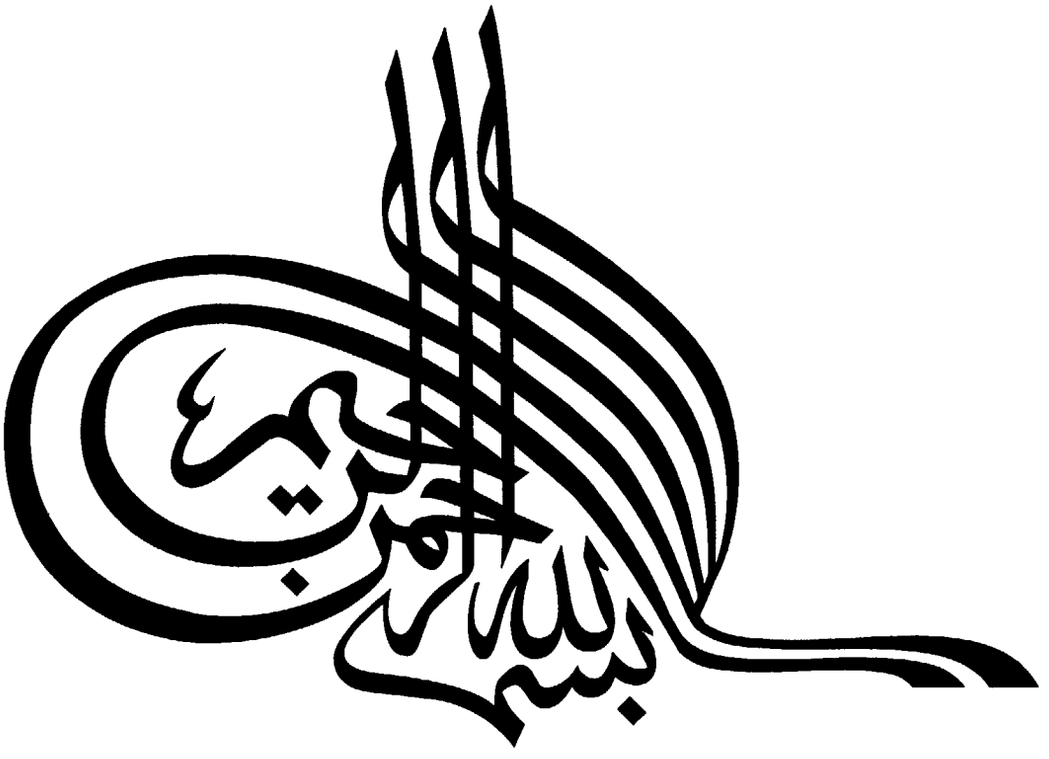

٣٠٧٢٠

۱۳۷۸/۱۷/ ۵

بنام خدا

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

مرکز اطلاعات علمی ایران
دانشگاه علم و صنعت

مشابه‌سازی معادلات حرکت ربات‌های الاستیک به روش اجزاءِ محدود

(بوسیله مدل ERLS و با استفاده از انتگرال‌گیری پی‌درپی)

محمدتقی کرمی

6906

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد

مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

استاد راهنما : دکتر محرم حبیب‌نژادکورایم

اردیبهشت ماه ۱۳۷۸

۳۰۷۲۰

این رساله را به

همسر خوب و مهربانم

تقدیم می‌کنم.

چکیـــــــده:

دراین رساله ابتدا با ذکر مقدمه‌ای در خصوص ربات‌های الاستیک ، مدل سیستم بازوهای صلب معادل یا Equivalent Rigid Link System (ERLS) برای بررسی سینماتیک و دینامیک رباتهای صلب ارائه می‌گردد. بر اساس این مدل حرکت کلی سیستم به دو نوع حرکت بزرگ و کوچک تقسیم می شود، حرکات بزرگ بیانگر حرکت ربات با فرض صلب بودن بازوهای آن است و حرکات کوچک بیانگر حرکات ناشی از تغییر فرم نسبی بازوها در اثر انعطاف‌پذیری است که این نوع حرکات ماهیتاً ارتعاشی هستند. سپس مطابق مدل ارائه شده سینماتیک مستقیم رباتهای الاستیک براساس تبدیل‌های همگن و مفهوم بردار جابجایی که بوسیله روش اجزاءمحدود تعریف می شود، بیان می‌گردد و درنهایت با بهره‌گیری از روش لاگرانژ و تحلیل برنولی- اویلر تیرها و با استفاده از روش اجزاءمحدود معادلات دینامیکی ربات الاستیک به صورت دو معادله کوپله که در آن معادله حرکات بزرگ غیرخطی و معادله حرکات کوچک خطی می باشد، بدست می آید. در طی بیان مدلسازی فوق تحلیل بردار جابجائی بازوها بر اساس روش اجزاءمحدود با ذکر ماتریس‌های شکل مربوطه در حالات گوناگون مفاصل و همچنین روابط مورد نیاز ارائه می‌گردد. در ادامه، حل معادلات دینامیکی کوپله ربات‌های الاستیک در قالب دو نوع روش کلی الف) روش صریح (Explicit) ب) روش ضمنی (Implicit) بیان گردیده و مزایا ومعایب هر کدام از آنها بررسی می‌گردد ، سپس بر اساس ترکیب این دو نوع روش و بهره‌گیری از محاسن هر دو آنها روش انتگرال‌گیری پی‌درپی یا Sequential Integration Method (SIM) جهت حل معادلات دینامیکی حرکت ربات الاستیک براساس مدل سیستم بازوهای صلب معادل (ERLS) ارائه می‌گردد. همانگونه که گفته شد، معادلات دینامیکی ربات الاستیک شامل دو معادله کوپله است که یکی غیرخطی و بیان‌کننده حرکات بزرگ ناشی از صلبیت بازوهای ربات و دیگری خطی و بیان‌کننده حرکات کوچک ارتعاشی ناشی از تغییر فرمهای نسبی بازوها می‌باشد. با توجه به اینکه برای حل معادلات غیرخطی روش صریح و برای حل معادلات خطی روش ضمنی مناسب می‌باشد ، در روش انتگرال‌گیری پی‌درپی به عنوان یک روش ترکیبی در هر فاصله زمانی از معادله خطی حرکات کوچک به صورت ضمنی انتگرال‌گیری شده و براساس نتایج آن معادله غیرخطی حرکات بزرگ به صورت صریح انتگرال‌گیری می‌شود. پایداری و همگرائی جواب معادلات در روش انتگرال‌گیری پی‌درپی تضمین شده است.

پس از بررسی روش انتگرال‌گیری پی در پی بـا ارائـه دو مثـال کـارآیی ایـن روش در خصـوص سیسـتم‌های دارای حرکات وابسته، مشابه ربات‌های الاســتیک، تحقیـق می‌گـردد. در ادامـه رسـاله بـا اسـتفاده از برنامـه کـامپیوتری Mathematica نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی حرکـت ربات‌هـای الاسـتیک بـه روش انتگرال‌گـیری پـی در پـی شبیه‌سازی می‌گردد. توسط این برنامه ابتدا ضرایب معــادلات دینـامیکی ، شـامل ماتریس‌هـای اینرسـی و اینرسـی تلفیقی حرکات بزرگ و کوچک و ماتریس‌های میرائی و سختی حرکات کوچک محاسبه می‌شوند، سپس بردارهــای نیروی اعمالی در حرکات بزرگ و کوچک بدست می‌آید. در نهایت با اعمال الگوریتم روش انتگرال‌گیری پی در پــی معادلات دینامیکی حل گردیده و نتایج به صـورت نمودارهـایی بـرای تغیـیر مکـان و مشـتقات آن (در هـر دو نـوع حرکت) و همچنین مختصات حرکت پنجه، نسبت به زمان ارائه می‌گردد. در خاتمه با اعمال برنامـه کـامپیوتری بـر روی چند نمونه ربات الاستیک نمودارهای نظیر آنها ارائه شده است.

با سپاس از الطاف بیکران خداوندگار جهان

بدینوسیله تقدیر و قدردانی خود را از استاد ارجمند و دانشمندم

جناب آقای دکتر محرم حبیب‌نژاد کورایم

که با راهنمائی‌های خود اینجانب را در تهیه این رساله یاری نموده‌اند ،

اعلام می‌دارم.

ضمنا از سایر اساتید محترم و دوستان عزیزی که با کمکهای خود و همچنین

حضور در جلسه دفاعیه ، بنده را سرافراز کردند نیز تشکر می‌کنم.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول: مقدمه‌ای بر ربات با بازوهای الاستیک ۱

۱-۱) مقدمه ۲

۱-۲) تعریف ربات الاستیک ۳

۱-۳) بررسی و یادآوری تحقیقات انجام شده در خصوص ربات‌های الاستیک ۴

۱-۴) روش سیستم بازوهای صلب معادل جهت تحلیل ربات‌های الاستیک ۱۳

۱-۵) معادلات لاگرانژ و روش تحلیل دینامیکی ۱۵

۱-۶) ارائه روش کلی شبیه سازی و هدف رساله ۱۸

فصل دوم: استفاده از روش اجزاء محدود در یافتن معادلات حرکت ربات‌های الاستیک ... ۱۹

۲-۱) مقدمه ۲۰

۲-۲) فرضیات ۲۱

۲-۳) المان‌بندی بازوها ۲۲

۲-۴) تحلیل جابجایی در ربات با بازوهای الاستیک ۲۴

۲-۵) سازگاری در مفاصل ۲۸

۲-۶) ارائه توابع شکل ربات با بازوهای الاستیک ۳۰

عنوان | صفحه

فصل سوم: مدل‌سازی سینماتیک و دینامیک ربات با بازوهای الاستیک به روش سیستم بازوهای صلب معادل ۳۵

۳-۱) مقدمه ۳۶

۳-۲) بررسی روابط حرکت ربات‌های صلب ۳۸

۳-۲-۱) سینماتیک مستقیم ربات صلب ۳۸

۳-۲-۲) روابط بازگشتی ۴۲

۳-۲-۳) سینماتیک معکوس ربات صلب ۴۳

۳-۲-۴) دینامیک ربات صلب ۴۸

۳-۳) سینماتیک مستقیم ربات‌های الاستیک به روش سیستم بازوهای صلب معادل ۴۹

۳-۴) سینماتیک معکوس ربات‌های الاستیک به روش سیستم بازوهای صلب معادل ... ۵۰

۳-۵) دینامیک ربات با بازوهای الاستیک به روش سیستم بازوهای صلب معادل ۵۴

۳-۵-۱) انرژی جنبشی ۵۵

۳-۵-۲) انرژی پتانسیل ۵۸

۳-۵-۲-۱) انرژی پتانسیل تغییر فرم نسبی ۵۸

۳-۵-۲-۲) انرژی پتانسیل ثقلی ۶۳

۳-۵-۳) نیروهای اعمالی بر سیستم بازوهای صلب معادل ۶۴

۳-۵-۳-۱) گشتاورهای پیچشی اعمالی به مفاصل ناشی از گرداننده‌ها ۶۴

عنوان | صفحه

۲-۳-۵-۳) نیروهای اعمالی بر پنجه ربات الاستیک ۶۶

۳-۳-۵-۳) نیروهای استهلاکی ۶۷

۴-۵-۳) معادلات دینامیکی سیستم بازوهای صلب معادل ۶۹

فصل چهارم: طریقه حل معادلات حرکت ربات با بازوهای الاستیک به روش انتگرال‌گیری پی‌درپی ۷۲

۱-۴) مقدمه ۷۳

۲-۴) روش انتگرال‌گیری صریح (Explicit Integration) ۷۴

۳-۴) روش انتگرال‌گیری ضمنی (Implicit Integration) ۷۶

۴-۴) روش انتگرال‌گیری پی‌درپی (Sequentail Integration Method) ۷۷

۱-۴-۴) اصول روش ۷۸

۲-۴-۴) جوابهای وابسته ۸۲

۳-۴-۴) بهینه نمودن معادلات حرکت سیستم ۸۴

۵-۴) ارائه مثال ۸۶

۱-۵-۴) مثال ۱ ..... ۸۶

۲-۵-۴) مثال ۲ ..... ۹۴

عنوان | صفحه

فصل پنجم: مشابه‌سازی حرکت ربات با بازوهای الاستیک به روش سیستم بازوهای‌صلب

معادل به‌کمک اجزاء محدود و با استفاده از روش انتگرال‌گیری پی‌درپی ۱۰۰

۱-۵) مقدمه ۱۰۱

۲-۵) ارائه روش شبیه‌سازی حرکت ربات‌های الاستیک ۱۰۳

۳-۵) شبیه‌سازی حرکت ربات تک بازو دارای تغییر فرم نسبی خمشی ۱۰۵

۴-۵) شبیه‌سازی حرکت ربات تک بازو دارای تغییر فرم نسبی کششی،خمشی وپیچشی .. ۱۱۱

۵-۵) شبیه‌سازی حرکت ربات با سه بازو دارای تغییر فرم نسبی خمشی..... ۱۱۵

فصل ششم: نتیجه گیری ۱۲۳

۱-۶) نتایج رساله ۱۲۴

۲-۶) پیشنهادات ۱۲۶

منابع و مراجع ۱۲۷

ضمائم ۱۳۳

ضمیمه ۱ ..... ۱۳۴

ضمیمه ۲ ..... ۱۳۸

ضمیمه ۳ ..... ۱۴۳

ضمیمه ۴ ..... ۱۵۲

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) : مدل شماتیک سیستم بازوهای صلب معادل	۱۳
شکل (۱-۲) : بردارهای تغییر فرم نسبی مفاصل برای دو مفصل یک بازوی ربات	۲۲
شکل (۲-۲) : اثر تغییر فرم‌های نسبی وارده به انتهای بازوی ربات و نمودار برداری آن	۲۴
شکل (۳-۲) : موقعیت تغییر مکان‌های گرهی نسبت به مختصات موضعی ربات	۳۰
شکل (۱-۴) : پیدایش جوابهای وابسته در حرکت دو جرم و یک فنر	۸۲
شکل (۲-۴) : فلوچارت روش انتگرال‌گیری پی در پی	۸۵
شکل (۳-۴) : حرکت کوپل شده یک پاندول صلب و یک جرم فنر	۸۶
شکل (۴-۴) : نمودار تغییر مکان انتهای پاندول صلب	۸۹
شکل (۵-۴) : نمودار سرعت انتهای پاندول صلب	۸۹
شکل (۶-۴) : نمودار شتاب انتهای پاندول صلب	۸۹
شکل (۷-۴) : نمودار تغییر مکان حرکات بزرگ	۹۰
شکل (۸-۴) : نمودار سرعت حرکات بزرگ	۹۰
شکل (۹-۴) : نمودار شتاب حرکات بزرگ	۹۰
شکل (۱۰-۴) : نمودار تغییر مکان حرکات کوچک	۹۱
شکل (۱۱-۴) : نمودار سرعت حرکات کوچک	۹۱
شکل (۱۲-۴) : نمودار شتاب حرکات کوچک	۹۱
شکل (۱۳-۴) : نمودار تغییر مکان حرکات بزرگ در حالت میرایی	۹۲

عنوان	صفحه
شکل (۱۴-۴) : نمودار سرعت حرکات بزرگ در حالت میرایی	۹۲
شکل (۱۵-۴) : نمودار شتاب حرکات بزرگ در حالت میرایی	۹۲
شکل (۱۶-۴) : نمودار تغییر مکان حرکات کوچک در حالت میرایی	۹۳
شکل (۱۷-۴) : نمودار سرعت حرکات کوچک در حالت میرایی	۹۳
شکل (۱۸-۴) : نمودار شتاب حرکات کوچک در حالت میرایی	۹۳
شکل (۱۹-۴) : حرکت وابسته دو جرم و یک فنر	۹۴
شکل (۲۰-۴) : نمودار تغییر مکان جسم صلب (در حالتی که جرم کوچک حرکتی ندارد)	۹۷
شکل (۲۱-۴) : نمودار سرعت جسم صلب (در حالتی که جرم کوچک حرکتی ندارد)	۹۷
شکل (۲۲-۴) : نمودار شتاب جسم صلب (در حالتی که جرم کوچک حرکتی ندارد)	۹۷
شکل (۲۳-۴) : نمودار تغییر مکان حرکات بزرگ	۹۸
شکل (۲۴-۴) : نمودار سرعت حرکات بزرگ	۹۸
شکل (۲۵-۴) : نمودار شتاب حرکات بزرگ	۹۸
شکل (۲۶-۴) : نمودار تغییر مکان حرکات کوچک	۹۹
شکل (۲۷-۴) : نمودار سرعت حرکات کوچک	۹۹
شکل (۲۸-۴) : نمودار شتاب حرکات کوچک	۹۹
شکل (۱-۵) : ربات تک بازو	۱۰۵
شکل (۲-۵) : نمودار تغییر مکان حرکات بزرگ برای بازوی صلب	۱۰۷
شکل (۳-۵) : نمودار سرعت حرکات بزرگ برای بازوی صلب	۱۰۷

عنوان	صفحه
شکل (۴-۵) : نمودار شتاب حرکات بزرگ برای بازوی صلب	۱۰۷
شکل (۵-۵) : نمودار تغییر مکان حرکات بزرگ برای بازو با اثر تغییر فرم خمشی	۱۰۸
شکل (۶-۵) : نمودار سرعت حرکات بزرگ برای بازو با اثر تغییر فرم خمشی	۱۰۸
شکل (۷-۵) : نمودار شتاب حرکات بزرگ برای بازو با اثر تغییر فرم خمشی	۱۰۸
شکل (۸-۵) : نمودار تغییر مکان حرکات کوچک برای بازو با اثر تغییر فرم خمشی	۱۰۹
شکل (۹-۵) : نمودار سرعت حرکات کوچک برای بازو با اثر تغییر فرم خمشی	۱۰۹
شکل (۱۰-۵) : نمودار شتاب حرکات کوچک برای بازو با اثر تغییر فرم خمشی	۱۰۹
شکل (۱۱-۵) : نمودار خیز ناشی از تغییر فرم خمشی انتهای ربات تک بازو	۱۱۰
شکل (۱۲-۵) : نمودار مختصات x انتهای بازو برای ربات تک بازو با اثر تغییر فرم خمشی	۱۱۰
شکل (۱۳-۵) : نمودار مختصات y انتهای بازو برای ربات تک بازو با اثر تغییر فرم خمشی	۱۱۰
شکل (۱۴-۵) : نمودار زاویه گردش مفصل در بازو دارای سه اثر تغییر فرم نسبی	۱۱۲
شکل (۱۵-۵) : نمودار سرعت گردش مفصل در بازو دارای سه اثر تغییر فرم نسبی	۱۱۲
شکل (۱۶-۵) : نمودار تغییر فرم کششی انتهای بازوی ربات الاستیک با سه اثر تغییر فرم نسبی	۱۱۳
شکل (۱۷-۵) : نمودار تغییر فرم خمشی انتهای بازوی ربات الاستیک با سه اثر تغییر فرم نسبی	۱۱۳
شکل (۱۸-۵) : نمودار تغییر فرم پیچشی انتهای بازوی ربات الاستیک با سه اثر تغییر فرم نسبی	۱۱۳
شکل (۱۹-۵) : نمودار مختصات x پنجه ربات تک بازو الاستیک با سه اثر تغییر فرم نسبی	۱۱۴
شکل (۲۰-۵) : نمودار مختصات y پنجه ربات تک بازو الاستیک با سه اثر تغییر فرم نسبی	۱۱۴
شکل (۲۱-۵) : ربات با ۳ بازو	۱۱۵

عنوان	صفحه
شکل (۲۲-۵) : نمودار زاویه گردش مفصل اول از ربات سه لینکی حالت صلب	۱۱۷
شکل (۲۳-۵) : نمودار زاویه گردش مفصل دوم از ربات سه لینکی حالت صلب	۱۱۷
شکل (۲۴-۵) : نمودار زاویه گردش مفصل سوم از ربات سه لینکی حالت صلب	۱۱۷
شکل (۲۵-۵) : نمودار سرعت گردش مفصل اول از ربات سه لینکی حالت صلب	۱۱۸
شکل (۲۶-۵) : نمودار سرعت گردش مفصل دوم از ربات سه لینکی حالت صلب	۱۱۸
شکل (۲۷-۵) : نمودار سرعت گردش مفصل سوم از ربات سه لینکی حالت صلب	۱۱۸
شکل (۲۸-۵) : نمودار زاویه گردش مفصل اول از ربات سه لینکی حالت الاستیک	۱۱۹
شکل (۲۹-۵) : نمودار زاویه گردش مفصل دوم از ربات سه لینکی حالت الاستیک	۱۱۹
شکل (۳۰-۵) : نمودار زاویه گردش مفصل سوم از ربات سه لینکی حالت الاستیک	۱۱۹
شکل (۳۱-۵) : نمودار سرعت گردش مفصل اول از ربات سه لینکی حالت الاستیک	۱۲۰
شکل (۳۲-۵) : نمودار سرعت گردش مفصل دوم از ربات سه لینکی حالت الاستیک	۱۲۰
شکل (۳۳-۵) : نمودار سرعت گردش مفصل سوم از ربات سه لینکی حالت الاستیک	۱۲۰
شکل (۳۴-۵) : نمودار خیز انتهای بازوی اول از ربات سه لینکی الاستیک	۱۲۱
شکل (۳۵-۵) : نمودار خیز انتهای بازوی دوم از ربات سه لینکی الاستیک	۱۲۱
شکل (۳۶-۵) : نمودار خیز انتهای بازوی سوم از ربات سه لینکی الاستیک	۱۲۱
شکل (۳۷-۵) : نمودار مختصات x پنجه ربات سه لینکی الاستیک	۱۲۲
شکل (۳۸-۵) : نمودار مختصات y پنجه ربات سه لینکی الاستیک	۱۲۲

فصل اول

مقدمه‌ای بر ربات با بازوهای الاستیک