بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بهینه‌سازی پارتویی مکانیزم (Geneva)جنوا با تعداد شیارهای مختلف

از:

علی پورمحمدی

استاد راهنما:

دکتر محمد ابراهیم فلزی

مهر۹۲

دانشکده فنی

گروه مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

بهینه‌سازی پارتویی مکانیزم (Geneva)جنوا با تعداد شیارهای مختلف

از:

علی پورمحمدی

استاد راهنما:

دکتر محمد ابراهیم فلزی

استاد مشاور:

دکتر نادر نریمان‌زاده

مهر۹۲

تقدیم به:

خانواده مهربانم به خاطر تمام خوبی‌هایشان

تشکر و قدردانی

باسپاس بی کران از خالق هستی بخش، از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر محمد ابراهیم فلزی، به خاطر راهنمایی های ارزنده ایشان و به خاطر انتقال تجارب گرانقدرشان به اینجانب در طول انجام این پایان نامه، کمال تشکر و قدردانی را دارم که افزون بر مسیر علم، مسیر زندگی را نیز بر اینجانب روشن و میسر نمودند. همچنین از استاد مشاور بزرگوارم، دکتر نادر نریمان زاده به خاطر زحمات و راهنمایی های ارزنده شان سپاسگزارم.

همچنین از دکتر جمالی به خاطر راهنمایی های ارزشمند و لطف و مساعدتشان که در انجام این پایان نامه گره گشای کار من بود، سپاسگزارم.

هم چنین، بر خود فرض می دارم که از دکتر باقری، دکتر محمود آبادی، دکتر چابنخش و دیگر اساتید گران قدر و محترم گروه مکانیک- طراحی کاربردی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه گیلان، صمیمانه قدردانی نمایم.

در انتها از همه ی دوستان خوبم که به نوعی یاری گر اینجانب در انجام پایان نامه بودند، صمیمانه تشکر می نمایم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده فارسی ..... ذ
چکیده انگلیسی ..... ر

فصل۱ مقدمه ۱
۱-۱ پیشگفتار ۲
۱-۲ تاریخچه مکانیزم‌ها ۴
۱-۳ بهینه‌سازی ۸
۱-۳-۱ مفاهیم کلی بهینه‌سازی ۹
۱-۳-۲ مفاهیم بهینه‌سازی چندهدفی ۱۱
۱-۴ نوآوری‌های پایان‌نامه ۱۴
۱-۵ ساختار کلی پایان‌نامه ۱۵

فصل۲ معرفی مکانیزم جنوا و فرمول‌بندی آن ۱۶
۲-۱ مقدمه ۱۷
۲-۲ تاریخچه مکانیزم جنوا ۱۷
۲-۳ مکانیزم جنوا ۱۸
۲-۳-۱ مزایا و محدودیت‌های مکانیزم جنوا ۱۸
۲-۳-۲ انواع مکانیزم جنوا ۱۹
۲-۳-۳ نکاتی مفید در مورد طراحی مکانیزم جنوا ۲۰
۲-۳-۴ پیکربندی مکانیزم جنوا ۲۲
۲-۴ کارهای پیشین انجام‌شده ۲۲
۲-۵ معادلات سینماتیکی بی‌بعدشده حاکم برحرکت ۲۴
۲-۵-۱ چرخ جنوای چهار شیار ۲۴
۲-۵-۲ چرخ جنوای سه شیار ۲۸
۲-۵-۳ چرخ جنوای پنج شیار ۳۰
۲-۵-۴ چرخ جنوای شش شیار ۳۲
۲-۶ مقایسه مشخصات خروجی مکانیزم جنوا با تعداد شیارهای مختلف در حالت سرعت ورودی ثابت ۳۵
۲-۷ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی فصل ۳۶

فصل۳ روش‌های بهینه‌سازی تک‌هدفی و چندهدفی ۳۷
۳-۱ مقدمه ۳۸
۳-۲ مفاهیم بهینه‌سازی ۳۸
۳-۲-۱ مفاهیم بهینه‌سازی تک هدفی ۳۸
۳-۲-۲ تعاریف و مفاهیم بهینه‌سازی چند هدفی ۳۹
۳-۳ روش‌های بهینه‌سازی تک هدفی ۴۱
۳-۳-۱ الگوریتم ژنتیک ۴۱
۳-۳-۲ الگوریتم رقابت استعماری(ICA) ۴۳

۳-۳-۳ الگوریتم تجمعی ذره(ازدحام ذرات) ۴۵
۳-۳-۴ الگوریتم ترکیبی ژنتیک و تجمعی ذره ۵۰
۳-۴ روش‌های بهینه‌سازی چند هدفی ۵۴
۳-۴-۱ روش بهینه‌سازی مرتب‌سازی نقاط غیربرتر نسخه دوم(NSGA-II) ۵۴
۳-۴-۲ روش بهینه‌سازیMUGA ۵۶
۳-۴-۳ روش بهینه سازی چند هدفی تجمعی ذره ۵۸
۳-۵ روش بهینه سازی چند هدفی پیشنهادی تجمعی ذره ۶۰
۳-۵-۲ مقایسه روش‌های بهینه‌سازی چندهدفی ۶۶
۳-۶ نتیجه گیری و جمع بندی فصل ۶۸

فصل۴ بهینه‌سازی مکانیزم جنوا با شیارهای مختلف ۶۹

۴-۱ مقدمه ۷۰
۴-۲ تعریف مسئله بهینه‌سازی ۷۰
۴-۲-۱ فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی ۷۰
۴-۳ مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های بهینه‌سازی بر روی مکانیزم جنوا ۷۲
۴-۳-۱ مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفی ۷۲
۴-۳-۲ مقایسه روش‌های بهینه سازی چند هدفی ۷۵
۴-۴ بهینه‌سازی مکانیزم جنوای چهارشیار ۷۶
۴-۴-۱ بهینه‌سازی تک هدفی ۷۶
۴-۴-۲ بهینه‌سازی چندهدفی ۷۹
۴-۵ بهینه‌سازی مکانیزم جنوای سه شیار ۸۸
۴-۵-۱ بهینه‌سازی تک هدفی ۸۸
۴-۵-۲ بهینه‌سازی چندهدفی ۹۰
۴-۶ بهینه‌سازی مکانیزم جنوای پنج شیار ۹۷
۴-۶-۱ بهینه سازی تک هدفی ۹۷
۴-۶-۲ بهینه‌سازی چندهدفی ۹۹
۴-۷ بهینه سازی مکانیزم جنوای شش شیار ۱۰۵
۴-۷-۱ بهینه سازی تک هدفی ۱۰۵
۴-۷-۲ بهینه‌سازی چندهدفی ۱۰۷
۴-۸ مقایسه نتایج حاصل از بهینه‌سازی چرخ جنوا با شیارهای مختلف و با روش سرعت ورودی متغیر ۱۱۴
۴-۹ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری فصل ۱۱۶

فصل۵ نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای ادامه کار ۱۱۷

۵-۱ نتیجه‌گیری ۱۱۸
۵-۲ پیشنهادها ۱۲۰
مراجع ۱۲۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱:مشخصات خروجی چرخ جنوای چهارشیار با سرعت زاویه ای ورودی ثابت $\mathbf{1rads}$ ۲۸
جدول ۲-۲:مشخصات خروجی چرخ جنوای سه شیار با سرعت زاویه ای ورودی ثابت $\mathbf{1rads}$ ۳۰
جدول ۲-۳:مشخصات خروجی چرخ جنوای پنج شیار با سرعت زاویه ای ورودی ثابت $\mathbf{1rads}$ ۳۲
جدول ۲-۴:مشخصات خروجی چرخ جنوای شش شیار با سرعت زاویه‌ای ورودی ثابت $\mathbf{1rads}$ ۳۴
جدول ۲-۵: مقایسه مشخصات خروجی مکانیزم جنوا با شیارهای مختلف در حالت سرعت ورودی ثابت ۳۵
جدول ۳-۱: توابع محک بهینه سازی چندهدفی ۶۷
جدول ۳-۲: مقایسه نتایج بهینه‌سازی چندهدفی بر روی توابع محک ۶۸
جدول ۴-۱ : توابع هدف مسئله بهینه‌سازی ۷۲
جدول ۴-۲ : مقایسه روش های بهینه سازی برای چرخ جنوای چهارشیار با تابع هدف بی‌بعدشده A ۷۲
جدول ۴-۳: مقایسه روش های بهینه سازی برای چرخ جنوای چهارشیار با تابع هدف بی‌بعدشده J ۷۴
جدول ۴-۴: مقایسه مشخصات نقاط مصالحه روش‌های بهینه‌سازی برای دوتابع هدف(J,A) برای چرخ جنوای چهارشیار ۷۵
جدول ۴-۵: بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای چهارشیار ۷۷
جدول ۴-۶: نتایج حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی چرخ جنوای چهارشیار ۸۱
جدول ۴-۷ :نتایج حاصل از بهینه‌سازی چهارهدفی چرخ جنوای چهارشیار ۸۷
جدول ۴-۸: نتایج بهینه‌سازی تک‌هدفی چرخ جنوای سه شیار ۸۸
جدول ۴-۹: نتایج حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی چرخ جنوای سه شیار ۹۲
جدول ۴-۱۰: نتایج حاصل از بهینه سازی چرخ جنوای سه‌شیار ۹۶
جدول ۴-۱۱: نتایج بهینه‌سازی تک هدفی چرخ‌جنوای پنج شیار ۹۷
جدول ۴-۱۲: نتایج حاصل از بهینه سازی دوهدفی چرخ جنوای پنج شیار ۱۰۰
جدول ۴-۱۳: نتایج حاصل از بهینه سازی چرخ جنوای پنج شیار ۱۰۵
جدول ۴-۱۴: نتایج بهینه‌سازی تک‌هدفی چرخ‌جنوای شش‌شیار ۱۰۶
جدول ۴-۱۵: نتایج حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی چرخ جنوای شش شیار ۱۰۹
جدول ۴-۱۶: نتایج حاصل از بهینه سازی چرخ جنوای شش شیار در مقایسه با حالت سرعت ورودی ثابت ۱۱۳
جدول ۴-۱۷: مشخصات خروجی و متغیرهای طراحی برای نقاط مصالحه حاصل از بهینه سازی چهارهدفی برروی چرخ جنوا با شیارهای مختلف ۱۱۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: مسئله بهینه‌سازی چندهدفی نمونه با توابع هدف f_1وf_2 ..... ۱۲
شکل ۲-۱: کاربرد مکانیزم جنوا در شمارنده ها ۱۷
شکل ۲-۲: مکانیزم جنوا از نوع خارجی، چهار شیار ۱۹
شکل ۲-۳: مکانیزم جنوا از نوع داخلی، چهارشیار ۱۹
شکل ۲-۴: مکانیزم جنوا از نوع کروی، چهارشیار ۲۰
شکل ۲-۵: مکانیزم جنوای چهار شیار با زاویه انحراف ورودی β ۲۰
شکل ۲-۶: نمای سینماتیکی مکانیزم جنوا ۲۱
شکل ۲-۷:منحنی طراحی برای مکانیزم جنوای سنتی ۲۱
شکل ۲-۸: پیکربندی مکانیزم جنوا ۲۲
شکل ۲-۹: نحوه حرکت چرخ جنوا ۲۴
شکل ۲-۱۰: بررسی سینماتیکی مکانیزم جنوای چهارشیار ۲۵
شکل ۲-۱۱: نمودارهای مشخصات خروجی بی‌بعد شده برای مکانیزم جنوای چهارشیار با سرعت ورودی ثابت ۲۷
شکل ۲-۱۲: نمودارهای مشخصات خروجی بی‌بعد شده برای مکانیزم جنوای سه شیار با سرعت ورودی ثابت ۳۰
شکل ۲-۱۳: چرخ جنوای پنج شیار ۳۰
شکل ۲-۱۴: نمودارهای مشخصات خروجی بی‌بعد شده برای مکانیزم جنوای پنج شیار با سرعت ورودی ثابت ۳۲
شکل ۲-۱۵: چرخ جنوای شش شیار ۳۳
شکل ۲-۱۶: نمودارهای مشخصات خروجی بی بعد شده برای مکانیزم جنوای شش شیار با سرعت ورودی ثابت ۳۴
شکل ۲-۱۷: مقایسه مشخصات خروجی مکانیزم جنوا با شیارهای مختلف در حالت سرعت ورودی ثابت ۳۵
شکل ۳-۱: مفهوم برتری در فضای دوهدفی. ذره گوشه سمت چپ، بر بقیه ذرات برتر است. ۳۹
شکل ۳-۲: جبهه پارتو مجموعه‌ای از جواب ها در فضای دوهدفی ۴۰
شکل ۳-۳: عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک ۴۲
شکل ۳-۴: روند کلی الگوریتم ژنتیک ۴۳
شکل ۳-۵: استعمارگران اولیه تولیدشده و مستعمرات آن‌ها در الگوریتم رقابت استعماری ۴۴
شکل ۳-۶: چگونگی جابجایی کشور مستعمره در راستای سیاست جذب در الگوریتم رقابت استعماری ۴۴
شکل ۳-۷: روند کلی الگوریتم رقابت استعماری ۴۵
شکل ۳-۸: چگونگی حرکت ذره در روش تجممعی ذره ۴۸
شکل ۳-۹: شبه‌برنامه روش تجمعی ذره استاندارد ۴۹
شکل ۳-۱۰: شبه‌کد روش*GAPSO* ۵۳
شکل ۳-۱۱: نحوه محاسبه معیار ازدحام جمعیت در *NSGA-II* ۵۵
شکل ۳-۱۲: نمای کلی از عملکرد الگوریتم *NSGA-II* ۵۶
شکل ۳-۱۳: زیربرنامه *ε-elimination* در الگوریتم *MUGA*[۸۸] ۵۷
شکل ۳-۱۴: روند کلی الگوریتم *MUGA* ۵۸
شکل ۳-۱۵: روند کلی الگوریتم بهینه سازی چندهدفی تجمعی ذره ۶۰
شکل ۳-۱۶: عملگر حذف در فضای دوهدفی ۶۵
شکل ۳-۱۷: شبه برنامه الگوریتم پیشنهادی بهینه‌سازی چندهدفی تجمعی ذره ۶۶

شکل ۳-۱۸: پارامتر تنوع(Δ) ۶۷
شکل ۴-۱: مقایسه حداکثر شتاب‌زاویه ای چرخ جنوا برای روش‌های مختلف بهینه‌سازی تک هدفی ۷۳
شکل ۴-۲: مقایسه حداکثرتکانه‌زاویه‌ای چرخ جنوا برای روش‌های مختلف بهینه‌سازی تک هدفی ۷۴
شکل ۴-۳: مقایسه نتایج حاصل از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفی برای چرخ جنوای چهارشیار ۷۵
شکل ۴-۴: مقایسه حداکثرشتاب‌زاویه ای حاصل از بهینه‌سازی تک‌هدفی چرخ‌جنوای چهارشیار(تابع هدف A) ۷۷
شکل ۴-۵: مقایسه حداکثرتکانه‌زاویه‌ای حاصل از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای چهارشیار(تابع هدف J) ۷۸
شکل ۴-۶: : مقایسه مقدار $J_{first}+J_{end}$ حاصل از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای چهارشیار(تابع هدف$J_{first}+J_{end}$) ۷۸
شکل ۴-۷: مقایسه مقدار تابع V حاصل از بهینه سازی تک هدفی چرخ جنوای چهارشیار(تابع هدف V) ۷۹
شکل ۴-۸: جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی (A ، J) چرخ جنوای چهارشیار ۸۰
شکل ۴-۹: جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی (V ، J) چرخ جنوای چهارشیار ۸۰
شکل ۴-۱۰: جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی ($J_{first}+J_{end}$ ، J) چرخ جنوای چهارشیار ۸۰
شکل ۴-۱۱: مشخصات خروجی و سرعت زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای چهارشیار برای نقطه مصالحه $C1$ حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی (A، J) ۸۲
شکل ۴-۱۲: مشخصات خروجی و سرعت زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای چهارشیار برای نقطه مصالحه $C2$ حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی (V، J) ۸۳
شکل ۴-۱۳: مشخصات خروجی و سرعت زاویه‌ای‌ورودی چرخ‌جنوای‌چهارشیار برای نقطه مصالحه $C3$ حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی ($J_{first}+J_{end}$ ، J) ۸۴
شکل ۴-۱۴:نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای چهارشیار در صفحه (A، J) همراه با جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی(A، J) ۸۵
شکل ۴-۱۵: نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای چهارشیار در صفحه (V، J) همراه با جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی(V، J) ۸۵
شکل ۴-۱۶: نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای چهارشیار در صفحه ($J_{first}+J_{end}$ ، J) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی($J_{first}+J_{end}$ ، J) ۸۵
شکل ۴-۱۷: نمایش نیمه لگاریتمی نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای چهارشیار در صفحه ($J_{first}+J_{end}$ ، J) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی($J_{first}+J_{end}$ ، J) ۸۶
شکل ۴-۱۸: مشخصات خروجی و سرعت‌زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای چهارشیار برای نقطه مصالحه G حاصل از بهینه‌سازی چهارهدفی ۸۷
شکل ۴-۱۹: شتاب زاویه‌ای بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای سه شیار(تابع هدف A) ۸۹
شکل ۴-۲۰: تکانه‌اویه‌ای بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای سه‌شیار(تابع هدف J) ۸۹
شکل ۴-۲۱: تکانه‌اویه‌ای بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای سه‌شیار(تابع هدف$J_{first}+J_{end}$) ۸۹
شکل ۴-۲۲: مقدار تابع سرعت‌زاویه‌ای بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای سه‌شیار (تابع هدف V) ۹۰
شکل ۴-۲۳: جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی (A ، J) چرخ جنوای سه شیار ۹۱
شکل ۴-۲۴: جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی (V ، J) چرخ جنوای سه شیار ۹۱
شکل ۴-۲۵: جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی ($J_{first}+J_{end}$ ، J) چرخ جنوای سه شیار ۹۱
شکل ۴-۲۶: مشخصات خروجی و سرعت زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای سه شیار برای نقطه مصالحه $C1$ حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی (A، J) ۹۲
شکل ۴-۲۷: مشخصات خروجی و سرعت زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای سه شیار برای نقطه مصالحه $C2$ حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی (V، J) ۹۳
شکل ۴-۲۸: مشخصات خروجی و سرعت‌زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای سه‌شیار برای نقطه‌مصالحه $C3$ حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی ($J_{first}+J_{end}$ ، J) ۹۳

شکل ۴-۲۹: نمایش نتایج بهینه‌سازی چهارهدفی چرخ جنوای سه شیار در صفحه (J ،A) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی(J ،A) ۹۴
شکل ۴-۳۰: نمایش نتایج بهینه‌سازی چهارهدفی چرخ جنوای سه شیار در صفحه (J ،V) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی(J ،V) ۹۴
شکل ۴-۳۱: نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای سه شیار در صفحه (J ، $J_{first}+J_{end}$) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی(J ، $J_{first}+J_{end}$) ۹۵
شکل ۴-۳۲: نمایش نیمه لگاریتمی نتایج بهینه‌سازی چهارهدفی چرخ جنوای سه شیار در صفحه (J ، $J_{first}+J_{end}$) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی(J ، $J_{first}+J_{end}$) ۹۵
شکل ۴-۳۳: مشخصات خروجی و سرعت زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای سه شیار برای نقطه مصالحه G حاصل از بهینه‌سازی چهارهدفی ۹۶
شکل ۴-۳۴: مقایسه حداکثرشتاب زاویه‌ای بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای پنج‌شیار(تابع هدف A) با حالت سرعت ورودی ثابت ۹۸
شکل ۴-۳۵: مقایسه حداکثرشتاب زاویه‌ای بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای پنج‌شیار (تابع هدف J) با حالت سرعت ورودی ثابت ۹۸
شکل ۴-۳۶: مقایسه مقدار $J_{first}+J_{end}$ بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ‌جنوای پنج‌شیار(تابع هدف$J_{first}+J_{end}$) با حالت سرعت‌ورودی‌ثابت ۹۸
شکل ۴-۳۷: مقایسه مقدار تابع V بدست آمده از بهینه سازی تک هدفی چرخ جنوای پنج شیار(تابع هدف V) با حالت سرعت ورودی ثابت ۹۸
شکل ۴-۳۸: جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی (J ، A) چرخ جنوای پنج شیار ۹۹
شکل ۴-۳۹: جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی (J ، V) چرخ جنوای پنج شیار ۹۹
شکل ۴-۴۰: جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی (J ، $J_{first}+J_{end}$) چرخ جنوای پنج شیار ۱۰۰
شکل ۴-۴۱: مشخصات خروجی و سرعت زاویه ای ورودی چرخ جنوای پنج شیار برای نقطه مصالحه $C1$ حاصل از بهینه سازی دوهدفی (J ،A) ۱۰۱
شکل ۴-۴۲: مشخصات خروجی و سرعت زاویهای ورودی چرخ جنوای پنج شیار برای نقطه مصالحه $C2$ حاصل از بهینه سازی دوهدفی (J ،V) ۱۰۱
شکل ۴-۴۳: مشخصات خروجی و سرعت‌زاویه‌ای ورودی چرخ‌جنوای پنج شیار برای نقطه‌مصالحه $C3$ حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی (J ، $J_{first}+J_{end}$) ۱۰۲
شکل ۴-۴۴: نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای پنج شیار در صفحه (J ،A) همراه با جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی(J ،A) ۱۰۳
شکل ۴-۴۵: نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای پنج شیار در صفحه (J ،V) همراه با جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی(J ،V) ۱۰۳
شکل ۴-۴۶: نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای پنج شیار در صفحه (J ، $J_{first}+J_{end}$) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی(J ، $J_{first}+J_{end}$) ۱۰۳
شکل ۴-۴۷: نمایش نیمه لگاریتمی نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای سه شیار در صفحه (J ، $J_{first}+J_{end}$) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی(J ، $J_{first}+J_{end}$) ۱۰۴
شکل ۴-۴۸: مشخصات خروجی و سرعت زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای پنج شیار برای نقطه مصالحه G حاصل از بهینه‌سازی چهارهدفی ۱۰۴
شکل ۴-۴۹: مقایسه حداکثرشتاب‌زاویه‌ای بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای شش‌شیار(تابع هدف A) با حالت سرعت ورودی ثابت ۱۰۶
شکل ۴-۵۰:مقایسه حداکثرتکانه‌زاویه‌ای بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای شش‌شیار(تابع هدف J) با حالت

سرعت‌ورودی ثابت ۱۰۶
شکل ۴-۵۱: مقایسه مقدار $J_{first}+J_{end}$ بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای شش‌شیار (تابع هدف $J_{first}+J_{end}$) با حالت سرعت ورودی ۱۰۷
شکل ۴-۵۲: مقایسه مقدار تابع V بدست‌آمده از بهینه‌سازی تک هدفی چرخ جنوای شش‌شیار (تابع هدف V) با حالت سرعت ورودی ثابت ۱۰۷
شکل ۴-۵۳: جبهه پارتوی حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی (A ، J) چرخ جنوای شش شیار ۱۰۸
شکل ۴-۵۴: جبهه پارتوی حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی (V ، J) چرخ جنوای شش شیار ۱۰۸
شکل ۴-۵۵: جبهه پارتوی حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی ($J_{first}+J_{end}$ ، J) چرخ جنوای شش شیار ۱۰۸
شکل ۴-۵۶: مشخصات خروجی و سرعت زاویه ای ورودی چرخ جنوای شش شیار برای نقطه مصالحه $C1$ حاصل از بهینه سازی دوهدفی (A، J) ۱۰۹
شکل ۴-۵۷: مشخصات خروجی و سرعت زاویه ای ورودی چرخ جنوای شش شیار برای نقطه مصالحه $C2$ حاصل از بهینه سازی دوهدفی (V، J) ۱۱۰
شکل ۴-۵۸: مشخصات‌خروجی و سرعت‌زاویه‌ای ورودی چرخ‌جنوای شش‌شیار برای نقطه‌مصالحه $C3$ حاصل از بهینه‌سازی دوهدفی ($J_{first}+J_{end}$ ، J) ۱۱۰
شکل ۴-۵۹: نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای شش شیار در صفحه (A، J) همراه با جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی(A، J) ۱۱۱
شکل ۴-۶۰: نمایش نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای شش شیار در صفحه (V، J) همراه با جبهه پارتوی بهینه سازی دوهدفی(V، J) ۱۱۱
شکل ۴-۶۱: نمایش نتایج بهینه‌سازی چهارهدفی چرخ جنوای شش شیار در صفحه ($J_{first}+J_{end}$ ، J) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی($J_{first}+J_{end}$ ، J) ۱۱۲
شکل ۴-۶۲: نمایش نیمه لگاریتمی نتایج بهینه سازی چهارهدفی چرخ جنوای شش شیار در صفحه ($J_{first}+J_{end}$ ، J) همراه با جبهه پارتوی بهینه‌سازی دوهدفی($J_{first}+J_{end}$ ، J) ۱۱۲
شکل ۴-۶۳: مشخصات خروجی و سرعت زاویه‌ای ورودی چرخ جنوای شش شیار برای نقطه مصالحه G حاصل از بهینه‌سازی چهارهدفی ۱۱۳
شکل ۴-۶۴:مقایسه مشخصات خروجی چرخ‌جنوا (شیارهای مختلف) با سرعت ورودی متغیر ۱۱۵

چکیده

بهینه‌سازی پارتویی مکانیزم جنوا با شیارهای مختلف

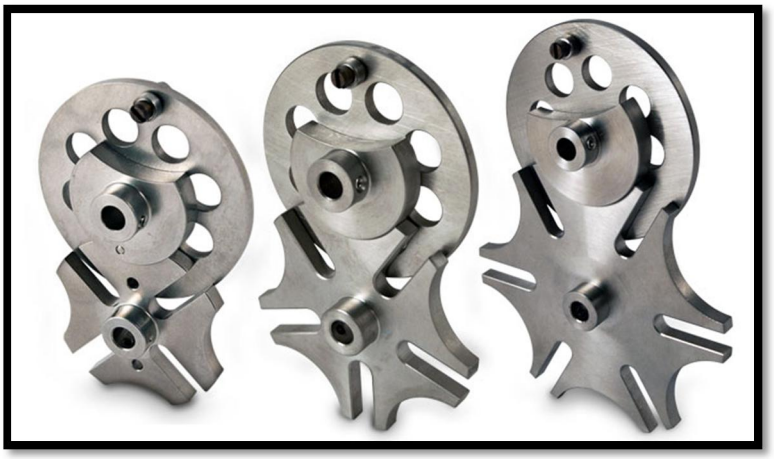
علی پورمحمدی

مکانیزم‌ها به‌منظور انتقال حرکت یا نیرو از یک منبع به یک خروجی بکار می روند. در روش‌های سنتی، از روش سرعت ورودی ثابت برای راندن مکانیزم‌ها استفاده می‌کردند و برای دستیابی به مکانیزمی با خصوصیات سینماتیکی بهتر، اقدام به طراحی دوباره مکانیزم‌ها می‌کردند. در این پایان‌نامه، برای بهبود مشخصات خروجی مکانیزم جنوا با شیارهای مختلف، از روش سرعت ورودی متغیر استفاده‌شده‌است. مکانیزم جنوا یکی از پرکاربردترین مکانیزم‌ها درصنعت است و بدلیل سادگی و ارزانی جزو اولین انتخاب‌ها برای تولید حرکت دورانی متناوب می‌باشد. علاوه بر سادگی و کاربردهای فراوان مکانیزم‌های جنوا، مقدار شتاب زاویه‌ای خروجی و گرادیان آن در ابتدا و انتهای مسیر تماس پین با شیار مخالف صفر می‌باشد و این موضوع باعث تولید تکانه زاویه‌ای خواهدشد. همچنین بیشینه شتاب و تکانه زاویه‌ای در طول مسیر تماس پین با شیار زیاد است که مقدار زیاد این دو مشخصه می‌تواند باعث خوردگی، ناپایداری و آسیب به خط تولید و دستگاه وکارکرد ضعیف در کاربردهای دقیق شود. بنابراین برای غلبه بر این محدودیت‌ها، کاهش این مشخصات مطلوب بنظر می رسد، همچنین اگر سرعت‌زاویه‌ای خروجی کنترل شود، مکانیزم روان‌تر کار می‌کند.

به‌منظور دستیابی به بهینه‌ترین سرعت ورودی متغیر برای بهبود مشخصات خروجی مکانیزم جنوا، ابتدا از روش بهینه‌سازی تک‌هدفی و سپس به‌منظور وسیع‌تر کردن گستره انتخاب طراح از بهینه‌سازی چندهدفی استفاده‌شده‌است. برای بهینه‌سازی تک‌هدفی، روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و روش تجمعی ذره بکار گرفته شده‌است. برای بهینه‌سازی پارتویی، ابتدا الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفی روش تجمعی ذره استاندارد بوسیله ترکیب با الگوریتم‌های قدرتمند دیگر بهبود داده‌شد. کارایی این الگوریتم با بکارگیری آن بر روی چندین تابع آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت و عملکرد مطلوب آن نشان داده‌شده‌است. سپس به‌منظور دستیابی به مجموعه نقاط بهینه غیربرتر در جبهه پارتو، از روش پیشنهادی استفاده شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی، برتری استفاده از روش سرعت ورودی متغیر نسبت به روش سرعت ورودی ثابت و کارهای پیشین را نشان می دهد. این مهم در راستای بدون ضربه‌کردن مکانیزم جنوا که یکی از مکانیزم‌های پرکاربرد در صنعت است، گامی رو به جلو می‌باشد. این روند برای مکانیزم جنوا با شیارهای مختلف انجام شده‌است تا طراح بتواند مطابق نیاز خود از بین جواب‌های بهینه، سرعت ورودی مناسب را انتخاب نماید.

کلید واژه‌ها: مکانیزم جنوا، سرعت ورودی متغیر، بهینه‌سازی چندهدفی، جبهه پارتو، روش تجمعی ذره

فصل ۱ **مقدمه**



۱-۱ پیشگفتار

بطور کلی مکانیزم، یک پدیده فیزیکی است که نتیجه آن یک عمل یا عکس العمل و یا یک پدیده فیزیکی می‌باشد. درعلم مکانیک، مکانیزم یک ابزار مکانیکی است که به منظور انتقال حرکت و یا نیرو از یک منبع به یک خروجی بکار می‌رود. ماشین نیز ترکیبی از مکانیزم‌هاست که وظیفه انتقال نیرو، حرکت یا انرژی را در یک مسیر مشخص برعهده دارد. یک مکانیزم همچنین می‌تواند بصورت ترکیبی از اجزاء صلب که نسبت به یکدیگر با یک سری قیدها حرکت می‌کنند، تعریف شود. طراحی و ترکیب‌بندی مکانیزم‌ها در انجام کارهای پیچیده، حرکت‌های غیرخطی کنترل‌شده و انتقال نیرو، از جمله مسایل مورد توجه مهندسان می‌باشد. بطور کلی طراحی یک مکانیزم و تعیین پارامترهای سینماتیکی آن برای سه کاربرد تولید تابع، تولید یک حرکت خاص و تولید مسیرمی باشد[۱]. در کاربرد تولید تابع، خروجی دارای تابع جابجایی، سرعت و یا شتاب مشخص است که به نوع مکانیزم بستگی دارد. این نوع مکانیزم‌ها معمولا ورودی یک مکانیزم دیگر هستند، مانند چرخ‌دنده‌های غیر دایروی برای تولید سرعت متغیر. در کاربرد تولید یک حرکت خاص، مکانیزم به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که خروجی آن یک حرکت خاص مانند حرکت لغزشی، دورانی و یا رفت وبرگشتی با دامنه مشخص انجام دهد، مانند مکانیزم جنوا برای تولید حرکت دورانی منقطع و یا لنگ لغزنده برای تولید حرکت رفت و برگشتی. در کاربرد تولید مسیر، خروجی برروی یک مسیر خاص حرکت می‌کند، مانند مکانیزم‌های چهارمیله‌ای برای تولید مسیر حرکت خاص. تاکنون تحلیل‌ها و ترکیب‌های بسیاری برروی انواع مکانیزم‌ها انجام گرفته‌است[۲، ۳]. استفاده از روش‌های نگاره‌ای و بطور خاص استفاده از اطلس منحنی‌ها، یکی از این روش‌ها بود که برای طراحی مکانیزم‌ها استفاده می‌شد[۴، ۵]. با این‌که این روش‌ها ساده و سریع هستند، ولی از دقت پایینی برخوردارند، بطوری‌که نمی‌توانند در طراحی وسیع انواع مکانیزم‌ها مورد استفاده قرارگیرند.

یکی از مکانیزم‌های پرکاربرد در صنعت، مکانیزم‌های با قابلیت تولید حرکت تناوبی هستند. این نوع مکانیزم‌ها در ابزارهای مختلفی مانند پروژکتورها، ماشین‌های ابزار، دستگاه‌های پرینت، ماشین‌های پرس، ابزارهای بسته‌بندی، ساعت‌ها، خطوط انتقال در کارخانه‌ها کاربرد دارند. مکانیزم‌هایی مانند چرخ‌دنده‌های ضامن‌دار[۱]، بادامک‌ها[۲]، چرخ‌دنده‌های متناوب[۳]، چرخ‌های ستاره‌ای[۴] و مکانیزم‌های جنوا[۵] قابلیت تولید این نوع حرکت را دارا می‌باشند که طراحی و ترکیب بسیاری از آن‌ها دشوار است و به‌ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند[۶، ۷، ۸].

اگرچه انواع مختلفی از ابزارها برای تولید حرکت متناوب طراحی شده‌اند، اما مکانیزم‌های جنوا به‌دلیل سادگی و ارزانی و منحنی‌های هموارحرکت و قابلیت تحمل بار مناسب و عمر زیاد، همواره جزو اولین انتخاب‌ها برای تولید حرکت تناوبی با

[1] Ratchet Gears
[2] Indexing Cams
[3] Intermittent Gears
[4] Star Wheels
[5] Geneva Mechanisms

توقف هستند[۹]. مکانیزم‌های جنوا نسبت به چرخ‌دنده‌های ضامن‌دار، منحنی‌های خروجی روان‌تر و نسبت به بادامک‌ها و چرخ‌های ستاره‌ای ارزان‌تر هستند[۹]. مکانیزم‌های جنوای سنتی علاوه‌بر سادگی و کاربردهای فراوان، دارای مشکل‌هایی نیز می‌باشند. در مکانیزم جنوا منحنی‌های خروجی حرکت در اختیار طراح نیستند و شتاب زاویه‌ای خروجی وگرادیان آن ازمقداری غیر صفر شروع می‌شوند و با مقداری غیرصفر پایان می‌یابند. این مشکل باعث تولید تکانه زاویه‌ای در ابتدا و انتهای مسیر تماس پین با شیار و همچنین مقدارتکانه زاویه‌ای غیر صفر در طول مسیر می‌شود. همچنین بیشینه شتاب زاویه‌ای درطول مسیر زیاد است، این خصوصیات در سرعت‌های بالا می‌تواند به خط تولید و دستگاه آسیب برساند و باعث کارکرد ضعیف مکانیزم در کاربردهای دقیق می‌شود[۹]. تاکنون راه‌های زیادی برای اصلاح مکانیزم جنوا پیشنهاد شده‌است که از جمله آن‌ها به قراردادن دو چرخ جنوا درکنار یکدیگر[۱۰]، چرخ جنوا با شیارهای منحنی شکل[۱۱]، چرخ جنوا با دو لنگ ورودی[۱۲] می‌توان اشاره کرد. اکثر روش‌های پیشنهادشده تابحال، به طراحی دوباره مکانیزم برای رسیدن به مشخصات بهتر تمرکز کرده‌اند.

در روش‌های قدیمی برای بهبود خواص خروجی مکانیزم‌ها، ورودی مکانیزم‌ها ثابت نگه‌داشته می‌شد و اقدام به طراحی دوباره مکانیزم با خواص سینماتیکی و دینامیکی بهتر می‌شد. در حقیقت کنترل خواص خروجی مکانیزم‌ها، زمانی‌که ورودی در اختیار طراح و قابل کنترل باشد، بسیار راحت‌تر خواهد بود. بنابراین هزینه طراحی دوباره مکانیزم‌ها با خواص خروجی بهتر و مطابق میل طراح، کمتر خواهدشد. اخیرا پیشرفت سرو-موتورها، محققان را به کنترل ورودی مکانیزم‌ها توسط کامپیوتر به‌جای استفاده از موتورهای با دور ثابت علاقمند کرده‌است. این مکانیزم‌های ترکیب‌شده با سرو-موتورها دارای خواص سینماتیکی بهتری هستند.

ایده استفاده از سرعت ورودی متغیر در مکانیزم‌ها، اولین بار در یک مکانیزم بادامک به‌کارگرفته‌شد[۱۳]. ورودی آن مکانیزم، خرجی یک مکانیزم برگشت سریع ویت-ورث[1] بود که توانست با استفاده از سرعت ورودی متغیر، زاویه فشار را کاهش دهد. دانشمندان در سال‌های بعد هم بصورت تئوری و هم بصورت تجربی نشان دادند که با متغیرگرفتن سرعت ورودی در مکانیزم بادامک و پیرو، می‌توان مشخصات خروجی را بهبود بخشید و کنترل کرد[۱۵،۱۴]. در سال‌های بعد سرعت ورودی متغیر برای مکانیزم‌های دیگری مانند ماشین پرس از نوع وات، مکانیزم چهارمیله‌ای و مکانیزم لنگ لغزنده بکارگرفته‌شد و بهبود مشخصات خروجی آن‌ها نشان داده‌شد[۱۶، ۱۷، ۱۸].

برخلاف مطالعه‌های زیاد بر روی مکانیزم‌جنوا و طراحی ساختارهای متفاوت آن، مطالعات اندکی برای بهینه‌سازی مشخصات آن با استفاده از روش‌های بهینه سازی انجام شده‌است. در چند دهه اخیر، کاربردگسترده روش‌های مختلف بهینه‌سازی در زمینه‌های مختلف علوم، صنعت، تجارت و بخصوص طراحی مهندسی توجه بسیاری از محققان را بسوی خود

[1] Withworth Quick-return Mechanism

جلب کرده‌است. درحقیقت، قدمت بهینه‌سازی به سال۳۰۰ قبل از میلاد مسیح، زمانی که کمترین فاصله بین نقطه و خط توسط اقلیدس کشف شد، برمی‌گردد.

در سال۲۰۰۸ روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مشخصات خروجی مکانیزم جنوای چهارشیار مورد استفاده قرار گرفت و نتایج قابل قبولی ارایه‌شد[۱۹، ۲۰]. از این رو استفاده از روش‌های قوی‌تر و با در نظر گرفتن معیارهای بهینه‌سازی بیشتر برای بهبود مشخصات جنوا با شیارهای مختلف به‌منظور دستیابی به مکانیزمی بدون ضربه، قابل تامل می‌باشد و انتخاب گسترده‌تری را در اختیار طراح قرار می‌دهد. در این پایان‌نامه روش سرعت ورودی متغیر برای شیارهای مختلف چرخ جنوا بکارگرفته‌شد. برای بهینه‌سازی چرخ جنوا، ابتدا عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی تجمعی ذره بوسیله ترکیب با الگوریتم‌های دیگر بهبود داده‌شد. سپس با مدل کردن سرعت ورودی مکانیزم توسط یک چندجمله‌ای، از الگوریتم بهینه‌سازی تجمعی ذره چندهدفی پیشنهادی برای دستیابی به مشخصات خروجی بهتر و کاهش مشکلات ناشی از ضربه استفاده شده‌است. این روند بهینه‌سازی برروی شیارهای مختلف چرخ جنوا پیاده‌سازی شده‌است تا طراح مطابق نیاز خود از بین گزینه‌های موجود، انتخاب نماید.

۱-۲ تاریخچه مکانیزم‌ها

انسان از دیرباز دریافته‌است که توانش برای انجام بعضی کارها مثلا حرکت وزنه‌های سنگین کافی نیست. از بناهای یادبود که از سنگ‌های بزرگ و سنگین ساخته شده‌اند چنین بر می‌آید که این مورد یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های آن دوران بود. ویتروویس[1] مهندس نظامی در ۲۸ سال پیش از میلاد مسیح، ماشین را بصورت "ترکیبی از الوار متصل به هم که خصوصا در حرکت اجسام بزرگ موثرند" تعریف کرد. حدود یک قرن بعد اهرون اسکندران[2] فعالیت زمان خود را در نام بردن از پنج ماشین ساده اهرم،چرخ چاه، پیچ اعمال قدرت، گوه و جعبه قرقره(چرخک) جهت "جابجایی یک وزنه یا نیروی مشخص" خلاصه کرد. تقریبا تا پایان قرن نوزدهم، ساختار مجموعه‌های پیچیده را این پنج قدرت تشکیل می‌داد[۲۱].

امروزه دیگر چنین فرض نمی‌کنیم که لزوما ماشین از یک جسم نظیر اهرم تشکیل می‌شود. ماشین از دید فعلی، شامل مجموعه‌هایی است که مرکب از شش جزء مکانیکی اصلی می‌باشند، که حدودا در سال ۱۸۷۵ توسط فرانتس رولو[3]، دانشمند آلمانی تعریف شدند. این اجزاء عبارتند از: (۱) بند I شکلی به نام لنگ[4] در سینماتیک، (۲) چرخ شامل چرخدنده‌ها، (۳) بادامک در اشکال گوناگون، (۴) پیچ برای ارتباط حرکت و نیرو، (۵) وسایلی که در نام‌گذاری بهتر چرخ ضامن‌دار نامیده شده‌اند، (۶) ابزارهای کششی، فشاری یا قطعاتی که دارای صلبیت یکطرفه‌اند، مانند تسمه‌ها(زنجیرها). هر یک از این اجزاء در

[1] Vitruvius
[2] Hero of Alexandria
[3] Franz Reuleaux
[4] Crank

روزگار باستان اختراع و به نحوی تا قبل از آغاز عصر مسیحیت به‌تنهایی یا در ترکیب استفاده می‌شدند. یکی از موارد عمده مورد استفاده اجزاء مکانیکی، اساسا در ماشین آلات جنگی بوده‌است، مانند ماشین‌های پرتاب برای اندازش پرتابه‌ها در ابعاد مختلف. به‌عنوان مثال، ارشمیدس[1] ماشین‌هایی طراحی کرد که با آن محاصره رومی‌ها را (۲۱۲-۲۱۴ قبل از میلاد) خنثی کرد. تنها بخشی از کارهای روزانه مانند بالابردن آب و آسیاب کردن غلات، با استفاده از اجزاء مکانیکی صورت می‌گرفت.

بسیاری از دستگاه‌های کوچک و ابتکاری که در اسکندریه پیدا شدند، طرحی خودکار داشتند تا شگفتی مردم عامی پیش از میلاد را برانگیزند. در آن زمان مکانیک گازها و مکانیک اجسام سخت در ابزارهایی با وظایف مختلف بکار می‌رفتند، مانند: باز کردن درهای معبد، فروش مایعات با انداختن یک سکه، ایجاد جلوه‌های نمایشی و مانند آن، که بکارگیری هوشمندانه‌ای از روابط سرعت و نیرو وجود داشت و گاهی تنظیم کننده‌هایی جهت کنترل حرکت نصب می‌شد.

با تسخیر حکومت مصر و اسکندریه توسط رومی‌ها در زمان ژولیوس سزار و کلئو پاترا، رشد علم تقریبا متوقف شد و امپراتوری دوم پیشرفت کمی در ماشینی کردن کارها ایجاد کرد. قبل از اینکه این دوران طولانی شود، در سال ۶۴۲، عرب‌ها که توسط پیامبرشان منضبط و فعال شده‌بودند، مصر را تسخیر کردند. از آن زمان تا قرن‌ها بعد سردمداری علمی و فنی مشخصا خاص عرب‌ها بود. البته به لحاظ مطالعات اخیر اشتباه است که تصور کنیم اروپایی‌ها طی دوران تاریکی یعنی سال‌های بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ بعد از میلاد، که عرب‌ها قله عظمت را فتح کرده بودند، خالی از عقیده بودند. در حقیقت می‌توان گفت که سابقه این قرون برای اروپایی‌ها از لحاظ ماشین و سازوکار ناچیز است. بعدها متخصصان آن دوران(قرون وسطی) سعی کردند تا وسایل مکانیکی مناسبی را برای تولید و بهره‌برداری از قدرت‌های طبیعی باد و آب جهت کمک به قدرت بازو کشف کنند. این قدرت‌های جدید، تولید انبوهی از ماشین‌ها با سازو کارهای پیچیده را الزامی می‌کرد. مدارک مربوط به قرون دوازدهم و سیزدهم که حاوی طرح‌هایی از ماشین باشند، اندک است ولی به هرحال اصلاحاتی دیده می‌شود. با سپری شدن دوران آسیاب‌های بادی، صنعتی شدن اروپا که به‌زودی آن را از بقیه دنیا جدا می‌کرد، آغاز شد. برخلاف قابل تحسین بودن نوشته‌های لئوناردو داوینچی[2](قرن۱۵) بخاطر غنای تفکر مکانیکی، نمی‌توان آن‌ها را به درستی به آن عصر نسبت داد. نوشته‌های او تا نیمه نیمه دوم قرن ۱۸ عمومیت نیافت و هیچ سند روشنی مبنی بر عملی شدن عقاید وی در زمان خودش در دست نیست.

اروپای قرن شانزدهم شامل تعدادی کتب طرح بود که ماشین‌ها و در نتیجه ساز وکارها را نشان می‌داد. سبک کتاب مصور که از این قرن آغاز شد برای قرن‌ها ادامه یافت، زیرا اگرچه ترسیم طرح‌ها از توان نقشه‌کش خارج بود، ولی فهم و تبدیل آن‌ها به سخت افزار امکان داشت. در اوایل قرن هجدهم، لئوپولد[3] که شاید بتوان وی را اولین مرجع عقیده "اصلاح حرکت" توسط ساخت دستگاه دانست، از لنگ و بادامک، در مورد چگونگی تبدیل حرکت دایروی پیوسته به حرکت رفت وبرگشتی

[1] Arshimedes
[2] Leonardo Davinci
[3] Leupold

سخن می‌گفت و آن زمان بود که که نخستین اقدام در بحث منظم سازوکارها تحقق یافت. در قرن هجدهم دو چهره سرشناس به نام‌های اویلر[1](۱۷۰۷-۱۷۸۳) و وات[2](۱۷۳۶-۱۸۱۹) به میدان آمدند. بنا به گفته لاگرانژ، کتاب اویلر به‌نام "مکانیک از نقطه نظر تحلیل علمی"، اولین اثر بزرگ بکارگیری تحلیل در علم حرکت است. این مفهوم که حرکت صفحه‌ای را می‌توان توسط انتقال یک نقطه و دوران حول آن توصیف کرد در کتاب اویلر آمده‌است و این فکر ریشه تحلیل است. ضمن بسط سرعت و شتاب که به‌طور ترسیمی و با روش چندضلعی برداری نشان داده شده‌است، معادلات سرعت و شتاب، پس از اویلر حاصل شدند، اما بدلیل مرتبط بودن به کارهای اویلر، در کتاب‌های آلمانی به قضایای اویلر معروفند. ایده اصلی تحلیل سینماتیکی مانند بسیاری از نظریات هوشمندانه دیگر، متعلق به اویلر است. برخلاف اویلر، وات که مهندس و سازنده وسایل اندازه‌گیری بود به ترکیب حرکت پرداخت. وات توجه خود را به حرکت نقطه‌ای روی بند میانی سازوکار چهارمیله‌ای متمرکز کرد و در سال ۱۷۸۴ نوع جدیدی از خروجی معرفی شد. استفاده از این فکر درخشان بود و وات توانست یک موتور بخار دو زمانه را بسازد. این کشف موفقیتی منحصر بفرد و نقطه‌ای محوری در مسیر تولید علم ترکیب بود و سال‌ها توسط موتورسازها و ریاضیدانان دنبال شد.

نکته قابل توجه در درک عمیق‌تر کشف اویلر در سال ۱۷۷۵ این بود که: شناخت حرکت جسم صلب را می‌توان به دو بخش هندسی و مکانیکی تقسیم نمود. در بخش نخست، انتقال جسم از وضعیتی به وضعیت دیگر را باید بدون در نظر گرفتن عامل حرکت بررسی کرد و با فرمول‌های تحلیلی که وضعیت هرنقطه از جسم را تعریف می‌کند، بیان نمود. واضح است که جدایی این بخش مسئله از دیگری، که در واقع متعلق به علم مکانیک است، تعیین حرکت از نقطه نظر اصول دینامیکی را به‌مراتب آسان‌تر از زمانی خواهد کرد که دو جزء با هم در نظرگرفته می‌شود. نظریات اویلر به اجسام صلب در مکانیک کلاسیک اشاره دارد و طبق آن نظریات مسائل عمومی دینامیک را می‌توان به سینماتیک و سینتیک تفکیک کرد. به طور مختصر می‌توان گفت که معاصران وی یعنی دالامبر[3] و کانت[4] نیز بر این عقیده بودند و از حرکت بصورت محض یعنی بدون لحاظ عوامل حرکت بحث می‌کردند. بعدها کارنو[5] از این مبحث به‌عنوان حرکت هندسی نام می‌برد. در پایا ن قرن هجدهم، مونژ[6] درسی در مورد اجزاء ماشین در مدرسه پلی تکنیک ارائه کرده‌بود. از این اجزاء چنین برمی‌آید که وسایل تغییردهنده راستای حرکت، وسایلی هستند که با آن‌ها پیشروی در یک خط راست، حرکت دورانی و حرکت رفت و برگشتی به یکدیگر تبدیل می‌شوند. پیچیده‌ترین ماشین‌ها صرفا نتیجه ترکیب بعضی از این اجزاء می‌باشند. همکار مونژ، هچت[7] نظام سازوکارها را براساس توانایی آن‌ها، یعنی طبیعت و تاثیر سازوکار در تبدیل حرکت بین ورودی و خروجی را طبقه‌بندی کرد و در سال ۱۸۰۶ این نظام، به-

[1] Euler
[2] Watt
[3] D’Alembert
[4] Kant
[5] Carnot
[6] Monge
[7] Hachette

شکل نمودار ارائه شد. نمودار، سازوکارهایی که قادر به انجام کار خاصی نظیر تبدیل حرکت دایروی پیوسته به حرکت مستقیم متناوب بودند، را تصویر می‌کرد. هچت کتابی را در این زمینه در سال ۱۸۰۸ نوشت. کتاب او اولین اثر در مورد سینماتیک بود. قبل از ابداع مطابق با واقع لغت سینماتیک، دو نام دیگر و دو نظام طبقه‌بندی جدید اما مرتبط با یکدیگر، ارائه شدند. ارائه-کنندگان این نظام‌ها عبارتند از: بورگینس[۱]، مهندس ایتالیایی و یک پروفسور مکانیک در دانشگاه پاویا[۲] و دکوریولیس[۳] پروفسور پروفسور دانشگاه پاریس و همچنین مهندس جاده‌ها و اتوبان‌ها و هم‌نام و معرف مولفه شتاب و کسی که استادانه حاصل‌ضرب نیرو در فاصله را کار تعریف کرد. کوریولیس، نظام بورگینس را با کاهش مفهوم یک ماشین کامل به سه گروه از قطعات، ساده کرد که عبارتند از: دریافت کننده‌های انرژی، قطعات انتقال دهنده انرژی و قطعات کاری یا ابزارها.

آمپر (فیزیک‌دان) در روند تعیین حوزه تخصصی خود به تعریف و طبقه‌بندی تمام علوم انسانی پرداخت و کتابی با عنوان "مقالاتی در باب فلسفه علم" نوشت. به‌منظور تمایز حوزه‌ای از مکانیک متفاوت از استاتیک، دینامیک و مکانیک مولکولی، لغت جدیدی با نام Cinematique وضع کرد و پس از آن سینماتیک به‌عنوان یک علم شناخته‌شد. آمپر راه را نشان داد اما پیمودن آن را برای دیگران باقی گذاشت. از پیشگامان این زمینه شال[۴] و پوانسو[۵] بودند که اجسام هندسی را بررسی کردند و روش مراکز آنی و نظریاتی در باب مفهوم آن را که توسط یوهان برنولی[۶] در سال ۱۷۴۲ کشف شده‌بود، بدان افزودند.

مبدا سینماتیکی جدید با رولو آغاز شد. اثر برجسته وی "سینماتیک نظری" در سال ۱۸۷۵، نقطه نظرهای بسیاری را ارائه داد که مقبولیت عام یافت، طوری‌که هنوز هم رایج‌اند. کندی[۷] این نظریات را در سال ۱۸۷۶به شایستگی به انگلیسی برگرداند و آن را "kinematics of machines" (سینماتیک ماشین‌ها) نامید. رولو در کتاب دوم خود نظریات پیشین را بسط و انسجام داد. رولو سازوکار را به‌عنوان رشته‌ای (سینماتیکی)از بندها (یا قطعات) متصل به‌هم با بندی ثابت درنظر گرفت. از این تعریف موضوع وارونگی سینماتیکی ناشی شد، بدین معنی که با تثبیت بندی از رشته در هر دفعه، سازوکاری متفاوت نتیجه می‌شود[۲۱].

هرچند در اواخر قرن نوزدهم چبیشف[۸] سنتز مکانیزم‌ها را با مبانی ریاضی توسعه داد و در اوایل قرن بیستم افراد شاخصی مانند گروبلر و بریکارد[۹] در غنا بخشیدن به آن اثرگذار بوده‌اند، ولی به علت جنگ جهانی اول و دوم در این برهه، پیشرفت این علم دچار رکود گردید و تا نیمه اول قرن بیستم رشد چندانی نکرد. گسترش علم مکانیزم‌ها، حدودا از سال ۱۹۵۰ آغاز شد و افرادی مانند رزناور(Rossnaur)، ویلیس(Willis)، هارتنبرگ(Hartenberg)، دناویت(Denavit)، هال(Hall) و

[1] Borgines
[2] Pavia
[3] De coriolis
[4] Chasles
[5] Poinsot
[6] Johan Bernoli
[7] Kennedy
[8] Chebyshev
[9] Bricard