



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۲۳ تا ۳۳
Vol. 46, No. 2, Winter 2014, pp. 23- 33



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی مکانیک)
Amirkabir Journal of Science & Research (Mechanical Engineering)
(AJSR - ME)

بهبود پروفیل هندسی چرخ زنجیر در سامانه انتقال قدرت دوچرخه با هدف تعدیل در دامنه نوسان شتاب حاصل از رکابزدن

علی معظمی گودرزی^{۱*}، سید حبیب الله هاشمی کچی^۲

۱- استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

(دریافت ۱۳۹۱/۸/۸، پذیرش ۱۳۹۳/۳/۳۱)

چکیده

بر پایه نتایج بدست آمده از داده های آزمایشگاهی و تحلیل های مکانیکی وابسته به آن، بزرگی نیرویی که یک دوچرخه سوار می تواند در حداکثر توان خود بر پنجه رکاب ها وارد آورد، تابعی از موقعیت زاویه ای رکاب ها است. از اینرو بر ایند گشتاور هایی که این نیرو ها در محور رکاب وارد می نمایند، طبیعتی متناوب دارد. برای جلوگیری از انتقال نوسانات گشتاور به چرخ محرک دوچرخه که افت و خیز در شتاب دوچرخه را به همراه دارد باید از سیستم انتقال نیروی ویژه ای بهره جست. طراحی چنین مکانیزمی موضوع پژوهش حاضر می باشد. طرح مذکور در واقع یک نمونه بهینه سازی شده از سیستم های معمولی تولید انرژی مکانیکی به روش رکابزدن می باشد که در آن برای انتقال توان از محور رکاب به زنجیر از یک چرخ زنجیر بیضی گون استفاده شده است. با توجه به ویژگیهای چرخ زنجیر جدید، سازوکار انتقال قدرتی که از آن استفاده می کند می تواند نوسانات متناوب گشتاور وارده بر محور رکاب را تعدیل نماید. بنا براین روند شتابگیری در دوچرخه ای که از این سیستم انتقال نیرو استفاده می کند تقریباً بدون نوسان خواهد بود.

واژه های کلیدی

گشتاور متناوب، دامنه نوسان، دوچرخه، تحلیل مکانیکی، چرخ زنجیر بیضی شکل.

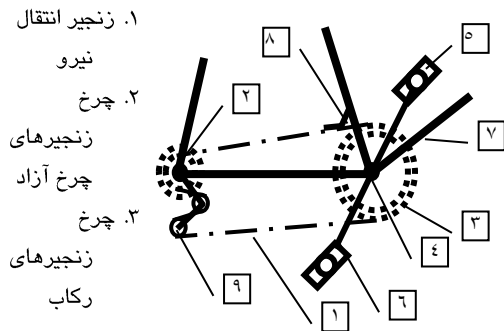
* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: goudarzi@nit.ac.ir

۱- مقدمه

روش مرسوم برای تبدیل انرژی ماهیچه ای دوچرخه سوار به کار مکانیکی لازم برای راندن دوچرخه استفاده از مکانیزم چرخ و لنگ است که در آن پنجه رکاب با قرار گرفتن در موقعیت خارج از مرکز نسبت به محور گشتاور مکانیکی نقش لنگ را در مکانیزم مذکور دارد. اگر در نظر بگیریم که عضلاتی از دوچرخه سوار که می بایستی انرژی لازم برای گردش چرخ را تامین کنند در هر موقعیت قرارگیری پنجه رکاب نسبت به محور گشتاور توانایی متفاوتی برای اعمال نیرو بر پنجه رکاب را داشته باشند، می توان نتیجه گرفت که چنانچه دوچرخه سوار با تمامی توان خود رکاب بزند گشتاور مکانیکی که بر محور دوچرخه وارد می کند ثابت نخواهد بود و تابعی از موقعیت زاویه ای پنجه رکاب نسبت به محور گشتاور آن خواهد بود. این واقعیت به روش تجربی قابل اثبات می باشد [۵-۱]. هدف از این پژوهش، طراحی سیستم انتقال قدرتی است که در آن دامنه نوسانات در گشتاور ایجاد شده در محور چرخ محرک در پایین ترین سطح قرار گیرد. کاهش در دامنه نوسان چنین گشتاوری یکنواخت شدن بیشتر شتاب خطی دوچرخه را در پی خواهد داشت. برای رسیدن به این هدف نخست با یک تحلیل مکانیکی چگونگی انتقال قدرت در دوچرخه های متداول بررسی می گردد. سپس با شبیه سازی آزمایشگاهی کارکرد مکانیکی سیستم انتقال قدرت دوچرخه و درستی نتایج بدست آمده از روش تحلیلی ارزیابی می شود. در آخر با استناد به نتایج بدست آمده یک سازوکار مناسب برای بهینه سازی سیستم انتقال نیرو در دوچرخه ارائه می گردد.

۲- تحلیل رفتار مکانیکی سیستم انتقال نیرو

بطور کلی، سازوکار مکانیکی که برای انتقال نیرو از رکاب به محور چرخ محرک دوچرخه مورد استفاده قرار می گیرد، مطابق شکل (۱)، از اجزاء زیر تشکیل شده است [۶]:



شکل (۱): طرح کلی سازوکار انتقال نیرو در دوچرخه

۲-۱- مجموعه رکاب

مجموعه رکاب تشکیل شده است از یک یا چند عدد چرخ زنجیر، دو عدد پنجه رکاب، با و یا بدون پاگیر (سازوکاری که رکاب را به پای دوچرخه سوار گیر می دهد)، دو عدد دسته رکاب (رابط بین پنجه رکاب و محور چرخ زنجیر) و یک یا چند عدد بلبرینگ. بلبرینگها برای لولا کردن مجموعه دسته رکاب و چرخ زنجیرها به چارچوب بدنه دوچرخه مورد استفاده قرار می گیرند. چرخ زنجیرها نسبت به هم موازی بوده و به گونه ای ثابت شده اند که مراکزشان بر روی محوری که عمود بر سطوح چرخ زنجیر قرار گیرد است. محور مذکور را اصطلاحاً محور رکاب می نامیم. دسته رکاب ها که هم اندازه هستند، بگونه ای متقارن، نسبت به محور رکاب با مجموعه چرخ زنجیرها یکپارچه شده اند و از یک سو پنجه رکابها به سرهای آزاد دسته رکابها لولا شده اند. محورهای دوران این لولاها (محورهای پنجه رکابها) با محور رکاب موازی می باشند. یکی از کاربردهای پنجه رکاب انتقال نیروی وارده از پای رکابزن به دسته رکاب مربوطه است. این نیرو توسط دسته رکاب بصورت ترکیبی از یک نیرو و یک گشتاور به محور رکاب وارد می شود. از آن میان مؤلفه نیرو توسط چارچوب بدنه دوچرخه تحمل می گردد. با چشم پوشی کردن از اینرسی مجموعه رکاب و اصطلاحهای بین اجزاء متحرک این مجموعه، مؤلفه گشتاور وارده بر محور رکاب عیناً به چرخ زنجیرها منتقل می شود. در دوچرخه تنها در صورتی که راستای این گشتاور از راست به چپ راننده باشد سبب رانش وسیله نقلیه می گردد. بزرگی این گشتاور به نیروی وارده بر پنجه رکاب و فاصله بین محور پنجه رکاب و محور رکاب بستگی دارد. این فاصله که برای هر دو دسته رکاب یکسان می باشد همواره ثابت است. از اینرو می توان نتیجه گرفت که برای یک دوچرخه مفروض گشتاور وارده بر محور رکاب تابعی است از نیروهای وارده بر رکابها. گشتاور وارده بر محور رکاب توسط چرخ زنجیری که درگیر می

۱. زنجیر انتقال نیرو

۲. چرخ زنجیرهای چرخ آزاد

۳. چرخ زنجیرهای رکاب

۴. بلبرینگ رکاب

۵. پنجه رکاب

۶. دسته رکاب

۷. بدنه وسیله نقلیه

۸. زنجیرکش جلو

۹. زنجیرکش عقب

برای رانش وسیله نقلیه بکار می رود. گشتاور مذکور به مقدار نیروی کشش زنجیر و فاصله بین راستای زنجیر تحت کشش تا محور چرخ آزاد بستگی دارد. از گرد بودن چرخ زنجیر درگیر می توان نتیجه گرفت که برای یک چرخ زنجیر مفروض گشتاور وارده به چرخ آزاد و از آن طریق به چرخ محرک وسیله نقلیه تابعی است از کشش زنجیر.

در روش تحلیلی هدف فرمولاسیون نیروهای محرکی است که منجر به حرکت چرخ می شوند. از آنجاییکه توان لازم برای حرکت دوچرخه حاصل کار ماهیچه ای رکابزن می باشد و بزرگی آن به توانایی و اراده ی عامل آن بستگی دارد، نمی توان الگوی معینی برای تغییرات توان وارد شده بر حسب زمان ارائه نمود. از اینرو، در بررسی مکانیکی سازوکار انتقال قدرت در دوچرخه، تنها به یک تحلیل کیفی بسنده می گردد.

برای ساده تر کردن تحلیل مکانیکی سازوکار انتقال قدرت دوچرخه فرض می کنیم که در هر دور گردش رکاب آثار نیروهای خارجی وارد بر وسیله نقلیه ثابت باشد. در این شرایط چنانچه بخواهیم با شتابی ثابت حرکت کنیم بایستی گشتاور ثابتی را بر محور چرخ محرک وارد نماییم. باتوجه به ویژگیهای تعریف شده برای سازوکارهای انتقال نیروی موجود، انجام چنین امری مستلزم آنست که بر پنجه رکاب نیروی ثابتی وارد شود.

ما نیروی وارد بر پنجه رکاب برآیند نیروهای ماهیچه ای اعمال شده بر مفاصل پای دوچرخه سوار (مفاصل ران، زانوها و مچ های پاها) و آن بخش از نیروهای وزن وی است که بر زین دوچرخه وارد نمی شود. با توجه به اینکه مقدار و جهت اعمال این نیروها به حالتی که دوچرخه سوار به خود می گیرد بستگی دارد، برآیند آنها در هر موقعیت پنجه رکاب متفاوت است. از آنجاییکه موقعیت پنجه رکابها پس از هر دور گردش مجموعه رکاب تکرار می گردد حداکثر نیرویی که دوچرخه سوار می تواند بر پنجه رکاب وارد کند بصورت تناوبی در هر دور گردش مجموعه رکاب تکرار می گردد. متقارن بودن اندام انسان و متقارن بودن هر دو دسته رکاب نسبت به محور رکاب می رساند که دوره تکرار نیرو در واقع برابر نیم دور گردش مجموعه رکاب می باشد. به عبارت دیگر حد اکثر نیرویی که دوچرخه سوار می تواند بر پنجه رکاب وارد کند بصورت پریودیک در هر نیم دور گردش مجموعه رکاب تکرار می گردد. برای انجام تحلیلی بهتر از چگونگی تغییرات نیروی وارده بر پنجه رکاب، هنگامی که دوچرخه سوار با کل توان رکاب می زند، اثر نیروهای

باشد بصورت یک نیروی کششی بر بخش تحت بار زنجیر وارد می گردد. مقدار این نیرو به مقدار گشتاور وارده بر محور رکاب و فاصله بین راستای بخش تحت کشش زنجیر و محور چرخ زنجیر بستگی دارد. از آنجاییکه چرخ زنجیر ها گرد است فاصله مذکور برای هر چرخ زنجیر ثابت می باشد. بنابر این می توان نتیجه گرفت که برای چرخ زنجیر گرد نیروی کشش وارده بر زنجیر متناسب باگشتاور وارده بر محور رکاب تغییر می کند و بنابراین تابعی است از نیروهای وارده بر پنجه رکابها

۲-۲- زنجیر

بواسطه زنجیر، یک چرخ زنجیر از مجموعه رکاب با همتای آن که بر روی محور چرخ آزاد (که با چرخ محرک وسیله نقلیه هم محورا است) نصب شده است درگیر می گردد. نقش آن در مجموعه سیستم، جابجایی اثر نیروی مماسی بین دو چرخ زنجیر مرتبط می باشد. برای ایفای این نقش بایستی در راستای انتقال نیرو تحت کشش باشد.

۲-۳- زنجیرکش

بسته به نوع سازوکار انتقال قدرت چند سرعتی، از یک یا دو زنجیرکش استفاده می شود. این زنجیرکش ها درگیری بین زنجیر و چرخ زنجیرهای مرتبط را تضمین می کنند. در سازوکارهای معمولی که بر روی دوچرخه ها نصب می شود از دو زنجیرکش استفاده می شود که به ترتیب زنجیرکش جلو و زنجیرکش عقب نامیده می شوند. زنجیرکش جلو که در نزدیکی مجموعه رکاب قرار گرفته است بخش تحت کشش زنجیر را راهنمایی میکند. زنجیرکش عقب که در نزدیکی چرخ آزاد قرار گرفته است بخش آزاد زنجیر را راهنمایی میکند. برای تضمین درگیری بین زنجیر و چرخهای مرتبطی که در یک صفحه قرار ندارند زنجیرکش عقب بایستی زنجیر آزاد را به حالت کشیده درآورد.

۲-۴- چرخ آزاد

چرخ آزاد از یک یا چند عدد چرخ زنجیر هم محور تشکیل شده است. در دوچرخه چرخ آزاد با چرخ محرک دوچرخه که معمولا در عقب آن قرار دارد به صورت هم محور درگیر می باشد. چرخ آزاد نیروی کششی وارده از طرف زنجیر را بصورت ترکیبی از نیرو و گشتاور به محور چرخ آزاد که همان محور چرخ محرک وسیله نقلیه میباشد منتقل می کند. از آن میان مؤلفه نیرو توسط چارچوب بدنه تحمل می گردد و گشتاور

وزن و نیروهای ماهیچه ای را به طور جداگانه مورد بررسی قرار می دهیم.

۳- اثر نیروهای وزنی

وزن رکابزن نیروهایی عمودی بر محور هر کدام از پنجه رکابها وارد می کند. اثر این نیروها بر مجموعه رکاب، دو گشتاور مختلف الجهدت و یک نیروی برآیند وزن می باشد. بزرگی هر کدام از این گشتاورها به نیروی پدیدآورنده آن و فاصله افقی نقطه اثر آن نیرو تا محور مجموعه رکاب بستگی دارد. از آنجاییکه پنجه رکابها نسبت به محور مجموعه رکاب بگونه ای متقارن قرار گرفته اند فواصل افقی شان نسبت به محور رکاب همواره یکسان است. از اینرو اثر نیروهای وزن رکاب زن بر گشتاوری که بر محور رکاب وارد می کند را می توان بصورت رابطه (۱) بر اساس موقعیت زاویه ای یکی از دسته رکابها بیان نمود (شکل ۲):

$$C_p = (M_p - M_f)gL|\cos(\theta)| \quad (1)$$

C_p : برآیند گشتاورهای وارده توسط نیروهای وزن

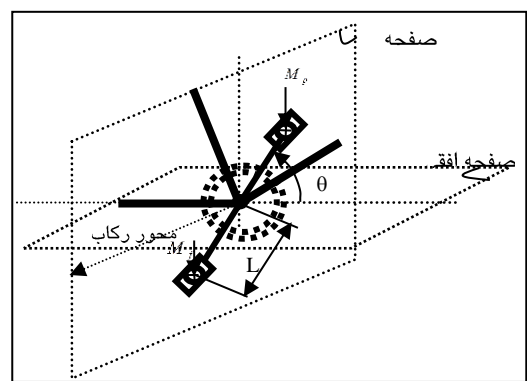
M_p : بار وارده بر پنجه رکابی که گشتاورش وسیله نقلیه را پیش می راند

M_f : بار وارده بر پنجه رکابی که گشتاورش در برابر حرکت وسیله نقلیه مقاومت می کند

g : شتاب جاذبه

L : فاصله بین محور پنجه رکاب و محور رکاب

θ : موقعیت زاویه ای دسته رکاب مرجع نسبت به صفحه ی افقی که بر محور رکاب می گذرد



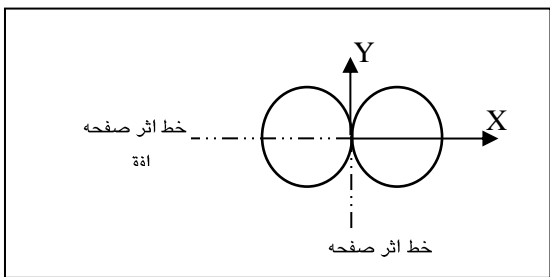
شکل (۲): اثر نیروهای وزن بر گشتاور اعمال شده بر محور رکاب

طبق فرمول فوق نتایج زیر به دست می آیند:

هنگامی که دسته رکابها در راستای عمود بر سطح افق قرار می گیرند مؤلفه گشتاور صفر می گردد. در دو وضعیت دسته رکاب مرجع چنین اتفاقی می افتد ($\theta=0^\circ$, $\theta=180^\circ$).

هنگامی که دسته رکابها در سطح افق قرار می گیرند مؤلفه گشتاور بیشینه می گردد. در دو وضعیت دسته رکاب مرجع چنین اتفاقی می افتد ($\theta=90^\circ$, $\theta=270^\circ$).

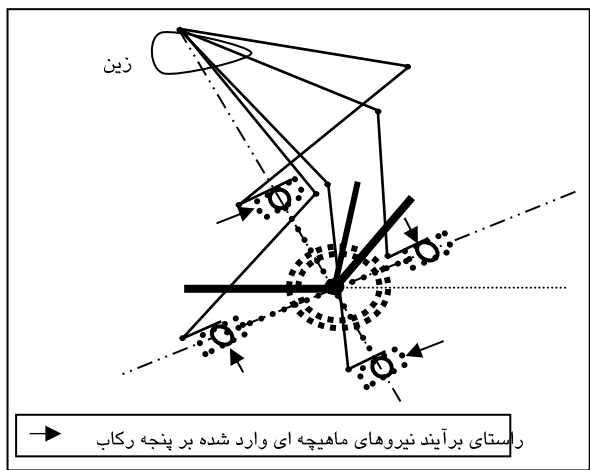
چنانچه رکابزن وزنش را به گونه ای روی پنجه رکابها توزیع کند که نیروهای M_g و M_f همواره (یا حد اقل برای یک دور رکاب) ثابت باشند گشتاور ایجاد شده در محور رکاب تنها تابعی از زاویه θ خواهد شد. در این حالت گشتاور ایجاد شده در محور رکاب نسبت به زاویه چرخش آن محور بصورت متناوب با پر یود π بین 0 و $(M_p - M_f)gL$ تغییر می کند (شکل ۳). نمودار چنین تغییراتی در یک دستگاه مختصات قطبی نسبت به قطب متقارن می باشد.



شکل (۳): نمودار اثر نیروهای وزن بر گشتاور اعمال شده بر محور رکاب

۴- اثر نیروهای ماهیچه ای

نیروهای ماهیچه ای بواسطه مفاصل و استخوان پا بر پنجه رکابها اعمال می گردند. بعلت متقارن قرارگرفتن اندام رکابزن نسبت به صفحه ای عمود بر محور رکاب و همچنین تقارن پنجه رکابها نسبت به محور رکاب هر پا پس از نیم دور گردش رکاب در وضعیتی مشابه پای دیگر قرار می گیرد. از اینرو می توان نتایج بدست آمده از مطالعه نقش ماهیچه های یک پا در اعمال گشتاور در محور رکاب را به پای دیگر نیز تعمیم داد. همچنین می توان نتیجه گرفت که تغییرات گشتاور ایجاد شده توسط ماهیچه ها پس از هر نیم دور گردش رکاب عینا تکرار می گردد. اما با توجه به عملکردهای گوناگون ماهیچه ها به هنگام کشیده شدن یا بسته شدن پای مربوطه می توان دو فاز گوناگون در فرایند ایجاد گشتاور در محور رکاب را از همدیگر تشخیص داد.



شکل (۵): وضعیت قرارگیری مفاصل پا به هنگام جابجایی پنجه رکاب مربوطه

هنگامی که یک پنجه رکاب در نزدیکترین فاصله اش از زین قرار می گیرد موقیت مفاصل پای مربوطه نسبت به یکدیگر ایجاب می کند که مفصل زانو بیشترین سهم را در اعمال نیرو بر پنجه رکاب داشته باشد. در چنین وضعیتی توانایی رکابزن برای ایجاد گشتاور رانشی بسیار محدود است. هرچه پنجه رکاب از این وضعیت دورتر شود دیگر مفاصل می توانند سهم بیشتری را در اعمال نیرو بر پنجه رکاب داشته باشند. از اینرو توانایی رکابزن برای ایجاد گشتاور رانشی افزایش می یابد.

هنگامی که یک پنجه رکاب به دورترین فاصله اش از زین نزدیک می گردد، پای که پنجه رکاب را می فشرد آنقدر کشیده می شود که بعضی از مفاصلش (زانو و مچ پا) عملاً نمی توانند گشتاور قابل ملاحظه ای در محور رکاب ایجاد نمایند.

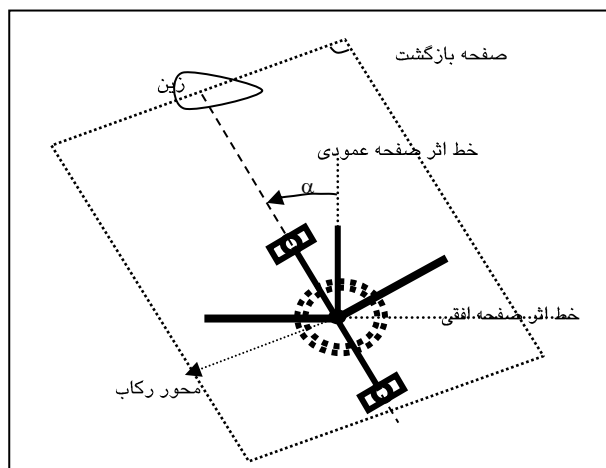
می دانیم که با رسیدن یک پنجه رکاب به دورترین فاصله اش از زین دیگری در نزدیکترین فاصله اش از زین قرار می گیرد و در این وضعیت بر هر دو پنجه رکاب نیروی زیادی نمی توانیم وارد کنیم. از این استدلال می توان نتیجه گرفت که هرچه پنجه رکاب به صفحه بازگشت نزدیکتر می گردد، توانایی رکابزن برای ایجاد گشتاور رانشی کاهش می یابد. همچنین می توان نتیجه گرفت که هرچه پنجه رکابها از صفحه بازگشت دورتر می شوند رکابزن می تواند گشتاور بیشتری بر محور رکاب وارد نماید.

برای ساده تر کردن مدل مکانیکی فرض می کنیم که رکابزن به گونه ای بر پنجه رکاب نیرو وارد کند که روند افزایش یا کاهش گشتاور با نرخ یکسانی صورت پذیرد. بنابراین هنگامی که دسته رکابها عمود بر صفحه بازگشت قرار گیرند گشتاوری که ماهیچه ها ایجاد می کنند بیشترین مقدار ممکن خواهد شد. با این توصیف نمودار تغییرات گشتاور نسبت به زاویه چرخش رکاب در یک

کشیده شدن پا: این فاز از عملکرد پا از هنگامی که پنجه رکاب مربوطه در نزدیکترین فاصله اش از زین قرار دارد شروع (فاصله را از محور لولای پنجه رکاب تا مرکز ثقل زین اندازه می گیریم) می شود و تا هنگامی که پنجه رکاب به دورترین فاصله اش از زین قرار می رسد ادامه دارد. در این فاصله زمانی که رکاب نیم دور می چرخد پا بر پنجه رکاب فشرده می شود. متقارن بودن مجموعه رکاب نسبت به محورش می رساند که قرار گرفتن یک پنجه رکاب در نزدیکترین فاصله اش از زین دیگری را در دورترین فاصله از زین قرار می دهد.

جمع شدن پا: این فاز از عملکرد پا از هنگامی که پنجه رکاب مربوطه در دورترین فاصله اش از زین قرار دارد شروع شده و تا هنگامی که پنجه رکاب به نزدیکترین فاصله اش از زین می رسد ادامه دارد. در این فاصله زمانی که رکاب نیم دور می چرخد اعمال نیروی پا گشتاور جلوبرنده وسیله نقلیه را افزایش نمی دهد از اینرو معمولاً از اعمال نیرو خودداری می گردد.

برای توصیف نیروهای ماهیچه ای صفحه ای را که بر محور رکاب و مرکز ثقل زین می گذرد را صفحه بازگشت می نامیم (شکل ۴). تغییر فاز عملکرد یک پا زمانی رخ می دهد که پنجه رکاب مربوطه از صفحه بازگشت بگذرد. در این حالت، بعلت متقارن قرار گرفتن پنجه رکابها نسبت به محور رکاب، هر دو پا تغییر فاز می دهند.



شکل (۴): نمایش صفحه بازگشت

بررسی دقیقتر رفتار مکانیکی ماهیچه های یک پا در یک دور رکاب نتایج زیر را به همراه خواهد داشت (شکل ۵):

هنگامیکه دسته رکابها عمود بر صفحه افق قرار می گیرند گشتاور اعمال شده توسط وزن کمترین می گردد. با توجه به مطالب فوق نتایج زیر بدست می آید:

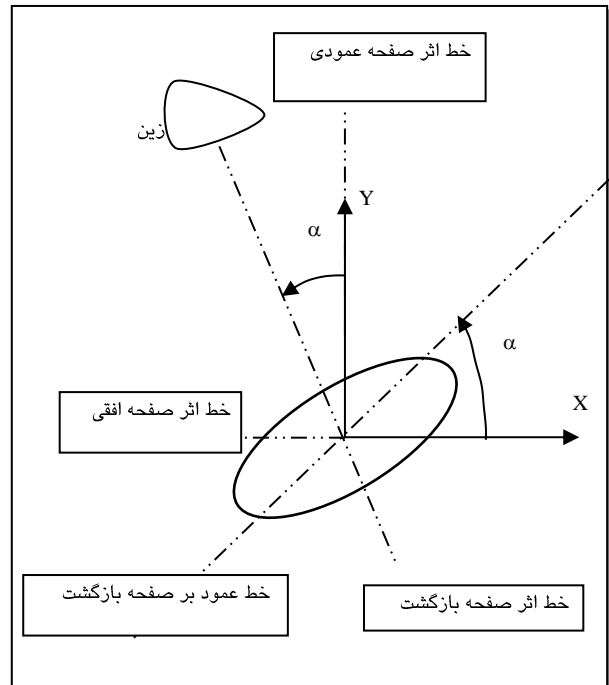
برآیند گشتاورهای اعمال شده توسط ماهیچه ها و نیروهای وزنی پریودیک می باشند و در هر نیم دور چرخش رکاب تکرار می گردند.

بین صفحه عمود و صفحه بازگشت صفحه ای وجود دارد که اگر دسته رکابها در آن قرار گیرند برآیند گشتاورهای اعمال شده توسط ماهیچه ها و نیروهای وزنی مینیمم می گردد. صفحه مذکور را صفحه سستی می نامند و موقعیت زاویه ای آن نسبت به صفحه عمود را می توان به روش تجربی تخمین زد.

بین صفحه افقی و عمود بر صفحه بازگشت صفحه ای وجود دارد که اگر دسته رکابها در آن قرار گیرند برآیند گشتاورهای اعمال شده توسط ماهیچه ها و نیروهای وزنی ماکزیمم می گردد. با یک تقریب قابل قبول چنین صفحه ای عمود بر صفحه سستی می باشد.

با توجه به موارد فوق، نمودار برآیند اثر ماهیچه ها و نیروهای وزنی بر گشتاور اعمال شده بر محور رکاب و نسبت به زاویه گردش رکاب در یک دستگاه مختصات قطبی یک منحنی شبه بیضی خواهد شد (شکل ۷).

دستگاه مختصات قطبی شکلی بیضی گون خواهد داشت که قطر کوچکش در راستایی موازی صفحه بازگشت و قطر بزرگش عمود بر آن باشد (شکل ۶).



شکل (۶): اثر نیروهای ماهیچه ای بر گشتاور ایجاد شده در محور رکاب

۵- برآیند اثر نیروهای ماهیچه ای و نیروهای وزنی

از مجموعه آنچه پیش از این آمد می توان نکات زیر را برداشت نمود:

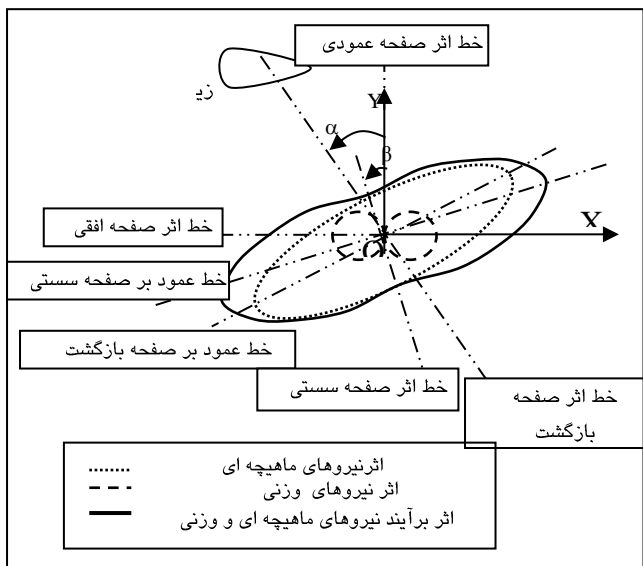
در هر موقعیت پنجه رکاب گشتاور ایجاد شده در محور رکاب از مجموع گشتاورهای اعمال شده توسط ماهیچه ها و نیروهای وزنی حاصل می گردد.

گشتاورهای اعمال شده توسط ماهیچه ها و نیروهای وزنی پریودیک می باشند و در هر نیم دور چرخش رکاب تکرار می گردند.

هنگامیکه دسته رکابها در صفحه بازگشت قرار می گیرد توانایی ماهیچه ها برای اعمال گشتاور کمترین مقدار است.

هنگامیکه دسته رکابها عمود بر صفحه بازگشت قرار می گیرد توانایی ماهیچه ها برای اعمال گشتاور بیشترین مقدار است.

هنگامیکه دسته رکابها در صفحه افق قرار می گیرند گشتاور اعمال شده توسط وزن بیشترین می گردد.



شکل (۷): نمودار گشتاور وارده بر محور رکاب

۶- بررسی تجربی رفتار مکانیکی سیستم انتقال نیرو

برای بررسی درستی مدل مکانیکی توصیف شده در بالا و استخراج داده های فنی مناسب که به بهینه سازی سیستمهای انتقال قدرت در دوچرخه بیانجامد، یک مدل آزمایشگاهی طراحی

با توجه به اینکه حد اکثر نیرو قابل اعمال بر رکاب در زوایای مختلف آن متفاوت است. برای اندازه گیری این نیروی رکاب دوچرخه را در زوایای مختلفی قرار داده و وزنه آویزان شده به چرخ زنجیر را بگونه ای تغییر می دهند که مجموعه رکاب و وزنه از نظر استاتیکی در تعادل قرار گیرند. با صرفنظر کردن از وزن زنجیر، گشتاور حاصل از وزنه آویزان شده بیانگر حد اکثر گشتاور قابل اعمال در آن موقعیت رکاب می باشد. همچنانکه پیش از این آمد دوچرخه سوار تنها نیروی فشاری بر پنجه رکاب وارد می کند. از اینرو هر پنجه رکاب تنها در نیم دور از گردش خود (از بالاترین نقطه تا پایین ترین نقطه) می تواند در رانش دوچرخه موثر باشد و در نیم دور دیگر برای پرهیز از اثر باز دارنده آن بوسیله دوچرخه سوار، تحت نیرو قرار نمیگیرد.

نظر به یکسان نبودن توانایی رکاب زدن در افراد مختلف، در این آزمایش از ۳ نفر با توانایی های گوناگون آزمون گرفته شده است. میانگین نیروی کشش زنجیر برای افراد مذکور محاسبه شده و نتایج حاصل از آن در جدول (۱) آورده شده است.

با بررسی داده های ثبت شده مشاهده می گردد که نتایج بدست آمده نسبت به صفحات افقی و قائم گذرنده بر محور رکاب متقارن هستند. به بیان دیگر، توانایی دوچرخه سوار در اعمال نیرو بر پنجه رکاب در این موقعیتها یکسان می باشد.

با در نظر گرفتن زاویه α برابر صفر درجه نتایج بدست آمده با آنچه که پیش از این استدلال شد همخوانی دارد. از جمله دلایل پذیرفتنی برای توجیه این رابطه می توان به دلایل زیر اشاره نمود:
- متقارن قرار گرفتن اندام دوچرخه سوار نسبت به صفحه ای عمود بر محور رکاب

- متقارن بودن دسته رکابها نسبت به صفحه مذکور

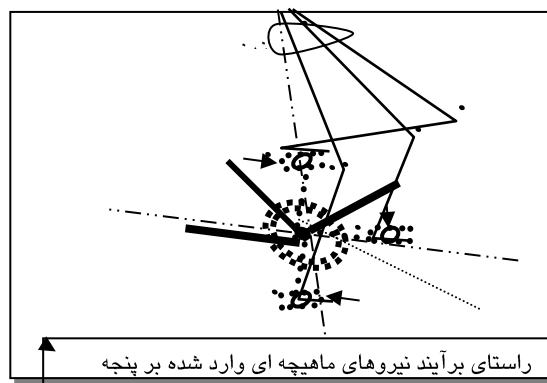
- همسان بودن طول رکابها

جدول (۱): نیروی کشش زنجیر بدست آمده در زوایای مختلف دسته رکاب نسبت

به راستای قائم

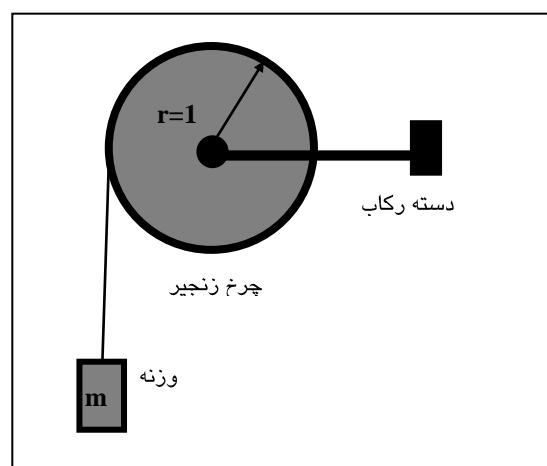
| θ | ۰ | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۰ | ۹۰ |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| F | 11/1 6 | 11/8 6 | 12/1 3 | 12/8 3 | 13/4 3 | 13/8 3 | 14/4 3 | 15/0 3 | 15/7 6 | 11/1 6 |
| θ | ۹۰ | ۱۰۰ | ۱۱۰ | ۱۲۰ | ۱۳۰ | ۱۴۰ | ۱۵۰ | ۱۶۰ | ۱۷۰ | ۱۸۰ |
| F | 16/3 | 15/7 6 | 15/0 3 | 14/4 3 | 13/8 3 | 13/4 3 | 12/8 3 | 12/1 3 | 11/8 6 | 16/3 |
| θ | ۱۸۰ | ۱۹۰ | ۲۰۰ | ۲۱۰ | ۲۲۰ | ۲۳۰ | ۲۴۰ | ۲۵۰ | ۲۶۰ | ۲۷۰ |
| F | 11/1 6 | 11/8 6 | 12/1 3 | 12/8 3 | 13/4 3 | 13/8 3 | 14/4 3 | 15/0 3 | 15/7 6 | 11/1 6 |
| θ | ۲۷۰ | ۲۸۰ | ۲۹۰ | ۳۰۰ | ۳۱۰ | ۳۲۰ | ۳۳۰ | ۳۴۰ | ۳۵۰ | ۳۶۰ |
| F | 16/3 | 15/7 6 | 15/0 3 | 14/4 3 | 13/8 3 | 13/4 3 | 12/8 3 | 12/1 3 | 11/8 6 | 16/3 |

شده است. مدل مذکور گویای کارکرد مکانیکی سیستمهای متداول انتقال قدرت در دوچرخه می باشد [16-17]. در این مدل از یک دوچرخه واقعی استفاده شده است. زین دوچرخه مذکور در بالای محور رکاب قرار گرفته است (شکل ۸) و از اینرو زاویه α که در مدل تحلیلی بدان اشاره شد برابر صفر قرار می گیرد. همچنین شعاع چرخ زنجیر درگیر در این دوچرخه برابر ۱۰ سانتی متر اندازه گیری شده است.



شکل (۸): وضعیت فرارگیری مفاصل پا هنگام جابجایی پنجه رکاب مربوطه در مدل آزمایشگاهی

برای اندازه گیری حداکثر گشتاوری که دوچرخه سوار می تواند در هر موقعیت رکاب بر محور رکاب دوچرخه اعمال نماید نیروی کشش زنجیر آن با یک سیستم گرانشی ساده سنجیده می شود. بدین منظور از یک مکانیزم ساده چرخ زنجیر استفاده شده است که در آن یک سر زنجیر که در هنگام رکاب زدن تحت کشش قرار می گیرد با وزنه آویزانی بسته شده است. طرح کلی مکانیزم مذکور در شکل (۹) آورده شده است.



شکل (۹): مکانیزم مشابه بکارگرفته شده آزمایشگاهی

| | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| θ | ۰ | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۰ | ۹۰ |
| M | 1/11 6 | 1/18 6 | 1/21 3 | 1/28 3 | 1/34 3 | 1/38 3 | 1/44 3 | 1/50 3 | 1/57 6 | 1/6 3 |
| θ | ۹۰ | ۱۰۰ | ۱۱۰ | ۱۲۰ | ۱۳۰ | ۱۴۰ | ۱۵۰ | ۱۶۰ | ۱۷۰ | ۱۸۰ |
| M | 1/63 | 1/57 6 | 1/50 3 | 1/44 3 | 1/38 3 | 1/34 3 | 1/28 3 | 1/21 3 | 1/18 6 | ۱,۱۱ ۶ |
| θ | ۱۸۰ | ۱۹۰ | ۲۰۰ | ۲۱۰ | ۲۲۰ | ۲۳۰ | ۲۴۰ | ۲۵۰ | ۲۶۰ | ۲۷۰ |
| M | 1/11 6 | 1/18 6 | 1/21 3 | 1/28 3 | 1/34 3 | 1/38 3 | 1/44 3 | 1/50 3 | 1/57 6 | 1/6 3 |
| θ | ۲۷۰ | ۲۸۰ | ۲۹۰ | ۳۰۰ | ۳۱۰ | ۳۲۰ | ۳۳۰ | ۳۴۰ | ۳۵۰ | ۳۶۰ |
| M | 1/63 | 1/57 6 | 1/50 3 | 1/44 3 | 1/38 3 | 1/34 3 | 1/28 3 | 1/21 3 | 1/18 6 | ۱,۱۱ ۶ |

جدول (۲): گشتاور محرک بدست آمده در زوایای مختلف دسته رکاب نسبت به راستای قائم

با مقایسه نتایج بدست آمده با آنچه که در شکل (۷) بصورت تحلیلی استدلال شد می توان نتیجه گرفت که با شرط زاویه α برابر صفر درجه نتایج تئوری و تجربی همخوانی دارند. بدینوسیله درستی مدل مکانیکی پیشنهاد شده محقق شد.

۷- سازوکار پیشنهادی برای تعدیل نوسانات گشتاور به هنگام رکابزدن

چنانکه دیده شد، سیستمهای انتقال نیروی موجود تغییرات پرپودیک گشتاور را با ضرایب ثابتی به چرخ محرک وسیله نقلیه منتقل نموده و از آن طریق شتابی پرپودیک ایجاد می نمایند. برای تعدیل این شتاب باید در ساختار سیستم انتقال نیرو بازنگری نموده و سازوکاری پی ریزی نمود که در آن ضرایب تبدیل متناسب با تغییرات گشتاور اعمال شده بر محور رکاب بگونه ای تغییر کند که نوسانات شتاب وسیله نقلیه تعدیل گردد.

با استناد به نتایج بدست آمده، برای بهینه سازی سیستم انتقال قدرت دوچرخه، نمودار قطبی توزیع گشتاور نسبت به موقعیت زاویه ای یک دسته رکاب را تحت شرایط زیر با یک بیضی تقریب میزنیم (شکل ۱۲):

مرکز تقارن بیضی بر قطب قرار دارد.

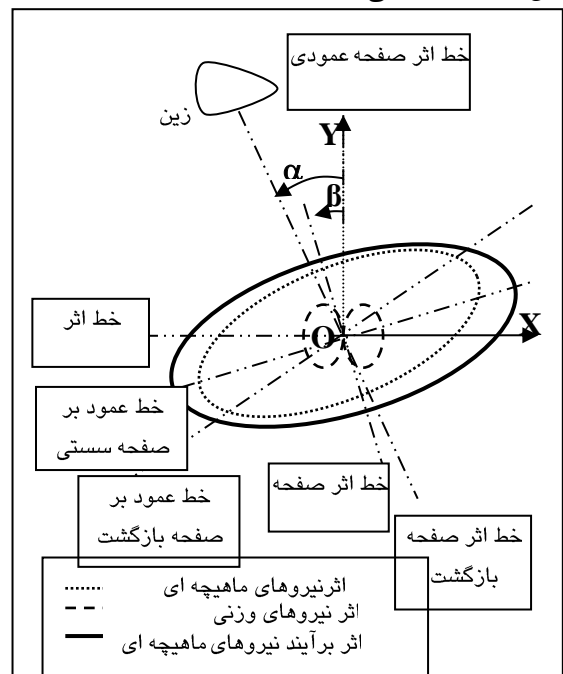
اندازه قطر کوچک بیضی دو برابر کمترین گشتاور اعمال شده بر محور رکاب می باشد. این قطر در صفحه سستی قرار دارد.

اندازه قطر بزرگ بیضی دو برابر بیشترین گشتاور اعمال شده بر محور رکاب می باشد. این قطر عمود بر صفحه سستی قرار دارد.

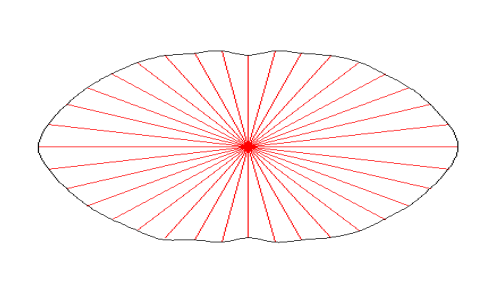
همچنین مشاهده می شود که در شرایطی که دسته رکابها در وضعیت قائم قرار می گیرند نیروی کشش زنجیر کمترین مقدار و در شرایطی که دسته رکابها در وضعیت افقی قرار می گیرند نیروی کشش زنجیر بیشترین مقدار را دارد که با نتایج تئوریک هم خوانی دارد.

با لحاظ نمودن شعاع چرخ زنجیر، حد اکثر گشتاوری که در هر زاویه رکاب، نیروی پای دوچرخه سوار بر محور رکاب اعمال نموده است قابل محاسبه خواهد بود. نتایج حاصل از این محاسبه در جدول (۲) آورده شده است.

با ترسیم مقادیر اندازه گیری شده در یک نمودار قطبی که در آن گشتاور M بر شعاع و متمم زاویه θ بر زاویه نسبت به محور قطب (که افقی در نظر گرفته شده است) استوار باشد، شکل (۱۱) بدست می آید.



شکل (۱۰): تقریب نمودار گشتاور وارده بر محور رکاب



شکل (۱۱): پروفیل بدست آمده برای توزیع گشتاور نسبت به موقعیت زاویه ای دسته رکاب نسبت به راستای افقی

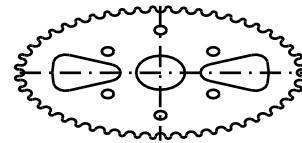
۸- بررسی درستی عملکرد مکانیزم پیشنهادی

در مرحله نهایی برای بررسی درستی عملکرد چرخ موردنظر، یک نمونه چرخ زنجیر مطابق شکل (۱۳) ساخته شده و بر روی دوچرخه نصب شد. گشتاور توسط یک مکانیزم اهرم و نیروسنج اندازه گیری شده و نتایج بدست آمده در جدول ۳ گردآوری شده است. بدین صورت که یک سر اهرم با محور چرخ زنجیر هم محور است و خود اهرم نسبت به چرخ زنجیر ثابت شده است و نیروسنجی در فاصله معینی از محور دوران اهرم - چرخ زنجیر قرار گرفته است نیروی مقاوم لازم برای گرداندن چرخ زنجیر را اندازه گیری می نماید. با لحاظ نمودن نیرو و فاصله شعاعی آن از محور دوران، چرخ زنجیر گشتاور مقاوم اندازه گیری شده است. گشتاور اندازه گیری شده توسط این مکانیزم بیشترین گشتاور مقاومی است که فرد دوچرخه سوار می تواند در هر زاویه پدال بر محور چرخ زنجیر اعمال نماید. از آنجاییکه مکانیزم اعمال نیرو برای هر دوچرخه سوار سالمی صرفنظر از قد و وزن آن تقریباً یکسان است و در این آزمایش مقدار آن برابر ۱,۳۳ کیلوگرم می باشد از اینرو پروفیل تغییرات گشتاور بر حسب زاویه نیز چنین می باشد و بعد از ترسیم این داده ها در یک نمودار قطبی مشاهده می شود که هندسه گشتاور اعمالی در زوایای مختلف چرخ زنجیر مطابق شکل (۱۴) به شکل دایروی در می آید و این نشان دهنده پاسخ درست مکانیزم به خواسته مورد نظر یعنی اعمال گشتاور یکسان در تمام زوایا می باشد. هدف از این آزمایش بررسی چگونگی تغییرات گشتاور قابل اعمال دوچرخه سوار بر حسب موقعیت زاویه ای پدال بوده است تا بر آن اساس با برآورد پروفیل تقریبی تغییرات این گشتاور پروفیل هندسی مناسبی برای چرخ زنجیر ارائه گردد.

جدول (۳): گشتاور محرک بدست آمده در زوایای مختلف دسته رکاب در نمونه ساخته شده

| θ | ۰ | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۰ | ۹۰ |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M | 1/33 | 1/34 | 1/34 | 1/33 | 1/32 | 1/33 | 1/35 | 1/33 | 1/35 | 1/33 |
| θ | ۹۰ | ۱۰۰ | ۱۱۰ | ۱۲۰ | ۱۳۰ | ۱۴۰ | ۱۵۰ | ۱۶۰ | ۱۷۰ | ۱۸۰ |
| M | 1/33 | 1/35 | 1/33 | 1/35 | 1/33 | 1/32 | 1/33 | 1/34 | 1/34 | 1/33 |
| θ | ۱۸۰ | ۱۹۰ | ۲۰۰ | ۲۱۰ | ۲۲۰ | ۲۳۰ | ۲۴۰ | ۲۵۰ | ۲۶۰ | ۲۷۰ |
| M | 1/33 | 1/34 | 1/34 | 1/33 | 1/32 | 1/33 | 1/35 | 1/33 | 1/35 | 1/33 |
| θ | ۲۷۰ | ۲۸۰ | ۲۹۰ | ۳۰۰ | ۳۱۰ | ۳۲۰ | ۳۳۰ | ۳۴۰ | ۳۵۰ | ۳۶۰ |
| M | 1/33 | 1/35 | 1/33 | 1/35 | 1/33 | 1/32 | 1/33 | 1/34 | 1/34 | 1/33 |

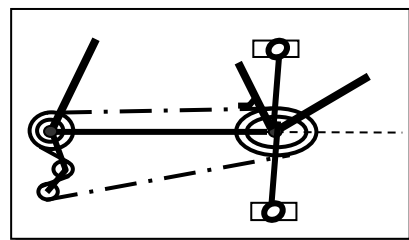
برای تعدیل این توزیع گشتاور لازم است تا در موقعیتی از رکاب که گشتاور بیشترین مقدار را دارد نیروی وارد بر چرخ زنجیر بگونه ای تعدیل گردد که مقدار آن با شرایطی که گشتاور در محور رکاب کمترین مقدار خود را دارا می باشد برابری کند. لازمه این کار تغییر مناسب در شعاع چرخ زنجیر می باشد. بدین منظور پیشنهاد می شود که از چرخ زنجیرهای بیضی گون در طراحی مجموعه رکاب استفاده شود. در این حالت جدید از چرخ زنجیرها دندانها با بطور منظم گرداگرد یک بیضی چیده شده اند (شکل ۱۲). پ



شکل (۱۲): چرخ زنجیر بیضی شکل

در طراحی یک سیستم انتقال نیروی بهینه مراتب زیر باید رعایت شود (شکل ۱۰):

نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی برابر است با نسبت بین بیشترین و کمترین گشتاوری که رکابزن بطور معمول بر محور رکاب اعمال می کند. بنابر نتایج تجربی، نسبت مذکور برابر با ۱/۴۶ است. چرخ زنجیر به نحوی هم محور رکاب نصب می گردد. هنگامی که دسته رکابها در صفحه سستی قرار گیرند قطر کوچک چرخ زنجیر در صفحه عمود قرار خواهد گرفت.

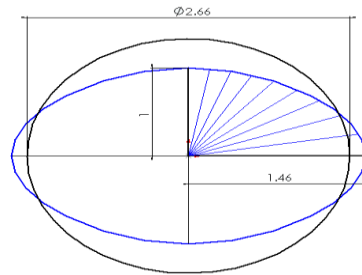


شکل (۱۳): شیوه نصب کردن چرخ زنجیر بیضی گون بر محور رکاب

از آنجاییکه هنگام کار طول زنجیر تحت باری که با چرخ زنجیر بیضی گون درگیر است بطور متناوب کم و زیاد می شود برای سفت کردن زنجیر بایستی از زنجیرکش استفاده نمود. برای پیشگیری از لنگ زدن چرخ زنجیر بیضی گون در حال گردش بایستی با خالی نمودن قسمتهایی از چرخ زنجیر نیروهای گریز از مرکز ناشی از دوران چرخ را تعدیل نمود.

انجام یک طرح مهندسی بهینه لازم بود که اندازه پارامترهای مذکور بگونه ای آماری برای گروههای گوناگون از دوچرخه سواران برآورد گردد.

با توجه به نمودارهای پیش بینی شده برای اثر ماهیچه ها و نیروهای وزنی بر گشتاور اعمال شده بر محور رکاب، نمودار برآیند این گشتاورها نسبت به زاویه گردش رکاب در یک دستگاه مختصات قطبی یک منحنی شبه بیضی خواهد شد. نتایج آزمایشگاهی بدست آمده نشان می دهد که مکانیزم مورد نظر خواسته ما را برآورده خواهد کرد و مکانیزم مطلوب برای گشتاور یکسان بدست می آید.

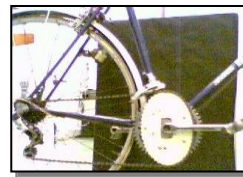


شکل (۱۴): درستی مکانیزم چرخ زنجیر بهینه شده در تمام زوایا

برای بررسی درستی عملکرد واقعی روش پیشنهادی در بالا نمونه ای از چرخ زنجیرهای بیضی گون ساخته شده و بر روی یک دوچرخه ای با سیستم انتقال نیروی ۱۲ سرعته آزمایش شده است. چرخ زنجیر مذکور ۴۸ دندانه با قطر بزرگ ۲۱۵ میلی متر و قطر کوچک ۱۵۰ میلی متر دارد. شکلهای الف - ۱۵ تا د - ۱۵ شبیه عملکرد چرخ زنجیر مذکور را در موقعیت های گوناگون زاویه ای نشان می دهد.

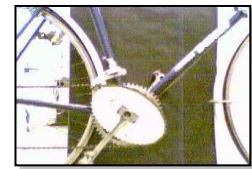
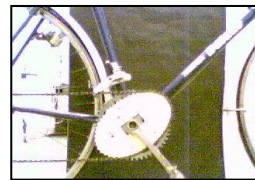
(ب)

(الف)



(د)

(ج)



شکل (۱۵): چگونگی عملکرد واقعی سازوکار انتقال نیروی پیشنهاد شده

۹- نتیجه گیری

در این نوشتار مکانیزم تولید انرژی مکانیکی در دوچرخه به دو روش مورد بررسی قرار گرفت و پس از پرداختن به نقاط ضعف سازوکارهای موجود یک سیستم بهینه برای انتقال انرژی ماهیچه ای به گشتاور مکانیکی لازم برای حرکت دوچرخه پیشنهاد شد. کارایی سیستم پیشنهادی به دانستن بهترین نسبت بین قطر بزرگ به قطر کوچک چرخ زنجیرهای بیضی گون و همچنین بهترین موقعیت زاویه ای برای نصب کردنشان بر روی محور چرخ زنجیر بستگی دارد. از اینرو برای

۱۰- مراجع

- [۱] DOD, "Human Engineering Design Criteria for Military Systems", Equipment, and Facilities, March 14, 1989.
- [۲] DOD, "Human Factors Engineering for Intercontinental Ballistic Missile Systems", SAMSO-STD-77-1, November 30, 1978.
- [۳] DOD, "Human Engineering Requirements for Military Systems", Equipment, and Facilities, MIL-STD- 46855, 1992.
- [۴] DOE Order 430.1, "Life Cycle Asset Management", Draft, August 24, 1995.
- [۵] DOE Order 5480.23, "Nuclear Safety Analysis Reports", 1995.
- [۶] DOE Order 6430.1A, "General Design Criteria", Life Cycle Asset Management, 1988.
- [۷] DOE Order 430.1, "Life Cycle Asset Management", 1995.
- [۸] DOE Order 420.1, "Facility Safety", 1985.
- [۹] DOE, "Human Factors Design Guidelines for Maintainability of Department of Energy Nuclear Facilities", UCRL- 15673, June 18, 1985.
- [۱۰] DOE, "Good Practice Guide", No. 5, Test and Evaluation, August 18, 1995.
- [۱۱] DOE, "Good Practice Guide", No. 7, Risk Analysis and Management, October 2, 1995.
- [۱۲] DOE, "Good Practice Guide", No. 10, Project Execution and Engineering Management Planning, September 12, 1995.
- [۱۳] Grady, J.O., "System Requirements Analysis", McGraw- Hill, New York, 1993.

- L. Carr, D. de Roure, H. Davis, and W. Hall. [۱۷] "Implementing an open link service on the World Wide Web", World Wide Web Journal, 1(2):61-71, 1998.
- Martin, M, Denver Aerospace, Systems [۱۴] Engineering Manual, SY- 1, 1987.
- Martin Marietta, "Human Factors Analysis for [۱۵] Engineering", Energy Systems", X- OE- 649, January 13, 1995.
- Meister, D. "Behavioral Analysis and [۱۶] Measures", John Wiley and Sons, New York, 1985.