دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش: طراحی کاربردی

مقایسه عملکرد مکانیزم‌های پای مصنوعی با اتصالات لولایی و کامپلینت

اساتید راهنما:

دکتر مرتضی دردل

دکتر محمد حسن قاسمی

استاد مشاور:

دکتر حمید رضا محمدی دانیالی

نگارش:

نرجس قائمی

شهریور ۱۳۹۲

هستی بخش

یگانه صانع

به نام

به نام خدا

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی مکانیک

رساله‌ی کارشناسی ارشد

عنوان: **مقایسه عملکرد مکانیزم‌های پای مصنوعی با اتصالات لولایی و کامپلینت**

نگارش: نرجس قائمی

کمیته ممتحنین:

استاد راهنما : دکترمرتضی دردل	امضا
استاد راهنمای همکار : دکتر محمد حسن قاسمی	امضا
استاد مشاور : دکتر حمید رضا محمدی دانیالی	امضا
استاد ممتحن داخلی : دکتر علیرضا فتحی	امضا
استاد ممتحن داخلی : دکتر پاشایی	امضا

تاریخ: شهریور ۱۳۹۲

حمد و سپاس الهی

سپاس و ستایش نامحدود، خالقی را سزد که به قدرت کامله خداوندیش اوج گرفته و روح پاک لاهوتی را در عرصه عالم ناسوتی با پست‌ترین موجودات قرین و همدوش قرار داده و با شراق انوار فیض نامتناهیش قلوب بنی آدم را منور گردانیده.

و سلام و صلوات بر منبع کمالات ازلی و منشاء پیدایش و ظهور نور وجود احدی و واسطه فیوضات غیر متناهی، صاحب مقام قاب قوسین، حضرت محمّد صلی الله علیه و آله، که بنفوذ کلمات خداوندیش نفوس پژمرده بشر را حیات همیشگی بخشیده، و درود و سلام نامحدود بر سر سلسله اولیا و اوصیا، سرّ سربسته باء بسم الله، مرکز دایره امامت و خلافت، برهان المتقین، امام العارفین، جامع کمالات انسانی، جامع الاضداد، حضرت امیر مؤمنان علی ابن ابیطالب و اولاد پاک و مطهر آن حضرت، که به وصف قرآنی جمیعاً به طیّبین و راسخین در علم متصف شده اند و به نور امامت و ولایت الهی، خلق را از مرکز خاک به عالم پاک رهبری فرمودند.

تقدیر و تشکر

خدای را بسی شاکرم که به سبب لطف و رحمت بیکرانش، پدر و مادری فداکار عطایم نموده تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. آموزگارانی که برایم انسان بودن را در جوار عشق حضرت باری تعالی معنا کردند .

اکنون که با یاری خدا در آستانه‌ی تکمیل این پروژه قرار دارم لازم می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد ارجمند، جناب آقای **دکتر مرتضی دردل**، کمال تشکر را داشته باشم، ایشان که به سبب مساعی و **تلاش‌های خستگی‌ناپذیر**، بی‌وقفه و کم‌نظیرشان همواره الگویی برای اینجانب بوده و در تمامی مراحل پروژه پیوسته با راهنمایی‌ها و مشاوره‌های ارزشمندشان مرا یاری نمودند.

و نیز از زحمات و الطاف بی‌شائبه‌ی استاد راهنمای درس اخلاق و انسانیت، جناب آقای **دکتر حسن ظهور** کمال سپاسگزاری را دارم، چرا که در راستای انجام این پروژه بارها از محضر ایشان مستفیض شده و بیش از آنکه از بعد علمی ایشان محظوظ شوم، از بعد انسانی و اخلاق علمیشان برخوردار شده، و درس **انسانیت** آموختم و از این حیث حقی بر گردن بنده نهادند که امیدوارم بتوانم به فراخور حالم از عهده‌ی این توفیقات الهی که همانا **تواضع و خشوع** در رفتار و سکنات و **خدمت به خلق** است برآیم. امید است ایشان نیز در پرتو انوار رحمت خاصه خداوند تبارک و تعالی به درجات بالاتری از توفیقات الهی نائل آیند.

همچنین از زحمات دیگر اساتیدم، آقایان دکتر محمد حسن قاسمی و دکتر حمید رضا محمدی دانیالی و نیز سرکار خانم دکتر مینا عرب بنی‌اسد و مهندس هاجر قائمی که با راهنمایی‌های صمیمانه‌ی خود مرا در بخش‌های گوناگون این پروژه یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

مسلم می‌دانم که بدون همکاری‌های صمیمانه‌ی این اساتید، امکان استفاده از چنین فرصت پژوهشی برای اینجانب میسر نبود.

در نهایت برای تمامی معلولان این مرزوبوم که این پژوهش در راستای ارائه‌ی خدمتی به آنان انجام شده است، سلامت و بهبودی هرچه سریع‌تر را آرزو می‌نمایم.

نرجس قائمی

شهریور ۹۲

تقدیم به . . .

تقدیم به تو ای مولاو سرورم، تقدیم به توکه عقل از درکِ کمالات، زبان از بیان فضایل و قلم از وصف اوصاف ناتناهی ات، عاجز و قاصر مانده. . . .

تقدیم به تو ای نور چشمانم، چراغدار هدایتم، و زیباترین وصف هستی. . .

آری تقدیم به قطب عالم امکان و یگانه منجی عالم بشریت . . .

حضرت مهدی (عجّل الله تعالی فرجه الشّریف)

روحی له فدا

چکیده

در زندگی بشر همواره حوادثی رخ داده که وقوع برخی از آن‌ها منجر به از دست دادن قسمتی از اعضای بدن انسان، خصوصاً ناحیه پا می‌شود. به منظور احیای توانایی از دست رفته در این گروه از بیماران و معلولان، پاهای مصنوعی از دیرباز مورد استفاده بشر قرار می‌گرفته، که در طول زمان و با پیشرفت علوم مهندسی و پزشکی، این ابزار کمکی کاملتر شده، تا آنجا که هر روز شاهد طرحی جدید و شبیه‌تر به پای واقعی هستیم. از جمله این طرح‌ها می‌توان به مکانیزم‌های چهارمیله‌ای و شش‌میله‌ای اشاره کرد، که معلولان می‌توانند به فراخور حالشان اعم از پیر یا جوان بودن که متناظر با کم‌تحرک یا پرتحرک بودنشان است، از این زانوها بهره‌مند شوند.

با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه طراحی مکانیزم زانوی مصنوعی مناسب و در راستای دستیابی به اهداف مذکور، و با در نظر گرفتن امکانات موجود، در این پروژه سعی بر آن بوده تا با بررسی و تحلیل مکانیزم چهارمیله‌ای و چهار نوع از مکانیزم‌های شش میله‌ای، یک زانوی مصنوعی مناسب طراحی شود. بدین‌ترتیب، ابتدا طراحی سینماتیکی مکانیزم‌های زانوی فعال، با هدف رسیدن به حداکثر شباهت مسیر مچ پای نرمال انجام گرفته، سپس به طراحی دینامیکی مکانیزم‌های فوق با مفاصل صلب و با هدف تمرکز بر حصول حداقل گشتاور موتور پرداخته می‌شود. در ادامه و جهت تقلیل انرژی مصرفی مفاصل انعطاف‌پذیر جایگزین مفاصل صلب در مکانیزم‌ها شده و مجدداً عملکرد دینامیکی زانوها مورد بررسی قرار می‌گیرد. سرانجام با مقایسه عملکرد سینماتیکی و دینامیکی پنج مکانیزم مذکور، مکانیزمی که بهترین عملکرد سینماتیکی و دینامیکی را به طور همزمان ارائه می‌دهد، به عنوان مکانیزم مطلوب انتخاب می‌شود.

همچنین طراحی مکانیزم زانوی پسیو (غیرفعال) که در آن مکانیزم زانو فاقد گشتاور موتور است، و تولید حرکت تنها از طریق نیرو و گشتاور مفصل ران در فرد معلول صورت می‌گیرد، نیز مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. در اینجا نیز مکانیزمی که دارای عملکرد سینماتیکی مناسب، توام با حداقل گشتاور مفصل ران باشد، به عنوان مکانیزم زانوی بهینه تعیین می‌شود.

فهرست موضوعی عناوین

فصل اول : مقدمه و مروری بر پژوهش‌های انجام شده

۱-مقدمه ۲

۱-۱-تبیین اهمیت استفاده از زانوی مصنوعی ۲

۱-۲-مروری بر تعاریف و مفاهیم پایه ای و اساسی در سیکل راه رفتن ۷

۱-۳-مروری مختصر بر اهم پژوهش‌های انجام شده ۱۲

۱-۳-۱- انواع مکانیزم زانوی مصنوعی چهار میله‌ای ۱۲

۱-۳-۲- مکانیزم زانوی مصنوعی شش میله‌ای ۲۲

۱-۴-انعطاف‌پذیری در مکانیزم‌ها ۲۴

۱-۴-۱- مفاصل انعطاف‌پذیر خمشی ۲۷

۱-۴-۲- معیار طراحی مفصل انعطاف‌پذیر خمشی ۲۹

۱-۴-۳- بررسی اجمالی مکانیزم زانو با مفصل انعطاف‌پذیر خمشی در ربات دوپا ۳۱

۱-۵-تبیین اهداف، مسایل و مباحث مورد بررسی در پایان‌نامه ۳۲

فصل دوم : تبیین معادلات سینماتیکی و دینامیکی حاکم بر مسئله

۲-۱- مقدمه ۳۶

۲-۲-تحلیل استاتیکی مکانیزم پای واقعی ۳۷

۲-۳- طراحی زانوی مصنوعی با مفاصل صلب ۳۹

۲-۳-۱- تحلیل سینماتیک زانوی مصنوعی چهارمیله‌ای ۳۹

۲-۳-۲- تحلیل دینامیکی مکانیزم چهارمیله‌ای ۴۳
۲-۳-۳- تحلیل سینماتیکی زانوی مصنوعی شش‌میله‌ای ۴۷
۲-۳-۴- تحلیل دینامیکی مکانیزم زانوی مصنوعی شش‌میله‌ای ۵۳
۲-۴- طراحی زانوی مصنوعی فعال با احتساب مفاصل انعطاف‌پذیر ۶۵
۲-۴-۱- مطالعه‌ی دینامیکی مکانیزم زانوی مصنوعی چهارمیله‌ای با مفصل انعطاف‌پذیر ۶۵
۲-۴-۲-مطالعه‌ی دینامیکی مکانیزم زانوی مصنوعی شش‌میله‌ای با مفصل انعطاف‌پذیر ۶۷
۲-۵- طراحی زانوی مصنوعی پسیو با احتساب مفاصل انعطاف‌پذیر ۷۲

فصل سوم: بحث و بررسی پیرامون نتایج عملکرد سینماتیکی و دینامیکی مکانیزم زانوی مصنوعی

۳-۱- مقدمه ۸۳
۳-۲- شبیه‌سازی مفصل مچ پای واقعی ۸۳
۳-۳- بررسی عملکرد انواع مکانیزم زانوی مصنوعی ۸۵
۳-۳-۱- بررسی عملکرد سینماتیکی انواع مکانیزم زانوی مصنوعی ۸۵
۳-۳-۲- بررسی عملکرد دینامکی مکانیزم زانوی مصنوعی با مفاصل صلب ۹۰
۳-۴- بررسی عملکرد دینامیکی مکانیزم زانوی مصنوعی فعال با احتساب مفاصل انعطاف‌پذیر ۹۶
۳-۵- بررسی عملکرد دینامیکی مکانیزم زانوی مصنوعی پسیو با احتساب مفاصل انعطاف‌پذیر ۱۱۸

فصل چهارم: نتایج و پیشنهادات

۴-۱-مقدمه ۱۳۲
۴-۲- جمع‌بندی ۱۳۲
۴-۳- ابتکارات و نوآوری‌های طرح ۱۳۳

۴-۴- محدودیت‌ها و پیشنهادات ۱۳۴

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱. آناتومی مفصل زانو ۴

شکل ۱-۲.شکل شماتیک تقسیم‌بندی سیکل راه رفتن انسان ۸

شکل ۱-۳.خط بار ۹

شکل ۱-۴.ناحیه کنترل ارادی ۱۰

شکل ۱-۵. مسیر مرکز آنی در مکانیزم زانوی مصنوعی ۱۱

شکل ۱-۶. دو نوع از زانوهای مصنوعی متداول ۱۳

شکل ۱-۷. مکانیزم زانوی پلی‌سنتریک ۱۴

شکل ۱-۸. محل مرکز آنی در مکانیزم چهارمیله‌ای ۱۵

شکل ۱-۹. زانوی چهارمیله‌ای با مرکز آنی مرتفع ۱۶

شکل ۱-۱۰. زانوی چهار میله‌ای فراپایدار ۱۷

شکل ۱-۱۱. مکانیزم زانوی چهارمیله‌ای با کنترل ارادی ۱۸

شکل ۱-۱۲. مکانیزم زانوی هاسمر اسپکتروم ۱۹

شکل ۱-۱۳. مکانیزم زانوی پروتوال ۲۰

شکل ۱-۱۴. مکانیزم زانوی اتوباک ۲۱

شکل ۱-۱۵. ساختار چهار مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای ۲۳

شکل ۱-۱۶. انواع تجاری قطعات انعطاف‌پذیر ۲۶

شکل ۱-۱۷. کاربرد قطعات انعطاف‌پذیر در مکانیزم پای مصنوعی ۲۷
شکل ۱-۱۸.مفاصل انعطاف‌پذیر خمشی ۲۹
شکل ۱-۱۹. منحنی مصرف انرژی در مکانیزم زانوی انعطاف‌پذیر و صلب ۳۱
شکل ۲-۱. نیروهای وارد بر ساختار پای واقعی ۳۸
شکل ۲-۲. ساختار پای مصنوعی با مکانیزم چهارمیله‌ای ۳۹
شکل۲-۳. نیروهای وارد بر مکانیزم چهارمیله‌ای ۴۵
شکل۲-۴. ساختار چهار نوع از مکانیزم‌های شش‌میله‌ای پای مصنوعی ۴۸
شکل ۲-۵ . نیروهای وارد بر مکانیزم شش‌میله‌ای نوع ۱ ..... ۵۷
شکل ۲-۶. نیروهای وارد بر مکانیزم شش‌میله‌ای نوع ۲ ..... ۵۹
شکل ۲-۷. نیروهای وارد بر مکانیزم شش‌میله‌ای نوع ۳ ..... ۶۱
شکل ۲-۸. نیروهای وارد بر مکانیزم شش‌میله‌ای نوع ۴ ..... ۶۳
شکل ۲-۹.مکانیزم چهارمیله‌ای پای مصنوعی با مفاصل انعطاف‌پذیر ۶۶
شکل ۲-۱۰. ساختار مکانیزم شش‌میله‌ای نوع ۱و نوع۲ در پای مصنوعی با مفاصل انعطاف‌پذیر ۶۸
شکل ۲-۱۱. ساختار دو مکانیزم شش‌میله‌ای نوع۳ و نوع۴ در پای مصنوعی با مفاصل انعطاف‌پذیر ۷۰
شکل ۲-۱۲. پای انعطاف‌پذیر با ساختار ساده ۷۲
شکل ۲-۱۳. ساختار مکانیزم پای مصنوعی کاملاً انعطاف‌پذیر ۷۴
شکل ۲-۱۴ نیروهای وارد بر ساختار مکانیزم پای مصنوعی کاملاً انعطاف‌پذیر. ۷۵
شکل ۲-۱۵. مکانیزم پای چهارمیله‌ای ناقص انعطاف‌پذیر ۷۷
شکل ۲-۱۶. دیاگرام آزاد مچ پا در مکانیزم چهار میله‌ای ۷۹

شکل ۲-۱۷. دیاگرام آزاد مچ-ساق پا در مکانیزم چهار میله‌ای ۸۰
شکل ۲-۱۸. دیاگرام آزاد مچ-ساق پا در مکانیزم چهار میله‌ای ۸۱
شکل ۳-۱. زوایای مفصل ران، زانو و مچ پا در سیکل راه رفتن ۸۴
شکل ۳-۲.مسیر مچ پای واقعی در سیکل راه رفتن ۸۴
شکل ۳-۳. مقادیر گشتاورهای ران و زانو در پای واقعی ۸۵
شکل ۳-۴. مسیر مچ پا در مکانیزم زانوی چهارمیله‌ای ۸۶
شکل ۳-۵. مسیر مچ پا در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۱ ..... ۸۷
شکل ۳-۶. مسیر مچ پا در مکانیزم زانوی شش میله‌ای نوع ۲ ..... ۸۷
شکل ۳-۷. مسیر مچ پا در مکانیزم زانوی شش میله‌ای نوع ۳ ..... ۸۸
شکل ۳-۸. مسیر مچ پا در مکانیزم زانوی شش میله‌ای نوع ۴ ..... ۸۸
شکل ۳-۹. گشتاور کنترلی در مکانیزم زانوی چهارمیله‌ای ۹۱
شکل ۳-۱۰. گشتاور کنترلی در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۱ ..... ۹۲
شکل ۳-۱۱ گشتاور کنترلی در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۲ ..... ۹۳
شکل ۳-۱۲. گشتاور کنترلی در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۳ ..... ۹۴
شکل ۳-۱۳ گشتاور کنترلی در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۴ ..... ۹۵
شکل ۳-۱۴ گشتاور کنترلی مفصل A در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۴ ..... ۹۵
شکل ۳-۱۵. اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور کنترلی مفصل D در مکانیزم زانوی چهارمیله‌ای ۹۸
شکل ۳-۱۶. اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور مفصل ران در مکانیزم زانوی چهارمیله‌ای ۹۸
شکل ۳-۱۷. مقدار نیروی وارد به مفصل ران در حالت انعطاف‌پذیر و صلب در مکانیزم چهارمیله‌ای ۹۹

شکل ۳-۱۸. مقادیر نیروی وارد به مفاصل در حالت انعطاف‌پذیر و صلب در مکانیزم چهارمیله‌ای ۱۰۰
شکل ۳-۱۹. اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور مفصل A در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع۱ ..... ۱۰۱
شکل ۳-۲۰. اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور و نیروی مفصل ران در زانوی شش‌میله‌ای نوع۱ ..... ۱۰۲
شکل ۳-۲۱. نیروی وارد به مفاصل در حالت انعطاف‌پذیر و صلب در زانوی شش‌میله‌ای نوع۱ ..... ۱۰۳
شکل ۳-۲۲. نیروی وارد به مفاصل در حالت انعطاف‌پذیر و صلب در زانوی شش‌میله‌ای نوع۱ ..... ۱۰۴
شکل ۳-۲۳. اثر ناشی از انعطاف پذیری بر گشتاور مفصل G در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۱ ..... ۱۰۵
شکل ۳-۲۴. اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور مفصل A در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۲ ..... ۱۰۶
شکل ۳-۲۵. اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور مفصل ران در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۲ ..... ۱۰۷
شکل ۳-۲۶. نیروهای وارد بر مفصل ران در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۲ ..... ۱۰۷
شکل ۳-۲۷. مقادیر نیروی وارد به مفاصل در حالت انعطاف‌پذیر و صلب در مکانیزم شش‌میله‌ای ۲ ..... ۱۰۸
شکل ۳-۲۸. مقادیر نیروی وارد به مفاصل در حالت انعطاف‌پذیر و صلب در زانوی شش‌میله‌ای ۲ ..... ۱۰۹
شکل ۳-۲۹. اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور مفصل A در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۳ ..... ۱۱۰
شکل ۳-۳۰ . اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور مفصل ران در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۳ ..... ۱۱۱
شکل ۳-۳۱. نیروهای وارد بر مفاصل ران در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۳ ..... ۱۱۱
شکل ۳-۳۲. نیروهای وارد بر مفاصل در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۳ ..... ۱۱۲
شکل ۳-۳۳. نیروهای وارد بر مفاصل در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۳ ..... ۱۱۳
شکل ۳-۳۴ . اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور کنترلی مفصل G در مکانیزم شش‌میله‌ای نوع ۴ ..... ۱۱۴
شکل ۳-۳۵. اثر ناشی از انعطاف‌پذیری بر گشتاور مفصل ران در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۴ ..... ۱۱۵
شکل ۳-۳۶. نیروهای وارد بر مفصل ران در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۴ ..... ۱۱۵

شکل ۳-۳۷. نیروهای وارد بر مفاصل در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۴ ..... ۱۱۶
شکل ۳-۳۸ . نیروهای وارد بر مفاصل در مکانیزم زانوی شش‌میله‌ای نوع ۴ ..... ۱۱۷
شکل ۳-۳۹. مسیر مچ پا با ساختار ساده ۱۱۹
شکل ۳-۴۰. مسیر مچ پا در مکانیزم چهارمیله‌ای ناقص انعطاف‌پذیر و کامل انعطاف‌پذیر ۱۱۹
شکل ۳-۴۱. گشتاور مفصل ران در مکانیزم پای ساده با دو مفصل انعطاف‌پذیر ۱۲۰
شکل ۳-۴۲ . مقدار گشتاور مفصل ران در مکانیزم چهارمیله‌ای ناقص و کامل انعطاف‌پذیر ۱۲۱
شکل ۳-۴۳. مقدار نیروی وارد بر مفصل ران در مکانیزم پای انعطاف‌پذیر با ساختار ساده ۱۲۱
شکل ۳-۴۴. مقدار نیروی ران در مکانیزم چهارمیله‌ای ناقص و کامل انعطاف‌پذیر ۱۲۲
شکل ۳-۴۵. مسیر مچ پای انعطاف‌پذیر پسیو با ساختار ساده ۱۲۳
شکل ۳-۴۶. تغییرات زاویه‌ای مچ پا برای مقادیر متفاوت سفتی مچ پا ۱۲۴
شکل ۳-۴۷. تغییرات زاویه‌ای ساق پا برای مقادیر متفاوت K_{C23} ۱۲۵
شکل ۳-۴۸. تغییرات زاویه‌ای لینک ۲ برای مقادیر متفاوت K_{C12} ۱۲۶
شکل ۳-۴۹. مسیر مچ پای انعطاف‌پذیر پسیو با ساختار چهارمیله‌ای ۱۲۷
شکل ۳-۵۰. مسیر مچ پای انعطاف‌پذیر پسیو با ساختار چهارمیله‌ای ناقص ۱۲۸

فهرست جداول

جدول ۲-۱ . پارامترهای معلوم و مجهول در مکانیزم پا ۳۷

جدول ۲-۲. پارامترهای سینماتیکی در مکانیزم‌چهارمیله‌ای ۴۰

جدول ۲-۳ .پارامترهای سینماتیکی در مکانیزم‌های شش‌میله‌ای ۵۰

جدول ۳-۱. پارامترهای سینماتیکی معین در انواع مکانیزم‌های زانو ۸۹

جدول ۳-۲. مقدار خطای اندازه گیری شده در ردیابی مسیر مورد انتظار مچ پا در انواع مکانیزم زانو..... ۹۰

جدول ۳-۳. قدرمطلق حداکثر گشتاور مصرفی در مکانیزم‌های زانو ۹۶

جدول ۳-۴. مقادیر و نتایج حاصل از انعطاف‌پذیر کردن انواع مکانیزم زانو..... ۱۱۸

جدول ۳-۵. مقادیر ثابت فنر در چهار حالت مختلف در پای انعطاف‌پذیر با ساختار ساده ۱۲۳

جدول ۳-۶. مقادیر ثابت فنر در چهار حالت مختلف در پای انعطاف‌پذیر با ساختار چهارمیله‌ای ۱۲۷

جدول ۳-۷. مقادیر ثابت فنر در چهار حالت مختلف در پای انعطاف‌پذیر با ساختار چهارمیله‌ای ناقص..... ۱۲۹

جدول ۳-۸ . مقادیر ثابت فنر در انواع مکانیزم زانوی انعطاف‌پذیر پسیو (غیر فعال) ۱۲۹

فصل اول

مقدمه و مروری بر پژوهش های انجام شده

۱-مقدمه

۱-۱-تبیین اهمیت استفاده از زانوی مصنوعی

بدون شک از دست دادن اعضای بدن به خصوص قطع عضو شدن از ناحیه پا، از دیرباز یکی از مشکلات انسان در طول تاریخ زندگی بشر بوده است. بنابراین طراحی درست و بهینه مکانیزم پای مصنوعی و بالاخص، پروتز زانوی مصنوعی پایدارتر، شکیلتر و کم مصرف‌تر از نقطه نظر گشتاور اعمالی به سیستم، برای این دسته از معلولان می‌تواند بسیار مفید واقع شود. برای حصول هرچه بهتر این هدف، مکانیزمهای مختلفی مورد تجزیه و تحلیل دانشمندان قرار گرفته‌اند، که منتج به ساخت زانوهای مصنوعی با قابلیت‌های کاربردی متنوعی شده است، که معلولان می‌توانند به فراخور حالشان اعم از نوع شغل، پیر یا جوان بودن که متناظر با کم تحرک یا پرتحرک بودنشان است، از این زانوها بهره‌مند شوند.

- **مرور اجمالی بر آناتومی اندام تحتانی**

در این بخش ضمن مروری مختصر بر آناتومی اندام تحتانی و تبیین وظایف این قسمت از اعضای بدن در ایجاد حرکتی متعادل و متناسب، به اهمیت استفاده از زانوی مصنوعی مناسب در اشخاص معلول پرداخته می‌شود.

نقش اصلی اندام تحتانی، تحمل کردن وزن بدن و فراهم نمودن یک ستون استوار در هنگام ایستادن، راه رفتن و دویدن می‌باشد؛ اندام تحتانی برای حرکت، به صورت تخصصی طراحی شده است.

ساختمان اندام تحتانی

اندام تحتانی به نواحی متفاوتی تقسیم می‌شوند که عبارتند از ناحیه‌ی سرینی، ران، زانو، ساق، مچ پا و پا.

۱. استخوان ران

استخوان ران در بالا با استابولوم مفصل می‌شود و مفصل هیپ را می‌سازد و در پایین با تیبیا و کشکک مفصل می‌شود و مفصل زانو را تشکیل می‌دهد.

۲. استخوان‌های ساق

- کشکک : بزرگترین استخوان سزاموئید بدن است که در داخل تاندون عضله‌ی چهارسر ران در جلوی مفصل زانو قرار دارد.
- تیبیا: یک استخوان بزرگ و تحمل کننده وزن بدن است که در سمت داخل ساق قرار دارد.

آناتومی مفصل زانو

مفصل زانو بزرگترین مفصل و پیچیده‌ترین مفصل بدن است که بین استخوان‌های فمور و تیبیا قرار دارد و استخوان کشکک بر روی آن حرکت می‌کند و در طول سیکل راه رفتن باعث جابجایی خط اثر نیروها و پیشروی بدن می‌گردد همچنین حرکات فلکسیون و اکستانسیون نیز در مفصل زانو میسر می‌باشد.

فلکسیون به واسطه‌ی تماس پشت ساق با ران محدود می‌شود.

اکستانسیون به واسطه کشیدگی تمام رباط‌های اصلی مفصل محدود می‌شود.

بررسی حرکت مفصل زانو

مفصل زانو دارای خصوصیات ویژه‌ای است که سبب تمایز آن از دیگر مفاصل می‌گردد. این مفصل در عین تحرک بسیار زیاد، ثبات بسیار مناسبی را در صفحات مختلف حرکتی نشان می‌دهد. ضمناً با توجه به اینکه مفصل زانو به عنوان حد واسطه در اندام تحتانی عمل می‌کند محل وارد شدن اکثر نیروهایی است که از بخش‌های مختلف بدن به پایین اعمال می‌گردد (شکل ۱- ۱).

دامنه نرمال حرکت خم و صاف شدن از حدود ۵-۱۰ درجه شروع شده و نهایتاً به حدود ۱۴۰-۱۵۰ درجه ختم می‌گردد.

شکل ۱-۱. آناتومی مفصل زانو

بدلیل عدم تطابق سطوح مفصلی، مفصل زانو در تمام وضعیت‌ها و دامنه‌های حرکتی قابلیت انجام چرخش‌های بصورت عرضی و حول محور عمودی را دارا می‌باشد.

در تعاریف اولیه مفصل زانو، این مفصل را از نوع مفاصل لولایی معرفی می‌کردند. خصوصیات مفاصل لولایی این است که مرکز حرکتی آنها ثابت بوده و حرکات آرتروکینماتیک اتفاق افتاده ما بین سطوح مفصلی، فقط لغزش خالص سطوح مفصلی باشد.

اما از آنجا که هر دو حرکت چرخشی و لغزشی همزمان با هم و البته با میزان متفاوت در دامنه‌های مختلف حرکتی در مفصل زانو انجام می‌گیرد بنابراین حرکت زانو ترکیبی از این دو حرکت است.

نسبت حرکات لغزشی به حرکات چرخشی در زانو ½ و در درجات انتهایی ¼ است. اما آنچه مشخص است در تمامی دامنه‌های حرکتی میزان حرکت لغزشی ما بین دو سطح مفصلی بیشتر از میزان حرکت چرخشی می‌باشد.

ایستادن بدون تحرک : وزن بدن از طریق پاشنه در عقب و سر استخوان‌های متاتارس در جلو توزیع می‌شود.

راه رفتن : هنگامی که وزن بدن به جلو کشیده می‌شود، متوالیاً بر روی لبه خارجی پا و سر استخوان‌های متاتارس تحمل می‌شود. هنگامی که پاشنه از زمین بلند می‌شود، انگشتان در مفاصل متاتارسوفالانژیال در وضعیت اکستانسیون قرار می‌گیرند و آپونوروزپلانتار کشیده می‌شود؛ در نتیجه فاصله دو انتهای قوس کوتاه می‌شود و ارتفاع قوسهای طولی افزایش می‌یابد. بدین‌ترتیب تاندون‌های فلکسور دراز بلند می‌شود، سپس بدن توسط دو عامل به جلو پرتاب می‌شود، عمل عضلات سولئوس و پلانتاریس بر روی مفصل مچ پا که از پا به عنوان یک اهرم استفاده می‌کنند، و انگشتان توسط فلکسورهای دراز و کوتاه پا به وضعیت فلکسیون می‌روند. عضلات بین استخوانی منقبض می‌شوند و انگشتان را در وضعیت اکستانسیون قرار می‌دهند تا در نهایت قدرت زیاد فلکسور دراز انگشتان، به پایین خم نشوند.در این عمل تاندون‌های فلکسور دراز به پلانتار فلکسیون مفصل مچ پا هم کمک می‌کنند.

دویدن : در هنگام دویدن، وزن به بخش قدامی پا منتقل می‌شود و پاشنه با زمین در تماس نیست وزن بدن بر اساس توضیحات فوق‌الذکر به جلو منتقل می‌شود[۱, ۲].

بنابراین با توجه به اهمیت اندام تحتانی در حفظ سلامت انسان و خصوصاً نقش مؤثر و بی‌بدیل مفصل زانو در ایجاد حرکت و راه رفتن مناسب، موزون و متعادل، به کار بردن زانوی مصنوعی مناسب، به منظور احیای سلامت و عملکرد حرکتی از دست رفته در افرادی که به دلایل مختلف، از ناحیه ی پا دچار قطع عضو شده اند، اجتناب‌ناپذیر است.