکا، مستقر می‌باشد.

13. University of California, Berkeley, http://www.berkeley.edu (accessed Jan 8, 2014)

۱۴. همایون کازرونی، استاد دانشگاه برکلی، رئیس مؤسسهٔ علمی فرایندهای زیستی امریکا، مخترع مشهور و از برترین مهندسان مکانیک حال حاضر است. وی صاحب اختراعات مشهور و بزرگی چون لباس جدید ارتش امریکا و همچنین نخستین پاهای مصنوعی مکانیکی (حرکتی) در جهان است.

15. BLEEX (Berkly Lower Limb EXoskeleton)

16. The Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)

۱۷. وزارت دفاع ایالات متحدهٔ امریکا یکی از پانزده وزارتخانه‌های دولت ایالات متحده امریکاست. این وزراتخانه مسئول هماهنگی و نظارت بر تمامی نهادهایی است که به‌نحوی در ارتباط مستقیم با امنیت ملی و نیروی نظامی ایالات متحده می‌باشند.

۱۸. آزمایشگاه ملی اوک ریج (Oak Ridge National Laboratory) یک علمی فدرال در ایالت تنسی امریکاست.

19. Berkeley's Human Engineering and Robotics Laboratory, http://bleex.me.berkeley.edu (accessed Jan 8, 2014)

20. HAL (Hybrid Assistive Limb)

21. Yoshiyuki Sankai

22. University of Tsukuba, http://tsukuba.ac.jp (accessed Jan 7, 2014)

۲۳. رباط یا لیگامان گروهی از بافت‌های فیبرمانند هستند که در اطراف مفاصل قرار دارند و معمولاً استخوانی را به استخوان دیگر متصل می‌کنند و توانایی مقاومت در برابر کشش را دارا می‌باشند. رباط‌ها مانند تاندون‌ها از کلاژن ساخته شده‌اند و تفاوت آنها در این است که تاندون عضلات را به استخوان‌ها متصل می‌کند [ویراستار].

24. Power skip

25. Spring walker

26. Massachusetts Institute of Technology (MIT), http://web.mit.edu (accessed Jan 17, 2014)

۲۷. تارشیشه یا فایبرگلاس نوعی مادهٔ مرکب است که در ساخت آن از پشم شیشه به‌عنوان مادهٔ تقویت‌کننده و از مواد پلیمری به‌عنوان ماتریس استفاده می‌شود. گاهی در متون فنی مشاهده می‌شود که این مادهٔ مرکب را با نام‌هایی چون پلاستیک تقویت‌شده با شیشه یا جی. آر. پی. معرفی می‌کنند [ویراستار].

28. autonomous

29. flexion/ abduction

30. encoders

31. accelerometer

۳۲. الکترومیوگرافی یا ماهیچه‌نگاری برقی (Electromyography)، که گاه به اختصار ای. ام. جی. (EMG) نیز خوانده می‌شود، روشی است برای محاسبه و ثبت و ضبط حالت‌های عضلات بدن به‌هنگام انقباض و انبساط [ویراستار].

33. gyroscope