

طراحی و ساخت دوچرخه هیبرید

امیرحسین شامخی، استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

Shamekhi@kntu.ac.ir

پویا روشنی تبریزی، کارشناس ارشد مهندسی مکانیک

pooyaroshani@gmail.com

چکیده

با توسعه فناوری و استفاده بیش از پیش از انرژی جهت تسهیل کارها، آلودگی هوا نیز در شهرهای بزرگ روبه افزایش است. بخش عمده‌ای از این آلودگی به سبب تردد خودروهایی است که از انرژی‌های فسیلی استفاده می‌کنند. به همین دلیل در بیشتر کشورهای اروپایی، استفاده از دوچرخه روز بروز افزایش می‌یابد. در همین راستا، دوچرخه‌های برقی و هیبریدی نیز در حال توسعه‌اند و اقبال عمومی برای استفاده از این وسایل نقلیه روبه افزایش است. در این مقاله سعی کرده‌ایم با استفاده از فناوری هیبرید (ترکیبی) و استفاده همزمان از نیروی عضله و الکتریسیته، استفاده از دوچرخه را تسهیل نماییم؛ به‌ویژه در شهری همچون تهران که دارای مسیرهای شیبدار بسیار است. بنابراین با استفاده از یک جعبه‌دنده دنده‌سیاره‌ای، توان پای انسان را با توان یک موتور الکتریکی ۲۵۰ وات جمع کرده‌ایم به‌گونه‌ای که در مواقع لزوم بتوان از مجموع هر دو توان استفاده کرد، علاوه بر اینکه می‌توان از هر کدام از آنها نیز به‌طور جداگانه استفاده کرد.

واژه‌های راهنما: دوچرخه هیبریدی، چرخدنده دنده‌سیاره‌ای، رگولاتور باک، هیبرید موازی، درایور چاپر کاهنده.

مقدمه

انرژی با نسبت ثابتی که توسط ضرایب تبدیل دوچرخه و شعاع چرخ تعیین می‌شود، با هم برابر باشد (اتصال سرعتی). در موارد پیشرفته‌تر، از یک مدار کنترلی برای هم‌گام ساختن سرعت دورانی موتور الکتریکی با سرعت دورانی رکاب استفاده می‌شود. این نوع دوچرخه، علاوه بر داشتن هزینه تعمیر و نگهداری زیاد، هزینه تولیدی بالایی نیز دارد که استفاده از این

دوچرخه‌های برقی که امروزه تولید می‌شوند، از یک موتور الکتریکی که بر روی چرخ جلو یا عقب سوار شده‌اند استفاده می‌کنند و روش کار آنها بدین صورت است که یا می‌توان از موتور الکتریکی استفاده کرد و یا رکاب زد. برای اینکه بتوان از انرژی تولیدشده توسط هر دو منبع استفاده کرد، بایستی سرعت هر دو منبع



$$P = \left[\frac{1}{2} \rho A C_D v^2 + mg \sin \alpha + mg \mu \right] \times V$$

برای وسایل نقلیه‌ای همچون دوچرخه و موتورسیکلت، ضریب درگ آیرودینامیکی ۰/۵ تا ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود. برای این حالت خاص، به دلیل اینکه شکل دوچرخه به خاطر قسمت‌هایی همچون موتور، جعبه‌دنده و باتری‌ها، که به آن افزوده شده است، تغییر یافته است این ضریب را برابر با ۰/۸ در نظر می‌گیریم. سطح مقطع دوچرخه را با راکب ۰/۶، چگالی هوا را ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب و ضریب اصطکاک غلتشی را نیز برابر با ۰/۱۵ فرض می‌کنیم. شایان ذکر است که تمامی ضرایبی که در نظر گرفته شده‌اند، در بیشترین محدوده ممکن خود قرار دارند، تا به‌طور خودکار تلفاتی که ممکن است در نظر گرفته نشوند، نیز دیده شده باشند. وزن کلی سیستم را نیز، که شامل وزن خود دوچرخه، باتری‌ها، موتور و راکب است، برابر با ۱۵۰ کیلوگرم فرض می‌کنیم. البته این وزن در سرعت ماکزیمم تأثیر چندانی ندارد، اما در زمان شیب‌روی، با توجه به منبع انرژی محدودی که در اختیار این وسیله نقلیه در حالت تمام برقی قرار دارد، تأثیر به‌سزایی دارد. حال با توجه به اینکه سرعت مورد نظر ما، برابر با ۲۵ کیلومتر بر ساعت است، توان مورد نظر را به‌دست می‌آوریم:

$$P = 235 \text{ w}$$

در نتیجه موتور الکتریکی با توان ۲۵۰ وات در سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه انتخاب شد. جدول ۱ توانی که برای حرکت با سرعت ثابت در شیب‌های مشخص شده نیاز است را نشان می‌دهد. با توجه به موتور انتخاب شده که ۲۵۰ وات توان دارد، این دوچرخه در حالت تمام برقی می‌تواند با سرعت ۱۱ کیلومتر بر ساعت شیبی برابر ۳/۵ درصد را بالا برود.

نوع وسایل نقلیه را منحصر به قشر خاصی می‌کند. در این مقاله، به شرح مراحل طراحی و ساخت دوچرخه هیبریدی می‌پردازیم که با استفاده از یک جعبه‌دنده دنده‌سیاره‌ای و موتور الکتریکی و درایور چاپر، استفاده همزمان از هر دو منبع توانی و نیز هر یک از منابع را به تنهایی فراهم می‌آورد.

مراحل طراحی

با مطالعه بر روی سایر دوچرخه‌های برقی و نیز قوانینی که در اقصی نقاط جهان برای دوچرخه‌های برقی وضع شده است، برد ۴۰ کیلومتر در حالت تمام برقی و رسیدن به حداکثر سرعت ۲۵ کیلومتر بر ساعت به‌عنوان اهداف طراحی در نظر گرفته شدند. پس از این مرحله، بایستی با توجه به اهداف در نظر گرفته شده، موتور و باتری انتخاب شوند. در مورد انتخاب موتور و باتری، فاکتور جانمایی نیز یکی از موارد بسیار مهم و اساسی است. سپس فاکتورهای گوناگونی که برای طراحی لازم است را از روی دوچرخه انتخاب شده به‌دست می‌آوریم. سپس به بررسی تغییراتی که برای جانمایی قطعات گوناگون لازم است، می‌پردازیم.

انتخاب موتور

با بررسی مشخصات عملکردی موتورهای الکتریکی، بهترین انتخاب، استفاده از موتور DC مغناطیس دائم است؛ زیرا هم گشتاور شروع به حرکت قابل قبولی دارد، هم می‌توان از خاصیت بازیابی انرژی آن به‌خوبی استفاده کرد. به‌علاوه، به دلیل استفاده از انرژی آهنربای دائمی به‌عنوان میدان تحریک، راندمان بالایی نیز دارد. با توجه به سرعت ۲۵ کیلومتر بر ساعت در سطح صاف، توان موتور الکتریکی را محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه توان از رابطه زیر استفاده می‌کنیم [۱۰].



انتخاب باتری

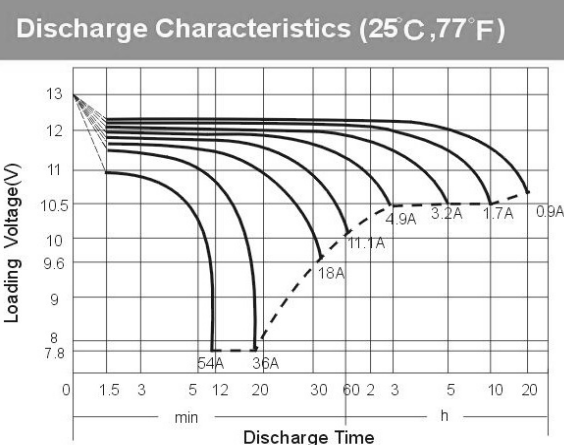
بهترین باتری‌هایی که برای وسایل نقلیه الکتریکی استفاده می‌شوند، باتری‌های لیتیومی هستند؛ زیرا هم چگالی توان بالاتری نسبت به سایر باتری‌ها دارند و هم به دلیل اینکه از الکترولیت جامد یا ژله‌ای استفاده می‌کنند، در ابعاد و اشکال گوناگون قابل تولیدند. اما به دلیل محدودیت‌های موجود، باتری که برای این دوچرخه انتخاب شده است، از نوع سرب و اسیدی سیلد (آب‌بندی) است. ولتاژ این باتری تابعی از ولتاژ کارکرد موتور الکتریکی است و به دلیل اینکه ولتاژ موتور ۲۴ ولت است، دو عدد باتری را با هم سری کرده‌ایم.

نکته حائز اهمیت این است که با افزایش ظرفیت باتری ابعاد و وزن آن نیز بیشتر می‌شود، و در عین حال مسافتی که دوچرخه با یک بار شارژ می‌تواند طی کند، افزایش می‌یابد. بنابراین بایستی توازنی بین برد و ظرفیت (ابعاد و وزن) باتری برقرار کرد. البته نبایستی جانمایی باتری را نیز از یاد برد. نکته منفی که درباره باتری‌های با ابعاد و ظرفیت کوچکتر وجود دارد، کوچکتر از یک بودن نرخ تغییرات ظرفیت باتری نسبت به ابعاد و وزن آن است. مثلاً وزن باتری با ظرفیت ۸۰ Ah، برابر با ۲۲/۶ کیلوگرم است، در صورتی که باتری با ظرفیت ۴۵ Ah وزنی برابر با ۱۴/۵ کیلوگرم دارد. برای به دست آوردن ظرفیت باتری، ابتدا توان مصرفی دوچرخه را محاسبه کرده، سپس با استفاده از میان‌یابی بین داده‌های جداول مربوط به مشخصات الکتریکی باتری‌ها، ظرفیت مورد نظر را به دست می‌آوریم. در جدول ۱ توان منفی، توانی است که دوچرخه در زمان حرکت در سراسیمی تولید می‌کند، به عبارت دیگر این میزان توان را در زمان حرکت در سرازیری با سرعت ثابت

می‌توان با استفاده از ژنراتور (موتور) الکتریکی تبدیل به انرژی الکتریکی کرده و در باتری‌ها ذخیره کرد. میزان توانی که در زمان توقف قابل بازیابی است بیش از این مقدار است.
به کمک رابطه زیر مقدار جریانی را که موتور برای تولید توان ۲۵۰ وات نیاز دارد، به دست می‌آوریم:

$$P = EI \quad (2)$$

ولتاژ موتور الکتریکی ۲۴ ولت است، در نتیجه جریانی که موتور نیاز دارد برابر ۱۰/۴ میلی‌آمپر به دست می‌آید. برای اینکه دوچرخه بتواند با یک بار شارژ، مسیری ۴۰ کیلومتری را با سرعت متوسط ۲۵ کیلومتر بر ساعت طی کند، بایستی باتری بتواند این مقدار جریان را به مدت ۱/۶ ساعت در اختیار موتور قرار دهد. به عبارت دیگر، باتری بایستی این توانایی را داشته باشد که جریانی برابر ۱۰/۴ Am را به مدت ۹۶ دقیقه به طور مداوم تولید کند. با توجه به مقادیر به دست آمده و اطلاعات جدول مشخصات الکتریکی باتری‌ها، به این نتیجه می‌رسیم که ظرفیت باتری بایستی برابر ۱۸ Ah باشد. نمودار تخلیه و مشخصات باتری ۱۸ Ah در شکل ۱ و جدول ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱. نمودار تخلیه باتری ۱۸ Ah [۷]



انتخاب جعبه‌دنده دنده‌سیاره‌ای

جعبه‌دنده دنده‌سیاره‌ای، علاوه بر اینکه بایستی از نسبت‌دنده‌های مناسبی برخوردار باشد، باید شکل ظاهری و ابعاد آن نیز برای جانمایی و انتخاب ضریب دنده‌های مکمل آن مناسب باشد. حال بایستی مشخص کنیم که کدامیک از ورودی‌ها برای موتور و پا و کدام خروجی برای چرخ دوچرخه مناسب‌تر است. به‌طور کلی ۷ حالت گوناگون برای چرخ‌دنده سیاره‌ای که دو ورودی و یک خروجی دارد، امکان‌پذیر است. پس از بررسی تمامی حالت‌ها، تنها یک حالت برای چنین کاربردی مناسب تشخیص داده شد. در این حالت، خورشید به‌عنوان ورودی موتور، رینگ به‌عنوان ورودی رکاب و بازو به‌عنوان خروجی استفاده می‌شوند.



شکل ۲. جعبه‌دنده دنده‌سیاره‌ای انتخاب‌شده

تعداد دنده‌های خورشید در این جعبه‌دنده (شکل ۲) برابر ۱۳، تعداد دنده‌های چرخ‌دنده‌های هرزگرد (سیاره‌ها) برابر ۲۲ و تعداد چرخ‌دنده‌های رینگ برابر ۵۹ است. نسبت تبدیل خورشید به بازو زمانی که رینگ ثابت است برابر $0/18$ و نسبت تبدیل رینگ به بازو زمانی که خورشید ثابت است، برابر $0/82$ است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، سرعت دورانی رکاب را برابر ۷۰ تا ۹۰ دور بر دقیقه در نظر می‌گیریم [۱] و ضرایب تبدیل

را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که هم در حالت تمام برقی و هم در حالت ترکیبی، به حداکثر سرعت ممکن دست پیدا کنیم [۲].

بنابراین ابتدا ضرایب تبدیل خود دوچرخه را به‌دست می‌آوریم و سپس با توجه به این ضرایب، نسبت تبدیل‌هایی را که بایستی برای انتقال نیرو از پا و موتور به جعبه‌دنده خورشیدی و از آن به جعبه‌دنده دوچرخه اعمال کنیم را با توجه به توان و سرعتی که در هر حالت مد نظر است، محاسبه می‌کنیم. تمامی ضرایب تبدیلی که در خود دوچرخه وجود دارد را در جدول ۳ مشاهده می‌کنید.

با توجه به مشخصات موتور و آزمایش‌هایی که روی دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور انجام شده است، توان حالت تمام پایی را برابر با ۷۰ وات و سرعت دورانی ورودی به جعبه‌دنده را برابر ۷۰ تا ۹۰ دور بر دقیقه [۱]، توان حالت برقی را برابر با ۲۵۰ وات و سرعت دورانی ورودی به جعبه‌دنده را در حالت تمام بار برابر با ۱۴۰۰ دور بر دقیقه و توان کل را برابر با ۳۲۰ وات در نظر می‌گیریم. تحت این شرایط، گشتاور تولیدی توسط موتور حداقل برابر با $1/71$ نیوتن متر و گشتاور تولیدی توسط پای راکب برابر با $7/42$ تا $9/55$ نیوتن متر است. شرایطی را که بایستی برای محاسبه ضرایب تبدیل در نظر گرفت، بدین قرار است:

- دستیابی به بیشترین سرعت ممکن در سطح صاف، در حالت ترکیبی (توان ۳۲۰ وات)
- امکان دستیابی به سرعت‌های بالاتر در شرایطی همچون حرکت در سرازیری
- دستیابی به بیشترین سرعت در حالت تمام برقی (توان ۲۵۰ وات)

• شیب روی ۵ درصد (۲/۹ درجه) در حالت تمام برقی

باید توجه داشت که با توجه به نسبت‌های تبدیل گسترده-ای که در خود دوچرخه وجود دارد (جدول ۳) تنها یک طرح ایده‌آل برای این شرایط وجود ندارد. بنابراین ضرایب را به گونه‌ای به دست می‌آوریم که زمانی که در حالت تمام پایی در حال حرکت در سطح صاف هستیم، با افزودن توان موتور برقی و افزایش سرعت دوچرخه، نیازی به تعویض دنده در دوچرخه نباشد. با توجه به این هدف، نسبت تبدیل‌ها را انتخاب می‌کنیم. مطابق جدول ۱، با توان ۳۲۰ وات می‌توان به سرعت ۲۹ کیلومتر بر ساعت دست یافت. در چنین سرعتی، سرعت دورانی چرخ دوچرخه را از رابطه ۳ به دست می‌آوریم:

$$V = r_w \omega \quad (3)$$

در نتیجه سرعت دورانی چرخ برابر است با:

$$\omega = 233 \text{ rpm} \quad (4)$$

در حالت تمام برقی و با توان ۲۵۰ وات نیز در جاده صاف، حداکثر سرعت قابل دستیابی برابر با ۲۵ کیلومتر بر ساعت است، در نتیجه داریم:

$$\omega = 200 \text{ rpm} \quad (5)$$

در شیب روی ۵ درصد نیز با توان ۲۵۰ وات می‌توان به حداکثر سرعت ۹ کیلومتر بر ساعت دست یافت. سرعت دورانی چرخ برابر است با:

$$\omega_w = 72 \text{ rpm} \quad (6)$$

با توجه به اینکه نسبت‌های تبدیل جعبه‌دنده خورشیدی و ضرایب تبدیل دوچرخه ثابتند، در ابتدا سرعت خروجی موتور و پای انسان را از جعبه‌دنده خورشیدی محاسبه می‌کنیم. سپس با در نظر گرفتن نسبت تبدیل‌های خود دوچرخه، سعی می‌کنیم ضرایب تبدیل

مد نظر را به گونه‌ای به دست آوریم که شرایط مطلوب را ارضاء کند. در نهایت نسبت تبدیل ۳ به ۱ را برای ورودی موتور به جعبه‌دنده خورشیدی و نسبت تبدیل ۱/۳۵ به ۱ را برای ورودی سرعت دورانی پای انسان به جعبه‌دنده خورشیدی به دست آوردیم. خروجی جعبه‌دنده خورشیدی را نیز با نسبت ۱ به ۱ به چرخ-زنجیر جلوی دوچرخه متصل کردیم. در تمامی این انتخاب‌ها، بحث‌های جانمایی و شرایط استاندارد مربوط به زنجیرها نیز در نظر گرفته شده است. نتایج مربوط به شرایط مطلوب، با انتخاب این نسبت تبدیل‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

اکنون پس از به دست آوردن ضرایب تبدیل، باید بررسی کنیم آیا مقادیر گشتاور دو منبع توان با هم برابر است یا خیر؟ زیرا برای اینکه جعبه‌دنده دنده‌سیاره‌ای بتواند با جمع کردن سرعت‌های دورانی دو منبع توانی، توان‌های آنها را با هم جمع کند، بایستی گشتاورهای ورودی به آن با نسبت ثابتی با هم برابر باشند. به همین منظور بازه توانی پای انسان را مابین ۵۰ تا ۲۵۰ وات و سرعت دورانی آنرا بین ۶۰ تا ۱۲۰ دور بر دقیقه در نظر می‌گیریم. در این شرایط بیشترین و کمترین گشتاوری که توسط پای انسان تولید می‌شود به ترتیب برابر ۴۰ و ۴ نیوتن متر خواهد بود [۱].

در مورد موتور نیز کمترین گشتاوری که می‌تواند تولید کند در دور و توان حداکثرش است. مقدار این گشتاور برابر است با ۱/۷ نیوتن متر. حال با در نظر گرفتن ضرایب تبدیل و به کمک رابطه ۷ محاسبه می‌کنیم که زمانی که موتور کمترین گشتاور ممکن را تولید می‌کند، پا بایستی چه گشتاوری داشته باشد تا خللی در کار سیستم ایجاد نشود. در این جعبه‌دنده مقدار R برابر ۴/۵۴ است [۶].



می‌کند و در نتیجه می‌توان دور موتور الکتریکی را با استفاده از پتانسیومتری که توسط دوچرخه سوار تنظیم می‌شود، کنترل می‌کند و زمانی که دور موتور الکتریکی بیشتر از دور تعیین شده توسط دوچرخه سوار باشد، موتور الکتریکی به صورت ژنراتور عمل کرده، انرژی جنبشی دوچرخه را به انرژی الکتریکی تبدیل و باتری‌ها را شارژ می‌کند. شکل ۳ مدار الکتریکی ساخته شده را نمایش می‌دهد.

جانمایی

برای عملکرد مناسب سیستم، علاوه بر مقاومت قطعات، بایستی جانمایی آنها نیز به نحو مناسبی انجام شود، تا نه بر سواری دوچرخه تأثیر منفی بگذارد، نه مانع از رکاب زدن دوچرخه سوار شود، و نه برای رکاب خطر آفرین باشد (به دلیل استفاده از زنجیر). برای اینکه بتوان قطعات اعم از موتور، جعبه دنده دنده سیاره‌ای و باتری‌ها را به طرز مناسبی جانمایی کرد، پیش از هر چیز بایستی مسیر حرکت پای انسان را در زمان پدال زدن مورد بررسی قرار داد و قطعات را خارج از دامنه حرکتی پاهای انسان جانمایی کرد. برای این منظور، از شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری و مشاهدات عینی استفاده شده است. شکل ۴ جانمایی اولیه‌ای را که پیش از ساخته شدن دوچرخه و قطعات گوناگون آن با استفاده از نرم‌افزار سالید ورک^۱ شبیه‌سازی شده است را نمایش می‌دهد.

اما در این میان جانمایی جعبه دنده اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا علاوه بر وظیفه جمع کردن توان‌ها و سرعت‌های دورانی، دارای ۳ ورودی و خروجی است، که بایستی با تمامی بخش‌هایی که با آنها در ارتباط است، هم‌راستا باشد تا بتواند از طریق زنجیر و بدون در رفتن

$$T_c = (1 + R)T_s = \frac{1 + R}{R}T_r \quad (7)$$

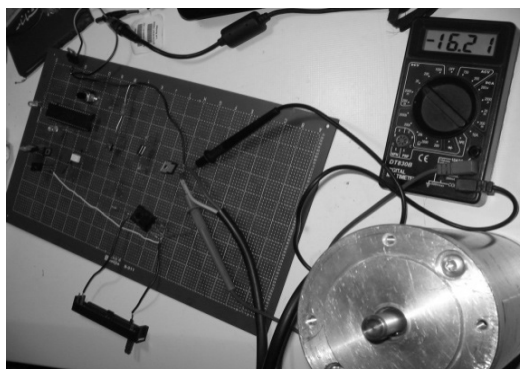
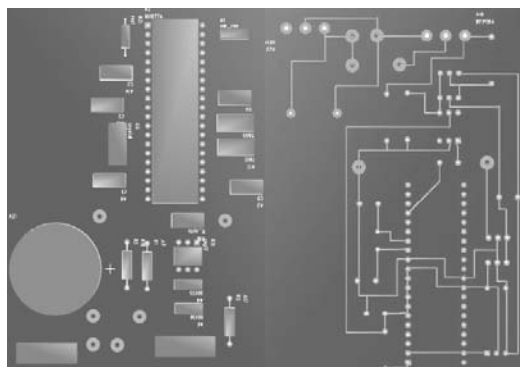
$$R = \frac{r_r}{r_s} > 1$$

$$T_c = 28 Nm$$

با توجه به نسبت تبدیل ۱/۳۵ که از رکاب به جعبه دنده وجود دارد، گشتاوری که با بایستی تولید کند برابر با ۱۷ نیوتن متر است.

ساخت کنترلر موتور الکتریکی

با بررسی انواع کنترلرهایی که برای کنترل توان و دور موتورهای الکتریکی تحریک مستقل به کار می‌روند، به این نتیجه رسیدیم که استفاده از یک چاپر تک-ربعی کلاس A که در ربع اول کار می‌کند، بهترین انتخاب است [۴]. این نوع چاپر با سوئیچینگ یک ماسفت، ولتاژ ترمینال موتور الکتریکی را کنترل



شکل ۳. مدار آزمایشی و مدار چاپی طراحی شده برای درایور چاپر

گرفتن این نکته که سرعت سیستم مورد نظر خیلی زیاد نیست، سیستم را تنها به صورت استاتیکی تحلیل کرده ایم. برای به دست آوردن مقادیر نیروی‌هایی که در کل سیستم در زمان حرکت ایجاد می‌شود، فرض می‌کنیم که سیستم با حداکثر توانی که از طرف پا و موتور وارد می‌شود، در حال حرکت است. توجه به این نکته ضروری است که در جعبه‌دنده دنده سیاره‌ای گشتاورهای ورودی و خروجی با نسبت ثابتی با هم برابر هستند. این برابری در رابطه ۸ نشان داده شده است.

$$T_{out} = \frac{T_{in1}}{K_1} = \frac{T_{in2}}{K_2} \quad (8)$$

حالت حدی که در نظر می‌گیریم، زمانی است که در حرکت در یک سراسیمه، راکب با دور ۵۰ دور بر دقیقه و توان ۲۵۰ وات رکاب می‌زند. در این صورت نتایج زیر به دست می‌آید:

$$T_s = 14.2 \text{ nm} \Rightarrow F_s = 480 \text{ N}$$

$$T_r = 64.4 \text{ nm} \Rightarrow F_r = 2300 \text{ N}$$

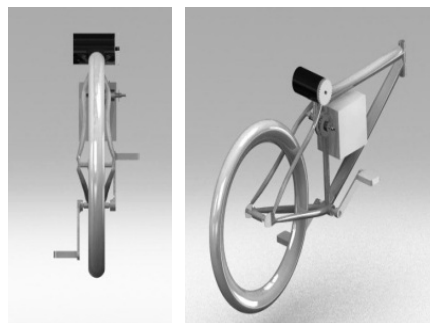
$$T_c = 79 \text{ nm} \Rightarrow F_c = 3600 \text{ N}$$

اکنون به تحلیل این قسمت می‌پردازیم. شکل ۵ نشان‌دهنده مدل استفاده شده است. در این شکل نتایج تحلیل تنش و جابه‌جایی نیز مشاهده می‌شود.

ملاحظه می‌شود که مقدار حداکثر تنش ۷۰۷ مگاپاسکال و حداکثر جابه‌جایی ۰/۳۴ میلی‌متر است. همچنین در شکل ۶ مکان‌هایی که تنش آنها بیش از ۱۵۰ مگاپاسکال است، نشان داده شده است. حجم این قسمت‌ها در حدود ۶ درصد حجم کل سیستم است.

نتیجه‌گیری

تفاوتی که این دوچرخه با سایر دوچرخه‌های برقی و هیبریدی دارد، استفاده از جعبه‌دنده Z دنده سیاره‌ای است که علاوه بر اینکه توان دو منبع انرژی را با هم



شکل ۴. جانمایی موتور و جعبه‌دنده و باتری در نمای فضایی

آن توان و گشتاور را منتقل کند. برای اینکه بتوان تمامی قطعات را جانمایی کرد، بایستی برخی از قطعات اصلی دوچرخه تغییر داد و برخی از قطعات دیگر را نیز با طراحی دقیق ساخت.

برای اینکه بتوان از زنجیر استفاده کرد بایستی بتوان فاصله بین آنها را تا حدودی تغییر داد تا از آن برای تنظیم لقی زنجیرها استفاده شود [۳]. به این منظور، تمامی این قطعات را با استفاده از لوله و میله به هم متصل و با استفاده از پیچ، میله را در داخل لوله در فاصله مورد نظر ثابت کردیم. طرح نرم‌افزاری را که برای ساخت این طرح از آن کمک گرفته شده است در شکل ۴ دیده می‌شود.

تحلیل المان محدود اتصالات

برای تحلیل المان محدود سیستم، ابتدا بایستی بیشترین مقدار نیرو را در بدترین شرایط ممکن به دست آوریم. چون انجام تحلیل دینامیکی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است و در نظر

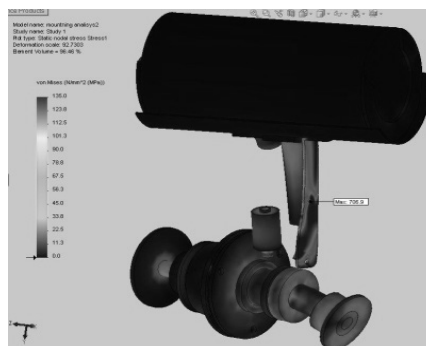
الکتریکی را جبران نمود. همچنین مسافتی که با یک بار شارژ این دوچرخه می‌توان طی کرد، بیش از ۳۰ کیلومتر بوده، حداکثر سرعت آن نیز با موتور الکتریکی به ۲۵ کیلومتر بر ساعت می‌رسد. شایان ذکر است که راندمان سیستم انتقال قدرت این دوچرخه، در حدود ۹۳ درصد است. بدین معنا که زمانی که دوچرخه را به‌طور خلاص به حرکت در می‌آوریم، جریانی در حدود ۰/۸ آمپر نیاز دارد، در صورتی که حداکثر جریان موتور، ۱۰ تا ۱۱ آمپر است، که خود نشان از دقت ساخت دارد.

تشکر و قدردانی

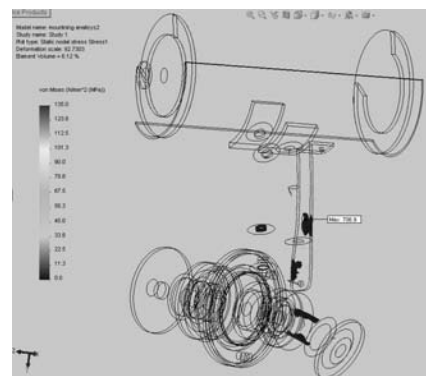
نویسندگان مراتب قدردانی و تشکر خود را از سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور به‌واسطه حمایت مالی از این پروژه اعلام می‌دارند.

منابع

- [1] Huai-Ching Chien, Ching-Huan Tseng "An automatic transmission for bicycles: a simulation", Elsevier, 2003
- [2] Chang K. Cho, Myung Hwan Yun, Chang S. Yoon, Myun W. Lee "An ergonomic study on the optimal gear ratio for a multi-speed bicycle", Elsevier, 1997
- [۳] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, "STANDARD HANDBOOK OF MACHINE DESIGN", McGraw-Hill, 1986
- [۴] ه. رشید، محمد. الکترونیک قدرت، مدارها، عناصر و کاربردها، سیدابراهیم افجه‌ای، مجید مهاجر، نورپردازان، ۱۳۸۷
- [5] Husain Iqbal, "ELECTRIC and HYBRID VEHICLES Design Fundamentals", CRC PRESS, 2003
- [6] Ehsani Mehrdad, Gao Yimin, E. Gay Sebastien, Emadi Ali, "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles", CRC PRESS, 2005
- [7] http://iranbattery.ir/fa/index.php?option = com_content&task=view&id=5&Itemid=8



شکل ۵. نتایج تحلیل المان محدود اتصالات



شکل ۶. مکان‌هایی با تنش بیشتر از ۱۵۰ مگاپاسکال

جمع می‌کند، ساختار و عملکردی ساده و با راندمان بالا دارد. با علاوه نیاز به استفاده از مدارهای هم‌گام‌ساز^۲ الکترونیکی پیچیده و پرهزینه را مرتفع می‌سازد. آزمایش‌های انجام شده نشان داد که با استفاده از این دوچرخه می‌توان سراسیمی‌های در حد ۵ درصد را به آسانی و بدون پدال‌زدن طی کرد و در صورتی که شیب از این مقدار بیشتر شود، با پدال‌زدن می‌توان کمبود توان موتور

جدول ۱. توان موردنیاز در سرعت و شیب‌های گوناگون

Incline (deg)	V (km/h)		P_res (W)		
	2	1	0	-1	-2
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	20.40	13.27	6.14	-1.00	-8.13
2	40.83	26.57	12.30	-1.96	-16.23
3	61.33	39.94	18.53	-2.87	-24.26
4	81.92	53.39	24.86	-3.68	-32.20
5	102.63	66.98	31.31	-4.36	-40.02
6	123.51	80.72	37.92	-4.89	-47.68
7	144.57	94.65	44.71	-5.23	-55.15
8	165.84	108.79	51.72	-5.35	-62.40
9	187.37	123.19	58.99	-5.22	-69.40
10	209.19	137.87	66.53	-4.80	-76.12
11	231.31	152.86	74.39	-4.08	-82.52
12	253.78	168.20	82.60	-3.01	-88.58
13	276.62	183.91	91.18	-1.56	-94.27
14	299.88	200.04	100.16	0.29	-99.55
15	323.57	216.60	109.59	2.59	-104.39
16	347.73	233.62	119.49	5.35	-108.76
17	372.39	251.16	129.88	8.61	-112.62
18	397.59	269.22	140.81	12.41	-115.96
19	423.34	287.85	152.31	16.77	-118.73
20	449.70	307.07	164.39	21.72	-120.91
21	476.68	326.92	177.11	27.30	-122.46
22	504.32	347.42	190.48	33.54	-123.35
23	532.64	368.62	204.55	40.47	-123.55
24	561.69	390.54	219.33	48.12	-123.04
25	591.49	413.20	234.86	56.52	-121.77
26	622.07	436.66	251.18	65.70	-119.71
27	653.47	460.92	268.31	75.70	-116.85
28	685.72	486.03	286.29	86.55	-113.13
29	718.84	512.02	305.15	98.27	-108.54
30	752.86	538.92	324.91	110.90	-103.05
31	787.83	566.76	345.61	124.47	-96.61
32	823.77	595.57	367.29	139.01	-89.20
33	860.72	625.38	389.97	154.55	-80.79
34	898.69	656.22	413.68	171.13	-71.34
35	937.73	688.13	438.45	188.77	-60.83
36	977.87	721.14	464.33	207.51	-49.22
37	1019.14	755.27	491.33	227.38	-36.49
38	1061.56	790.56	519.48	248.41	-22.59



جدول ۲. مشخصات الکتریکی باتری ۱۸Ah [۷]

مشخصات الکتریکی					
جریان شارژ اولیه بایستی کمتر از 5.4A باشد. ولتاژ 14.4V~15.0V @ 25°C	در سیکل	شارژ در ولتاژ ثابت	۱۸Ah ۱۷Ah ۱۶Ah ۱۱.۱Ah ۸.۶Ah	۲۰ ساعت با نرخ (0.9A)	نرخ ظرفیت
				۱۰ ساعت با نرخ (1.7A)	
۵ ساعت با نرخ (3.2A)					
۳ ساعت با نرخ (11.1A)					
۱ ساعت با نرخ (34.325.2A)					
محدودیتی در جریان شارژ اولیه وجود ندارد. ولتاژ 13.5V~13.8V @ 25°C	در حالت آماده		103% 100% 86%	40°C 25°C 0°C	ظرفیتی که تحت تأثیر دما قرار گرفته است

جدول ۳. نسبت تبدیل‌های چرخ زنجیرهای دوچرخه

تعداد دندانه‌های چرخ زنجیر جلو	تعداد دندانه‌های چرخ زنجیر عقب							
	۲۸	۲۴	۲۲	۲۰	۱۸	۱۶	۱۴	
۴۲	۱.۵	۱.۷۵	۱.۹۱	۲.۱	۲.۳۳	۲.۶۲۵	۳	
۳۴	۱.۲۱	۱.۴۲	۱.۵۴	۱.۷	۱.۸۹	۲.۱۲۵	۲.۴۳	
۲۴	۰.۸۶	۱	۱.۰۹	۱.۲	۱.۳۳	۱.۵	۱.۷۱	

جدول ۴. نتایج مربوط به ضرایب انتخاب شده

شماره دنده (n)	نسبت تبدیل مورد نیاز	سرعت دورانی چرخ (rpm)	سرعت دوچرخه (km/h)	سرعت خروجی از چرخ دنده (rpm)	سرعت دورانی پدال (rpm)	سرعت دورانی موتور الکتریکی (rpm)	توان و شیب	شرایط گوناگون
۲۳-۲۴ ۲۵-۳۶-۳۷	۱/۴۵-۱/۹۵	۸۰	۱۰	۴۱-۵۵	۷۰-۹۰	۰	P=70W @ 0%	
۲۷-۱۵	۲/۳۸	۲۰۰	۲۵	۸۴	۰	۱۴۰۰	P=250W @ 0%	
۱۲-۲۴ ۲۵-۳۷	۱/۶۸-۱/۸۳	۲۳۳	۲۹	۱۲۷-۱۳۹	۷۰-۹۰	۱۴۰۰	P=320W @ 0%	
۳۱	۰/۸۵۷	۷۲	۹	۸۴	۰	۱۴۰۰	P=250W @ 5%	

پی نوشت

- 1- Solid work
- 2- Synchronizer