

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۳۸۱ / ۴ / ۲۰



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

رئیس هیأت مدیره دانشکده مکانیک

رئیس هیأت مدیره دانشکده مکانیک

تحلیل دینامیکی رباتهای الاستیک با مفاصل کشوئی و شبیه سازی آنها

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ، گرایش طراحی کاربردی

جواد جهانپور

استاد راهنما

دکتر مصطفی غیور

۱۳۸۱

۴۱۲۵۰




دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته طراحی کاربردی آقای جواد جهانپور

تحت عنوان

تحلیل دینامیکی رباتهای الاستیک با مفاصل کشونی و شبه سازی آنها


در تاریخ ۱۳۷۹/۱۱/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

 دکتر مصطفی غیور


۱-استاد راهنمای پایان نامه

 دکتر عباس فتاح


۲-استاد مشاور پایان نامه

 دکتر حسن نخوی

۳-استاد مشاور پایان نامه

 دکتر سید حسن موسوی

۴-استاد داور

 دکتر حسن خادمی زاده

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی
دانشکده مکانیک
دانشگاه صنعتی اصفهان

تشکر و قدردانی

خدایا تو را شکر می گویم که...

صمیمانه ترین تشکرات و سپاس درونی خود را به پدر و مادر گرامی و عزیزم که با الطاف بی دریغ آنها این دوره را نیز به پایان رساندم، تقدیم می نمایم و از استاد گرانقدر و دلسوز جناب آقای دکتر مصطفی غیور، که در کلیه مراحل پروژه از موهبت راهنمایی ایشان بهره گرفتم کمال تشکر و قدردانی را دارم. از جناب آقای دکتر مصطفی غیور به خاطر حسن توجه و عنایت در بازخوانی پروژه و تذکرات مفید ایشان بی نهایت سپاسگزارم و نیز از جناب آقای دکتر عباس فتاح و جناب آقای دکتر حسن نحوی که زحمت مشاوره و اظهار نظر این پروژه را متقبل شدند، کمال تشکر را دارم. از جناب آقای دکتر سید حسن موسوی نیز به خاطر حضورشان در جلسه دفاعیه قدردانی می نمایم. همچنین از اساتید دانشکده، آقایان: دکتر سبحانی، دکتر همای، دکتر کشمیری، دکتر محمد جعفر صدیق و سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر حسن خادمی زاده در دوره کارشناسی ارشد و آقایان: دکتر مه پیکر، دکتر یوسف ثانی، دکتر قاضی خانی، دکتر رضایی پزند، دکتر نیازمند، دکتر معاونیان، مهندس جامی الاحمدی و مهندس فرشیدیان فر و... در دوره کارشناسی، که افتخار شاگردی در محضرشان را داشتم تشکر می نمایم. همچنین از همسر مهربان و صبورم، خانم مهندس مریم حکاک نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستان خوبم و مهندسین عزیز، حبیب احمدی، مهدی صالحی، مسعود رمضانی، سعید اسد اللهی، شهرام هادیان، سواک طهماسیان، نادر دادخواه منش، محمد قاسم خرمی و مسئول محترم سایت کارشناسی ارشد جناب آقای کیوان همدانی که به نوعی در ارائه بهتر پروژه مرا یاری کردند تشکر می نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات و
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

دانشگاه صنعتی اصفهان
موسسه تحقیقات و فناوری
اصفهان

مریم،

برای یادآوری لحظه به لحظه این سالها هیچ بیانی زیباتر از:

"مافا از مشرب قسمت کله بی انصافیست

طبع چون آب و علیم دو جهان ما را بس"

نیست!

تقدیم به تو

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
شش	فهرست مطالب
هشت	فهرست اشکال وجداول
۱	چکیده
	فصل اول : مقدمه
۵	۱-۱- مروری بر کارهای قبلی
۹	۲-۱- مروری بر کار حاضر
	فصل دوم : سینما تیک بازوی رباتها
۱۲	۱-۲- مدل سازی
۱۳	۱-۱-۲- سینماتیک بازوهای الاستیک
۱۵	۲-۲- توابع مود وخواص آن
۲۰	۳-۲- مدل مودهای فرضی
۲۲	۴-۲- مقادیر اولیه ضرایب توابع مود
	فصل سوم : دینامیک عضو الاستیک با مفصل کشویی وحرکت انتقالی
۲۴	۱-۳- معادلات حرکت
۳۰	۲-۳- خروج عضو از راهنما
۳۱	۱-۲-۳- بررسی تأثیر افزایش تعداد مودهای ارتعاشی
۳۱	۲-۲-۳- بررسی تأثیر اضافه کردن جرم متمرکز در انتهای عضو کشویی
۳۲	۳-۲-۳- بررسی تأثیر تغییر شرایط اولیه
۴۲	۳-۳- ورود عضو به راهنما
	فصل چهارم : دینامیک عضو الاستیک با مفصل کشویی وحرکت انتقالی همراه باچرخش راهنما
۴۶	۱-۴- معادلات حرکت
۵۴	۲-۴- شبیه سازی معادلات حرکت
۵۷	۳-۴- دینامیک معکوس
۶۹	۴-۴- دینامیک یک ربات دو درجه آزادی با داشتن یک عضو الاستیک ومفصل کشویی
۷۱	۱-۴-۴- سینماتیک
۷۱	۲-۴-۴- معادلات حرکت وشبه سازی معادلات حرکت
	فصل پنجم : دینامیک یک ربات سه درجه آزادی با داشتن یک عضو الاستیک ومفصل کشویی
۷۷	۱-۵- سینماتیک

۷۹	۲-۵- معادلات حرکت
۸۰	۱-۲-۵- انرژی جنبشی
۸۲	۲-۲-۵- انرژی پتانسیل
۸۳	۳-۲-۵- فرم بسته معادلات حرکت
۸۴	۳-۵- شبیه سازی معادلات حرکت
۸۵	۴-۵- محاسبه گشتاورها و نیروها
	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۱	۱-۶- نتیجه گیری
۹۳	۲-۶- ارائه پیشنهادات
۹۴	پیوستها
۱۰۳	مراجع
	چکیده انگلیسی

۳	شکل (۱-۱) : یک سیستم چند عضوی الاستیک
۳	شکل (۲-۱) : مدلی از یک سیستم چند عضوی بااعضاء الاستیک
۱۳	شکل (۱-۲) : سیستم های مختصات برای عضو الاستیک زام
۱۴	شکل (۲-۲) : عضو الاستیک زام
۱۸	شکل (۳-۲) : تیر با شرایط مرزی "گیردار - جرم انتها"
۲۳	شکل (۱-۳) : یک تیر الاستیک بامفصل کشویی و شرایط مرزی
۳۰	شکل (۲-۳) : نمودار نیرو در حالت خروج عضو از راهنما
۳۳	شکل (۳-۳) : نمودار تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۳	شکل (۴-۳) : نمودار تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 3$
۳۴	شکل (۵-۳) : نمودار نرخ تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۴	شکل (۶-۳) : نمودار نرخ تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 3$
۳۵	شکل (۷-۳) : نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۵	شکل (۸-۳) : نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 3$
۳۶	شکل (۹-۳) : نمودار تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۶	شکل (۱۰-۳) : نمودار تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 2 (kg), \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۶	شکل (۱۱-۳) : نمودار تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 4 (kg), \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۷	شکل (۱۲-۳) : نمودار نرخ تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۷	شکل (۱۳-۳) : نمودار نرخ تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 2 (kg), \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۷	شکل (۱۴-۳) : نمودار نرخ تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 4 (kg), \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۸	شکل (۱۵-۳) : نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۸	شکل (۱۶-۳) : نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $M_e = 2 (kg), \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۸	شکل (۱۷-۳) : نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $M_e = 4 (kg), \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۳۹	شکل (۱۸-۳) : نمودار تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 0, N = 2$
۳۹	شکل (۱۹-۳) : نمودار تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$
۴۰	شکل (۲۰-۳) : نمودار نرخ تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 0, N = 2$
۴۰	شکل (۲۱-۳) : نمودار نرخ تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 (mm), N = 2$

- شکل (۳-۲۲): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 0, N = 2$ ۴۱
- شکل (۳-۲۳): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $M_e = 0, \bar{\delta} = 5 \text{ (mm)}, N = 2$ ۴۱
- شکل (۳-۲۴): نمودار نیرو در حالت ورود عضو به راهنما ۴۲
- شکل (۳-۲۵): نمودار تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 2 \text{ (kg)}, \bar{\delta} = 14.142 \text{ (mm)}, N = 2$ ۴۴
- شکل (۳-۲۶): نمودار نرخ تغییر طول عضو الاستیک برای $M_e = 2 \text{ (kg)}, \bar{\delta} = 14.142 \text{ (mm)}, N = 2$ ۴۴
- شکل (۳-۲۷): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $M_e = 2 \text{ (kg)}, \bar{\delta} = 14.142 \text{ (mm)}, N = 2$ ۴۴
- شکل (۴-۱): یک عضو الاستیک در حرکت انتقالی همراه با چرخش راهنما ۴۵
- شکل (۴-۲): دیاگرام آزاد یک المان از عضو الاستیک ۴۶
- شکل (۴-۳): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $L = 52.5 - 11.45t \text{ (cm)}$ ، ورود عضو به راهنما ۵۹
- شکل (۴-۴): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $L = 42.55 + 4.1t \text{ (cm)}$ ، خروج عضو از راهنما ۵۹
- شکل (۴-۵): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $L = 52.1 - 3t - 5.4 \frac{t^2}{2} \text{ (cm)}$ ، ورود عضو به راهنما ۶۰
- شکل (۴-۶): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $L = 44 + 0.8t + 1.5 \frac{t^2}{2} \text{ (cm)}$ ، خروج عضو از راهنما ۶۰
- شکل (۴-۷): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $L = 51 - 7.2t \text{ (cm)}, \omega = 2.6 \text{ (rad/s)}$ ، ورود عضو به راهنما ۶۱
- شکل (۴-۸): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای $L = 40 + 3.5t \text{ (cm)}, \omega = 2.6 \text{ (rad/s)}$ ، خروج عضو از راهنما ۶۱
- شکل (۴-۹): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای حالت اول از جدول (۴-۱)، خروج عضو از راهنما با حرکت کند ۶۲
- شکل (۴-۱۰): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای حالت دوم از جدول (۴-۱)، خروج عضو از راهنما و چرخش راهنما با حرکت کند ۶۲
- شکل (۴-۱۱): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای حالت سوم از جدول (۴-۱)، ورود عضو به راهنما با حرکت کند ۶۲
- شکل (۴-۱۲): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای حالت چهارم از جدول (۴-۱)، ورود عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت کند ۶۲
- شکل (۴-۱۳): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای حالت پنجم از جدول (۴-۱)، خروج عضو از راهنما با حرکت تند ۶۴
- شکل (۴-۱۴): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای حالت ششم از جدول (۴-۱)، خروج عضو از راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند ۶۴

- شکل (۱۵-۴): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای حالت هفتم از جدول (۱-۴). ورود عضو به راهنما با حرکت تند
۶۵
- شکل (۱۶-۴): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک برای حالت هشتم از جدول (۱-۴)، ورود عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند
۶۵
- شکل (۱۷-۴): نمودار نیروی محوری در حالت صلب T_f برای حالت اول از جدول (۱-۴)، خروج عضو از راهنما با حرکت کند
۶۶
- شکل (۱۸-۴): نمودار نیروی محوری در حالت الاستیک F_1 برای حالت اول از جدول (۱-۴)، خروج عضو از راهنما با حرکت کند
۶۶
- شکل (۱۹-۴): نمودار نیروی محوری در حالت صلب T_f برای حالت هشتم از جدول (۱-۴)، ورود عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند
۶۷
- شکل (۲۰-۴): نمودار نیروی محوری در حالت الاستیک F_1 برای حالت هشتم از جدول (۱-۴)، ورود عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند
۶۷
- شکل (۲۱-۴): نمودار گشتاور در حالت الاستیک T_R برای حالت هشتم از جدول (۱-۴)، ورود عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند
۶۸
- شکل (۲۲-۴): ریبات شبه استانفورد
۶۹
- شکل (۲۳-۴): نمای شماتیک از ریبات دودرجه آزادی انعطاف پذیر RP
۶۹
- شکل (۲۴-۴): شکل اولیه ریبات در حالت اول از جدول (۲-۴)
۷۲
- شکل (۲۵-۴): شکل اولیه ریبات در حالت دوم از جدول (۲-۴)
۷۲
- شکل (۲۶-۴): نمودار تغییر مکان پنجه در حالت صلب در راستای محور X برای حالت اول از جدول (۲-۴)، خروج عضو از راهنما با حرکت کند
۷۳
- شکل (۲۷-۴): نمودار تغییر مکان پنجه در حالت الاستیک در راستای محور X برای حالت اول از جدول (۲-۴)، خروج عضو از راهنما با حرکت کند
۷۳
- شکل (۲۸-۴): نمودار تغییر مکان پنجه در حالت صلب در راستای محور Y برای حالت اول از جدول (۲-۴)، خروج عضو از راهنما با حرکت کند
۷۴
- شکل (۲۹-۴): نمودار تغییر مکان پنجه در حالت الاستیک در راستای محور Y برای حالت اول از جدول (۲-۴)، خروج عضو از راهنما با حرکت کند
۷۴
- شکل (۳۰-۴): نمودار تغییر مکان پنجه در حالت صلب در راستای محور X برای حالت دوم از جدول (۲-۴)، ورود عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند
۷۵
- شکل (۳۱-۴): نمودار تغییر مکان پنجه در حالت الاستیک در راستای محور X برای حالت دوم از جدول (۲-۴)، ورود عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند
۷۵

- شکل (۴-۳۲): نمودار تغییر مکان پنجه درحالت صلب در راستای محور Y برای حالت دوم از جدول (۴-۲)، ورود
 ۷۶ عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند
- شکل (۴-۳۳): نمودار تغییر مکان پنجه درحالت الاستیک در راستای محور Y برای حالت دوم از جدول (۴-۲)،
 ۷۶ ورود عضو به راهنما و چرخش راهنما با حرکت تند
- شکل (۵-۱): نمای شماتیک از ربات سه درجه آزادی انعطاف پذیر RRP
 ۷۷
- شکل (۵-۲): نمودار تغییر مکان پنجه درحالت صلب در راستای محور X
 ۸۶
- شکل (۵-۳): نمودار تغییر مکان پنجه درحالت الاستیک در راستای محور X
 ۸۶
- شکل (۵-۴): نمودار تغییر مکان پنجه درحالت صلب در راستای محور Y
 ۸۷
- شکل (۵-۵): نمودار تغییر مکان پنجه درحالت الاستیک در راستای محور Y
 ۸۷
- شکل (۵-۶): نمودار تغییر مکان پنجه درحالت صلب در راستای محور Z
 ۸۸
- شکل (۵-۷): نمودار تغییر مکان پنجه درحالت الاستیک در راستای محور Z
 ۸۸
- شکل (۵-۸): نمودار تغییر مکان انتهای عضو الاستیک در جهت محور X
 ۸۹
- شکل (۵-۹): نمودار گشتاور τ_1
 ۸۹
- شکل (۵-۱۰): نمودار گشتاور τ_2
 ۹۰
- شکل (۵-۱۱): نمودار نیرو F
 ۹۰
- جدول (۳-۱): حالات مختلف بررسی تأثیر افزایش تعداد موده‌های ارتعاشی
 ۳۱
- جدول (۳-۲): حالات مختلف بررسی تأثیر اضافه کردن جرم متمرکز در انتهای عضو کشویی
 ۳۱
- جدول (۳-۳): حالات مختلف بررسی تأثیر تغییر شرایط اولیه ارتعاش
 ۳۲
- جدول (۴-۱): ضرایب معادلات (۴-۴) و (۴-۶) برای حرکتهای مختلف عضو کشویی
 ۵۶
- جدول (۴-۲): ضرایب معادلات (۴-۴) و (۴-۵) برای حرکتهای مختلف عضو کشویی
 ۷۱
- جدول (۵-۱): پارامترهای D-H (Denavit-Hartenberg) برای ربات سه درجه آزادی
 ۷۸

چکیده

در سالهای اخیر بررسی و تحلیل دقیق دینامیک زنجیره های باز ، ذهن بسیاری از محققین رباتیک رابه خود مشغول داشته است ، که پیامد آن تحلیل دقیق دینامیک رباتهایی بوده است که دارای اعضاء الاستیک می باشند . تحقیقات بسیاری در زمینه رباتهای انعطاف پذیر که دارای مفاصل چرخشی می باشند انجام گرفته است و تحقیقات در زمینه رباتهای انعطاف پذیر با مفاصل کشویی محدود می باشد . به لحاظ اهمیت کاربرد حرکتی انتقالی و حرکتی انتقالی همراه با چرخش ، در بازوی رباتها ، در این تحقیق سعی شده است به طور خاص به تحلیل دینامیک رباتهای انعطاف پذیر با مفاصل کشویی پرداخته شود . ابتدا با استفاده از روش تحلیلی (لاگرانژ) و مدل مودهای فرضی با در نظر گرفتن دو مود ارتعاشی ، معادلات حرکت یک عضو الاستیک با مفصل کشویی استخراج و با ورودیهای مختلف شبیه سازی می شود . همچنین تأثیرات افزایش تعداد مودهای بکار گرفته شده در مدل مودهای فرضی ، اضافه کردن جرم متمرکز در انتهای عضو کشویی و تغییر شرایط اولیه ارتعاش عضو الاستیک ، در نتایج بدست آمده مورد بحث و تحلیل قرار می گیرد . در ادامه پروژه با استفاده از روش نیوتون - اویلر و مدل مودهای فرضی با در نظر گرفتن دو مود ارتعاشی ، معادلات حرکت یک عضو الاستیک با مفصل کشویی ، که عضو دارای حرکت انتقالی همراه با چرخش راهنما می باشد ، استخراج و با ورودیهای مختلف شبیه سازی می شود و سپس با استفاده از همین روش (نیوتون - اویلر) معادلات حرکت یک ربات دو درجه آزادی صفحه ای با داشتن یک عضو الاستیک با مفصل کشویی استخراج و با ورودیهای مختلف شبیه سازی می شود . در بخش دیگر از تحقیق ، با استفاده از روش تحلیلی (لاگرانژ) معادلات حرکت یک ربات سه درجه آزادی با داشتن یک عضو الاستیک با مفصل کشویی ، با در نظر گرفتن یک مود ارتعاشی در مدل مودهای فرضی ، استخراج و با استفاده از نتایج شبیه سازی معادلات ، موقعیت پنجه در هر لحظه مورد بررسی قرار می گیرد . نتایج برای ربات دو درجه آزادی سه درجه آزادی با حالتی که اعضاء ربات صلب در نظر گرفته شوند نیز مورد مقایسه قرار می گیرند و همچنین برای هر دو ربات ، گشتاورها و نیروهای مورد نیاز برای حرکت های داده شده محاسبه می شوند .

فصل اول

مقدمه

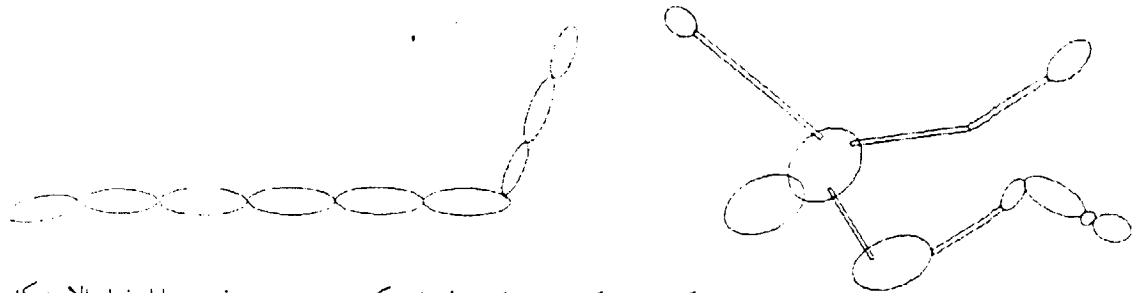
یکی از دشوارترین مسایل در علم مکانیک جدید، مطالعه حرکت‌های دینامیکی غیر خطی در سیستم‌های الاستیک بریژه سیستم‌های الاستیک تحت حرکت‌های سریع می‌باشد. برغم مطالعات بسیار و بیشمار در این زمینه و تلاش‌های وسیع، هنوز مسائل حل نشده بسیاری وجود دارد. روش‌های مختلفی برای تحلیل حرکات یک سیستم چند عضو بااعضاء الاستیک^۱ ارائه شده است. یک سیستم چند عضوی، شامل اعضایی است که بصورت صلب و یا الاستیک^۲ می‌باشد که ممکن است از لحاظ فیزیکی مرتبط و یا جدا از هم باشند و یا ممکن است حلقه‌های بسته و یا بازی بوجود آورند. در شکل (۱-۱) و شکل (۲-۱) حالت‌هایی از یک سیستم چند عضوی بااعضاء الاستیک آورده شده است. در کلیه این حالات تحلیل در خصوص انعطاف پذیری^۳ مشکل می‌باشد. در حقیقت حالتها و وضعیت‌های بسیاری برای مطالعه و تحقیق حرکات در سیستم‌های انعطاف پذیر نسبت به کل سیستم‌های دیگر وجود دارد. تاثیرات انعطاف پذیری در سیستم‌های چندعضوی در صورتیکه طویل و حجیم باشد مهم است.

^۱ A flexible multibody system

^۲ flexible

^۳ flexibility

نگاهی تاریخی به سیر تحقیقی در مورد زنجیره ها^۱ اعم از باز بسته و تحلیل دینامیکی آنها ما را با مشکلات و همچنین نحوه برخورد با مسایل انعطاف پذیری آشنا تر می سازد. در چهل سال اخیر توجه بسیاری به دینامیک سیستمهای چند عضوی در زمینه های مختلف اعم از طراحی، رباتیک، هوا فضا و... شده است.



شکل (۱-۱): یک سیستم چند عضوی الاستیک شکل (۲-۱): مدلی از یک سیستم چند عضوی با اعضاء الاستیک

در مورد سیستم های چند عضوی شامل اعضاء صلب کارهای متعددی انتشار یافته است و تکنیکهای کامپیوتری پیشرفته ای برای حل معادلات حرکت ارائه شده است، حتی انتخاب بهترین صورت معادلات دینامیکی در روشهای کامپیوتری، موضوعی تخصصی بشمار آمده و تحقیقات متنوعی در این مورد نیز انجام شده است [۱].

با در نظر گرفتن پارامترهایی از قبیل طولی بودن اعضاء^۲ و سرعتهای بالا^۳ و همچنین سبکی اعضاء^۴ معادلات سیستم در حالت صلب آنچنانکه انتظار می رود واقعی نیستند و نیاز به در نظر گرفتن انعطاف پذیری اعضاء و لحاظ کردن آن در معادلات حرکت می باشد. انعطاف پذیری درجه آزادی سیستم را افزایش می دهد و حجم معادلات بالاتر می رود. در بررسی موضوع انعطاف پذیری باید به دو قسمت مهم توجه نمود

- ۱- انعطاف پذیری مفصل^۵ ۲- انعطاف پذیری عضو^۶

انعطاف پذیری در حالت اول در موارد زیر مورد مطالعه قرار گرفته می شود:

^۱ chains

^۲ Long links

^۳ High speed

^۴ Light material

^۵ Joint flexibility

^۶ Link flexibility