**دانشگاه تبریز**

**دانشکده علوم ریاضی**

**گروه علوم کامپیوتر**

**پایان‌نامه**

**برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته علوم کامپیوتر- سیستم‌های هوشمند**

**عنوان**

# اعمال الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای برای بالانس دینامیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده

**استاد راهنما**

**دکتر محمدرضا فیضی درخشی**

**استاد مشاور**

**دکتر میرمحمد اتفاق**

**پژوهشگر**

**حبیب امدادی جوقان**

**شهریور ۱۳۹۲**

بسم الله الرحمن الرحيم

«انما یخشی الله من عباده العلماء»

«از بندگان خدا تنها صاحبان دانشند که خشیت او را دارند»

**تقدیم به:**

آقا امام زمان (عج) که جهان بی‌صبرانه در انتظار اوست.

**تشکر و قدردانی:**

در طول انجام این پایان‌نامه دوستان و اساتیدی مرا یاری نمودند که به حکم «**من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق**» بر خود لازم می‌دانم که از ایشان سپاسگزاری نمایم. ابتدا از جناب آقای دکتر فیضی، نه فقط به خاطر راهنمایی‌های ارزنده و پشتیبانی ایشان که انجام این پایان‌نامه را میسر ساخت، که به سبب خوی نیکو و منش متواضعانه ایشان – که در جامعه دانشگاهی به دلیل توهم استغنای علمی کمتر یافت می‌گردد– [«**انما یخشی الله من عباده العلماء**»: از بندگان خدا تنها صاحبان دانشند که خشیت او را دارند] و مایه امید و دلگرمی اینجانب بودند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از آقای دکتر اتفاق که علاوه بر در اختیار گذاشتن مکانیزم، راهنمایی‌های ارزنده‌شان کارگشای بسیاری از مشکلاتِ موجود بود تشکر و قدردانی می‌نمایم.

**نام خانوادگی دانشجو:** امدادی جوقان **نام:** حبیب

**عنوان پایان‌نامه:** اعمال الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای برای بالانس دینامیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده

**استاد راهنما:** دکتر محمدرضا فیضی درخشی

**استاد مشاور:** دکتر میرمحمد اتفاق

**مقطع تحصیلی:** کارشناسی ارشد **رشته:** علوم کامپیوتر **گرایش:** سیستم‌های هوشمند **دانشگاه:** تبریز

**دانشکده:** علوم ریاضی **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۹۲/۶/۱۳ **تعداد صفحه: ۹۰**

**کلید واژه‌ها:** بهینه‌سازی، بالانس دینامیکی، الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای، مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده.

**چکیده:**

در این پژوهش به بررسی روش‌های بهینه‌سازی مسالهٔ بالانس دینامیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده پرداخته می‌شود. این روش‌ها زیرمجموعه‌ای از الگوریتم‌های تکاملی محسوب می‌شوند. الگوریتم‌های تکاملی، روش‌های بهینه‌سازی تصادفی هستند که بر روی یک جمعیت یا مجموعه‌ای از جواب‌ها کار می‌کنند و در نهایت با توجه به تابع برازش و همچنین عملیات مختص مربوط به نوع الگوریتم، به جواب بهینه دست می‌یابند. بالانس دینامیکی این مکانیزم، مساله‌ای غیرخطی بوده و از پیچیدگی بسیار بالایی برخوردار است. به همین دلیل، برای بهینه‌سازی آن از الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای همچون الگوریتم پرندگان (PSO)، کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC)، رقابت استعماری (ICA)، جستجوی ممنوع (TS)، تبرید شبیه‌سازی شده (SA)، ترکیب جستجوی ممنوع و تبرید شبیه‌سازی شده (HSATS) و ترکیب ژنتیک و پرندگان (HGAPSO) استفاده می‌شود. از آن جایی که هدف از بهینه‌سازی این مساله، کمینه کردن میزان نیروها و ممان‌های ارتعاشی است، لذا یک مدل بهینه‌سازی با هدف کمینه کردن مقدار هزینهٔ تابع هدف بکار گرفته شده است. در این مکانیزم بالانس دینامیکی با افزودن جرم‌های بالانس کننده انجام می‌گیرد و تعیین مقدار بهینهٔ جرم‌ها و زاویهٔ قرارگیری آن‌ها منجر به حذف نیروهای نابالانسی می‌شود. همچنین قیودی برای این جرم‌ها در نظر گرفته می‌شود که برای هر راه‌حل محاسبه می‌شوند و نباید تحت هیچ شرایطی نقض گردند.

بهینه‌سازی بالانس این مکانیزم تاکنون به غیر از الگوریتم ژنتیک با هیچ الگوریتم دیگری انجام نگرفته است؛ بنابراین این پژوهش در این حوزه به عنوان اولین تحقیق با الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای مذکور محسوب می‌گردد. پیاده‌سازی و مقایسهٔ نتایج، نشان از برتری قابل توجه الگوریتم پرندگان (PSO) دارد به این معنا که این الگوریتم نسبت به الگوریتم ژنتیک علاوه بر این که ۰/۹۹ برابر هزینه تابع هدف کمتری بدست می‌آورد، بلکه ۳/۳۲ برابر زمان کمتری نیز برای رسیدن به جواب بهینه صرف می‌کند. همچنین اعتبارسنجی نتایج بهینه‌سازی برای اندازه‌گیری بالانس و مقایسهٔ سیگنال سرعت و شتاب مکانیزم مورد توجه و آزمایش تجربی می‌باشد.

# فهرست مطالب


**فصل ۱ مقدمه** ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

۱-۱ مقدمه ..... ۱

۱-۲ ساختار پایان‌نامه ..... ۲

**فصل ۲ تحلیل سینماتیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده** ..... ۴

۲-۱ مقدمه ..... ۴

۲-۲ مفهوم ارتعاشات و بررسی مشکلات ..... ۵

۲-۳ مفهوم بالانس و نابالانسی ..... ۵

۲-۴ دلایل نابالانسی در حین ساخت و کار ماشین ..... ۶

۲-۵ تحلیل سینماتیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده ..... ۷

۲-۵-۱ مسالهٔ بهینه‌سازی بالانس دینامیکی مکانیزم ..... ۹

۲-۵-۲ محدودیت‌های مساله ..... ۱۰

۲-۶ تعاریف اساسی ..... ۱۰

۲-۷ جمع‌بندی ..... ۱۱

**فصل ۳ راه‌کارهای گذشته** ..... ۱۲

۳-۱ مقدمه ..... ۱۳

۳-۲ مروری بر الگوریتم ژنتیک ..... ۱۳

۳-۳ مفاهیم بهینه‌سازی چند هدفه ..... ۱۴

۳-۴ بالانس نیرو و حرکت در اتصالات چهار میله‌ای با الگوریتم ژنتیک ..... ۱۶

۳-۴-۱ تحلیل سینماتیکی مکانیزم اتصالات چهار میله‌ای ..... ۱۶
۳-۴-۲ نتایج بهینه‌سازی اتصالات چهار میله‌ای ..... ۱۹
۳-۵ الگوریتم ژنتیک برای بالانس دینامیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده ..... ۲۰
۳-۵-۱ طراحی اولیه و توصیف الگوریتم ..... ۲۱
۳-۵-۲ تعیین طول کروموزوم‌ها ..... ۲۱
۳-۵-۳ تولید جمعیت اولیه ..... ۲۱
۳-۵-۴ تعیین مقدار متغیرها در تابع هدف ..... ۲۲
۳-۵-۵ تعیین تعداد کروموزوم‌های شرکت کننده در عمل پیوند ..... ۲۲
۳-۵-۶ عملگر پیوند ..... ۲۲
۳-۵-۷ عملگر جهش ..... ۲۳
۳-۵-۸ حفظ بهترین کروموزوم ..... ۲۳
۳-۶ تحلیل نتایج ..... ۲۳
۳-۷ اجرا و ثبت مجدد نتایج با الگوریتم ژنتیک ..... ۲۴
۳-۷-۱ نمودار همگرایی و نمودار زمانی الگوریتم ژنتیک ..... ۲۵
۳-۷-۲ نمودار پایداری الگوریتم ژنتیک ..... ۲۷
۳-۸ جمع‌بندی ..... ۲۷
**فصل ۴ راه‌کارهای پیشنهادی ..... ۲۸**
۴-۱ مقدمه ..... ۲۸
۴-۲ مروری بر الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای ..... ۲۹
۴-۲-۱ معیارهای طبقه‌بندی الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای ..... ۳۰
۴-۳ الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات استاندارد ..... ۳۱

۴-۴ الگوریتم پیشنهادی بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۳۲
۴-۴-۱ مقداردهی اولیه متغیرها ..... ۳۴
۴-۴-۲ مراحل الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۳۴
۴-۴-۳ فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۳۵
۴-۴-۴ نتایج الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۳۵
۴-۴-۵ نمودار همگرایی و نمودار زمانی الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۳۶
۴-۴-۶ نمودار پایداری الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۳۷
۴-۵ الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل مصنوعی ..... ۳۸
۴-۵-۱ مقداردهی اولیه متغیرها ..... ۴۰
۴-۵-۲ مراحل بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل مصنوعی ..... ۴۰
۴-۵-۳ فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل مصنوعی ..... ۴۰
۴-۵-۴ نتایج بهینه‌سازی الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی ..... ۴۱
۴-۵-۵ نمودار همگرایی و نمودار زمانی الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل مصنوعی ..... ۴۲
۴-۵-۶ نمودار پایداری الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل مصنوعی ..... ۴۳
۴-۶ الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری ..... ۴۴
۴-۶-۱ شکل‌دهی امپراطوری‌های اولیه ..... ۴۵
۴-۶-۲ سیاست جذب یا حرکت مستعمره‌ها به سمت امپراطور ..... ۴۶
۴-۶-۳ انقلاب یا تغییرات ناگهانی در موقعیت یک کشور ..... ۴۷
۴-۶-۴ جابجایی موقعیت مستعمره و امپریالیست ..... ۴۷
۴-۶-۵ رقابت استعماری ..... ۴۸
۴-۶-۶ سقوط امپراطوری‌های ضعیف ..... ۴۹

۴-۶-۷ مقداردهی اولیه متغیرها ..... ۴۹
۴-۶-۸ مراحل الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری ..... ۴۹
۴-۶-۹ فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری ..... ۵۰
۴-۶-۱۰ نتایج بهینه‌سازی الگوریتم رقابت استعماری ..... ۵۱
۴-۶-۱۱ نمودار همگرایی و نمودار زمانی الگوریتم رقابت استعماری ..... ۵۲
۴-۶-۱۲ نمودار پایداری الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری ..... ۵۳
۴-۷ الگوریتم جستجوی ممنوعه ..... ۵۴
۴-۷-۱ مروری بر ساختار کلی الگوریتم جستجوی ممنوعه ..... ۵۴
۴-۷-۲ استراتژی‌های پیشرفتهٔ جستجوی ممنوعه ..... ۵۵
۴-۷-۳ مراحل الگوریتم جستجوی ممنوع ..... ۵۷
۴-۷-۴ فلوچارت الگوریتم جستجوی ممنوع ..... ۵۷
۴-۷-۵ نتایج الگوریتم جستجوی ممنوعه ..... ۵۸
۴-۷-۶ نمودار همگرایی و نمودار زمانی الگوریتم جستجوی ممنوعه ..... ۵۹
۴-۷-۷ نمودار پایداری الگوریتم جستجوی ممنوعه ..... ۶۰
۴-۸ الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ..... ۶۱
۴-۸-۱ ساختار کلی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ..... ۶۱
۴-۸-۲ مراحل الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ..... ۶۲
۴-۸-۳ فلوچارت الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ..... ۶۲
۴-۸-۴ نتایج الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ..... ۶۳
۴-۸-۵ نمودار همگرایی و نمودار زمانی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ..... ۶۴
۴-۸-۶ نمودار پایداری تبرید شبیه‌سازی شده ..... ۶۶

۴-۹ الگوریتم پیشنهادی ترکیب تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۶۶
۴-۹-۱ مراحل الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۶۷
۴-۹-۲ فلوچارت الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۶۷
۴-۹-۳ نتایج الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۶۸
۴-۹-۴ نمودار همگرایی و نمودار زمانی الگوریتم ترکیبی تبرید و جستجوی ممنوعه ..... ۷۰
۴-۹-۵ نمودار پایداری الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۷۱
۴-۱۰ الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۱
۴-۱۰-۱ مروری بر مفاهیم الگوریتم ژنتیک ..... ۷۱
۴-۱۰-۲ مروری بر مفاهیم الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۲
۴-۱۰-۳ مراحل بهینه‌سازی الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۳
۴-۱۰-۴ فلوچارت الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۴
۴-۱۰-۵ نتایج بهینه‌سازی الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۵
۴-۱۰-۶ نمودار همگرایی و نمودار زمانی الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۶
۴-۱۰-۷ نمودار پایداری الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۷
۴-۱۱ نتیجه‌گیری کلی ..... ۷۸
**فصل ۵ جمع‌بندی و کارهای آتی ..... ۸۷**
۵-۱ جمع‌بندی ..... ۸۸
۵-۲ کارهای آتی ..... ۸۹
**مراجع ..... ۹۵**
**واژه‌نامه ..... ۹۷**

# فهرست جداول

جدول ۳-۱ پارامترهای نابالانسی اتصالات چهار میله‌ای ..... ۱۹

جدول ۳-۲ مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه پارتو (لینک ۴) ..... ۲۰

جدول ۳-۳ مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه پارتو (لینک ۲) ..... ۲۰

جدول ۳-۴ نتایج الگوریتم ژنتیک دودویی ..... ۲۴

جدول ۳-۵ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ژنتیک برای ۱۰۰ تکرار ..... ۲۵

جدول ۳-۶ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ژنتیک برای ۲۰۰ تکرار ..... ۲۵

جدول ۳-۷ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ژنتیک برای ۳۰۰ تکرار ..... ۲۵

جدول ۴-۱ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای ۱۰۰ تکرار ..... ۳۵

جدول ۴-۲ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای ۲۰۰ تکرار ..... ۳۶

جدول ۴-۳ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای ۳۰۰ تکرار ..... ۳۶

جدول ۴-۴ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای ۱۰۰ تکرار ..... ۴۲

جدول ۴-۵ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای ۲۰۰ تکرار ..... ۴۲

جدول ۴-۶ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای ۳۰۰ تکرار ..... ۴۲

جدول ۴-۷ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری برای ۱۰۰ تکرار ..... ۵۱

جدول ۴-۸ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری برای ۲۰۰ تکرار ..... ۵۱

جدول ۴-۹ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری برای ۳۰۰ تکرار ..... ۵۲

جدول ۴-۱۰ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم جستجوی ممنوعه برای ۱۰۰ تکرار ..... ۵۸

جدول ۴-۱۱ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم جستجوی ممنوعه برای ۲۰۰ تکرار ..... ۵۸

جدول ۴-۱۲ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم جستجوی ممنوعه برای ۳۰۰ تکرار ..... ۵۹

جدول ۴-۱۳ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای ۱۰۰ تکرار ..... ۶۴
جدول ۴-۱۴ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای ۲۰۰ تکرار ..... ۶۴
جدول ۴-۱۵ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای ۳۰۰ تکرار ..... ۶۴
جدول ۴-۱۶ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه برای ۱۰۰ تکرار ..... ۶۹
جدول ۴-۱۷ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه برای ۲۰۰ تکرار ..... ۶۹
جدول ۴-۱۸ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه برای ۳۰۰ تکرار ..... ۶۹
جدول ۴-۱۹ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات برای ۱۰۰ تکرار ..... ۷۵
جدول ۴-۲۰ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات برای ۲۰۰ تکرار ..... ۷۵
جدول ۴-۲۱ نتایج ۱۰ اجرای مستقل الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات برای ۳۰۰ تکرار ..... ۷۶

# فهرست شکل‌ها


شکل ۲-۱ مدلِ طراحی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده ..... ۷

شکل ۲-۲ نیروهای وارده در چهار پانل ..... ۸

شکل ۳-۱ نمایش مجموعه نقاط جبهه جلویی ..... ۱۵

شکل ۳-۲ اتصالات چهار میله‌ای با توزیع توده‌های جرمی برای لینک‌ها ..... ۱۶

شکل ۳-۳ نیروی لحظه‌ای بالانس کامل در چهار میله‌ای بر خط ..... ۲۰

شکل ۳-۴ ارتباطات نابالانسی چهار میله‌ای ..... ۲۰

شکل ۳-۵ فلوچارت الگوریتم ژنتیک ..... ۲۱

شکل ۳-۶ نمودار همگرایی BGA ..... ۲۴

شکل ۳-۷ مثالی از مساحت تابع هزینه ..... ۲۴

شکل ۳-۸ مساحت بالانسی و نابالانسی تابع هزینه ..... ۲۴

شکل ۳-۹ نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک برای تکرارهای ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ..... ۲۶

شکل ۳-۱۰ نمودار زمانی الگوریتم ژنتیک برای تکرارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ ..... ۲۷

شکل ۳-۱۱ نوسانات نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک در ۱۰۰ بار اجرای برنامه ..... ۲۷

شکل ۴-۱ حرکت ذرات در فضای جستجو ..... ۳۳

شکل ۴-۲ فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۳۵

شکل ۴-۳ نمودار همگرایی الگوریتم PSO برای تکرارهای ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ..... ۳۷

شکل ۴-۴ نمودار زمانی الگوریتم PSO برای تکرارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ ..... ۳۷

شکل ۴-۵ نوسانات نتایج الگوریتم PSO در ۱۰۰ بار اجرا ..... ۳۸

شکل ۴-۶ فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل ..... ۴۱

شکل ۴-۷ نمودار همگرایی الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای تکرارهای ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ..... ۴۳
شکل ۴-۸ نمودار زمانی الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی برای تکرارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ ..... ۴۳
شکل ۴-۹ نوسانات نتایج الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی در ۱۰۰ بار اجرا ..... ۴۴
شکل ۴-۱۰ نحوه تقسیم مستعمرات میان کشورهای استعمارگر ..... ۴۵
شکل ۴-۱۱ نمای گرافیکی از اعمال سیاست جذب در الگوریتم رقابت استعماری ..... ۴۷
شکل ۴-۱۲. نحوه جابجایی موقعیت مستعمره و استعمارگر ..... ۴۸
شکل ۴-۱۳ رقابت استعماری میان چندین استعمارگر برای جذب مستعمرات همدیگر ..... ۴۸
شکل ۴-۱۴ مقداردهی اولیه برای مسالهٔ بالانس دینامیکی ..... ۴۹
شکل ۴-۱۵ فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری ..... ۵۰
شکل ۴-۱۶ نمودار همگرایی الگوریتم رقابت استعماری برای تکرارهای ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ..... ۵۳
شکل ۴-۱۷ نمودار زمانی الگوریتم رقابت استعماری برای تکرارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ ..... ۵۳
شکل ۴-۱۸ نوسانات نتایج الگوریتم رقابت استعماری در ۱۰۰ بار اجرا ..... ۵۴
شکل ۴-۱۹ فلوچارت الگوریتم جستجوی ممنوعه ..... ۵۷
شکل ۴-۲۰ نمودار همگرایی الگوریتم جستجوی ممنوع برای تکرارهای ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ..... ۶۰
شکل ۴-۲۱ نمودار زمانی الگوریتم جستجوی ممنوعه برای تکرارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ ..... ۶۰
شکل ۴-۲۲ نوسانات نتایج الگوریتم جستجوی ممنوعه در ۱۰۰ بار اجرا ..... ۶۱
شکل ۴-۲۳ فلوچارت الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده ..... ۶۳
شکل ۴-۲۴ نمودار همگرایی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای تکرارهای ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ..... ۶۵
شکل ۴-۲۵ نمودار زمانی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای تکرارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ ..... ۶۵
شکل ۴-۲۶ نوسانات نتایج حاصل از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده در ۱۰۰ بار اجرا ..... ۶۶
شکل ۴-۲۷ فلوچارت الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۶۸

شکل ۴-۲۸ نمودار همگرایی الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۷۰
شکل ۴-۲۹ نمودار زمانی الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۷۱
شکل ۴-۳۰ نوسانات نتایج حاصل از الگوریتم ترکیبی تبرید شبیه‌سازی شده و جستجوی ممنوعه ..... ۷۱
شکل ۴-۳۱ مراحل بهینه‌سازی الگوریتم ترکیب ژنتیک و پرندگان ..... ۷۴
شکل ۴-۳۲ فلوچارت الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۴
شکل ۴-۳۳ نمودار همگرایی الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات ..... ۷۷
شکل ۴-۳۴ نمودار زمانی الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات برای تکرارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ ..... ۷۷
شکل ۴-۳۵ نوسانات نتایج الگوریتم ترکیب ژنتیک و بهینه‌سازی گروه ذرات در ۱۰۰ بار اجرا ..... ۷۷
شکل ۴-۳۶راه‌اندازی مدل مکانیزم لنگ و لغزنده ..... ۷۸
شکل ۴-۳۷ مقایسه نتایج هزینه تابع هدف در تکرار ۱۰۰ ..... ۷۹
شکل ۴-۳۸ مقایسه نتایج هزینه تابع هدف در تکرار ۲۰۰ ..... ۸۰
شکل ۴-۳۹ مقایسه نتایج هزینه تابع هدف در تکرار ۳۰۰ ..... ۸۰
شکل ۴-۴۰ مقایسه زمان اجرا در تکرار ۱۰۰ ..... ۸۱
شکل ۴-۴۱ مقایسه زمان اجرا در تکرار ۲۰۰ ..... ۸۱
شکل ۴-۴۲ مقایسه زمان اجرا در تکرار ۳۰۰ ..... ۸۲
شکل ۴-۴۳نوسانات نتایج روش‌های پیشنهادی در ۱۰۰ بار اجرا ..... ۸۳
شکل ۴-۴۴نمودار همگرایی برای تکرارهای ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ ..... ۸۴
شکل ۴-۴۵ بزرگ نمایی نمودار همگرایی ..... ۸۵
شکل ۴-۴۶ نمودار پیشرفت زمانی ..... ۸۵
شکل ۴-۴۷ سیگنال دور موتور چرخش لنگ‌ها و شتاب ..... ۸۵
شکل ۴-۴۸سیگنال شتاب سمت چپ قبل و بعد بالانس ..... ۸۶

شکل ۴-۴۹ سیگنال شتاب سمت راست قبل و بعد بالانس ..... ۸۶

شکل ۴-۵۰ سیگنال شتاب زاویه‌ای قبل و بعد از بالانس ..... ۸۶

فصل اول

# مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

مسالهٔ بهینه‌سازی بالانس دینامیکی یکی از مباحث بنیادی در کاهش ارتعاشات است که در طراحی مکانیزم‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. ارتعاشات و لرزش ناشی از نابالانسی علاوه بر کاهش عمر مکانیزم‌ها باعث اختلال در کار ماشین‌های مجاور، ایجاد سر و صدا و آلودگی صوتی، خسارات سنگین به صنایع و به خطر افتادن سلامت کاری کارکنان می‌گردد. لذا ارتعاشات و نیروهای نابالانسی بسیار مخرب بوده و از این نظر لازم است حتی‌الامکان با آن‌ها مقابله و یا اثرات آن‌ها را کاهش داد. بنابراین ایجاد بالانس دینامیکی با تحلیل سینماتیکی مکانیزم‌ها و ارضاء قیود آن‌ها امکان‌پذیر می‌باشد.

لذا در این پایان‌نامه به بررسی مسالهٔ بهینه‌سازی بالانس دینامیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده با الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای پرداخته می‌شود. بطوریکه این مساله، یک مسالهٔ پیچیده و غیر خطی ریاضی بوده که آن مشکلاتی را برای حل بهینه و تحلیلی آن بوجود آورده است. یعنی غیر خطی بودن آن نیازمند محاسباتی با رشد نمایی است. هدف اصلی در این مساله ایجاد بالانس دینامیکی برای کاهش ارتعاشات است. برای نیل به این هدف نیاز است که از الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای برای بهینه‌سازی آن استفاده شود. در این مکانیزم، ارتعاشات توسط نیروهای نابالانسی ایجاد می‌شود که با کمینه کردن مجموع این نیروها می‌توان لرزش ناشی از آن‌ها را به حداقل رساند. تابع هدف در این مکانیزم نیز به منظور کمینه‌سازی با استفاده از پارامترهای مدل طراحی و محدودیت‌های مدل بدست می‌آید.

در این راستا، به تحلیل سینماتیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده با بررسی قیود آن پرداخته می‌شود. این تحلیل با توجه به طراحی پیچیدهٔ مکانیزم، شامل دو لنگ و چهار لغزنده است. در این طراحی هر یک از لغزنده‌ها به لنگ‌های یک و چهار وصل بوده و حرکت آن‌ها نیز توسط یک الکتروموتور صورت می‌گیرد. موقعی که مکانیزم شروع بکار می‌کند؛ لرزش ناشی از نیرو و حرکت موجب ایجاد ارتعاشات می‌شود. بنابراین برای ایجاد بالانس، جرم‌های بالانس کننده به لنگ‌های دو و سه با در نظر گرفتن قیودی افزوده می‌شود.

بطوریکه تعیین مقدار بهینهٔ جرم‌ها و زاویهٔ قرارگیری آن‌ها منجر به حذف نیروهای نابالانسی و ایجاد بالانس دینامیکی می‌شود. از جمله کاربردهای این مکانیزم می‌توان به اتصال سیلندر و پیستون به میل لنگ در موتورهای دیزلی و بنزینی، کمپرسورهای هوا، چرخ‌های لکوموتیو، دستگاه‌های سوراخکاری و تخریب بتون و ربات‌های آدم‌نما اشاره کرد.

مسالهٔ بهینه‌سازی بالانس دینامیکی این مکانیزم فقط با الگوریتم ژنتیک دودویی انجام گرفته شده است. بنابراین این پژوهش به عنوان اولین تحقیق در بهینه‌سازی با الگوریتم‌های پرندگان (PSO)، کلونی زنبور عسل مصنوعی (ABC)، رقابت استعماری (ICA)، جستجوی ممنوع (TS)، تبرید شبیه‌سازی شده (SA)، ترکیب جستجوی ممنوع و تبرید شبیه‌سازی شده (HSATS) و ترکیب ژنتیک و پرندگان (HGAPSO) محسوب می‌گردد. آزمایش تجربی و مقایسه نتایج بهینه‌سازی بالانس دینامیکی مکانیزم، نشان از بهبود زمان اجرا و جواب بهینه با کمترین هزینه تابع هدف می‌باشد.

## ۱-۲ ساختار پایان‌نامه

ساختار کلی پایان‌نامه شامل پنج فصل می باشد که مطالب ارائه شده در هر فصل به تفصیل ارائه شده است. ابتدا در فصل دو، به بررسی ارتعاشات و مشکلات آن می‌پردازیم و سپس به مفهوم بالانس و نابالانسی و دلایل نابالانسی در کار ماشین‌ها پرداخته می‌شود؛ و در نهایت تحلیل سینماتیکی مسالهٔ بالانس دینامیکی مکانیزم پیچیدهٔ لنگ و لغزنده با محدودیت‌های (قیود) اساسی آن تبیین می‌شود.

در فصل سوم، روش متاهیورستیک مبتنی بر جمعیت تبیین می‌شود که مربوط به الگوریتم تکاملی و ژنتیکی است. سپس روش بالانس نیرو و حرکت در اتصالات مکانیزم چهار میله‌ای و لنگ و لغزنده را بیان می‌کنیم. در بهینه‌سازی این اتصالات، رقابت بین توابع هدف مختلف برای بالانس نیرو و حرکت با متغیرهای مستقل انجام می‌گیرد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی، کارایی قابل مقایسه‌تری از نظر زمان و هزینه تابع هدف را نشان می‌دهد. شایان ذکر است، روش‌های عددی و محاسباتی مکانیکی مختلفی برای بالانس دینامیکی

مکانیزم‌ها وجود دارد که هر کدام از این روش‌ها هدف و جایگاهی در این مساله دنبال می‌کنند؛ بنابراین در مستند سمینار شرح هر کدام به تفصیل بیان شده است.

در فصل چهارم، روش‌های بهینه‌سازی با الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای و چگونگی به کارگیری این روش‌ها تبیین می‌گردد. در این فصل جزئیات و نحوه پیاده‌سازی الگوریتم‌های پرندگان، کلونی زنبور عسل مصنوعی، رقابت استعماری، جستجوی ممنوع، شبیه‌سازی ذوب فلزات، ترکیب جستجوی ممنوع و شبیه‌سازی ذوب فلزات و ترکیب ژنتیک و پرندگان بیان می‌شود. و سپس به بررسی نتایج و نمودارهای پایداری و همگرایی آن‌ها پرداخته می‌شود.

در نهایت در فصل پنجم، نتیجه‌گیری کلی بیان می‌شود و پیشنهاداتی برای ادامهٔ کار در حوزهٔ بهینه‌سازی این مساله ارائه می‌گردد.