دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی مکانیک

مدل‌سازی دینامیکی و کنترل ربات اسکلت خارجی پایین تنه

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش کاربردی

پژوهش و نگارش:

زهرا حسینی باب‌اناری

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر امیر لطف آور

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر علیرضا ستوده

آبان ماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

مدل‌سازی دینامیکی و کنترل ربات اسکلت خارجی پایین تنه

پایان نامه

ارائه‌شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

نگارش:

زهرا حسینی باب اناری

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه طراحی جامدات دانشکده مکانیک و هوافضا دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: .....

دکتر امیر لطف‌آور استادیار مهندسی مکانیک (استاد راهنما) .....

دکتر علیرضا ستوده دانشیار مهندسی مکانیک (استاد مشاور) .....

دکتر محمد اقتصاد استاد مهندسی مکانیک (استاد داور) .....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه: مهندس نصرت الله علی قنبری

حق چاپ محفوظ و مخصوص دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب **زهرا حسینی باباناری** دانشجوی رشته **مهندسی مکانیک** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** به شماره دانشجویی **۹۰۱۴۴۰۰۶** تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه/رساله، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

زهرا حسینی باباناری

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تـابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

امیر لطف‌آور

تاریخ

امضا:

این پایان نامه را

به پدر و مادر عزیزم

تقدیم می‌نمایم

برای تمام تلاش‌ها و از خود گذشتگی‌هایی

که همیشه مدیونشان هستم

با یاری خدای متعال و

با تشکر فراوان از اساتید عزیز:

جناب آقای دکتر امیر لطف آور

و

جناب آقای دکتر علیرضا ستوده

چکیده

مدل‌سازی دینامیکی و کنترل ربات اسکلت خارجی پایین تنه

نگارش:

زهرا حسینی باباناری

امروزه دسته‌ی جدیدی از ربات‌ها به‌نام ربات‌های اسکلت خارجی که بر بدن انسان پوشانده می‌شوند توجه محققان را به خود جلب نموده است. البته ایده‌ی رباتی که بتوان آن‌را پوشید و باعث افزایش قدرت انسان شود و توانایی بلند کردن و جابجایی قطعات سنگین را به انسان بدهد از دیرباز ذهن انسان را به خود جلب کرده بود. این نمونه از ربات‌ها برای کل بدن یا قسمتی از آن قابل طراحی و ساخت است که در این پایان نامه جهت کمک به معلولین و جانبازان عزیز روی مدل‌سازی، دینامیک و کنترل نوع پایین تنه آن پرداخته شده است.

از آنجا که تنها چند کشور محدود مانند آمریکا و ژاپن به این دانش دست پیدا نموده‌اند و به نتایج سودمندی در زمینه‌های نظامی و کمک به معلولان رسیده‌اند، بر آن شدیم که پای در این عرصه گذاشته و این دانش نوپا در کشور عزیزمان نیز به‌کار گرفته شود. با این وجود راه زیاد و مشکلات فراوانی در این زمینه وجود دارد که نمی‌توان در این پژوهش به همه‌ی جوانب امر پرداخت. امید است که پایه‌ای بر کارهای آینده باشد.

در این پایان‌نامه مدل‌سازی دینامیکی اساس کار قرار گرفته و با به‌دست آوردن معادلات دینامیکی حرکت، پایه کارهای بعدی و به‌دست آوردن پایداری و کنترل سیستم فراهم گردیده‌است. در مقالات موجود به صورت کامل و واضح به این منظور پرداخته نشده‌است و تنها نمونه‌های ساده بررسی شده‌اند که جهت شبیه‌سازی مناسب نیستند. بنابراین معادلات

دینامیکی سیستم را بر اساس روش لاگرانژ و در نظر گرفتن نه درجه آزادی برای مدل هفت عضوی به‌دست آورده و سپس به شبیه‌سازی معادلات و بررسی صحت آن‌ها در جعبه ابزار سیمولینک پرداخته شده است. جهت شبیه‌سازی احتیاج به داده‌های راه رفتن انسان سالم است. این داده‌ها به صورت معمول توسط آزمایش در آزمایشگاه‌های توان‌بخشی به‌دست می‌آیند ولی بنا بر محدودیت‌های موجود این نیاز به کمک داده‌های جمع‌آوری شده توسط وینتر که بسیار معتبر است، رفع گردیده است.

پس از صحت سنجی معادلات حاصل به کنترل ربات پرداخته می‌شود. برای این منظور کنترل تطبیقی مناسب تشخیص داده‌شد تا عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای سیستم را برطرف گرداند و سیستم با همان زوایای مناسب طراحی به حرکت خود ادامه دهد. در این راستا با کنترل دینامیک معکوس وفقی و کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی به کنترل ربات پرداخته شده و نتایج خوبی حاصل گردیده است.

در نهایت پس از بررسی کنترل به پایداری حرکت ربات پرداخته شده است. از آنجا که حرکت ربات پویا است، دو روش نقطه‌ی ممان صفر و نقطه‌ی نشانگر چرخشی پا وجود دارد. برای اولین‌بار با استفاده از روش نشانگر چرخش پا که روش کاملتری نسبت به روش دیگر است مسأله‌ی پایداری حرکت بررسی گردیده است. این روش در صورت ناپایداری مقدار آن‌را نیز مشخص می‌کند.

واژه‌های کلیدی:

ربات اسکلت خارجی، مدل ۹ درجه آزادی، روش لاگرانژ، کنترل وفقی، نقطه‌ی نشانگر چرخش پا

فهرست مطالب

صفحه

فصل۱مقدمه و تاریخچه ۱

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۱-۱. ربات‌های دو پا ۲

۱-۱-۲. ربات‌های انسان‌نما ۳

۱-۱-۳. ربات‌های اسکلت خارجی ۵

۱-۲. اهمیت و مزایای دیگر ربات‌های پادار ۶

۱-۳. تاریخچه ۷

۱-۳-۱. تحقیقات علمی ربات‌های اسکلت خارجی ۹

۱-۴. دسته بندی ربات‌های اسکلت خارجی ۱۲

۱-۴-۱. ربات‌های اسکلت خارجی سری با عضو ۱۲

۱-۴-۲. ربات‌های اسکلت خارجی موازی با عضو برای انتقال بار ۱۳

۱-۴-۳. ربات‌های اسکلت خارجی موازی عضو برای تقویت گشتاور و کار ۱۶

۱-۴-۴. ربات‌های اسکلت خارجی موازی عضو برای افزایش تحمل انسان ۱۸

۱-۵. اهداف پژوهش ۱۸

فصل۲سینماتیک ۲۱

۲-۱. مقدمه ۲۲

۲-۲. اصطلاحات علمی راه‌رفتن ۲۲

۲-۳. مدل ربات ۲۶

۲-۴. فرضیات جهت شبیه‌سازی ۲۹

۲-۵. پارامترهای سیستم ۳۰

۲-۶. تحلیل سینماتیک زاویه‌ای و نیروی کف پا ۳۱

۲-۷. داده‌های سینماتیکی پژوهش ۳۱

۲-۷-۱. نمودار زوایا ۳۳

۲-۷-۲. نمودار سرعت زاویه‌ای ۳۵

۲-۷-۳. نمودار شتاب زاویه‌ای ۳۷

۲-۸. مختصات مرکز جرم، سرعت و شتاب خطی عضوها ۳۹
فصل۳دینامیک ۴۱
۳-۱. مقدمه ۴۲
۳-۲. معادلات دینامیک ۴۲
۳-۳. معادلات دینامیکی با روش جداسازی فازهای مختلف راه‌رفتن ۴۵
۳-۴. معادلات دینامیکی با استفاده از روش لاگرانژ و در نظر گرفتن حرکت انتقالی ۴۸
۳-۵. شبیه‌سازی در سیمولینک ۵۰
۳-۵-۱. صحت‌سنجی و شبیه‌سازی دینامیک معکوس ۵۱
۳-۶. بررسی دینامیک کلی ۵۳
فصل۴کنترل ۵۴
۴-۱. مقدمه ۵۵
۴-۲. تئوری‌های کنترل ربات ۵۵
۴-۲-۱. تنظیم‌کردن ۵۶
۴-۲-۲. کنترل پیروی مسیر ۵۶
۴-۳. کنترل مقاوم ۶۰
۴-۴. کنترل تطبیقی ۶۰
۴-۴-۱. کنترل دینامیک معکوس وفقی ۶۱
۴-۴-۲. کنترل بر اساس غیرفعالیت وفقی ۶۲
۴-۴-۳. کنترل مقاوم وفقی ۶۲
۴-۵. استفاده از کنترل دینامیک معکوس ۶۵
۴-۵-۱. بررسی پایداری کنترل دینامیک معکوس ۶۶
۴-۵-۲. شبیه‌سازی کنترل دینامیک معکوس ۶۶
۴-۶. استفاده از کنترل دینامیک معکوس تطبیقی ۷۰
۴-۶-۱. بررسی پایداری کنترل دینامیک معکوس وفقی ۷۱
۴-۶-۲. شبیه‌سازی کنترل دینامیک معکوس وفقی ۷۲
۴-۷. استفاده از کنترلر بر اساس غیر فعالیت وفقی ۹۱
۴-۷-۱. بررسی پایداری کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی ۹۱
۴-۷-۲. شبیه‌سازی کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی ۹۲

۴-۸. عدم قطعیت متفاوت ۱۰۷
۴-۸-۱. نمودار مسیرها و خطای آنها برای عدم قطعیت متفاوت در کنترل دینامیک معکوس وفقی ۱۰۸
۴-۸-۲. نمودار مسیرها و خطای آنها برای عدم قطعیت متفاوت در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی ۱۱۱
۴-۹. جمع‌بندی و مقایسه دو کنترلر وفقی ۱۱۵
فصل۵پایداری ۱۱۷
۵-۱. مقدمه ۱۱۸
۵-۲. نقطه‌ی اف آر آی یک ربات دوپا ۱۲۰
۵-۳. خواص نقطه‌ی اف آر آی ۱۲۴
۵-۴. شبیه‌سازی تعادل در سیمولینک ۱۲۵
فصل۶جمع بندی و پیشنهادات ۱۲۷
۶-۱. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۲۸
۶-۲. پیشنهادات ۱۲۹
مراجع ۱۳۰
پیوست ۱۳۴

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱. ربات انسان‌نمای آسیمو در حال دویدن و ارتباط با انسان ۴
شکل ۱-۲. ربات انسان‌نما در حال پایین رفتن از پله‌ها ۴
شکل ۱-۳. ربات پرستار ۵
شکل ۱-۴. ربات اسکلت خارجی هاردی من ۸
شکل ۱-۵. ربات اسکلت خارجی فیلم بیگانه‌ها ۹
شکل ۱-۶. ربات فیلم ماتریکس ۹
شکل ۱-۷. ربات اسکلت خارجی سنسور آرم ۱۰
شکل ۱-۸. ربات اسکلت خارجی آرم مستر ۱۰
شکل ۱-۹. ربات اسکلت خارجی بلیکس ۱۱
شکل ۱-۱۰. ربات اسکلت خارجی هال ۱۲
شکل ۱-۱۱. ربات اسکلت خارجی پاور اسکیپ ۱۳
شکل ۱-۱۲. ربات اسکلت خارجی اسپرینگ واکر ۱۳
شکل ۱-۱۳. ربات اسکلت خارجی ام‌آی‌تی ۱۴
شکل ۱-۱۴. چینش مثلثی سیلندر هیدرولیکی خطی ربات اسکلت خارجی بلیکس ۱۵
شکل ۱-۱۵. ربات اسکلت خارجی تمام بدن هال ۱۷
شکل ۱-۱۶. نمونه‌ای از ربات اسکلت خارجی موازی با عضو جهت افزایش قدرت تحمل ۱۸
شکل ۲-۱. تغییر فاز تک اتکا و دو اتکا طی گام برداشتن ۲۳
شکل ۲-۲. سیکل راه‌رفتن انسان ۲۳
شکل ۲-۳. تقسیم‌بندی فاز ایستایی و فاز نوسان پا در راه‌رفتن نرمال ۲۴
شکل ۲-۴. عرض گام ۲۵
شکل ۲-۵. پارامترهای مهم گام برداشتن ۲۵
شکل ۲-۶. مدل ربات سه عضوی با یک مفصل در پا ۲۷
شکل ۲-۷. مدل ربات پنج عضوی با دو مفصل در پا ۲۷
شکل ۲-۸. الف) جزئیات کف پا. ب) گشتاورهای وارد بر مفاصل پا و نیروهای کف پا ۲۸
شکل ۲-۹. صفحات مختلف بدن ۲۸
شکل ۲-۱۰. مدل هفت عضوی ربات با نشان دادن زوایای نسبی عضوها، مختصات مفصل ران و محل مرکز جرم به‌صورت دایره ۲۹
شکل ۲-۱۱. مدل هفت عضوی با زوایای مطلق نسبت به افق ۳۲
شکل ۲-۱۲. نمودار زاویه نسبی کف پای راست (q_1) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۳
شکل ۲-۱۳. نمودار زاویه نسبی ساق پای راست (q_2) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۳
شکل ۲-۱۴. نمودار زاویه نسبی ران پای راست (q_3) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۴
شکل ۲-۱۵. نمودار زاویه نسبی بالا تنه (q_4) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۴
شکل ۲-۱۶. نمودار زاویه نسبی ران پای چپ (q_5) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۴
شکل ۲-۱۷. نمودار زاویه نسبی ساق پای چپ (q_6) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۴
شکل ۲-۱۸. نمودار زاویه نسبی کف پای چپ (q_7) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۴
شکل ۲-۱۹. نمودار سرعت زاویه‌ای نسبی کف پای راست ($\dot{q}_1$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۵
شکل ۲-۲۰. نمودار سرعت زاویه‌ای نسبی ساق پای راست ($\dot{q}_2$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۵
شکل ۲-۲۱. نمودار سرعت زاویه‌ای نسبی ران پای راست ($\dot{q}_3$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۶

شکل۲-۲۲. نمودار سرعت زاویه‌ای نسبی بالا تنه ($\dot{q}_4$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۶
شکل۲-۲۳. نمودار سرعت زاویه‌ای نسبی ران پای چپ ($\dot{q}_5$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۶
شکل۲-۲۴. نمودار سرعت زاویه‌ای نسبی ساق پای چپ($\dot{q}_6$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی..... ۳۶
شکل۲-۲۵. نمودار سرعت زاویه‌ای نسبی کف پای چپ ($\dot{q}_7$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۶
شکل۲-۲۶. نمودار شتاب زاویه‌ای نسبی کف پای راست ($\ddot{q}_1$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی..... ۳۷
شکل۲-۲۷. نمودار شتاب زاویه‌ای نسبی ساق پای راست ($\ddot{q}_2$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۷
شکل۲-۲۸. نمودار شتاب زاویه‌ای نسبی ران پای راست ($\ddot{q}_3$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی..... ۳۸
شکل۲-۲۹. نمودار شتاب زاویه‌ای نسبی بالا تنه ($\ddot{q}_4$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی..... ۳۸
شکل۲-۳۰. نمودار شتاب زاویه‌ای نسبی ران پای چپ ($\ddot{q}_5$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی..... ۳۸
شکل۲-۳۱. نمودار شتاب زاویه‌ای نسبی ساق پای چپ ($\ddot{q}_6$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی..... ۳۸
شکل۲-۳۲. نمودار شتاب زاویه‌ای نسبی کف پای چپ ($\ddot{q}_7$) بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی ۳۸
شکل۳-۱. سیستم یک درجه آزادی جرم نقطه‌ای..... ۴۴
شکل۳-۲. مدل هفت عضوی با نشان دادن زوایای مطلق و طول عضوها ۴۶
شکل۳-۳. نمودار گشتاور خارجی اعمالی در قوزک پای راست در یک سیکل کامل حرکتی ۵۱
شکل۳-۴. نمودار گشتاور خارجی اعمالی در زانوی پای راست در یک سیکل کامل حرکتی..... ۵۱
شکل۳-۵. نمودار گشتاور خارجی اعمالی در مفصل ران پای راست در یک سیکل کامل حرکتی..... ۵۲
شکل۳-۶. نمودار گشتاور خارجی اعمالی در قسمت بالا تنه در یک سیکل کامل حرکتی..... ۵۲
شکل۳-۷. نمودار گشتاور خارجی اعمالی در مفصل ران پای چپ در یک سیکل کامل حرکتی..... ۵۲
شکل۳-۸. نمودار گشتاور خارجی اعمالی در زانوی پای چپ در یک سیکل کامل حرکتی ۵۲
شکل۳-۹. نمودار گشتاور خارجی اعمالی در قوزک پای چپ در یک سیکل کامل حرکتی..... ۵۲
شکل۴-۱. نمودار زاویه نسبی q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس ۶۷
شکل۴-۲. نمودار خطای q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۷
شکل۴-۳. نمودار زاویه نسبی q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۷
شکل۴-۴. نمودار خطای q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۷
شکل۴-۵. نمودار زاویه نسبی q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۸
شکل۴-۶. نمودار خطای q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۸
شکل۴-۷. نمودار زاویه نسبی q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۸
شکل۴-۸. نمودار خطای q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۸
شکل۴-۹. نمودار زاویه نسبی q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۸
شکل۴-۱۰. نمودار خطای q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۸
شکل۴-۱۱. نمودار زاویه نسبی q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۹
شکل۴-۱۲. نمودار خطای q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۹
شکل۴-۱۳. نمودار زاویه نسبی q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۹
شکل۴-۱۴. نمودار خطای q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۹
شکل۴-۱۵. نمودار مکان افقی X_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس ۶۹
شکل۴-۱۶. نمودار خطای X_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۶۹
شکل۴-۱۷. نمودار مکان عمودی Y_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس... ۷۰
شکل۴-۱۸. نمودار خطای Y_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس..... ۷۰

شکل۴-۱۹. نمودار زاویه نسبی q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۳
شکل۴-۲۰. نمودار خطای q_1 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۳
شکل۴-۲۱. نمودار زاویه نسبی q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۴
شکل۴-۲۲. نمودار خطای q_2 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۴
شکل۴-۲۳. نمودار زاویه نسبی q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۴
شکل۴-۲۴. نمودار خطای q_3 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۴
شکل۴-۲۵. نمودار زاویه نسبی q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۴
شکل۴-۲۶. نمودار خطای q_4 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۴
شکل۴-۲۷. نمودار زاویه نسبی q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۵
شکل۴-۲۸. نمودار خطای q_5 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۵
شکل۴-۲۹. نمودار زاویه نسبی q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۵
شکل۴-۳۰. نمودار خطای q_6 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۵
شکل۴-۳۱. نمودار زاویه نسبی q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۵
شکل۴-۳۲. نمودار خطای q_7 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۵
شکل۴-۳۳. نمودار مکان افقی X_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۶
شکل۴-۳۴. نمودار خطای X_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۶
شکل۴-۳۵. نمودار مکان عمودی Y_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۶
شکل۴-۳۶. نمودار خطای Y_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۶
شکل۴-۳۷. نمودار گشتاور Q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۷

شکل۴-۳۸. نمودار گشتاور Q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۷
شکل۴-۳۹. نمودار گشتاور Q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۷
شکل۴-۴۰. نمودار گشتاور Q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۷
شکل۴-۴۱. نمودار گشتاور Q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۷
شکل۴-۴۲. نمودار گشتاور Q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۷
شکل۴-۴۳. نمودار گشتاور Q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۸
شکل۴-۴۴. نمودار نیروی افقی Q_8 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۸
شکل۴-۴۵. نمودار نیروی عمودی Q_9 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۷۸
شکل۴-۴۶. نمودار زاویه نسبی q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۷۹
شکل۴-۴۷. نمودار خطای q_1 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۷۹
شکل۴-۴۸. نمودار زاویه نسبی q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۷۹
شکل۴-۴۹. نمودار خطای q_2 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۷۹
شکل۴-۵۰. نمودار زاویه نسبی q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۷۹
شکل۴-۵۱. نمودار خطای q_3 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۷۹
شکل۴-۵۲. نمودار زاویه نسبی q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۰
شکل۴-۵۳. نمودار خطای q_4 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۰
شکل۴-۵۴. نمودار زاویه نسبی q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۰
شکل۴-۵۵. نمودار خطای q_5 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۰
شکل۴-۵۶. نمودار زاویه نسبی q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۰

شکل۴-۵۷. نمودار خطای q_6 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۰
شکل۴-۵۸. نمودار زاویه نسبی q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۱
شکل۴-۵۹. نمودار خطای q_7 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۱
شکل۴-۶۰. نمودار مکان افقی X_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۱
شکل۴-۶۱. نمودار خطای X_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۱
شکل۴-۶۲. نمودار مکان عمودی Y_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۱
شکل۴-۶۳. نمودار خطای Y_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۰/۹ ..... ۸۱
شکل۴-۶۴. نمودار زاویه نسبی q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۲
شکل۴-۶۵. نمودار خطای q_1 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۲
شکل۴-۶۶. نمودار زاویه نسبی q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۲
شکل۴-۶۷. نمودار خطای q_2 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۲
شکل۴-۶۸. نمودار زاویه نسبی q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۳
شکل۴-۶۹. نمودار خطای q_3 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۳
شکل۴-۷۰. نمودار زاویه نسبی q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۳
شکل۴-۷۱. نمودار خطای q_4 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۳
شکل۴-۷۲. نمودار زاویه نسبی q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۳
شکل۴-۷۳. نمودار خطای q_5 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۳
شکل۴-۷۴. نمودار زاویه نسبی q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۴
شکل۴-۷۵. نمودار خطای q_6 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۴

شکل۴-۷۶. نمودار زاویه نسبی q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۴
شکل۴-۷۷. نمودار خطای q_7 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۴
شکل۴-۷۸. نمودار مکان افقی X_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۴
شکل۴-۷۹. نمودار خطای X_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۴
شکل۴-۸۰. نمودار مکان عمودی Y_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۵
شکل۴-۸۱. نمودار خطای Y_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت۱/۳ ..... ۸۵
شکل۴-۸۲. نمودار گشتاور Q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۵
شکل۴-۸۳. نمودار گشتاور Q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۵
شکل۴-۸۴. نمودار گشتاور Q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۶
شکل۴-۸۵. نمودار گشتاور Q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۶
شکل۴-۸۶. نمودار گشتاور Q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۶
شکل۴-۸۷. نمودار گشتاور Q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۶
شکل۴-۸۸. نمودار گشتاور Q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۱/۳ ..... ۸۶
شکل۴-۸۹. نمودار زاویه نسبی q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۷
شکل۴-۹۰. نمودار خطای q_1 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۷
شکل۴-۹۱. نمودار زاویه نسبی q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۷
شکل۴-۹۲. نمودار خطای q_2 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۷
شکل۴-۹۳. نمودار زاویه نسبی q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۸
شکل۴-۹۴. نمودار خطای q_3 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۸

شکل۴-۹۵. نمودار زاویه نسبی q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۸
شکل۴-۹۶. نمودار خطای q_4 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۸
شکل۴-۹۷. نمودار زاویه نسبی q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۸
شکل۴-۹۸. نمودار خطای q_5 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۸
شکل۴-۹۹. نمودار زاویه نسبی q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۹
شکل۴-۱۰۰. نمودار خطای q_6 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۹
شکل۴-۱۰۱. نمودار زاویه نسبی q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۹
شکل۴-۱۰۲. نمودار خطای q_7 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۹
شکل۴-۱۰۳. نمودار مکان افقی X_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۹
شکل۴-۱۰۴. نمودار خطای X_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۸۹
شکل۴-۱۰۵. نمودار مکان عمودی Y_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۹۰
شکل۴-۱۰۶. نمودار خطای Y_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل دینامیک معکوس وفقی با عدم قطعیت ۲ ..... ۹۰
شکل۴-۱۰۷. نمودار زاویه نسبی q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۳
شکل۴-۱۰۸. نمودار خطای q_1 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۳
شکل۴-۱۰۹. نمودار زاویه نسبی q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۳
شکل۴-۱۱۰. نمودار خطای q_2 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۳
شکل۴-۱۱۱. نمودار زاویه نسبی q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۳
شکل۴-۱۱۲. نمودار خطای q_3 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۳
شکل۴-۱۱۳. نمودار زاویه نسبی q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۴

شکل۴-۱۱۴. نمودار خطای q_4 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۴
شکل۴-۱۱۵. نمودار زاویه نسبی q_5 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۴
شکل۴-۱۱۶. نمودار خطای q_5 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۴
شکل۴-۱۱۷. نمودار زاویه نسبی q_6 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۴
شکل۴-۱۱۸. نمودار خطای q_6 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۴
شکل۴-۱۱۹. نمودار زاویه نسبی q_7 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۵
شکل۴-۱۲۰. نمودار خطای q_7 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۵
شکل۴-۱۲۱. نمودار مکان افقی X_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۵
شکل۴-۱۲۲. نمودار خطای X_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۵
شکل۴-۱۲۳. نمودار مکان عمودی Y_{hip} بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۵
شکل۴-۱۲۴. نمودار خطای Y_{hip} بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۶ ..... ۹۵
شکل۴-۱۲۵. نمودار زاویه نسبی q_1 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۹۶
شکل۴-۱۲۶. نمودار خطای q_1 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۹۶
شکل۴-۱۲۷. نمودار زاویه نسبی q_2 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۹۶
شکل۴-۱۲۸. نمودار خطای q_2 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۹۶
شکل۴-۱۲۹. نمودار زاویه نسبی q_3 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۹۷
شکل۴-۱۳۰. نمودار خطای q_3 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۹۷
شکل۴-۱۳۱. نمودار زاویه نسبی q_4 بر حسب زمان برای یک سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۹۷
شکل۴-۱۳۲. نمودار خطای q_4 بر حسب زمان برای ده سیکل کامل حرکتی در کنترل بر اساس غیر فعالیت وفقی با عدم قطعیت ۰/۸ ..... ۹۷