

ISME2014-XXXX

بررسی تأثیر زاویه انتقال در عملکرد مکانیکی یک مکانیزم ترکیبی و بهینه‌سازی آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ایمان حاجی زاده^۱، سعید ابراهیمی^۲، پدram پیوندی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، Hajjzadeh.Iman@stu.yazd.ac.ir

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، Ebrahimi@yazd.ac.ir

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، Peivandi@yazd.ac.ir

چکیده

مسئله طراحی مکانیزم‌های ترکیبی به دلیل پیچیده بودن و جواب‌های طراحی متعدد، جز مسائل مشکل به شمار می‌رود. بدون شک کیفیت عملکرد حرکتی مکانیزم، افزایش مزیت مکانیکی^۱ و افزایش نیروی انتقال تا حد زیادی متأثر از پارامترهای طراحی می‌باشد. متأسفانه علی‌رغم اهمیت این موضوع از دید علمی، تحقیقات زیادی در این راستا صورت نگرفته است. لذا در این مقاله پس از معرفی یک مکانیزم ترکیبی، زاویه انتقال، مزیت مکانیکی و نحوه بدست آوردن آن‌ها برای مکانیزم توضیح داده شده است. سپس فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم تکاملی ژنتیک برای مکانیزم ترکیبی به تفصیل بیان گردیده است. خطای انحراف زاویه انتقال از ۹۰ درجه و افزایش مزیت مکانیکی، به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شده اند. سپس با اصلاح توابع هدف تغییرات شتاب (جرک^۲) و نوسانات سرعت حرکت مکانیزم به منظور کاهش لرزش‌های نامطلوب و ایجاد حرکت یکنواخت کمینه شده است. با استفاده از الگوریتم ژنتیک پارامترهای طراحی بهینه مکانیزم ارائه شده‌اند. نتایج سرعت، جرک و مزیت مکانیکی مکانیزم برای پارامترهای طراحی بهینه بیان گردیده است. نتایج ارائه شده نشان دهنده بهبود عملکرد مکانیکی و افزایش مزیت مکانیکی مکانیزم در تحقیق حاضر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

مکانیزم ترکیبی، مزیت مکانیکی، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی، زاویه انتقال

مقدمه

مکانیزم‌هایی که متشکل از اعضای سخت متصل بهم می‌باشند در حیطه مهندسی مکانیک برای انتقال حرکت و انرژی از یک یا چند عضو ورودی به یک یا چند عضو خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. یکی از مفیدترین مکانیزم‌های موجود مکانیزم ترکیبی می‌باشد. مکانیزم‌های تبدیل حرکت چرخشی به حرکت انتقالی مانند مکانیزم لنگ و لغزنده در بسیاری از دستگاه‌های مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آن جا که در مکانیزم لنگ و لغزنده پارامترهای طراحی

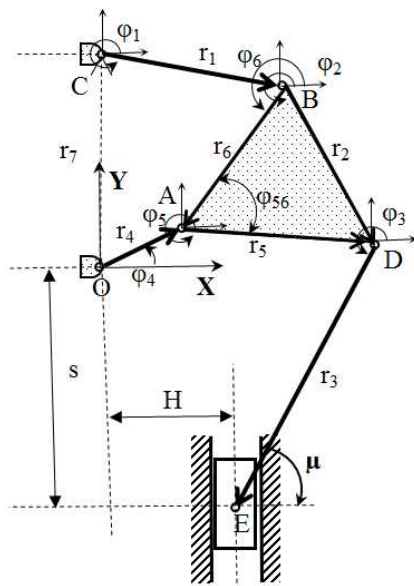
محدود می‌باشند، نمی‌توان تغییرات زیادی در عملکرد حرکتی آن اعمال کرد. جایگزینی مکانیزم‌های ترکیبی که حرکت چرخشی را به حرکت انتقالی تبدیل می‌کنند به جای مکانیزم لنگ و لغزنده یکی از عوامل بهبود عملکرد دستگاه‌های مکانیکی می‌باشند. در نتیجه، پیشرفت‌های کوچک در طراحی و توسعه دستگاه‌های مکانیکی منجر به سود اقتصادی قابل توجهی می‌شود.

طراحی بهینه مکانیزم‌های شامل لنگ و لغزنده در کاربردهای صنعتی به طور کلی و در کاربردهای سایر رشته‌ها به طور خاص مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. علی‌رغم گستردگی این موارد، تحقیقات معدودی در راستای ابداع و بهینه‌سازی مکانیزم‌های چند میله‌ای ترکیبی شامل یک عضو لغزنده صورت گرفته است. سنتز ابعادی پارامترهای سینماتیکی مرتبه بالاتر روشی است که در [۲] برای تحقق بخشیدن به دقت حرکت بیشتر و کنترل مشخصات حرکت مکانیزم چند میله‌ای ترکیبی استفاده شده است. تابع هدف در فرآیند بهینه‌سازی، سرعت لغزنده در نظر گرفته شده است. مکانیزم ترکیبی جدیدی برای جایگزینی مکانیزم لنگ و لغزنده که مکانیزم محرک سوزن در ماشین دوخت می‌باشد، در [۳] معرفی شده است. هندسه بهینه این مکانیزم با استفاده از روش بهینه‌سازی غیرخطی بدست آمده است. اهمیت مکانیزم‌های چندمیله‌ای در ارتباط با توسعه دستگاه پرس مکانیکی در [۴] با استفاده از یک مکانیزم شش میله‌ای برای جایگزینی مکانیزم لنگ و لغزنده تبیین شده است. بررسی نتایج بهینه‌سازی انجام گرفته با استفاده از الگوریتم ژنتیک، نشان داد که عملکرد سینماتیکی مکانیزم جایگزین تا حد زیادی نسبت به مکانیزم اصلی بهبود یافته است.

سه هدف عمده کاربرد مکانیزم‌ها ایجاد مسیر، ایجاد حرکت و ایجاد عملیات می‌باشد [۵]. زاویه انتقال یک معیار مهم برای طراحی است که بوسیله آن می‌توان کیفیت انتقال حرکت مکانیزم را در مرحله طراحی مورد قضاوت قرار داد. این معیار به انتخاب بهترین مکانیزم در میان خانواده‌هایی از مکانیزم‌های ممکن جهت انتقال نیروی موثر که باعث افزایش مزیت مکانیکی مکانیزم می‌شود، کمک می‌کند [۶]. اهمیت زاویه انتقال در طراحی مکانیزم موجب شده تا محققان در گذشته تحقیقات بسیاری در این رابطه انجام دهند. بهینه‌سازی زاویه انتقال برای مکانیزم لنگ و لغزنده شامل مفاصلی با لقی غیر قابل اغماض در [۷] با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک

^۱ Mechanical Advantage
^۲ Jerk

کسینوس زاویه انتقال دارای حداقل نیروی انتقال در امتداد لینک متصل کننده می‌باشند.



شکل ۱: مکانیزم ترکیبی

مکانیزم‌های دارای زاویه انتقال با انحراف زیاد از ۹۰ درجه دارای ویژگی‌های ضعیف عملیاتی مانند سر و صدای زیاد و تغییرات شتاب (جرک) بالا می‌باشند [۱۰ و ۱۱] و اگر زاویه انتقال صفر و یا ۱۸۰ درجه باشد مکانیزم دچار قفل شدگی می‌شود و در این مورد هیچ نیرویی به لینک خروجی وارد نمی‌شود. بنابراین زاویه انتقال خوب برای مکانیزم نشانه‌های بسیار خوبی از کیفیت حرکت، دقت و صحت عملکرد آن و صدای خروجی قابل انتظار را فراهم می‌کند [۱۲]. توصیه می‌شود به طور معمول زاویه انتقال بین $50 < \mu < 90$ باشد. با توجه به شکل ۱ معادله زاویه انتقال به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu = \cos^{-1} \left(\frac{r_4 \cos(\varphi_4) + r_5 \cos(\varphi_5) - H}{r_3} \right) \quad (1)$$

مزیت مکانیکی

یکی از معیارهای اصلی که طراح باید از آن اطلاع داشته باشد میزان قابلیت یک مکانیزم مشخص از انتقال نیرو یا گشتاور است. برخی از مکانیزم‌ها، مانند مجموعه چرخنده، یک نسبت گشتاور ثابت را بین ورودی و خروجی انتقال می‌دهد زیرا یک نسبت سرعت ثابت بین ورودی و خروجی وجود دارد [۱۳]. ولی در یک اهرم بندی این چنین نیست. دو مشاهده بدون تحلیل قابل طرح می‌باشد:

۱. همانطور که در مجموعه چرخنده مذکور اشاره گردید، نسبت گشتاور تابعی از سرعت یا نسبت سرعت زاویه‌ای بین اهرم‌های خروجی و ورودی مکانیزم است.
۲. نسبت گشتاور تابعی از پارامترهای هندسی است که در مورد اهرم‌بندی‌ها به طور عمومی در خلال یک دور حرکت مکانیزم تغییر خواهد کرد.

از آن‌جا که نسبت سرعت زاویه‌ای‌ها کاملاً بر حسب فاصله‌های مراکز آبی قابل بیان است، براساس گسترش مرکز آبی، مزیت

ارائه شده است. الگوریتم ژنتیک برای طراحی پارامترها به منظور حداقل کردن انحرافات لقی مفاصل و افزایش کیفیت انتقال حرکت مکانیزم مورد استفاده قرار گرفته است. تابع هدف اختلاف زاویه انتقال با لقی قابل اغماض و بدون لقی قابل اغماض در مفاصل می‌باشد. نتایج حاصل باعث بهبود کیفیت سینماتیکی، راندمان انتقال نیرو و همچنین عملکرد انتقال نیرو شده است. مسئله زاویه انتقال کلاسیک در [۸] به منظور تعیین ابعاد مکانیزم لنگ و لغزنده با زاویه انتقال مطلوب ارائه شده است. در این مطالعه از جبر مختلط برای حل این مشکل کلاسیک استفاده شده است.

استفاده از یک مکانیزم با معیارهای طراحی مطلوب باعث افزایش مزیت مکانیکی و همچنین موجب افزایش کیفیت انتقال حرکت و نیرو در مکانیزم می‌شود. بنابراین معرفی مکانیزم‌های ترکیبی جدید با معیارهای طراحی بهینه بسیار مهم و پرکاربرد می‌باشند. لذا در این مقاله پس از معرفی مکانیزم ترکیبی، زاویه انتقال و مزیت مکانیکی مکانیزم بیان می‌گردد و نحوه بدست آوردن آن‌ها شرح داده می‌شود. پس از آن الگوریتم تکاملی ژنتیک، که روش بهینه سازی مورد استفاده در این مقاله است، به طور مختصر معرفی می‌شود. در قسمت بعد پس از ارائه نتایج بهینه سازی زاویه انتقال به اصلاح تابع هدف با توجه به افزایش مزیت مکانیکی مکانیزم، کاهش جرک حرکت و سرعت مکانیزم به منظور دستیابی به حرکت یکنواخت و کاهش لرزش‌های نامطلوب پرداخته می‌شود. این مقاله در نهایت با بحث در مورد نتایج اصلی به پایان می‌رسد.

سینماتیک مکانیزم ترکیبی

با توجه به ساختار ساده و معمول مکانیزم لنگ و لغزنده، برخی اشکالات در رابطه با عملکرد و رفتار سینماتیکی در طول حرکت ظاهر می‌شوند. اخیراً مکانیزم‌های پیچیده‌تری توسط محققان برای بهبود عملکرد دستگاه‌های مکانیکی پیشنهاد شده است. این مکانیزم‌ها به طور معمول از برخی مکانیزم‌های اولیه شامل چهار یا پنج میله تشکیل شده‌اند. مکانیزم ترکیبی مورد نظر در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است. مطابق با شکل ۱، این مکانیزم شامل دو مکانیزم می‌باشد: مکانیزم چهار میله‌ای OABC و مکانیزم پنج میله‌ای لنگ و لغزنده OADE. مکانیزم چهار میله‌ای، درجه آزادی مکانیزم ترکیبی را به یک محدود می‌کند. لینک OA، لینک ورودی مکانیزم و لغزنده E، لینک خروجی مکانیزم می‌باشد. به منظور بهینه‌سازی، پیدا کردن روابط سینماتیکی بین لینک ورودی OA و لغزنده E الزامی می‌باشد. توضیحات کامل روابط سینماتیکی در [۹] ارائه شده است.

زاویه انتقال

زاویه انتقال (μ) یک معیار مهم برای طراحی مکانیزم می‌باشد که بیانگر کیفیت انتقال حرکت در مکانیزم است. معمولاً زاویه انتقال به منظور بدست آوردن نتایج بهتر برای کاربردهای مکانیزم‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. مکانیزم‌های طراحی شده با حداکثر

سرعت بوده، از جمله نقطه‌ای در امتداد صفحه اهرم ۵ که به طور لحظه‌ای با مرکز آنی (۵، ۶) منطبق است. این نقطه دارای سرعت $\vec{\omega}_6(1,6-5,6)$ می‌باشد. بنابراین:

$$\vec{V}_E = \vec{\omega}_6(1,6-5,6) \quad (5)$$

با ترکیب کردن معادلات فوق، روابط زیر حاصل می‌شوند:

$$[\vec{r}_{in} \times \vec{F}_{in}] \omega_6 = T_6 \omega_6 = \vec{f}_a \cdot \vec{V}_E$$

با جایگذاری سرعت لغزنده رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\omega_6 r_{in} F_{in} = f_a \left| \vec{\omega}_6(1,6-5,6) \right| \cos(\theta)$$

با توجه به رابطه زیر

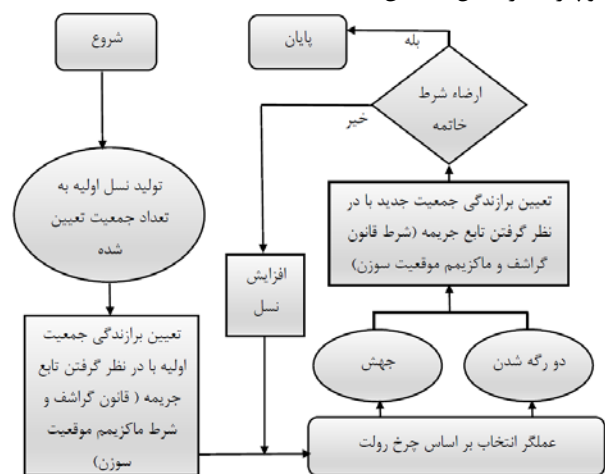
$$f_a \cos(\theta) = F_{out}$$

می‌توان بازده مکانیکی را به صورت زیر تعیین کرد.

$$MA = \frac{F_{out}}{F_{in}} = \frac{r_{in}}{|(1,6-5,6)|} \quad (6)$$

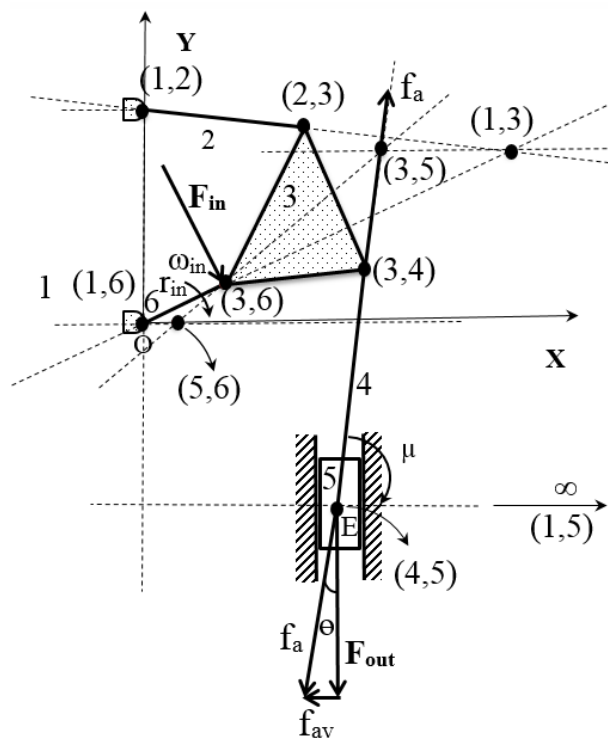
الگوریتم تکاملی ژنتیک

الگوریتم ژنتیکی روشی برای جستجوی تصادفی عددی است که از فرآیند ساده شده تکامل طبیعی تقلید می‌کند. الگوریتم بر روی جمعیتی از پاسخ‌ها عمل کرده و با به کار بردن اصل بقای بهترین و تکامل، به ایجاد جواب‌های بهتر و مناسب‌تر می‌پردازد [۱۴ و ۱۵]. در آغاز، نسلی با جمعیت اولیه خاص کروموزوم‌ها (رشته‌ها) به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. سپس به منظور ارزیابی کروموزوم‌ها از تابع هدف استفاده می‌شود. در مساله بهینه‌سازی مورد نظر در این مقاله، افراد مناسب نسل باید کمترین مقدار را برای این تابع ایجاد کنند. سپس به کروموزوم‌های مختلف، که در واقع نمایشگر طراحی‌های مختلف هستند، اجازه داده می‌شود تا در شرایطی مشخص به ترکیب و تولید مثل بپردازند. شرایط ترکیب طوری در نظر گرفته می‌شود که کروموزوم‌های قویتر امکان بیشتری برای بقا بیابند و کروموزوم‌های ضعیف‌تر به تدریج حذف شوند. مجموعه کروموزوم‌هایی که در هر تکرار الگوریتم بررسی و ارزیابی می‌شوند یک نسل نامیده می‌شود. جزئیات روش الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این مقاله، بصورت فلوجارت در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: فلوجارت الگوریتم ژنتیک

مکانیکی نیز کاملاً بر حسب این فاصله‌ها قابل توصیف است. در اغلب وضعیت‌های طراحی، رابطه مزیت مکانیکی برای یک مکانیزم، طراحی مجدد بهینه را برای مزیت مکانیکی اصلاح شده فراهم می‌سازد. به منظور بدست آوردن مزیت مکانیکی باید مراکز آنی مورد نیاز را پیدا کرد.



شکل ۲: مراکز آنی مکانیزم ترکیبی

در شکل ۲ تعدادی از مراکز آنی مکانیزم ترکیبی نشان داده شده است. لینک ۶ به عنوان اهرم ورودی و لغزنده ۵ به عنوان اهرم خروجی می‌باشند. برای بدست آوردن مزیت مکانیکی نمی‌توان از روش ارائه شده برای مکانیزم چهار میله ای استفاده کرد. به این دلیل که اهرم خروجی یک لغزنده است و $\omega_5 = 0$ می‌باشد. با فرض برابر بودن در ورودی و خروجی، رابطه زیر برقرار است.

$$P_{in} = T_{in} \omega_{in} = T_{out} \omega_{out} = P_{out} \quad (2)$$

رابطه ۲ در مورد مکانیزم‌هایی که ورودی و خروجی آن‌ها سرعت زاویه‌ای می‌باشد صادق است. در مورد مکانیزم این مقاله که ورودی حرکت دورانی و خروجی حرکت انتقالی است روابط به صورت زیر می‌باشد.

$$P_{in} = T_{in} \omega_{in} = \vec{F}_{out} \cdot \vec{V}_{out} = P_{out} \quad (3)$$

$$T_{in} \omega_{in} = T_6 \omega_6 = \vec{F}_{out} \cdot \vec{V}_E \quad (4)$$

که در آن $T_6 = [\vec{r}_{in} \times \vec{F}_{in}]$ باید توجه داشت چون اهرم خروجی ۵ مقید به جابجایی در شکاف عمودی می‌باشد، هر نقطه که به عنوان جزئی از اهرم ۵ در نظر گرفته شود دارای سرعتی در امتداد عمودی می‌باشد. علاوه بر آن، هر نقطه به عنوان جزئی از اهرم ۵ دارای همان

فرآیند بهینه سازی

در این قسمت، به بررسی فرآیند بهینه سازی مکانیزم ترکیبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته می شود. برای این منظور، طول لینک های مکانیزم جدید به صورتی تعیین می شوند که معیارهای طراحی به بهینه ترین حالت ممکن پیدا شوند.

یک انتخاب خوب برای زاویه انتقال در طراحی مکانیزم ۹۰ درجه است که یک مقدار قابل قبول می باشد. هرچه زاویه انتقال به ۹۰ درجه نزدیک باشد باعث افزایش نیروی انتقال مکانیزم می شود و همچنین مزیت مکانیکی مکانیزم را نیز افزایش می دهد. بنابراین ضابطه تابع هدف به صورت مجموع مربعات انحرافات ماکزیمم و مینیمم زاویه انتقال μ از ۹۰ درجه در مکانیزم برای طی مسیر کامل تعریف می شود که به صورت زیر است:

$$f_1 = TA = \left[(\mu_{\max} - 90^\circ)^2 + (\mu_{\min} - 90^\circ)^2 \right] \quad (7)$$

یک مکانیزم با مزیت مکانیکی خوب ممکن است زاویه انتقال غیر قابل قبولی داشته باشد و یک مکانیزم با زاویه انتقال عالی در موقعیت خاص ممکن است دارای مزیت مکانیکی کافی نباشد. از آن جا که هر دو زاویه انتقال و مزیت مکانیکی با موقعیت مکانیزم متفاوت است هر دو پارامتر می توانند برای طراح در موقعیت های خاص مهم باشند [۵]. بدین منظور تابع هدف دیگری به صورت زیر تعریف می کنیم تا علاوه بر زاویه انتقال خوب مزیت مکانیکی را نیز بهبود بخشد.

$$f_2 = TA + \frac{1}{MA} \quad (8)$$

به منظور معرفی تابع هدف در فرآیند بهینه سازی، محدودیت های زیر برای هندسه مکانیزم باید در نظر گرفته شود:

- فاصله بین دو نقطه مرگ بالا و پایین لغزنده، با تفرانس کوچک، مقداری ثابت در نظر گرفته می شود. این شرط تضمین می کند که جابجایی صرف نظر از تغییرات طول لینک ها، ثابت باقی می ماند.
- قانون گرافش برای مکانیزم OABC باید برقرار باشد. طبق این قانون برای اینکه لینک ورودی (OA) دارای چرخش کامل (۳۶۰ درجه) باشد، مجموع طول های بزرگترین و کوچکترین لینک مکانیزم چهار میله ای باید کوچکتر یا مساوی مجموع دو لینک دیگر باشد.

علاوه بر این شرایط، در جدول ۱ برخی از محدودیت های بهینه سازی در مورد هندسه مکانیزم بیان شده است. فرآیند بهینه سازی در نرم افزار متلب ۲۰۱۱a انجام شده است. در جدول ۲ به پارامترهای الگوریتم ژنتیک مورد استفاده برای مقاردهی اولیه فرآیند بهینه سازی اشاره شده است. سرعت زاویه لینک OA در مکانیزم نیز 1 rad/s می باشد.

جدول ۱- شرایط بهینه سازی (ابعاد به mm می باشند)

متغیر های طراحی	محدوده پایین	محدوده بالا
r_1	۱۳	۱۸
r_2	۴۳	۵۰
r_3	۴۰	۴۵
r_4	۷	۱۲
r_5	۳۸	۴۲
r_6	۳۷	۴۳
r_7	۳۶	۴۵
H	۱۰	۱۵

جدول ۲- پارامتر های الگوریتم ژنتیک

تعداد تکرار (نسل)	۱۰۰
تعداد جمعیت	۵۰۰۰
درصد ترکیب	۰/۸
درصد جهش	۰/۳
نرخ جهش	۰/۲
تابع هدف	معادله (۷) و (۸)

نتایج بهینه سازی

با اعمال شرایط بهینه سازی، بهینه سازی مکانیزم ترکیبی توسط نرم افزار متلب انجام شد و طول بهینه لینک ها در حالی که تابع هدف مینیمم شده است، بدست آمد. جدول ۳ و ۴ مقادیر بهینه طول لینک های مکانیزم و مقدار معیارهای طراحی را به ترتیب نشان می دهند.

جدول ۳: طول بهینه لینک های مکانیزم (ابعاد به mm می باشند)

متغیرهای طراحی	به ازای تابع f_1	به ازای تابع f_2
r_1	۱۷/۸۸۴	۱۷/۷۰۳
r_2	۴۳/۹۸	۴۳/۱۰۷
r_3	۴۵	۴۳/۸۸۸
r_4	۱۱/۶۲۸	۱۱/۸۴۴
r_5	۳۸/۱۶۲	۳۸/۵۷۶
r_6	۴۰/۲۵۳	۴۰/۷۹۲
r_7	۳۶/۹۹۸	۳۷/۵۳۷
H	۱۴/۹۰۸	۱۴/۷۱۶

جدول ۴: مقدار تابع هدف و معیارهای طراحی

تابع هدف f_2	تابع هدف f_1	معیارهای طراحی
۶/۴۷۰۴	۵/۷۶۶۹	مزیت مکانیکی (MA)
۹۷۷۸۹	۹۴۳۹۸	جرک
(mm/s^3)	(mm/s^3)	$\int_0^{2\pi} \ddot{s}(\varphi_4) d\varphi_4$
۳۴۴۰/۹	۳۴۳۶/۳	سرعت
(mm/s)	(mm/s)	$\int_0^{2\pi} \dot{s}(\varphi_4) d\varphi_4$

که باعث ارتعاشات نامطلوب مکانیزم می‌گردد. نوسانات سرعت تغییر چندان نکرده است.

اصلاح تابع هدف

یک مشکل مهم در طراحی مکانیزم‌ها افزایش تغییرات شتاب (جرک) و نوسانات سرعت زیاد می‌باشد که ممکن است منجر به ارتعاشات نامطلوب در دستگاه مکانیکی شود. همانطور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود بهینه کردن زاویه انتقال که موجب افزایش مزیت مکانیکی شده است مقدار جرک مکانیزم را افزایش داده است. برای حل این مشکل باید تابع هدف در مسأله بهینه‌سازی اصلاح شود تا تغییرات شتاب و همچنین نوسانات سرعت کاهش یابد. بنابراین توابع هدف را به نحوی تعیین می‌شود که علاوه بر بهینه کردن زاویه انتقال و مزیت مکانیکی، تغییرات شتاب و نوسانات سرعت در طول مسیر حرکت کاهش یابد. تابع هدف مورد نظر به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$f_3 = TA + \int_0^{2\pi} |\dot{s}(\varphi_4)| d\varphi_4 + \int_0^{2\pi} |\ddot{s}(\varphi_4)| d\varphi_4 \quad (9)$$

$$f_4 = 1/MA + \int_0^{2\pi} |\dot{s}(\varphi_4)| d\varphi_4 + \int_0^{2\pi} |\ddot{s}(\varphi_4)| d\varphi_4 \quad (10)$$

بهینه سازی با همان محدودیت‌ها و شرایط قبل انجام شد. طول لینک‌های بهینه مکانیزم و مقدار معیارهای طراحی در جدول ۶ و ۷ به ترتیب نشان داده شده‌اند. همانطور که از نتایج مشاهده می‌شود تغییرات شتاب مکانیزم نسبت به تابع هدف اولیه کاهش قابل قبولی داشته است. همچنین نوسانات سرعت در کل حرکت نیز اندکی کاهش یافته است. با مقایسه جدول ۵ و ۷ مشاهده می‌شود که جرک مکانیزم در طول حرکت نزدیک به جرک حرکتی مکانیزم لنگ و لغزنده شده است. نوسانات سرعت نیز نسبت به مکانیزم لنگ و لغزنده بهبود یافته است.

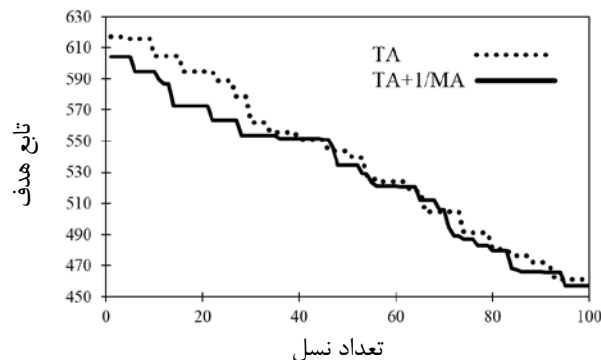
جدول ۶: طول بهینه لینک‌های مکانیزم (ابعاد به mm می‌باشند)

متغیرهای طراحی	به ازای تابع f_3	به ازای تابع f_4
r_1	۱۷/۹۹	۱۷/۴۴۴
r_2	۴۹/۷۲۶	۴۹/۸۵۱
r_3	۴۴/۳۱	۴۳/۰۴۷
r_4	۹/۳۱۶	۹/۱۵
r_5	۳۸/۹۴۲	۳۹/۷
r_6	۳۸/۱۲۹	۳۷/۹۵۷
r_7	۴۱/۹۳۷	۴۲/۰۱
H	۱۳/۷۷۵	۱۲/۹۶۶

جدول ۷: مقدار معیارهای طراحی برای توابع هدف اصلاح شده

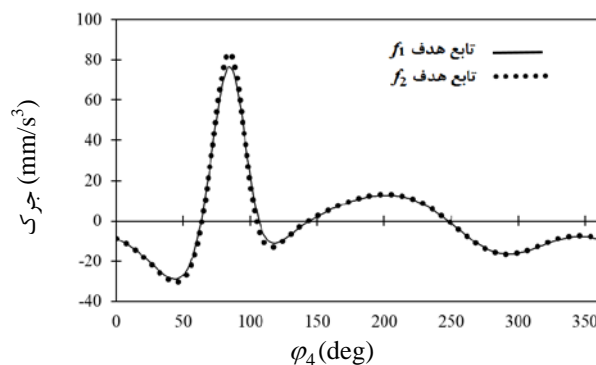
معیارهای طراحی	تابع هدف f_3	تابع هدف f_4
مزیت مکانیکی (MA)	۴/۱۶۷	۵/۶۰۸
جرک	۶۶۹۸۲	۶۷۰۳۷
$\int_0^{2\pi} \ddot{s}(\varphi_4) d\varphi_4$	(mm/s ³)	(mm/s ³)
سرعت	۳۴۲۹/۹	۳۴۲۹/۸
$\int_0^{2\pi} \dot{s}(\varphi_4) d\varphi_4$	(mm/s)	(mm/s)

شکل ۴ نحوه همگرایی الگوریتم ژنتیک را تا رسیدن به حد بهینه پایدار نشان می‌دهد که ممکن است در اجراهای مختلف، به علت طبیعت الگوریتم ژنتیک، کمی متفاوت باشد. در این شکل مقدار تابع هدف بر حسب تعداد تکرار (نسل) بیان شده است.



شکل ۴: مقدار تابع هدف با توجه به تعداد نسل‌های مختلف

نمودار جرک لغزنده مکانیزم برای توابع هدف در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: نمودار جرک لغزنده مکانیزم

مکانیزم لنگ و لغزنده معمولی با توجه به محدودیت‌های حرکتی مشابه با مکانیزم ترکیبی، برای اهرم محرک و کوپلر به ترتیب دارای ابعاد ۱۵ و ۴۸ میلی‌متر می‌باشد لغزنده مکانیزم نیز هم‌محور با اهرم محرک (خروج از مرکز صفر) مکانیزم می‌باشد. سرعت زاویه‌ای اهرم محرک نیر 1 rad/s می‌باشد. جدول ۵ مزیت مکانیکی، جرک و نوسانات سرعت مکانیزم لنگ و لغزنده را نشان می‌دهد. توضیحات کامل روابط سینماتیکی مکانیزم لنگ و لغزنده در [۹] ارائه شده است.

جدول ۵: مقدار معیارهای طراحی برای مکانیزم لنگ و لغزنده

سرعت	جرک	مزیت مکانیکی
$\int_0^{2\pi} \dot{s}(\varphi_2) d\varphi_2$	$\int_0^{2\pi} \ddot{s}(\varphi_2) d\varphi_2$	MA
۳۴۳۷/۷ (mm/s)	۶۱۸۵۰ (mm/s ³)	۳/۶۸۸۹

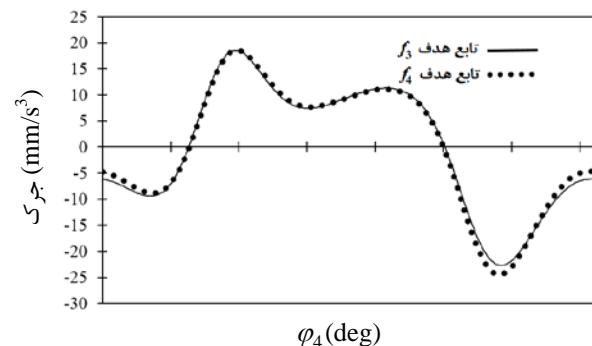
همانطور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود با بهینه کردن توابع هدف شامل زاویه انتقال، مزیت مکانیکی مکانیزم ترکیبی بهبود یافته است و از مزیت مکانیکی مکانیزم لنگ و لغزنده معمولی بیشتر شده است. ولی جرک حرکتی مکانیزم در طول حرکت افزایش یافته است

مراجع

- [1] Nariman-Zadeh, N., Felezi, M., Jamali, A., Ganji, M., 2009. "Pareto Optimal Synthesis of Four-bar Mechanisms for Path Generation". *Mechanism and Machine Theory*, 44(1), pp.180-191.
- [2] Lin, J., Huang, M., 2005. "Dimension Synthesis for Higher-Order Kinematic Parameters and Self-Adjustability Design of Planar Linkage Mechanisms". ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, California, USA, September 24-28.
- [3] Gotlih, K. Lojen, D.Z. Vohar, B., 2007. "Optimisation of Needle Penetration Velocity Using the Link Drive Mechanism in a Sewing Machine". *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 15(1), pp. 66-71.
- [4] Wang, X., 2013. "The Optimization Design of Six-bar Linkage Mechanism". *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 11(7), pp. 4091-4098.
- [5] Sandor, G.N. Erdman, A.G., 1984. "Advanced Mechanism Design, Analysis and Synthesis", Prentice-Hall, New Jersey.
- [6] Balli, S. S., & Chand, S., 2002. Transmission Angle in Mechanisms (Triangle in mech). *Mechanism and Machine Theory*, 37(2), pp.175-195.
- [7] Erkaya, S., Uzmay, İ., 2009. "Optimization of Transmission Angle for Slider-Crank Mechanism with Joint Clearances". *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 37(2), pp.493-508.
- [8] Söylemez, E., 2002. Classical Transmission Angle Problem for Slider-crank Mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*, 37(4), pp.419-425.
- [9] Hajizadeh, I. Ebrahimi, S. Peivandi, P., 2013. "Development and Optimization of a New Needle Driving Mechanism in the Sewing Machine Using Genetic Algorithm". *Submitted to the Journal of Modeling in Engineering*.
- [10] Hartenberg, R.S., Denavit, J., 1964. "Kinematic Synthesis of Linkages". New York: McGraw-Hill.
- [11] Tao, D.C., 1964. "Applied linkage synthesis". Reading: Addison-Wesley.
- [12] Kimbrell, J.T., 1991. "Kinematics Analysis and Synthesis". McGraw-Hill, New York.
- [13] Erdman, A.G., Sandor, G. N., 1997. "Mechanism Design: Analysis and Synthesis (Vol. 1)". Prentice-Hall, Inc.
- [14] Mccell, J., 2005. "Genetic Algorithm for Modeling and Optimization". *Journal of Computational and Optimization*, 184, pp. 205-222.
- [15] Haupt, R.L., Haupt, S.E., 2004, "Practical Genetic Algorithms". John Wiley & Sons, Second Edition.

مزیت مکانیکی مکانیزم نسبت به توابع هدف اولیه اندکی کمتر شده است. دلیل این کاهش اندک نیز بهبود تغییرات شتاب و نوسانات سرعت مکانیزم با توجه به تابع هدف اصلاح شده می‌باشد. هر دو تابع هدف اصلاح شده با توجه به جدول ۷ رفتار مشابه‌ای به منظور کاهش نوسانات سرعت و کاهش جرک مکانیزم داشته‌اند. مقدار مزیت مکانیکی چنانچه نسبت به جدول ۴ کاهش اندکی داشته است ولی همچنان از مزیت مکانیکی مکانیزم لنگ و لغزنده بیشتر می‌باشد. این بیشتر بودن مزیت مکانیکی موجب انتقال نیروی بیشتر در مکانیزم ترکیبی می‌شود. نمودار جرک برای توابع هدف اصلاح شده در شکل ۶ نشان داده شده است.

از مقایسه همه نتایج بدست آمده از توابع هدف‌های ارائه شده، تابع هدف f_4 علاوه بر کاهش جرک و نوسانات سرعت دارای مزیت مکانیکی مطلوبی نیز می‌باشد. این نتایج نشان از اهمیت زیاد بهینه کردن معیارهای طراحی به منظور استفاده هر چه بهتر مکانیزم ترکیبی در دستگاه‌های مکانیکی و دیگر صنایع مهندسی را می‌دهد.



شکل ۶: نمودار جرک لغزنده مکانیزم برای توابع هدف اصلاح شده

نتیجه‌گیری

در این مقاله، پس از معرفی یک مکانیزم ترکیبی، به بهینه‌سازی زاویه انتقال مکانیزم با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته شد. اهمیت زاویه انتقال در بهبود عملکرد مکانیکی مکانیزم ترکیبی، بدست آوردن مزیت مکانیکی مکانیزم ترکیبی و تاثیر زاویه انتقال بر روی مزیت مکانیکی از جمله اهداف این مقاله بود. برای این منظور، ابتدا توابع هدف برای انحراف هر چه کمتر زاویه انتقال از ۹۰ درجه و افزایش مزیت مکانیکی تعریف شد و سپس برای اطمینان از حرکت یکنواخت مکانیزم و کاهش ارتعاشات نامطلوب مکانیزم در طول حرکت توابع هدف اصلاح شده شامل مجموع مربعات انحرافات ماکزیمم و مینیمم زاویه انتقال μ از ۹۰ درجه، مزیت مکانیکی، تغییرات شتاب (جرک) و نوسانات سرعت در طول حرکت ارائه شد. نتایج بدست آمده بوضوح بهبود عملکرد مکانیکی مکانیزم ترکیبی را به نسبت مکانیزم لنگ و لغزنده نشان می‌دهد. با توجه به دارا بودن معیارهای طراحی مطلوب، این مکانیزم در توسعه دستگاه پرس مکانیکی، ماشین آلات دوخت و دیگر صنایع که بطور معمول از مکانیزم لنگ و لغزنده استفاده می‌کنند، کاربرد دارد.