# اثر استفاده از گیربکس پیوسته متغیر (CVT) بر عملکرد خودروی سمند

محسن اصفهانیان[۱،*] محسن نیک‌بین[۲]

* نویسنده مسئول: mesf۱۹۶۴@cc.iut.ac.ir

## چکیده

در این مقاله به بررسی استفاده‌ی از گیربکسهای پیوسته متغیر (CVT) بر روی خودروی داخلی سمند پرداخته شده است. برای بررسی چگونگی استفاده از آن برروی خودروی سمند، این خودرو با مکانیزم CVT در محیط نرم‌افزار ADVISOR شبیه‌سازی شده و سپس با سمند فعلی که دارای جعبه‌دنده معمولی است، مقایسه شده است. سپس، به تحلیل نتایج حاصل از عملکرد این خودروی شبیه‌سازی شده پرداخته شده است. این تحلیل شامل انتخاب و معرفی سیکل حرکت شهری مناسب، میزان مصرف سوخت و عملکرد خودرو تحت سیکل حرکتی یکسان برای هر دو خودرو است. اثر سیکلهای حرکتی مختلف و بررسی رفتار قوای محرکه نیز در هر دو صورت گرفته‌است. نتایج به‌دست آمده نمایانگر کاهش مصرف سوخت و افزایش بازده نهایی در اثر استفاده از مکانیزم CVT است. در انتها ارزش اقتصادی استفاده از این مکانیزم CVT به اختصار بیان شده است.

**واژه‌های کلیدی:** CVT، ADVISOR، FTP، کاهش مصرف سوخت.

۱ – استادیار، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مکانیک.

۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک طراحی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی‌شهر.

## ۱-مقدمه

مکانیزم انتقال توان پیوسته (CVT)[۱] به‌عنوان بخشی از مجموعه‌ی سامانه‌ی انتقال توان یک خودرو، چندین سال است پا به عرصه‌ی بازارهای تجاری گذاشته است. در سال ۱۴۹۰ میلادی لئوناردو داوینچی ایده‌ی ایجاد یک جعبه‌دنده پیوسته و غیرگسسته[۲] را مطرح نمود[۱]. اولین حق امتیاز این جعبه دنده (که بهتر است با توجه به عدم استفاده از چرخدنده برای تغییر سرعت، با عنوان مکانیزم و با نام مکانیزم انتقال توان پیوسته که در لاتین با حروف اختصاری CVT به‌کار می‌رود، معرفی گردد)، با ورود CVT دوار در اروپا و در سال ۱۸۸۶ ثبت گردید، و در آمریکا نیز در سال ۱۹۳۵ این حق امتیاز اعطا شد[۲]. در این مقاله سعی شده‌است تا نتایج حاصل از پیاده‌سازی یکی از مدلهای مکانیزم انتقال توان پیوسته (CVT) که اخیراً به‌جای جعبه‌دنده های متداول برروی وسایل نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرد با شبیه‌سازی در محیط مجازی برروی خودروی داخلی سمند (که تنها خودروی ثبت شده از ایران بوده و به‌عنوان خودروی ملی مطرح می‌باشد) مورد بررسی قرارگیرد.

## ۲- مدل‌سازی

انتخاب آرایه‌های مختلف در مدل فوق با مطابقت خودروی سمند صورت گرفته‌است. با تعریف آرایه‌های مربوط به خودروی سمند سعی شده تا مطابقت نزدیکی بین واقعیت خارجی این خودرو و خودروی مدل شده در فضای مجازی صورت‌گیرد که این مهم با تعیین خواص مربوط به اجزای خودروی سمند انجام گرفته است. این آرایه‌ها در پنج دسته کلی جای داده شده که در طی آن دو سمند متفاوت شبیه‌سازی شده است. اولی سمند مجهز به جعبه دنده‌ی ۵ دنده‌ی معمولی که تولید جاری شرکت ایران خودور است و دومی خودروی سمند با همان آرایه‌های به‌کار رفته در سمند اول که تنها در سامانه انتقال توان آن تغییراتی برای مجهز شدن به مکانیزم انتقال توان پیوسته (CVT) ایجاد شد. در جای‌گذاری این آرایه‌ها سعی‌شده تا حد امکان ویژگیهای سمند لحاظ شود، هرچند که در مواردی نیز به دلیل استفاده از دو مقدار یکسان در هر دو خودرو (خودروی مجهز به CVT و خودروی با جعبه‌دنده‌ی معمولی) و نیز درنظر گرفتن عدم نقش تعیین‌کننده در نتایج و ضریب خطای پایین آن، از آرایه‌های موجود و نزدیک به خودروی هدف استفاده شده‌است. در این تقسیم‌بندی اطلاعات اجزای مختلف در ۶ دسته‌ی کلی در نرم‌افزار شبیه‌ساز پیشرفته خودرو[۳] (ADVISOR) مدل شده‌اند.

نرم‌افزار شبیه‌ساز پیشرفته شامل مجموعه‌ای از مدلها، داده‌ها و متن فایلهایی می‌باشد که برای کار در محیط نرم‌افزار MATLAB و شبیه‌سازی در آن استفاده می‌شود. این نرم‌افزار برای اولین بار در نوامبر سال۱۹۹۴ میلادی مورد استفاده قرارگرفت و در سال ۱۹۹۸ با یک بازنگری کلی و ویرایش عمده به‌صورت مستند ارائه گردید. این نرم‌افزار می‌تواند با دریافت آرایه‌های مختلف مربوط به خودرو، تحلیل مناسب و تا حد زیادی نزدیک به رفتار واقعی را میسرسازد. آنچه به‌عنوان پیشینه‌ی استفاده از این نرم‌افزار می‌توان ذکرنمود، استفاده‌ی قشر وسیعی از جامعه صنعتی و دانشگاهی از این نرم‌افزار است، به‌طوری که از این میان می‌توان به شرکت‌های صاحب نامی همچون دایملر کرایسلر، فورد، جنرال موتورز اشاره نمود.

با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

۱- تقریبی از میزان سوخت مصرفی در خودرو.
۲- مشاهده میزان هدررفت انرژی در مسیر انتقال توان.
۳- مقایسه‌ی میزان آلایندگی خودرو در سیکلهای مختلف حرکتی.
۴- بهینه‌سازی نسبتهای مختلف در جعبه‌دنده برای رسیدن به حد مطلوبی از توان مصرفی و توان بیشینه.
۵- ارزیابی عملکرد (شیب پیمایی،شتاب،...).

اطلاعات اجزای مختلف در شش دسته‌ی کلی در فرمت برنامه‌های این نرم افزار جای داده شده‌اند. این دسته‌ها شامل: اطلاعات کلی خودور، مسیرانتقال گاز حاصل از سوخت

۱ - Continuouse Variable Transmission
۲ -Discrete
۳ - ADvanced VehIcle SimulatOR

(اگزوز)، مبدل حرارتی (موتور)، سامانه انتقال توان، محور- چرخها و دسته‌ی مربوط به نیرو محرکه است که هر کدام از این دسته‌های کلی به ترتیب شامل قسمتهای زیر می‌باشند:

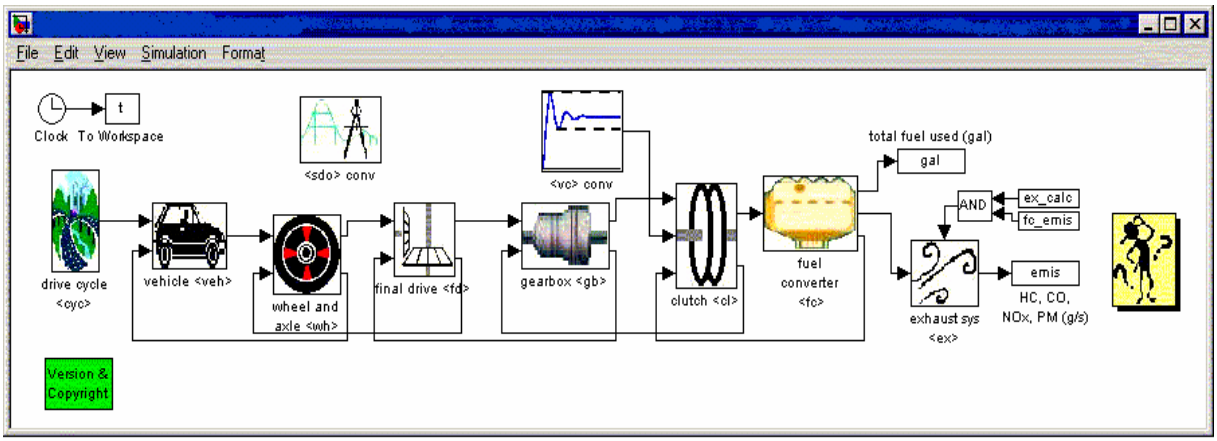
• اطلاعات کلی خودور از جمله ضریب کشش دینامیکی، مساحت نمای روبروی خودرو سمند، چگالی هوای مصرفی خودرو، بار اضافه شونده به وزن خودرو، ارتفاع گرانیگا از سطح جاده ، کسری از وزن که در هنگام سکون توسط چرخهای جلویی بر روی محور جلو قرار می گیرد.

• اطلاعات مبدل سوخت (موتور) از جمله حجم موتورسمند (حجم جابه جایی پیستونها درون محفظه سیلندرها)، مساحت سطح بیرونی موتور، جرم مخصوص بنزین مصرفی، هدایت گرمایی بین موتور و محفظه داخلی آن، هدایت گرمایی بین موتور و محیط بیرونی، وزن بلوک موتورسمند، وزن سوخت و مخزن سوخت، وزن کلی موتور، وزن متعلقات موتور شامل سامانه‌های الکتریکی- کنترلی.

• مسیر خروجی دود حاصل از سوخت از جمله وزن کلی اگزوز، وزن کاتالیست، ظرفیت حرارتی کاتالیست خروجی، وزن پوسته بیرونی کاتالیست، مساحت جانبی پوسته بیرونی کاتالیست، هدایت گرمایی سطح داخلی و خارجی کاتالیست، ضریب انتشار حرارت بین سطح داخلی و سطح خارجی کاتالیست، هدایت گرمایی بین کاتالیست و لوله خروجی متصل، میانگین ظرفیت‌گرمایی پوسته داخلی کاتالیست، وزن پوسته‌ی داخلی کاتالیست، وزن مونولیت کاتالیست اگزوز، مساحت سطح جانبی مونولیت کاتالیست، مساحت سطح داخلی مونولیت کاتالیست، مساحت سطح مشبک مونولیت کاتالیست، هدایت گرمایی لوله کاتالیست و محیط بیرونی، وزن منیفولد موتور و لوله متصل به آن.

• اطلاعات جعبه دنده از جمله وزن جعبه دنده بدون محاسبه مایع موجود درآن، نسبت دنده های مربوط به جعبه دنده سمند، وزن کاهنده‌ی نهایی، نسبت کاهنده‌ی نهایی. و همچنین در مورد مکانیزم انتقال توان پیوسته؛ حداکثر توان خروجی، حداکثر گشتاور دریافتی، ضریب گسترش، وزن مکانیزم.

• محور،چرخها از جمله اینرسی حرکتی چرخها، شعاع چرخها و همچنین اطلاعات نیرو محرکه شامل دور درجای موتور، دور ورودی به کلاچ در هنگام درگیری ابتدایی جهت راه‌اندازی خودرو. ارتباط این دسته‌های مختلف، در بلوکهای مدل شکل (۱) نشان داده شده‌است[۵] .




شکل (۱) مدل انتقال توان خودروی سمند

همان طور که در شکل نیز مشاهده می شود هر کدام از بلوکها دارای دو ورودی و دو خروجی هستند که گشتاور- سرعت درخواستی و گشتاور- سرعت واقعی را به بلوک مجاور انتقال می‌دهند. پیکانهای بالایی که از چپ به راست در شکل مشاهده می‌شود، گشتاور- سرعت درخواستی در سیکل حرکتی مدنظر را انتقال می‌دهند. هر کدام از بلوکها با درنظرگرفتن گشتاور- سرعت درخواستی از خود، مقدار گشتاور- سرعت خروجی را به بلوک مجاور انتقال می‌دهند، البته این کار با احتساب افت توان در هر کدام از اجزا و کاهش یا افزایش سرعت، ضمن لحاظ‌کردن محدودیتهای موجود صورت می‌گیرد. در انتهای مسیر مبدل انرژی با دریافت گشتاور درخواستی از جزء قبلی، مقدار گشتاور را در حداکثر سرعت محاسبه می‌کند. سپس، این اطلاعات را به واحدهای قبلی خود در سمت چپ می‌فرستد و هر کدام از این اجزا نیز با دریافت این گشتاور می‌توانند توان واقعی خروجی خود را با لحاظ‌کردن افت‌های توان مربوطه، مشخص نمایند. در نهایت بلوک آخر (Vehicle Block) با محاسبه سرعت واقعی خودرو، حد نیروی کششی و سرعت خودرو را مشخص نموده و به همین ترتیب آن را برای محاسبات شتاب بعدی استفاده می‌کند.

## ۳- شبیه‌سازی

همان‌طورکه مشخص است، یکی از اصلی‌ترین معیارها در انتخاب نوع جعبه‌دنده‌ها می‌تواند میزان تاثیر استفاده از آن جعبه‌دنده در بازده‌ی نهایی خودرو و میزان مصرف سوخت آن باشد. (پس از اطمینان از قابلیت انتقال‌توان و گشتاور لازم مورد نیاز خودرو در سرعتهای موردنظر). براین اساس آنچه در ادامه آمده‌است بررسی میزان مصرف سوخت خودرو در استفاده از این دو سامانه‌ی انتقال‌توان یعنی CVT و جعبه‌دنده غیرخودکار فعلی در خودروی سمند است. این بررسی با استفاده از حرکت دو خودرو در سیکل حرکتی استاندارد یکسان و نتایج آن نیز حاصل انجام تست در این سیکل حرکتی می‌باشد. در انتخاب سیکل حرکتی، از آیین‌نامه‌ی دولتی فدرال[1] مربوط به تست حرکتی خودروهای شهری[2] استفاده شده‌است که در واقع سیکل حرکت داخل شهر را به‌دست می‌دهد و با نام تست"FTP" شناخته می‌شود. در این سیکل حرکتی، خودرو در بازه‌ی زمانی برابر با ۲۴۷۷ ثانیه به حرکت خود ادامه می‌دهد و طول مسیر حرکتی آن نیز ۱۷/۷۷km است که در آن خودرو در دو وضعیت موتور گرم و موتور سرد بارها متوقف شده و مجدداً شروع به حرکت می‌کند. سرعت آن تا حداکثر میزان ۹۱/۲۵km/h رسیده مجدداً کاهش می‌یابد به طوری که میانگین سرعت خودرو در سیکل حرکتی نیز برابر با میزان ۲۵/۸۲km/h می‌باشد و این سرعت متناسب با حرکت خودروی شهری است.

### الف.خودروی سمند با جعبه‌دنده معمولی

نمایش ترسیمی ثبت‌شده از مقادیر گشتاور،دور مربوط به دنده‌های مختلف خودروی سمند در سیکل حرکتی FTP به‌عنوان نتیجه عملکرد ثبت‌شده در شکل (۲) ارائه شده است.

از آنجا که خودرو در سیکل شهری FTP و دور پایین حرکت کرده تقریباً تمامی مقادیر ثبت شده، در نیمه‌ی پایینی بازه‌ی دور موتور در نمودار مشاهده می‌شود. با کمک علائمی که ثبت شده، آنچه معلوم است این‌که موتور بیشترین بازده را در دنده‌های پایین دارد و این میزان در دنده‌های بالاتر به‌شدت کاهش یافته است. به‌نحوی که با انتخاب دنده نامناسب و بالا آنچه که با استفاده از کانتورها به‌دست می‌آید این است که، مقادیر زیادی از بازده موتور زیر ۲۱٪ خواهد بود و زمانی که در دور پایین از دنده‌های پایین‌تر استفاده شود از بازده‌ی بیشتری استفاده شده‌است.

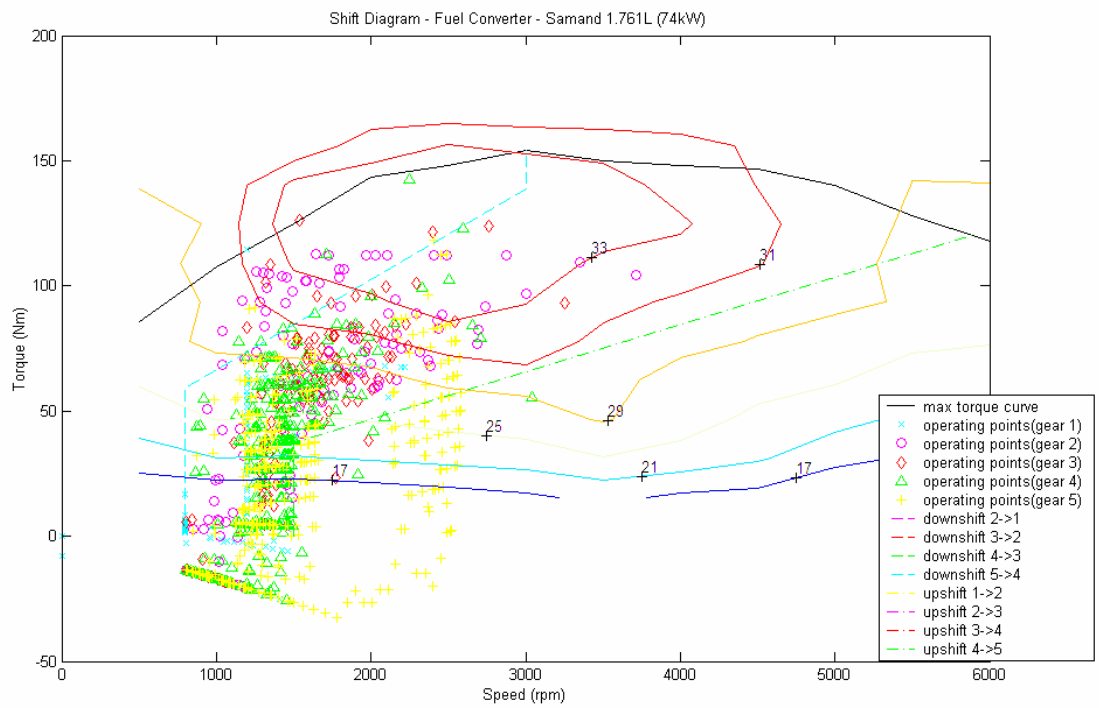
نموداری که در شکل (۳) نمایش داده شده مربوط به نتایج حاصل از رفتار موتور در سیکل حرکتی FTP است. از نکات قابل توجهی که می‌تواند در مقایسه با مکانیزم انتقال توان پیوسته در دو نوع خودرو مورد نظر قرار گیرد مقدار

۱ - (FTP-۷۵)
۲ - Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)

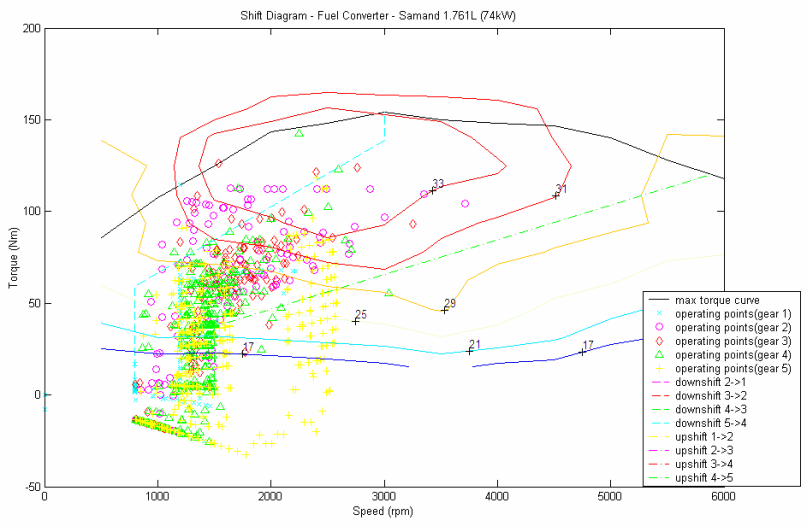
گشتاور حاصل از دور موتورِ بین ۱۰۰۰ rpm تا ۲۰۰۰ rpm است. مطابق شکل در این حالت (استفاده از جعبه دنده معمولی) اغلب گشتاور گرفته شده از موتور کمتر از ۸۰ N.m است و تعداد نقاط نشان داده شده از ثبت گشتاور در مقادیر بالاتر از این مقدار، بسیار کمتر است. این مطلب نشان می‌دهد در یک سیکل حرکتی مانند FTP همواره از مقدار کمی از گشتاور قابل عرضه‌ی موتور (که حداکثر آن ۱۵۳ N.m است) استفاده می‌شود.

در شکل (۴) مقادیر ثبت شده از بازه‌ی موتور در گستره زمانی حرکت سمند در سیکل FTP نشان داده شده است. در شکل می‌توان دید که خودروی سمند در این سیکل شهری بیشترین مقادیر عملکرد را در بازه‌ی ۲۰ تا ۳۰ درصد دارد. برای آنکه مقدار نقاط ثبت شده در نزدیکی بازده کامل نشان داده شود خط ۳۳ درصد به‌صورت خط‌چین به‌عنوان شاخصی برای مشاهده‌ی مقادیر بالاتر رسم شده‌است.

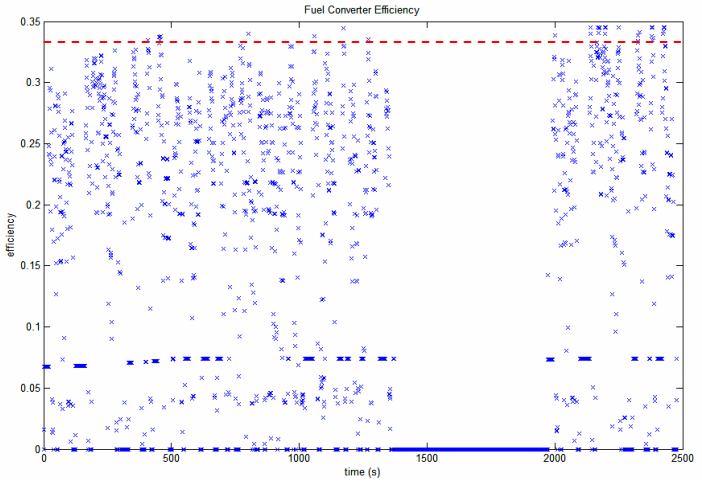
نمودار شکل (۵) مربوط به مقدار بازده جعبه‌دنده در سیکل حرکتی است. نقاط ثبت شده در شکل تجمع مقادیر متفاوت از این بازده را در بازه‌ی ۷۰ تا ۹۵ درصد نشان می‌دهد. برای بهتر مشخص شدن این مسأله، این ناحیه و گستره‌ی پراکندگی آن، با نقطه‌چین نمایش داده شده‌است. از نمودار به‌خوبی می‌توان به این نکته پی‌برد که در توقفهای زیاد اغلب فرصت استفاده از مقادیر بالای بهره‌وری و رسیدن به‌میزان نزدیک به ۹۵ درصد جعبه‌دنده وجود ندارد تا آنجا که در هر شروع به حرکتی تا رسیدن به نقطه مطلوب، به فاصله‌ی زمانی مشخصی نیاز است که این امر باعث می‌شود مقادیر کمتر از آن به تعدد در شکل دیده شود.



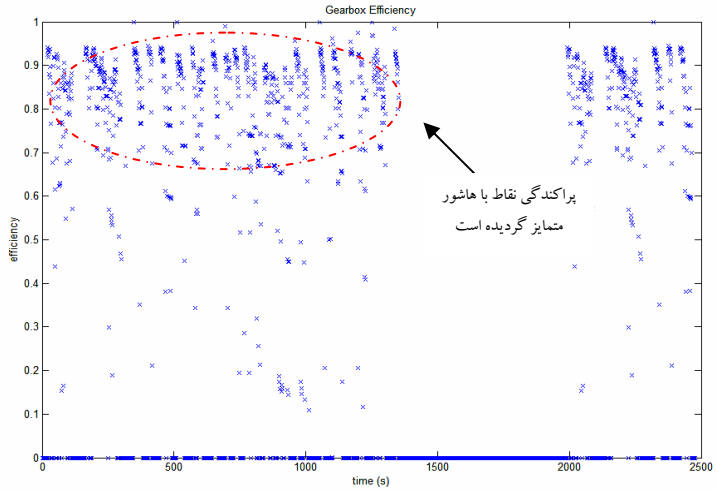

شکل (۲) عملکرد موتور سمند در دنده های مختلف درنمودار گشتاور،دور خودرو در سیکل FTP.




شکل (۳) عملکرد موتور سمند با جعبه‌دنده معمولی درنمودار گشتاور- دور خودرو در سیکل FTP.




شکل (۴) عملکرد موتورسمند با جعبه دنده معمولی در سیکل FTP.




شکل (۵) عملکرد جعبه دنده سمند در سیکل FTP.

### ب. خودروی سمند با CVT

در ادامه به بحث در مورد رفتار سمند مجهز به CVT پرداخته شده است. در شکل (۶) نحوه‌ی پراکندگی مقادیر ثبت شده در نمودار گشتاور-دور طی سیکل حرکتی FTP ارائه شده است. می‌توان دید که با تغییرات اندکی در محور افقی مربوط به میزان دور، گشتاور مورد نیاز را تا مقادیر بالا در شروع حرکت به‌دست آورد. همچنین تجمع مقادیر ثبت شده در بازه‌ی بین ۸۰۰rpm تا ۱۶۰۰ rpm نشان می دهد که خودرو در این بازه در نقاط زیادی به گشتاور های بیش از ۱۰۰ Nm رسیده است. این چیزی است که در سمند با جعبه‌دنده معمولی بسیار کمتر ثبت شده بود و می‌تواند به‌عنوان یکی از مزیتهای به‌کارگیری CVT در خودروی سمند مدنظر قرار گیرد. عدم نیاز به تغییر دور موتور برای استفاده از گشتاور بالاتر در طول سیکل حرکتی و ثابت ماندن دور موتور موجب می‌شود تا راننده احساس بهتری در هنگام رانندگی داشته باشد. بدین‌معنا که، می‌تواند بدون تغییری در پدال گاز از قابلیت رسیدن به انتقال گشتاور بالاتر در CVT برای حرکت شود. این عمل به‌ویژه در مسیرهای شیب‌دار می‌تواند برای راننده دلپذیر باشد.

تجمع پراکندگی نقاط ثبت شده در داخل کانتورهای مربوط به بهره‌وری بالا در نمودار، به‌معنی بازده بهتر در این سیکل است. چیزی که می‌تواند یکی از فاکتورهای کاهش میزان آلایندگی خروجی مربوط به گازهای دفع‌شده باشد. (به این معنی که با کارکرد موتور در بازده بالاتر با تبدیل انرژی کمتری از سوخت، توان بیشتری حاصل شده و در نتیجه مقدار ترکیبات آلاینده باقی مانده کمتر خواهد شد).

در شکل (۷) عملکرد موتور سمند مجهز به CVT نشان داده شده‌است. برای رسیدن به نتایج مقایسه‌ای باید به‌نحوه‌ی پراکندگی نقاط ثبت شده از بازده‌ها در نمودار توجه شود. برای رسیدن به‌مقایسه‌ی بهتر، شاخص ۳۳ درصدی مانند شکل (۴) که مربوط به سمند با جعبه‌دنده‌ی معمولی بود، رسم شده‌است. به‌خوبی مشخص است که در نمودار CVT حاضر، تعداد نقاط بیشتری با درصد بالا ثبت شده است. که نشان‌دهنده تاثیر مثبت استفاده‌ی از این مکانیزم در عملکرد خودرو است.

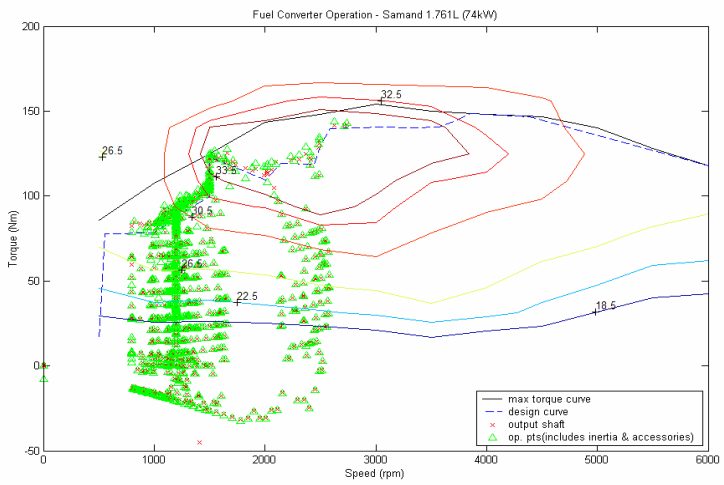
در ادامه و در شکل (۸) میزان بهره‌وری از CVT در طول حرکت در سیکل FTP نشان داده شده‌است. نمودار گویای این مطلب این است که این مکانیزم همواره بهره‌وری بیش از ۵۰ درصد خواهد داشت. چیزی که در جعبه‌دنده‌های معمولی مطابق آنچه در شکل (۵) نشان داده شد در آستانه هر توقف و یا شروع به حرکتی این میزان به‌شدت کاهش یافته و دوباره با شروع حرکت از بهره‌وری کم به بهره‌وری بالاتر افزایش پیدا می‌کند. اما آنچه در نمودار CVT نشان می‌دهد که افت بهره‌وری و یا افزایش آن در این مکانیزم یکباره است و این افت به‌یکباره از بهره‌وری بالا به حداقل خود می‌رسد. از دیگر نکات قابل استفاده، میانگین بالای بهره‌وری در این مکانیزم است. به‌نحوی که تجمع زیادی از مقادیر ثبت شده در شکل در اطراف ۸۵ تا ۹۵ درصد مشاهده می‌شود. در حالی که مقادیر مشابه درجعبه‌دنده معمولی سمند مطابق شکل (۵) مقادیری با پراکندگی بیشتر و ارقامی کمتر از این مکانیزم را نشان می‌داد. برای درک بهتر این موضوع این محدوده با نقطه‌چین در نمودار مربوط به هر دو مکانیزم مشخص و گستره‌ی پراکندگی آن نیز با نقطه‌چین متمایز شده‌است.

## ٤- بررسی مقدار مصرف سوخت واتلاف انرژی

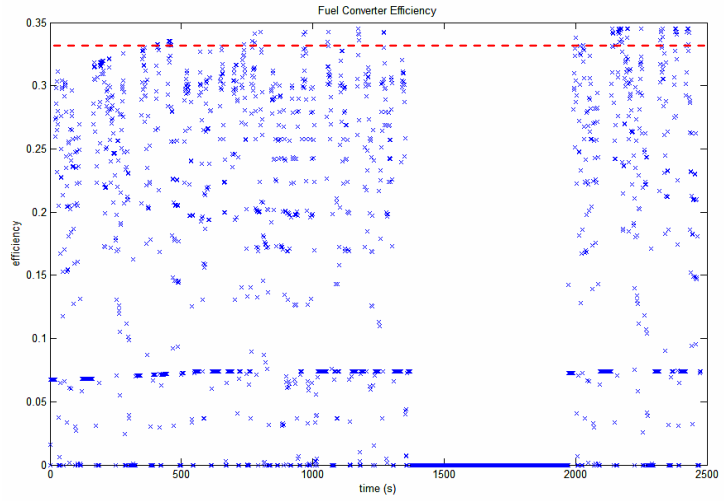
در ادامه نتایج مربوط به مصرف سوخت و اتلاف انرژی در سمند با جعبه دنده‌های مختلف بررسی می‌شود.

### الف. سمند با جعبه‌دنده معمولی

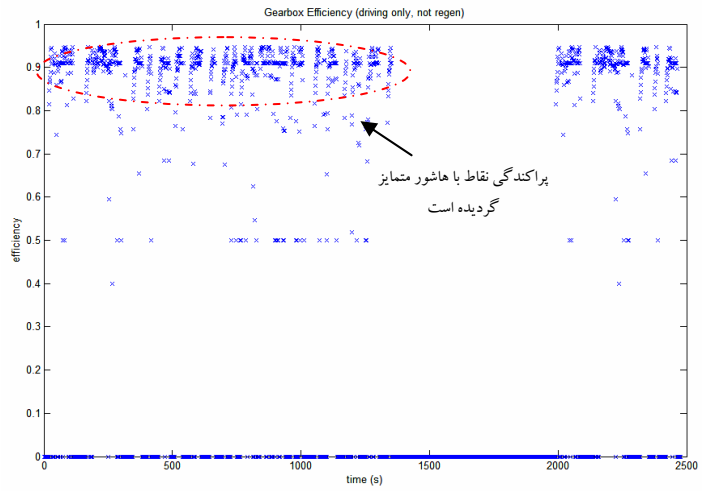
شبیه‌سازی در محیط ADVISOR، میزان مصرف بنزین خودرو سمندمدل شده با جعبه‌دنده معمولی (در سیکل حرکتی فوق) را برای مقادیر متفاوت بازده‌ی موتور، طبق جدول (۱) به‌دست می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص است در صورت احتساب نظری میزان بازده موتور




شکل (۶) عملکرد موتور سمند با جعبه دنده CVT درنمودار گشتاور- دور خودرو در سیکل FTP.




شکل (۷) عملکرد موتور سمند با جعبه دنده CVT خودرو در سیکل FTP.




شکل (۸) عملکرد جعبه دنده CVT خودرو در سیکل FTP.

برابر ۳۶ درصد است. (در سیکل FTP در طی مسیر ۱۰۰ کیلومتر) و این میزان برابر مقدار سوخت مصرفی است که طبق استانداردها برای خودروی سمند درنظر گرفته‌شده است و از سوی شرکت ایران‌خودرو به‌عنوان میزان سوخت مصرفی در سیکل FTP ارائه می‌شود[۳]. در اغلب این نوع موتورها میزان بازده حداکثر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد درنظر گرفته می‌شود[۴]. البته پیشنهاد نرم‌افزار مقدار ۳۵ درصد بود. برای رسیدن به هدف(تعویض سامانه انتقال‌توان خودرو و مقایسه تطبیقی) و خودرویی شبیه‌سازی شده تا حد ممکن نزدیک به سمند، ابتدا در مقادیری مختلف از بازده، مصرف بنزین مطابق با جدول (۱) عرضه شده‌است و سپس، به مقایسه عملکرد دو نوع خودرو در بازده‌های مختلف موتور پرداخته خواهدشد.

جدول (۱) میزان مصرف بنزین در بازده‌های مختلف در سمند مجهز به جعبه دنده معمولی در سیکل FTP

| مصرف بنزین(L) | درصد بازده موتور |
|---|---|
| ۸/۳ | ۳۷ |
| ۸/۵ | ۳۶ |
| ۸/۸ | ۳۵ |
| ۹/۳ | ۳۳ |
| ۱۰/۲ | ۳۰ |
| ۱۲/۲ | ۲۵ |
| ۱۵/۲ | ۲۰ |

### ب. در سمند با مکانیزم CVT

برای آنکه رفتار خودروی سمند با مکانیزم CVT مورد بررسی قرارگیرد به‌جز سامانه انتقال توان، بقیه پارامترها ثابت در نظر گرفته شد و مکانیزم CVT جایگزین جعبه‌دنده غیرخودکار گردید. نتایج حاصل از جایگزینی این دو با هم مقایسه شد. نتایجی که در جدول (۲) آورده شده است میزان سوخت مصرفی حاصل از حرکت سمند مجهز به CVT بر روی سیکل FTP است که در این شبیه‌سازی حاصل شده است.

جدول (۲) میزان مصرف بنزین در بازده های مختلف در سمند مجهز به CVT در سیکل FTP

| مصرف بنزین(L) | درصد بازده موتور |
|---|---|
| ۷/۹ | ۳۷ |
| ۸/۱ | ۳۶ |
| ۸/۳ | ۳۵ |
| ۸/۸ | ۳۳ |
| ۹/۷ | ۳۰ |
| ۱۱/۵ | ۲۵ |
| ۱۴/۴ | ۲۰ |

## ۵- اثر سیکل حرکتی

در این بخش سیکلهای مختلف حرکتی بر روی هر دو خودرو آزمایش گردیده و عملکرد آن در وضعیتهای مختلف مورد بررسی قرارگرفته‌است.

### الف. مقایسه عملکرد در سیکل با شیب ثابت

مقایسه‌ی عملکرد دو خودرو در سیکل حرکتی دارای شیب، در جدول (۳) ارائه شده است که می‌تواند تفاوتهای این دو خودرو را بهتر نمایان سازد. مقایسه‌ی دو خودروی سمند، یکی مجهز به CVT و دیگری سمند با جعبه‌دنده معمولی در سطوح تخت و شیب‌دار نشان می‌دهد که عملکرد CVT در این سطوح تا درصد مشخصی از تندی شیب، بهتر از خودروی سمند با جعبه‌دنده معمولی است. اما در سطوحی با شیب تند، این سمند با جعبه‌دنده معمولی است که عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. (هر چند که عملاً وجود چنین شیبهای بالایی در جاده‌ها منتفی است). برای رسیدن به نتایج دقیقتر از دو سیکل حرکتی متفاوت درون شهری و برون شهری استفاده شده‌است، که اولی همان سیکل FTP بوده که در گذشته توضیحاتی در خصوص آن داده‌شد و دیگری سیکل حرکتی Constant_۶۵ می‌باشد که در این سیکل حرکتی، خودرو با سرعت ثابت ۶۵ miles/hr (۱۰۴/۶۱ km/hr) طی ۳۶۰ ثانیه مسیر سیکل را می‌پیماید.

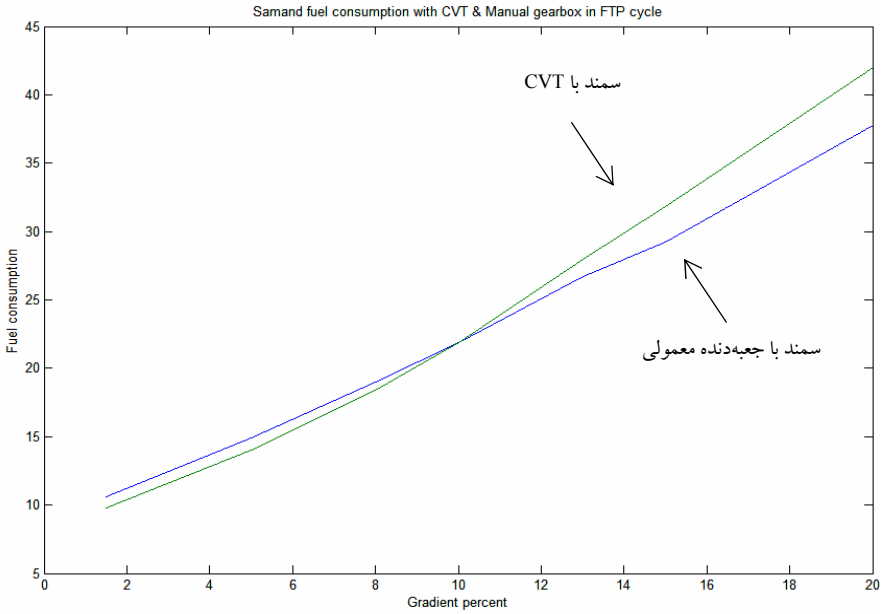
جدول (۳) مقدار مصرف سوخت درسیکل FTP با شیبهای مختلف در سمند با CVT و سمند با جعبه‌دنده معمولی

| سمند با CVT | سمند با جعبه‌دنده معمولی (L) | درصد شیب |
|---|---|---|
| ۹/۸ | ۱۰/۶ | ٪۱/۵ |
| ۱۴ | ۱۴/۹ | ٪۲/۵ |
| ۱۸/۴ | ۱۶ | ٪۵ |
| ۲۱/۹ | ۲۱/۹ | ٪۸ |
| ۲۸ | ۲۶/۷ | ٪۱۰ |
| ۳۱/۸ | ۲۹/۲ | ٪۱۵ |
| ۴۲ | ۳۷/۸ | ٪۲۰ |

همان‌طور که در نمودار شکل (۹) روند تغییرات مصرف سوخت مشاهده می‌شود در ابتدا و در شیبهای کم، مثلاً در شیب ۱/۵ درصد مصرف سوخت در CVT به مقدار ۰/۸ لیتر کمتر از سمند با جعبه‌دندی معمولی است. اما با افزایش میزان شیب دو نمودار به هم نزدیک می‌شوند به‌نحوی که در شیب ۱۰ درصد مصرف سوخت یکسانی در هر دو خودرو طی سیکل یکسان مشاهده می‌شود. در ادامه‌ی روند نمودار، مصرف سوخت در CVT افزایش می‌یابد تا آنجا که در شیب فرضی ۲۰ درصد بیش از ۴ لیتر مصرف سوخت بیشتری نسبت به خودروی سمند با جعبه‌دنده معمولی مشاهده می‌شود. این مهم می‌تواند جهت توصیه‌های فنی در استفاده از این مکانیزم در مناطق کوهستانی مدنظر قرارگیرد.

## ب. اثر سیکل حرکتی با شیب مختلف و شتاب ثابت

برای رسیدن به درک صحیحتر از عملکرد این دو خودرو در سطوح شیب‌دار از سیکل حرکتی سرعت ثابت بهره گرفته شده‌است، تا مجدداً دو خودرو در شیب و تحت سیکل حرکتی متفاوت مورد آزمایش قرار گیرند. با خروج از سیکل شهری، این دو خودرو در سیکلی که بیشتر برای سنجش عملکرد خودرو در خارج از شهر به‌کار می‌رود قرار گرفته‌اند. یعنی خودرو با سرعت ثابت و برابر با ۱۰۴/۶۱ km/hr در مسافتی به‌طول ۱۰/۴۶km حرکت می‌کند، که البته نتایج صحت مطالب گذشته را تایید می‌نماید. همانطور که در جدول (۴) مشخص است در اینجا نیز در شیبهای پایین‌تر عملکرد CVT بهتر از جعبه دنده معمولی است. این مطلب در شیبهای تند عکس می‌شود و مثلاً در شیب ۱۵ درصد مقدار ۷/۵ لیتر افزایش مصرف سوخت در سمند مجهز به CVT مشاهده می‌شود.




شکل(۹) مربوط به روند مصرف سوخت سمند درسیکل FTP و با شیب ثابت صعودی در خودروی سمند با CVT و جعبه دنده‌ی معمولی

جدول (۴) مقدار مصرف سوخت درسیکل Constant_۶۵ با شیبهای مختلف در دو سمند با CVT و سمند با جعبه دنده معمولی

| درصد شیب | سمند با CVT | سمند با جعبه‌دنده معمولی (L) |
|---|---|---|
| ٪۱/۵ | ۸/۵ | ۸/۶ |
| ٪۲/۵ | ۹/۸ | ۹/۹ |
| ٪۵ | ۱۳/۳ | ۱۳/۳ |
| ٪۸ | ۱۹/۷ | ۱۸/۸ |
| ٪۱۰ | ۲۶/۷ | ۲۰/۳ |
| ٪۱۵ | ۳۴/۴ | ۲۶/۹ |
| ٪۲۰ | ۴۴/۱ | ۳۶/۱ |

## ٦- ارزش اقتصادی استفاده از CVT

دراین قسمت ارزش اقتصادی استفاده از CVT بر حسب نتایج حاصل از عملکرد CVT بر روی سمند مورد بررسی قرار گرفته‌است. با احتساب نتایجی که در بخشهای پیشین حاصل شد وآنچه در استفاده از CVT بر روی خودرو در یک سیکل حرکت شهری بیان‌گردید، می‌توان دید که در چنین سیکلی در خودروی مجهز به مکانیرم CVT مصرف سوخت به اندازه ۰/۵ لیتر نسبت به جعبه‌دنده معمولی کاهش می‌یابد. حال با لحاظ نمودن این مسئله می‌توان مقایسه قیمتی دقیقتری ارائه داد که این موضوع در تصمیم‌گیریهای اقتصادی استفاده از CVT برای خریدار و همچنین، بررسی مسائل کلان تولید، به‌کار می‌آید. در این رابطه طول عمر مفید این مکانیزم به‌عنوان یکی از فاکتورهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیریها دارای اهمیت است.

در مورد طول عمر CVT، اخیراً پس از انجام آزمایشهای موفق، از میزان دوام آنها و اطمینان از عملکرد این مکانیزم در مسافتی نزدیک به طول عمر استاندارد یک خودرو(که برابر با km ۲۵۰۰۰۰ است)، گزارشهایی ارائه شده است. در این گزارشها، این مسافت برابر ۲۴۱۴۰۲ کیلومتر (۱۵۰۰۰۰ مایل) اعلام شده‌است، یعنی در صورتی که فرض بر این قرار گیرد که کل سیکل حرکتی یک خودرو، سیکل FTP باشد تعداد سیکل پیمایشی خودرو در حرکت شهری که حاصل تقسیم سیکل حرکتی به طول عمر پیمایش CVT می‌باشد برابر با ۲۴۱۴/۰۲ سیکل خواهد بود و بدین ترتیب مقدار بنزین صرفه‌جویی شده در طول عمرخودرو ۱۲۰۷/۰۱ لیتر کاهش خواهد داشت.

با احتساب موارد فوق در صورتی که قیمت بنزین را قیمت داخلی ۴۰۰ تومان در نظربگیریم کل هزینه پرداخت شده جهت بنزین برابر با ۴۸۲/۸ تومان می‌گردد. که این مقدار ارزش افزوده‌ی اسمی استفاده از این مکانیزم برای مصرف‌کننده در طول سیکل حرکتی خواهد بود و می‌تواند به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مشوق برای خریدار محسوب گردد.

این مقادیرِ مصرف سوخت، زمانی خود را بهتر نشان می‌دهد که نگاهی به برنامه‌های ارائه شده از سوی شرکتهای خودروسازی صورت‌گیرد، چه آنکه با اعلام تولید سالانه ۲۰۰۰۰ دستگاه خودروی با جعبه‌دنده‌ی خودکار از سوی شرکت ایران‌خودرو، مقدار زیادی از هدر رفت انرژی صورت خواهد گرفت، که همگی از سرمایه ملی هزینه خواهد شد و مبلغ سرمایه از دست رفته در مصرف سوخت اضافی در طول عمر یک سال تولید خودروی خودکار (با فرض یکسان بودن میزان مصرف سوخت در خودروی خودکار و غیر خودکار که البته این میزان با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازیهای مشابه صورت گرفته در سمند با جعبه‌دنده خودکار فعلی بیشتر خواهد شد.) برابر مقدار ۲۴,۱۴۰,۲۰۰ لیتر خواهد شد. حال اگر هزینه سوخت مصرفی با توجه به قیمت واقعی سوخت در بازارهای جهانی در نظر گرفته شود، با فرض قیمت یک دلار برای هر لیتر بنزین هزینه‌ی واقعی هدر رفت انرژی که صرف خرید سوخت می‌شود برابر مقدار ۲۲,۴۵۰,۳۸۶,۰۰۰ تومان خواهد شد که هزینه واقعی هدر رفت سالانه انرژی خواهد بود.

درحال حاضر در بازار داخل دو نوع‌جعبه‌دنده برای سمند عرضه می‌شود و تفاوت این دو نوع تنها در نسبتهای متفاوت در دنده ۵ می‌باشد دو نوع جعبه‌دنده دارای انواع تولید داخلی و خارجی می‌باشند و به‌لحاظ قیمتی، جعبه‌دنده‌های داخلی با قیمت بیشتری نسبت به جعبه‌دنده‌های خارجی مشابه دادوستد می‌شوند. برای مثال در نوع اول از این جعبه‌دنده‌ها قیمت نوع خارجی ۶۳۴۰۰۰ تومان و نوع داخلی آن ۷۳۰۰۰۰ تومان می‌باشد و در نوع دوم قیمت نوع خارجی ۶۴۰۰۰۰ و نوع داخلی آن ۷۴۰۰۰۰ تومان می‌باشد که در صورت احتساب قیمت دلار برابر با ۹۳۰ تومان می‌توان حداقل ارزش دلاری جعبه‌دنده‌های موجود را که مربوط به نوع اول است برابر با ۶۸۳ دلار و حداکثر آن را نیزکه مربوط به نوع دوم می‌باشد ۷۹۶ دلار دانست. به هرحال آنچه در بازارِ امروز از قیمتهای مربوط به این مکانیزم حاصل

می‌شود آن است که قیمت CVT به‌طور میانگین نسبت به جعبه‌دنده‌های مشابه معمولی دو برابر بوده و نسبت به انواع اتوماتیک حدود ۱/۳ برابر می‌باشد که این مسئله را می‌بایست در تصمیم‌گیریهای کلان مدنظر داشت[۵].

از دیگر مزیت‌های که می‌تواند نظر خریدار را جلب نماید شتابگیری ملایم و بدون شوک خودروی مجهز به آن می‌باشد که امروزه یکی از دغدغه‌های رانندگیهای کسالت‌آور در مسیرهای پرترافیک شهری به‌حساب می‌آید، و این مورد تفاوت استثنایی این مکانیزم با دیگر جعبه‌دنده‌های معمولی و خودکار است که خود می‌تواند عاملی محرک در جذب بازار باشد.

همچنین سهولت در ارائه خدمات پس از فروش در این مکانیزم با توجه به قطعات کمتر به کار رفته در اصول این مکانیزم در مقایسه با جعبه‌دنده‌های خودکار باتوجه به امکان آموزش راحت‌ترِ اصول عملکرد و ایرادهای احتمالی مزیتی غیرقابل انکار است.

## ۷- نتیجه‌گیری

در جمع‌بندی نتایج حاصل‌شده از شبیه‌سازی صورت گرفته و بررسی استفاده از CVT بر روی خودروی سمند می‌توان موارد ذیل را بیان نمود:

- کاهش مصرف سوخت خودروی سمند مجهز به CVT در بازده یکسان موتور.
- اخذ گشتاور بالاتر در دور پایین یکسان در خودروی سمند مجهز به CVT.
- عملکرد مناسب خودروی سمند مجهز به CVT در شیبهای کم.
- عملکرد بهتر خودروی سمند مجهز به CVT در بازده‌های پایین موتور.
- صرفه‌ی اقتصادی در استفاده از CVT و جلوگیری از هدر رفت انرژی در کشور.

نمودار عنکبوتی شکل (۱۰) تفاوت‌های به‌دست آمده را در سیکل FTP نشان می‌دهد.

## منابع

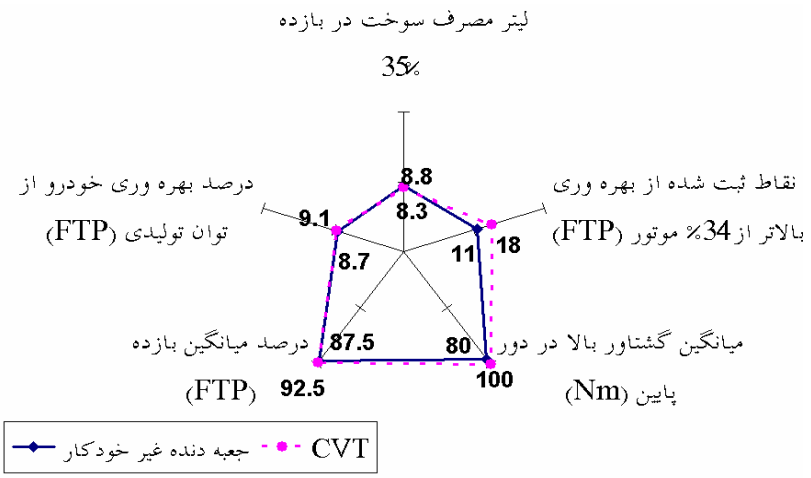

[۱] Birch, Stuart, Audi takes CVT from ۱۵th century to ۲۱st century (English), *Automotive Engineering International Magazine*, SAE International, Retrieved on Nov. ۲۰۰۷.

[۲] Harris, William, How CVTs work (English) article, How Stuff Works, Inc. online resource (auto.howstuffworks.com, Retrieved on Dec. ۲۰۰۷.

[۳] Iran Khodro archive, Samand *owner's handbook*, Published by Iran Khodro Industrial Group (English), , ۱st Edition, October ۲۰۰۲.

[۴] شرکت سایپکو، *جزوه مکانیک خودرو- بخش ترمودینامیک*، انتشارات سایپکو،، ۱۳۸۲.

[۵] نیک‌بین، م.، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بررسی استفاده از CVT برروی خودروهای داخلی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی شهر، ۱۳۸۷.


شکل (۱۰) نمودار عنکبوتی مقایسه رفتار دو جعبه دنده در سیکل FTP