Optimization example of industrial sewing machines mechanisms

بهینه سازی مکانیزم های ماشین آلات دوخت صنعتی

یاسر حسین زاده مبرهن کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

مهدی چاره جوی نیگجه کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

چکیده

این مقاله با مدل سازی و بهینه سازی سیستم های مکانیکی ماشین آلات دوخت صنعتی سعی می کند تا با حفظ تعادل ارتعاشات را کاهش دهد. ایجاد مدلی از مکانیزم ها و زبان Modelica استفاده شده در بهینه سازی از طریق نرم افزار Mathmodelica و Mathematica ارائه می شود. مزایا و معایب این رویکرد توضیح داده شده و نمونه ای از بهینه سازی نشان داده می شود.

کلید واژه : بهینه سازی – مکانیزم – ماشین آلات دوخت

مقدمه

موسسه تحقیقاتی Partakes برای توسعه ماشین آلات دوخت صنعتی بر روی کاهش ارتعاشات و سر و صدا تمرکز کرده اند. این خصوصیات به طور قابل توجهی بر نظرات مشتریان تاثیر گذاشته است و از لحاظ رقابتی به کسب و کار آن ها رونق داده است. همچنین برای حل مشکلات مشابه برای انواع ماشین آلات چنین رویکردی ضروری است.

بطور عمده ارتعاشات و سرو صدا بوسیله نیروهای دینامیکی تولید شده در حین حرکت مکانیزم ایجاد می شوند. برای کاهش این نیروها بایستی از روش های تعادلی مختلفی استفاده نمود تا عملکرد ماشین ها رشد دائمی داشته باشند. ساده ترین روش بالانسینگ(تعادل)، استفاده از بالانسر چرخشی است. با استفاده از مکانیزم تعادل مقدار قابل توجهی از نیروهای اینرسی کاهش می یابد.

استفاده از نرم افزار محاسباتی مناسب برای بالانسینگ و بهینه سازی لازم است، که از بهترین آنها نرم افزار Mathematica می باشد. ماشین آلات دوخت صنعتی دارای سیستم پیچیده ای از مکانیزم می باشند بطوریکه محاسبات دینامیکی آنها منجر به تعداد زیادی از معادلات و پارامترها می گردد. برنامه نویسی محاسباتی کار دشواری بوده و امکان اشتباه زیاد می باشد، از این رو از برنامه Mathemodelica برای ایجاد سیستم محاسباتی

استفاده شده است. بنابراین ما می توانیم بهینه سازی و بسیاری از محاسبات دیگر را در نرم افزار Mathematica اجرا کنیم.

2-تعادل ماشین های دوخت صنعتی

ماشین های دوخت صنعتی شامل مکانیزم هایی هستند که باعث تولید نیروهای اینرسی و ارتعاشات می شوند. که اکثر آنها عبارتند از مکانیزم حرکت میله سوزن و مکانیزم کارپیشبر. این دو مکانیزم در قسمت کله گی ماشین دوخت قرار گرفته اند. مکانیزم میل لنگ تضمین کننده حرکت خطی و برگشت پذیر سوزن و مکانیزم چهار بعدی برای حرکت کارپیشبر وجود دارد. این مکانیزم ها بوسیله تسمه انتقال از شفت بالایی به شفت پایین تر متصل می گردند. این دو مکانیزم به وسیله ی چندین روش به حالت تعادل می رسند.

2-1 روش های تعادل

از روش های متداول تعادل نیروهای اینرسی، استفاده از بالانسر های چرخشی است که روی میل لنگ نصب شده اند. این روش معمولا فقط نیروهای گریز از مرکز را بالانس می کنند و یا اولین جز هارمونیک نیروهای اینرسی میله سوزن در مسیر محور میله سوزن به مسیر قائم منتقل می کند. همچنین این روش نمی تواند تعادل اجزای هارمونیک نیروهای اینرسی مرتبه بالاتر را برقرار کند به خصوص در مکانیزم میل لنگ برای حرکت میله سوزن تعادل برقرار نمی گردد.

علاوه بر این، با افزایش جرم ارتعاشات کاهش می یابد از این رو استحکام کله گی ماشین آلات دوخت افزایش می یابد. با این حال استفاده از مکانیزم های تعادل گسترش پیدا نکرده است. چرا که بسیاری از این روش ها به ثبت رسیده پیچیده و پر هزینه هستند و نیاز به فضای زیادی داخل ماشین آلات دارند و یا به اندازه کافی نیروهای اینرسی را بالانس نمی کنند. اختراع VUTS ، که بسیاری از این اشکالات را ندارند اخیرا به تازگی برای تعادل مکانیزم میل لنگ و تا حدودی مکانیزم کارپیشبر مورد استفاده قرار گرفته است.

2-2 محاسبات تعادل مکانیزمها و قیود آن ها

جهت محاسبات بهینه سازی لازم است از یک نرم افزار مناسبی مورد استفاده قرار گیرد که در این بین نرم افزار Mathematica قابل استفاده می باشد. برای بهینه سازی لازم است معادلات سیستم که شامل مقادیر زیادی از پارامترها می باشند حل گردند. برنامه نوشته شده در این روش حجیم بوده و باعث می شود که به آسانی ما را به اشتباه بیندازد.

بنابراین ما مصمم هستیم که از نرم افزار Mathmodelica استفاده کنیم چراکه از زبان Modelica استفاده شده که با Mathmathica سازگاری دارد. ایده چنین بود که مدلی از مکانیزم ها در ویرایشگر مدل استفاده شده در کتابخانه Modelica ایجاد گردد سپس با Mathematica تجزیه و تحلیل گردد.

3- بهینه سازی با استفاده از زبان Modelica و Mathematica

مدل سازی مکانیزم ها قیدهای بخصوصی دارند که تعدادی از آنها در کتابخانه Modelica موجود نمی باشند. از مزایای مهم این نرم افزار توانایی ویرایش عناصر و حتی ایجاد عنصر و کتابخانه جدید می باشد.

3-1 ایجاد و ویرایش عناصر

اکثر مشکلاتی که ما در حین کار با سیستم های مکانیکی مواجه می شویم ابتدا مستلزم محاسبه مسیر مقایر سینماتیک در نقاط معین اجسام و نیروهای اینرسی (گشتاور) می باشند. اگرچه عناصر کتابخانه چند جزئی این مقادیر تعریف شده را در تعداد کمتری که ما نیاز داریم به طور متفاوت تری دارند. غالبا مقادیر سینماتیک (سرعت و شتاب) محاسبه شده به طور منحصر به فرد قابل تجزیه به دستگاه مختصات جسم می باشند. نیروهای اینرسی کلی (گشتاور) جسم به هیچ وجه تعریف نشده و تمامی متغیرها فقط برای نقاطی از جسم که با عناصر دیگری که در مدلسازی در ارتباط هستند محاسبه شده اند.

در ویرایش عنصر جدید، مقادیر و پارامترها تعریف شده و معادلات مرتبط هم تنظیم شده است. مقادیر سینماتیک بسادگی با ماتریس انتقال ضرب می شوند. همچنین استفاده از رشته مقادیر در یک نقطه دلخواه جسم (مانند مرکز جرم) برای کار لازم است که یک عنصر استاندارد هم آن را مهیا می کند.

بنابراین بردار شعاعی یک نقطه کلی به عنوان یک پارامتر جدید در دستگاه مختصات جسم تجزیه و تحلیل شد. مقادیر دیگر بوسیله این پارامترها تعیین می‌گردند. موقعیت یک نقطه که در دستگاه مختصات عمومی تجزیه گردیده به صورت زیر محاسبه می شود.

$$r_{GA} = r_{GL} + S.r_{LA} \qquad (1)$$

r_{GL} بردار مکان سیستم مختصات مبدا جسم است و S ماتریس انتقال بوده و r_{LA} بردار مکان نقطه A تجزیه شده روی سیستم مختصات جسم و r_{GA} مکان جستجو شده نقطه A که تجزیه شده روی سیستم مختصات عمومی می باشد.

می توان سرعت و شتاب را با مشتق گیری نسبت به زمان از این فرمول بدست آورد اما نمی توانیم از تابع مشتق استفاده کنیم زیرا افزودن مشتقات با منطق داخلی نرم‌افزار سازگار نیست و محاسبات قطع می گردد به همین دلیل سرعت و شتاب نقطه داده شده به صورت زیر محاسبه شده است.

$$v_{GA} = S \,.\, v_{GL} + w \times (r_{GA} - r_{LA}) \qquad (2)$$

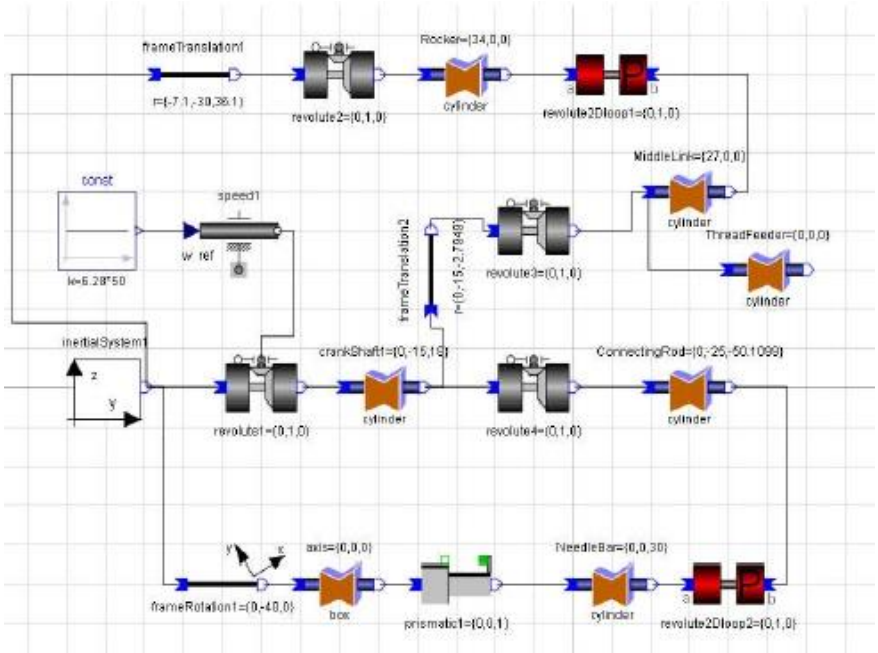
$$a_{GA} = S \,.\, a_{GL} + z \times (r_{GA} - r_{LA}) + w \times (w \times (r_{GA} - r_{LA})) \qquad (3)$$

w و z سرعت وشتاب زاویه ای جسم، شاخص GL مرتبط به مبدا دستگاه مختصات جسم و شاخص GA مرتبط به سرعت عمومی جستجو و شتاب نقطه ای داده شده است.

نیروی اینرسی F به وسیله ی چندین جرم جسم در شتاب مرکز جرمشان a_{GT} تعریف شده است. شتاب مطابق روابط(1و2و3) محاسبه شده است. تنها به جای بردار مکان r_{LA} ، بردار مکان از مرکز جرم r_{LT} قرار می گیرد.

$$F = m \,.\, a_{GT} \qquad (4)$$

در روشی مشابه گشتاور اینرسی محاسبه شده است تنها به جای جرم جسم، ممان اینرسی تجزیه شده به مرکز جرم و شتاب زاویه ای جسم وارد می شود.

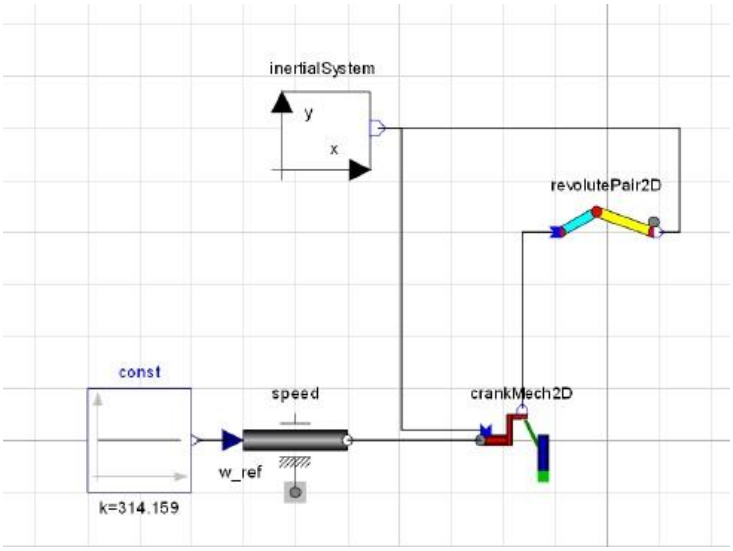


شکل (1) مدلی از مکانیزم ماشین دوزندگی

این روش به ما اجازه می دهد بر حسب نیاز عناصر را با پارامترها و مقادیر جدید گسترش دهیم که می تواند به تعداد زیادی از مکانیزم های ماشین آلات دوخت وابسته باشد (مطابق با نوع ماشین). این مکانیزم ها می توانند زنجیره‌ی طولانی را تشکیل دهند.

پیش از این مدلی از مکانیزم ساده همچون مکانیزم میل لنگ یا مکانیزم چهار میله از شکل (1) بطور تقریبی شامل ده عنصر می شود. برای کار آسان تر و توجیه بهتر مناسب است که مکانیزم های ساده به بلوک ها تبدیل گردد و عناصر مستقلی از آنها را تشکیل دهند بطوریکه با هم در ارتباط باشند.

مدل مکانیزم ماشین آلات دوخت در شکل (1) به مدلی که تنها 5 عنصر دارد ساده شده است(شکل 2). عناصر استفاده شده دستگاه مختصات عمومی را نشان می دهند. مکانیزم میل لنگ دو بعدی و مکانیزم حرکت انتقالی دو بعدی، جایگزین مکانیزم چهار بعدی کارپیشبر شده‌اند.



شکل (2) مدلی از مکانیزم ماشین آلات دوخت. در این شکل هر دو مکانیزم با تک عنصر جایگزین شدند.

3-2 بهینه سازی

بهینه سازی پارامترهای منتخب مدل در برنامه ی Mathematica تجزیه و تحلیل شد. با ایجاد تابعی برای یافتن مینیمم محلی، می توان برای مجموعه پارامترها مقدار مینیمم را پیدا کرد. در طی هر مرحله پیدا کردن مینیمم، همه ی معادلات سیستم در مرکز شبیه سازی Mathemodelica تجزیه و تحلیل می شود. همچنین ممکن است از عملگر های پیشنهادی نرم افزار استفاده شود. مانند یافتن ماکزیمم محلی، اختلاف بین دو دوره، یافتن ریشه های مشتق و چیزهای دیگر....

به طور کلی بهینه سازی محاسبات دشواری دارد. در طی حفظ تعادل مکانیزم ها و ماشین آلات (کاهش کل نیروها دینامیکی و گشتاور) ممکن است از ویژگی های خاص این نوع مسایل استفاده شود. معمولا مکانیزم ها با حرکت تناوبی به تعادل می رسند به طوری که ابعاد بهینه و ممان اینرسی جرم های متعادل کننده مختلف بدست می آید. اگر انعطاف پذیری حذف گردد هر جسمی امکان دارد به وسیله‌ی جرم‌های نقطه‌ای برگزیده مناسب

جایگزین شود (برای موارد مسطح سه نقطه کافی است). نیروهای اینرسی کلی ازمجموع نیروهای اینرسی در این نقاط بدست می آید. برای مثال این معادله بدنبال مقدار مینیمم مطلق F در تابع برداری است.

$$F = m_1 . a_1 + m_2 . a_2 + \ldots + m_n . a_n$$

اگر نقاط بطور مناسب انتخاب شده باشند، نیازی نیست مکان بهینه شان را بدست بیاوریم بلکه کافیست تنها جرم m_i نقاط پیدا شود. مقادیر شتاب a_i که به طور کلی با روابط بسیار پیچیده ای تعریف شده‌اند، در نقاط پایدار و منحصر بفردی می توانند قبل از بهینه سازی محاسبه شوند و نباید در هر مرحله بهینه سازی اجرا شوند. به منظور انجام محاسبات موثرتری در Mathemodelica، لازم است برخی اصلاحات تکمیلی در این نرم افزار انجام شود.

3-3 اشکالات این رویکرد

برخی از مشکلات، بهینه سازی را پیچیده می‌کنند. در ابتدا عدم حضور برخی عناصر مکانیکی و مشترک در کتابخانه چند جزئی می باشد. برای مثال تعداد زیادی از مکانیزم ها در دوخت و دیگر ماشین آلات شامل بادامک ها و اجزا با اشکال متفاوتی که نمی توانند با استفاده از عناصر استاندارد مدل شوند. بنابراین ارتباط بین بادامک و بالابر و سایر عناصر در مدل سازی مکانیزم بسیار کمک می کند.

مشکل بعدی زمان بهینه سازی است. مکانیزم مدل شده از عناصر، دستگاه معادلاتی را تشکیل می دهند که شامل هزاران معادله است. پیش از این مکانیزم ساده مثل مکانیزم چهار بعدی حدود 3000 معادله داشت که 2500 تا از آنها بدیهی هستند. اگر چه شبیه سازی چند ثانیه طول میکشد ولی در هر مرحله بهینه سازی اجرا می شود. پیدا کردن مینیمم محلی یک فرایند طولانی همراه با ده ها و صد ها مرحله است. در نهایت علت زمان طولانی یک محاسبه بستگی به سختی مدل و تعداد پارامترها دارد. استفاده از هر پارامتر دیگری برای بهینه سازی زمان محاسبه را به طور قابل توجهی افزایش می دهد.

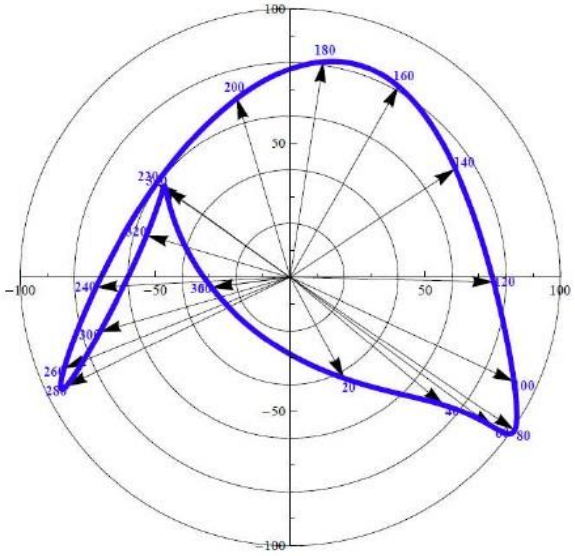
3-4 رویکردهای ممکن از فرایند بعدی

برای حل مشکل زمان بهینه سازی یک راه حل مناسب ارائه شد که می تواند با حل همه‌ی دستگاه مختصات به طور مستقل در مرکز شبیه سازی بسیار کارآمدتر باشد. Mathemodelica امکان انتقال دستگاه معادلات را به نرم افزار Mathematica می دهد. Mathematica تعدادی عملگر (اپراتور) برای حل معادلات ارائه می دهد، مناسب ترین عملگر برای این نوع تابع NDSolve است که می تواند دستگاه معادلات دیفرانسیل را به صورت عددی حل کند. این روش هم تقریبا دارای برخی مشکلات می باشد بطوریکه در این زمان کوتاه قادر به حل معالات نیست.

3-5 مثال بهینه سازی

مثالی از بهینه سازی برای تعادل مکانیزم های فوقانی ماشین دوزندگی ارائه خواهد شد. همان طور که قبل گفته شد، دو مکانیزم تحریک شده توسط شفت فوقانی، مکانیزم میل لنگ و مکانیزم چهار میله می باشند. نیروی اینرسی کلی مجموع نیروهای جزیی اجسام است. نیروهای اینرسی تولید شده تحت حرکت میل لنگ و میله سوزن بیشترین اثر را روی نیروی اینرسی کلی می گذارند.

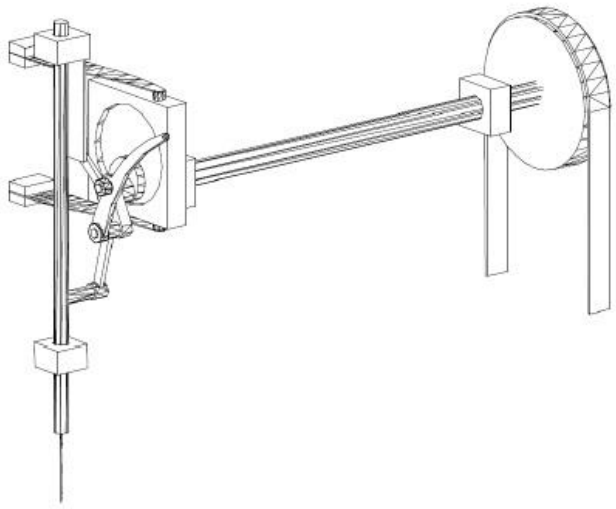
مسیر های نیروی اینرسی کلی نامتعادل و مولفه هایش در شکل (3) آمده است. جایی که میل لنگ در حال چرخش 3000 دور در دقیقه در خلاف جهت ساعت است.



شکل (3) نمودار قطبی نیروی اینرسی کلی برای مکانیزم های نامتعادل فوقانی . ماکزیمم نیرو 100/9 نیوتن می باشد.

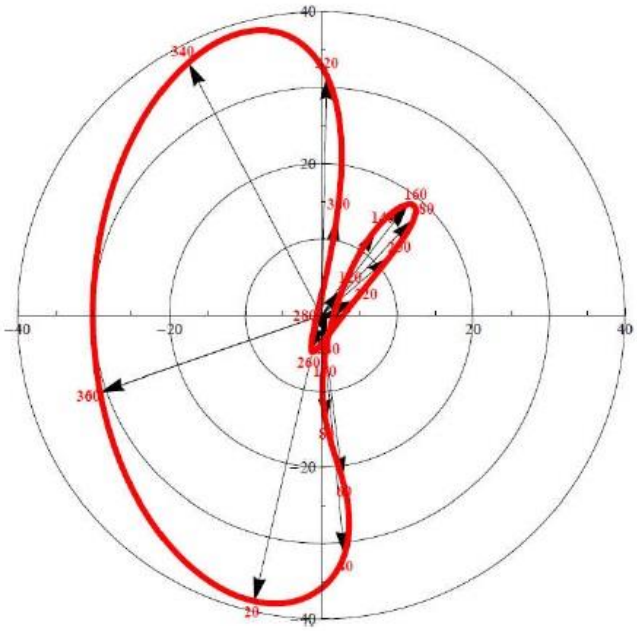
نمودار قطبی بردار نیروی اثر را نشان می دهد. پیکان بردارها، چرخش زاویه‌ای شفت محرک را در درجات مختلف ارائه می کنند.

به طور کلی کاهش نیروهای اینرسی را می توان با استفاده از دو بالانسر چرخشی روی میل لنگ بدست آورد. اما در این مورد میل لنگ پیش متعادل است. موقعیت مرکز جرم نزدیک محور چرخش است بنابراین استفاده از بالانسر چرخشی نمی تواند کمک زیادی به بالانسینگ کند. کاهش چشمگیر نیروی کلی زمانی ممکن است که از یک مکانیزم تعادل و یک بالانسر چرخشی استفاده شود. مدل مد نظر ما از یک شاتون تشکیل شده که بر روی میل لنگ سوار بوده و در طرف مقابل آن میله سوزن و بالانسر نصب شده است(شکل 4). بالانسر حرکت کمی داشته ولی جرمش زیاد می باشد. همچنین یک بالانسر چرخشی روی میل لنگ نصب شده است.



شکل (4) نمای بالای مکانیزم ماشین دوزندگی، مکانیزم میله سوزن و مکانیزم کارپیشبر به همراه مکانیزم تعادل

ابعاد بالانسر و مکانیزم تعادل ثابت است، بنابراین دو مقدار برای بهینه سازی وجود دارد ،یکی جرم بالانسرهای چرخشی و دیگری جرم بالانسرهای مکانیزم تعادل می باشد . سپس در mathematica تابعی برای محاسبه ی نیروی اینرسی کلی ساخته و مقدار ماکزیمم نیرو و پارامترهای تنظیم شده بدست می آید. بنابراین بهینه سازی اشاره دارد بر عملگری که برای پیدا کردن مینیمم محلی همیشه در حال تغییر پارامترها است (جرم بالانسر ها) تا مقدار مینیمم را پیدا کند.



شکل (5) نمودار قطبی نیروی اینرسی کلی برای مکانیزم های فوقانی ماشین دوزندگی بعد از بهینه سازی. ماکزیمم نیرو 38/7 نیوتن می باشد.

محاسبات حدود 60 دقیقه (پردازنده 3 GHz ، RAM 1.99 GB) طول می کشد، برای یک پارامتر آن 30 دقیقه طول می کشد. این واضح است که برای مدل های پیچیده تر و تعداد پارامتر بیش تر بهینه سازی ساعت ها طول خواهد کشید. نتایج در شکل 5 نشان داده شده است. کاهش نیروی اینرسی کلی نسبتا قابل توجه بوده و حداکثر نیروی اینرسی حدود 60٪ کاهش می یابد.

4 نتیجه

روش مذکور برای کاهش نیروهای اینرسی و ارتعاشات امکان مدل سازی مکانیزم سیستم، سینماتیک حرکتی، تجزیه و تحلیل دینامیکی و بهینه سازی پارامترها را می دهد. این روش (رویکرد) بسیار واضح است و اشتباهات را در مقایسه با سایر نرم افزار و روش ها کاهش می دهد. در مثال بهینه سازی بالانسرها، نشان داده شد که چگونه ممکن است به جواب سریع و دقیق دست یافت.

به عبارت دیگر هنوز فضای زیادی برای بهبود روش های فعلی و ابزارها در بهینه سازی وجود دارد. برای مثال عناصر مکانیکی که به لینک اصلی مکانیزم ها مرتبط می شوند و مشکلات طراحی که امکان وارد شدن جرم بیشتر در آنها هست.