



دانشگاه فنی

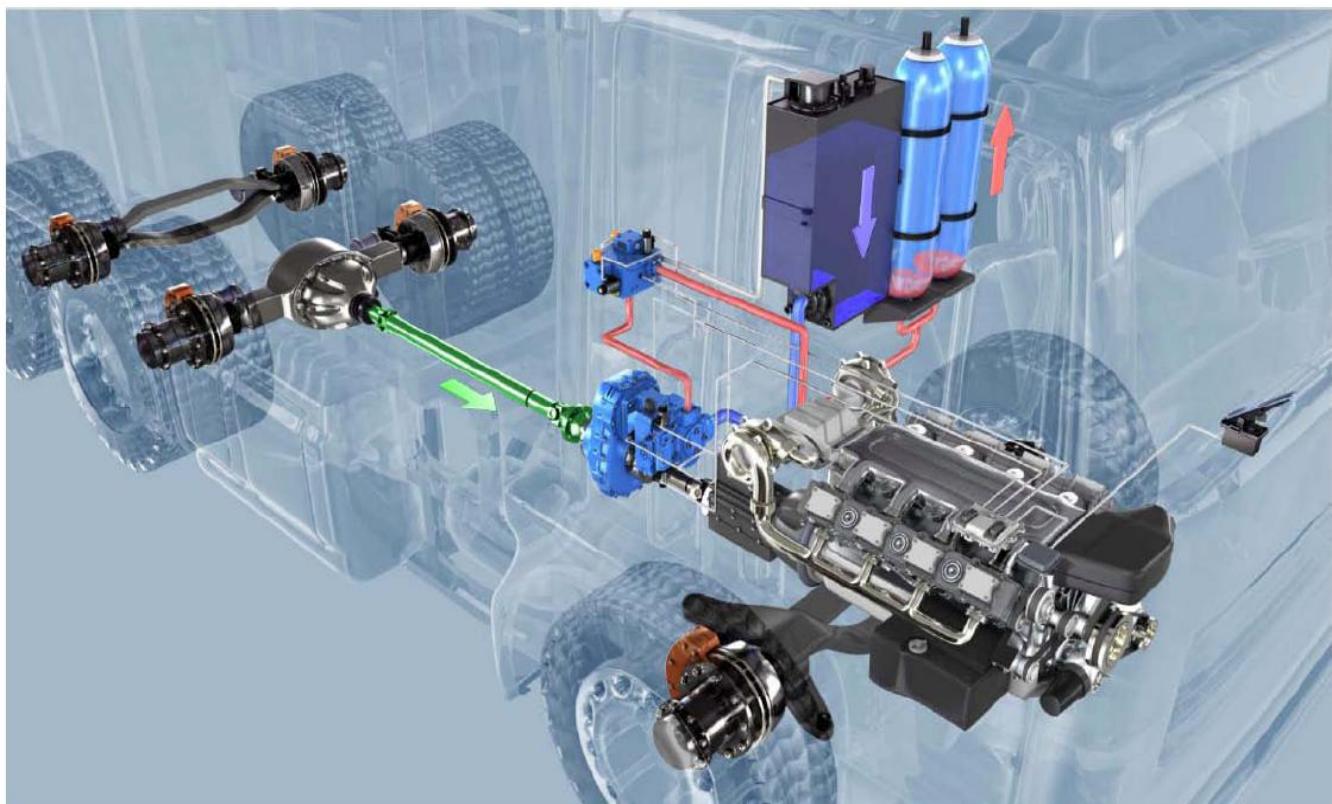
بسمه تعالیٰ



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## گزارش پروژه

# تدوین نیازمندی‌های فنی اقتصادی نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید مکانیکی



مرکز تحقیقات  
خودرو، سوخت و محیط زیست  
**VFE Research Institute**  
Vehicle, Fuel & Environment Research Institute

۱۳۹۱ - ۱۳۸۹

(این گزارش به عنوان گزارش پایانی شامل گزارشات هر ۶ مرحله پروژه می‌باشد)



# فاز اول

مرحله اول

تهیه نیازمندی‌های اولیه



## فهرست مطالب

۱	جمع‌آوری اطلاعات فنی
۴	۱- انواع سیستم‌های هیبرید مکانیکی
۴	۱-۱ سیستم هیبرید فلاکسیول
۷	۱-۲ سیستم هیبرید هیدرولیکی
۹	۱-۳ سیستم هیبرید نیوماتیکی
۱۲	۲ جمع‌آوری اطلاعات شهری
۱۳	۲-۱ آمارگیری سفرهای ساکین
۱۴	۲-۲ آمارگیری دروازه‌ای
۱۴	۲-۳ خطوط برش
۱۵	۲-۴ آمارگیری پایانه‌ها
۱۶	۲-۵ آمارگیری حمل و نقل کالا
۱۹	۳ بررسی وضعیت حمل و نقل عمومی شامل مسیرها، وسایط، خطوط، مشخصات فنی و سوت
۱۹	۳-۱ بررسی مشخصات خودروهای موجود در کشور و ارزیابی تناسب آنها برای پیاده‌سازی نمونه اولیه
۲۹	۳-۲ مقایسه طول شبکه معابر شهر تهران طی سالهای ۱۳۸۵ الی ۱۳۸۶
۳۳	۳-۳ توزیع درصد خودروهای فعال در شهر تهران
۳۴	۳-۴ متوسط سرعت وسایل نقلیه در شهر تهران در ساعت اوج صبح
۳۵	۳-۵ توزیع سفرهای روزانه در شهر تهران
۳۶	۳-۶ جدول مقایسه ای وضعیت هوای شهر تهران

۴ بروزی سیکل‌های حرکتی استاندارد موجود و انتخاب سیکل حرکتی مناسب برای شهر تهران.....	۴۰
۱-۱ سیکل‌های حرکتی ایالات متحده.....	۴۰
۱-۱-۱ سیکل خودروهای سبک.....	۴۰
۱-۱-۲ سیکل خودروهای سنگین.....	۴۱
۲-۱ سیکل خودروهای اروپا.....	۵۰
۳-۱ سیکل‌های حرکتی آسیایی.....	۵۶
۴-۱ سیکل‌های حرکتی ایران.....	۵۸
۵ بروزی اتوبوس‌های مختلف موجود و انتخاب اتوبوس مورد نظر.....	۶۳
۱-۱ حق امتیاز.....	۶۵
۲-۱ بروزی امکان جانمایی تجهیزات.....	۶۵
۳-۱ بهره‌وری مصرف سوخت.....	۶۸
۴-۱ هزینه.....	۶۸
۵-۱ مشخصات اتوبوس O457 درونشهری.....	۷۱
۶ انتخاب مسیرهای خاص برای محاسبات و تست.....	۷۳

# تهیه نیازمندی‌های اولیه

خودروی هیبریدی به خودرویی گفته می‌شود که بیش از یک منبع انرژی برای حرکت خود را دارا باشد و یکی از این منابع قابلیت ذخیره‌سازی انرژی را نیز داشته باشد. هدف اصلی استفاده از این نوع سیستم حرکتی در خودروها کاهش مصرف سوخت فسیلی و آلاینده‌های خودرو و دست‌یابی به راندمان کلی بالاتر است. معمولاً یکی از مولفه‌های حرکتی خودروهای هیبرید موتور احتراقی است، اگرچه خودروهای هیبریدی باتری-پیل سوختی هم موجودند. خودروهای هیبرید الکتریکی از باتری‌ها یا ابرخازن‌ها به عنوان مولفه دوم برای تامین انرژی حرکتی استفاده می‌کنند که قابلیت ذخیره انرژی را نیز به صورت الکتریکی دارا هستند.

در خودروهای هیبرید مکانیکی مولفه دوم یک سامانه مکانیکی است که قابلیت تولید و ذخیره انرژی را دارا می‌باشد. این انرژی را می‌توان به صورت فشار در انباره هیدرولیکی و یا نیوماتیکی و یا به صورت انرژی جنبشی در فلاکویل ذخیره گردد. به طور کلی می‌توان مزیت‌هایی را برای استفاده از سامانه هیبرید مکانیکی به جای سامانه هیبرید الکتریکی برشمرد. باتری‌های کششی در سامانه‌های هیبرید الکتریکی عمر محدودی دارند و حتی با پیشرفت چشمگیر تکنولوژی باتری‌های کششی، هنوز از لحاظ قیمت، وزن و حجم به عنوان پاشنه آشیل خودروهای الکتریکی و هیبرید الکتریکی هستند. استفاده از سیستم‌های هیبرید الکتریکی در خودروهای سنگین همانند اتوبوس نیازمند استفاده ولتاژ بسیار بالا (۶۰۰ ولت) می‌باشد که مسایل ایمنی و ملاحظات طراحی آن بسیار مهم می‌باشد.

از سوی دیگر کاهش راندمان کلی سیستم نیز به واسطه تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی و تبدیل مجدد آن از الکتریکی به مکانیکی در سامانه‌های هیبرید الکتریکی اجتناب ناپذیر است. همچنین طراحی و پیاده‌سازی سیستم کنترلی مناسب برای کنترل کردن موتور احتراقی، موتور الکتریکی، ژنراتور، باتری‌ها و موتور کمکی در سامانه‌های هیبرید الکتریکی دانش فنی بالایی را می‌طلبد. خودروهای هیبرید الکتریکی دارای ادوات اضافه شده‌ای مانند موتور کمکی،

مجموعه‌های مدیریت حرارتی متعدد برای موتوور احتراقی، تجهیزات الکتریکی و باتری‌ها هستند که مجموعاً از نظر وزن، فضای اشغال شده و چیدمان طراحی را با مشکلات عدیده مواجه می‌سازند.

در این مرحله از طرح، نیازمندی‌های اولیه برای امکان‌سنجی نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید مکانیکی تدوین شده است.

در فصل اول انواع سیستم‌های هیبرید مکانیکی به صورت اجمالی بررسی شده است. بررسی جامعتر در مرحله دوم طرح ارائه شده است. در فصل دوم اطلاعات شهر تهران از منظر ترافیک و سفرهای روزانه بررسی شده است. فصل سوم به وضعیت حمل و نقل عمومی شامل مسیرها، وسایط، خطوط و مشخصات فنی و سوخت می‌پردازد. سیکل‌های حرکتی استاندارد در فصل چهار معرفی شده‌اند. اتوبوس‌های مختلف درون شهری تهران در فصل پنجم بررسی شده‌اند. نهایتاً در فصل ششم مسیرهای مناسب برای محاسبات و تست انتخاب گردیده‌اند.

## ۱ جمع‌آوری اطلاعات فنی

جهت پیاده‌سازی سیستم هیبرید مکانیکی ابتدا نیاز به بررسی انواع آن و همچنین چگونگی عملکرد هر یک در شرایط مختلف می‌باشد. در این قسمت بر آن سعی شده است تا با معرفی اجمالی هر یک از این سیستم‌ها و مرواری بر تاریخچه آنها، اطلاعاتی کلی در اختیار خواننده قرار گیرد. سپس با توجه به شرایط حمل و نقل و ترافیک موجود در شهر تهران به جمع‌آوری یک سری اطلاعات شهری و آمارهای مورد نیاز در فصول بعد جهت طراحی پرداخته شده است.

### ۱-۱ انواع سیستم‌های هیبرید مکانیکی

عمده فعالیت‌های انجام شده در زمینه سامانه هیبرید مکانیکی تا به حال در سه بخش سیستم هیبرید فلاکویل، سیستم هیبرید هیدرولیکی و سیستم هیبرید نیوماتیکی بوده است. در ذیل به معرفی اجمالی هر یک از این سامانه‌ها پرداخته می‌شود و شرح تفصیلی در بخش دوم گزارش ارایه شده است.

#### ۱-۱-۱ سیستم هیبرید فلاکویل

هیبرید مکانیکی فلاکویل نوعی از خودروهای هیبریدی است که از فلاکویل به عنوان سیستم ذخیره انرژی ثانویه استفاده می‌کند. سیستم فلاکویل در گذشته در برخی وسایل نقلیه بزرگ مانند اتوبوس‌های شهری به عنوان منبع انرژی استفاده شده است.



دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیمایش سازی مصرف سوخت

اتوبوس جایروباس<sup>۱</sup> در سوئیس و در دهه ۱۹۴۰ میلادی با استفاده از سیستم ژنراتور فلاکویلی انرژی مورد نیاز خود را ذخیره می‌نمود. این اتوبوس‌ها به جای استفاده از موتور احتراق داخلی یا باتری و یا گرفتن برق از سیم‌های برق، انرژی مورد نیاز خود را در یک فلاکویل ذخیره می‌کردند. در محل‌های مقتضی مثل مکان‌های توقف، ایستگاه‌ها یا پایانه‌ها فلاکویل با استفاده از برق شهر از طریق یک موتور تا سرعت ۳۰۰۰ دور در ثانیه به حرکت در می‌آید. سپس فلاکویل انرژی مورد نیاز برای حرکت اتوبوس را به صورت انرژی الکتریکی تامین می‌کند و در نتیجه از سرعت و انرژی آن کاسته می‌شود.



شکل ۱: عکس یک جیرو باس در موزه

در حال حاضر عمده استفاده از این سیستم در خودروهای مسابقه‌ای فرمول یک است. البته تحقیقات بر روی استفاده از این سیستم در خودروهای عادی و همچنین سیستم حمل و نقل عمومی و خدماتی ادامه دارد.

<sup>۱</sup> Gyrobus



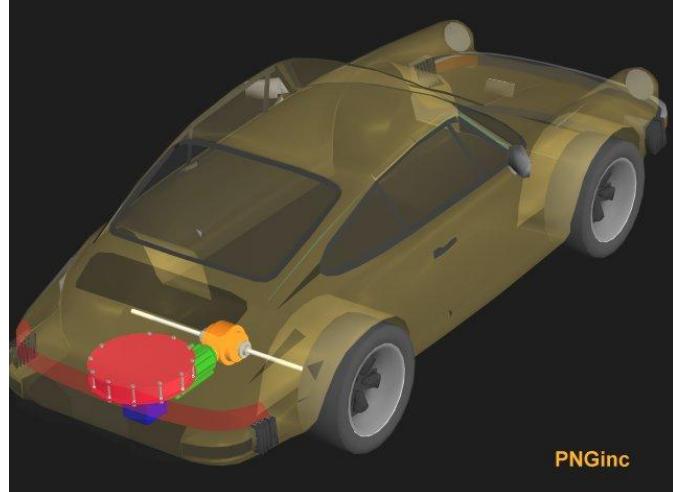
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۲: نمونه‌ای از خودرو هیبرید فلایویل

بعضی از شرکت‌ها و موسسات علمی تحقیقاتی و صنعتی که در زمینه هیبرید فلایویل فعالیت کرده‌اند عبارتند از:

- شرکت TOROTRAK
- شرکت RICARDO
- شرکت FLYBIRD
- شرکت Kestrel Powertrain
- کنسرسیوم KinerStor

شرکت Kestrel Powertrain یک شرکت انگلیسی است که در زمینه خودروهای هیبرید FIVT فعالیت دارد و یکی از اتوبوس‌های ناوگان شهری این کشور را هیبرید کرده است (شکل ۳). این شرکت مدعی است که با استفاده از این تکنولوژی توانسته است به ۵۰ درصد کاهش مصرف سوخت دست پیدا کند.



دانشگاه  
تهران

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۳: اتوبوس Kestrel Powertrain FIVT ساخته شده توسط توسط

### ۱-۲ سیستم هیبرید هیدرولیکی

سیستم هیبرید هیدرولیکی برای خودروهایی که دائم در حال حرکت و توقف هستند بسیار مناسب است، به دلیل اینکه می‌تواند انرژی زیادی را در حین ترمزگیری بازیاب کرد که از در آینده برای به حرکت در آوردن وسیله نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حال حاضر این سیستم‌ها در حال توسعه برای خودروهایی نظیر کامیون‌های حمل و نقل شهری، اتوبوس‌های مدارس و ماشین‌های خدمات شهری می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در هنگام ترمزگیری حالت پمپی فعال می‌شود و سیال هیدرولیکی از مخزن کم‌فشار به جمع‌کننده پرفشار پمپ می‌شود. در هنگام شتاب‌گیری حالت موتوری به کار می‌افتد و سیال از مخزن پرفشار خارج شده و وارد مخزن کم‌فشار می‌شود، این امر باعث انتقال نیرو به میل گارдан و چرخ‌ها می‌شود.

شرکت Eaton و موسسه حفاظت از محیط زیست آمریکا از اولین نمونه کامیون حمل و نقل شهری در سال ۲۰۰۶ رونمایی کرد (شکل ۵). بنابر اظهارات این موسسه، این خودرو قادر است نسبت به نوع احتراقی خود تا حدود ۶۰ درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی به عمل آورد و همچنین نشر گازهای آلاینده نظیر CO<sub>2</sub> تا حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. این کامیون شهری با صرفه‌جویی حدود ۱۰۰۰ گالن گازویل در سال قادر به بازیابی سرمایه اولیه در طول سه سال می‌باشد.



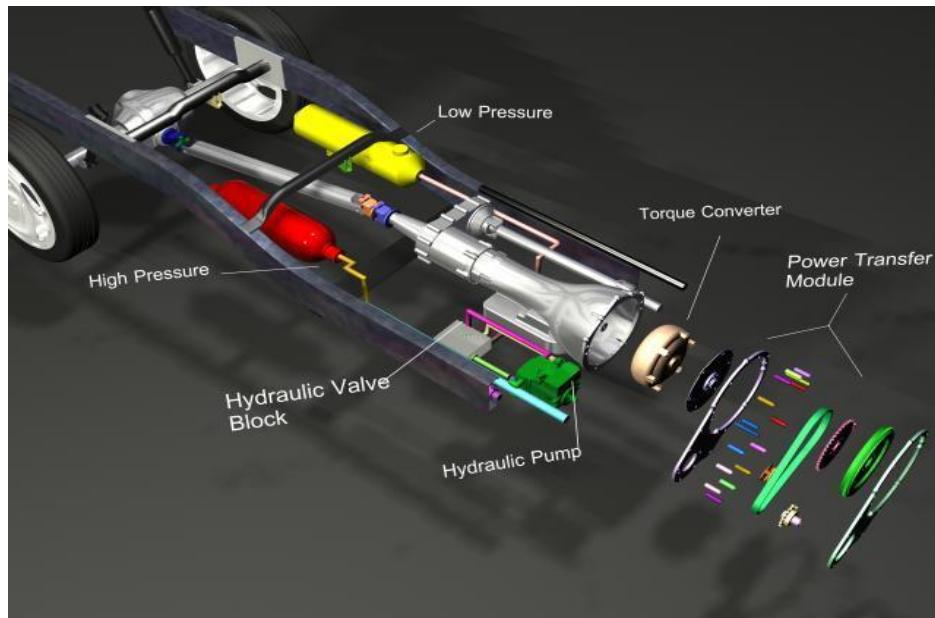
دانشگاه  
تقني

مرحله اول

## تهییه نیازمندی های اولیه



شرکت ملي نفت ايران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۴: نمونه‌ای از خودروی هیبرید هیدرولیک



شکل ۵: کامیون شهری UPS

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، شرکت Peterbilt نیز از یک کامیون حمل زباله که دارای سیستم هیبرید هیدرولیکی می‌باشد در سال ۲۰۰۸ رونمایی کرده است. شرکت Peterbilt اعداد مشخصی را در مورد کاهش در مصرف سوخت و نشر آلاینده‌ها اعلام نکرده است ولی مدعی است که این کامیون قادر به صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف سوخت و آلایندگی می‌باشد.



دانشگاه  
دشکده

مرحله اول

## تهیه نیازمندی‌های اولیه



شرکت مجلس نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۶: کامیون حمل زباله شرکت Peterbilt

این سیستم در حال حاضر بیشترین استفاده را در ماشین‌های حمل زباله شهری دارد. در حال حاضر شرکت‌های زیادی مانند کمپانی Ford در حال سرمایه‌گذاری بر روی این سیستم هستند. بنابر بررسی‌های انجام شده مشخص شد که این خودرو می‌تواند مصرف سوخت را تا حدود ۷۰ درصد و آلدگی را تا حدود ۴۰ درصد کاهش دهد.<sup>۲</sup> در زیر نام برخی از موسسات و شرکت‌هایی که در زمینه هیبرید هیدرولیکی فعالیت می‌کنند آمده است:

- موسسه حفاظت از محیط زیست آمریکا
- شرکت Eaton
- شرکت Ford

### ۱-۳-۳ سیستم هیبرید نیوماتیکی

در یک موتور هیبرید نیوماتیکی همان‌طور که در شکل ۷ پیداست، از انرژی ذخیره‌شده هوای فشرده برای بالا و پایین بردن پیستون استفاده می‌شود. در حقیقت در این سیستم موتور احتراقی علاوه بر احتراق وظیفه فشرده‌سازی هوا و ذخیره آن در مخزن را در حین ترمزگیری به‌عهده دارد. در این سامانه هر سیلندر از موتور احتراقی توسط یک سوپاپ قابل

<sup>2</sup> <http://www.hydraulichybridsystems.com/savings>



دانشگاه  
 شهریار

مرحله اول

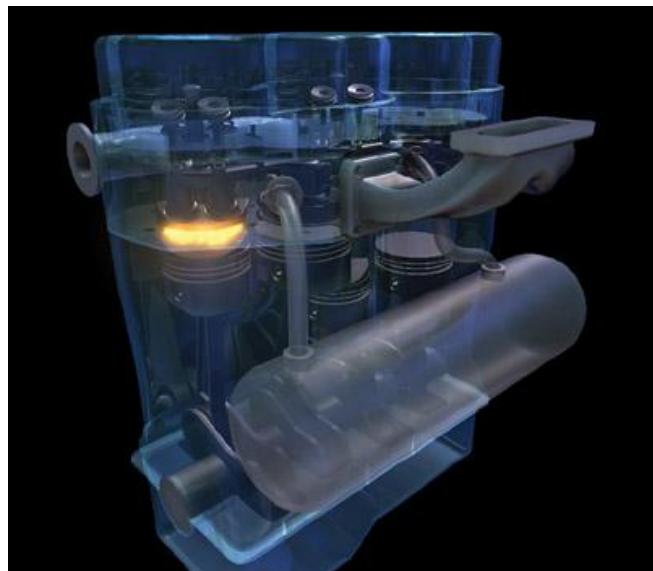
## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

تنظیم به یک مخزن هوا متصل می‌باشند. در مرحله ترمزگیری با قطع سوخت، موتور می‌تواند هوا را بمکد و به مخزن پرشار پمپ کند. از این هوای فشرده مجدداً می‌توان برای راهاندازی وسیله استفاده کرد. هیبرید نیوماتیکی سهم کمتری در آلودگی نسبت به هیبرید الکتریکی دارد. در حال حاضر دانشگاه ETH سوئیس در حال انجام تحقیقاتی بر روی نمونه تهییه شده موتور هیبرید هوایی می‌باشد. بررسی‌های انجام شده بر روی این موتور نشان می‌دهد که بازده آن در سیکل اروپایی افزایش می‌یابد. در حال حاضر موسسه ZPM<sup>۳</sup> نیز بر روی این موتورها با سیکل هوای فشرده در حال تحقیق می‌باشد.

در حدود یک قرن لوکوموتیوهایی که با نیروی هوا تغذیه می‌شدند به عنوان وسائل حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گرفتند. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده‌است، در سال ۱۸۸۶ موتور هوایی Mekarski برای حمل و نقل شهری مورد استفاده قرار گرفت. این موتور تک مرحله‌ای بوده و هوا پس از ترک مخزن دوباره گرم شده و به موتور وارد می‌شود. گرم کن آن یک آب داغ بوده که هوا در تماس مستقیم با آن گرم می‌شده است.



شکل ۷: سیستم هیبرید نیوماتیکی

<sup>۳</sup> Zero Pollution Motor



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پهنه سازی مصرف سوخت



شکل ۸: موتور هوایی Mekarski

در حال حاضر نیز یک محقق فرانسوی به نام Guy Negre در حال بررسی بر روی موتورهای هوایی می‌باشد. او توانسته است از اولین موتور هوایی خود در یک خودروی کوچک استفاده کند (شکل ۹). این خودرو دارای یک موتور هوایی چهار کیلووات است و دارای ماکریمم سرعت ۴۳ مایل بر ساعت می‌باشد.



شکل ۹: موتور هوایی Negre

## ۲ جمع‌آوری اطلاعات شهری

توسعه سریع شهرها به‌ویژه در حال توسعه مشکلات عدیده‌ای در اداره امور شهرها به‌وجود آورده که یکی از معضلات دنیای امروز به‌شمار می‌آید. تراکم، آلودگی هوا، وضع نامناسب واحدهای مسکونی، راهبندان‌های طولانی و بسیاری ناراحتی‌های دیگر عواملی هستند که در غالب شهرهایی که به‌نوعی دچار توسعه یافته‌گی لجام گسیخته شده‌اند، به‌چشم می‌خورد. اقدامات مقطعی و کوتاه‌مدتی که برای رفع چنین مشکلاتی به‌عمل می‌آید، به‌علت متکی نبودن به اصول و مواضع جامع و منطقی و عدم هماهنگی با سیاست‌های کلان موجبات و خامت بیشتر این وضعیت آشفته را فراهم می‌سازد. تردیدی نیست که این مشکلات به‌خودی خود حل نخواهد شد و برای چاره‌جویی باید آن‌ها را به‌طور عمیق و دقیق بررسی نمود.

مشکلات ترافیک تهران و عوارض عمومی آن بر همگان اعم از ساکنین پایتخت و یا کسانی که مسایل کاری، درمانی و...، آنها را وادار به مسافرت به تهران کرده است، شناخته شده و غیر قابل انکار است. زمان‌های طولانی رفت و آمد، آلودگی هوا، سرعت متوسط پایین حرکت، یا زمان‌های انتظار زیاد و مسایلی از این قبیل را دیگر امروزه می‌توان از مشخصات غیرقابل تفکیک از این شهر شلوغ و پر رفت و آمد به حساب آورد. آنچه تا کنون ذکر شد فقط بخشی از مشکلات انبوهی است که نیاندیشیدن تدبیری جامع و مبتنی بر مطالعات گسترده و دقیق موجب عمیق‌تر شدن آن‌ها می‌شود.

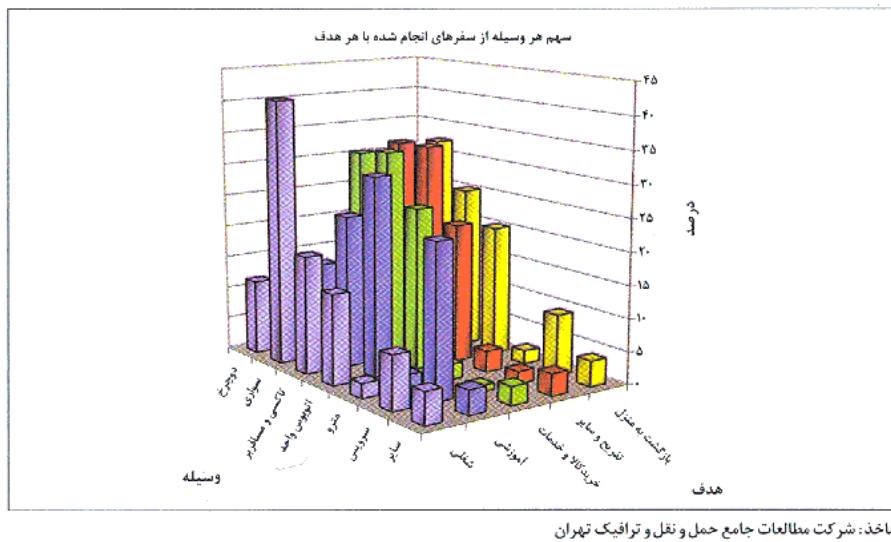
همانطور که گفته شد ترافیک و آلودگی هوا از مهم‌ترین مشکلات موجود در کلان‌شهری مانند تهران می‌باشد. از راهکارهای مناسب برای جلوگیری از این عوامل می‌توان استفاده بیشتر ساکنین از وسائل نقلیه عمومی را نام برد. با استفاده از وسائل نقلیه عمومی می‌توان ترافیک در شهر و به نحوی آلودگی را کنترل کرد. در راستای شناخت تمام پیچ و خم‌های موجود در مسیر یافتن راهکارهای مناسب برای حل معضل ترافیک می‌توان اولین گام را تعیین محدوده جغرافیایی و یا به عبارت دیگر محدوده مورد مطالعه به‌شمار آورد. با شناخت عوامل موثر بر ترافیک و تعیین نقاط حساس آن می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب از این معضل تا حدودی کاست. علاوه بر این اطلاعات به‌دست آمده از شناخت ترافیک شهری تهران می‌تواند در انتخاب وسیله حمل و نقل عمومی مناسب نیز تاثیرگذار باشد.

با بررسی نقاطی از شهر که نیاز بیشتری به وسائل نقلیه عمومی در آنها احساس می‌شود می‌توان با گسترش خطوط و همچنین ناوگان حمل و نقل عمومی به کنترل ترافیک کمک کرد. اولین گام در بررسی وضعیت ساکنین یک منطقه از

دید حمل و نقل عمومی استفاده از آمارگیری‌های انجام شده می‌باشد. با استفاده از این آمارگیری‌ها می‌توان میزان سفرهای انجام شده در هر منطقه و همچنین هدف سفر را مشخص کرد. نکته مهم دیگر به دست آمده از این آمارگیری‌ها بررسی میزان سفرهای انجام شده با خودروهای شخصی و یا وسایل نقلیه عمومی در هر منطقه و ساعات مختلف روز می‌باشد. با استفاده از این داده‌ها می‌توان مناطقی را که نیاز بیشتری به حمل و نقل عمومی در آنها احساس می‌شود را تعیین و شناسایی کرد. در آمارگیری بهمنظور در نظر گیری جزئیات بیشتر و مهمتر، محدوده به ناحیه‌های کوچکتر تقسیم می‌شود. لازم به ذکر است که مناطق ۲۲ گانه حدود ۶۰۰ کیلومتر مربع و مساحت محدوده تهران بزرگ حدود ۷۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد. آمارگیری به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که شامل آمارگیری سفرهای ساکنین، دروازه‌ای، پایانه‌ها و آمارگیری حمل و نقل کالا می‌باشد. در زیر به بررسی اجمالی هر یک از این آمارگیری‌ها و داده‌های به دست آمده پرداخته شده است.

## ۱-۱ آمارگیری سفرهای ساکنین

برای آگاهی از سفرهای ساکنین منطقه مورد مطالعه می‌توان از این روش استفاده کرد. این روش بر اساس آمارگیری از طریق مصاحبه در منزل استوار است. مزیت این نوع آمارگیری جمع آوری اطلاعات گوناگون اعم از تعداد افراد خانواده، سن، شغل آنها، میزان سفرهای مالکیت وسیله نقلیه و... است. یک بار در سال ۷۱ و با توزیع ۲۵۰۰۰ پرسشنامه به طور تصادفی این آمارگیری انجام شد و بار دیگر در سال ۷۳ و با توزیع ۳۶۰۰۰ پرسشنامه از ۲,۴ درصد کل خانواده‌های ساکن در شهر تهران آمارگیری انجام شد. در شکل ۱۰ سهم هر وسیله از سفرهای انجام شده با هر هدف در شهر تهران در سال ۱۳۸۵ آمده است. همان‌طور که پیداست در سفرهای شغلی، سواری‌ها بیشترین سهم را دارند.



شکل ۱۰: سهم هر وسیله از سفرهای انجام شده با هر هدف

۲-۲ آمارگیری دروازه‌ای

آمارگیری ساکنین مورد مطالعه منحصراً مربوط به ساکنین ناحیه‌های داخلی بوده و شامل سفرهای جمعیت شناور و مسافرین عبوری نمی‌باشد. به منظور دسترسی به اطلاعات مربوط به جمعیت شناور و مسافرین عمومی اقدام به آمارگیری دروازه‌ای می‌شود. بنابراین آمارگیری دروازه‌ای مکمل آمارگیری ساکنین است. بدین منظور ایستگاه‌های مبادی ورودی و خروجی تهران در ۱۲ نقطه تعیین گردیده و آمارگیری شمارش حجم وسائل نقلیه در ۱۴ ساعت در آبان‌ماه سال ۷۳ صورت گرفت.

٣-٢ خطوط برش

آمارگیری شمارش حجم و سرشنین وسایل نقلیه برای دستیابی به دو هدف زیر انجام می‌شود:

الف- ارزیابی میزان دقیقت اطلاعات به دست آمده از آمارگیریهای میدا- مقصد

ب- برآورد مقدار متوسط تعداد سرنشینان وسایل نقلیه مختلف

## ۴-۲ آمار گیری پایانه ها

به منظور تکمیل اطلاعات مبدأ-مقصد، از پایانه های بین شهری آمار گیری لازم انجام شده است. این آمار گیری شامل شمارش حجم و محاسبه مبدأ-مقصد سفر مراجعین به پایانه ها می باشد که در جدول ۱ آورده شده است. هدف از انجام این آمار گیری، تعیین نقش پایانه ها در ایجاد سفرهای درون شهری و همچنین نحوه توزیع این سفرها در شبکه های حمل و نقل تهران و خارج از آن بود.

در شکل ۱۱ وضعیت پایانه های شهر تهران به تفکیک پایانه ها آمده است. در این شکل چهار پایانه غرب، شرق، جنوب و بیهقی از لحاظ تعداد مسافر روزانه و ناوگان فعال با هم مقایسه شده اند. در شکل ۱۱ نیز تعداد مسافر سوار شده در این پایانه ها در شش ماهه دوم سال ۸۴ و شش ماهه اول سال ۸۵ به صورت نمودارهای میله ای مقایسه شده است. همان طور که از شکل ۱۱ مشخص است، پایانه های غرب و جنوب بیشترین سهم را در جابه جایی مسافر داشته اند.

جدول ۱: وضعیت پایانه های شهر تهران

جمع	پایانه بیهقی	پایانه شرق	پایانه غرب	پایانه جنوب	شرح
۶۹۶۰	۲۰۰	۱۱۵۷	۱۶۰۳	۴۰۰	ناوگان فعال (شش ماهه دوم ۱۳۸۴)
۶۸۰۰۷۵	۲۹۶۰۰	۱۴۳۴۲۱	۲۸۸۶۰۳	۲۱۸۴۵۲	تعداد سرویس رفت (شش ماهه دوم ۱۳۸۴)
۱۰۸۲۲۷۷۸۲	۹۴۷۴۰۰	۲۱۷۴۰۰	۴۸۶۸۲۶۹	۲۸۲۴۲۹۳	شش ماهه دوم
۲۲۰۳۳۵۱۰	۲۴۵۶۵۲۴	۳۹۶۰۰۷۴	۷۲۴۹۲۰۴	۷۲۶۷۷۰۸	تعداد مسافر سوار شده
۶۰۴۶۲	۵۲۹۲	۱۲۱۴۰	۲۱۶۱۰	۲۱۴۲۱	شش ماهه دوم ۱۳۸۴
۱۱۸۴۶۰	۱۸۵۸۳	۲۱۲۹۱	۳۹۵۱۲	۲۹۰۷۴	متوجه مسافر روزانه
					شش ماهه اول ۱۳۸۵

ماخذ: سازمان پایانه ها و پارک سوارها شهرداری تهران



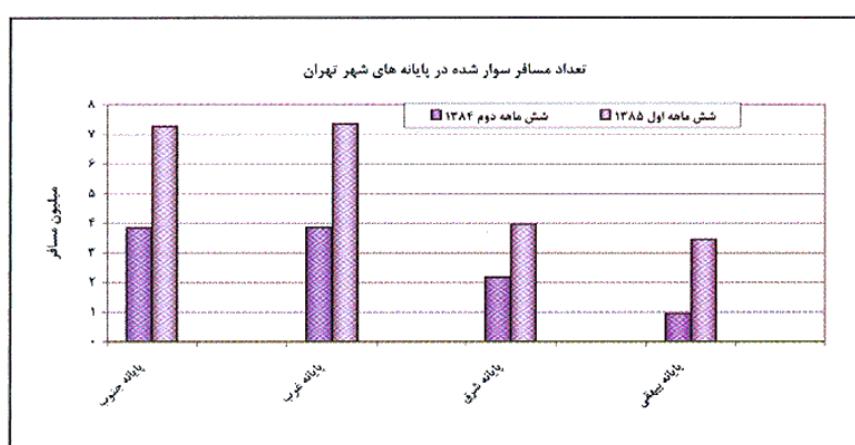
دانشگاه  
تقني

مرحله اول

## تهیه نیازمندی های اولیه



شرکت ملي نفت ايران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

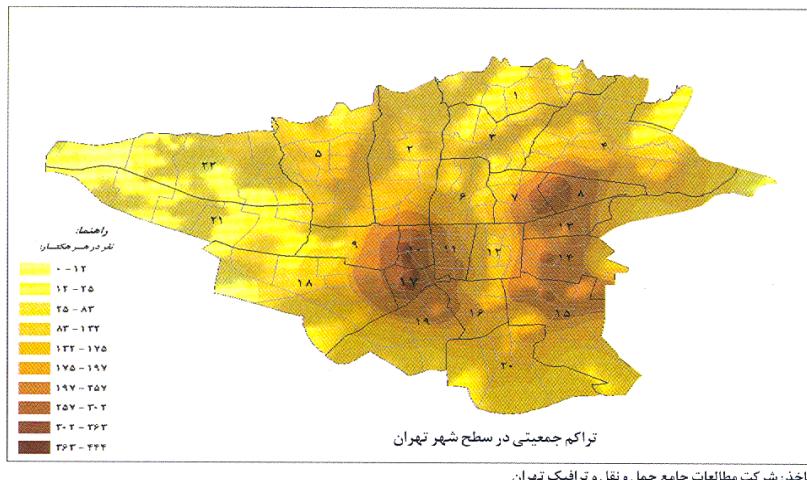


شکل ۱۱: تعداد مسافر سوار شده در پایانه های شهر تهران

## ۵-۲ آمارگیری حمل و نقل کالا

حمل و نقل بار بخش قابل توجهی از حجم ترافیک شبکه حمل و نقل تهران به ویژه در حاشیه شهر را تشکیل می‌دهد. از این رو آمارگیری حمل و نقل بار در ۸ ایستگاه در مرز خارجی و ۱۳۸ ایستگاه در مرز حاشیه‌ای است.

در شکل ۱۲ تراکم جمعیتی در سطح شهر تهران به تفکیک منطقه آمده است. در این شکل مناطق پررنگ‌تر حاکی از تراکم جمعیتی بالاتر می‌باشد.



شکل ۱۲: تراکم جمعیتی در سطح شهر تهران

با توجه به روش‌های آمارگیری ذکر شده در قسمت‌های قبلی می‌توان تراکم جمعیتی در سطح شهر تهران را به دست آورد. با توجه به این تراکم جمعیتی که در شکل ۱۲ آمده است می‌توان مناطقی را که از لحاظ تراکم و رفت‌وآمد در سطح بالایی قرار دارند را شناسایی و از اطلاعات حاصله جهت برنامه‌ریزی برای خطوط اصلی و همچنین مسیرهای مناسب استفاده کرد.

با توجه به خطوط برش در شهر تهران که در قسمت‌های قبلی به‌طور کامل شرح داده شد، می‌توان همانند شکل ۱۳ چگونگی سفر ساکنین شهر تهران بر حسب تعداد سفر به تفکیک منطقه را رسم نمود. مناطق شمالی بیشترین سهم را از تعداد سفر به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نرخ سفرها در مناطق مختلف می‌توان مناطقی را که از لحاظ سفر در رتبه اول قرار دارند را شناسایی نمود.



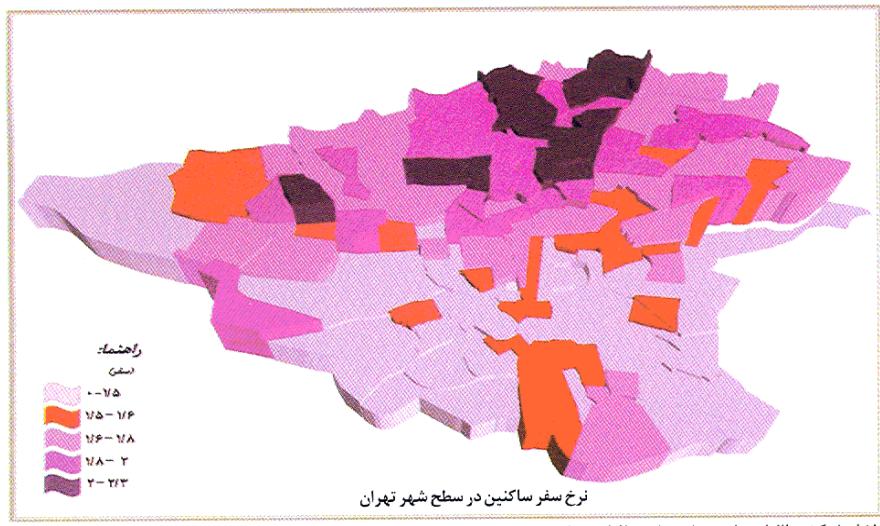
دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه

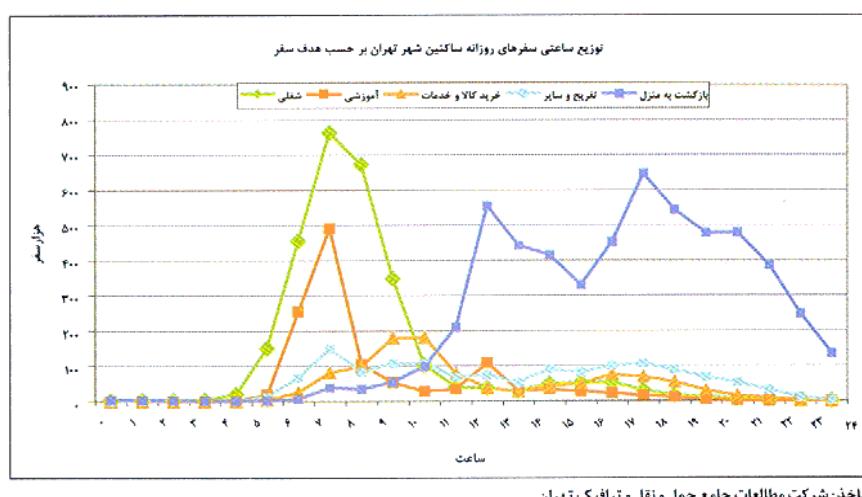


شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پهنه‌سازی مصرف سوخت



شکل ۱۳: نحوه سفر ساکنین شهر تهران

همچنین در شکل ۱۴ توزیع سفرهای ساکنین شهر تهران بر حسب هدف سفر همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین سفر انجام شده مربوط به ساعت‌های اوج ترافیک در صبح می‌باشد که متعلق به سفرهای آموزشی و شغلی می‌باشد.



شکل ۱۴: توزیع ساعتی سفرهای روزانه ساکنین شهر تهران بر حسب هدف سفر

## ۳ بررسی وضعیت حمل و نقل عمومی شامل مسیرها، وسایط، خطوط،

### مشخصات فنی و سوخت

به منظور تسهیل در انتخاب گزینه‌های مناسب برای پیاده‌سازی سیستم هیبرید مکانیکی، بررسی وضعیت حمل و نقل عمومی شامل مسیرها، وسایط، خطوط و مشخصات فنی و سوخت وسایط نقلیه موجود ضروری به نظر می‌رسد. با بررسی مسیرهای موجود می‌توان با به دست آوردن یک دید کلی از طول و همچنین تعداد ایستگاه‌های موجود در هر مسیر بهترین مسیرها را برای تست و طراحی خودروی هیبرید مکانیکی موردنظر به دست آورد. همچنین برای اعمال سامانه هیبرید مکانیکی به وسائل نقلیه عمومی موجود گزینه‌های متفاوتی موجود می‌باشد که می‌توان با بررسی این وسایط از لحاظ فنی و سوخت گزینه مناسب را انتخاب کرد.

### ۳-۱ بررسی مشخصات خودروهای موجود در کشور و ارزیابی تناسب آنها برای

#### پیاده‌سازی نمونه اولیه

در قسمت اول به بررسی خطوط اتوبوس‌رانی موجود در شهر تهران پرداخته می‌شود. این خطوط به دو دسته روزانه و شبانه تقسیم می‌شوند. در جداول ارائه شده در پیوست علاوه بر متوسط مسیر هر ایستگاه، تعداد ایستگاه‌های در هر مسیر و همچنین مناطق شهرداری تحت پوشش ذکر شده است. با استفاده از این جداول می‌توان مسیرهای موجود را از لحاظ طول و توقف‌های موجود مقایسه نمود و مسیرهای مناسب را برای بررسی استخراج کرد.

به علت کسرت جدول‌ها، اطلاعات مربوط به خطوط روزانه و شبانه شامل مسیرهای رفت و برگشت و سایر اطلاعات به طور کامل در پیوست یک، آمده است. خطوط روزانه توبوس‌رانی تهران شامل ۳۷۲ خط اتوبوس معمولی، ۴ خط اتوبوس برقی و ۲ BRT می‌باشد. ۲۳ خط اتوبوس معمولی و یک خط اتوبوس خطوط شبانه اتوبوس‌رانی تهران را تشکیل می‌دهند. با بررسی این خطوط، خط ۹۲۴ با ۱۹۶۲۵ متر بیشترین طول مسیر را بین خطوط روزانه و خط ۱۵ با ۱۹۴۵۰ متر بیشترین طول مسیر را بین خطوط شبانه دارد. در این میان خط ۷۸۱ (مترو شهر ری - پایانه خاوران) با بیشترین تعداد

ایستگاه (۶۳ عدد) و فاصله میانگین ۵۲۹ متر بین هر ایستگاه متمایز است. خط ۸۲۲ کمترین فاصله میانگین بین دو ایستگاه را به میزان ۳۳۳ متر دارد.

## سیستم حمل و نقل عمومی

اگرچه نقش بسیار موثر حمل و نقل همگانی در جابه‌جایی و سفرهای شهر وندان تهران بر کسی پوشیده نیست، ولی با توجه به مسجل بودن نقش حیاتی حمل و نقل عمومی در انجام سفرهای شهری، مطالعه و برنامه‌ریزی در جهت توسعه امکانات و افزایش کارایی سیستم موجود قطعاً در کاهش آلودگی هوا، مصرف سوخت و مشکلات ترافیک تاثیر به‌سزا خواهد داشت. البته باید توجه داشت که در مقایسه مترو با سایر وسایل نقلیه عمومی، عنوان پر حجم‌ترین سیستم حمل و نقل عمومی به مترو تعلق می‌گیرد.

در این بخش سعی شده است تا با بررسی ناوگان حمل و نقل عمومی موجود در تهران از لحاظ ظرفیت و سوخت و عمر مفید، گزینه‌های مناسب برای انتخاب سامانه هیبرید مکانیکی ارائه شوند. در جدول ۲ ظرفیت نشسته و ایستاده اعلام شده از سوی کارخانه سازنده اتوبوس‌ها و در جدول ۳ ظرفیت مینی‌بوس‌های تحت نظارت شرکت واحد اتوبوس‌رانی تهران و حومه به تفکیک آورده شده است. با استفاده از این داده‌ها می‌توان در بخش‌های بعدی گزینه مناسب را برای امکان‌سنجی پیاده‌سازی سیستم هیبرید مکانیکی بر روی اتوبوس موردنظر انتخاب کرد.

در جدول ۴ به بررسی وضعیت مقایسه‌ای مینی‌بوس‌های تحت نظارت شهر تهران پرداخته شده است. در این جدول اطلاعاتی از قبیل تعداد خطوط و ناوگان آن آمده است. جدول ۵ اختصاص به وضعیت اتوبوس‌های تحت نظارت شهر تهران دارد که در آن نیز اطلاعات آماری از قبیل تعداد خطوط و... آمده است.



دانشگاه  
تقني

مرحله اول

## تهییه نیازمندی های اولیه



شرکت ملي نفت ايران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۲: ظرفیت اتوبوس های تهران

جمع	ظرفیت ایستاده	ظرفیت نشسته	سیستم
۸۳	۴۰	۴۳	بنز ۳۰۲
۱۰۵	۶۱	۴۴	بنز ۳۰۵
۱۰۰	۶۵	۳۵	مان
۹۷	۷۰	۲۷	ایکاروس ۲۶۰
۱۵۵	۱۱۰	۴۵	ایکاروس ۲۸۰
۹۸	۶۲	۳۶	ولوو
۱۵۸	۱۱۴	۴۴	اشکوتا
۱۰۰	۵۵	۴۵	ایران خودرو ۳۵۵
۷۳	۲۸	۴۵	عقاب افshan
۱۴۳	۱۰۰	۴۳	اسکانیا
۸۰	۴۰	۴۰	مگاترانس
۴۵	-	۴۵	O457
۴۵	-	۴۵	شهاب خودرو(رنو)

جدول ۳: ظرفیت مینیبوس های تهران

جمع	ظرفیت ایستاده	ظرفیت نشسته	سیستم
۳۵	۱۵	۲۰	فیات
۲۶-۳۰	۱۰	۲۰-۱۶	بنز
۲۸	۱۰	۱۸	ماگیروس
۳۵	۱۵	۲۰	ایوبیکو

جدول ۴: وضعیت مقایسه ای مینیبوس های تحت نظارت شهر تهران

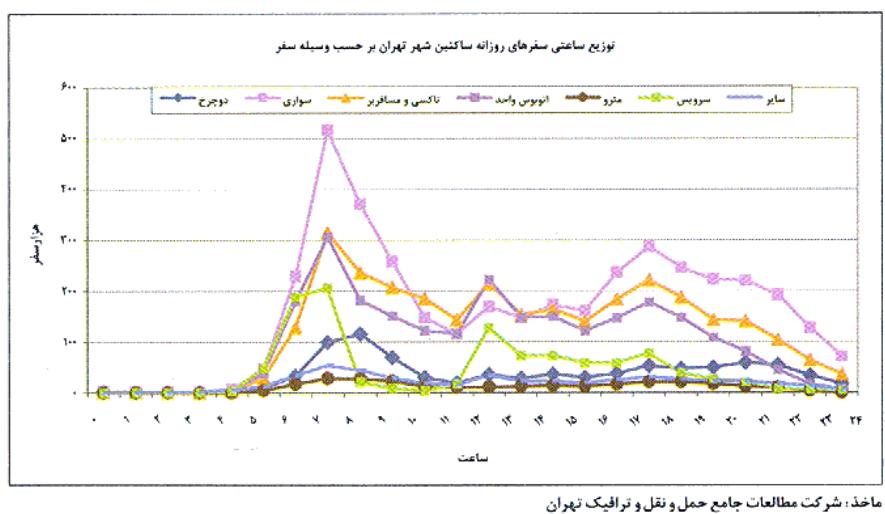
درصد تغییرات	شش ماهه اول سال ۸۶	شش ماهه دوم سال ۸۵	شرح
-۹	۶۸	۷۵	تعداد خط
-۶	۲۲۷۹	۲۴۱۳	ناوگان (دستگاه)
-۲۵	۱۰۴,۴۱	۱۴۰,۰۷	جابه جایی (میلیون مسافر)

جدول ۵ وضعیت مقایسه ای اتوبوس های تحت نظارت شهر تهران

درصد تغییرات	شش ماهه اول سال ۸۶	شش ماهه دوم سال ۸۵	شرح
+۲۰۰	۱۸	۶	تعداد شرکت
+۸۳	۸۸	۴۸	تعداد خط
+۶۸	۱۲۱۷	۷۲۴	ناوگان (دستگاه)
+۲۱	۸۷/۶۸	۷۲/۶۷	جابه جایی (میلیون مسافر)

در بخش حمل و نقل عمومی و جابه‌جایی مسافر، شبکه تاکسی‌رانی نقش به‌سزایی دارد. حجم جابه‌جایی مسافر توسط تاکسی‌ها در مقایسه با اتوبوس‌های شهر تهران ۳۲ درصد است. هم اینک حدود ۴۲ هزار دستگاه انوع تاکسی در تهران فعال هستند که حدود ۲۳ هزار دستگاه آن (۵۵/۵ درصد) گردشی، ۴۰۰۴ دستگاه (۹/۴ درصد) تاکسی خطی، ۹۵۵ دستگاه (۲/۲ درصد) تاکسی ویژه پایانه‌ها، راه آهن و فرودگاه، ۱۳۱۷۵ دستگاه (۳۰/۸ درصد) تاکسی پلاک موقت و ۹۱۷ دستگاه (۲/۱ درصد) تاکسی تلفنی است. سهم تاکسی و مسافربر در میان وسایل نقلیه در جابه‌جایی سفرهای سواره ۲۴ ساعته ساکنین تهران بر اساس تعیین اولیه آمارگیری نمونه سال ۱۳۸۳ حدود ۳۲ درصد و سهم تاکسی و مسافربر در میان وسایل نقلیه در سفرهای یک ساعت اوج صبح بر اساس مدل تخصیصی ترافیک در سال ۸۴ حدود ۱۶/۵۰ درصد می‌باشد.

یکی از فاکتورهای تاثیرگذار بر ترافیک شهری توزیع ساعتی سفرهای روزانه ساکنین شهر تهران است که در در شکل ۱۵ بر حسب وسیله سفر در سال ۸۶ ارائه شده است.



شکل ۱۵: توزیع ساعتی سفرهای روزانه ساکنین شهر تهران بر حسب وسیله سفر

جدول ۶ شامل یک جمع‌بندی کلی در مورد تعداد تاکسی، اتوبوس و مینی‌بوس تحت نظارت تاکسی‌رانی و اتوبوس-رانی در بین سال‌های ۸۰-۸۵ می‌باشد. در این جدول اطلاعات آماری در مورد جابه‌جایی مسافرین و همچنین تعداد خطوط در بین این سال‌ها به طور مقایسه‌ای آورده شده است.

جدول ۶: آمار تاکسی، مینی‌بوس و اتوبوس تحت نظارت تاکسی‌رانی و اتوبوس‌رانی طی دوره ۸۰-۸۵

عنوان	سال ۸۰	سال ۸۱	سال ۸۲	سال ۸۳	سال ۸۴	سال ۸۵
تعداد تاکسی (دستگاه)	۳۰۰۱۵	۲۲۵۶۵	۳۶۴۸۳	۴۰۹۷۰	۴۳۷۹۷	۴۲۱۵۲
تعداد مینی‌بوس (دستگاه)	-----	۳۷۳۹	۲۵۳۵	۳۲۹۳	۲۷۸۲	۲۴۰۶
تعداد اتوبوس (دستگاه)	۵۲۲۸	۵۰۹۰	۶۱۹۶	۶۷۴۵	۶۹۰۷	۶۶۸۶
جابه‌جایی مسافر (میلیون نفر)	۱۱۳۹	۹۴۶	۸۱۷	۹۳۳	۹۱۱	۹۶۷
تعداد خطوط	۲۴۹	۲۶۷	۲۶۹	۲۸۶	۳۱۲	۳۲۲
نسبت جمعیت به تاکسی (نفر)	۲۴۱	۲۲۰	۲۰۷	۱۸۸	۱۷۹	۱۸۵
نسبت جمعیت به اتوبوس (نفر)	۱۳۸۶	۱۴۵۲	۱۲۱۶	۱۱۳۹	۱۱۳۳	۱۸۹۴
میانگین طول عمر اتوبوس (سال)	۱۲	۱۱	۱۱	۱۲	۶	۶
متوسط جابه‌جایی مسافر روزانه اتوبوس (میلیون نفر)	۱/۳	۶/۲	۲/۲	۶/۲	۵/۲	۰/۳

در حال حاضر سه خط اتوبوس تندرو (BRT) شامل خط پایانه‌آزادی - چهار راه تهرانپارس، خط پایانه آزادی - پایانه خاوران و خط پایانه علم و صنعت - پایانه خاوران در تهران فعال است که با ۶۷ دستگاه اتوبوس مسافران را جابه‌جا می‌کند. برنامه احداث ۷ خط تندرو دیگر نیز در جدول ۹ آمده است.



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهیه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

جدول ۲: برنامه شرکت واحد برای احداث ۷ خط دیگر اتوبوس تندرو

ردیف	مسیر خطوط تندرو	طول مسیر (کیلومتر)	زمان بهره‌برداری
۱	پایانه آزادی - چهارراه تهرانپارس	۱۷/۸	۱۳۸۶
۲	پایانه آزادی - پایانه خاوران	۱۸	۱۳۸۷
	پایانه علم و صنعت - پایانه خاوران	۱۴	
۴	چهارراه پارک‌کوی - پایانه جنوب	۲۱/۵	۱۳۸۷
۵	پایانه علم و صنعت - دهکده المپیک	۲۲	۱۳۸۸
	اتوبان شهید بابایی - میدان ونک	۱۹	
	میدان راه آهن - میدان قدس	۱۷/۵	
۸	اتوبان بعثت - میدان بسیج	۶/۲	۱۳۸۹
	اتوبان بعثت - اتوبان بابایی	۱۷	
	میدان پونک - پایانه آزادی	۶	
	جمع	۱۵۹	

استفاده از اتوبوس‌های تندرو دارای مزایایی بسیاری است که در زیر به برخی از آنها اشاره شده‌است. مزایای

اتوبوس‌های تندرو:

- ۱- افزایش میزان جایه‌جایی
- ۲- توسعه حمل و نقل خطوط
- ۳- مشخصه‌های زیست محیطی
- ۴- موثر بودن در میزان درآمدزایی
- ۵- افزایش سرعت اتوبوس‌ها
- ۶- افزایش امنیت و اطمینان
- ۷- کاهش زمان سفر



دانشگاه تهران

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

در حال حاضر تعداد ۷ هزار دستگاه اتوبوس توسط شبکه اتوبوسرانی تهران (بخش عمومی - خصوصی) به صورت روزانه جهت جابه‌جایی مسافر در شهر فعالیت می‌کند که جزئیات وضعیت موجود در ناوگان در جدول ۸ آمده است. ضمناً اینکه حدود ۴۵۰ دستگاه از اتوبوس‌های واحد گشت نیز بعد از انجام سرویس‌های اداری و دربستی به منظور کمک به ناوگان اتوبوسرانی به خطوط، جهت جابه‌جایی مسافر اعزام می‌شوند و روزانه بالغ بر ۴ میلیون نفر مسافر توسط شبکه اتوبوسرانی تهران و بخش‌های تحت نظرت در روزهای عادی جابه‌جا می‌شوند. مسیرهای حرکت اتوبوس‌های تندرو می‌توانند گزینه بسیار مناسبی جهت انتخاب برای محاسبات و تست باشند.

وضعیت عمر اتوبوس‌های موجود در ناوگان در جدول ۹ آمده است. آغاز به کار خطوط اتوبوس‌رانی در تهران با ۳۸ خط و ۱۲۶ اتوبوس و به طول ۳۰ کیلومتر بود. هم اینکه، در حدود ۳۷۰ خط و در حدود ۲۸۹۱ کیلومتر خطوط اتوبوس‌رانی شامل خطوط عادی، اکسپرس، سراسری، کرایه نقدی، شبانه، پارک سوار و سریع السیر اتوبوس‌رانی تهران را تشکیل می‌دهد.



دانشگاه  
تهران

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۸ وضعیت موجود ناوگان

تعداد	نوع خدمات
۵۰۸۴	بلیطی
۱۳۵۱	خصوصی
۴۴۶	واحد گشت
۵۰۹	خدماتی
۷۳۹۰	مجموع

جدول ۹ وضعیت موجود ناوگان بر اساس طول عمر

تعداد	عمر اتوبوس
۸۴۹	زیر یک سال
۵۶۰۹	بین ۱ تا ۱۰ سال
۳۷۴	بین ۱۱ تا ۱۵ سال
۵۵۸	بالاتر از ۱۵ سال
۷۳۹۰	مجموع

طول خطوط اتوبوس‌رانی سه هزار کیلومتر است که از این میزان ۳۰۰ کیلومتر به خطوط شبانه و ۱۵۰ کیلومتر نیز به خطوط ویژه و تندرو اختصاص دارد. تعداد یک هزار و ۷۶۸ دستگاه مینی بوس نیز در ۵۱ خط فعالیت می‌کنند. تعداد اتوبوس‌های فرسوده اسقاطشده در سال ۸۷ بالغ بر ۷۹۲ دستگاه بود که در مقایسه با سال ۸۶ بیش از ۷۰ درصد افزایش داشته است.

در حال حاضر سهم شرکت واحد اتوبوس‌رانی از سفرهای درون شهری شهر تهران ۲۲ درصد می‌باشد. در شرایط کنونی روزانه در حدود ۲ میلیون خودرو تامین کننده بیش از ۱۴ میلیون سفر شهری در حدود ۴۵۰۰ کیلومتر معاابر مختلف شهر می‌باشند. در حال حاضر شرکت واحد اتوبوس‌رانی تهران و حومه با حدود ۷۰۰۰ دستگاه اتوبوس و ۲۳۹۴ دستگاه مینی‌بوس تحت نظارت و بالغ بر ۳۷۰ خط عمومی و ۹۰ خط خصوصی فعال مسؤولیت جابجایی حدود ۴/۵ تا ۴ میلیون نفر از شهروندان کلان شهر تهران را بر عهده دارد.

در شکل ۱۶ سهم وسایل نقلیه همگانی در سفرهای تولیدی ساکنین مناطق شهر تهران به تفکیک آمده است. با توجه به سهم وسایل نقلیه همگانی در سفرهای تولیدی در مناطق شهر تهران و همچنین میزان سفرهای انجام شده، استفاده از تکنولوژی هیبرید در اتوبوس‌ها می‌تواند نقش بهسزایی در کاهش مصرف سوخت و آلودگی داشته باشد. همچنین در حال حاضر متوسط جابه جایی مسافر به وسیله اتوبوس‌های بلیتی که ۷۰ درصد اتوبوس‌ها را تشکیل می‌دهند ۶۱۲ نفر و اتوبوس‌های بخش خصوصی ۷۲۰ نفر است.

در جدول ۱۰ وضعیت ناوگان اتوبوس‌رانی تهران به تفکیک نوع سوخت آمده است. همان‌طور که از جدول پیداست، بیشترین تعداد اتوبوس‌های تهران از نوع دیزلی می‌باشند.



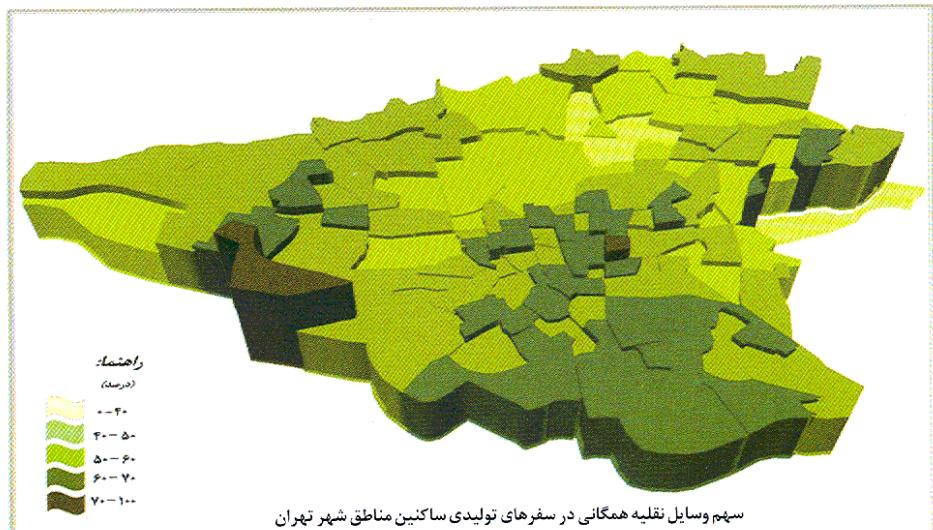
دانشگاه فنی  
تهران

مرحله اول

## تهییه نیازمندی های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۱۶: سهم وسایل نقلیه همگانی در سفرهای تولیدی ساکنین مناطق شهر تهران

جدول ۱۰ وضعیت ناوگان بر حسب نوع سوخت

تعداد	اتوبوس
۴۴۶۰	دیزلی
۲۸۶۴	گازسوز
۶۶	برقی
۷۳۹۰	مجموع

### ۲-۳ مقایسه طول شبکه معابر شهر تهران طی سالهای ۱۳۸۵ الی ۱۳۸۶

انتخاب یک مسیر مناسب جهت طراحی و محاسبه مصرف سوخت نیازمند شناخت معابر موجود در تهران احساس می- شود. شناخت این معابر نقش بهسزایی در انتخاب خطوط مناسب جهت طراحی و تست سامانه هیبرید مکانیکی دارند. با

استفاده از داده‌های موجود درباره معابر می‌توان میزان شیب‌پیمایی در خطوط، میزان حرکت در بزرگراه‌ها و... را به دست آورد. معابر موجود در شهر به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱- بزرگراه‌ها

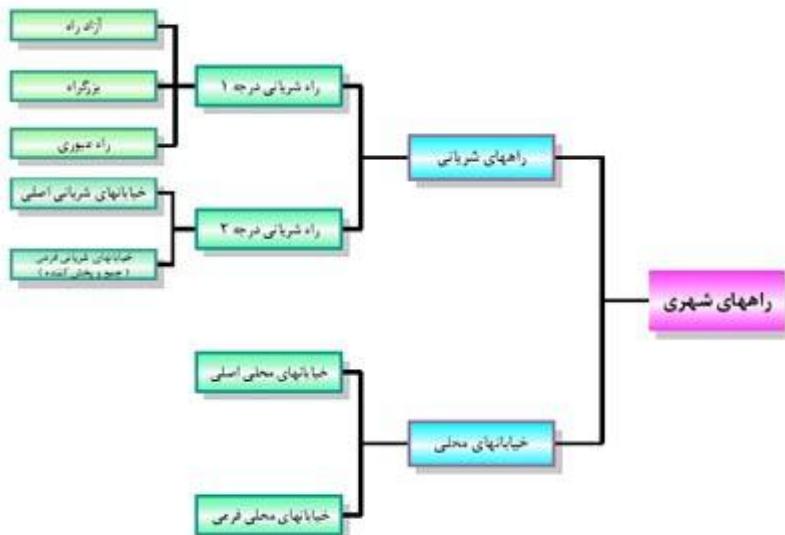
۲- رمپ و لومپ‌ها

۳- شریانی درجه ۱ و ۲

۴- جمع‌کننده و دسترسی محلی

راههای شریانی درجه ۱، ارتباط با شبکه راههای برون شهری را تأمین می‌کنند. با اعمال درجات مختلفی در کنترل دسترسی، راههای شریانی درجه ۱ به آزاد راه، بزرگراه و راه عبوری دسته بندی می‌شوند. راه شریانی درجه ۲، راهی است که در طراحی و بهره‌برداری از آن، به جابه‌جایی و دسترسی وسایل نقلیه موتوری برتری داده می‌شود. برای رعایت این برتری، حرکت پیاده‌ها از عرض خیابان کنترل می‌شود. راههای شریانی درجه ۲ دارای عملکرد درون شهری‌اند و شبکه اصلی راههای درون شهری را تشکیل می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود، راههای شریانی درجه ۱ به سه بخش تقسیم می‌شوند که عبارتند از: آزادراه، بزرگراه و راههای عبوری.

آزادراه، راهی است که در تمام طول آن، ترافیک دو طرف به طور فیزیکی از یکدیگر جداست و جریان ترافیک در آن بدون وقفه (آزاد) است و تقاطع همسطح در آن وجود ندارد. بزرگراه، راهی است که ترافیک دو طرف آن به طور فیزیکی از یکدیگر جداست و در طول‌های قابل ملاحظه‌ای از آن می‌توان جریان ترافیک را پیوسته فرض کرد. بزرگراه می‌تواند محدودی تقاطع همسطح داشته باشد، به شرطی که فاصله تقاطع‌ها از یکدیگر زیاد (بیش از حدود  $2/5$  کیلومتر) باشد. راه عبوری ادامه راههای برون شهری دو طرفه در داخل شهرهای معمولاً کوچک و متوسط یا روستاهاست، به شرط آنکه عملکرد عبوری آنها در داخل شهر یا روستا نیز حفظ شود. فاصله تقاطع‌های همسطح راه عبوری از یکدیگر کمتر از حدود  $2/5$  کیلومتر نیست. در شکل ۱۷ دسته‌بندی راههای شهری به صورت نمودار درختی آمده است. راههای شهری به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از راههای شریانی و خیابان‌های محلی.



شکل ۱۷: دسته‌بندی راه‌های شهری

در جدول ۱۱ به مقایسه بین معابر موجود در شهر تهران پرداخته شده است. همان‌طور که از داده‌های جدول مشخص است طول بزرگراه‌ها در سال ۸۶ نسبت به سال قبل حدود ۱۰۰ کیلومتر افزایش یافته است. جدول ۱۱ نشان‌دهنده سهم بالای معابر شریانی درجه ۱ و ۲ و همچنین جمع‌کننده‌ها و دسترسی محلی از کل معابر شهر تهران می‌باشد. با توجه به نیاز به توقف و شروع به حرکت‌های فراوان در این نوع مسیرها، می‌توان با بازیاب انرژی در هنگام ترمزگیری سهم زیادی از انرژی را دوباره ذخیره و استفاده کرد.

جدول ۱۱ مقایسه طول معابر شهر تهران

شرح	(کیلومتر) ۱۳۸۵	(کیلومتر) ۱۳۸۶
بزرگراه‌ها	۳۷۴	۲۷۱
رمپ و لومپ <sup>۴</sup>	۱۸۰	۱۷۴
شریانی درجه ۱ و ۲	۷۵۸	۸۷۰
جمع کننده و دسترسی محلی	۱۴۱۹	۱۳۷۱

<sup>۴</sup>Ramp and lump



دانشگاه  
تقني

مرحله اول

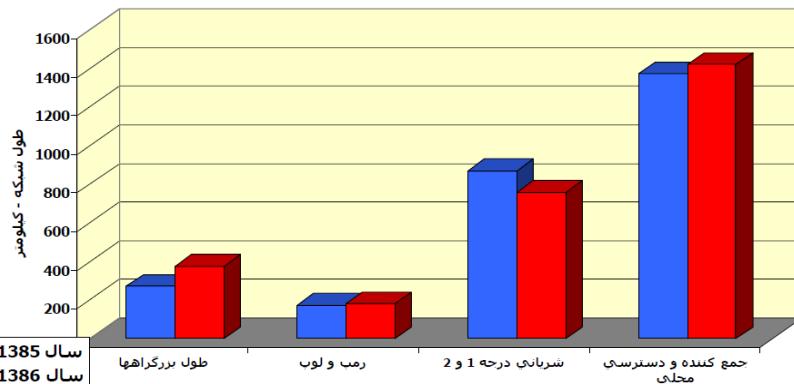
## تهییه نیازمندی های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

در شکل ۱۸ داده های موجود در جدول برای مقایسه بهتر به صورت نمودار میله ای ارائه شده است. دلیل استفاده از این نمودارها نشان دادن کاهش و یا افزایش ها به صورت واضح می باشد. همانطور که از این نمودار مشخص است معابر شریانی درجه ۱ و درجه ۲ در سال ۸۶ نسبت به سال قبل کاهش یافته است.

در جدول ۱۲ اطلاعات کاملی در مورد شبکه معابر شهر تهران در سال ۱۳۸۶ از قبیل طول، متوسط عرض و مساحت ارائه شده است. همانطور که پیداست بیشترین درصد از لحاظ طول و مساحت مربوط به جمع کننده و دسترسی محلی می باشد که حدود ۵۲ درصد از کل را به خود اختصاص داده است. رمپ ها و لومپ ها نیز با حدود ۶/۶ درصد کمترین میزان را به خود اختصاص داده اند.



شکل ۱۸: نمودار مقایسه طول معابر

جدول ۱۲ وضعیت شبکه معابر شهر تهران در سال ۸۶

درصد		مساحت(هزار مترمربع)	متوسط عرض(متر)	طول(کیلومتر)	شرح
مساحت	طول				
۲۴/۶	۱۳/۷	۱۴۹۳۸	۳۹/۹	۳۷۴	بزرگراهها
۲/۶	۶/۶	۱۵۷۰	۸/۷	۱۸۰	رمپ و لومپ
۱۴/۲	۱۰/۹	۸۶۰۶	۲۸/۸	۲۹۹	شریانی درجه ۱



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی های اولیه

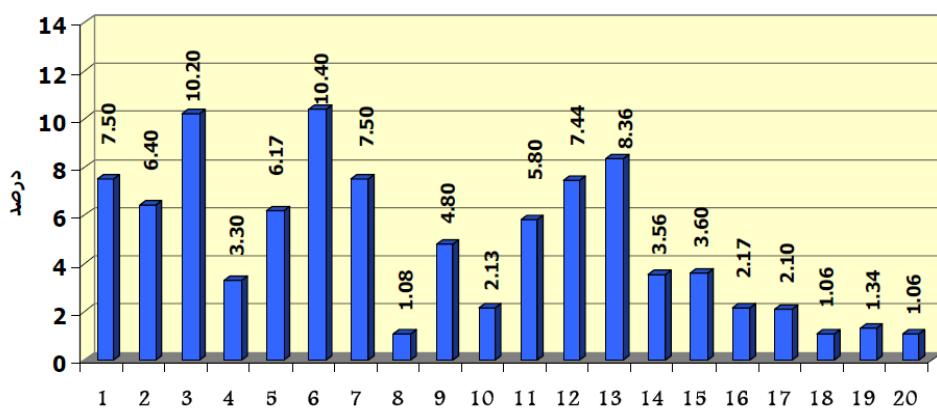


شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

درصد		مساحت(هزار مترمربع)	متوسط عرض(متر)	طول(کیلومتر)	شرح
مساحت	طول				
۱۸/۸	۱۶/۸	۱۱۳۷۹	۲۴/۸	۴۵۹	شرياني درجه ۲
۳۹/۸	۵۲	۲۴۱۱۸	۱۷	۱۴۱۹	جمع کننده و دسترسی محلی
۱۰۰	۱۰۰	۶۰۶۱۱	۱۱۹/۲	۲۷۲۱	جمع کل

### ۳-۳ توزیع درصد خودروهای فعال در شهر تهران

در شکل ۱۹ چگونگی توزیع درصد خودروهای فعال بر حسب مناطق شهرداری آمده است. با توجه با این جدول می‌توان منطقه‌ای که در آن درصد بیشتری از خودروها در حال رفت و آمد هستند را بررسی کرد. با توجه به داده‌های جدول بیشترین درصد خودروهای فعال در منطقه ۶ می‌باشد و کمترین آن متعلق به مناطق ۱۸ و ۲۰ می‌باشد.



شکل ۱۹: نمودار توزیع درصد خودروهای فعال بر حسب مناطق

### ۴-۳ متوسط سرعت وسایل نقلیه در شهر تهران در ساعت اوج صبح

در این بخش به بررسی متوسط سرعت وسایل نقلیه که در کل شهر در حال رفت و آمد می‌باشند در ساعت اوج صبح در سال ۱۳۸۶ پرداخته می‌شود. همان‌طور که از جدول ۱۳ نیز پیداست بیشترین سرعت در ساعت اوج صبح مربوط به وانت‌ها می‌باشد و اتوبوس‌ها و تاکسی‌ها که وظیفه حمل و نقل را بر عهده دارند، از کمترین سرعت برخوردار می‌باشند. در شکل ۲۰ توزیع متوسط سرعت وسایل نقلیه در ساعت اوج صبح در سال ۱۳۸۶ به صورت نمودار میله‌ای آورده شده است. با توجه به شکل ۲۰ سرعت متوسط اتوبوس‌های موجود در تهران کمتر از ۲۰ کیلومتر بر ساعت در سطح شهر می‌باشد. با درنظرداشتن راندمان پایین موتورهای احتراقی در سرعت‌های پایین، استفاده از سامانه‌های هیبرید مکانیکی می‌تواند در کاهش آلودگی و همچنین مصرف سوخت نقش بهسزایی داشته باشد.

جدول ۱۳: متوسط سرعت وسایل نقلیه

سرعت (کیلومتر بر ساعت)	نوع وسیله نقلیه	موضوع
۲۰/۶	موتور سیکلت	
۲۶	سواری شخصی	متوسط سرعت وسایل نقلیه شهر
۱۵/۸	تاکسی و مسافربر	تهران در ساعت اوج صبح
۲۶/۴	وانت	
۲۳/۴	مینی بوس	
۱۵/۶	اتوبوس	
۲۲/۸	کامیون و سرویس	



دانشگاه تهران

مرحله اول

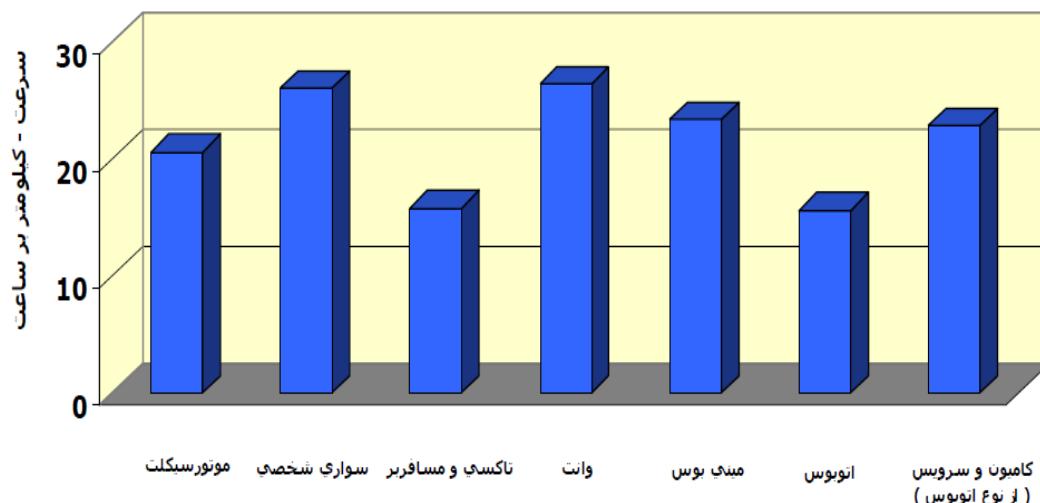
## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

### ۳-۵ توزیع سفرهای روزانه در شهر تهران

در این قسمت به بررسی سفرهای روزانه شهر تهران پرداخته شده است. سفرها در جدول ۱۴ به دو دسته تقسیم شده اند، سفرهای ساکنین و سفرهای غیرساکنین. سفرها در حالت کلی به دو گروه اصلی خانه-ابتدا و هیچ سر خانه قابل تفکیک هستند. سفرهای خانه-ابتدا سفرهایی هستند که مبدأ یا مقصد آنها محل سکونت مسافر است و گروه دوم مجموعه سفرهایی را شامل می‌شوند که هیچ یک از مبدأ یا مقصد آنها محل سکونت مسافر نیست. سفرهای خانه-ابتدا بر حسب هدف سفر به چهار گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از: سفرهای انجام شده با هدف شغلی، تحصیلی، خرید و تفریح.



شکل ۲۰: نمودار متوسط سرعت وسایل نقلیه



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهیه نیازمندی های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیشه سازی مصرف سوخت

جدول ۱۴ توزیع سفرهای روزانه در شهر تهران

جایگاهی روزانه		فریب جایگاهی به	جمع سفرهای روزانه		سفر غیرساقیان		سفر ساقیان		وسیله	سیستم
درصد	تعداد		درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد		
۴/۹	۹۴۰۰۰	۱	۶/۳	۹۴۰۰۰	۱/۶	۴۰۰۰	۷/۲	۹۰۰۰۰	موتورسیکلت	شخصی
۲۸/۴	۵۴۰۰۰	۱	۳۶	۵۴۰۰۰	۴۴	۱۱۰۰۰	۲۴/۴	۴۳۰۰۰	سواری و واتر مسافری	
۶/۱	۱۱۵۵۰۰	۱/۵	۵/۱	۷۷۰۰۰	۶/۸	۱۷۰۰۰	۴/۸	۶۰۰۰۰	قطار شهری (عترو)	عمومی
۲۰/۳	۳۸۷۰۰۰	۱/۵	۱۷/۲	۲۸۸۰۰۰	۱۱	۲۸۰۰۰	۱۸/۴	۲۳۰۰۰	اتوبوس واحد	
۴/۶	۸۸۲۰۰	۱/۸	۲/۳	۴۹۰۰۰	۱۰	۲۶۰۰۰	۱/۸	۲۳۰۰۰	عینی بوس	
۰/۹	۱۶۲۰۰۰	۱/۸	۰/۶	۹۰۰۰۰	۰/۴	۱۰۰۰۰	۰/۶	۸۰۰۰۰	ون	
۲۷	۵۱۳۶۰۰	۱/۶	۲۱/۴	۳۲۱۰۰۰	۸/۴	۲۱۰۰۰	۲۴	۳۰۰۰۰	تاکسی و آژانس ها و مسافربرها	تیمه عمومی
۷/۳	۱۳۹۰۰۰	۱	۹/۵	۱۴۲۰۰۰	۱۵	۳۷۰۰۰	۸/۴	۱۰۵۰۰۰	سرورس	
۰/۵	۱۰۰۰۰	۱	۰/۷	۱۰۰۰۰	۲/۴	۶۰۰۰	۰/۳	۴۰۰۰	سایر	
۱۰۰	۱۹۰۳۵۰۰	—	۱۰۰	۱۵۰۰۰۰	۱۰۰	۲۵۰۰۰	۱۰۰	۱۲۵۰۰۰	جمع	

هدفی که سفر به منظور برآورده کردن آن انجام می شود از جمله پارامترهای تاثیرگذار در تصمیم گیری افراد برای انتخاب وسیله نقلیه می باشد. همچنین ممکن است ترکیب وسایل نقلیه در دسترس برای اهداف سفر مختلف، شکل های مختلفی به خود بگیرد که البته به این دو عامل بر یکدیگر اثر گذاشته و ترکیب استفاده از وسایل نقلیه مختلف را در سفرهای انجام شده با اهداف مختلف شکل می دهد.

خصوصیات استفاده کننده گان را نیز می توان از جمله عوامل مهم در تصمیم گیری برای انتخاب وسیله نقلیه به شمار آورد. از سوی دیگر وجود محدوده طرح ترافیک که تردد بعضی از خودروهای شخصی را در این ناحیه در برخی ساعات ممنوع می سازد، قطعاً در انتخاب وسیله نقلیه تاثیرگذار می باشد. در کنار عوامل فوق می توان به تنوع وسایل نقلیه موجود و بزرگی شهر تهران نیز به عنوان عامل موثر اشاره نمود.

## ۳-۶ جدول مقایسه ای وضعیت هوای شهر تهران

با توجه به آلودگی روزافرونهای شهرهای بزرگ، نیاز به بررسی و استفاده از روش هایی که به نحوی بتوان با این معضل مقابله کرد، ضروری به نظر می رسد. با توجه با اینکه سامانه های هیریدی نقش به سزا بی در کاهش آلودگی دارند، می توان آلدگی موجود را کنترل نمود.

در جدول ۱۵ به مقایسه آلودگی هوای تهران و مقایسه ماه به ماه آن در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ پرداخته شده است. از

نظر آلودگی می‌توان کیفیت هوای را به چهار بخش تقسیم کرد که عبارتند از: پاک، سالم، ناسالم، بسیار ناسالم. همان‌طور که از جدول پیداست تعداد روزهای ناسالم از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ یک روند نوسانی را داشته است که دلیل این نوسان می‌تواند اجرای طرح ترافیک از سوی راهنمایی و رانندگی کشور در طی این سال‌ها باشد. در جدول ۱۶ میانگین آلاینده‌های هوای در شش ماهه اول سال ۸۵ بررسی شده است. آلاینده‌های مهم از قبیل مونوکسید کربن، ازن، دی‌اکسیدنیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در این جدول مقایسه شده‌اند.

جدول ۱۵: مقایسه وضعیت هوای تهران

کیفیت هوای در سال ۱۳۸۵ (رور)				کیفیت هوای در سال ۱۳۸۶ (رور)				کیفیت هوای در سال ۱۳۸۷ (رور)				زمان
بسیار ناسالم	ناسالم	سالم	پاک	بسیار ناسالم	ناسالم	سالم	پاک	بسیار ناسالم	ناسالم	سالم	پاک	
•	۲	۱۹	۱۰	•	•	۲۲	۹	۱	۴	۲۶	•	فروردین
•	۲	۲۷	۱	•	•	۲۱	۰	•	۴	۲۷	•	اردیبهشت
•	۲	۲۷	۱	•	۱	۲۰	۰	•	۱۶	۱۵	•	خرداد
•	۴	۲۲	۰	•	•	۲۹	۲	•	۱۰	۲۱	•	تیر
•	۹	۲۲	•	•	•	۲۹	۲	•	۴	۲۷	•	مرداد
•	۲۰	۱۱	•	•	۲	۲۹	•	•	۳	۲۸	•	شهریور
•	۹	۲۰	۱	•	•	۲۸	۲	•	۵	۲۵	•	مهر
•	۸	۲۰	۲	•	۲	۲۸	•	•	۰	۲۵	۵	آبان
•	۴	۲۲	۲	•	•	۲۷	۲	•	۵	۲۲	۲	آذر
•	۵	۲۴	۱	•	۲	۲۲	۵	•	۶	۲۴	•	دی
•	۸	۱۹	۲	•	۰	۲۵	•	•	۰	۰	•	بهمن
•	•	۲۰	۹	•	۲	۲۶	•					اسفند
•	۷۰	۲۰۴	۳۶	•	۱۰	۲۲۷	۲۲	۱	۰۷	۲۴۶	۷	جمع
•	۶۷	۲۱۵	۲۴	•	۷	۲۷۶	۲۲	۱	۰۷	۲۴۱	۷	جمع ماهه
•	۷۵	۲۹۰		•	۱۰	۲۵۰		۱	۰۷	۲۵۲		جمع کل



دانشگاه  
تقني

مرحله اول

## تهییه نیازمندی های اولیه



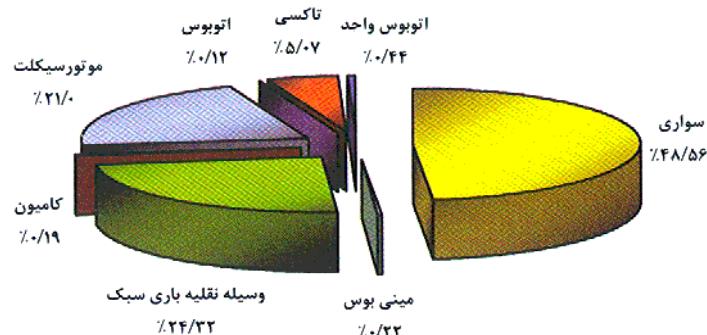
شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

جدول ۱۶: میانگین آلاینده های هوای بر حسب PSI در ششم ماهه اول ۱۳۸۵

ماه	مونواکسیدکربن	ازن	دی اکسیدنیتروژن	دی اکسیدگوگرد	ذرات معلق
فروردین	۵۹	۳۴	۱۷	۲۱	۴۱
اردیبهشت	۷۴	۳۹	۲۲	۳۲	۵۳
خرداد	۷۳	۴۴	۲۴	۲۸	۵۳
تیر	۷۹	۵۱	۲۳	۳۵	۶۷
مرداد	۸۳	۴۳	۲۱	۴۰	۶۷
شهریور	۱۰۲	۳۷	۲۰	۳۰	۵۷

از آنجایی که منوکسیدکربن یکی از مهم ترین آلاینده ها در شهر می باشد، در شکل ۲۱ به میزان تولید این آلاینده از هر یک از وسایل نقلیه پرداخته شده است. سواری ها بیشترین سهم را در انتشار این آلاینده دارا می باشند. با استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی می توان انتشار این آلاینده را به حداقل رساند. با توجه به اینکه استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی تنها راه کار حل مشکلاتی چون ترافیک و آلودگی هوای شهر تهران می باشند، سرمایه گذاری جهت استفاده از تکنولوژی های نوین در جهت کاهش هرچه بیشتر مصرف سوخت و آلاینده گی خودروها، از جمله تکنولوژی هیبرید در نگاه اول مقرر و به صرفه می نماید.

## سهم انواع وسایل نقلیه در انتشار منواکسید کربن



ماخذ: شرکت کنترل کیفیت هوای تهران

شکل ۲۱: سهم انواع وسایل نقلیه در انتشار منواکسید کربن



دانشگاه فنی  
تهران

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

# ۴ بررسی سیکل‌های حرکتی استاندارد موجود و انتخاب سیکل حرکتی

## مناسب برای شهر تهران

سیکل‌های حرکتی، منحنی‌های سرعت برحسب زمانی هستند که برای شبیه‌سازی حرکت نوع خاصی از وسیله نقلیه در شرایط ترافیکی خاص به کار می‌روند. هدف عمدۀ در تدوین سیکل‌های حرکتی خودروها شامل اندازه‌گیری میزان مصرف سوخت و آلاینده‌های تولیدی توسط خودروها به‌وسیله انجام تست‌های شاسی دینامومتر<sup>۵</sup> یا استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی می‌باشد.

استفاده از سیکل‌های حرکتی جهت تست‌های شاسی دینامومتر خودروهای سبک در دنیا بسیار مرسوم می‌باشد، ولی برای خودروهای سنگین به‌علت مشکلات عملی تست یک خودروی سنگین روی شاسی دینامومتر، این کار سابقه کمتری دارد البته امروزه سیکل‌های حرکتی به عنوان یکی از شرایط اولیه طراحی در فرآیند طراحی و شبیه‌سازی یک خودروی جدید نیز کاربرد فراوانی یافته‌اند. در این بخش سیکل‌های مختلف در چهار قسمت معرفی می‌شوند:

- سیکل‌های حرکتی ایالات متحده
- سیکل‌های حرکتی اروپا
- سیکل‌های حرکتی ژاپن
- سیکل‌های حرکتی ایران

## ۱-۱ سیکل‌های حرکتی ایالات متحده

قدیمی‌ترین و متنوع‌ترین سیکل‌های رانندگی در ایالات متحده ایجاد شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این قسمت به معرفی برخی از سیکل‌های معتبر در دو بخش خودروهای سبک و خودروهای سنگین پرداخته می‌شود.

### ۱-۱-۱ سیکل خودروهای سبک

سیکل‌های مطرح ایالات متحده برای خودروهای سبک که به‌شرح زیرند:

<sup>5</sup> Chassis Dynamometer

- سیکل FTP-72
- سیکل FTP-75
- سیکل SFTP-US06
- سیکل SFTP-SC03
- سیکل شهر نیویورک
- سیکل اقتصاد سوخت بزرگراه
- سیکل LA92 کالیفرنیا
- سیکل رانندگی تعمیر، نگهداری و معاینه IM240

البته به دلیل این که بررسی خودروهای سبک جزو برنامه های این پروژه نمی باشد، تنها به ذکر اسامی این سیکل ها بسته می شود.

## ۴-۱-۲ سیکل خودروهای سنگین

سیکل های مطرح ایالات متحده برای خودروهای سنگین که در این قسمت معرفی می شوند به شرح زیرند:

- برنامه رانندگی دینامومتر شهری خودروهای سنگین
- سیکل خودروهای سنگین برون شهری
- سیکل ترکیبی نیویورک
- سیکل اتوبوس نیویورک
- سیکل اتوبوس منهتن
- سیکل کامیون دیزل بسیار سنگین
- سیکل اتوبوس بخش اورنج

حال به توضیح مختصراً در مورد این سیکل ها پرداخته می شود.



دانشگاه فنی  
تهران

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه

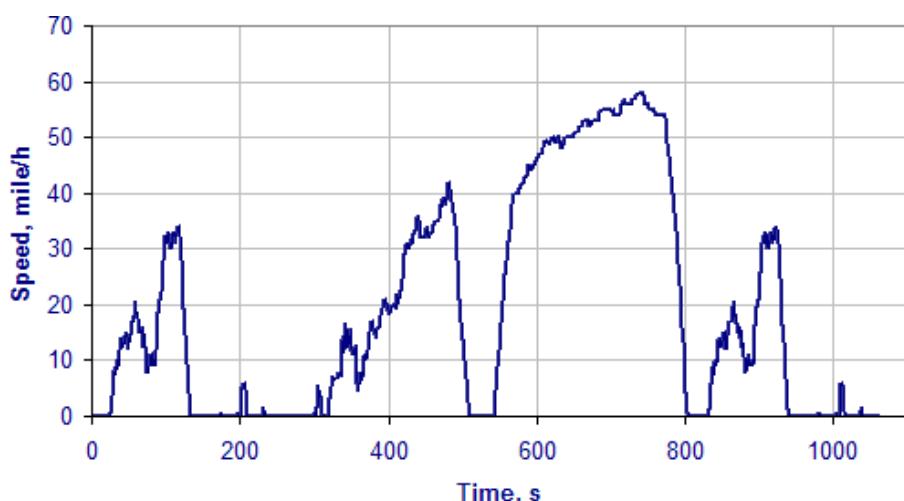


شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پهنه سازی مصرف سوخت

### برنامه رانندگی دینامومتر شهری خودروهای سنگین

برنامه رانندگی دینامومتر شهری<sup>۶</sup> (UDDS) برای تست خودروهای سنگین روی شاسی دینامومتر ایجاد شده است (شکل ۲۲). مشخصات اصلی سیکل عبارتند از:

- مدت زمان: ۱۰۶۰ ثانیه
- مسافت: ۸/۹ کیلومتر
- سرعت متوسط: ۳۰/۴ کیلومتر بر ساعت
- سرعت ماکزیمم: ۹۳/۳ کیلومتر بر ساعت



شکل ۲۲: نمودار سرعت-زمان سیکل UDDS

### سیکل خودروهای سنگین برون شهری

سیکل برون شهری<sup>۷</sup> یا CSC یک تست شاسی دینامومتر برای خودروهای سنگین است که توسط دانشگاه ویرجینیای غربی<sup>۸</sup> ایجاد شده است. این سیکل به عنوان CSHVC<sup>۹</sup> هم شناخته می‌شود (شکل ۲۳). مشخصات اصلی سیکل به شرح زیر است:

<sup>6</sup> EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)

<sup>7</sup> The City Suburban Cycle (CSC)

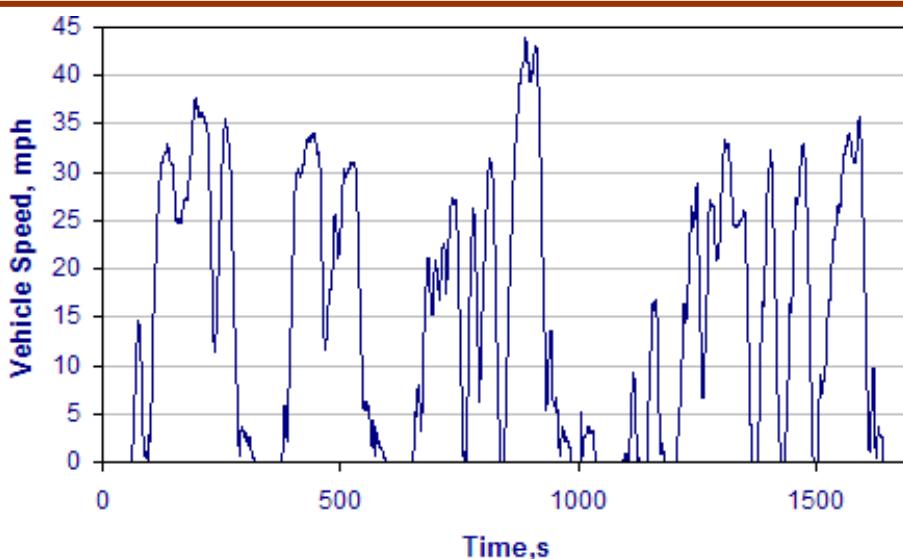
<sup>8</sup> The West Virginia University

- مدت زمان: ۱۷۰۰ ثانیه

- مسافت: ۱۰/۷۵ کیلومتر

- سرعت متوسط: ۲۲/۷۷ کیلومتر بر ساعت

- سرعت ماکزیمم: ۷۰/۵۵ کیلومتر بر ساعت



شکل ۲۳: نمودار سرعت- زمان سیکل CSHVC

### سیکل ترکیبی نیویورک

سیکل ترکیبی نیویورک<sup>۱۰</sup> (NYComp) یک تست شاسی دینامومتر برای خودروهای سنگین طبق الگوی رانندگی شهر نیویورک است (شکل ۲۴). مشخصات اصلی این سیکل به شرح زیر است:

- مدت زمان: ۱۰۲۹ ثانیه

- مسافت: ۴۰۶ کیلومتر

- سرعت متوسط: ۱۴/۲۵ کیلومتر بر ساعت

- سرعت متوسط بدون توقف: ۲۰/۰ کیلومتر بر ساعت

- سرعت ماکزیمم: ۵۷/۹۲ کیلومتر بر ساعت

<sup>9</sup> City Suburban Heavy Vehicle Cycle

<sup>10</sup> The New York Composite (NYComp)



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه

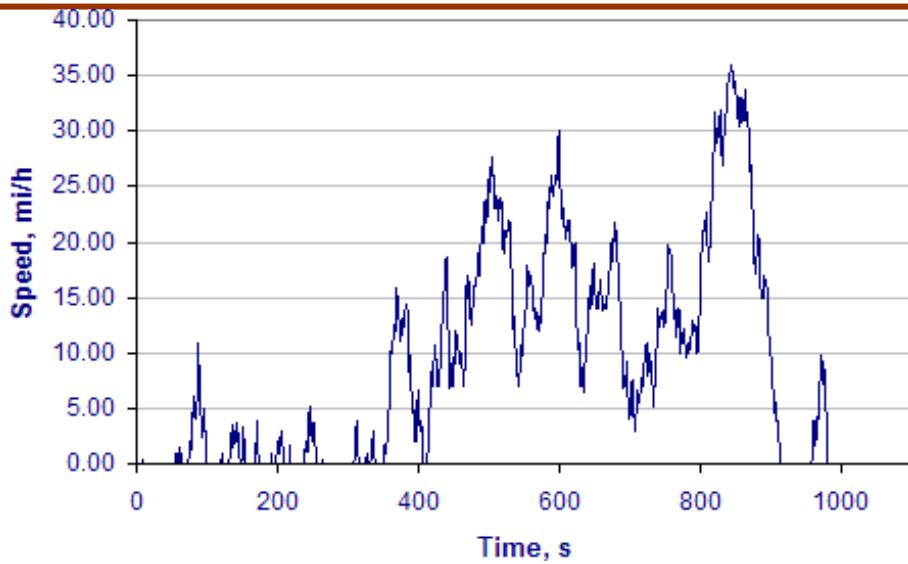


شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

- شتاب متوسط:  $0.48\text{ m/s}^2$
- شتاب ماکزیمم:  $0.41\text{ m/s}^2$
- تعداد توقف در هر کیلومتر: ۴ بار

## سیکل اتوبوس نیویورک

سیکل اتوبوس نیویورک یک تست شاسی دینامومتر برای خودروهای سنگین، به خصوص اتوبوس‌های درون‌شهری است. این سیکل از الگوی رانندگی اتوبوس‌های شهر نیویورک استخراج شده است. سیکل اتوبوس نیویورک یک تست کوتاه‌مدت با تعداد توقف زیاد، شتاب متوسط بالا و سرعت کم می‌باشد (شکل ۲۵). مشخصات اصلی این سیکل به شرح زیر است:



شکل ۲۴: نمودار سرعت-زمان سیکل NYComp

- مدت زمان: ۶۰۰ ثانیه
- مسافت: ۰.۹۹ کیلومتر
- سرعت متوسط:  $5.94\text{ km/h}$
- سرعت متوسط بدون توقف:  $11.7\text{ km/h}$
- سرعت ماکزیمم:  $49.56\text{ km/h}$



دانشگاه فنی  
اصفهان

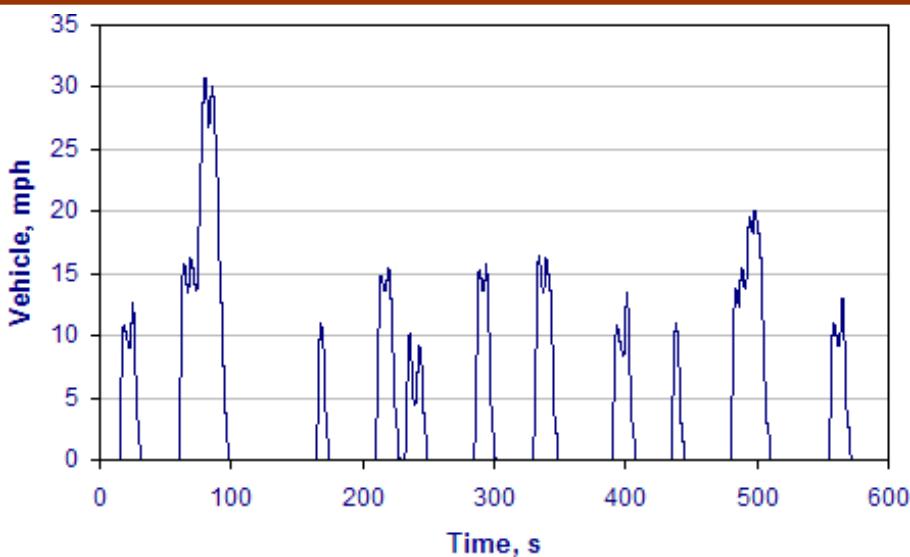
مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

- شتاب متوسط:  $1/17$  متر بر مجدور ثانیه
- شتاب ماکزیمم:  $2/77$  متر بر مجدور ثانیه
- تعداد توقف در هر کیلومتر: ۱۱ بار



شکل ۲۵: نمودار سرعت- زمان سیکل اتوبوس نیویورک

## سیکل اتوبوس منهتن

سیکل اتوبوس منهتن<sup>۱۱</sup> یک تست شاسی دینامومتر برای اتوبوس‌های شهری است. این سیکل طبق الگوی رانندگی اتوبوس‌های شهری منهتن در مرکز شهر نیویورک استخراج شده است. سیکل اتوبوس منهتن نیز مانند سیکل اتوبوس نیویورک دارای توقف‌های متعدد و سرعت کم می‌باشد (شکل ۲۶). مشخصات اصلی این سیکل عبارتند از:

- مدت زمان: ۱۰۸۹ ثانیه
- سرعت متوسط:  $11/10$  کیلومتر بر ساعت
- سرعت ماکزیمم:  $40/88$  کیلومتر بر ساعت

<sup>۱۱</sup> The Manhattan Bus Cycle



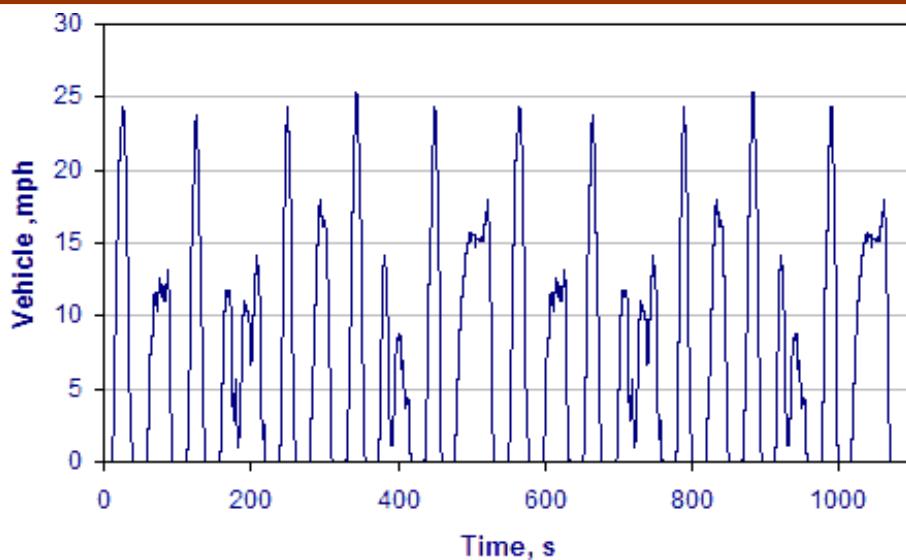
دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت



شکل ۲۶ نمودار سرعت- زمان سیکل اتوبوس منهتن

## سیکل کامیون دیزل بسیار سنگین

سیکل کامیون دیزل بسیار سنگین<sup>۱۲</sup> (HHDDT) یک تست شاسی دینامومتر است که توسط انجمان منابع هوای کالیفرنیا و با همکاری دانشگاه ویرجینیا غربی ایجاد شده است. این تست شامل چهار مود می‌باشد:

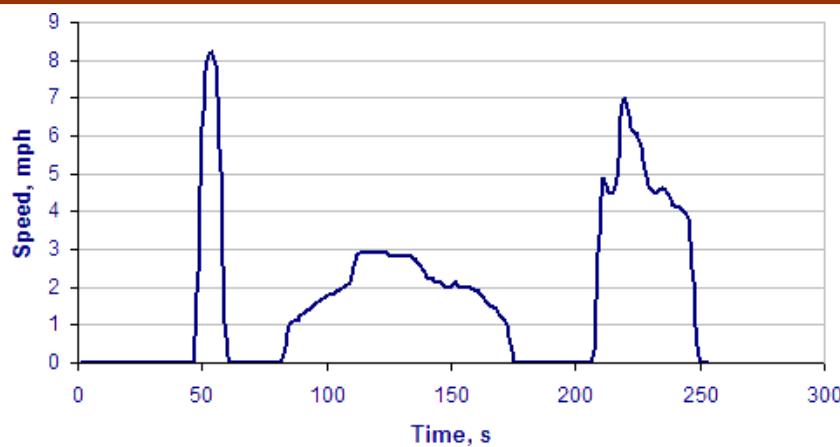
- کار درجا<sup>۱۳</sup>
- نرم نرم جلو رفتن<sup>۱۴</sup> (شکل ۲۷)
- گذر<sup>۱۵</sup> (شکل ۲۸)
- سرعت بالا (شکل ۲۹)

<sup>12</sup> The Heavy Heavy-Duty Diesel Truck (HHDDT) schedule

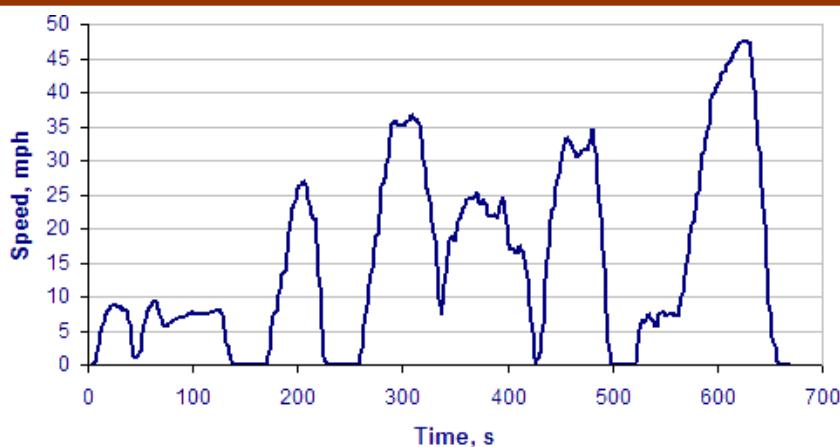
<sup>13</sup> Idle

<sup>14</sup> Creep

<sup>15</sup> Transient



شکل ۲۷: نمودار سرعت- زمان سیکل کامیون دیزل بسیار سنگین در مود «نرم نرم جلورفتن»



شکل ۲۸: نمودار سرعت- زمان سیکل کامیون دیزل بسیار سنگین در مود «گزدا»



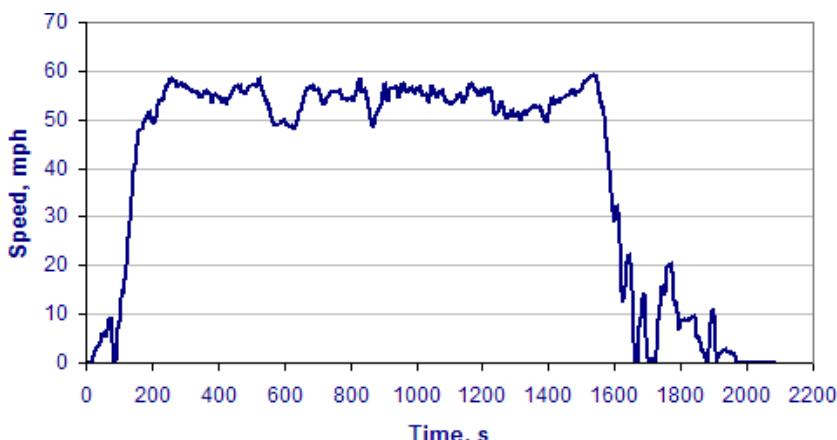
دانشگاه فنی  
اصفهان

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۲۹: نمودار سرعت- زمان سیکل کامیون دیزل بسیار سنگین در مود «سرعت بالا»

مشخصات اصلی مودهای سیکل کامیون دیزل بسیار سنگین در مقایسه با برنامه رانندگی دینامومتر شهری (UDDS) در جدول ۱۷ آمده است.

### سیکل اتوبوس بخش اورنج

سیکل اتوبوس بخش اورنج<sup>۱۶</sup> (بخشی در جنوب کالیفرنیا) یک تست شاسی دینامومتر برای خودروهای سنگین می‌باشد. این سیکل طبق الگوی رانندگی اتوبوس‌های شهری در ناحیه لس‌آنجلس کالیفرنیا توسط دانشگاه ویرجینیا غربی ایجاد شده است.

<sup>۱۶</sup> The Orange County Bus (OC Bus) Cycle



دانشگاه  
تقني

مرحله اول

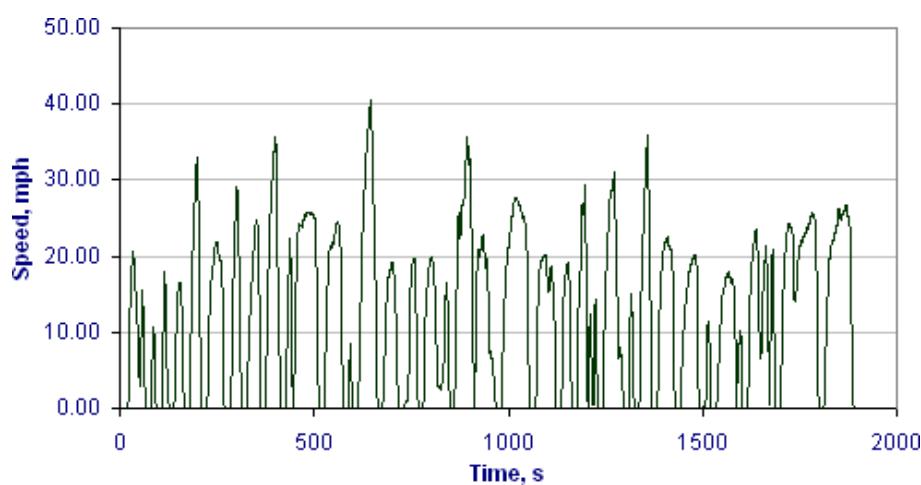
## تهیه نیازمندی های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۱۷ سیکل کامیون دیزل بسیار سنگین در مقایسه با برنامه رانندگی دینامومتر شهری (UDDS)

مشخصات	مود نرم نرم جلو رفتن	مود گذرا	مود سرعت بالا	سیکل UDDS
مدت زمان (ثانیه)	253	668	2083	1063
مسافت (کیلومتر)	0.20	4.59	37.18	8.93
سرعت متوسط (km/hr)	2.85	24.78	64.21	30.26
تعداد توقف در هر کیلومتر	15.01	1.12	0.16	1.57
سرعت ماکزیمم (km/hr)	13.26	76.44	95.43	93.34
شتاب ماکزیمم (m/s <sup>2</sup> )	1.03	1.34	1.03	1.97
شتاب منفی ماکزیمم (m/s <sup>2</sup> )	-1.13	-1.25	-1.12	-2.06
درصد کار درجا	42.29	16.3	8.0	33.4



شکل ۳۰: نمودار سرعت-زمان سیکل اتوبوس بخش اورنج



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

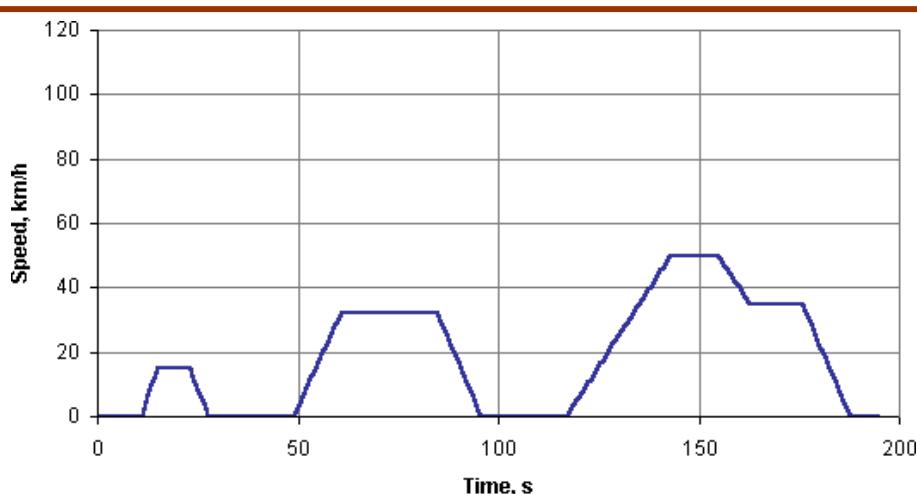
## ۲-۴ سیکل‌های حرکتی اروپا

سیکل‌های مطرح اروپایی که در این قسمت معرفی می‌شوند به شرح زیرند:

- سیکل ECE و EUDC
- سیکل گذرای اروپایی
- سیکل Braunschweig (برای اتوبوس‌های شهری)

### سیکل ECE و EUDC

سیکل ECE و EUDC با استفاده از شاسی دینامومتر انجام می‌شود. از این سیکل برای تأیید آلاتی‌ندهای خودروهای سبک در اروپا استفاده می‌گردد. این سیکل به عنوان سیکل MVEG-A نیز شناخته می‌شود. سیکل کامل شامل چهار قسمت ECE می‌باشد که بدون هیچ فاصله‌ای بین آنها اجرا می‌شوند (شکل ۳۱). بعد از آن‌ها قسمت EUDC انجام می‌شود (شکل ۳۲). قبل از تست موتور خودرو باید حداقل ۶ ساعت در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد خاموش باشد. سپس موتور روشن شده و برای مدت ۴۰ ثانیه به صورت درجا کار می‌کند.



شکل ۳۱: نمودار سرعت-زمان سیکل ECE 15



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

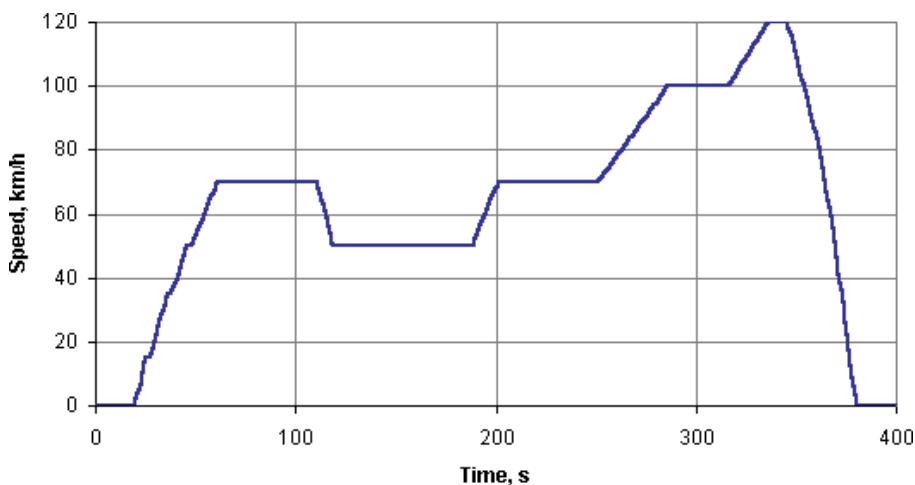
مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

از سال ۲۰۰۰ مرحله درجا کارکردن حذف شده است، یعنی اندازه‌گیری آلاینده‌های موتور بلافاصله بعد از روشن شدن آن شروع می‌شود. این سیکل اصلاح شده برای حالت سرد موتور بعضی اوقات با نام سیکل جدید اروپایی<sup>۱۷</sup> (NEDC) شناخته می‌شود. آلاینده‌ها در طول این سیکل براساس روش نمونه‌گیری حجم ثابت<sup>۱۸</sup> اندازه‌گیری می‌شوند و بعد از تحلیل با واحد گرم بر کیلومتر بیان می‌شوند. سیکل ECE یک سیکل شهری است که به عنوان سیکل رانندگی شهری<sup>۱۹</sup> (UDC) نیز شناخته می‌شود. این سیکل برای نشان دادن شرایط حرکتی شهری در شهرهای پاریس و رم ابداع شده است. ویژگی‌های این سیکل سرعت پایین خودروها، بار کم موتور و دمای پایین گازهای خروجی می‌باشد.



شکل ۳۲: نمودار سرعت- زمان سیکل EUDC

سیکل شهری ECE برای انجام تست نوع ۱ می‌باشد که همان فرایند اندازه‌گیری آلاینده‌ها با سیکل ۱۵ ECE می‌باشد. تست نوع ۲ یک تست گرم برای اندازه‌گیری CO در لوله خروجی خودرو (اگزوژ) در حالت توقف و درست بلافاصله بعد از طی چهار سیکل ۱۵ ECE می‌باشد. تست دو مرحله‌ای در هنگام خلاصی موتور و در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت روی شاسی دینامومتر و برای تعیین میزان آلاینده‌های محفظه میل لنگ<sup>۲۰</sup> می‌باشد. سیکل رانندگی حومه شهر<sup>۲۱</sup> بعد از طی چهار سیکل ECE برای محاسبه حرکت تهاجمی راننده و سرعت بالای خودرو افزوده شده است.

<sup>17</sup> The New European Driving Cycle (NEDC)

<sup>18</sup> Constant Volume Sampling

<sup>19</sup> Urban Driving Cycle (UDC)

<sup>20</sup> Crankcase Emission

<sup>21</sup> Extra Urban Driving Cycle (EUDC)



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

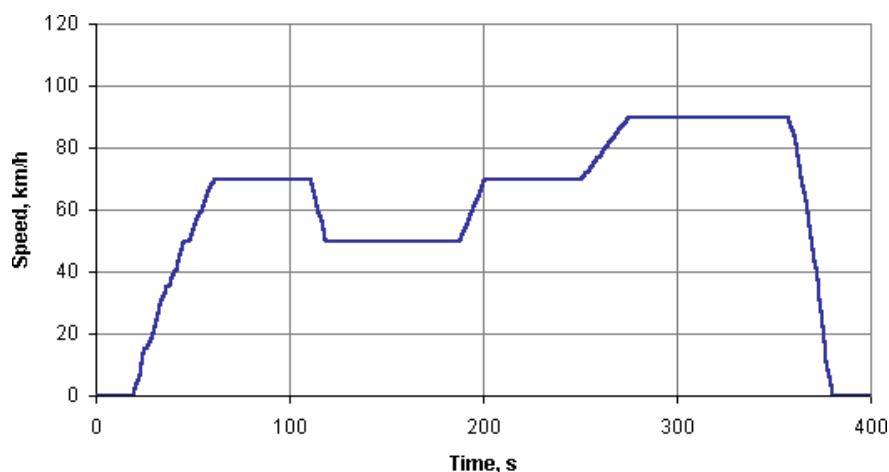
مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

سرعت ماکزیمم سیکل EUDC مقدار ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت است. اما برای خودروهای کم قدرت یک سیکل جایگزین با حداکثر سرعت ۹۰ کیلومتر بر ساعت استفاده می‌شود (شکل ۳۳). مشخصات اصلی این سیکل‌ها در جدول ۱۸ آورده شده‌است.



شکل ۳۳: نمودار سرعت-زمان سکا EUDC داده، خودروهای که قدرت

جدول ۱۸ مشخصات اصلی سیکل‌های EUDC و ECE

EUDC	ECE	مشخصات
400	$4 \times 195 = 780$	مدت زمان (ثانیه)
6.955	$4 \times 1.013 = 4.052$	مسافت (کیلومتر)
62.6	18.7	سرعت متوسط (km/hr) با احتساب کار در جا
120	50	سرعت ماکزیمم (km/hr)



دانشگاه فنی  
تهران

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

### سیکل گذرای اروپایی

سیکل گذرای اروپایی<sup>۲۲</sup> (ETC)، که با نام سیکل گذرای FIGE هم شناخته می‌شود، به همراه سیکل ایستای اروپایی<sup>۲۳</sup> (ESC) معرفی شده است. سیکل ESC از سال ۲۰۰۰ میلادی برای تأیید آلایندگی موتورهای دیزل سنگین استفاده می‌شود. این دو سیکل جایگزین تست R-49 شده‌اند.

سیکل ETC توسط مؤسسه FIGE در آخن آلمان طبق حرکت خودروهای سنگین در جاده‌های واقعی ایجاد شده است. اما سیکل ETC موجود نسبت به سیکل استخراج شده توسط FIGE اندکی اصلاح شده و کوتاه‌تر است. شرایط مختلف رانندگی سیکل ETC در سه قسمت مختلف شهری<sup>۲۴</sup>، جاده‌های فرعی<sup>۲۵</sup> و جاده‌های اصلی<sup>۲۶</sup> ارائه شده‌اند. مدت زمان کل سیکل ۱۸۰۰ ثانیه و هر قسمت ۶۰۰ ثانیه می‌باشد:

- قسمت اول شرایط شهری با سرعت ماکزیمم ۵۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد که در آن شرایط شروع به حرکت، توقف و کار درجا با تناوب زیاد تکرار می‌شود.
- قسمت دوم شرایط جاده‌های فرعی با یک بخش شتاب گیری سریع می‌باشد. سرعت متوسط این قسمت ۷۲ کیلومتر بر ساعت است.
- قسمت سوم شرایط جاده‌های اصلی با سرعت متوسط حدود ۸۸ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

مؤسسه FIGE سیکل را برای دو نوع تست شاسی و دینامومتر ارائه کرده است. در شکل ۳۴ نمودار سرعت-زمان تست خودرو را نشان می‌دهد.

### سیکل Braunschweig

سیکل Braunschweig یک سیکل گذرای برای شبیه‌سازی حرکت اتوبوس‌ها با توقف‌های متعدد می‌باشد. این سیکل در دانشگاه فنی Braunschweig آلمان ایجاد شده است. سیکل روی شاسی دینامومتر انجام می‌شود و دارای مشخصات زیر می‌باشد (شکل ۳۵):

- مدت زمان: ۱۷۴۰ ثانیه
- مسافت: حدود ۱۱ کیلومتر

<sup>22</sup> European Transient Cycle (ETC)

<sup>23</sup> European Stationary Cycle (ESC)

<sup>24</sup> Urban

<sup>25</sup> Rural

<sup>26</sup> Motorway



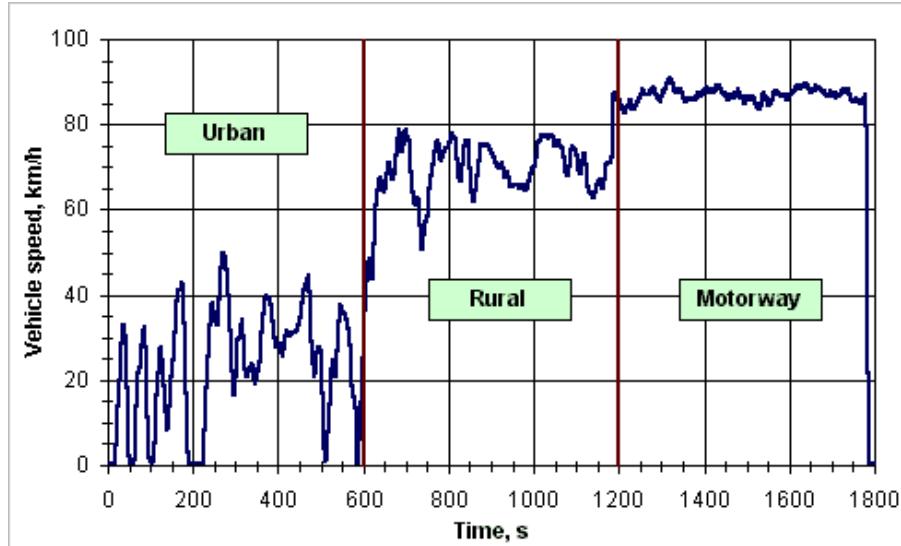
دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهیه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت



شکل ۳۴: نمودار سرعت- زمان سیکل ETC

- سرعت متوسط:  $22/9$  کیلومتر بر ساعت

- سرعت ماکزیمم:  $58/2$  کیلومتر بر ساعت

- زمان کار درجا (بدون احتساب ابتدا و انتهای سیکل): حدود  $22$  درصد

سیکل Braunschweig یکی از اندک سیکل‌های گذراي وسائل نقلیه سنگین در اروپا می‌باشد. این سیکل اخیراً در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعه مقایسه‌ای بین این سیکل و سیکل گذراي ETC نشان می‌دهد که برای اجرای سیکل ETC حدود  $40$  درصد توان کمتر استفاده می‌شود و آلانده‌های آن نیز حدود  $30$  تا  $70$  درصد کمتر است.



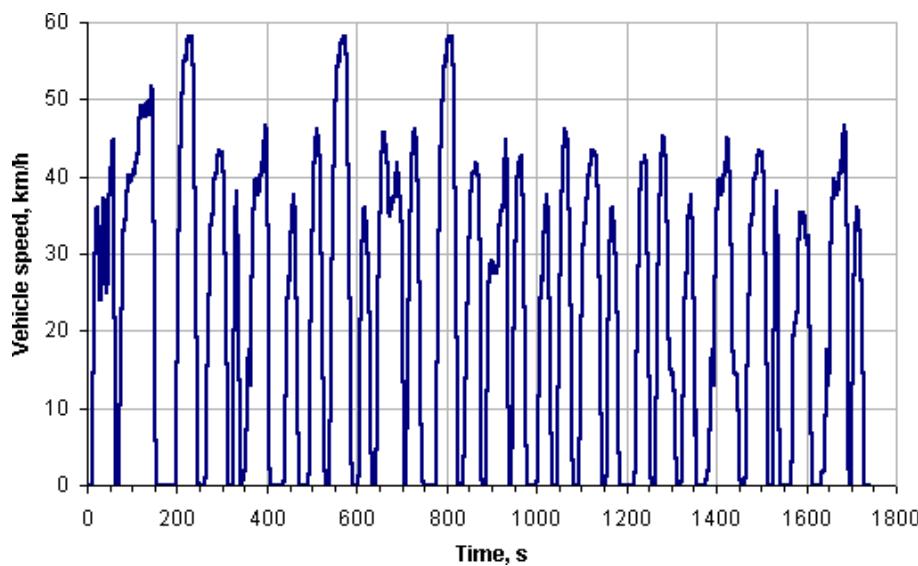
دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت



شکل ۳۵: نمودار سرعت- زمان سیکل Braunschweig

### سیکل حرکتی Nuremberg

یکی از سیکل های مهم مورد استفاده در مدل سازی های اخیر در خودروهای سنگین سیکل Nuremberg می باشد (شکل ۳۶).

.(۳۶)

- مدت زمان: ۱۰۸۴ ثانیه
- مسافت: حدود ۴,۳۲ کیلومتر
- سرعت متوسط:  $14/33$  کیلومتر بر ساعت
- سرعت ماکزیمم:  $53/7$  کیلومتر بر ساعت
- زمان کار درجا (بدون احتساب ابتدا و انتهای سیکل): حدود ۳۱ درصد



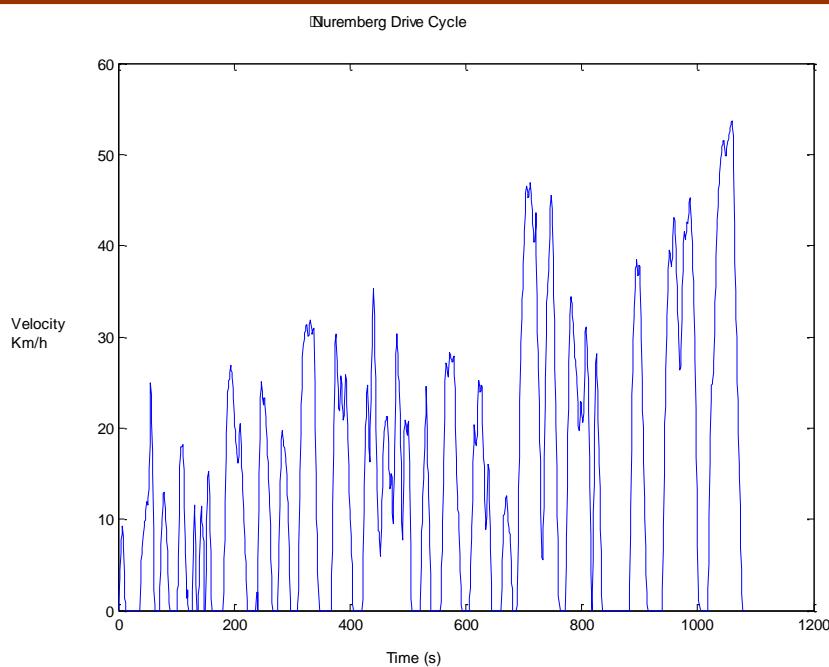
دانشگاه فنی  
دانشکده فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت



شکل ۳۶: سیکل حرکتی شهر نورنبرگ

### ۳-۴ سیکل‌های حرکتی آسیایی

سیکل‌های مطرحی که در آسیا و مخصوصاً در ژاپن استفاده می‌شوند عبارتند از:

- سیکل ۱۰ مود ژاپنی
- سیکل ۱۵-۱۰ مود ژاپنی
- سیکل JC08 ژاپنی (برای خودروهای سبک)
- سیکل JE05 ژاپنی (برای خودروهای سنگین)
- سیکل India urban

از سیکل‌های فوق تنها سیکل استفاده شده برای خودروهای سنگین سیکل JE05 است که توضیحات آن در قسمت بعد آمده است.



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

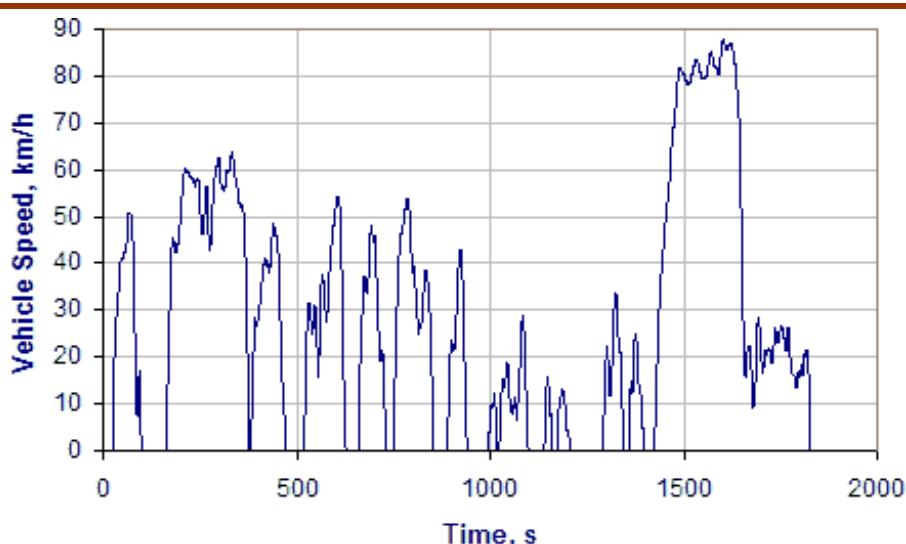
## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

### سیکل JE05 ژاپنی

قانون آلودگی ژاپن در سال ۲۰۰۵ یک سیکل تست شاسی دینامومتر جدید با نام JC05 برای خودروهای سنگین (وزن بیشتر از ۳۵۰۰ کیلوگرم) معرفی کرده است. این سیکل طبق شرایط رانندگی شهر توکیو ایجاد شده و برای خودروهای بنزینی و دیزل قابل استفاده می‌باشد (شکل ۳۷). سیکل JE05 یک سیکل گذرا، با مدت زمان حدوداً ۱۸۰۰ ثانیه، سرعت متوسط ۲۶/۹۴ کیلومتر بر ساعت و سرعت ماکزیمم ۸۸ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.



شکل ۳۷: نمودار سرعت-زمان سیکل JC05

### سیکل Indian Urban

سیکل شهری هندوستان در شکل ۳۸ نشان داده شده است. مشخصات این سیکل عبارتند از:

- مدت زمان: ۲۶۸۹ ثانیه
- مسافت: حدود ۱۷/۴۹ کیلومتر
- سرعت متوسط: ۲۳/۴۱ کیلومتر بر ساعت
- سرعت ماکزیمم: ۶۲/۵۶ کیلومتر بر ساعت
- زمان کار درجا (بدون احتساب ابتدا و انتهای سیکل): حدود ۱۰ دقیقه



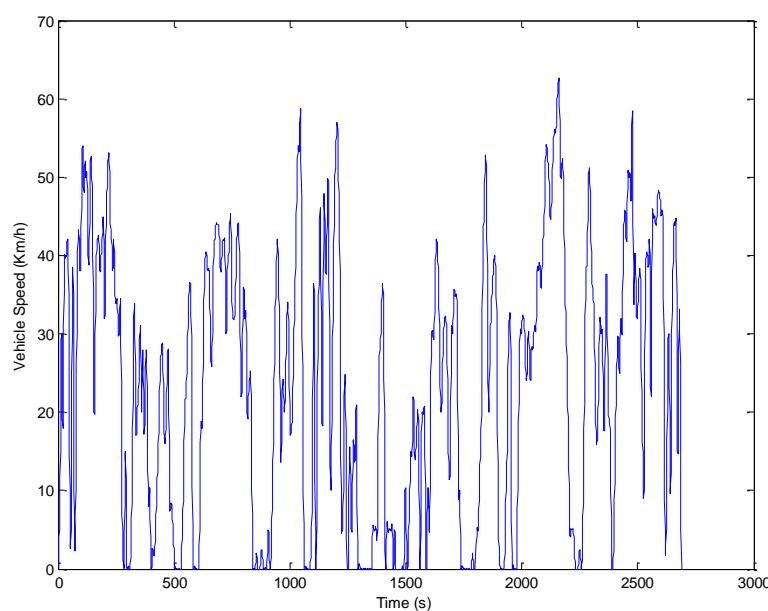
دانشگاه فنی  
دانشکده فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت



شکل ۳۸ سیکل حرکتی درون شهری هند

## ۴-۴ سیکل‌های حرکتی ایران

در ایران سیکل‌های استاندارد تست خودرو وجود ندارد و برای بررسی عملکرد خودروهای کشور از استانداردها و سیکل‌های اروپایی استفاده می‌شود. با این وجود تحقیقات محدودی برای استخراج سیکل حرکتی در کشور انجام شده است. از جمله در نیمه اول دهه ۱۳۸۰ شمسی و با حمایت شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت سیکل‌های رانندگی برای خودروهای سواری، مینی‌بوس و اتوبوس شهر تهران در دانشگاه علم و صنعت ایران ایجاد شده است. نمودار سرعت- زمان سیکل‌های خودروهای سنگین و نیمه‌سنگین به همراه مشخصات اصلی آنها در شکل ۳۹ و شکل ۴۰ و جداول ۱۹ و ۲۰ ارائه گردیده است.



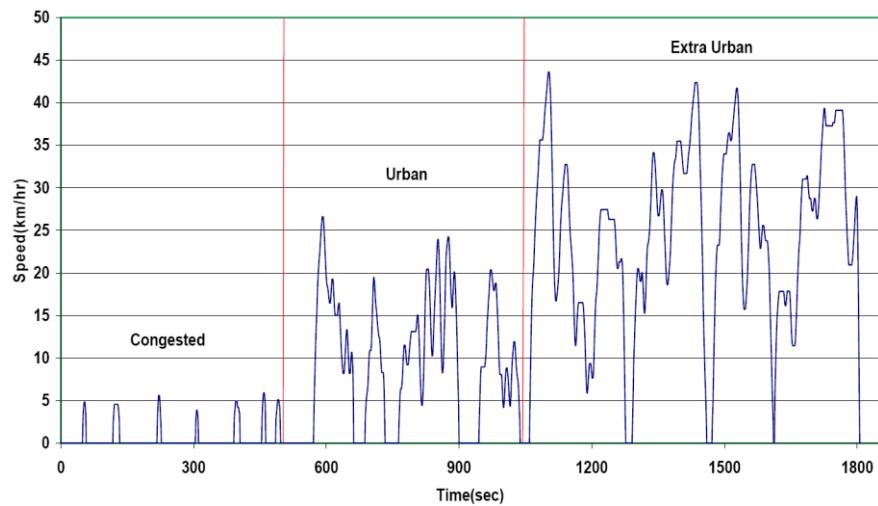
دانشگاه  
 شهرکرد

مرحله اول

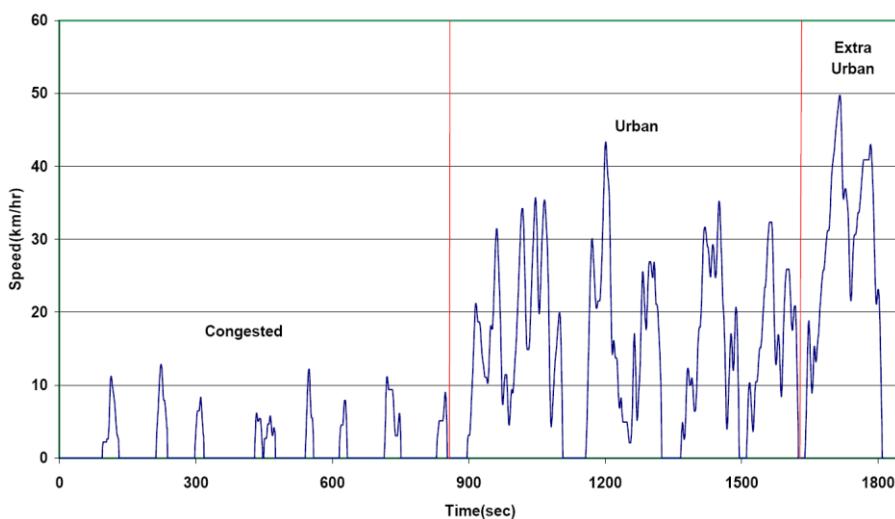
## تهییه نیازمندی های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۳۹: نمودار سرعت- زمان سیکل مینیبوس شهر تهران



شکل ۴۰: نمودار سرعت- زمان سیکل اتوبوس شهر تهران



دانشگاه  
تقهی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۱۹: مشخصات سیکل رانندگی مینی‌بوس شهر تهران

مشخصات	سیکل مینی‌بوس تهران
زمان (s)	1809
درصد زمانی توقف (%)	31.27
درصد زمانی شتاب‌گیری (%)	26.13
درصد زمانی ترمزگیری (%)	19.89
درصد زمانی سرعت ثابت (%)	22.71
سرعت متوسط (km/h)	14.20
شتاب متوسط ( $m/s^2$ )	0.32
شتاب منفی متوسط ( $m/s^2$ )	-0.42
سرعت ماکزیمم (km/h)	46.61
شتاب ماکزیمم ( $m/s^2$ )	1.11
شتاب منفی ماکزیمم ( $m/s^2$ )	-1.76
مسافت (km)	7.14
تعداد توقف‌ها در هر کیلومتر	3.22

جدول ۲۰: مشخصات سیکل رانندگی اتوبوس شهر تهران

مشخصات	سیکل اتوبوس تهران
زمان (s)	1827
درصد زمانی توقف (%)	45.51
درصد زمانی شتاب‌گیری (%)	25.66
درصد زمانی ترمزگیری (%)	21.66
درصد زمانی سرعت ثابت (%)	7.17
سرعت متوسط (km/h)	11.53
شتاب متوسط ( $m/s^2$ )	0.41
شتاب منفی متوسط ( $m/s^2$ )	-0.49
سرعت ماکزیمم (km/h)	67.83
شتاب ماکزیمم ( $m/s^2$ )	1.11
شتاب منفی ماکزیمم ( $m/s^2$ )	-1.97
مسافت (km)	5.8526
تعداد توقفها در هر کیلومتر	3.93

### ترکیب سیکل‌های حرکتی

برای بررسی رفتار اجزای اتوبوس باید چگونگی عملکرد آنها در طی پیمایش یک سیکل حرکتی<sup>۲۷</sup> مورد مطالعه قرار گیرد. متأسفانه هیچ سیکل حرکتی استانداردی برای خودروهای شهری در ایران وجود ندارد و تاکنون این مسئله مهم مورد بررسی قرار نگرفته است. در این قسمت برای یافتن یک سیکل حرکتی که حتی الامکان مشابه سیکل کلان شهری

<sup>27</sup> Drive Cycle

چون تهران باشد، اقدام به اتصال مکرر چند سیکل حرکتی مربوط به شهرهای پرترافیک دنیا به یکدیگر شده است. برای این منظور سیکل‌های نشان داده شده در شکل ۴۱ برگزیده شدند. سیکل‌های این شکل به ترتیب از بالا به پایین نام دارند که همگی سیکل‌های Neurenberg\_hv، NycBus، NycTruck، Manhattan، India\_Urban\_Sample درون شهری خودروهای سنگین در شهرهای پرازدحام دنیا می‌باشند.

سیکل حرکتی استفاده شده در این قسمت برای انجام مراحل شبیه‌سازی از ترکیب مکرر پنج سیکل فوق حاصل شده است. بدین ترتیب که هریک از سیکل‌ها چهار مرتبه تکرار شده‌اند و حاصل آنها در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند تا سیکل شکل ۴۲ (که در انجام شبیه‌سازی از آن استفاده می‌شود) حاصل گردد. همان‌طور که در شکل نیز دیده می‌شود، مدت زمان این سیکل که به‌طور پیوسته پیموده می‌شود، در حدود ۷/۵ ساعت می‌باشد و در این مدت اتوبوس مسافتی در حدود ۱۱۸ کیلومتر را می‌پیماید که این شرایط، بسیار نزدیک به شرایط کار کرد اتوبوس‌های شهری در کلان‌شهر تهران می‌باشد.

## ۵ بررسی اتوبوس‌های مختلف موجود و انتخاب اتوبوس مورد نظر

برای تولید یک اتوبوس نمونه هیبرید مکانیکی دو راه کار اصلی وجود دارد. راه کار اول طراحی یک خودروی جدید با توجه به ملاحظات قوای محركه مورد استفاده و ابعاد اولیه تجهیزات است. روش دیگر انتخاب یک خودروی موجود و اعمال تغییرات مورد نیاز جهت جایگزینی قوای محركه با مجموعه قوای محركه هیبرید مکانیکی است.

در راه کار اول، بعد از طراحی قوای محركه خودرو، شاسی و متعلقات آن طراحی و ساخته می‌شود. این طراحی با درنظر گرفتن مسائل دینامیک خودرو، استحکام و دوام مناسب انجام می‌شود. سپس بر روی این شاسی بالا بدن خودرو طراحی و ساخته شده و نصب می‌گردد. مسائلی همچون آبرودینامیک خودرو، ارکونومی و طراحی داخلی خودرو، عملکرد دینامیکی خودرو و راحتی سفر و ایمنی در این بخش حل و فصل می‌گردد.

راه کار دوم نیز مسائل خود را به همراه دارد. تبدیل یک اتوبوس که برای محركه احتراقی خاص ساخته شده و تمامی سازه و شاسی آن و فضاهای استفاده شده بر اساس آن طراحی گردیده است به یک اتوبوس هیبرید با تجهیزات بیشتر کاری سهل الوصول نیست و همانگی‌های زیادی را می‌طلبند. بدینهی است که این کار حتی الامکان باید بر اساس کمترین تغییرات لازم در سیستم‌های خودرو انجام شود. به عنوان مثال اگر به توان در چیدمان سیستم جدید به شیوه‌ای عمل نمود که مرکز جرم و نسبت بار اکسل‌های خودرو کمترین تغییرات را داشته باشد، خودرو تبدیل شده با کمترین مسایل دینامیک خودرویی مواجه خواهد بود.

مسلمان طراحی یک خودروی جدید با توجه به ملاحظات مهمی از جمله محل نصب تجهیزات جدیدی که در یک خودروی متعارف وجود ندارند، به تولید یک نمونه کاراتر می‌انجامد، اما با توجه به هزینه بالا و زمان مورد نیاز برای فرآیند طراحی و ساخت یک پلتفرم جدید معمولاً از راه کار دوم استفاده می‌شود.

در کشور ما چندین شرکت اتوبوس‌های درون‌شهری را می‌سازند که معروف‌ترین آنها شرکت ایران خودرو دیزل، شرکت عقاب‌افshan و شرکت شهاب خودرو می‌باشند. از نظر تعداد تولید و سهم ناوگان اتوبوس‌رانی شهر تهران و حتی دیگر شهرستان‌ها، شرکت ایران خودرو دیزل رتبه اول را داراست. اولین قدم در انتخاب بهترین اتوبوس برای پیاده‌سازی تکنولوژی هیبرید مکانیکی تعیین پارامترهای موثر در این انتخاب است.



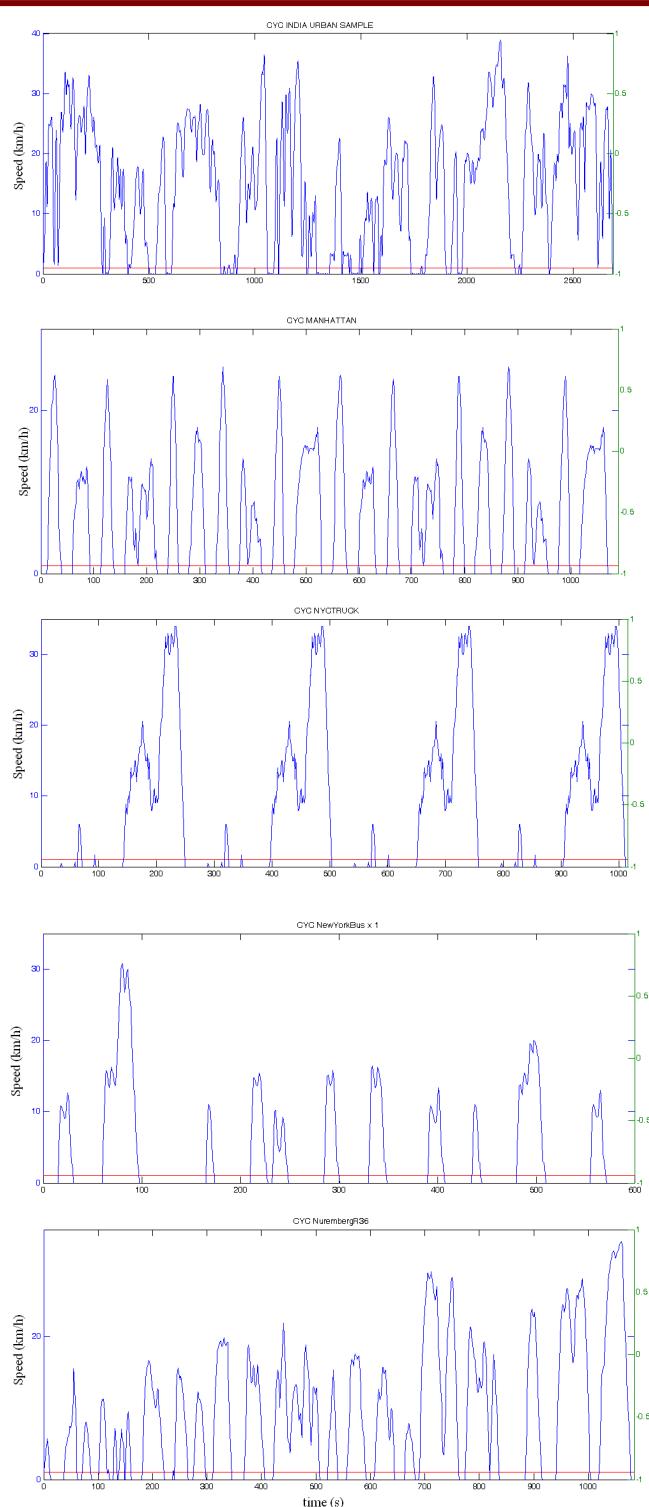
دانشگاه  
 شهرکرد

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی مصرف سوخت



شکل ۴۱: سیکل‌های حرکتی که از ترکیب آنها در شبیه‌سازی استفاده شده است



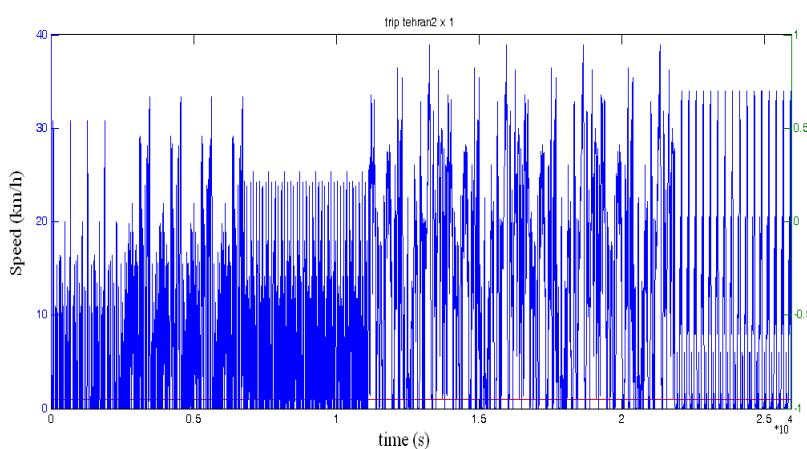
دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله اول

## تهیه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۴۲: سیکل حرکتی ترکیبی جهت تحلیل نتایج

## ۱-۵ حق امتیاز

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر دارا بودن حق امتیاز خودرو و در نتیجه امکان دسترسی به تمامی اطلاعات طراحی و امکان اعمال تغییرات بر روی خودرو بدون نیاز به کسب اجازه از شرکت مادر می‌باشد. با توجه به جایگزینی مجموعه قوای محرکه و افزایش تعداد تجهیزات مورد نیاز، داشتن اطلاعات کامل خودرو ضروری می‌باشد. علاوه بر این سرمایه‌گذاری برروی یک خودروی ملی توجیه‌پذیر است. با توجه به این مسئله دامنه انتخاب به اتوبوس‌های O457 و C457 ساخت شرکت ایران خودرو و اسکانیا ساخت شرکت عقاب‌افشان محدود می‌گردد. از نظر بومی‌سازی قطعات بیشتری از اتوبوس‌های O457 در داخل کشور تولید می‌شود. با توجه به کثرت اتوبوس‌های O457 در شرکت واحد و امکان کاهش هزینه‌ها با انتخاب این اتوبوس O457 ساخت شرکت ایران خودرو از این نظر بهترین گزینه موجود خواهد بود.

## ۲-۵ بررسی امکان جانمایی تجهیزات

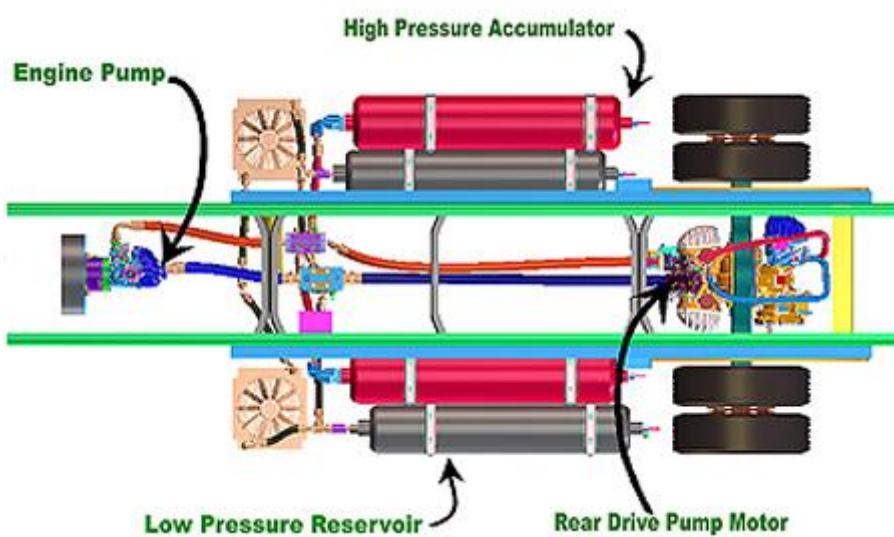
قوای محرکه در یک خودروی متعارف از موتور احتراق داخلی، مخزن سوخت، جعبه‌دنده و دیفرانسیل تشکیل شده است. جهت تبدیل این خودرو به یک خودروی هیبرید مکانیکی هیدرولیکی، نیاز به اضافه شدن دو مخزن کم‌فشار و پرفشار و یک موتور-پمپ به سیستم می‌باشد. ابعاد این تجهیزات از موتور قبلی خودرو بزرگ‌تر خواهد بود. در این

سیستم می‌توان از موتورهای در چرخ نیز استفاده کرد که می‌تواند نقش بهسزایی در جانمایی خودرو داشته باشدند. با استفاده از این سیستم دیگر نیازی به سیستم انتقال قدرت، دیفرانسیل و دیگر قطعات مکانیکی وابسته نمی‌باشد. این امر باعث کاهش وزن کلی وسیله نقلیه و همچنین کاهش اصطکاک ناشی از قطعات مکانیکی در گیرشونده می‌شود. مخازن پرفشار معمولاً در پرفشار و کم‌پشار معمولاً از مواد کامپوزیتی به دلیل صرفه‌جویی در وزن ساخته می‌شوند. مخازن پرفشار معمولاً در محدوده بین ۴۷۵–۳۴۵ bar بار کار می‌کنند. این مخازن با حجم‌های ۱۱، ۱۶، ۲۲ گالن موجود است.

با توجه به تعداد و ابعاد تجهیزات ذکر شده بررسی امکان جانمایی این تجهیزات درون خودرو با توجه به فضای مورد نیاز و افزایش وزن خودرو از جمله ضروری ترین اقدامات اولیه است. همچنین با توجه به تغییر قوای محركه خودرو، به هم نخوردن توزیع مناسب وزن خودرو نیز می‌بایست مدنظر قرار گیرد. به طور کلی ساختارهای مختلفی جهت جانمایی تجهیزات وجود دارد که یک نمونه آن در شکل ۴۳ نشان داده شده است.

ساختار نشان داده شده در شکل ۴۳ مربوط به اتوبوس UPS است که پلت‌فرم آن با هدف استفاده از قوای محركه هیبرید هیدرولیکی طراحی شده است. در این ساختار مخازن کم‌پشار و پرفشار در طرفین شاسی جاسازی شده‌اند. موتور-پمپ در قسمت انتهایی برای رانش چرخ‌های عقب قرار دارد و بوسیله لوله‌های ارتباطی به مخازن و موتور احتراقی در تماس می‌باشد.

همان‌طور که ذکر شد جانمایی از جمله مشکل ترین زیر پروژه‌های موجود در فرایند استفاده از دانش فنی خودروهای هیبرید مکانیکی است و به همین دلیل اغلب خودروسازان معتبر در اولین قدم از پلت‌فرم خودروهای سنگین و نیمه‌سنگین نظیر اتوبوس و یا کامیون‌های درون‌شهری استفاده کرده‌اند. در شکل ۴۴ چگونگی جانمایی به صورت واقعی در یک خودروی نیمه‌سنگین آمده است.



شکل ۴۳: جانمایی تجهیزات در خودروی UPS



شکل ۴۴: جانمایی تجهیزات در یک خودروی نیمه سنگین

با توجه به این که در اتوبوس‌ها با کف پایین امکان جانمایی تجهیزات اضافه شده در کف اتوبوس امکان‌پذیر نمی‌باشد، لازم است تا تجهیزات اضافه شده به سیستم در بالای سقف اتوبوس جاسازی شوند. اضافه شدن تجهیزات به بالای سقف باعث برهم‌خوردن مرکز جرم اتوبوس شده که برای طراحی مطلوب به نظر نمی‌رسد. با توجه به مطالب ذکر شده امکان پیاده‌سازی این سیستم بر روی اتوبوس‌ها با کف پایین وجود ندارد.

### ۳-۵ بھرھوری مصرف سوخت

یکی از مهمترین دلایل حرکت صنعت خودرو به سمت استفاده از سامانه هیبرید مکانیکی در خودروها راندمان بالای آن و درنتیجه کاهش مصرف سوخت خودرو می‌باشد. البته راندمان مبدل سوخت تنها عامل موثر بر کاهش مصرف سوخت خودرو نیست بلکه عوامل متعددی از جمله وزن، نیروی پسا و نیروی مقاومت غلطشی چرخ‌ها که نقش موثری در عملکرد خودرو دارند. بنابراین سطح تکنولوژی استفاده شده در طراحی و ساخت یک خودرو در انتخاب خودرو تاثیرگذار است. از آنجاییکه در سامانه هیبرید هیدرولیکی انرژی در یک موتور الکتریکی تبدیل نمی‌شود، می‌توان میزان بیشتری از انرژی را در هنگام ترمز بازیابی کرد. یک خودروی هیبرید الکتریکی قادر به بازیاب حدود ۳۰ درصد از انرژی حاصل از ترمزگیری می‌باشد در حالیکه در یک خودروی هیبرید هیدرولیک می‌توان انرژی هدر یافته ناشی از ترمز را تا حدود ۷۰ درصد بازیابی نمود.

### ۴-۵ هزینه

هزینه مورد نیاز برای ساخت نمونه اولیه یک خودروی هیبرید مکانیکی از دو بخش اصلی هزینه طراحی و اعمال تغییرات مورد نیاز و هزینه تجهیزات مورد نیاز از جمله جمع‌کننده‌ها و موتور-پمپ تشکیل می‌شود. همان‌طور که مشاهده شد با توجه به اجزای موجود در سامانه هیبرید هیدرولیکی و جانمایی‌های بررسی شده، با توجه با این که اتوبوس‌هایی که دارای کف پایین هستند از گزینه‌ها حذف می‌شوند، امکان پیاده‌سازی این سیستم بر روی اتوبوس ۰۴۵۷ ساخت شرکت ایران خودرو آسانتر است. در جدول ۲۱ برخی از ویژگی‌های اتوبوس‌های مورد بررسی مانند وزن و قدرت موتور آمده‌است.



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهیه نیازمندی های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

جدول ۲۱: اطلاعات اتوبوس های داخلی

سیستم	ظرفیت نشسته	ظرفیت ایستاده	جمع	وزن خالص (Kg)	وزن ناچالص (Kg)	قدرت(اسب بخار)
ولوو	۳۶	۶۲	۹۸	۱۲۰۰	۱۹۰۰۰	۴۲۰
عقاب افshan	۴۵	۲۸	۷۳	۱۱۶۰۰	۱۹۵۰۰	۳۱۰
اسکانیا	۴۳	۱۰۰	۱۴۳	۱۲۴۵۰	۱۹۵۰۰	۴۲۰
مگاترانس	۴۰	۴۰	۸۰	۱۴۰۰۰	۲۳۵۰۰	۲۹۹
C457	۴۰	-	۴۰	۱۲۴۵۰	۱۸۰۰۰	۳۵۴
O457	۴۵	۴۰	۸۵	۹۸۲۰	۱۸۰۰۰	۳۲۰
شهراب خودرو (رنو)	۴۵	-	۴۵		۱۸۵۰۰	۲۶۰

در شکل ۴۵ نمونه‌ای از یک اتوبوس O457 شهری آمده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است این اتوبوس از نوع کف‌پایین نبوده و برای جانمایی قطعات انتخاب مناسبی می‌باشد. در شکل ۴۶ اتوبوس شهری مگاترانس نشان داده شده است. شکل ۴۷ نیز نشان‌دهنده یکی از اتوبوس‌های ساخت شرکت شهراب خودرو می‌باشد.

در مجموع از میان اتوبوس‌های موجود در خطوط اتوبوس رانی شهر تهران، اتوبوس O457 انتخاب می‌شود. این انتخاب به‌واسطه دارا بودن حق امتیاز، فضای کافی برای جانمایی تجهیزات اضافه شده در فرایند هیبریدسازی، کثرت وجود این نوع اتوبوس در خطوط اتوبوس رانی تهران و حتی دیگر شهرستان‌ها و در دسترس بودن اطلاعات فنی این اتوبوس صورت پذیرفته است.



شکل ۴۵: اتوبوس شهری O457



شکل ۴۶: اتوبوس شهری مگاترانس



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی مصرف سوخت



شکل ۴۷: اتوبوس رنو (شهاب خودرو)

### ۵-۵ مشخصات اتوبوس O457 درون شهری

با توجه به انتخاب اتوبوس O457 ساخت شرکت ایران خودرو به عنوان گزینه مناسب برای پیاده‌سازی سیستم هیبرید مکانیکی، در زیر به بررسی برخی مشخصات فنی این اتوبوس پرداخته شده است.

- سیستم ترمز:

ترمز چرخ‌ها: نیوماتیک کفشدکی، عقب و جلو دو مداره

ترمز دستی: نیوماتیک بر روی چرخ‌های عقب

ترمز موتور: خفه کن اگزوژ + خفه کن موتور

ترمز گیربکس: ریتاردر

- وزن (کیلو گرم):

وزن خالص: ۹۸۲۰

بار مجاز روی اکسل جلو: ۶۵۰۰

بار مجاز روی اکسل عقب: ۱۱۵۰۰

وزن ناخالص مجاز: ۱۸۰۰۰

کلاچ: ندارد (تعویض دنده اتوماتیک)



مرحله اول

## تهییه نیازمندی‌های اولیه



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

- محورها و فرمان:

جلو RABA-470.01-3100 یا MB-VO3/10DL6

عقب RABA-470.31-3300 یا MB-HO4/01DL10

نسبت اکسل عقب: ۱۰:۴۳

فرمان LS6BK هیدرولیک

- ظرفیت‌ها:

روغن موتور (+ فیلتر روغن): ۲۹,۵

روغن گیربکس: ۳۰

روغن هیدرولیک فرمان: ۱۲

روغن دیفرانسیل: ۱۲

مایع خنک کننده موتور (آب و ضد یخ): ۸۰ (۴۰+۴۰)

مخزن سوخت: ۳۰۰

- سیستم تعلیق

جلو: تعلیق بادی (۲ خمره ای) کمک فنر تلسکوپی هیدرولیک ۴ عدد

عقب: تعلیق بادی (۴ خمره ای) کمک فنر تلسکوپی هیدرولیک ۴ عدد

- سیستم برق

برق مصرفی: ۲۴ V

باتری: (کولردار) 12 V / 150 Ah or 200 Ah

دینام: ۷۰-۱۴۰ V-۲۸ A

استارت: ۲۴ V / ۵ KW

- ویژگی‌های حرکتی

قطر دایره گردش: ۶,۰ m

میزان مصرف سوخت: ۳۵ lit / 100 km

حداکثر سرعت: ۸۰ km/h

## ۶ انتخاب مسیرهای خاص برای محاسبات و تست

با توجه به جدول‌ها مربوط به خطوط اتوبوس‌رانی که در پیوست آمده است می‌توان چند خط را که بیشتر مناطق را تحت پوشش قرار می‌دهند را انتخاب کرد. برای پوشش تمام مناطق به انتخاب خطوط شمال-جنوب، شرق-غرب، شمال-شرقی-جنوب‌غربی و شمال‌غربی-جنوب‌شرقی پرداخته شده است. با انتخاب این خطوط تقریباً می‌توان کل خطوط را پوشش داد. با استفاده از داده‌های این بخش می‌توان مسیرهای مناسب برای طراحی، تست و بررسی عملکرد خودروی هیبرید مکانیکی را به‌طوریکه تقریب مناسبی از معابر شهر تهران را داشته باشند، به دست آورد.

در انتخاب مسیر مناسب برای محاسبات و شبیه‌سازی موارد زیر در نظر گرفته شده است:

۱. تعداد ایستگاه‌ها: تهداد ایستگاه‌ها در عملکرد اتوبوس هیبرید مکانیکی تاثیر مستقیم دارد. با توقف اتوبوس در هر ایستگاه می‌توان انرژی حرکتی را در مولفه ثانویه ثبت نمود. در فاصله بین دو ایستگاه نیز می‌توان از این انرژی برای به حرکت درآوردن اتوبوس استفاده نمود. این انرژی برای ایجاد شتاب مورد نیز اتوبوس برای شروع حرکت از ایستگاه نیز موثر خواهد بود.
۲. جهت مسیر: تهران شهری است که در دامنه کوه بنا شده است. تفاوت ارتفاع از شمال تا جنوب حدود یک کیلومتر است. بنابراین مسیرهای شمال به جنوب و بالعکس با شیب زیادی روبرو خواهند بود ولی مسیرهای شرق به غرب و بالعکس شیب چندانی نخواهند داشت. مسیرهای قطری (شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و یا شمال‌غربی-جنوب‌شرقی) با شیب ملائم‌تری روبرو خواهند بود. عدم توانایی ذخیره‌سازی انرژی در مولفه ثانویه هیبرید در مسیرهای سرپالایی و اشباع ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی مولفه ثانویه در سرایری در مصرف سوخت و عملکرد خودرو تاثیر خواهد داشت.
۳. طول مسیر: برای به دست آوردن ارزیابی مناسب و میانگین قابل اعتماد پارامترها سعی شده است تا از مسیرهای طولانی‌تر برای محاسبات استفاده شود. انتخاب چنین مسیرهایی به‌واسطه دارا بودن ایستگاه‌های بیشتر نکته بند اول را نیز ارضاء خواهد نمود.

۴. مسیرهای بزرگراهی: در مسیرهای بزرگراهی سرعت میانگین حرکت اتوبوس بیشتر از مسیرهای خیابانی است.

بنابراین سعی شده است تا حداقل از دو مسیر اتوبانی شرقی- غربی و شمال- جنوبی استفاده شود.

۵. خطوط BRT: تهران دارای تعدادی خطوط BRT می باشد. این خطوط همانند خطوط خیابانی ایستگاه های فراوانی

دارند ولی به واسطه داشتن مسیر ویژه برای حرکت، از سرعت میانگین بیشتری برخوردارند.

با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، شش مسیر برای انجام محاسبات و شبیه سازی انتخاب شده اند که مشخصات آنها در جدول ۲۲ آمده است. خطوط ۱۲۳، ۸۱۴ و ۸۲۱ مسیرهای خیابانی هستند. خطوط ۱۰۱۶ و ۱۰۲۳ مسیرهای اتوبانی را تشکیل می دهند و اخرین خط جدول خط BRT می باشد. این خطوط از بین خطوط اتوبوس رانی روزانه انتخاب شده اند. خطوط شبانه به خاطر تعداد کمتر مسافر در شب، سرعت میانگین بیشتر اتوبوس ها در شب در این مطالعه در نظر گرفته نشده اند.

جدول ۲۲: اطلاعات مسیرهای انتخاب شده

خط	مبدأ	مقصد	طول مسیر (متر)	تعداد ایستگاه رفت	تعداد ایستگاه برگشت	مسانده ایستگاه	مسانده فاصله ایستگاه	تفاوت تغییر مسیر	متوسط شیب مسیر (%)	جهت مسیر
۱۲۳	میدان تجریش	میدان	۱۲۲۷۵	۲۵	۲۴	۵۰۱	۳۸۰	۳/۴۵	شمال جنوب	
۸۱۴	کن	مترو صادقیه	۱۱۲۲۵	۱۸	۱۶	۶۶۰	۲۳۰	۲/۳	شمال غرب جنوب شرق	
۸۲۱	شهرک اکباتان	میدان ولی عصر	۱۹۰۵۰	۲۹	۳۰	۶۴۶	۳۰	۰/۳۵	شرقی غربی	
۱۰۱۶	میدان هفت تیر	میدان	۱۱۲۵۰	۱۲	۱۱	۹۷۸	۳۷۰	۳/۷	شمال جنوب	
۱۰۲۳	میدان رسالت	میدان	۱۲۲۲۵	۹	۱۰	۱۲۸۷	۱۲۰	۱/۱	شرقی غربی	
BRT1	چهارراه آزادی تهران پارس	پایانه	۱۸۷۰۰	۲۶	۲۶	۷۱۹	۱۳۰	۰/۷	شرقی غربی	

**فاز اول**

مرحله دوم

**تعیین چهار چوب اولیه**

**طراحی**



## فهرست مطالب

### ۱ بررسی انواع مختلف هیبرید مکانیکی و انتخاب مکانیزم مناسب ۴.....۴

۱-۱ هیبرید هیدرولیکی .....۱	۴
۱-۱-۱ اجزای سیستم هیبرید هیدرولیکی .....۱	۵
۱-۱-۲ چگونگی توزیع قدرت در حین شتابگیری و ترمزگیری .....۱	۱۲
۱-۱-۳ مقایسه سیستمهای هیبرید الکتریکی و هیدرولیکی .....۱	۱۳
۱-۱-۴ مزایا و معایب سیستم هیبرید هیدرولیکی .....۱	۱۵
۱-۱-۵ انواع سیستم هیبرید هیدرولیکی .....۱	۱۶
۱-۲ هیبرید نیوماتیکی .....۱	۲۰
۱-۲-۱ سیکل شکسته موتور .....۱	۲۱
۱-۲-۲ مشکلات سیکل شکسته موتور قدیمی .....۱	۲۲
۱-۲-۳ سیکل شکسته اسکودری .....۱	۲۳
۱-۲-۴ طراحی سیستم هیبرید نیوماتیکی .....۱	۲۵
۱-۳ هیبرید مکانیکی فلاپویل .....۱	۲۷
۱-۳-۱ چگونگی توزیع قدرت در حین شتابگیری و ترمزگیری .....۱	۲۸
۱-۳-۲ اجزا و قطعات استفاده شده در سیستم هیبرید فلاپویل .....۱	۳۴
۱-۳-۳ مزایا و معایب سیستم فلاپویل .....۱	۴۹
۱-۳-۴ انواع ساختارهای هیبرید فلاپویل .....۱	۵۰



دانشگاه فنی

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

۱-۳-۵ فلایویل با سیستم انتقال گشتاور از زمین ..... ۵۴

## ۲ تعیین حدود عملکردی خودرو

۱-۱-۱ قیود حرکتی استفاده شده در طراحی ..... ۵۵

۱-۱-۲ مشخصات شیب پیمایی ..... ۵۶

۲-۱-۱ مشخصات شتاب گیری ..... ۵۶

۲-۲ توان و انرژی مورد نیاز ..... ۵۷

## ۳ انتخاب نوع و ساختار مناسب جهت امکان سنجی فنی و اقتصادی

۴ بررسی و تعیین نقاط حساس طراحی ..... ۵۹

## تعیین چهارچوب اولیه طراحی

تاکنون سه گونه مختلف از سامانه هیبرید مکانیکی معرفی شده است که هر یک از این سامانه ها با توجه به شرایط موجود قابل پیاده سازی بر روی خودروها می باشد. در این بخش انواع مکانیزم های هیبرید مکانیکی موجود اعم از سامانه هیبرید فلاکوپل، سامانه هیبرید هیدرولیکی و سامانه هیبرید نیوماتیکی بررسی می شوند و اجزای اصلی این مکانیزم ها و مزایا و معایب آن ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. سپس محدودیت های عملکرد هر یک از سامانه ها بررسی می شود. در این مرحله تا حدودی می توان با توجه به مقایسه های انجام شده تفاوت مکانیزم های موجود را مشخص کرده و به یک انتخاب مناسب دست یافت. البته با توجه به عوامل موثر دیگری که در انتخاب نهایی مکانیزم، موثر است، می توان این انتخاب را به عنوان یک انتخاب اولیه جهت ادامه مطالعات در مرحله بعد مد نظر قرار داد.



دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهار چوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

# ۱ بررسی انواع مختلف هیبرید مکانیکی و انتخاب مکانیزم مناسب

برای انتخاب بهینه‌ترین سیستم هیبرید مکانیکی در کاربرد مورد نظر، ابتدا نیاز است که تک‌تک سیستم‌های هیبرید مکانیکی به‌طور کامل بررسی شود و معاایب و مزایای هریک مشخص شود. در این بخش سعی می‌شود تا با بررسی هر یک از سیستم‌های هیبرید مکانیکی فلاکویل، هیدرولیکی و نیوماتیکی دیدگاهی کلی نسبت به آنها به‌دست آید تا بتوان در پایان با توجه به ویژگی‌های هر یک از سیستم‌های بررسی شده انتخاب مناسب انجام شود.

### ۱-۱ هیبرید هیدرولیکی

سیستم هیبرید هیدرولیکی برای خودروهایی که دائم در حال حرکت و توقف هستند بسیار مناسب است، زیرا می‌تواند انرژی زیادی را در حین ترمزگیری بازیاب کند. این انرژی نیز برای به حرکت درآوردن وسیله نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حال حاضر این نوع سیستم‌ها در حال توسعه برای خودروهایی نظیر کامیون‌های حمل و نقل شهری، اتوبوس‌های مدارس و ماشین‌های حمل زباله می‌باشند.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود سیستم هیبرید هیدرولیکی از چهار جزء اصلی سیال عامل، مخزن، موتور-پمپ و جمع‌کننده تشکیل می‌شود. در هنگام ترمزگیری انرژی به صورت فشار هیدرولیکی در مخزن با فشار بالا ذخیره می‌شود. سپس در هنگام شتاب‌گیری انرژی ذخیره شده به موتور-پمپ و جعبه‌دنده منتقل شده و باعث حرکت چرخ‌ها می‌شود. اگر انرژی ذخیره شده در مخزن به اتمام برسد، فشار این مخزن توسط یک پمپ که به موتور متصل است، دوباره بالا برده می‌شود.



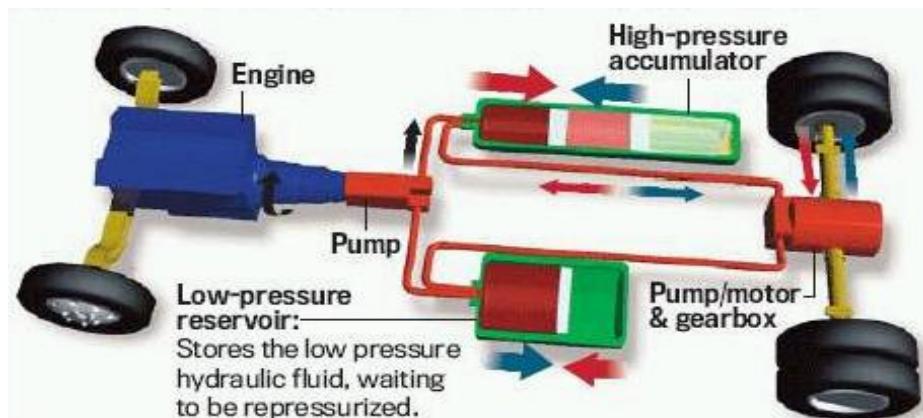
دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت



شکل ۱: سامانه هیبرید هیدرولیکی

### ۱-۱-۱ اجزای سیستم هیبرید هیدرولیکی

همان‌طور که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود تبدیل یک خودروی متعارف به یک خودروی هیبرید هیدرولیکی مستلزم اضافه‌شدن یک سری تجهیزات جدید به مجموعه قوای محرکه خودرو می‌باشد. در این راستا در ادامه به تشریح هر یک از این تجهیزات پرداخته می‌شود.

#### سیال عامل

سیال عامل جهت ذخیره انرژی نیست. چراکه اساساً مایعات به علت دارابودن مدول بالک بالا تقریباً غیرقابل تراکم‌اند و بنابراین جهت ذخیره انرژی نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در واقع سیال عامل واسطه‌ای جهت تبدیل و انتقال انرژی است. بطور کلی افزایش حجم سیال عامل در جمع‌کننده باعث افزایش فشار گاز موجود در جمع‌کننده (نیتروژن در جمع‌کننده‌های گاز فشرده) و در نتیجه ذخیره مقدار قابل توجهی انرژی می‌شود تا در موقع نیاز دوباره مورد استفاده قرار گیرد. میزان ذخیره انرژی در گاز به نوع آن بستگی ندارد و تنها به فشار و حجم گاز وابسته است. دلیل استفاده از گاز نیتروژن در جمع‌کننده‌ها برای ذخیره فشار روغن موجود در سیستم، امکان ذخیره بیشتر فشار در گاز نیتروژن و میزان این گاز در فشارهای بسیار پایین می‌باشد.

## مخازن هیدروليكي

از مخازن پرفشار و کم فشار برای ذخیره انرژی در خودروهای هیبرید هیدروليکی استفاده می شود. از مخازن پرفشار جهت ذخیره سیال در فشار بالا استفاده می شود. در این مخازن معمولاً سیال هیدروليکی و گاز توسط یک تیغه از هم جدا می شوند. گاز مورد استفاده نیتروژن می باشد که با وارد یا خارج شدن سیال هیدروليکی منقبض و منبسط می شود. پمپاژ یک سیال هیدروليکی آسان تر از گاز می باشد ولی از طرفی ذخیره کردن انرژی در گاز راحت تر است. از این رو ترکیب گاز- مایع مناسب می باشد. دلیل استفاده از نیتروژن خنثی بودن و غیرقابل اشتعال بودن آن در فشارهای بالا می باشد. بسیاری از گازها در فشارهایی بسیار پایین تر از فشار ذکر شده به مایع تبدیل می شوند. برای تامین انرژی لازم فشار داخل جمع کننده<sup>۱</sup> در حدود ۵۰۰۰-۷۰۰۰ psi (۴۸۳-۳۴۵ bar) می باشد. مخازن کم فشار در فشاری پایین تر کار می کنند. سیال عامل بعد از خروج از مخزن پرفشار و از دستدادن انرژی خود، وارد مخزن کم فشار می شود. فشار داخل مخزن<sup>۲</sup> کم فشار نیز بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ psi (۱۴-۷ bar) می باشد.

جمع کننده هیدروليکی یک وسیله ذخیره انرژی یا به عبارت دیگر مخزن تحت فشاری است که در آن سیال هیدروليکی با استفاده از روش های مختلفی تحت فشار قرار می گیرد. جمع کننده ها بر حسب روش ایجاد فشار، به سه گروه تقسیم می شوند که در آنها نیروی خارجی توسط فر، وزنه در ارتفاع<sup>۳</sup> یا گاز فشرده تولید می شود.

### • جمع کننده گاز فشرده

جمع کننده های گاز فشرده در صنعت بیشترین کاربرد را دارند، این جمع کننده ها دارای دو محفظه می باشند که توسط یک دیافراگم الاستیک و یا یک پیستون شناور از هم جدا می شوند (شکل ۲). محفظه ای که دارای سیال هیدروليکی می باشد به خط اصلی سیال مرتبط می باشد. فشار سیال توسط گاز فشرده ( معمولاً نیتروژن) بر سیال اعمال می شود. با تغییر حجم گاز می توان فشار گاز و در نهایت فشار سیال هیدروليکی را تغییر داد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، یکی از مهم ترین مشخصات گاز نیتروژن افزایش نمایی فشار آن بر حسب حجم است که این موضوع بر میزان ذخیره انرژی تاثیر دارد. در حال حاضر بازده جمع کننده ها در حدود ۹۸٪ می باشند.

<sup>1</sup> Accumulator

<sup>2</sup> Reservoir

<sup>3</sup> Raised Weight Accumulator



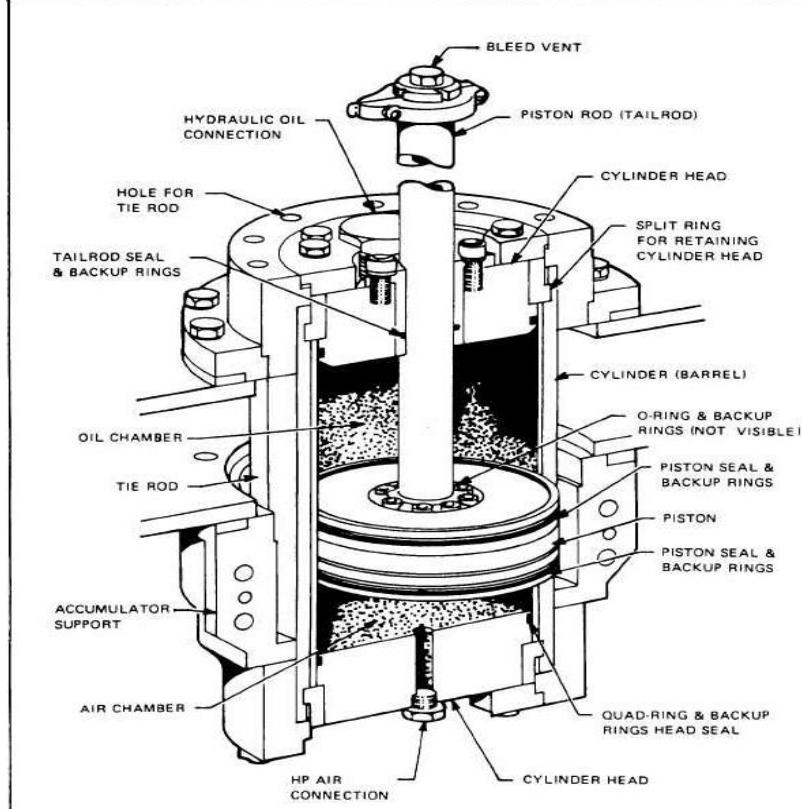
دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی مصرف سوخت



شکل ۲: جمع کننده گاز فشرده

به دلیل کاهش در وزن مخازن پرفشار و کم فشار معمولاً از مواد مرکب<sup>4</sup> ساخته می‌شوند. معمولاً این سیستم‌ها دارای نشت بسیار کمی می‌باشند. مخازن پرفشار با حجم‌های ۱۱، ۱۴، ۱۶ و ۲۲ گالن موجود هستند.

<sup>4</sup> Composite Materials



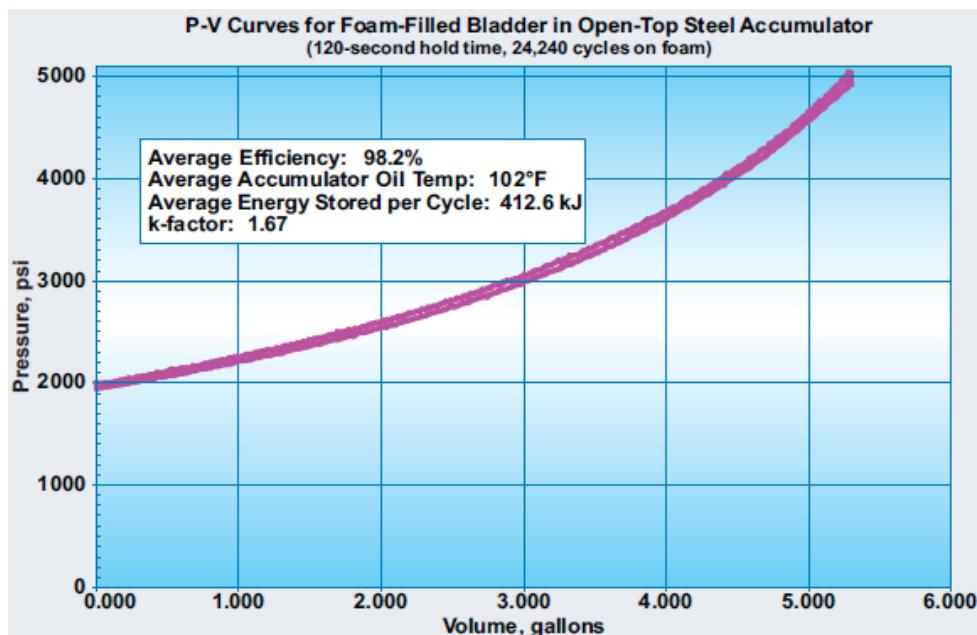
دانشگاه فنی  
دانشکده فنی

مرحله دوم

## تهیه چهار چوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پهنه سازی مصرف سوخت



شکل ۳: افزایش نمایی فشار در جمع‌کننده

- جمع‌کننده‌ی فنری

در جمع‌کننده‌های دارای فنر در حقیقت فنر نقش گاز را برای ذخیره فشار سیال به عهده دارد. در این نوع جمع-کننده‌ها همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، فشار ناشی از سیال به صورت انرژی پتانسیل در فنر ذخیره می‌شود.



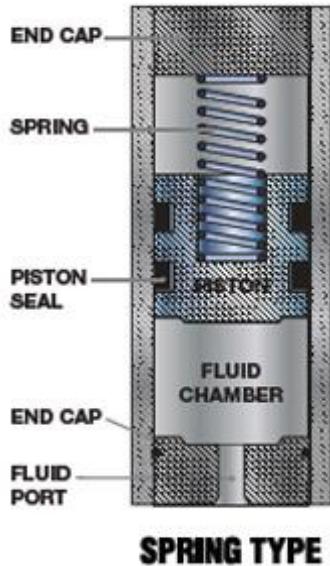
دانشگاه فنی  
شاھروود

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی صرف سوخت



شکل ۴: جمع کننده فنری

### • جمع کننده جرم در ارتفاع

این جمع کننده شامل یک سیلندر عمودی حاوی سیال است که به خط اصلی مرتبط می‌باشد. بر روی سیلندر یک پیستون قرار دارد که با وزنهایی که بر روی آن موجود است، یک نیروی عمودی به سیال موجود در سیلندر وارد می‌کند و باعث ذخیره انرژی در آن می‌شود. بهدلیل وزن بالا و حساس بودن به جهت نصب و ارتعاشات موجود در خودرو، این نوع جمع کننده‌ها در خودرو قابل استفاده نیستند. نمونه‌ای از این نوع جمع کننده‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.



دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۵: جمع‌کننده وزنه در ارتفاع

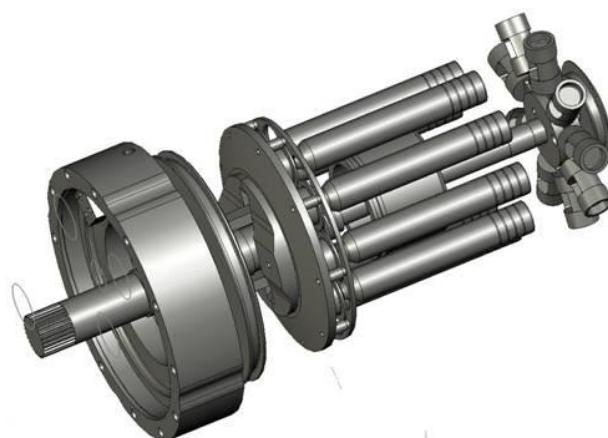
### ▪ مخزن فشار پایین

سیال عامل پس از این که از جمع‌کننده به پمپ موتور رفته و با تولید کار فشارش کاهش می‌یابد، در یک مخزن کم‌فشار ذخیره می‌گردد.

### مотор-پمپ

مотор-پمپ وسیله‌ای است که کاربردی دوگانه دارد. در موقع لازم برای تامین انرژی با انتقال سیال از مخزن پرفشار به کم‌فشار مانند موتور عمل کرده و در تأمین قدرت نقش دارد. همچنین این وسیله قادر است تا به کمک انرژی دریافتی از یک منبع دیگر (مотор احتراقی یا چرخ‌ها در هنگام ترمز) مانند یک پمپ عمل کرده و با انتقال سیال از مخزن کم‌فشار به پرفشار انرژی ذخیره کند. این سیستم شامل یک پیستون محوری<sup>۵</sup> می‌باشد که در شکل ۶ آمده است. در این سیستم می‌توان با تنظیم زاویه و در نتیجه حجم جابجایی پیستون‌ها توان خروجی را همانند شکل ۷ تغییر داد. همچنین این موتور نیازی به سوپاپ تغییر برای حالت‌های موتوری و پمپی (ترمز بازیاب) ندارد. همان‌طور که در شکل آمده است در زاویه ۴۵ درجه بیشترین توان تولیدی و در صفر درجه کمترین توان قابل حصول است.

<sup>5</sup> Swashplate



شکل ۶: موتور-پمپ جابجایی متغیر

### Adjustable to Power Demands Using Variable Position Yoke Assembly



19

شکل ۷: حالات مختلف عملکردی موتور-پمپ جابجایی متغیر

## موتور در چرخ

این نوع موتور با جانمایی مناسب در داخل چرخ، امکان کنترل هر یک از چرخها به طور دقیق را به همراه می‌آورد. استفاده از این نوع موتور<sup>۶</sup> صرفه‌جویی زیادی را به همراه دارد. همان‌طور که در شکل ۸ آمده است با استفاده از این سیستم دیگر نیازی به سیستم انتقال قدرت، دیفرانسیل و دیگر قطعات مکانیکی وابسته نمی‌باشد. این امر باعث کاهش وزن وسیله نقلیه و همچنین کاهش تلفات ناشی از اجزا مکانیکی می‌شود. با استفاده از موتورهای در چرخ می‌توان از

<sup>6</sup> In wheel motor



دانشگاه  
تقني

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

نیروی جلوبرنده با کنترل دقیقی که بر روی هر چرخ به وجود می‌آید، به طور بهینه استفاده کرد. همچنین با توجه به اینکه هیچ نوع وابستگی و ارتباطی مکانیکی بین چرخ و موتور احتراقی وجود ندارد، می‌توان در طراحی آن انعطاف بیشتری را به کار برد. در اتوبوس‌های هیبرید می‌توان مصرف سوخت را تا ۲۵ درصد کاهش داد.



شکل ۸: موتور در چرخ

### ۱-۲-۲- چگونگی توزیع قدرت در حین شتاب‌گیری و ترمز‌گیری

در هنگام ترمز‌گیری میل گارдан با انتقال انرژی از چرخ‌ها به موتور-پمپ حالت پمپی را فعال می‌کند و سیال هیدرولیکی از مخزن کم‌فشار به جمع کننده پرفشار منتقل می‌شود. در هنگام شتاب‌گیری حالت موتوری به کار می‌افتد و سیال از مخزن پرفشار خارج شده و وارد مخزن کم‌فشار می‌شود، این امر باعث انتقال نیرو به میل گارдан و چرخ‌ها می‌شود. سیستم هیبرید هیدرولیکی با بازده‌ای در حدود ۷۰ درصد است که قابل مقایسه با سیستم بازیاب انرژی در خودروهای هیبرید الکتریکی می‌باشد.

با توجه به بازده قطعات موجود در سیستم هیدرولیکی می‌توان چگونگی توزیع بازده را در هنگام شتاب‌گیری و ترمز‌گیری مطابق شکل ۹ رسم کرد. این داده‌ها متعلق به یک کامیون حمل و نقل کلاس ۶ می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است در هنگام ترمز‌گیری ۱۴ درصد از انرژی ناشی از ترمز‌گیری به دلیل اصطکاک تلف می‌شود و باقی انرژی با فعال شدن حالت پمپی به صورت فشار در مخزن پرفشار ذخیره می‌گردد. در هنگام شتاب‌گیری با فعال شدن حالت موتوری سیال عامل از مخزن پرفشار به کم‌فشار انتقال یافته و گشتاور تولیدی باعث افزایش سرعت خودرو می‌گردد. با توجه به بازده اجزا موجود در مسیر، حدود ۷۰ درصد از کل انرژی ناشی از ترمز‌گیری را می‌توان مجددًا بازیابی نمود.



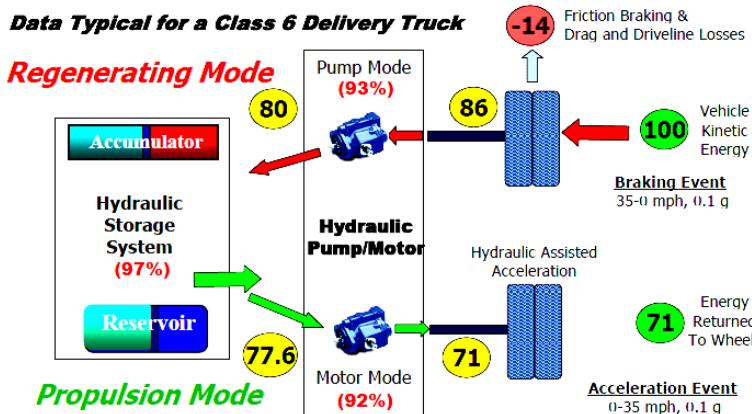
دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۹: توزیع قدرت در شتاب‌گیری و ترمز‌گیری

### ۱-۳ مقایسه سیستم‌های هیبرید الکتریکی و هیدرولیکی

با توجه به آنچه در مورد سیستم هیبرید هیدرولیکی گفته شد، می‌توان به مقایسه بین این نوع سیستم و سیستم هیبرید الکتریکی متداول پرداخت. در جدول ۱ بازده تک‌تک قطعات موجود در هر یک از سامانه‌ها و بازده میانگین سامانه به تفکیک آورده شده است. در سیستم‌های هیبرید هیدرولیکی چگالی انرژی بیشتری نسبت به هیبرید الکتریکی قابل دستیابی است. بنابراین، این سیستم‌ها برای خودروهای متوسط تا سنگین با توقف‌های زیاد بسیار مناسب‌ترند. اگرچه خودروهای هیبرید الکتریکی بسیار کارا هستند، ولی این سامانه در بعضی موارد دارای محدودیت‌هایی نیز هست که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- قیمت: قیمت نسل دوم باتری‌ها که سرعت شارژ بالاتری دارند، بسیار بالاست. قیمت مجموعه کامل باتری شورلت در حدود ۱۶ هزار دلار و مجموعه باتری‌های تسلا در حدود ۴۰ هزار دلار می‌باشد. هر دو مجموعه برای ۵۰۰ سیکل یا شارژ روزانه ۱۸ ماه طراحی شده‌اند. در حالی که در سیستم هیبرید هیدرولیکی مجموعه معادل موتور-پمپ و مخزن‌ها در حدود ۲۵۰۰ دلار هزینه دارند.

۲- زمان شارژ: این زمان نه تنها بر بازده کلی بلکه بر موثر بودن سیستم بازیاب نیز تاثیر دارد. شرکت تویوتا بازده ترمز بازیاب خود را در حدود ۳۰ درصد اعلام کرده است در حالی که بازده سیستم ترمز بازیاب در هیبرید هیدرولیکی در حدود ۷۰ درصد می‌باشد.

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی

۳- وزن باتری: وزن تاثیر مهمند در بازده کلی خودرو دارد حتی باتری های سبک مانند لیتیوم-یون هم نسبت به بقیه اجزای موتور دارای وزن زیادی هستند. مجموعه باتری تویوتا حدود ۱۵۰ lb به وزن پیروس اضافه می کند. مخزن های فیبر کربنی که معادل باتری در سیستم هیدرولیکی هستند ۷۵ lb وزن دارند.

۴- نگهداری: سامانه هیبرید الکتریکی به نسبت دیگر سامانه های هیبرید پیچیده تر است و جریان و ولتاژ بالای آن می تواند خطرناک باشد. در حال حاضر تعداد محدودی از متخصصان آموزش دیده برای تعمیر و نگهداری از این سیستم وجود دارد. خلاصه موارد ذکر شده در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱: مقایسه هیبرید الکتریکی و هیدرولیکی

سیستم	اجزا	بازده	چگالی انرژی W/kg	چگالی توان W/kg
الکتریکی	پمپ- موتور	٪ ۸۵-٪ ۹۶	---	۳۵۰۰
	جمع کننده	٪ ۹۵-٪ ۹۸	۱/۹	۲۵۰۰
	میانگین سیستم	٪ ۸۵	---	۱۴۵۸
	موتور- ژنراتور	٪ ۸۵-٪ ۹۴	---	۶۰۰
	قدرت الکتریکی	----	---	۳۰۰۰
	باتری	٪ ۷۷-٪ ۹۳	۳۰	۶۵۰
	میانگین سیستم	٪ ۵۰<	---	۲۸۳

سیستم ترمز بازیاب الکتریکی باعث افزایش ۲۵ درصدی در بهره وری مصرف سوخت در سیکل شهری و افزایش ۷ درصدی در بزرگراه ها می شود. مشکل استفاده از سیستم هیبرید الکتریکی در خودروهای سنگین مانند کامیون ها، نبودن باتری ها با ظرفیت بالا و عمر کافی می باشد. البته در آینده شاید بتوان این مشکل را با استفاده از ابرخازن ها<sup>۷</sup> رفع کرد. کمپانی Ricardo شبیه سازی مصرف سوخت را برای سیستم های هیبرید الکتریکی و مکانیکی در مورد یک کامیون حمل زباله انجام داده است. این بررسی در سیکل های متفاوت انجام شده است و نشان دهنده این است که سیستم های هیبرید در سیکل هایی با توقف های زیاد، صرفه جویی عمدہ ای را در مصرف سوخت به وجود می آورند (شکل ۱۰).

<sup>7</sup> Ultra Capacitor



دانشگاه  
تقني

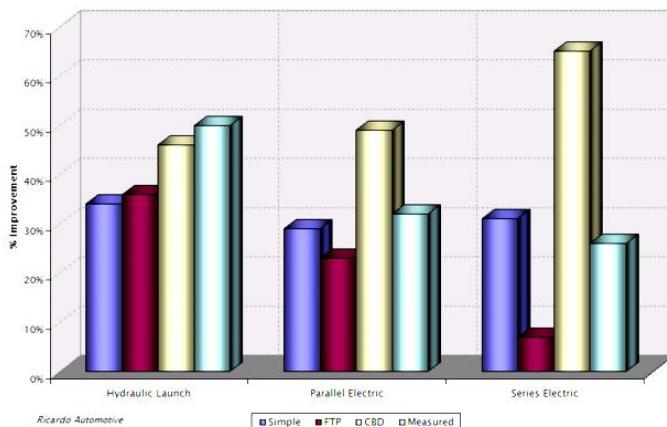
مرحله دوم

## تهیه چهار چوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

با فرضیات استفاده شده در مدل ریکاردو، سیستم هیدرولیکی بیشترین صرفه جویی را در مصرف سوخت در سیکل های حرکتی دارد.



شکل ۱۰: مقایسه هیبرید الکتریکی و هیدرولیکی در سیکل های متفاوت

### ۱-۱-۴- مزایا و معایب سیستم هیبرید هیدرولیکی

به دلیل قابلیت بازیابی مقدار قابل توجهی از انرژی در حین ترمزگیری، سیستم هیبرید هیدرولیکی برای خودروهایی که دائم در حال حرکت و توقف هستند بسیار مناسب است، برخی از معایب و مزایای سامانه هیبرید هیدرولیکی به طور خلاصه در زیر آمده است:

#### مزایا

- ۱- مصرف سوخت و آلودگی کمتر در مقایسه با خودروهای متعارف
- ۲- کاهش هزینه های عملیاتی نسبت به خودروهای معمولی
- ۳- عملکرد بهتر (شتانگیری بهتر)

#### معایب

- ۱- قیمت بالا ( معمولاً ۵ هزار دلار بالاتر از نمونه غیرهیبرید هستند)
- ۲- قطعات ید کی گران قیمت
- ۳- نیاز به افراد متخصص و تجهیزات پیشرفته جهت تعمیر و نگهداری

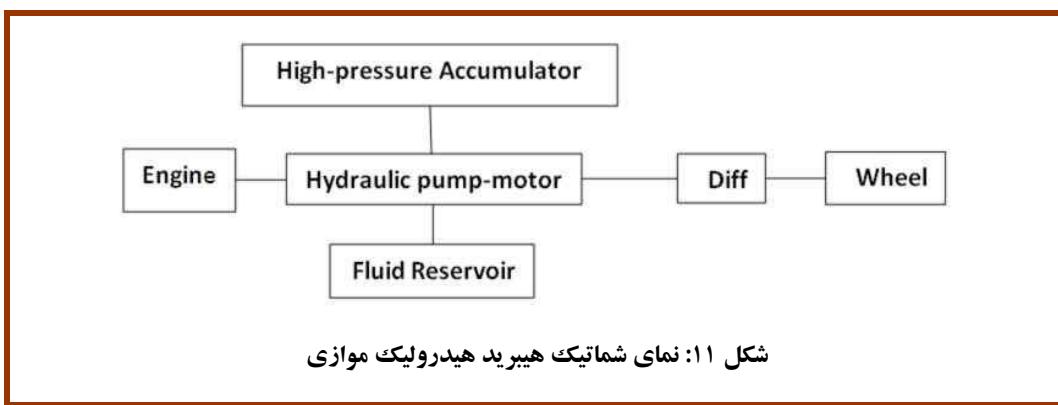
### ۱-۱-۵ انواع سیستم هیبرید هیدرولیکی

سیستم هیبرید هیدرولیکی به دو نوع موازی و سری تقسیم می‌شود که در ادامه به معرفی این دو سیستم پرداخته شده است.

#### سیستم هیبرید موازی

در شکل ۱۱ نمای شماتیک یک سیستم هیبرید موازی نشان داده شده است. این سیستم همانند سیستم‌های مرسوم دارای سیستم انتقال قدرت معمول است و یک موتور-پمپ هیدرولیکی برای اضافه یا کم کردن توان به آن اضافه شده است. سیستم موازی سرعت مورد درخواست سیکل حرکتی را از سرعت موتور جدا نمی‌کند. با این سیستم می‌توان تا حدود ۴۰ درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی کرد.

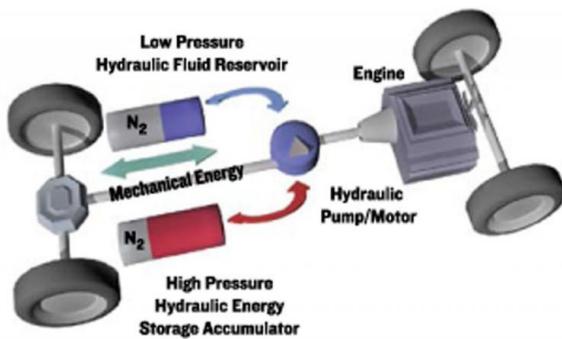
در شکل ۱۲ نیز ساختار یک هیبرید هیدرولیک موازی مشاهده می‌شود. در این سیستم موتور احتراقی با اتصال به موتور-پمپ می‌تواند علاوه بر تامین انرژی لازم برای ذخیره‌سازی سیال، به‌طور مستقیم در حرکت خودرو نیز نقش داشته باشد. در این سیستم اجزای هیبرید به سیستم انتقال قدرت مرسوم متصل می‌شوند. این سیستم به موتور احتراقی در هنگام شتاب‌گیری یه‌طور موازی کمک می‌کند. در سیستم هیبرید هیدرولیک موازی موتور احتراقی حتی در هنگامی که خودرو در توقف کامل است نیز خاموش نمی‌شود. در هنگام ترمز‌گیری انرژی با انتقال سیال از مخزن کم‌فشار به پرفشار بازیابی شده و در مرحله شتاب‌گیری به نیروی تولیدی توسط موتور احتراقی اضافه می‌شود.



این سیستم برای ترمزهای بازیاب بسیار مناسب می‌باشد. این سیستم در اتوبوس‌های ژاپنی در دهه ۸۰ و ۹۰ استفاده شده است. در سیستم موازی از موتور احتراقی برای شتاب‌گیری استفاده می‌شود. در این سیستم موتور احتراقی در هنگام ایست کامل خاموش نمی‌شود، و این به معنای این است که خودرو همواره در حال مصرف سوخت می‌باشد. شرکت-

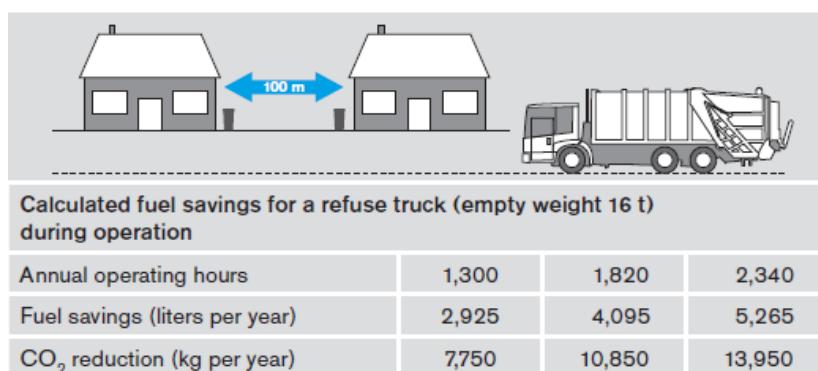
## تهیه چهارچوب اولیه طراحی

های Eaton و Peterbit با همکاری یکدیگر در حال ساخت کامیون‌های حمل زباله با استفاده از سیستم هیبرید مکانیکی موازی می‌باشند. کمپانی Eaton تخمین زده است که این سیستم قادر است ۲۵ تا ۳۵ درصد در مصرف سوخت صرفه - جویی کند و همچنین میزان گازهای آلینده را تا حدود ۳۵ درصد کاهش دهد. با استفاده از این سیستم میزان استهلاک در ترمز نیز ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. این سیستم قادر است گشتاورهای بالا را حتی در سرعت‌های کم بی‌درنگ تامین کند و برای کامیون‌های سنگین که توقف زیاد دارند، بسیار مناسب است.



شکل ۱۲: سیستم هیبرید موازی

به عنوان مثال برای یک کامیون حمل زباله با وزن خالی حدود ۱۶ تن استفاده از سیستم هیبرید هیدرولیکی موازی می‌تواند به طور تخمینی در مصرف سوخت تا حدود ۲/۲۵ لیتر (۰/۵۹ گالن) در ساعت همانند شکل ۱۳ صرفه‌جویی نماید. از این‌رو در هزینه سالیانه نیز صرفه‌جویی به سزایی به عمل می‌آید.



شکل ۱۳: صرفه‌جویی سوخت در سیستم موازی



دانشگاه فنی  
دانشکده فنی

مرحله دوم

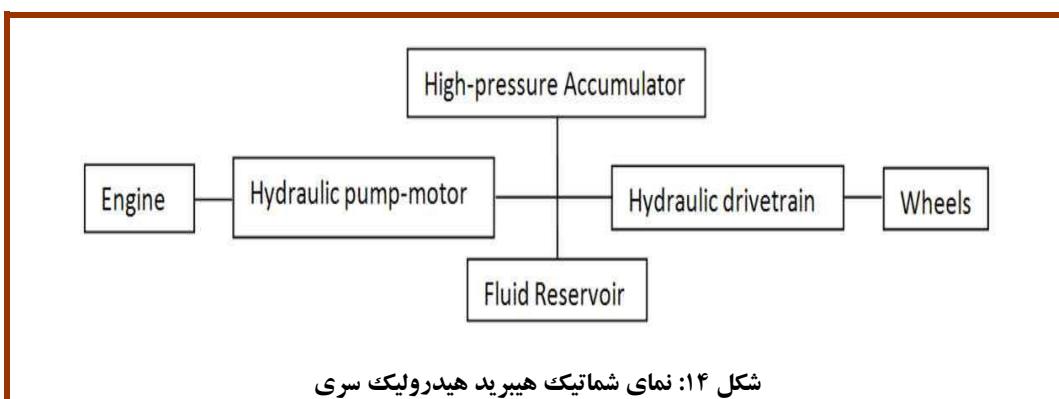
## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

### سیستم هیبرید سری

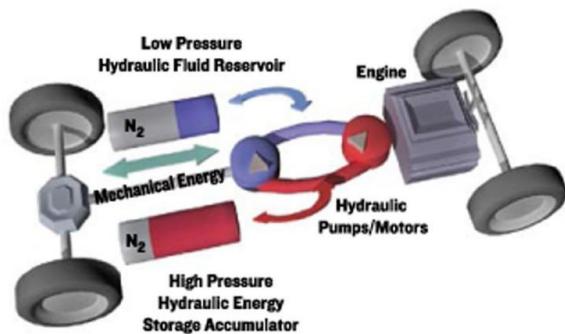
در این آرایش، سیستم انتقال قدرت مرسوم حذف می‌شود و موتور احتراق داخلی از چرخ‌ها و شرایط مستقل می‌گردد. نمای شماتیک یک سامانه هیبرید هیدرولیک سری در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود. در این سیستم موتور احتراقی تنها وظیفه تامین انرژی لازم برای موتور-پمپ را به عهده دارد. در این سیستم از انتقال قدرت مرسوم که توان را به طور مستقیم به چرخ‌ها انتقال می‌دهد، استفاده نمی‌شود. کاهش اجزایی که انرژی برای رسیدن به هدف باید از آنها عبور کند باعث افزایش بازده می‌شود. از آنجاییکه در هیبرید سری، سیستم هیدرولیکی چرخ‌ها را به حرکت درمی‌آورد، موتور احتراقی می‌تواند در هنگام ترمزگیری یا توقف جهت صرفه‌جویی بیشتر در مصرف سوخت خاموش شود. با این سیستم مصرف سوخت تا ۶۰ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۱).



شرکت Eaton و موسسه حفاظت از محیط زیست<sup>۸</sup> از اولین کامیون شهری هیبرید هیدرولیکی خود رونمایی کرده‌اند. موسسه حفاظت از محیط زیست اعلام کرده‌است که این خودرو قابلیت ۷۰ تا ۶۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف سوخت را دارد.

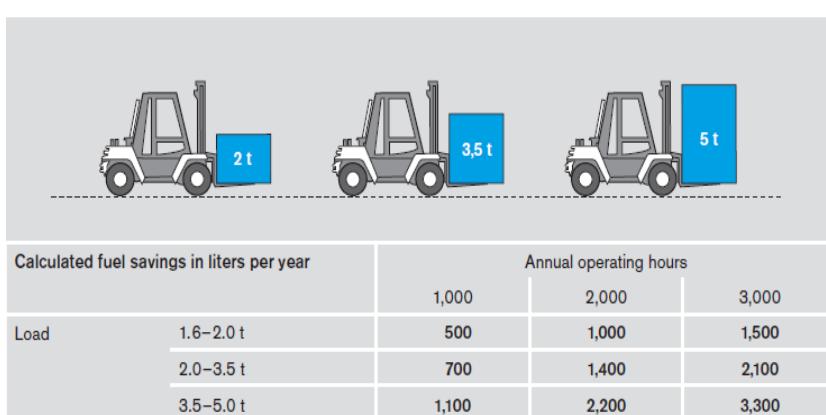
<sup>۸</sup> Environmental Protection Agency

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شکل ۱۵: سیستم هیبرید سری

شیوه‌سازی بر روی خودروهای بالابر<sup>۹</sup> صنعتی نیز نشان‌دهنده این است که استفاده از سیستم موازی مطابق با شکل ۱۶ می‌تواند مصرف سوخت را تا حدود ۱/۱ لیتر در ساعت (بار بین ۳/۵ تا ۵ تن) کاهش دهد.



شکل ۱۶: صرفه‌جویی سوخت در سیستم سری

نمونه دیگری از خودروهایی که دارای سیستم هیبرید هیدرولیکی سری می‌باشند، مدل "Ingo Car" است. در این خودرو نیز مانند دیگر خودروهای سری موتور احتراقی باعث حرکت چرخ‌ها نمی‌شود، در عوض با کارکردن در یک دور ثابت انرژی را در جمع کننده ذخیره می‌کند. این خودرو دارای ۴ موتور در چرخ می‌باشد و سایر مشخصات آن نیز در جدول ۲ آمده است.

<sup>۹</sup> Lift Truck



دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

### ۱-۲ هیبرید نیوماتیکی

در حقیقت در یک موتور هیبرید نیوماتیکی، همان‌طور که در شکل ۱۷ آمده است، از نیروی هوای فشرده برای حرکت پیستون استفاده می‌شود. ایده اصلی در سامانه هیبرید نیوماتیکی استفاده از موتور احتراقی نه تنها برای احتراق، بلکه به عنوان یک پمپ و موتور هوایی می‌باشد. در این سامانه هر سیلندر از موتور احتراقی توسط یک سوپاپ قابل تنظیم به یک مخزن هوای مشترک متصل می‌باشد. در مرحله ترمزگیری با قطع سوخت، موتور با عمل مکش و تراکم، هوای را به مخزن فشار بالا پمپ می‌کند. از این هوای فشرده مجدداً می‌توان برای راه اندازی وسیله استفاده کرد. همچنین با استفاده از یک سیلندر برای احتراق به صورت مرسوم و یک سیلندر دیگر برای پمپاژ هوای درون مخزن، می‌توان نقطه کاری موتور را تغییر داد. از هوای فشرده همچنین می‌توان برای افزایش قدرت موتور احتراقی به عنوان توروبوشارژر استفاده کرد. سیستم هیبرید نیوماتیکی قابل به کار گیری بر روی موتورهای دیزلی و بنزینی است.

جدول ۲: مشخصات خودرو Ingo

130 MPG diese (117 MPGe)	مصرف سوخت
2200 lbs	وزن
14.2*5.8*4.7	ابعاد (ft)
670 total: (2*230 Hp front and 2*105 HP back	قدرت موتور (HP)
5 seconds	شتاپ گیری (0-60 MPH)
93 MPH	سرعت ماکزیمم
5 miles accumulator only	محدوده کار
0.5 kWh, stored in hydraulic accumulator(sufficient for 600 HP*4s)	مشخصات باتری
4 hydraulic wheel motors	موتور در چرخ
60 Hp free-piston "near -hccl" diesel "combustion pump"	موتور
0.22*27.26	مساحت روپر و ضریب درگ



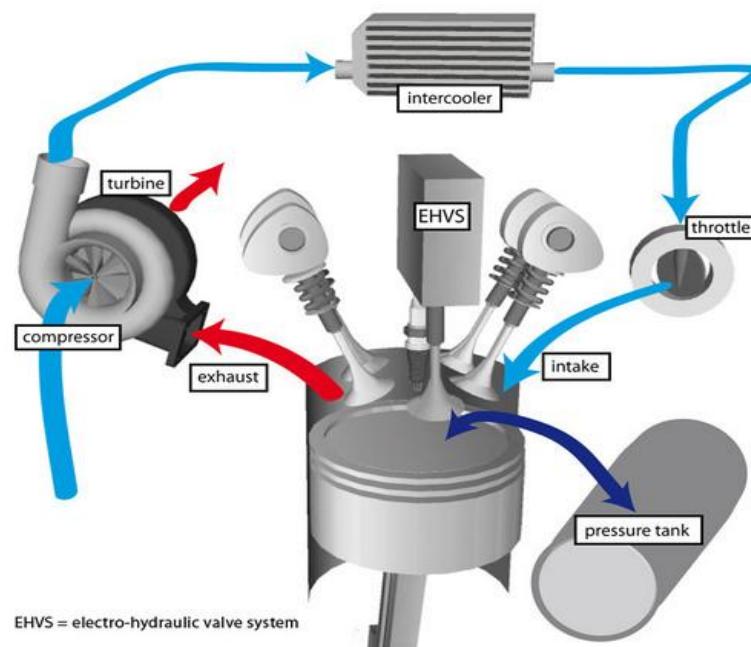
دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی مصرف سوخت



شکل ۱۷: سامانه هیبرید نیوماتیکی

اگرچه استفاده از این سیستم در موتورهای متعارف نیز با اعمال تغییراتی بر روی سرسیلندر امکان‌پذیر است ولی به دلیل برخی مسایل فنی از جمله مشکلات جانمایی، در دنیا تحقیقات بیشتر در رابطه با استفاده از این سیستم در موتورهای با سیکل شکسته (دارای دوسیلندر یکی برای تراکم و دیگری برای احتراق) صورت پذیرفته است. به همین دلیل در این قسمت به بررسی انواع سیکل‌های موجود و همچنین مشکلات موجود در سیکل‌های قدیمی‌تر پرداخته‌می‌شود.

### ۱-۲-۱ سیکل شکسته موتور

سیکل شکسته<sup>۱۰</sup>، چهار مرحله مکش، تراکم، قدرت و خروج دود را در دو سیلندر جدا ولی متصل بهم انجام می‌دهد. همانند شکل ۱۸ سیلندر اول برای مکش و تراکم استفاده می‌شود. سپس هوا فشرده شده از طریق یک مسیر عبوری به سیلندر دوم انتقال می‌یابد که مرحله احتراق و خروج دود در این سیلندر انجام می‌شود.

<sup>10</sup> Split-Cycle



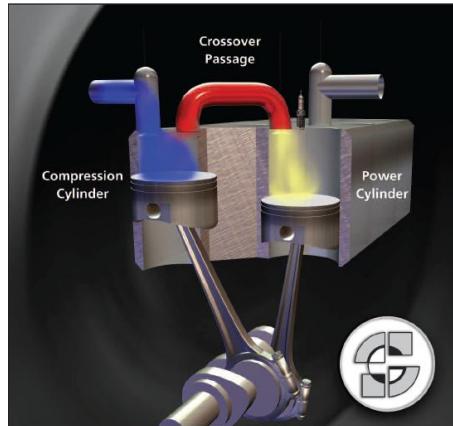
دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی صرف سوخت



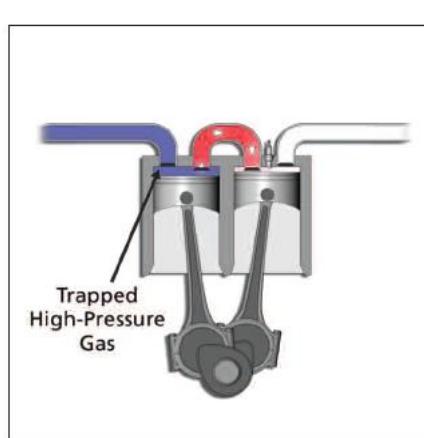
شکل ۱۸: سیکل شکسته موتور

### ۱-۲-۲ مشکلات سیکل شکسته موتور قدیمی

این سیستم دو مشکل عمده دارد که عبارتند از تنفس ضعیف (بازده حجمی) و بازده گرمایی کم. این مشکلات با تدابیری که در سیکل شکسته اسکودری در نظر گرفته شده است به نحوی رفع شده‌اند.

**تنفس (بازده حجمی)**

این مشکل ناشی از گیرافتادن گاز فشار بالا در سیلندر تراکم است. همان‌طور که در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود انساط مجدد این گاز قبل از ورود گاز جدید به داخل سیلندر سبب کاهش بازده حجمی می‌شود.



شکل ۱۹: گاز فشار بالا گیر افتاده در سیلندر تراکم

## بازده گرمایی کم

بازده گرمایی این نوع موتورها همواره کمتر از موتورهای مرسوم است بهدلیل اینکه همواره سعی بر آن بوده که احتراق قبل از رسیدن پیستون به نقطه بالا انجام شود. انفجار قبل از نقطه مرگ بالا سبب به دام افتادن هوای فشرده در مسیر بین دو سیلندر می‌شود که سبب از بین رفتن کار انجام شده بر روی هوا می‌شود.

### ۱-۲-۳ سیکل شکسته اسکودری

سیکل شکسته اسکودری<sup>۱۱</sup> مشکلات سیکل قبلی را حل می‌کند. مشکل تنفس با کم کردن فاصله بین پیستون و سر سیلندر تا حد یک میلیمتر انجام می‌پذیرد. این کار نیاز به استفاده از سوپاپ‌های از پیرون بازشونده دارد که پیستون را قادر می‌سازد تا حد امکان به سر سیلندر نزدیک شود. این عمل باعث می‌شود که هوای فشرده شده به طور کامل از سیلندر اول خارج شود.

مشکل بازده گرمایی کم نیز با به تأخیر اندختن احتراق تا بعد از نقطه مرگ بالا حل می‌شود. با این کار از فشرده شدن دوباره هوا جلوگیری به عمل می‌آید. از آنجایی که در این سیکل سیلندرها به طور مستقل از یکدیگر کار می‌کنند، نسبت فشرده شدن هوا در سیلندر تراکم توسط پدیده احتراق که در سیلندر دیگر اتفاق می‌افتد محدود نمی‌شود. می‌توان به نسبت تراکم‌هایی در حدود ۱۰۰:۱ در سیلندر تراکم رسید. میزان فشار در سیلندر تراکم و مسیر عبوری به ۵۰ بار (۷۳۵ psi) در موتورها با تنفس طبیعی<sup>۱۲</sup> و به ۱۳۰ بار (۱۹۰۰ psi) در موتورهای همراه با توربو شارژ<sup>۱۳</sup> می‌رسد.

هوایی که با این فشار وارد سیلندر قدرت می‌شود آشفتگی (توربولانس) زیادی به وجود می‌آورد. البته می‌توان این آشفتگی را از پیش با باز نگهداشت سوپاپ‌ها در هنگام احتراق تا جایی که امکان دارد، بالاتر برد. این امر سبب می‌شود تا مخلوط سوخت و هوا به سرعت اتمیزه شود و در نتیجه سرعت احتراق بالا رود. با استفاده از این دو عامل یعنی شروع سیکل با فشار بالا و سرعت بالای احتراق می‌توان بین ۱۱ تا ۱۵ درجه بعد از نقطه مرگ بالایی عمل احتراق را انجام داد. در حقیقت سیکل اسکودری ترکیبی از سیکل شکسته همراه با احتراق بعد از نقطه مرگ بالاست.

<sup>11</sup> Scuderi Split-Cycle

<sup>12</sup> Naturally Aspirated engine(NA)

<sup>13</sup> Turbocharged engine(TC)

## اجزای سیکل اسکودری

سوپاپ‌های ورودی و خروجی سوپاپ‌های نیوماتیکی هستند که به‌طور کامل از لحاظ زمان‌بندی و حرکت قابل تغییر هستند. هوای مورد نیاز برای حرکت این سوپاپ‌ها به‌طور داخلی از سیلندر تراکم تأمین می‌شود. از این سوپاپ‌ها به‌جای دریچه گاز برای تنظیم موتور در هنگام کار کرد استفاده می‌شود. یکی دیگر از اجزای مهم، سوپاپ‌های مسیر عبوری<sup>۱۴</sup> هستند. سوپاپ‌های استفاده شده برای مسیر عبوری بین دو سیلندر به‌وسیله‌ی بادامک فعال می‌شوند و طوری طراحی شده‌اند که به بیرون باز می‌شوند. از فنرهای هوایی که به وسیله سیلندر تراکم تغذیه می‌شوند برای برگشت این سوپاپ‌ها به جای خود استفاده می‌شود.

مسیر انتقال بین دو سیلندر مهم‌ترین قسمت در هیبرید نیوماتیکی می‌باشد. این مسیر اصلی‌ترین گزینه برای کنترل موتور می‌باشد. از این مسیر می‌توان برای کنترل احتراق زودرس<sup>۱۵</sup> با خنک‌کاری هوا بعد از مرحله تراکم استفاده کرد. این قابلیت فقط در موتورهای سیکل شکسته قابل به کارگیری است. به علاوه طراحی این مسیر و چگونگی ورود آن به سیلندر قدرت اثر مهمی بر مخلوط شدگی سوخت و هوا دارد. سیستم پاشش سوخت در این نوع موتورها منحصر به‌فرد می‌باشد. موتور اسکودری از اثربورهایی که با الگوی پاشش مشخصی طراحی شده‌اند، استفاده می‌کند. این اثربوره از نوع فشار بالا و تزریق مستقیم هستند که در فشار ۲۰۰ bar کار می‌کنند. با ترکیب الگوی اسپری شونده، فشار و زمان تزریق می‌توان مخلوط سوخت و هوای مناسب را تهیه کرد. پیستون قدرت طراحی منحصر به‌فردی دارد و سر آن دارای طرحی به شکل کلیه برای بهبود در مصرف سوخت می‌باشد. هندسه خاص پیستون باعث به وجود آمدن جریان‌های دایره‌ای در داخل سیلندر و افزایش راندمان احتراق می‌گردد. با این نوع طراحی می‌توان از حداکثر قدرت تولیدی به‌طور بهینه استفاده نمود. این موتور دارای سیستم کنترل<sup>۱۶</sup> ضربه سوپاپ‌ها می‌باشد. ترکیب سوپاپ‌های از بیرون بازشونده با حرکت کم و زمان‌بندی سریع نیاز به یک سیستم کنترل ضربه منحصر به فرد دارد که بتواند همه حالت‌هایی که سوپاپ‌ها در آن کار می‌کنند را پوشش دهد.

<sup>14</sup> Crossover Valves

<sup>15</sup> Knock

<sup>16</sup> Valve Lash Control



دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

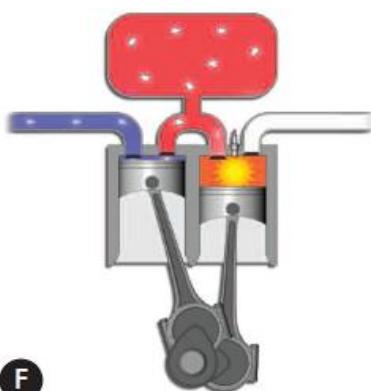
## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی صرف سوخت

### سیکل شکسته همراه با توربوشارژ

همان طور که در شکل ۲۰ آمده است از مسیر انتقال بین دو سیلندر می‌توان به عنوان وسیله‌ای برای خنک کردن هوای فشرده شده استفاده کرد به همین دلیل سیکل اسکودری همراه با توربوشارژ<sup>۱۷</sup> مقاومت بالایی نسبت به احتراق زودرس دارد. این امر باعث می‌شود که بتوان فشار را تا حدود ۲/۵ bar (مطلق) بالا برد. در حالی که موتورهای معمولی افزایش فشاری معادل ۱/۵ bar دارند.

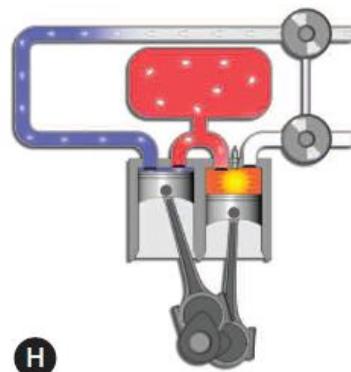


شکل ۲۰: سیکل شکسته همراه با توربوشارژ

### ۱-۲-۴ طراحی سیستم هیبرید نیوماتیکی

از آنجائی که موتور اسکودری در یک کمپرسور از یک طرف و یک موتور در طرف دیگر تشکیل شده است، به راحتی می‌توان با اضافه کردن یک مخزن ذخیره هوا و برخی کنترل‌ها آن را به یک سیستم هیبرید همانند شکل ۲۱ تبدیل نمود. از آنجایی که مدل توربوشارژی این موتور در فشار ۱۳۰ bar کار می‌کند، می‌توان مقدار قابل توجهی از انرژی را در مخزن ذخیره کرد.

<sup>۱۷</sup> Turbocharged Split-Cycle Engine



شکل ۲۱: هیبرید نیوماتیکی

در حقیقت در یک موتور هیبرید نیوماتیکی از نیروی هوای فشرده برای بالا و پایین بردن پیستون استفاده می‌شود. برای حرکت اجسام به کمک هوای فشرده وزن فاکتور مهمی می‌باشد، از این‌رو بدنه این نوع موتورها معمولاً از آلومینیوم ساخته می‌شوند. خودروی ساخته شده توسط <sup>۱۸</sup>ZPM تنها ۱۸۷۴ lb وزن دارد.

یک نمونه آشنا از این دسته موتورها مربوط به موتورهای ZPM می‌باشد. در این نوع موتورها حدود ۳۲۰۰ فوت مکعب هوای فشرده در یک مخزن ساخته شده از فیبر کربن در فشار ۴۵۰۰ psi نگهداری می‌شود. دلیل استفاده از فیبر کربن مقاومت بالا و همچنین منفجر نشدن آن در هنگام پارگی در مخزن است. شکل ۲۲ چگونگی کار کرد یک موتور هوایی را نشان می‌دهد. در این نوع موتور در سرعت‌های زیر ۳۵ مایل بر ساعت آلدگی به صفر می‌رسد. در سرعت‌های بالاتر کمی سوخت برای تولید هوای فشرده سوزانده می‌شود. با توجه به رابطه (۱)، میزان مصرف سوخت آن محاسبه می‌شود. بر اساس این رابطه این خودرو قادر است با مصرف ۸ گالن سوخت به همراه یک تانک از هوای فشرده، حدود ۸۵۰ مایل حرکت کند.

$$1 \text{ tank of air} + 8 \text{ gallons of gas} = 848 \text{ mile range} \quad (1)$$

<sup>۱۸</sup> Zero Pollution Motor



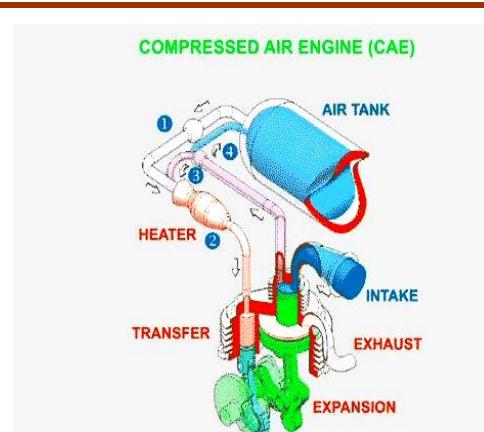
دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی صرف سوخت



شکل ۲۲: سیکل هیبرید هوایی

در سرعت‌هایی در حدود ۳۵ mph نظر دی‌اکسید کربن خودروی نیوماتیکی هماندازه نصف آلودگی تویوتا پیروس در یک مایل است. (۱۴ lb/۰.۳۴ lb برای خودروی هوایی و در حدود ۰/۳۴ lb برای تویوتا پیروس). ZPM درصد است تا خودروی شش نفره‌ای با توان ۷۵ اسب بخار را در آینده به بازار عرضه کند.

### ۳-۱ هیبرید مکانیکی فلاپلیل

هیبرید مکانیکی فلاپلیل نوعی از سیستم هیبریدی است که از فلاپلیل به عنوان سیستم ذخیره انرژی ثانویه استفاده می‌کند. فلاپلیل در گذشته در برخی وسایل نقلیه بزرگ مثل اتوبوس‌های شهری به صورت منبع اولیه ذخیره و تامین انرژی استفاده می‌شده. در حال حاضر عمده استفاده از این سیستم در خودروهای مسابقه‌ای فرمول یک است. البته تحقیقات بر روی استفاده از این سیستم در خودروهای عادی و همچنین سیستم حمل و نقل عمومی و خدماتی ادامه دارد. در شکل ۲۳ یک سیستم فلاپلیلی کوچک جهت استفاده در خودروهای فرمول یک نمایش داده شده است.



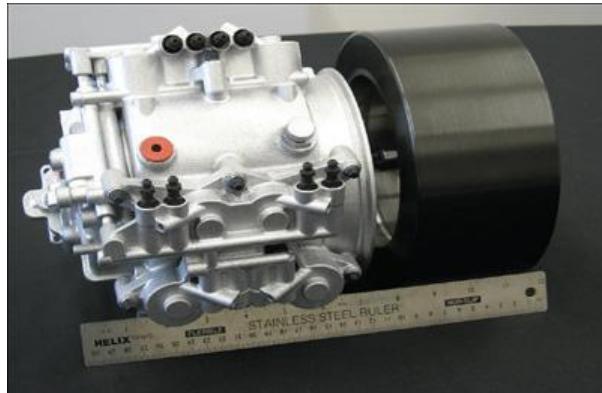
دانشگاه  
تقني

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملي نفت ايران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۲۳: فلاپویل کوچک مورد استفاده در خودرو

در سیستم هیبرید فلاپویلی، انرژی تولید شده توسط موتور و همچنین سیستم ترمز بازیاب با استفاده از یک جعبه‌دنده و کوپلینگ به فلاپویل منتقل شده و فلاپویل این انرژی را به صورت انرژی جنبشی ذخیره می‌کند. استفاده از گیربکس به علت تفاوت زیاد سرعت دوران فلاپویل‌ها در مقایسه با سرعت دوران موتور در کار عادی و یا سرعت دوران چرخ‌ها ضروری می‌باشد.

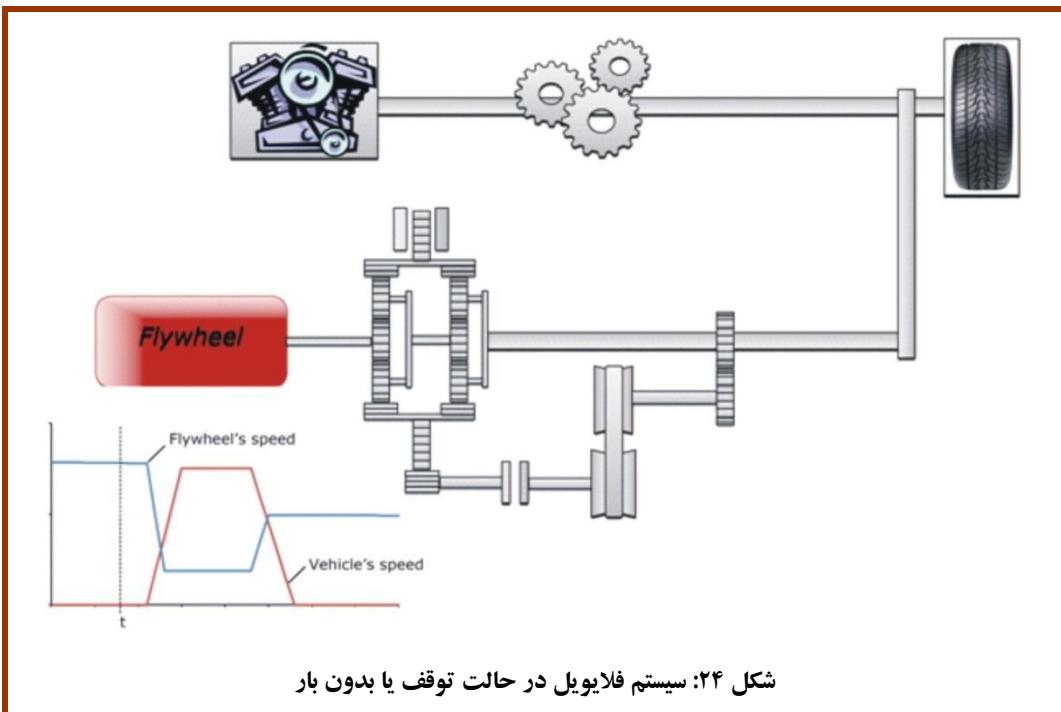
### ۱-۳-۱ چگونگی توزیع قدرت در حین شتاب‌گیری و ترمز‌گیری

در این قسمت به شرح تفصیلی نحوه عملکرد سیستم هیبرید فلاپویل در حالات مختلف کاری خودرو و چگونگی ارتباط و چگونگی ارتباط اجزا مختلف پرداخته می‌شود. ساختارهای متفاوتی جهت استفاده از فلاپویل در خودرو قابل استفاده هستند که در این بخش به نمونه‌ای که در آن به صورت موازی از طریق یک مبدل خاص که از یک CVT و یک جعبه‌دنده سیاره‌ای استفاده شده است، اشاره شده است.

- شکل ۲۴ وضعیت سیستم کلی انتقال قدرت خودروی هیبرید فلاپویلی را در حالت خلاص نمایش می‌دهد. در این حالت خودرو در حالت توقف کامل قرار دارد و سرعت فلاپویل در حالت بیشینه خود قرار دارد. این وضعیت در نمودار شماتیک نمایش داده شده در قسمت پایین شکل ۲۴ دیده می‌شود. در این حالت کلچی که بین جعبه‌دنده سیاره‌ای<sup>۱۹</sup> و CVT<sup>۲۰</sup> قرار دارد، آزاد است. تنها عامل تغییرات سطح انرژی فلاپویل اتلاف-های موجود در سیستم فلاپویل و گیربکس سیاره‌ای می‌باشد.

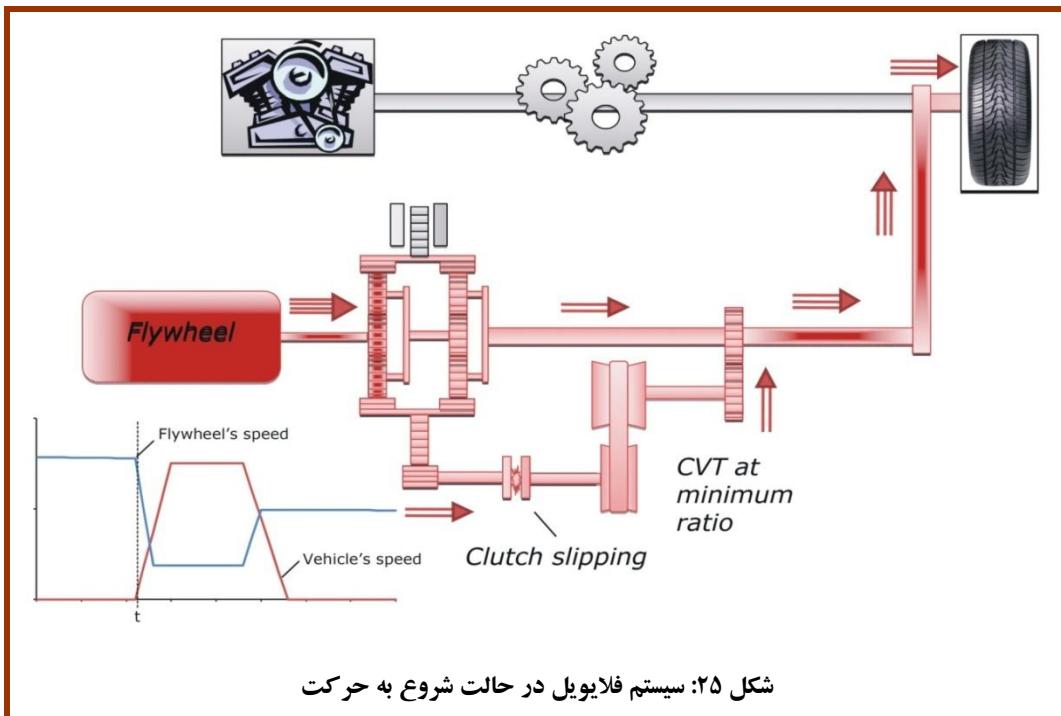
19 Planetary Gear Box

20 Continuously Variable Transmission

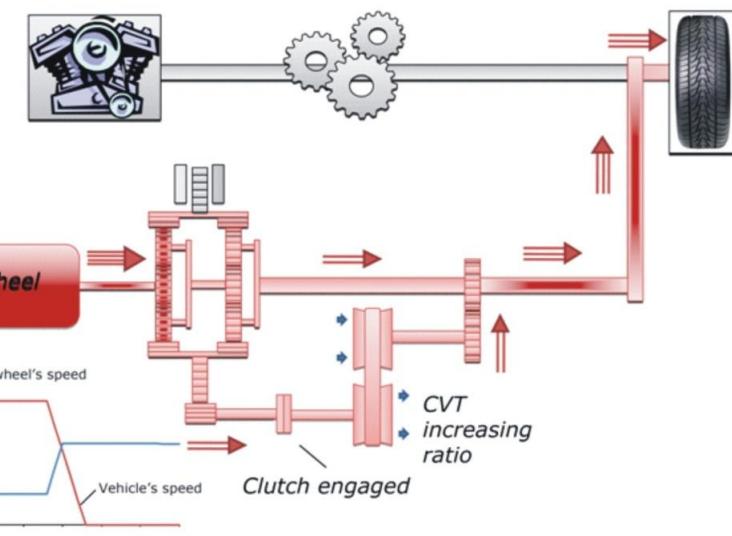


- هنگامی که خودرو شروع به حرکت می‌کند، فلاپریل انرژی خود را به چرخ‌ها منتقل می‌کند و درنتیجه خودرو شتاب می‌گیرد (شکل ۲۵). کلاچ در لحظه شتاب گیری درگیر شده و ارتباط بین خروجی گیربکس سیارهای و CVT برقرار می‌شود. به ترکیب گیربکس سیارهای و گیربکس CVT<sup>۲۱</sup> گفته می‌شود.

<sup>۲۱</sup> Infinitely Variable Transmission

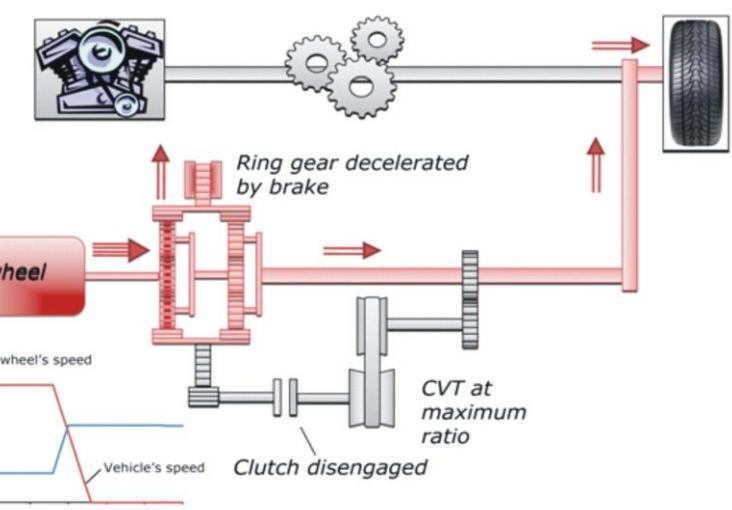


- در حالت افزایش سرعت، کلاچ کاملاً در گیر است و همچنان از سرعت فلاپلیل کاسته شده، به سرعت خودرو افزوده می‌شود. به منظور افزایش سرعت خودرو، گیربکس CVT به نحوی که در شکل ۲۶ دیده می‌شود، نسبت سرعت خروجی به ورودی را افزایش می‌دهد. در نمودار شماتیک وضعیت سرعت فلاپلیل و خودرو در قسمت پایین شکل ۲۶ دیده می‌شود که سرعت فلاپلیل در حال کاهش، و در مقابل سرعت خودرو در حال افزایش را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶: سیستم فلاپیول در حالت افزایش سرعت

- در حالت هم سرعت، همان‌طور که در شکل ۲۷ دیده می‌شود، سرعت چرخ‌ها با سرعت چرخش فلاپیول متناسب است. کلاچ آزاد و CVT خلاص است. در این حالت ترمز اصطکاکی حلقه را ثابت نگه می‌دارد و درنتیجه فلاپیول مستقیم به چرخ‌ها متصل است.



شکل ۲۷: حرکت با کمک فلاپیول با درگیری ترمز چرخدنده حلقه



دانشگاه  
تقني

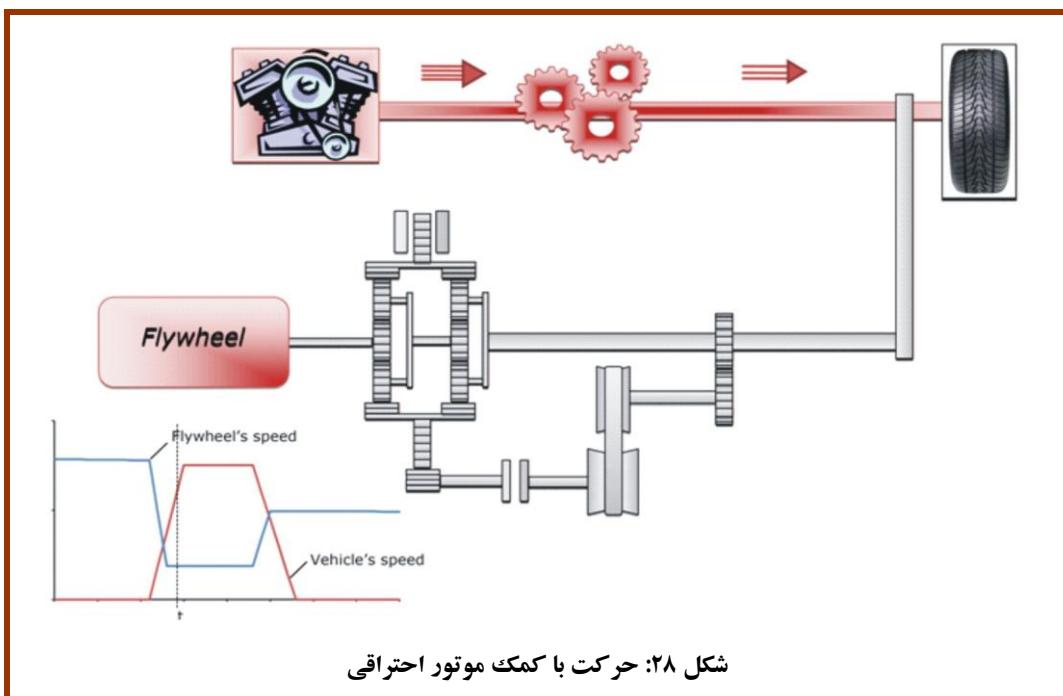
مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی

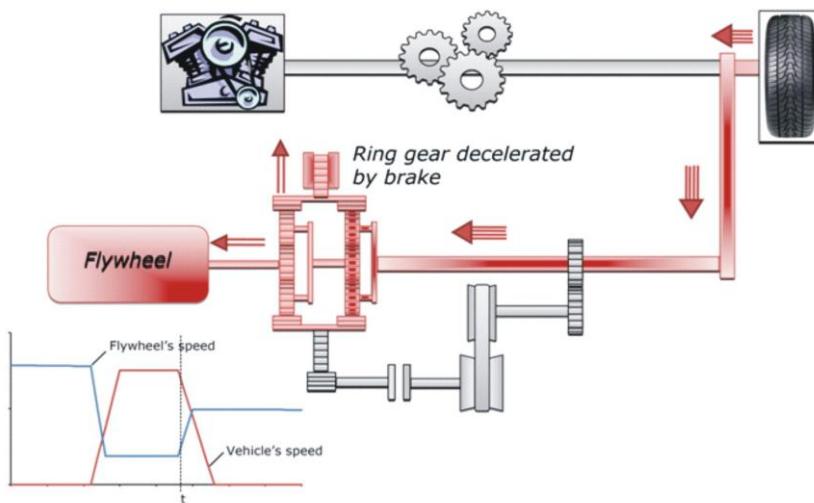


شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

- در حرکت عادی، خودرو مثل یک خودروی عادی از موتور احتراق داخلی انرژی دریافت می‌کند و به حرکت خود ادامه می‌دهد. همان‌طور که در نمودار شماتیک شکل ۲۸ دیده می‌شود، در این حالت سرعت فلایویل ثابت می‌ماند زیرا کلاچ آزاد بوده و فلایویل با سیستم انتقال قدرت در گیر نمی‌باشد.

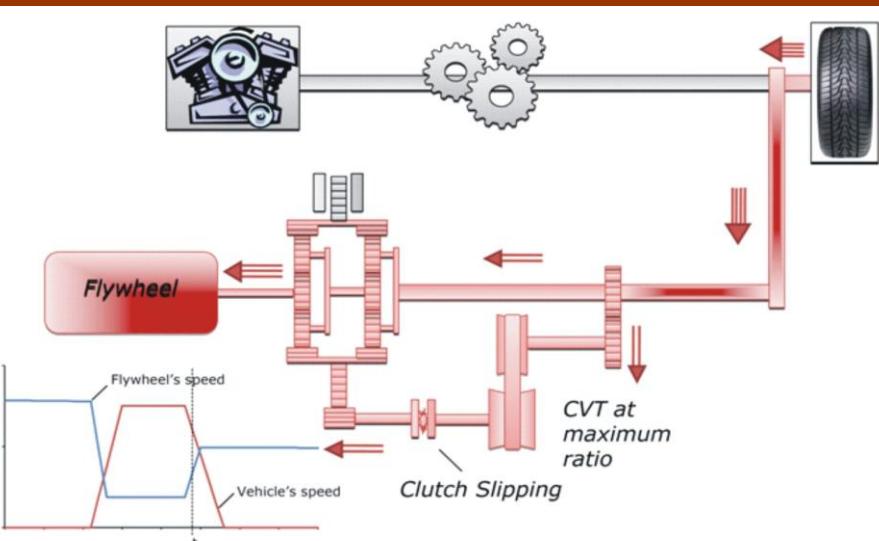


- در هنگام آغاز ترمزگیری درحالی که سرعت فلایویل کم است، فلایویل با استفاده از انرژی بازیابی شده از ترمز و به طور مستقیم و بدون استفاده از سیستم CVT (شکل ۲۹) شارژ می‌شود.



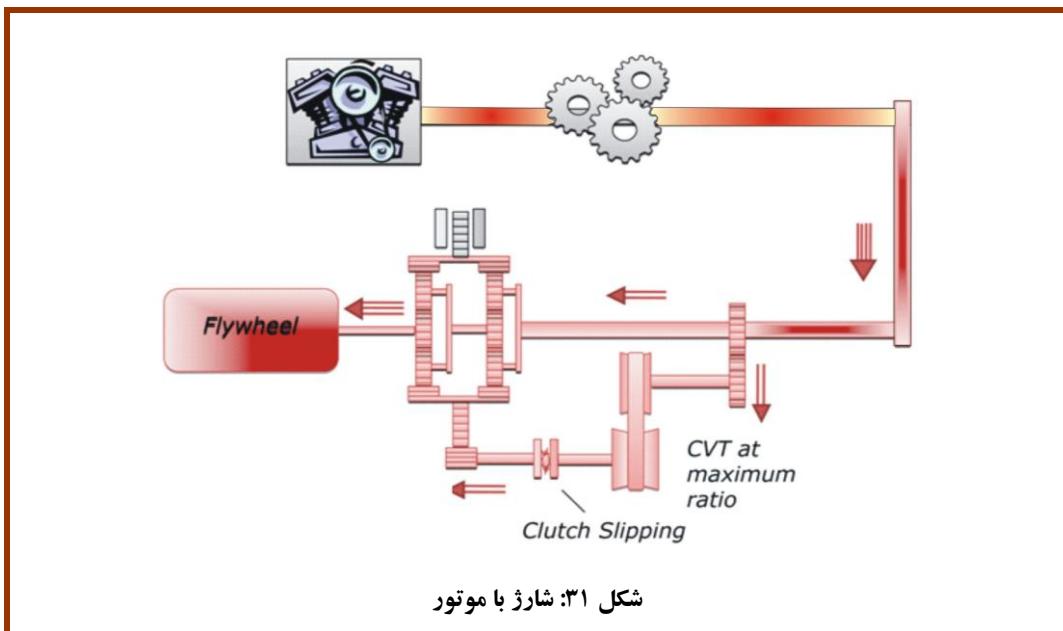
شکل ۲۹: شارژ مستقیم

- درین ترمز گیری با افزایش سرعت فلاپول نسبت به سرعت موتور هنگام شارژ، برای شارژ کردن فلاپول باید از گیربکس CVT جهت افزایش سرعت ورودی به فلاپول استفاده کرد. از این جهت در این مرحله همان‌طور که در شکل ۳۰ دیده می‌شود، در حالت بیشترین نسبت تبدیل وجود دارد، کلاچ در گیر می‌شود و کمترین نسبت تبدیل نهایی را در خروجی تولید می‌کند. با افزایش سرعت فلاپول نسبت تبدیل نیز به طور پیوسته تغییر می‌کند و نسبت خروجی به ورودی را تنظیم می‌کند.



شکل ۳۰: شارژ با CVT

- علاوه بر حالات فوق که بیانگر تبادل انرژی بین چرخ و فلاپلیویل هستند، حالت شارژ فلاپلیویل توسط موتور نیز امکان‌پذیر است. در شکل ۳۱ نحوه شارژ فلاپلیویل توسط موتور احتراق داخلی نمایش داده شده است. این حالت شارژ در هردو حالت حرکت با نیروی موتور و خلاص امکان‌پذیر است.



### ۱-۳-۲-۳ اجزا و قطعات استفاده شده در سیستم هیبرید فلاپلیویلی

برخلاف انواع دیگر هیبرید که دارای اجزای زیادی هستند، سیستم هیبرید فلاپلیویل فقط از دو قسمت گیربکس و فلاپلیویل تشکیل یافته است. البته این دو تجهیز بسیار خاص و دارای پیچیدگی‌های منحصر به فردی هستند که در ادامه به توضیح دقیق هر یک پرداخته می‌شود.

#### فلاپلیویل

فلاپلیویل یا چرخ طیار قطعه‌ای است که انرژی لازم در قالب انرژی جنبشی دورانی (انرژی موجود در جرم با تکانه زاویه‌ای) در آن ذخیره می‌شود. فلاپلیویل‌ها در انواع متفاوتی تولید شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای آشنایی بیشتر با این قطعه، خواص اصلی آن که عبارت از جنس، طول و هندسه هستند، بررسی شوند.

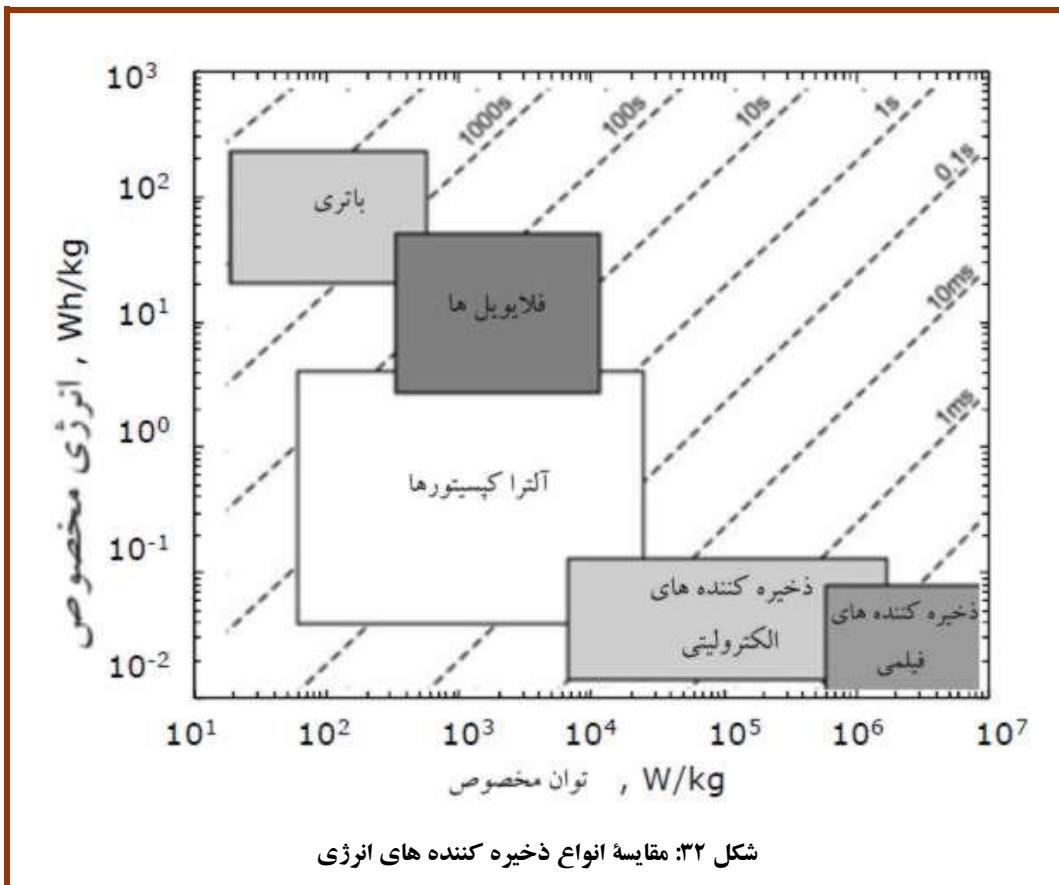
فلاپلیویل‌ها از نظر مقدار توان ورودی و خروجی در هر لحظه، وضعیت بهتری نسبت به باتری‌ها دارند. اما میزان ذخیره انرژی در فلاپلیویل‌ها در مقایسه با باتری‌ها کمتر است. شکل ۳۲ وضعیت انواع منابع ذخیره‌کننده انرژی الکتریکی و

## تهیه چهار چوب اولیه طراحی

فلایویل را در مقایسه با هم نمایش می‌دهد. مقدار انرژی ذخیره شده در فلایویل به صورت تابعی از توان دوم سرعت زاویه- ای و ممان اینرسی روتور بدست می‌آید

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2)$$

که در آن  $I$  ممان اینرسی فلایویل و  $\omega$  سرعت زاویه‌ای آن می‌باشد.



### جنس فلایویل

فلایویل‌های مختلف با جنس‌های مختلف توانایی ذخیره انرژی یکسانی ندارند. یکی از عوامل محدود کننده مقدار انرژی ذخیره شده در یک فلایویل، ماده تشکیل دهنده آن است. با افزایش سرعت چرخش فلایویل تنش وارد شده به آن بیشتر می‌شود. بنابر این یکی از عوامل محدود کننده سرعت فلایویل مقدار تنش کششی و برشی ماکزیمم قابل تحمل ماده تشکیل دهنده آن است. با استفاده از همین مقادیر سرعت حدی برای هر فلایویل محاسبه می‌شود. سرعت حدی مقدار



دانشگاه  
تکنولوژی  
اصفهان

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

بیشینه سرعت زاویه‌ای یک فلاپویل است که با توجه به مقدار تنفس کششی تسلیم ماده تشکیل دهنده فلاپویل بدست می‌آید.

فلاپویل‌ها از نظر ماده تشکیل دهنده روتور به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند. در دسته اول، روتور از مواد مرکب پیشرفته ساخته شده است که نسبت استحکام به وزن بسیار بالای دارد. انرژی جنبشی جسم دور با جرم نسبت مستقیم و با توان دوم سرعت زاویه‌ای رابطه مستقیم دارد. بنابراین افزایش استحکام کششی جسم و درنتیجه، افزایش سرعت حدی، همراه با کاهش وزن آن به همان نسبت باعث افزایش انرژی ذخیره شده در آن می‌شود. این خاصیت به روتور این قابلیت را می‌دهد که انرژی مخصوص <sup>۲۲</sup> زیادی داشته باشد. نمونه‌ای از این نوع فلاپویل‌ها در شکل ۳۳ نشان داده شده است. در دسته دوم معمولاً از فولاد به عنوان ماده تشکیل دهنده روتور استفاده می‌شود. این نوع علاوه بر فلاپویل‌های قدیمی که خصوصیات اصلی آنها، شعاع زیاد، سرعت دورانی کم، توان و تراکم انرژی کم است، بعضی از انواع فلاپویل‌های جدید را هم در بر می‌گیرد.



شکل ۳۳: فلاپویل کامپوزیتی

همانطور که بیان شد، بیشترین میزان ذخیره انرژی در فلاپویل با توجه به حد نهایی استحکام کششی فلاپویل مشخص می‌شود. بیشینه انرژی مخصوص (بر واحد جرم) که در یک فلاپویل ذخیره می‌شود،  $E_{sp}$  عبارت است از:

$$E_{sp} = K_s \frac{\sigma_m}{\rho} \quad (3)$$

در این معادله  $\sigma_m$  استحکام کششی بیشینه فلاپویل،  $\rho$  جرم حجمی فلاپویل و  $K_s$  ضریب شکل فلاپویل می‌باشد. وابستگی  $E_{sp}$  به خصوصیات ماده که متناسب به استحکام کششی و معکوس جرم حجمی است، به وضوح بیانگر این نکته

<sup>۲۲</sup> Specific Energy

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی

است که در تعیین جنس فلاپریل، باید جنسی انتخاب شود که با جرم حجمی کمتر، استحکام کششی بالاتری داشته باشد. بنابراین مواد کامپوزیت انتخاب مناسبی برای فلاپریل می‌باشند. جدول ۳ مقایسه انرژی بین فلاپریل‌های فرضی با مواد مختلف را با فرض  $K = 5/5$  نمایش می‌دهد.

جدول ۳: مؤلفه‌های فیزیکی فیبرهای تجاری مورد استفاده

جنس روتور	$\sigma_m$ (GPa)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E_{sp}$ (Wh/kg)
E-glass	۳/۵	۲۵۴۰	۱۹۰
S-glass	۴/۸	۲۵۲۰	۲۶۵
Kevlar	۳/۸	۱۴۵۰	۳۷۰
Spectra 1000	۳/۰	۹۷۰	۴۳۰
T-700 Graphite	۷/۰	۱۷۸۰	۵۴۵
T-1000 Graphite (projected)	۱۰/۰	-	۷۸۰
Managing steel	۲/۷	۸۰۰۰	۴۷

همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، فلاپریل‌های با بیشترین استحکام کششی از جنس فولاد نیستند. بلکه از مواد مرکب تقویت شده می‌باشند. فلاپریل‌های کامپوزیتی علاوه بر توان ذخیره انرژی بیشتر، از این‌منی بالاتری نیز برخوردارند، زیرا طراحی آنها به‌نحوی است که هنگام افزایش تنش وارد به بیش از حد استحکام، تخریب فلاپریل به صورت ورقه ورقه شدن از سطح آن صورت می‌گیرد، در حالی که در فلاپریل‌های فولادی هنگامی که تنش از استحکام نهایی عبور کند فلاپریل منفجر می‌شود و باعث صدمه و تخریب زیادی می‌شود. نمونه‌ای از ابعاد تخریب هنگام گسیخت یک فلاپریل فولادی در شکل ۳۴ نمایش داده شده است.



شکل ۳۴: تصویری از صحنه گسیخت یک فلاپویل فولادی

در مقابل، در شکل ۳۵ تصویری از صحنه گسیخت یک فلاپویل از جنس کامپوزیت دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بدنه فلاپویل هنگام گسیخت به صورت رشته‌های ریزی با سرعت شعاعی نسبتاً کم درآمده و بنابراین آثار تخریبی به مراتب کمتری را از خود بجای گذاشته است.



شکل ۳۵: تصویری از صحنه گسیخت یک فلاپویل کامپوزیتی



دانشگاه  
بهشتی

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

### هندسه فلایویل

هنده فلایویل معمولاً به نحوی انتخاب می شود که چگالی انرژی و یا انرژی مخصوص را بیشینه کند. برای بیشینه کردن ممان اینرسی می توان جرم حجمی فلایویل و همین طور فاصله جرم فلایویل از محور دواران را افزایش داد.

با استفاده از معادله انرژی مخصوص طراحی های مختلف روتور بر حسب فاکتور شکل معلوم می شود. ضریب شکل ( $K_s$ ) بیانگر کارایی شکل روتور فلایویل در حالت تنش محدود است. در جدول فاکتور شکل بعضی از اشکال ساخته شده از مواد همگون<sup>۲۳</sup> مشاهده می شود.

جدول ۴؛ ضریب شکل برای هندسه های مختلف (ماده همگون)

شکل روتور	شکل سطح مقطع	$K_s$
دیسک پهن بدون سوراخ		۰/۶۱
لبه نازک		۰/۵۰
قاب و شبکه		۰/۴۰
دیسک پهن سوراخ شده		۰/۳۱

در مورد مواد ناهمگون<sup>۲۴</sup> مثل کامپوزیت های کربنی، یافتن شکل بهینه به سادگی ذکر شده نیست. بیشینه تنش در این مواد فقط به شکل روتور بستگی ندارد، بلکه به ساختار مواد مرکب، نحوه ساخت، شرایط بارگذاری و فاکتورهای دیگر مثل حالات های شکست نیز وابسته است. برای بدست آوردن شکل بهینه در مواد کامپوزیتی رابطه مستقیمی وجود ندارد؛ در این موارد از روش های عددی مانند الگوریتم ژنتیک استفاده می شود (شکل ۳۶).

<sup>23</sup> Isotropic

<sup>24</sup> Anisotropic



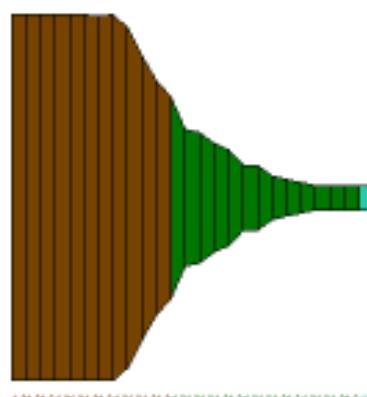
دانشگاه  
 شهرکرد

مرحله دوم

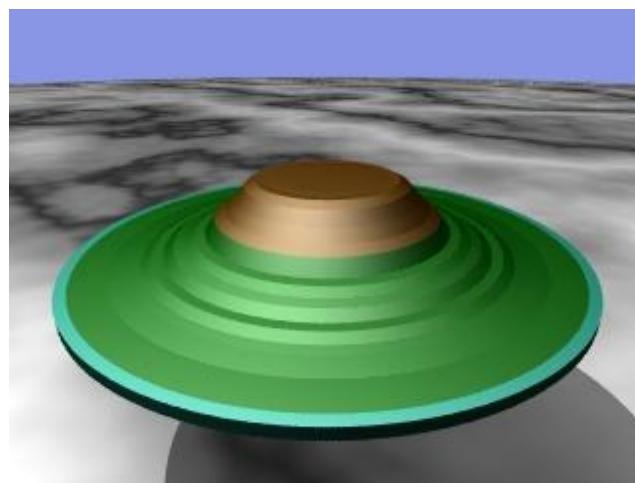
## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی صرف سوخت



نمونه هندسه بهینه



شکل ۳۶: نمای ۳ بعدی فلاپویل و نمای ۲ بعدی فرایند یافتن هندسه بهینه

البته در سیستم‌های فلاپویلی استفاده شده در خودروها استفاده از شکلی که از نظر میزان ذخیره انرژی بهینه شده باشد، بعulet کمبود فضا مقدور نمی‌باشد. در این سیستم‌ها در نظر داشتن مسائل مربوط به جانمایی امری ضروری می‌باشد. شکل ۳۷ تصویری از فلاپویل کامپوزیتی مورد استفاده در خودرو را نمایش می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود شکل فلاپویل مورد استفاده در خودروها شکلی کاملاً متفاوت با شکل بهینه‌سازی شده دارد.



دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۳۷: تصویر فلاپلیل کامپوزیتی مورد استفاده در خودرو

### طول فلاپلیل

با توجه به رابطه مستقیم وزن فلاپلیل و مقدار انرژی ذخیره شده، افزایش طول فلاپلیل باعث افزایش ظرفیت ذخیره انرژی درون آن می‌شود و به نظر می‌رسد که افزایش طول فلاپلیل تا جایی که محدودیت فضای مشکلی ایجاد نکند، امری مطلوب باشد. نکته‌ای که در اینجا توجه به آن حائز اهمیت است تاثیر طول فلاپلیل بر ارتعاشات آن است.

طول بهینه فلاپلیل با توجه به مسائل دینامیکی و ارتعاشی مشخص می‌شود. در زمینه ارتعاشات جسم دوران هم مدهای تشديد جسم صلب و هم انعطاف‌پذیر<sup>۲۵</sup> را باید در نظر گرفت. اگر یاتاقان‌های سیستم خشک و غیر قابل انعطاف باشند، تمام حالت‌های تشديد بالاتر از شرایط کاری رخ می‌دهند که قابل قبول نمی‌باشد<sup>۲۶</sup>. بنابراین برای اینکه اطمینان حاصل گردد که مدهای تشديد جسم صلب در دورهای پایین پشت سر گذاشته می‌شوند، سیستم یاتاقان‌بندی قابل انعطاف انتخاب می‌شود. زمانی که مدهای تشديد در هنگام راهاندازی پشت سر گذاشته شوند، روتور حول مرکز جرم خود و بدون

<sup>۲۵</sup> مدهای ارتعاشات جسم صلب عبارتند از مدهای ارتعاشاتی یک جسم با فرض اینکه جسم هیچ کرنشی ناشی از نیروهای وارد نداشت باشد. در مقابل در بررسی مدهای ارتعاشات یک جسم انعطاف‌پذیر فرض عدم تغییر شکل هندسی جسم هنگام ارتعاش وجود ندارد.

<sup>۲۶</sup> طراحی اجسام در حال ارتعاش با چرخش باید به گونه‌ای باشد که فرکانس‌های تشديد آن‌ها کم باشند. به نحوی که جسم مرتعش در مرحله راهاندازی از فرکانس تشديد به سرعت عبور کند و همچنین حین عبور انرژی جسم به سطحی نرسد که باعث تخریب آن شود.



دانشگاه  
تقني

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی

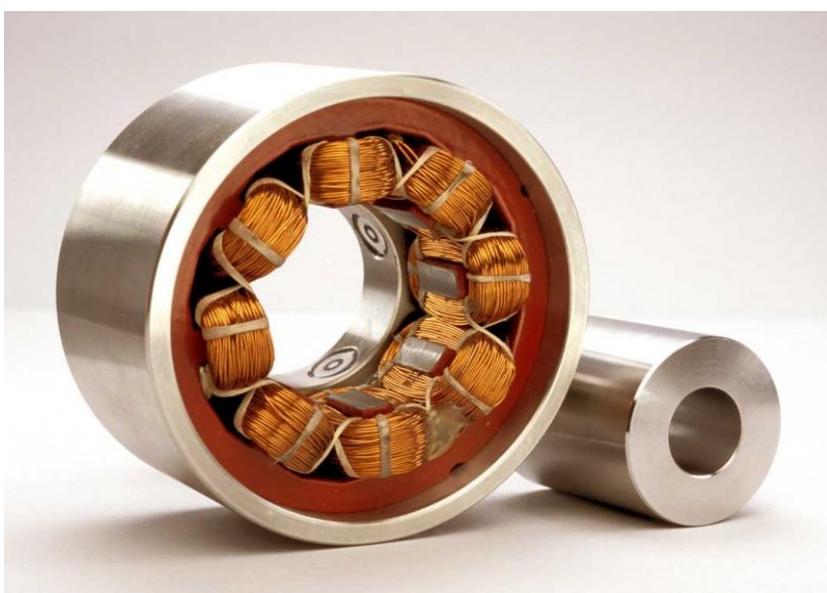


شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

وجود تلفات میرایی و اعمال نیروی کمتر به یاتاقان‌بندی می‌چرخد. البته این مطلب تنها در مورد روتورهایی صادق است که کاملاً تراز شده باشند و انحراف مرکز جرم از محور دوران آنها هنگام چرخش تا حد امکان کم باشد.

### یاتاقان‌ها

یاتاقان‌ها در سیستم‌های فلاکوئیل نقش مهمی را بر عهده دارند. انتخاب نادرست یاتاقان‌ها علاوه بر افزایش شدید تلفات و کاهش عمر مفید سیستم، مشکلات ایمنی نیز بوجود می‌آورد. وزن، تلفات، هزینه و عمر مفید از مؤلفه‌های مهم در انتخاب یاتاقان هستند. یاتاقان‌های مغناطیسی (شکل ۳۸) توانایی کار در سرعت‌های بسیار بالا را دارند و به طور ایده‌آل توانایی تحمل ارتعاشات ناشی از عدم تراز را به طور نامحدود دارند. یاتاقان‌ها به دلیل پیشرفت‌های حاصل شده در مواد، از جمله در مواد سرامیکی و فلزات فوق سخت پیشرفت‌های قابل توجهی داشته‌اند و در حال حاضر عمر مفید بلبرینگ‌ها از خستگی مواد تعیین نمی‌شود بلکه از روی عمر مفید روان‌سازهای مورد استفاده در آن‌ها تعیین می‌شود. در واقع عمر بلبرینگ‌ها در دمای مناسب تقریباً نامحدود می‌باشد. البته در کاربرد عملی یک حد سرعتی وجود دارد که معین می‌کند از چه نوع یاتاقانی استفاده شود. عملکرد بالاتر از این سرعت با یاتاقان مغناطیسی توصیه می‌شود. حد مذکور بسته به شرایطی که یاتاقان باید در آن کار کند دارد، جابجا می‌شود اما به طور معمول بین ۲۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ دور در دقیقه واقع می‌شود.



شکل ۳۸: نمایی از داخل یک یاتاقان مغناطیسی



دانشگاه  
تهران

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

البته یاتاقان‌های جدیدی تحت عنوان یاتاقان‌های فوق رسانای دما بالا<sup>۲۷</sup> (HTS) نیز در سیستم‌های فلاپویل استفاده می‌شوند که باعث کاهش قابل توجه اتلاف توان و انرژی می‌شوند. این یاتاقان‌ها قابلیت کاهش اتلاف را تا حدی که استفاده از سیستم ذخیره انرژی با فلاپویل در زمان‌های طولانی صرفه اقتصادی داشته باشد را دارند. در این یاتاقان‌ها ضربی اصطکاک‌هایی در ابعاد  $10^{-6}$  و حتی کمتر وجود دارد. به طور مثال تلفات هیسترزیس در این نوع یاتاقان‌ها حدود ۵٪ وات و اتلافات ادی<sup>۲۸</sup> آن حدود ۲/۵ وات است.

### گیربکس‌ها

همان‌طور که قسمت‌های قبلی نیز ذکر شد، در سیستم فلاپویل، انرژی بین محور موتور و فلاپویل و محور چرخ‌ها در حال انتقال است. فلاپویل از موتور احتراق داخلی انرژی جذب کرده و به صورت انرژی دورانی درون خود ذخیره می‌کند. بنابراین باید قطعه‌ای وجود داشته باشد که با کمترین میزان اتلاف، توان را میان فلاپویل و موتور و یا چرخ‌ها منتقل کند. با توجه به سرعت بالای فلاپویل و اختلاف سرعت بین فلاپویل و موتور یا چرخ‌ها باید گیربکسی استفاده شود که این اختلاف سرعت‌ها را هماهنگ کند. همچنین باید توجه داشت که بدليل اینرسی و سرعت بالای فلاپویل استفاده از گیربکس‌های چند دنده به همراه کلاچ به هیچ وجه ممکن نیست.

بنابراین، گیربکس‌هایی که در سیستم فلاپویل استفاده می‌شوند عمدهاً از نوع CVT<sup>۳۰</sup> یا IVT<sup>۳۱</sup> می‌باشند. این نوع گیربکس‌ها اساساً با هدف ارایه نسبت دنده‌های پیوسته طراحی شده‌اند. شکل ۳۹، نمای داخلی از یک گیربکس CVT را نشان می‌دهد. در شکل دو ردیف دیسک تنظیم‌پذیر دیده می‌شود که بین سه ردیف دیسک مخروطی قرار دارند. با تغییر زاویه بین دیسک‌های مخروطی و دیسک‌های تنظیم‌پذیر نسبت سرعت ورودی و خروجی گیربکس تغییر می‌کند. البته انواع تسمه‌ای این نوع گیربکس‌ها نیز موجود‌اند.

<sup>27</sup> High Temperature Superconducting Bearings

<sup>28</sup> Eddy

<sup>29</sup> Continuously Variable Transmission

<sup>30</sup> Infinitely Variable Transmission



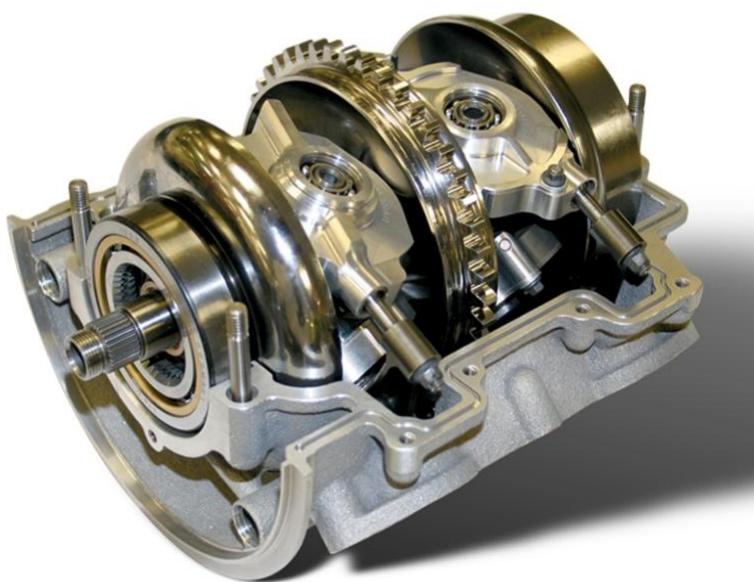
دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت



شکل ۳۹: نمای داخلی گیربکس CVT

حسن استفاده از گیربکس‌های CVT نسبت به گیربکس‌های اتوماتیک و دستی در این است که استفاده از این نوع گیربکس، بهره‌وری موتور را افزایش می‌دهند. علت این مسئله، قابلیت کار این گیربکس‌ها در بازهٔ پیوسته نسبت دندوها و سرعت قفل شدن پایین مبدل گشتاور و سیستم‌های کنترل موتوری که همراه CVT استفاده می‌شوند، می‌باشد. علاوه بر افزایش بازده، این نوع گیربکس‌ها به علت عدم نیاز به "تعویض دنده" و کاهش فاکتور انقطاع گشتاور<sup>۳۱</sup> نرم‌تر کار می‌کنند.

اشکال عده گیربکس CVT، بحث منتقل کنندهٔ توان (تسمه، زنجیر یا اصطکاک بین دیسک‌های دوار) است. گشتاور قابل تحمل در گیربکس CVT محدود به میزان تحمل گشتاور توسط تسمه و زنجیر است. تا سال ۲۰۰۵ اکثر CVT‌ها در وسائل نقلیه از نوع زنجیری و تسمه‌ای بودند، و بنابراین اغلب در خودروهای با توان کم استفاده می‌شدند. بعد از سال ۲۰۰۵ با استفاده از فناوری‌های جدید، از این گیربکس‌ها در خودروهای سنگین‌تر نیز استفاده می‌شود. علاوه بر این، بعضی از گیربکس‌های CVT گشتاور را تنها در یک جهت منتقل می‌کنند. بنابر این استفاده از سیستم ترمز بازیاب و همچنین ترمز موتوری امکان‌پذیر نخواهد بود. با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین حسن‌های خودروهای هیبرید فلایویل، قابلیت ذخیره کردن انرژی حاصل از ترمز بازیاب می‌باشد، این مسئله از اهمیت خاصی برخوردار است.

<sup>۳۱</sup> Torque interruption factor



دانشگاه  
تقني

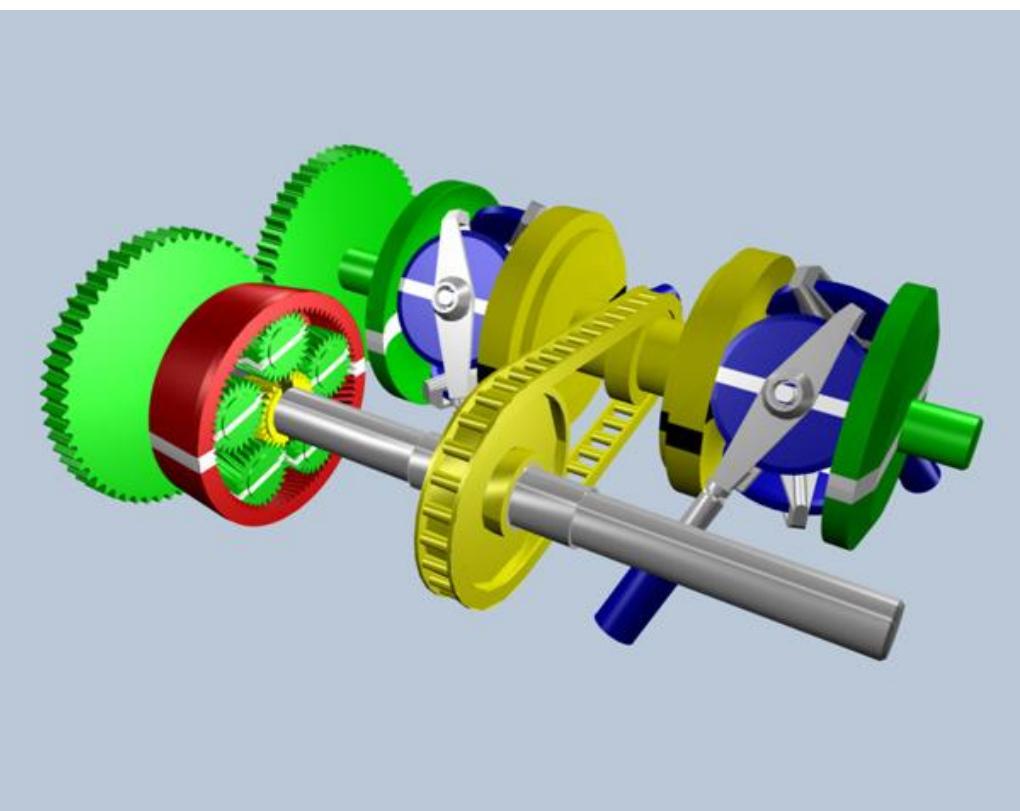
مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملي نفت ايران  
شرکت پيغمه سازی مصرف سوخت

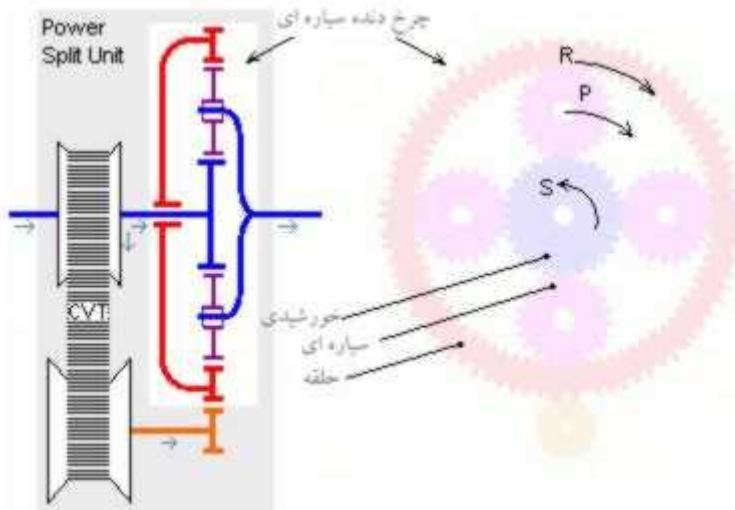
گيربكس IVT از يك CVT و يك مجموعه چرخ دنده سياره‌اي تشکيل مى شود و تفاوت عملکرد آن نسبت به گيربكس CVT قابلیت اين نوع گيربكس در تولید نسبت دنده بینهایت است. یعنی مى توان با داشتن هر دوری در ورودی، خروجی را در سرعت صفر ثابت نگه داشت. نمای شماتیکی از سیستم انتقال قدرت IVT در شکل ۴۰ نمایش داده شده است.



شکل ۴۰: شماتیک سیستم انتقال قدرت IVT

جهت بررسی نحوه عملکرد گيربكس IVT ابتدا باید نحوه کار مجموعه چرخ دنده‌های سياره‌اي بررسی شود. همان‌طور که در شکل ۴۱ نیز مشاهده می شود، در مرکز مجموعه چرخ دنده سياره‌اي، چرخ دنده خورشیدی قرار دارد. چرخ دنده‌های سياره‌اي توسط يك بازو مهارشده و به دور چرخ دنده خورشیدی خورشیدی می گردد. در لایه خارجي يك چرخ دنده داخلی نيز وجود دارد که چرخ دنده‌های سياره‌اي از طرف ديگر با آن درگير هستند. بنابراین در مجموعه گيربكس خورشیدی سه ورودی و خروجی داريم. به زبان ديگر اين سیستم يك سیستم دو درجه آزادی است.

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شکل ۴۱: نمای شماتیک مجموعه چرخ دندۀ های سیاره‌ای در یک نوع جعبه دندۀ IVT

در گیربکس IVT نشان داده شده در شکل های ۴۰ و ۴۳ بازو از طریق یک جفت چرخ دندۀ یک به یک با ورودی CVT که به موتور احتراقی متصل است هم سرعت شده است. ورودی دیگر مجموعه چرخ دندۀ های سیاره‌ای، چرخ دندۀ خورشیدی است که به خروجی CVT متصل می شود و خروجی مجموعه یعنی چرخ دندۀ خارجی حلقه به دیفرانسیل و چرخ های محرك متصل است.

این مجموعه به صورت یک سیستم جمع کننده مکانیکی عمل می نماید، به این صورت که جمع دو ورودی موتور و خروجی CVT، با در نظر داشتن نسبت شعاع های آنها به خروجی یعنی حلقه، انتقال می یابد. البته باید این نکته نیز مدنظر قرار گیرد که جهت چرخش دو ورودی عکس یکدیگر است. بنابراین چرخش خروجی حاصل تفريقي سرعت چرخ دندۀ خورشیدی و بازوی چرخ دندۀ های سیاره‌ای خواهد بود. با تغيير اختلاف سرعت دو ورودی (تغيير نسبت CVT)، می توان مقدار سرعت خروجی را با فرض ثابت بودن سرعت موتور تغيير داد. برای تغيير جهت چرخش چرخها و در نتيجه، جهت حرکت خودرو می توان جهت سرعت نسبی بين چرخ دندۀ های سیاره‌ای و خورشیدی را برعکس نمود و در صورتی که سرعت نسبی آنها صفر باشد، سرعت چرخشی خروجی به چرخها نیز صفر خواهد بود. اين خاصيت استفاده همزمان از يك تغيير دهنده پيوسته سرعت و جعبه دندۀ سیاره‌ای باعث می شود تا هنگام توقف خودرو نيازی به کلاچ و مبدل گشتاور برای شروع حرکت نباشد. ضمناً به دليل بازه تغييرات دندۀ بسيار مناسب، سرعت موتور و خودرو تقریباً به طور كامل مستقل از يك دیگر است. بنابراین می توان مسیر عملکردی برای موتور ایجاد کرد (شکل ۴۲) که تقریباً مستقل از



دانشگاه  
شهرورد

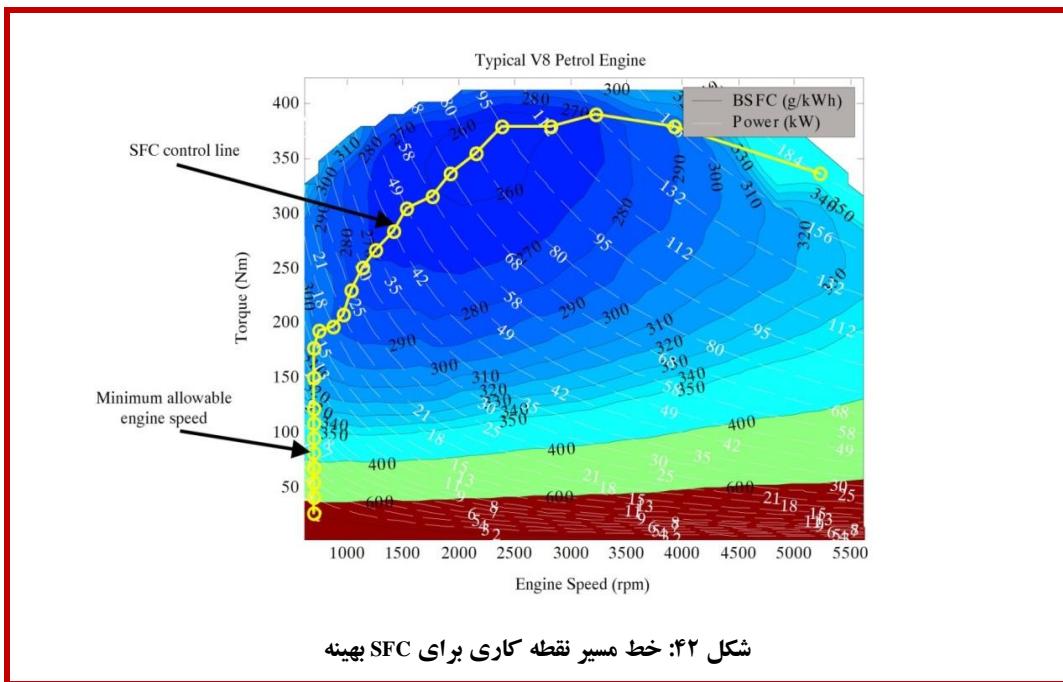
مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



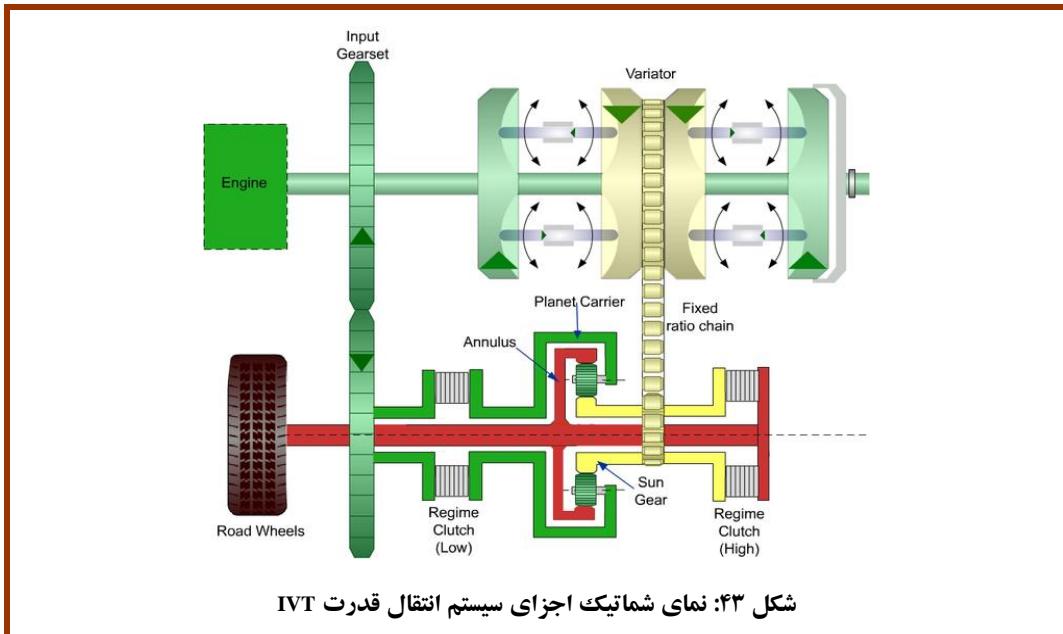
شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

سرعت خودرو، با توجه به گشتاور مورد نیاز و هدف بیشترین بازده ممکنه، نقطه کاری موتور را با توجه به آن، می‌توان بدست آورد. برای تغییر سرعت و شروع و اتمام حرکت، دیگر احتیاجی به تغییر دور موتور نمی‌باشد و بنابر این می‌توان دور موتور را با توجه به بازده بهینه تنظیم کرد.



شکل ۴۲: خط مسیر نقطه کاری برای SFC بهینه

حال می‌توان نحوه کار سیستم گیربکس IVT را به صورت زیر شرح داد. شکل ۴۳ نمای شماتیک یک مجموعه انتقال قدرت IVT را نشان می‌دهد. رنگ‌های مختلف در این شکل نمایان گر مسیرهای انتقال قدرت در سیستم مذکور هستند. دیسک‌های ورودی CVT که با رنگ سبز مشخص شده‌اند مستقیماً به موتور احتراق داخلی متصل‌اند و همان‌طور که ذکر شد، قطعه‌ی شروع کننده حرکتی مانند کلاچ یا مبدل گشتاور در سیستم وجود ندارد. دنده ورودی که به موتور متصل است یک چرخ دنده ثانویه را می‌چرخاند. محور این چرخ دنده به محور متصل به بازوی چرخ دنده‌های سیاره‌ای متصل است. یک زنجیر چرخش دیسک خروجی CVT را که به رنگ زرد در شکل مشخص شده‌است با نسبت یک به چرخ دنده خورشیدی منتقل می‌کند. چرخ دنده‌ی حلقه‌ای که با رنگ قرمز نمایش داده شده‌است به چرخ‌ها متصل است. دو کلاچ رژیم بالا و پایین وظیفه انتقال قدرت را از چرخ دنده‌ها به چرخ بر عهده دارند. زمانی که کلاچ رژیم بالا متصل و رژیم پایین آزاد است، خروجی CVT مستقیماً به چرخ متصل است.



در ابتدای حرکت زمانی که پدال گاز فشرده می‌شود، گشتاور درخواستی از گیربکس افزایش می‌یابد. در این حالت گردنده‌های بین دیسک‌ها به موقعیت تعیین شده با توجه به سرعت دیسک‌ها تغییر زاویه می‌دهند. این عمل باعث اختلاف سرعت دیسک‌های ورودی و خروجی CVT و در نتیجه تغییر سرعت نسبی بین چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای و خورشیدی می‌شود. این امر باعث می‌شود چرخ‌دندهٔ حلقه‌ای در جهت عقربه‌های ساعت شروع به گردش کند و در نتیجه خودرو به سمت جلو حرکت خواهد کرد. افزایش اختلاف سرعت دو ورودی تا زمانی که CVT به حد نهایی نسبت ورودی به خروجی خود برسد ادامه می‌یابد و پس از اتمام بازه کاری کلacz رژیم بالا به طور اتوماتیک متصل می‌شود. در این حالت مجموعه چرخ‌دنده سیاره‌ای از دور خارج می‌شود و موتور با استفاده از سیستم انتقال قدرت CVT خودرو را حرکت می‌دهد. با توجه به جهت گردش سیستم CVT می‌توان مشاهده کرد که با تغییر ذکر شده این مجموعه در حالت ارایه بیشترین نسبت تبدیل ممکن شروع به کار کند و با فشرده شدن بیشتر پدال گاز و درخواست سرعت‌های بالاتر کلacz رژیم پایین آزاد شده و با تغییر زاویه گردنده‌ها سرعت خودرو باز هم افزایش خواهد داشت. کاهش سرعت نیز با پروسه‌ای شبیه پروسه توضیح داده شده رخ می‌دهد. هنگامی که راننده بخواهد خودرو به سمت عقب حرکت کند، CVT به نحوی سرعت ورودی و خروجی خود را تنظیم می‌کند که جهت سرعت نسبی چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای و خورشیدی معکوس شود و در نتیجه جهت حرکت خودرو به سمت عقب تغییر کند. در شکل ۴۴، شکل کلی یک گیربکس IVT نمایش داده شده است.



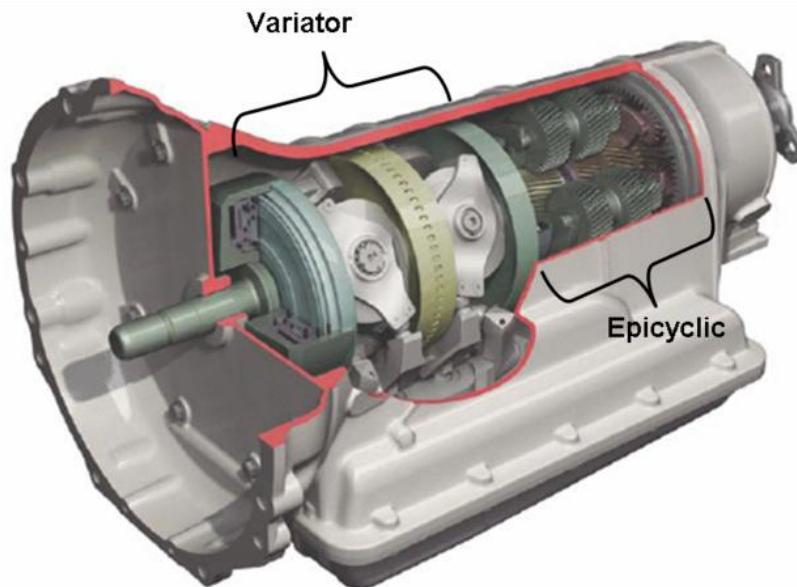
دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی صرف سوخت



شکل ۴۴: نمای داخلی اجزای سیستم انتقال قدرت IVT

### ۳-۳-۳- مزایا و معایب سیستم فلاپویل

به طور خلاصه می‌توان مزایا و معایب استفاده از سیستم فلاپویل در خودروها را به صورت زیر بیان نمود.

#### مزایا

(۱) وزن سیستم فلاپویل همراه مجموعه گیربکس CVT تقریباً برابر وزن مجموعه باتری سیستم هیبرید الکتریکی می‌باشد.

(۲) با توجه به بازده کمتر سیستم هیبرید الکتریکی نسبت به سیستم هیبرید فلاپویلی در جذب انرژی ترمز که به علت تغییر ماهیت انرژی و مقاومت‌های داخلی موجود در باتری می‌باشد، از نظر فنی استفاده از سیستم فلاپویل نسبت به سیستم الکتریکی ترجیح دارد. گفتنی است طبق یک برآورد بازده سیستم فلاپویل در جذب انرژی ترمی حدود ۲ برابر سیستم الکتریکی می‌باشد.

(۳) تولید انبوه سیستم فلاپویل به علت ساده تربودن قطعات، قیمتی حدود یک چهارم قیمت سیستم هیبرید الکتریکی خواهد داشت



دانشگاه  
تقني

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

(۴) عمر مفید سیستم فلاپویل نسبت به سیستم ذخیره انرژی الکتریکی که تقریباً ۴ سال است بسیار بیشتر است. یک سیستم فلاپویل تقریباً عمری برابر با عمر مفید خودرو دارد.

### معایب

(۱) بهعلت کم بودن مقدار ذخیره انرژی در فلاپویل‌ها، موتور مورد استفاده در هیبریدهای فلاپویلی، به نسبت موتور مورد استفاده در خودروهای هیبرید الکتریکی باید بزرگتر انتخاب شوند.

(۲) بدليل تلفات موجود در یاتاقان‌ها، سیستم ذخیره انرژی فلاپویل را نمی‌توان به عنوان یک سیستم ذخیره انرژی برای زمان طولانی در نظر گرفت. زیرا اگرچه این سیستم تلفات بسیار ناچیزی دارد، اما در صورتی که مدت زمان ذخیره انرژی در آن‌ها زیاد باشد، مقدار این تلفات قابل ملاحظه می‌شود و در عمل استفاده از این سیستم ذخیره انرژی معقول و بهینه نخواهد بود. اگرچه در سیستم خودروی هیبریدی این مشکل به علت ماهیت شارژ و تخلیه شدن پی در پی سیستم‌های هیبریدی، چندان اهمیت نخواهد داشت.

(۳) بهعلت سرعت زیاد فلاپویل در این سیستم، پیچیدگی‌های خاصی برای مسائل ایمنی و افزایش بازده بوجود خواهد آمد که باید مدد نظر قرار داده شوند.

### ۱-۳-۴ انواع ساختارهای هیبرید فلاپویلی

سیستم هیبرید فلاپویل نیز به دو نوع اصلی موازی و سری تقسیم می‌شود که در زیر این دو سیستم معرفی گردیده‌اند. البته در مورد پیکربندی سیستم هیبرید فلاپویل اطلاعات کافی در دسترس نیست، و تمامی اطلاعات موجود ارائه شده است.

### فلاپویل موازی

در سیستم هیبرید موازی، مطابق شکل ۴۵ فلاپویل به‌طور موازی، با استفاده از یک گیربکس به همراه موتور احتراق داخلی به سر دیفرانسیل متصل می‌شود. در هنگام کار موتور احتراق داخلی، انرژی مازاد موتور و همچنین انرژی ترمزی بازیابی شده با استفاده از گیربکس CVT جذب فلاپویل می‌شود.



دانشگاه  
تقني

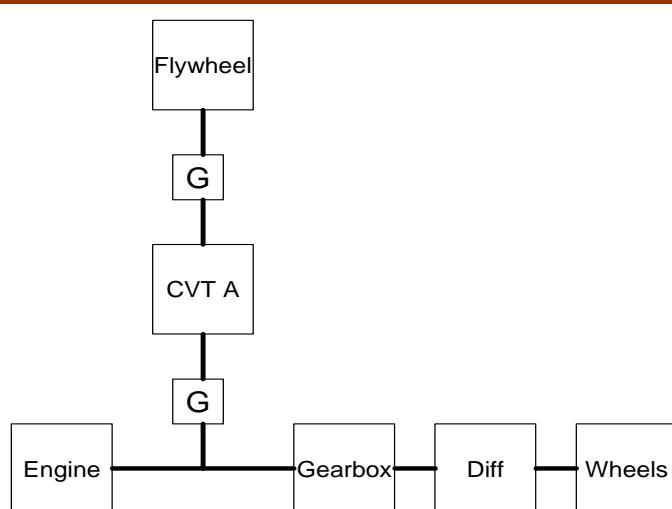
مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملي نفت ايران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

مزایا و معایب سیستم فلاپلیل موازی نسبت به سری شیوه مزایا و معایب مطرح در سیستم هیبرید الکتریکی موازی می باشد. پیچیدگی در کنترل به علت عملکرد متقابل همراه موتور احتراقی، و ابعاد موتور احتراقی بزرگتر از جمله معایب این سیستم و کوچک تر بودن فلاپلیل مورد نیاز و جانمایی ساده تر از جمله مزایای هیبرید موازی فلاپلیل می باشند.



شکل ۴۵: نمای شماتیک هیبرید فلاپلیل موازی

نمونه ای از خودروهای هیبرید فلاپلیل موازی خودروی Flybus است که به تازگی با سرمایه گذاری یک میلیارد پوندی دولت انگلستان معرفی شده است. شکل ۴۶ نمایی از این خودرو و فلاپلیل مورد استفاده در آن را نمایش می دهد. در این اتوبوس از CVT شرکت Ricardo به همراه فلاپلیل شرکت Torotrak استفاده شده است. این قطعات پیش از این در سیستم فلاپلیل مورد استفاده در خودروهای فرمول یک استفاده می شده اند. پیش بینی ها گویای بهبود مصرف سوخت خودرو به میزان ۲۰ درصد در فاز اول می باشد.



الف

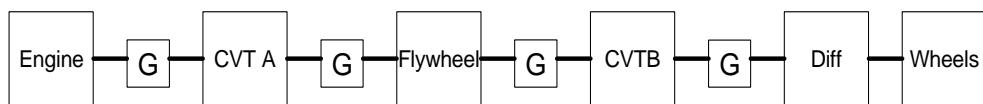


ب

شکل ۴۶: (الف) نمای اتوبوس Flybus (ب) فلاپیویل مورد استفاده در اتوبوس Flybus

### فلاپیویل سری

در سیستم فلاپیویل سری موتور احتراقی توسط یک CVT به فلاپیویل متصل است که از طرف دیگر با استفاده از یک گیربکس CVT دیگر به چرخ‌ها متصل شده است. شکل ۴۷ نمای شماتیک سیستم هیبرید فلاپیویل را نشان می‌دهد.



شکل ۴۷: نمای شماتیک هیبرید فلاپیویل سری



دانشگاه  
تقهی

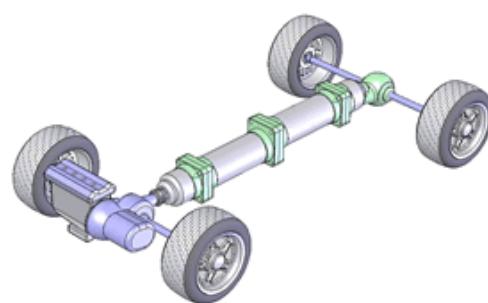
مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوینه سازی مصرف سوخت

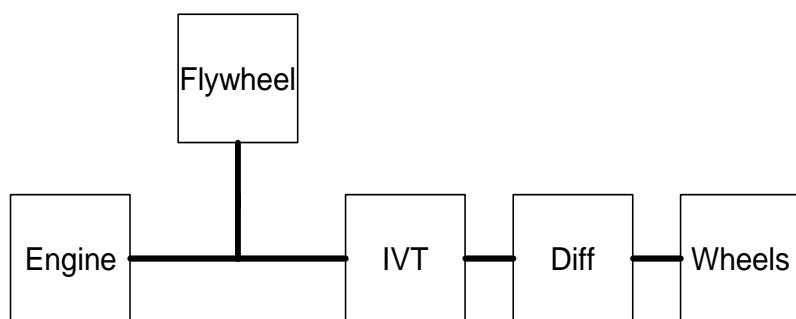
با توجه به ظرفیت ذخیره انرژی کم فلایویل، استفاده از ساختار سری در خودروهای هیبرید فلایویل خیلی مقرن به صرفه نیست و تاکنون خودرویی با ساختار سری معرفی نشده است. شکل ۴۸ نمای مجموعه قوای محرکه‌ی پیشنهادی برای یک خودروی هیبرید فلایویل سری را نشان می‌دهد.



شکل ۴۸: نمای مجموعه قوای محرکه یک خودروی هیبرید فلایویل سری

### FIVT

سیستم فلایویل با گیربکس IVT که به اختصار FIVT نامیده می‌شود یکی از انواع هیبرید فلایویل است که توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. این سیستم استفاده‌ی همزمان دو ابتکار فلایویل موازی و سیستم IVT می‌باشد که هر کدام سهم بهسزایی در افزایش بازده خودرو دارند. شکل ۴۹ نمای شماتیک FIVT را نمایش می‌دهد.



شکل ۴۹: نمای شماتیک هیبرید فلایویل FIVT



دانشگاه فنی  
شهرورد

مرحله دوم

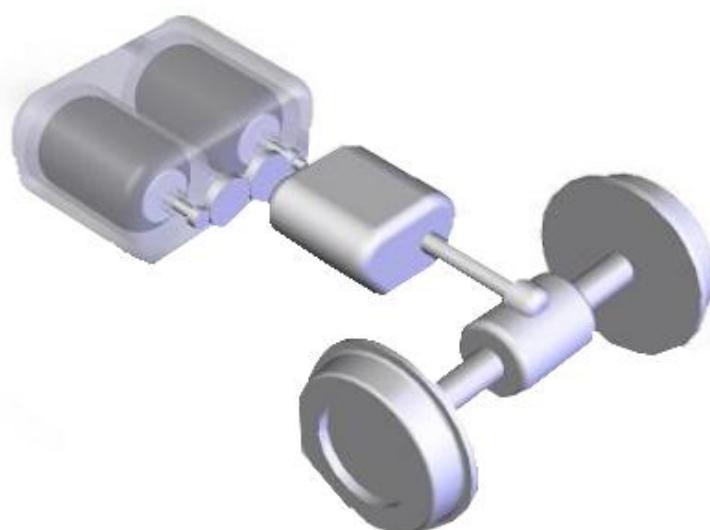
## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پیوشه سازی مصرف سوخت

### ۱-۳-۵ فلایویل با سیستم انتقال گشتاور از زمین

در شکل ۵۰، نمای شماتیکی یک سیستم فلایویلی گشتاور از زمین<sup>۳۲</sup> نمایش داده شده است. در این سیستم به جای وجود کوپلینگ مستقیم از موتور به سیستم فلایویلی، از طریق اتصال به چرخ ها و درنتیجه به زمین نقش خود را در جذب و انتقال انرژی ایفا می کند. البته در شکل ۵۰ سیستم نشان داده شده برای یک وسیله حمل و نقل ریلی نمایش داده شده است.



شکل ۵۰: نمای سه بعدی از سیستم پیشان چرخ های عقب در یک سیستم فلایویل TTR

به طور شماتیک اجزای اصلی سیستم انتقال قدرت در سیستم TTR، در شکل ۵۱ نمایش داده شده است.



شکل ۵۱: نمای شماتیک یک سیستم فلایویل TTR

<sup>32</sup> Through the Road (TTR)

## ۲ تعیین حدود عملکردی خودرو

طراحی و تحلیل هریک از قسمت‌های اتوبوس هیبرید برمبنای یک سری اطلاعات که شامل کارابی‌ها و ویژگی‌های اتوبوس می‌باشد، انجام می‌گیرد. برای اینکه در این طراحی‌ها ملاک واحدی در نظر گرفته شود، لازم بود که خصوصیات اتوبوس، طبق استانداردهای مختلف، نوع کارکرد اتوبوس و انتظارهایی که از آن وجود دارد، به صورت جامع، تعریف و تدوین شود تا طبق این خصوصیات بتوان راجع به نحوه انتخاب و به کارگیری اجزاء و نیز طراحی سیستم‌های کنترلی مختلف تصمیم‌گیری جامع و کاملی انجام داد. بنابراین در ابتدا باید صورت مسئله از لحاظ الگوریتم و قیود در نظر گرفته شده در طراحی مورد بررسی قرار گیرد که در این فصل به آن پرداخته می‌شود.

از آغاز پروژه، مطالعات گسترده‌ای راجع به نحوه طراحی و قیود طراحی اتوبوس هیبرید صورت پذیرفت. بدین منظور کارکرد اتوبوس‌های داخل شهری فعال در کلان شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین، اتوبوس‌های هیبرید ساخته شده در دنیا با هدف کارکرد درون شهری بررسی شده و نحوه طراحی و قیود در نظر گرفته شده در طراحی آنها به روش مهندسی معکوس، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.

در این فصل ابتدا به بررسی قیود حرکتی<sup>۳۳</sup> استفاده شده در طراحی، شامل شبیه‌سیمایی<sup>۳۴</sup> و خواص شتاب گیری<sup>۳۵</sup> مناسب برای تحلیل اتوبوس درون شهری پرداخته می‌شود. در قسمت بعدی توان و انرژی مورد نیاز اتوبوس در شرایط کاری مختلف مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بارهای جانبی اتوبوس که در سیستم انتقال قدرت اصلی نقشی ندارند در قسمت بعدی آورده خواهند شد و در انتهای، وزن تخمینی اتوبوس هیبرید شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۱-۲ قیود حرکتی استفاده شده در طراحی

همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد برای تدوین صورت مسئله‌ی طراحی و انتخاب اجزای اتوبوس هیبرید لازم بود که نحوه کارکرد اتوبوس هیبرید به عنوان یک اتوبوس شهری که به منظور کاهش آلودگی هوا و بهبود مصرف سوخت به کار گرفته خواهد شد، دقیقاً مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

<sup>33</sup> Motion Constraint

<sup>34</sup> Gradability

<sup>35</sup> Acceleration Performance

### ۱-۱ مشخصات شیب‌پیمایی

طبق مطالعات انجام شده بر روی اتوبوس‌های داخل شهری تهران مشخص شد که مسیر حرکتی اتوبوس‌هایی که در مسیر شرق به غرب مشغول به کار هستند، تقریباً مسطح است. بهمین دلیل سازمان اتوبوس‌رانی اغلب از اتوبوس‌هایی با مشخصات شیب‌پیمایی کمتر در این مسیر بهره می‌گیرد و از اتوبوس‌های با مشخصات قوی‌تر مانند اتوبوس کنونی ۰۴۵۷ در مسیر شمال به جنوب استفاده می‌کند. در مسیر شمال به جنوب، سخت‌ترین مسیر برای حرکت اتوبوس‌های فعال در این ناحیه، مسیر خیابان ولی‌عصر از میدان راه‌آهن تا میدان تجریش می‌باشد. با درنظر گرفتن مسافت بین میدان راه‌آهن تا میدان تجریش و اختلاف ارتفاع این دو نقطه می‌توان گفت که شیب متوسط این مسیر حدود  $\frac{3}{5}$  درصد می‌باشد. ماکریم شیب این مسیر نیز در حدود ۵ درصد تخمین زده می‌شود. از سوی دیگر، طبق استانداردهای وزارت راه و ترابری و نیز اداره راهنمایی و رانندگی، ماکریم شیب مجاز در راه‌های داخل کشور  $10$  درصد می‌باشد که این مقدار نیز مربوط به راه‌های شوسه آسفالتی می‌باشد. متأسفانه هیچ استاندارد خاصی از سوی وزارت راه و ترابری برای راه‌های درون‌شهری و حداکثر شیب مجاز آن تعریف نشده است. طبق ملاحظات فوق و بررسی کار کرد شیب‌پیمایی اتوبوس‌هایی چون Orion، قیود عملکرد شیب‌پیمایی اتوبوس برای کار کرد درون‌شهری به صورت جدول ۵ تعریف می‌شود.

جدول ۵: قیود عملکرد شیب‌پیمایی اتوبوس هیبرید

میزان شیب	شرط کار کرد
۷ درصد	بیشینه شیب مجاز برای کار کرد اتوبوس به صورت پیوسته
۱۰ درصد	ماکریم شیب مجاز برای کار کرد اتوبوس تا $5$ دقیقه
۱۴ درصد	ماکریم شیب مجاز برای کار کرد اتوبوس به صورت لحظه‌ای (در زمان کمتر از یک دقیقه)

### ۲-۱ مشخصات شتاب‌گیری

طبق مقررات اداره راهنمایی و رانندگی، حداکثر سرعت مجاز برای کلیه خودروهای سنگین<sup>۳۶</sup> و اتوبوس‌ها در بزرگراه‌های داخل شهری، km/h  $50$  می‌باشد. با توجه به این مطلب و درنظر گرفتن بیشینه سرعت اتوبوس‌هایی که

<sup>۳۶</sup> Heavy Duty Vehicle

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی

به عنوان اتوبوس‌های درون‌شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند، بیشینه سرعت طراحی برای اتوبوس هیبرید با درنظر گرفتن یک بازه اطمینان،  $65 \text{ km/h}$  درنظر گرفته می‌شود.

از سوی دیگر برای طراحی سیستم انتقال قدرت لازم است که مشخصات مطلوب اتوبوس از لحاظ شتاب گیری از پیش تعریف شده باشد. با فرض سرعت بیشینه  $65 \text{ km/h}$  و با مطالعه نحوه شتاب گیری دیگر اتوبوس‌های هیبرید، عملکرد شتاب گیری اتوبوس هیبرید به عنوان قیود طراحی به صورت جدول ۶ درنظر گرفته می‌شود. در فصل سوم نحوه عملکرد اتوبوس به منظور دستیابی به این قیود با استفاده از اجزای در دسترس، مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

**جدول ۶: قیود عملکرد شتاب گیری اتوبوس هیبرید**

فاصله سرعتی (km/h)	زمان پیماش (s)
۰-۲۵	۱۰
۲۵-۳۵	۵
۳۵-۴۰	۵
۴۰-۴۴	۵
۰-۶۵	۶۰

## ۲-۲ توان و انرژی مورد نیاز

در طراحی سیستم اتوبوس هیبرید باید درنظر داشت که انرژی تولیدی، به منظور کاهش آلودگی و مصرف سوخت بهینه گردد. توان و انرژی مورد نیاز اتوبوس بشدت به الگوی حرکتی آن بستگی دارد، بنابراین نمی‌توان هیچ پاسخ واحدی برای این که "چه میزان کیلووات ساعت کافی است؟" پیدا کرد.

در این پروژه اگرچه از موتور دیزلی با توان  $205 \text{ kW}$  با مدل OM 906 LA به عنوان  $205 \text{ kW}$  به عنوان  $205 \text{ kW}$  به علت در دسترس بودن، استفاده می‌شود ولی می‌توان از موتورهایی با توان پایین‌تر ( $150 \text{ kW}$ ) نیز استفاده نمود. با توجه به این مورد باید بر انرژی مصرفی اتوبوس هیبرید شده تأکید بیشتری شود.

می‌توان گفت که در این پروژه معیار اصلی طراحی، چگونگی طراحی مشخصات منع دوم تولید قدرت و همچنین منع ذخیره انرژی می‌باشد. برای اکثر خودروهای هیبرید سبک ساخته شده که از نوع هیبرید الکتریکی هستند، بار اصلی

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی

موتور الکتریکی توسط ژنراتور تأمین می شود و با تری ها تنها سهم اند کی در تأمین بار اصلی خودرو دارند (در حدود ۲ kWh). برای خودروهای سنگین نظیر اتوبوس ها میزان توان موردنیاز در منبع ذخیره انرژی بسیار بیشتر از خودروهای سبک می باشد (در حدود ۳۰ تا ۴۰ کیلووات ساعت) که این امر به دلیل انرژی بیشتر ناشی از ترمز و توقف های به مراتب بیشتر نسبت به خودروهای سبک است.

استراتژی کنترلی حاکم بر اتوبوس هیبرید، میزان توان منبع ذخیره انرژی و وزن کل اتوبوس از اصلی ترین پارامترهای مؤثر بر آکوادگی و مصرف سوخت اتوبوس می باشند. توان و انرژی لازم برای پیمایش سیکل های مختلف در فصل چهارم مورد بررسی و مطالعه مفصل تر قرار خواهد گرفت.

### ۳ انتخاب نوع و ساختار مناسب جهت امکان سنجی فنی و اقتصادی

با توجه به مطالب و بررسی‌های ارایه شده در بخش‌های پیشین، در این بخش سعی بر آن است تا از میان ساختارهای مختلف ارائه شده، گرینه‌های مناسب جهت انجام بررسی‌های دقیق‌تر در فرایند امکان سنجی انتخاب شوند.

در میان سه نوع هیبرید مکانیکی بررسی شده، پیاده‌سازی سیستم هیبرید نیوماتیکی مستلزم اعمال تغییرات اساسی روی موتور احتراقی خودرو می‌باشد. در واقع فرایند طراحی و ساخت یک خودروی هیبرید نیوماتیکی مشتمل بر کلیه فرایندهای طراحی و ساخت موتور احتراقی با پیچیدگی‌های خاص خود به انضمام ایجاد تغییرات هیبریدسازی از جمله تعییه سوپاپ اضافه و مخزن می‌باشد. به علاوه تاثیر اضافه شدن سیستم هیبرید بر عملکرد ترمودینامیکی، سیالاتی و فرایند احتراق نیز باید مورد بررسی دقیق قرار گیرد.

با توجه به کمبودن انرژی قابل ذخیره شدن در مخازن هوای فشرده، در خودروهای هیبرید نیوماتیکی دستیابی به درصدهای بالای هیبریدسازی ممکن نیست و معمولاً این خودروها به صورت هیبرید ملائم طراحی می‌گردند. همچنین با توجه به چگالی بالای انرژی مورد نیاز در خودروهای هیبرید سنگین این سیستم تا به حال در خودروهای سنگین از جمله اتوبوس‌های شهری مورد استفاده قرار نگرفته است. با توجه به مطالب ذکر شده، به ویژه نیاز به تغییرات اساسی در موتور احتراقی، این سیستم برای انجام مطالعات امکان سنجی در این پروژه مناسب نمی‌باشد.

خودروهای هیبرید فلاکویل دارای مشکل چگالی انرژی کم سیستم فلاکویل می‌باشند و درنتیجه تنها نمونه‌های معرفی شده از نوع موازی می‌باشند. البته با توجه به معرفی فلاکویل‌های سرعت بالای کامپوزیتی با ظرفیت‌های انرژی بالا امکان استفاده از ساختار سری نیز وجود دارد. با توجه به این توضیحات از بین ساختارهای قابل استفاده در خودروهای هیبرید فلاکویل ساختار موازی انتخاب می‌گردد.

در میان انواع مختلف هیبریدهای مکانیکی، بیشترین سهم متعلق به سیستم هیبرید هیدرولیکی است. چگالی انرژی بالا به همراه بلوغ تکنولوژی تجهیزات مورد نیاز، از جمله دلایل محبوبیت این سیستم هیبرید مکانیکی است. ظرفیت انرژی مخازن هیدرولیک در حد قابل قبول برای استفاده در هر دو ساختار سری و موازی می‌باشد. از طرف دیگر پمپ-موتور هیدرولیکی مورد استفاده در این ساختار نیز دارای دامنهٔ توان مناسبی جهت استفاده در خودروهای هیبرید هستند.



دانشگاه  
شهرورد

مرحله دوم

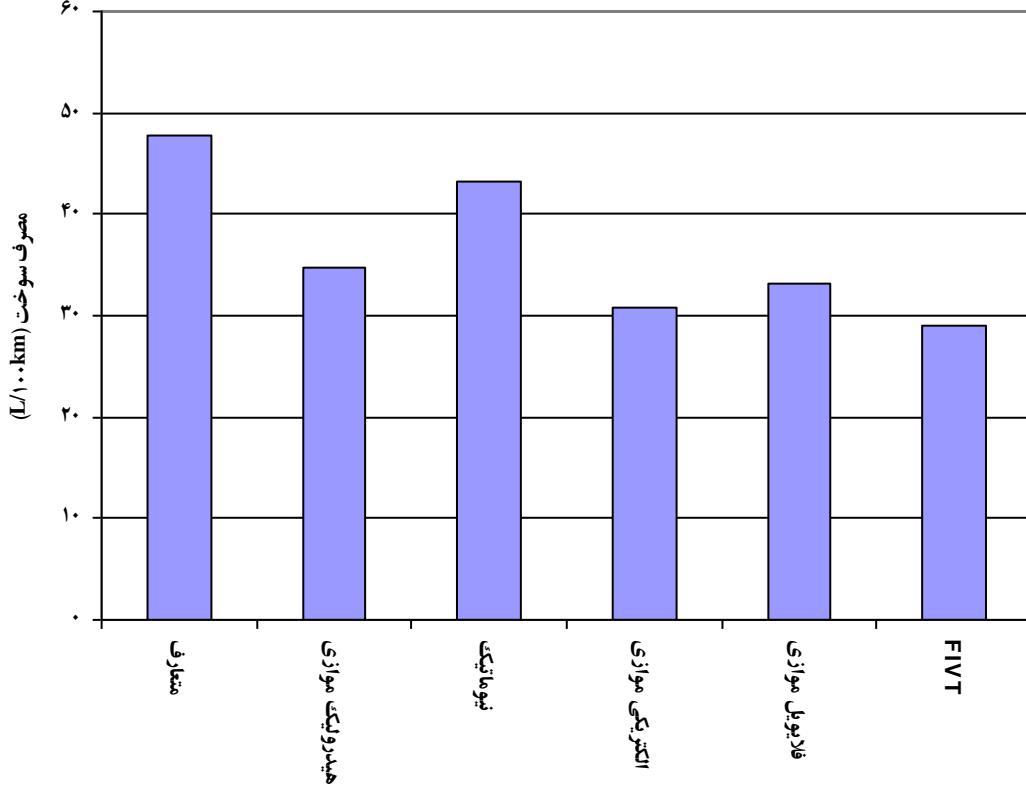
## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

بنابراین تا کنون نمونه‌های مختلفی از این خودروها در هر دو ساختار سری و موازی معرفی شده‌اند. بررسی هر دو ساختار سری و موازی جهت استفاده در فرایند امکان‌سنجی مناسب به نظر می‌رسد.

شکل ۵۲ نتایج شبیه‌سازی پیاده‌سازی برخی از انواع سیستم‌های هیبرید بر روی یک خودروی SUV با وزن ۲/۶ تن را نشان می‌دهد. این نتایج توسط آقای دکتر وشق و همکارانشان در دانشگاه Warwick انگلستان بدست آمده است.



شکل ۵۲: مقایسه مصرف سوخت ساختارهای هیبرید مختلف

انواع مقایسه شده در شکل ۵۲ همگی دارای ساختار موازی می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این میان قوای محرکه FIVT دارای کمترین مصرف سوخت می‌باشد بنابراین گزینه‌ی مناسبی برای ساختار موازی می‌باشد. درنهایت با توجه به مطالب ذکر شده در این بخش، جهت بررسی‌های امکان‌سنجی فنی و اقتصادی دو گزینه قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی سری و هیبرید فلاکویل موازی (FIVT یا موازی ساده) مدنظر قرار خواهد گرفت.

## ۴ بررسی و تعیین نقاط حساس طراحی

اجزای اصلی زنجیره‌ی توان خودروهای هیبرید مکانیکی بسته به نوع و ساختار هیبرید مکانیکی متفاوت خواهدبود و به تبع آن نقاط حساس طراحی متفاوت خواهدبود. به جز مؤلفه احتراقی که در همه انواع هیبرید مکانیکی مشابه است، مؤلفه‌های انرژی حرکتی ثانویه، نقاط اشتراکی با هم ندارند. به عنوان مثال در هیبرید مکانیکی فلاپویل، در مؤلفه دوم نقاط اصلی طراحی شامل فلاپویل، گیربکس مناسب و مسائل پیچیده ساخت مطرح است ولی در نمونه هیدرولیکی، مسائل اصلی انتخاب پمپ هیدرولیک مخازن کم فشار و پرفشار می‌باشد.

کنترلر خودرو، براساس گشتاور مورد نیاز که به صورت یک دستور از جانب پدال گاز یا ترمز صادر می‌شود و سایر سیگنال‌های عملیاتی که خروجی حسگرهایی هستند که اطلاعات لازم در مورد وضعیت سیستم‌های مختلف خودرو را تأمین می‌کنند، میزان گشتاور خروجی سیستم انتقال قدرت و همچنین نحوه تبادل انرژی میان موتور احتراقی و مؤلفه ثانویه‌ی تولید توان و زنجیره توان را تنظیم می‌کند. در حالتی که حداکثر توان مورد نیاز است، برای مثال در حالت شتاب گیری ناگهانی، هر دو مؤلفه موتور احتراقی و ثانویه به طور همزمان توان مورد نیاز برای سیستم انتقال قدرت را تأمین می‌نمایند. در حالاتی که توان مورد نیاز کمتر از توان معمول موتور احتراقی است، می‌توان توان تولیدی اضافی را در مؤلفه ثانویه ذخیره کرد. بنابراین طراحی و پیاده‌سازی یک استراتژی کنترلی مناسب، در عمل کرد خودرو هیبرید اثر قابل توجهی خواهد داشت.

همانطور که اشاره شد، بسته به نوع مؤلفه ثانویه هیبرید مکانیکی، نقاط حساس طراحی متفاوت خواهدبود. در هیبرید فلاپویل، طراحی فلاپویل مناسب، انتخاب یاتاقان‌ها، خلاسازی محفظه فلاپویل، طراحی گیربکس IVT بسیار کلیدی هستند. در سیستم هیبرید هیدرولیکی، انتخاب پمپ، موتور و گیربکس هیدرولیکی، مخازن کم فشار و پرفشار و سیال عامل نقاط حساس طراحی خواهدبود. در سیستم هیبرید نیوماتیکی، انتخاب سیکل مناسب، توربین و کمپرسور، مخزن فشار و ... مهم خواهدبود.

باتوجه به ساختار تشریح شده، واضح است که پارامترهای کلیدی طراحی که در مرحله طراحی مفهومی مورد بحث قرار دارد خواهد گرفت عبارتند از:

- مقدار توان موتور احتراقی



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله دوم

## تهیه چهارچوب اولیه طراحی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

- نوع و توان نامی مولفه ثانویه هیبرید
- استراتژی کنترل
- سیستم انتقال قدرت

البته در مورد استراتژی کنترل کار به سادگی بقیه‌ی پارامترها نیست و در بسیاری از مسیرهای طراحی، ابتدا یک استراتژی کنترل ساده، برای خودرو فرض می‌شود و اندازه‌دهی‌های اولیه صورت می‌گیرد. انتخاب نهایی استراتژی کنترل به مراحل بعدی موکول می‌گردد.

در واقع با تعیین مجموعه‌ی پارامترهای فوق در مراحل اولیه طراحی می‌توان تخمین مناسبی از مشخصات فنی و مشخصه‌های عملکردی خودرو بدست آورد. برخی از این مشخصه‌ها عبارتند از:

- تغییر وزن خودرو
- تغییر قیمت اجزای خودرو
- شتاب گیری
- شیب پیمایی
- قابلیت شروع حرکت در شیب
- حداکثر سرعت
- صرف سوخت در سیکل‌های رانندگی مورد نظر
- میزان تولید آلاینده‌ها در سیکل‌های رانندگی مورد نظر

بدست آوردن این پارامترها و ارتباط آنها با مشخصه‌های عملکردی خودرو نیازمند استفاده از ابزار مدل سازی دینامیکی خودرو می‌باشد که در فصل بعدی به آن پرداخته خواهد شد.

فاز دوم

مرحله سوم - قسمت اول

تعیین مشخصات کلی

سیستم های پر ید مکانیکی





## فهرست مطالب

۱ برسی عوامل موثر بر طراحی خودرو	۳
۱-۱ چیدمان سری	۳
۱-۱-۱ الگوهای عملکرد	۴
۱-۱-۲ استراتژیهای کنترل	۷
۱-۱-۳ اصول طراحی سیستم محرکه هیبرید سری	۱۱
۱-۲ چیدمان موازی	۲۰
۱-۲-۱ چیدمان سیستم محرکه، و پارامترهای طراحی	۲۱
۱-۲-۲ استراتژیهای کنترل	۲۳
۱-۲-۳ اصول طراحی سیستم محرکه هیبرید موازی	۳۳
۲ برسی محدودیت‌های مؤثر بر طراحی خودرو	۴۳
۲-۱ تعیین نوع سوخت مورد استفاده در خودرو	۴۳
۲-۲ تعیین نوع موتور احتراق داخلی مورد استفاده در خودرو	۴۴
۳ طراحی مفهومی خودروی هیبرید هیدرولیک	۴۵
۳-۱ انتخاب ابعاد اجزای خودروی هیبرید هیدرولیک	۴۵
۳-۱-۱ مشخصات کلی خودروی مورد نظر و حدود عملکردی	۴۵
۳-۱-۲ برسی توان مورد نیاز خودرو در شرایط مختلف عملکردی	۴۷
۳-۱-۳ سایزینگ ساختار هیبرید هیدرولیکی سری	۵۰
۳-۱-۴ سایزینگ ساختار هیبرید هیدرولیکی موازی	۵۱



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

۵۳	۲-۳ انتخاب ساختار و چیدمان مناسب سیستم هیبرید هیدرولیکی
۵۳	۱-۲-۳ انتخاب ساختار مناسب
۵۴	۲-۲-۳ انتخاب چیدمان مناسب
۵۶	۴ طراحی مفهومی خودروی هیبرید فلایویل
۵۶	۱-۴ انتخاب ساختار مناسب هیبرید فلایویل
۵۶	۲-۴ انتخاب چیدمان مناسب هیبرید فلایویل
۵۷	۳-۴ محاسبه ابعاد اجزای خودروی هیبرید فلایویل
۵۷	۱-۳-۴ تعیین توان مجموعه فلایویل
۵۹	۲-۳-۴ تعیین نوع مجموعه فلایویل
۵۹	۳-۳-۴ محاسبه ابعاد اجزای مجموعه فلایویل



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

در طراحی قوای محرکه یک خودرو جدید اولین قدم تعیین محدودیت‌های اصلی‌ایست که براساس آن طراحی صورت می‌گیرد. در بخش اول این قسمت به بررسی عوامل موثر بر طراحی خودرو پرداخته می‌شود. در قدم بعدی محدودیت‌های موجود معرفی می‌شوند و در نهایت با انتخاب چیدمان مناسب با توجه به حدود عملکردی تعریف شده، ابعاد تجهیزات مختلف به دست آمده است.

### ۱ بردسی عوامل موثر بر طراحی خودرو

در یک خودروی هیبرید، همان‌طور که در فاز قبلی اشاره شد، دو ساختار متعارف وجود دارد که در هر یک از این ساختارها الگوهای عمکردنی و شرایط کنترلی خاصی برقرار است. در این بخش به‌طور کلی این موارد برای هر دو ساختار و نوع هیبرید مکانیکی مورد بررسی قرار می‌گیرند. مطالب ارائه شده در این بخش براساس خودروهای هیبرید الکتریکی تدوین گشته، ولی به‌طور کلی برای تمامی انواع مختلف قابل استفاده می‌باشد.

#### ۱-۱ چیدمان سری

چیدمان سری، ابتدا برای خودروهای الکتریکی طراحی شد و مورد استفاده قرار گرفت. خودروهای الکتریکی به نسبت خودروهای گازوئیلی، دارای مزایایی هستند که می‌توان برخی از آن‌ها را برشمرد: (۱) عدم آلایندگی محیط، (۲) منابع انرژی چندگانه و (۳) بازدهی بالا. هرچند این خودروها دارای برخی ضعف‌ها هم هستند، (۱) کمی میزان ذخیره‌ی انرژی، که منجر به کاهش میزان مسافت قابل پیمایش می‌شود، (۲) وزن زیاد باتری‌ها و (۳) زمان طولانی مورد نیاز برای شارژ مجدد باتری‌ها. بنابراین سیستم سری هیبرید



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



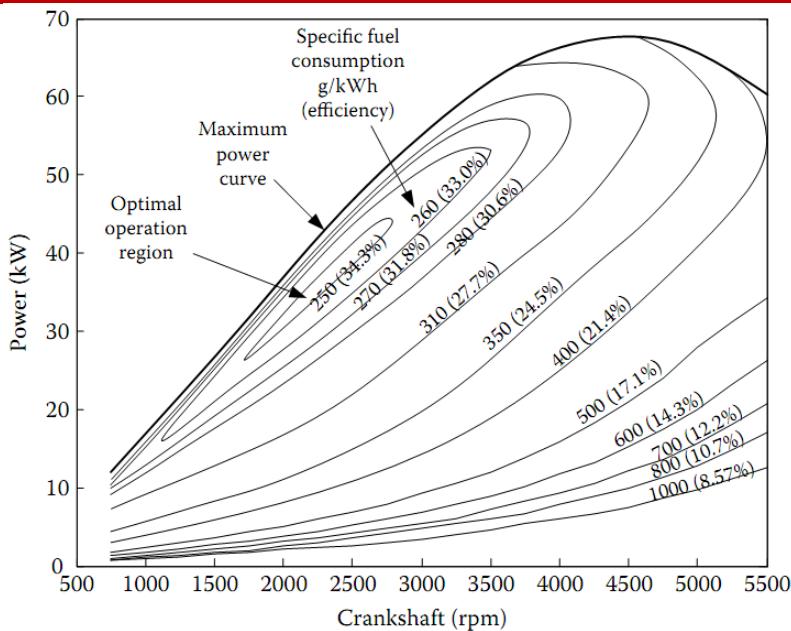
برای این نوع خودروها طراحی شد، تا با قرار دادن یک موتور احتراق داخلی در کنار موتور برقی موجود، میزان مسافت قابل پیمایش توسط این خودروها با یک‌بار شارژ اولیه افزایش یابد. در ضمن با اعمال این تکنولوژی، موتور الکتریکی توانائی شارژ مجدد منبع ذخیره انرژی در حین حرکت را دارد. در نوع هیبرید مکانیکی این ساختار، منبع ذخیره الکتریکی با یک فلاپویل یا مخزن هیدرولیک جایگزین گشته؛ با این تفاوت که چگالی انرژی منابع ذخیره انرژی مکانیکی به‌طور کلی پایین‌تر می‌باشد.

عملکرد خودرو (بر اساس ترم‌های شتاب‌گیری، شب‌پیمائی و حداکثر سرعت) به‌طور کامل وابسته به سایز و مشخصات سیستم محرکه است. بنابراین برای داشتن خودروئی با سیستم هیبرید که دارای میزان عملکرد مطلوب با بازدهی بالا باشد، نیاز به سایزینگ دقیق قطعات، سیستم‌ها و الگوهای حرکتی و کنترلی احساس می‌شود.

### ۱-۱-۱ الگوهای عملکرد

در حالت سری، موتور احتراق داخلی به‌طور مکانیکی از چرخ‌های محرک خودرو جدا است. در این حالت، سرعت و گشتاور تولیدی موتور، از سرعت و گشتاور محرک مورد نیاز خودرو مجزا می‌باشد؛ بنابراین موتور خودرو می‌تواند در هر نقطه‌ی دلخواه از نمودار کاری خود، کار کند. به‌طور کلی، موتور خودرو باید به نحوی کنترل شود که همواره در محدوده‌ی بهینه‌ی کاریش باشد؛ تا میزان مصرف سوخت و تولید آلاینده‌ها در آن به کمترین میزان ممکن برسد (شکل ۱). این مطلب به شدت به الگوریتم‌های کنترل وابسته است.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شکل ۱- نمونه‌ای از نمودار کارکرد موتور، و محدوده‌ی کارکرد بهینه‌ی آن

چندین الگوریتم برای عملکرد یک سیستم محرکه هیبرید قابل بررسی است که هر کدام بر اساس شرایط

محیطی رانندگی و خواست راننده قابل انتخاب می‌باشد. این الگوریتم‌ها در ادامه بررسی می‌شوند:

۱- سیستم محرکه هیبرید: وقتی که مقدار زیادی از توان محرکه نیاز است (هنگامی که راننده پدال

گاز را زیاد می‌فشارد)، هر دو منبع تولید توان، یعنی موتور احتراق داخلی و موتور هیدرولیکی به طور

هم‌زمان تولید توان می‌نمایند. در این حالت موتور احتراق داخلی باید در محدوده‌ی بهینه‌ی کاری

خود کار کند و موتور هیدرولیکی مابقی نیروی مورد نیاز برای حرکت را تأمین نماید. در این حالت

عملکرد خودرو به این شکل قابل تعریف است:

$$P_{demand} = P_{e/g} + P_{pps} \quad (1)$$

که در رابطه‌ی فوق،  $P_{demand}$  میزان توان طلب شده توسط راننده،  $P_{e/g}$  توان تولید شده توسط موتور

احتراق داخلی، و  $P_{pps}$  توان تولید شده توسط موتور کمکی (موتور هیدرولیکی) است.



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

- ۲- تولید توان محركه‌ی مورد نیاز به تنها‌ی توسط موتور هیدرولیکی: در این حالت موتور هیدرولیکی به تنها‌ی توان مورد نیاز محركه را تولید می‌کند. بنابراین:

$$P_{demand} = P_{pps} \quad (2)$$

- ۳- تولید توان محركه‌ی مورد نیاز به تنها‌ی توسط موتور احتراق‌داخلی: در این حالت کنترلر به نحوی عمل می‌کند که کل توان محركه‌ی مورد نیاز برای خودرو، از طریق موتور احتراق‌داخلی تأمین شود. برای این حالت:

$$P_{demand} = P_{e/g} \quad (3)$$

- ۴- شارژ منبع ذخیره از طریق توان موتور احتراق‌داخلی: وقتی انرژی ذخیره شده در منبع ذخیره انرژی هیدرولیکی (آکومولاتور) از حد معنی کمتر شود، سیستم کنترلی با استفاده از دو منبع موجود دیگر، یعنی بازیابی انرژی ترمی و یا توان موتور احتراق‌داخلی می‌تواند آن را به حد شارژ مورد نیازش بازگردد. به‌طور معمول، میزان توان قابل تأمین از طریق بازیابی انرژی ترمی کم است؛ بنابراین موتور احتراق‌داخلی نیز باید در شارژ منبع کمک کند. در این حالت، توان تولیدی توسط موتور احتراق‌داخلی به دو بخش تقسیم می‌شود؛ یک بخش توان مورد نیاز برای حرکت خودرو را تأمین می‌نماید و بخش دیگر، منبع ذخیره را شارژ می‌کند. بنابراین:

$$P_{demand} = P_{e/g} + P_{pps} \quad (4)$$

- البته باید توجه داشت که این کار تنها در صورتی قابل انجام است که توان تولیدی توسط موتور احتراق‌داخلی، بیش از توان مورد نیاز برای حرکت خودرو باشد. در حالت فوق  $P_{pps}$  دارای علامت منفی خواهد بود، چرا که در حال مصرف توان است.



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



۵- بازیابی انرژی ترمی: در حالتی که خودرو ترمز می‌کند، موتور هیدرولیکی می‌تواند در نقش یک پمپ ظاهر شده و بخشی از توان اتلافی توسط ترمز را در منبع ذخیره انرژی (آکومولاتور) ذخیره نماید.

واضح است که سیستم کنترلی موظف است تا با توجه به توان مورد نیاز راننده، میزان توان خروجی از هر یک از دو منبع موجود تولید توان را تعیین کند. در اینجا اهداف زیر دنبال می‌شود: (۱) تأمین توان خواسته شده؛ (۲) کار کرد هر یک از دو منبع تولید توان در نقطه‌ی بهینه کاریشان؛ (۳) بازیابی انرژی ترمی در حد ممکن؛ و (۴) نگهداشت موقعیت شارژ منبع ذخیره در یک حد قابل قبول. برای سیستم هیبرید با چیدمان سری، چند نوع کنترلر می‌توان در نظر گرفت. هر یک از این انواع کنترلر در شرایط متفاوتی از کار کرد، مناسب هستند. میزان بهینه‌سازی مصرف سوخت با اجرای تکنولوژی هیبرید، به شدت به کیفیت عملکرد سیستم کنترلی بستگی دارد.

### ۲-۱-۱ استراتژی‌های کنترل

استراتژی کنترل یک قانون کنترلی است که به تک تک اجزاء سیستم قوای محرکه، عملکردشان را دیکته می‌کند. مشخصاً میزان کارایی و بازدهی خودرو و استراتژی شدیدی به این استراتژی کنترل دارد. در حالت کلی استراتژی‌های بسیاری برای کنترل وجود دارند. در اینجا دو نوع از این متدهای کنترلی توضیح داده می‌شوند. این توضیحات نیز میان انواع خودروهای هیبرید اعم از الکتریکی و مکانیکی یکسان بوده و در بردارنده مبانی کلی ای می‌باشد که برای همه آن‌ها قابل پیاده‌سازی است.

#### کنترل بر اساس حداکثر میزان شارژ منبع ذخیره

این نوع از کنترلر سعی می‌کند در حالی که توان محرکه‌ی مورد نیاز خودرو را تأمین می‌نماید، طوری عمل کند که سطح شارژ منبع ذخیره‌ی انرژی هیدرولیکی، همواره در حداکثر میزان خود حفظ گردد. موتور احتراق داخلی منبع تولید توان اولیه و موتور هیدرولیکی منبع تولید توان ثانویه است. این نوع از کنترلر، بیش-



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



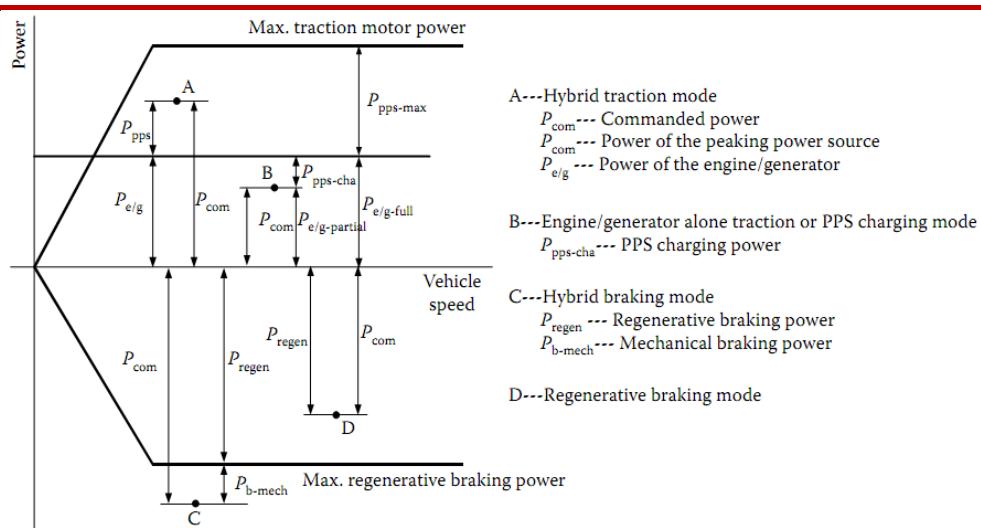
تر برای آن دسته از خودروهایی مناسب است که کاردهی (سرعت حداکثر، شتاب گیری، شبی پیمائی و ...) در آنها در درجه اول اهمیت است. به عنوان مثال، می توان از خودروهایی نام برد که در سیکل های با توقف و حرکت مجدد مورد استفاده قرار می گیرند؛ یا خودروهایی که کاربرد نظامی دارند و انجام هدف برای آنها بسیار حائز اهمیت است. در این حالات، همواره در شارژ حداکثر قرار داشتن منع ذخیره، برای تضمین کاردهی مطلوب خودرو لازم است.

شمای کلی این متاد کنترلی در شکل ۲ نشان داده شده است. در این نمودار، نقاط  $A$ ,  $B$ ,  $C$  و  $D$  نمایان گر میزان توان خواسته شده توسط راننده در هر یک از حالات شتاب گیری و یا ترمزی است.

- در نقطه  $A$ ، توان مورد نیاز، بیش از توان قابل تولید توسط موتور احتراق داخلی به تنها ی است؛ بنابراین موتور هیدرولیکی باید برای کمک به موتور احتراق داخلی وارد عمل شده و میزان نقصان توان را جبران کند.

- در نقطه  $B$ ، میزان توان خواسته شده توسط راننده، از میزان توان تولیدی موتور در حالت کار کرد بهینه اش کمتر است. در این حالت سیستم کنترلی دو حالت متفاوت را می تواند تجربه کند: (۱) در صورتی که میزان شارژ منع ذخیره از حد معینی کمتر باشد - به عنوان مثال کمتر از ۷۰٪ شارژ حداکثر خود - موتور در نقطه بینهای خود کار می کند؛ بخشی از توان تولیدی توسط آن به شارژ منع می انجامد و مابقی توان آن، صرف حرکت خودرو می شود. (۲) در صورتی که شارژ منع ذخیره از حد معینی بیشتر باشد، موتور احتراق داخلی به گونه ای کنترل می شود که دقیقا به میزان نیاز خودرو برای حرکت، توان تولید کند؛ بنابراین در حالت دوم، موتور از حالت بینهای کاریش خارج می شود.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



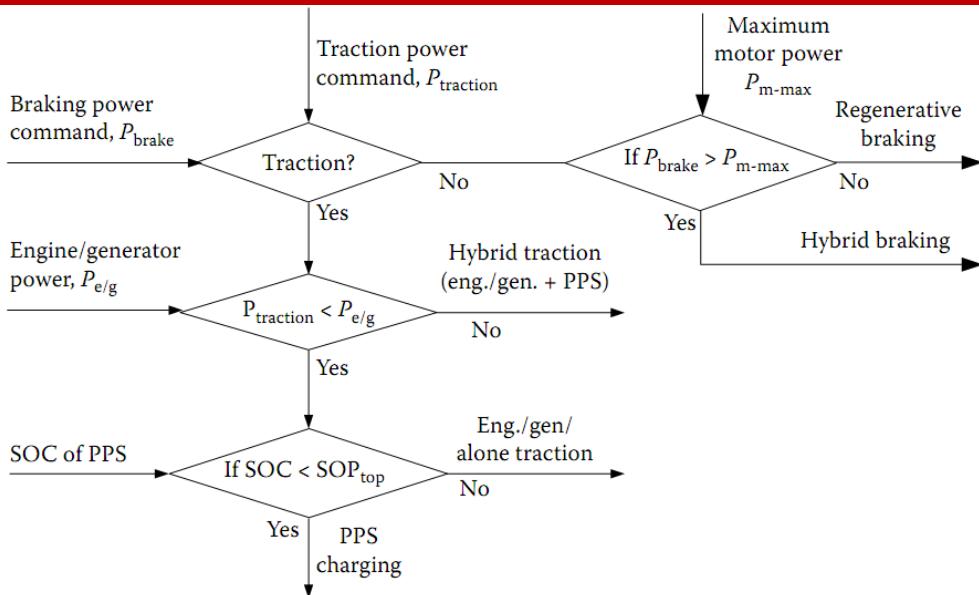
شکل ۲- شماتیکی استراتژی کنترل بر اساس حداکثر میزان شارژ منبع ذخیره

نقطه‌ی C نشان‌گر حالتی است که راننده ترمز می‌کند، ولی توان ترمزی پمپ بازیاب به تنها بی پاسخ گوی گشتاور ترمزی مورد نیاز راننده نیست. در این حالت، یک سیستم ترمزی هیبرید به کار برده می‌شود. در این سیستم ترمزی، پمپ بازیاب با حداکثر توان خود کار می‌کند و در کنار آن یک ترمز مکانیکی هم وارد عمل شده، میزان کمبود گشتاور ترمزی تولیدی توسط پمپ هیدرولیکی را تأمین می‌نماید.

نقطه‌ی D از ترمزگیری را به نمایش می‌گذارد که در آن، میزان گشتاور ترمزی مورد نیاز، از حداکثر گشتاور ترمزی تولیدی پمپ بازیاب کمتر است. در چنین حالتی، پمپ بازیاب به تنها بی وارد عمل شده، و ترمزگیری به کمک بازیاب انجام می‌گیرد. انرژی بازیاب شده، برای شارژ منبع ذخیره استفاده می‌شود.

فلوچارت کلی این نوع از سیستم کنترل، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

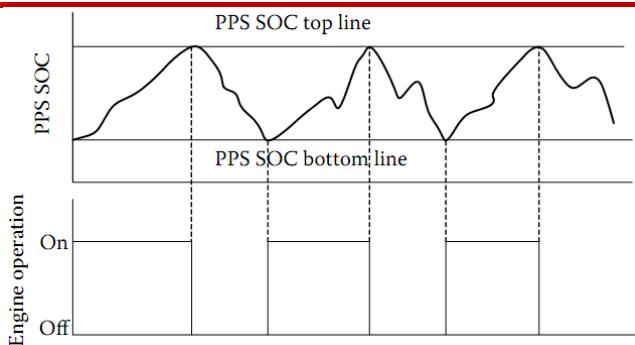


شکل ۳ - فلوچارت کنترل بر اساس حداکثر میزان شارژ منبع ذخیره

### کنترل موتور روشن/خاموش یا ترموموستاتی

در برخی کاربردهای دیگر خودرو - به عنوان مثال، حرکت طولانی مدت خودرو با بار کم در بزرگراه و با سرعت ثابت - منع ذخیره به سرعت و به سادگی به حداکثر میزان شارژ خود می‌رسد و پس از آن، موتور احتراق داخلی مجبور است دقیقاً به میزان توان خواسته شده توان تولید کند؛ ولذا، نقطه‌ی کاری آن پایین‌تر از نقطه‌ی بهینه‌اش خواهد بود. این امر موجب کاهش بازدهی کلی سیستم می‌شود. در چنین حالتی، سیستم کنترلی که در آن موتور احتراق داخلی خاموش و روشن شود، مناسب‌تر است. شمای کلی این سیستم کنترل، در شکل ۴ نمایش داده شده است. در این حالت، وقتی منع ذخیره به حداکثر شارژ خود می‌رسد، موتور احتراق داخلی خاموش می‌شود و موتور هیدرولیکی به تنها یکی توان محرکه‌ی خودرو را تأمین می‌کند. در ادامه، وقتی میزان شارژ منبع، از مقدار معینی کمتر می‌شود، موتور روشن شده، در محدوده‌ی بهینه‌ی کاریش کار می‌کند؛ مقدار توان مورد نیاز برای حرکت خودرو، مستقیماً استفاده می‌شود، و مازاد توان تولیدی آن، برای شارژ منبع مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، موتور همواره در محدوده‌ی بهینه‌ی کاریش کار می‌کند و میزان مصرف سوخت خودرو بهینه می‌شود.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شکل ۴ - دیاگرام کارکرد سیستم محرکه هیبرید با کنترل موتور روشن/خاموش

همان طور که قبل توضیح داده شد، الگوی عملکرد مورد نیاز برای سیستم هیبرید سری، نقش مؤثری در انتخاب سایز مورد نیاز قطعات مخصوصاً سیستم ذخیره و میزان بازدهی خودرو دارد.

### ۳-۱-۱ اصول طراحی سیستم محرکه هیبرید سری

یک طراحی موفق برای سیستم محرکه خودرو بدین معنی است که سیستم محرکه قابلیت کاردهی مورد نیاز - مثل قابلیت شتاب گیری، شب پیمایی، رسیدن به حد اکثر سرعت مطلوب، و بازدهی بالا- را داشته باشد. موتور احتراق داخلی، موتور هیدرولیکی، الکتریکی یا فلاکویل و اتصالات مکانیکی مهم‌ترین عناصر مورد توجه ما در طراحی هستند. طراحی مناسب و انتخاب سایز مناسب برای این قطعات در اولویت اول قرار دارد، تا اجزاء در کنار یکدیگر به طور مناسب کار کنند.

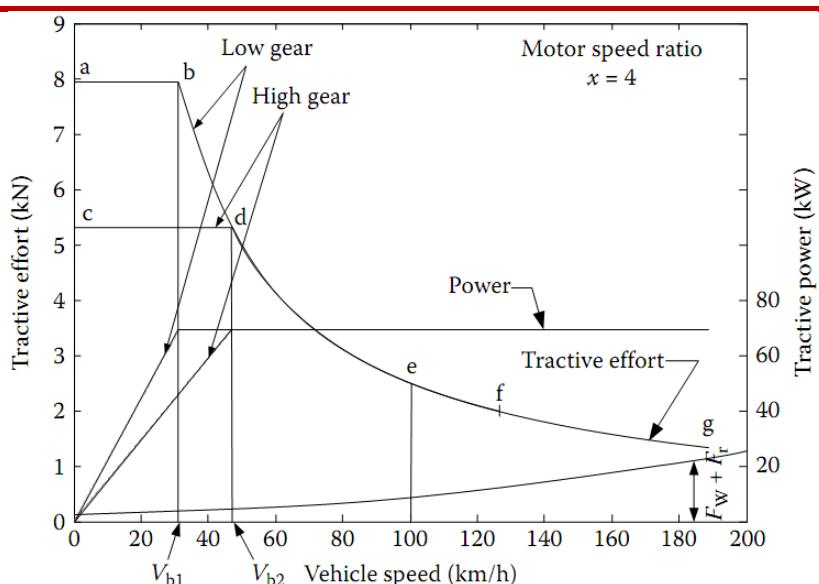
### طراحی موتور محرک

عوامل مؤثر در طراحی موتور محرک (موتور هیدرولیکی در هیبرید مکانیکی)، عبارتند از: (۱) شتاب مورد نیاز خودرو، (۲) قابلیت کاردهی مطلوب آن، (۳) مشخصه‌های موتور، و (۴) مشخصه‌های سیستم انتقال قدرت. برای حدس اولیه طراحی، می‌توان از مشخصه‌ی شتاب گیری - زمانی که صرف می‌شود تا خودرو از سرعت  $V_b$  تا سرعتی دلخواه ( $V_f$ ) برسد - مطلوب موتور استفاده کرد. رابطه‌ی مورد استفاده را در ادامه مشاهده می‌کنید:

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

$$P_t = \frac{\delta M}{t_a} (V_f^2 - V_f \cdot V_b) + \frac{2}{3} M g f_r V_f + \frac{1}{5} \rho_a C_D A_f V_f^3 \quad (5)$$

در رابطه فوق،  $M$  جرم کل خودرو در واحد kg،  $t_a$  زمان شتاب گیری مورد نظر با واحد sec، سرعت  $V_b$  در واحد m/s وابسته به سرعت تولیدی توسط موتور به تنها بی (به شکل ۵ توجه کنید)،  $V_f$  سرعت خودرو در واحد s در واحد m/s وابسته به سرعت تولیدی توسط موتور به تنها بی (به شکل ۵ توجه کنید)،  $f_r$  ضریب اصطکاک غلتی خودرو در انتهای شتاب گیری با واحد  $m/s^2$ ،  $g$  شتاب جاذبه برابر با  $9.81 m/s^2$ ،  $A_f$  سطح دید مقابله خودرو با واحد  $m^2$ ،  $\rho_a$  چرخ های خودرو،  $C_D$  چگالی هوا برابر با  $1/20.2 kg/m^3$  سطح دید مقابله خودرو با واحد  $m^2$  و ضریب درگ آبرودینامیکی خودرو است.



شکل ۵- نمودار نمونه گشتاور-سرعت یک موتور الکتریکی

اولین ترم موجود در رابطه (5) بیان گر میزان انرژی مورد نیاز برای شتاب دهنده وزن خودرو، و ترم های دوم و سوم به ترتیب نشان دهنده میزان نیاز برای غلبه بر اصطکاک چرخ ها و درگ آبرودینامیکی می باشند.

در شکل ۵ توان محركه در برابر سرعت خودرو برای یک سیستم انتقال قدرت دو سرعته رسم شده است. در فرآیند شتاب گیری، با شروع از دندنه پائین، توان محركه، مسیر  $a - b - d - e - f$  را در نمودار طی



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



می‌کند. در نقطه‌ی  $f$  موتور محرک به حداقل سرعت خود می‌رسد، و بنابراین گیربکس یک دنده بالاتر می‌رود تا هم‌چنان به خودرو شتاب دهد. در این شرایط، سرعت پایه در رابطه‌ی (۵) برابر است با  $V_{b1}$ . اگرچه وقتی که گیربکس تک‌دنده استفاده می‌شود، و بنابراین تنها دنده‌ی بالاتر موجود است، توان محرک که مسیر

$$.V_b = V_{b2} = c - d - e - f - g$$

مشخص است که برای یک سرعت نهایی داده شده - مثلاً  $100 \text{ km/h}$  - در نقطه‌ی  $e$ ، خودرو با گیربکس دو دنده زمان شتاب گیری کمتری خواهد داشت؛ چرا که توان محرکه در سرعت کم در دنده‌ی پائین که در شکل با مسیر  $d - b - a$  نمایش داده شده است، بزرگ‌تر از مقدار آن در دنده‌ی بالاتر است که با مسیر  $c - d$  مشخص شده است. البته باید توجه داشت که استفاده از گیربکس دو دنده باعث افزایش هزینه و پیچیدگی طراحی می‌گردد.

باید این نکته را خاطرنشان کرد که توان به دست آمده از رابطه‌ی (۵) تنها یک حدس اولیه است که مشخصه‌ی شتاب گیری مطلوب خودرو را ارضا می‌کند. ممکن است در شرایطی خاص - مثل خودروهای نظامی - مشخصه‌ی شبیه‌پیمائی خودرو اهمیت بیشتری داشته باشد. در این حالت موتور محرک باید توان کافی برای بالا رفتن از شبیه مورد نظر در سرعت دلخواه را داشته باشد. این توان را می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

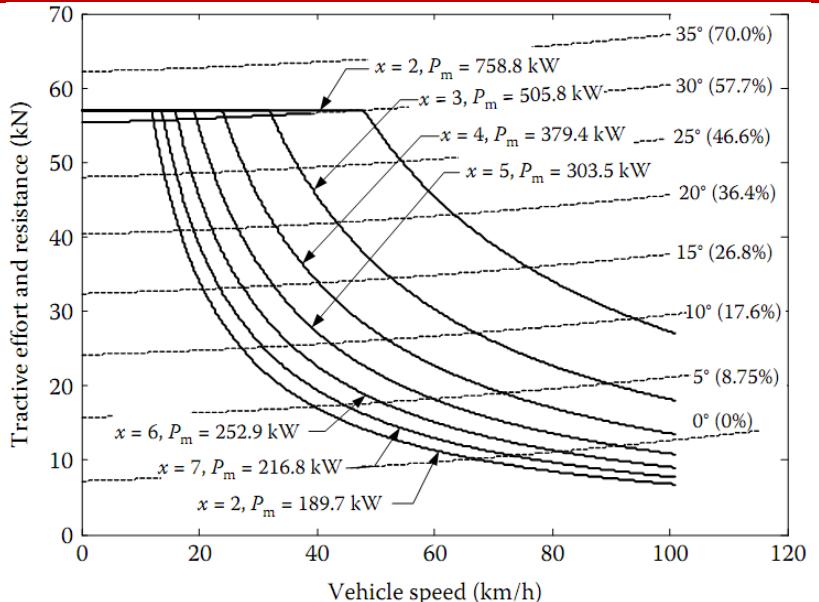
$$P_{grade} = \left( Mg f_r \cos \alpha + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 + Mg \sin \alpha \right) V \quad (6)$$

که در این رابطه،  $\alpha$  زاویه‌ی جاده و  $V$  سرعت مطلوب خودرو در شبیه‌پیمائی بر حسب  $\text{m/s}$  است. نکته‌ای که در این بخش باید آن را مورد توجه قرار داد این است که، با توجه به اینکه در جاده‌های کوهستانی - در کاربرد نظامی - میزان اصطکاک چرخ‌ها بسیار بیشتر است، باید ضریب بیشتری برای اصطکاک در نظر گرفت.

با توجه به رابطه‌ی (۶) و شکل ۶ میزان توان مطلوب برای شبیه‌پیمائی مورد نظر را می‌توان به دست آورد. مشخص است که نسبت سرعت‌های بزرگ‌تر، می‌توانند میزان توان مورد نیاز موتور محرکه برای ارضای

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

شیب پیمایی مطلوب را بسیار کاهش دهنده؛ هرچند این کار باعث می‌شود تا سرعت حداکثر در بیشترین شیب، کاهش یابد. نسبت سرعت بالا می‌تواند به وسیله‌ی خود موتور و یا یک گیربکس ایجاد شود. البته باید توجه داشت که در طراحی یک موتور باید هم زمان از رابطه‌های (۵) و (۶) استفاده کرد تا هر دو خواسته‌ی طراحی برآورده شوند.



شکل ۶ - توان محركه با سرعت خودرو، با نسبت سرعتها و توان موتورهای مختلف

با توجه به مطالب فوق، می‌توان یک سایزینگ اولیه برای موتور محرك به دست آورد که شرایط مورد نیاز را تأمین کند. البته این سایز به دست آمده، ابتدائی است و برای نهائی شدن این سایز انتخاب شده، باید سیستم را مدل‌سازی کرد و به بررسی این پرداخت که آیا سایز انتخاب شده مناسب برای عملکرد مطلوب هست یا خیر.

### طراحی توان مورد نیاز برای موتور احتراق داخلی

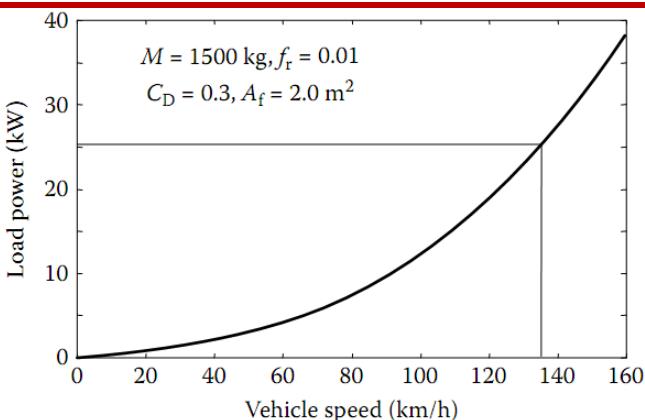
همان‌طور که قبل ذکر شد موتور در سیستم هیبرید سری، به‌نحوی فعالیت می‌کند که اجازه نداده منبع ذخیره‌ی انرژی به‌طور کامل تخلیه شود. در طراحی موتور دو حالت عمدی کار کرد باید در نظر گرفته شوند: (۱) رانندگی به مدت طولانی با سرعت ثابت - مثل رانندگی در بزرگراه‌ها و رانندگی در جاده‌های خارج از



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شهر با مسیر ملایم - و (۲) رانندگی با توقف و راه افتادن‌های مجدد زیاد - مثل رانندگی در شهرها -. در نوع اول، خودرو نباید به منبع انرژی برای تأمین نیروی محرکه‌اش برای حرکت با سرعت بالا وابسته باشد. در چنین حالتی موتور احتراق‌داخلی باید قابلیت تأمین توان برای حرکت خودرو در سرعت خواسته شده را داشته باشد. ولی برای طراحی خودرو در الگوی با توقف و راه افتادن زیاد، موتور باید به گونه‌ای انتخاب شود که بتواند سطح شارژ منبع ذخیره را همواره در یک سطح مطلوب معین نگاه دارد، تا همواره میزان انرژی لازم برای شتاب‌گیری و شبیه‌سیانی خودرو فراهم باشد؛ و همان‌گونه که قبلاً ذکر شده است، مصرف انرژی از منبع ذخیره بسیار به نوع استراتژی کنترلی انتخاب شده بستگی دارد.



شکل ۲ - توان موتور یک خودرو سواری ۱۵۰۰ kg در سرعت ثابت

در یک سرعت ثابت و در یک جاده‌ی صاف، توان خروجی از منبع توان (موتور احتراق‌داخلی/موتور هیدرولیکی) را می‌توان به این شکل نمایش داد:

$$P_{e/g} = \frac{V}{1000\eta_t\eta_m} \left( Mg f_r + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 \right) \text{ (kW)} \quad (7)$$

در رابطه‌ی فوق،  $\eta_t$  و  $\eta_m$  به ترتیب بازدهی‌های گیربکس و موتور محرکه هستند. در شکل ۷ نمودار توان موتور (بدون در نظر گرفتن بازدهی‌های ذکر شده) در برابر سرعت خودرو برای یک خودروی سواری ۱۵۰۰ کیلوگرم مشاهده می‌شود. از این نمودار مشخص است که میزان توان مورد نیاز برای حرکت در سرعت

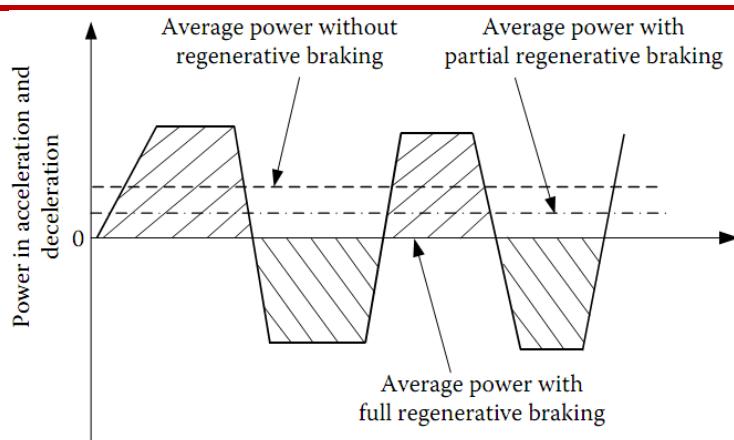
## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

ثابت، بسیار کمتر از میزان توان لازم در شتاب گیری است. به عنوان مثال، برای یک خودرو  $1500 \text{ kg}$ ، با در نظر گرفتن افتها در گیربکس و موتور محرکه ( $\eta_m = 0.9$  و  $\eta_t = 0.8$ ) تنها  $35 \text{ kW}$  توان برای حرکت در سرعت ثابت  $130 \text{ km/h}$  نیاز است.

هنگامی که خودرو در الگوی توقف-حرکت طی مسیر می‌کند، میزان توانی که موتور باید تولید کند، باید اندکی از میانگین توان مورد نیاز سیکل بیشتر باشد، تا بتواند همواره منبع ذخیره را در سطح شارژ مطلوبی نگه دارد. این مقدار میانگین از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T \left( Mg f_r + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 \right) V dt + \frac{1}{T} \int_0^T \delta M \frac{dV}{dt} dt \quad (8)$$

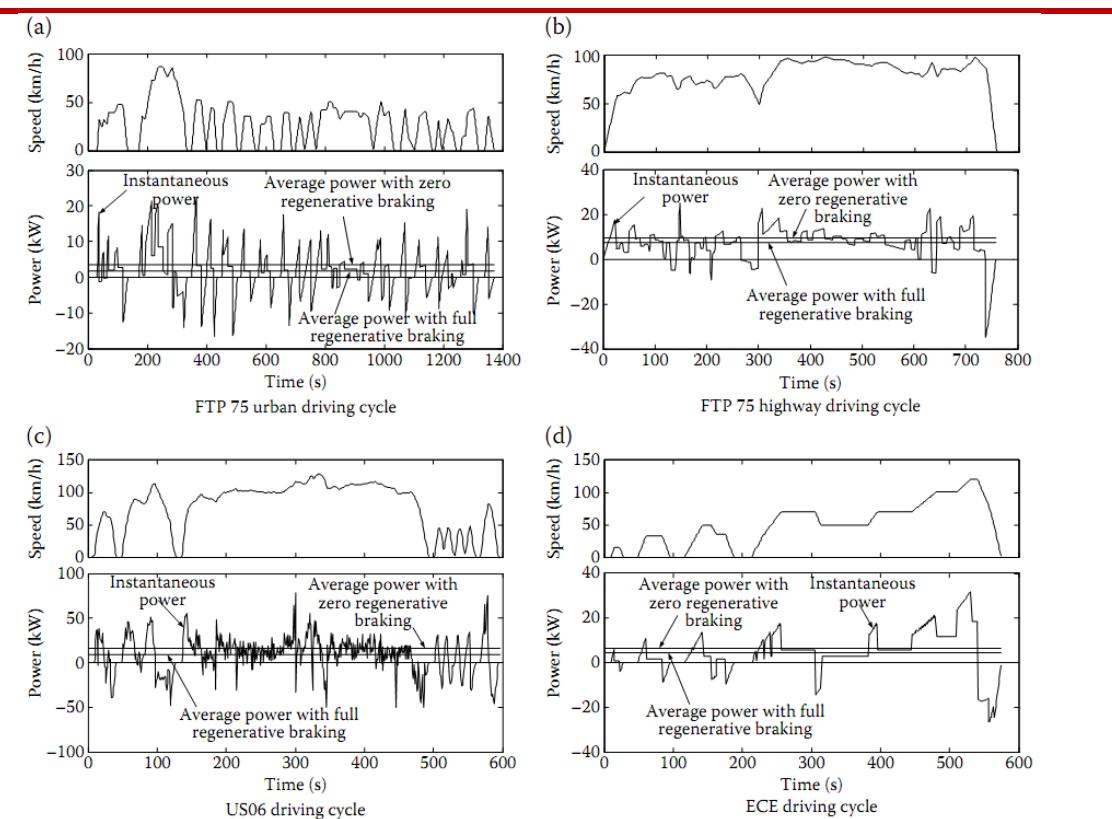
که در این رابطه،  $\delta$  مقدار اینرسی دورانی خودرو و  $dV/dt$  میزان شتاب خودرو است. ترم اول رابطه‌ی (8) میانگین مقدار توان لازم برای غلبه بر اصطکاک چرخ‌ها و درگ آئرودینامیکی است؛ و ترم دوم میزان میانگین توان مورد نیاز برای شتاب گیری و ترمز گیری را نمایش می‌دهد. وقتی که خودرو توانایی جذب کل انرژی در ترمز گیری را داشته باشد، ترم دوم صفر می‌شود؛ در غیر این صورت، ترم دوم مقداری بزرگتر از صفر خواهد داشت، همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است.



شکل ۸ - میانگین انرژی مصرف شده در شتاب گیری و ترمز گیری، با ترمز بازیاب کامل، بخشی، و بدون آن

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

در طراحی سایزینگ موتور، باید دقت کرد که قابلیت تواندهی موتور باید کمی بیشتر و یا حداقل برابر با توان مورد نیاز برای حرکت با سرعت ثابت در بزرگراه، و میانگین توان مورد نیاز در الگوهای حرکت شهری باشد. در طراحی واقعی باید از سیکل‌های حرکت شهری استاندارد برای طراحی کمک گرفت. چند نمونه از این سیکل‌ها در شکل ۹ مشاهده می‌شوند.

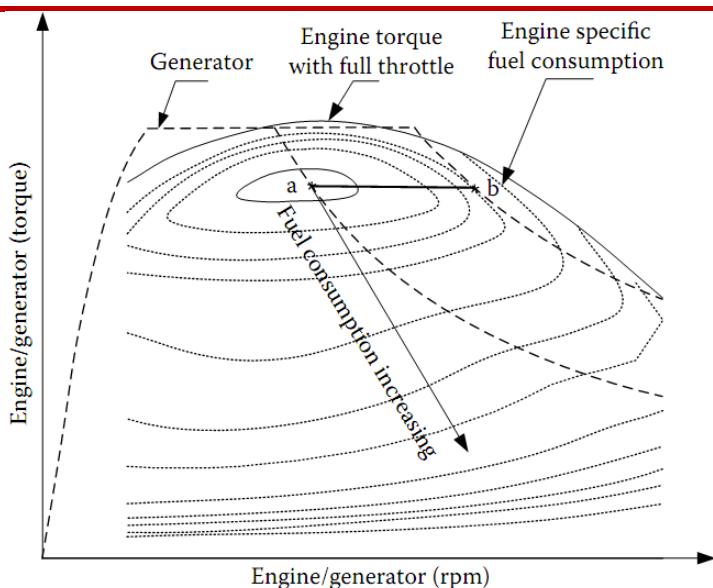


شکل ۹- چند سیکل استاندارد برای طراحی دقیق موتور احتراق داخلی

در طراحی موتور احتراق داخلی به دو روش می‌توان عمل کرد: (۱) نقطه کاری موتور در حالت استفاده را در نقطه‌ی بهینه‌اش قرار داد (نقطه‌ی a در شکل ۱۰). در این صورت، موتور طراحی شده، دارای سایز بزرگ‌تری خواهد بود؛ چرا که با حداکثر توانش کار نمی‌کند. البته این نوع انتخاب دارای این مزیت است که در صورتی که به‌هر علتی موتور کمکی از کار بیفتاد، توان اضافه‌ای که موتور می‌تواند تأمین کند، جلوی کاهش بیش از حد کاردۀ خودرو را می‌گیرد. در ضمن، در شرایط خاص هم ممکن است این قابلیت کاردۀ

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

بیشتر موتور به کار آید. در چنین حالتی برای استفاده از توان اضافی قابل تولید در موتور، نقطه‌ی کاری موتور به نقطه‌ی  $b$  در شکل ۱۰ منتقل می‌شود. ضمناً این توان اضافه، می‌تواند برای شارژ کردن سریع‌تر منبع ذخیره مورد استفاده قرار گیرد. (۲) حالت دیگر این است که، نقطه‌ی کاری موtor از ابتدا در نقطه‌ی  $b$  قرار گیرد. در این صورت، موtor کوچک‌تر می‌شود؛ ولی در عوض توان اضافه‌ای برای شرایط خاص و ... نخواهد داشت. در این مدل طراحی، مشکل دیگر، پائین‌تر بودن بازده کاری موtor است.



شکل ۱۰- نمودار کاری موtor احتراق داخلی

مشخصاً باز هم با توجه به انتخابی که در این زمینه صورت گیرد سایز موtor احتراق داخلی مورد استفاده متفاوت خواهد بود؛ و با تفاوت کردن این سایز، علاوه بر تغییر کردن وزن موtor و بهتی آن وزن کلی خودرو، بازدهی و قابلیت کاردهی نیز تفاوت خواهد کرد. لذا انتخاب مناسب در این زمینه نیز تأثیر فراوانی در رسیدن به حدود مطلوب کاردهی دارد.

### طراحی منبع ذخیره

منبع ذخیره باید قابلیت این را داشته باشد که توان لازم را در هر لحظه به موtor محرکه تحویل دهد؛ و به طور هم‌زمان شارژ شود، تا به خاطر افت بیش از حد میزان ذخیره، قابلیت تأمین توانش را از دست ندهد.



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

### • ظرفیت توان منبع ذخیره

برای آنکه موتور محرکه بتواند حداکثر کاردهی اش را ارائه کند، مجموع توان موتور احتراق داخلی و منبع ذخیره، باید اندکی بیشتر و یا حداقل برابر با توان موتور هیدرولیکی باشد. بنابراین، ظرفیت توانی منبع را می‌توان به شکل زیر نمایش داد:

$$P_{pps} \geq \frac{P_{m,max}}{\eta_m} - P_{e/g} \quad (9)$$

که در این رابطه،  $P_{pps}$  حداکثر توان قبل ارائه منبع،  $\eta_m$  بازده موتور، و  $P_{e/g}$  توان طراحی شده موتور احتراق داخلی، در نقطه‌ی طراحی اش است.

### • ظرفیت انرژی منبع ذخیره

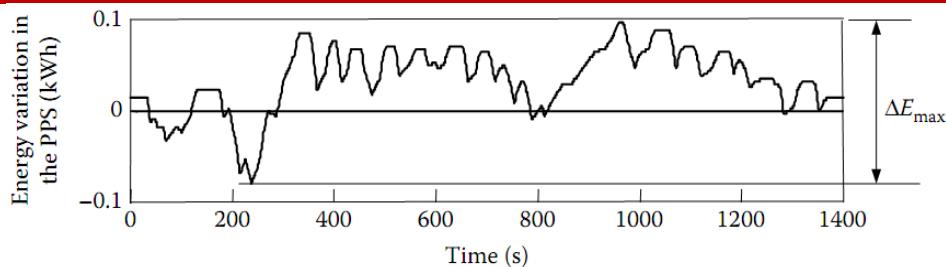
در برخی شرایط کاری خاص، به علت فرآیندهای ترمزگیری و شتابگیری مکرر، موقعیت شارژ منبع ذخیره پائین می‌آید؛ و بهمین دلیل قابلیت ارائه توانش کم می‌شود. برای آنکه بتوان طراحی درستی از نظر انرژی برای منبع انجام داد، باید تغییرات انرژی در سیکل‌های حرکتی خاص مورد استفاده را بدانیم. میزان تغییرات انرژی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\Delta E = \int_0^T P_{pps} dt \quad (10)$$

که در آن  $P_{pps}$ ، توان موتور هیدرولیکی است. علامت مثبت  $P_{pps}$  نشان‌گر توان شارژ، و علامت منفی آن، نشان‌دهنده‌ی توان دی‌شارژ شدن است مشخص است که میزان  $\Delta E$  به نوع کنترل سیستم وابستگی دارد. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که تغییرات انرژی  $pps$  در یک سیکل، چگونه با زمان پیش می‌رود. در این شکل، همچنین حداکثر تغییرات انرژی مشخص است ( $\Delta E_{max}$ ). با داشتن حدود مجاز جابجایی موقعیت شارژ منبع، می‌توان ظرفیت انرژی مطلوب را از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

$$E_{cap} = \frac{\Delta E_{max}}{SOC_{top} - SOC_{bott}} \quad (11)$$



شکل ۱۱- تغییرات انرژی در سیکل FTP75 با سیستم کنترلی حداکثر نگاه داشتن میزان شارژ منبع ذخیره

برای بدست آوردن سایز مناسب منابع ذخیره، باید پس از سایز شدن موتور احتراق داخلی و پمپ/موتور مورد استفاده و همچنین انتخاب نهائی سیستم کنترلی بر اساس الگوی عملکرد مورد نیاز، کل سیستم را در سیکل مطلوب شبیه‌سازی نمود. سپس با توجه به میزان مطلوب ظرفیت انرژی و توان، سایز مناسب منع ذخیره انرژی تعیین می‌گردد.

### ۲-۱ چیدمان موازی

بر خلاف حالت سری، حالت موازی (با کوپلینگ مکانیکی) این قابلیت را دارد که موتور احتراق داخلی و موتور کمکی به طور همزمان به چرخ‌های محرک گشتاور وارد کنند. کوپلینگ مکانیکی دو نوع است:

(۱) کوپلینگ گشتاوری، (۲) کوپلینگ سرعتی. وقتی به عنوان موتور محرکه‌ی اصلی از موتورهای احتراق داخلی ستی استفاده می‌کنیم، بهتر است کوپلینگ گشتاوری به کار بrede شود؛ چرا که موتورهای احتراق داخلی ذاتاً مولد گشتاورند. همچنین با توجه به ماهیت سیستم‌های تولید توان کمکی در هیبرید مکانیکی از کوپلینگ گشتاور استفاده می‌شود.

مزیت‌های عمدی یک چیدمان موازی با کوپلینگ گشتاوری نسبت به یک چیدمان سری عبارتند از:

(۱) عدم نیاز به ژنراتور، (۲) موتور محرک کوچک‌تر، (۳) تنها بخشی از توان تولیدی توسط موتور



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



احتراق داخلی دچار تبدیل نوع می‌شود. با توجه به این نکات ذکر شده، بازدهی چیدمان موازی می‌تواند بیش از بازدهی چیدمان سری باشد. اگرچه مکانیزم کنترلی چیدمان موازی، به علت وجود کوپلینگ‌های متعدد مکانیکی، دارای پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به چیدمان سری است.

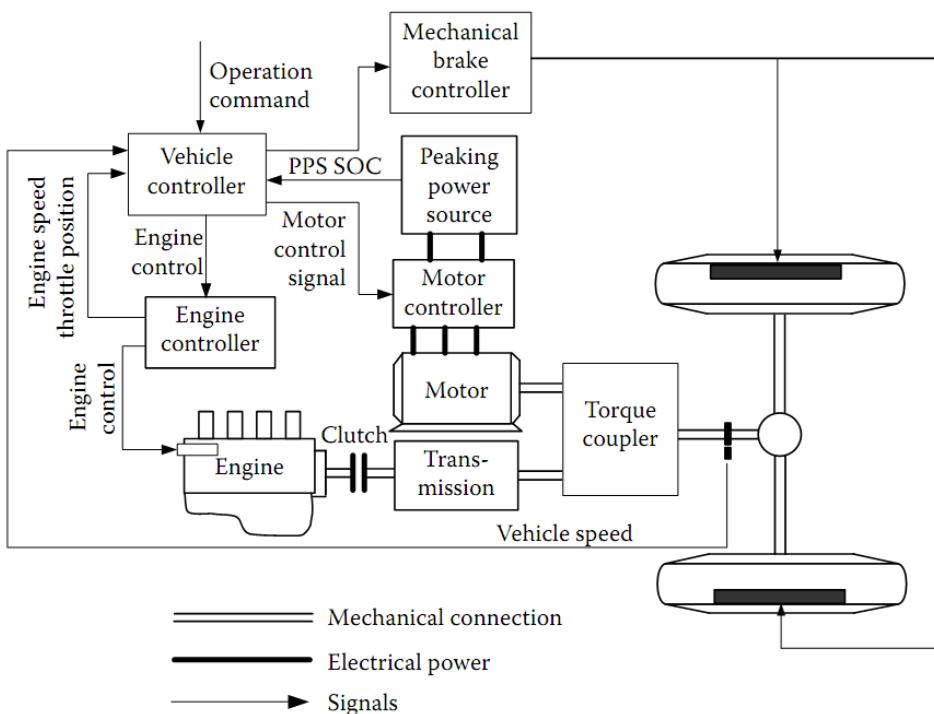
در یک هیبرید موازی، چیدمان‌های زیادی موجودند؛ و روش طراحی مورد استفاده برای یک چیدمان، برای چیدمان دیگر قابل استفاده نیست. هر چیدمان خاص، تنها می‌تواند برای محیط طراحی و عملکرد خاص خود مورد استفاده قرار گیرد. در این فصل، به طور خاص، به بررسی چیدمان موازی با کوپلینگ گشتاوری که بر اساس اصل تأمین توان مازاد بر حالت بهینه موتور احتراق داخلی توسط موتور کمکی کار می‌کند، می‌پردازیم. در چنین حالتی، موتور احتراق داخلی به گونه‌ای کار می‌کند که توان پایه‌ی مورد نیاز را تأمین کند - حرکت با سرعت ثابت مطلوب در یک جاده‌ی صاف، یا میانگین توان مورد نیاز در یک الگوی حرکتی حرکت/توقف- و موتور کمکی به گونه‌ای کار می‌کند که توان مورد نیاز بیشتر از این میزان را به چرخ‌های محرک برساند.

### ۱-۲-۱ چیدمان سیستم محرکه، و پارامترهای طراحی

چیدمان یک سیستم محرکه هیبرید موازی با کوپلینگ گشتاوری، در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. سیستم کنترلی، شامل یک کنترلر توان موتور احتراق داخلی، کنترلر موتور کمکی، کنترلر ترمز مکانیکی و کنترلر کلاچ است. کنترلر مرکزی خودرو، بالاترین سطح کنترلر است. این کنترلر، از رانده توسط پدال‌های گاز و ترمز و از دیگر اجزای موتور و مشخصه‌های آنها، از جمله: (۱) سرعت خودرو، (۲) سرعت دورانی موتور، (۳) موقعیت شیر اختناق، (۴) موقعیت شارژ منبع ذخیره و ... فرمان می‌گیرد. با دریافت سیگنال‌های متفاوت و بر اساس متد کنترلی مطلوب طراحی شده و مسیری که خودرو در آن در حرکت است، کنترلر مرکزی خودرو دستورات لازم برای اجرا را به کنترلر تمامی اجزاء می‌فرستد. کنترلرهای اجزای مختلف موظفند عضو تحت کنترلشان را مطابق با خواسته کنترلر مرکزی هدایت کنند. از آنجا که متصل کننده‌ی گشتاور قابل

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

کنترل نیست، جریان توان درون سیستم محرکه، تنها از طریق منابع تولید و کنترل توان که شامل موتور احتراق داخلی، موتور محرکه، کلاچ و ترمز مکانیکی می‌باشد قابل کنترل است.



شکل ۱۲- چیدمان سیستم محرکه‌ی موازی هیبرید

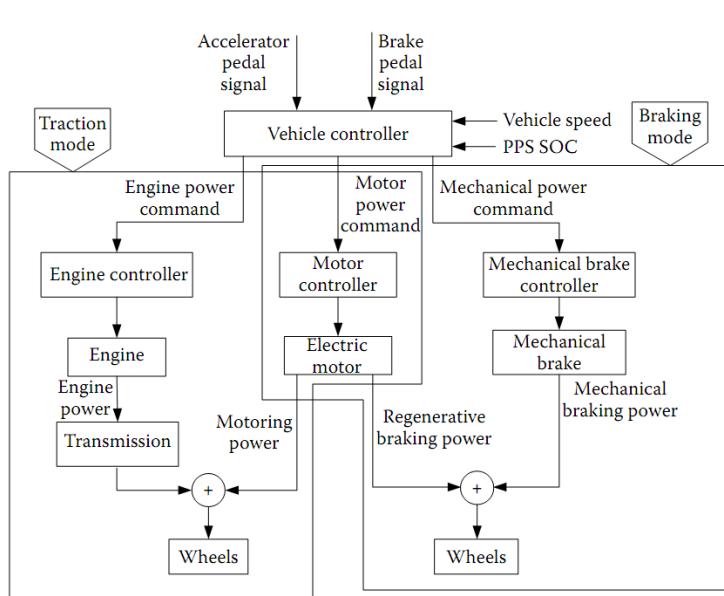
در یک خودروی هیبرید مکانیکی، موتور، کنترلر موتور و منع تولید توان پیک با مجموعه موتورهیدرولیک و مخازن آن یا مجموعه فلاپیویل و گیربکس پیوسته جایگزین می‌گردد.

پارامترهای اصلی در طراحی سیستم محرکه، توان موتور احتراق داخلی، توان موتور محرکه، فشار منع ذخیره و سطح انرژی آن، ضریب دنده انتقال قدرت و از همه مهم‌تر، استراتژی کنترل سیستم محرکه هستند. قیود طراحی عبارتند از: (۱) برآورده کردن نیازهای طراحی (شیب‌پیمائی، شتاب‌گیری، و سرعت نهایی مورد نظر)، (۲) داشتن بالاترین بازده در بیشترین زمان‌های ممکن، (۳) حفظ میزان شارژ منع ذخیره در یک محدوده مطلوب در حین حرکت در بزرگراه و یا جاده‌های شهری بدون نیاز به شارژ از طریق منبع بیرونی و (۴) بازیابی حداقل انرژی ترمزی ممکن.

### ۲-۲-۱ استراتژی‌های کنترل

مدهای عملکردی در دسترس برای هیبرید موازی با کوپلینگ گشتاوری، عبارتند از: (۱) عملکرد موتور احتراق داخلی به تنهایی، (۲) عملکرد موتور کمکی به تنهایی، (۳) عملکرد هیبرید (کارکرد هم‌زمان موتور احتراق داخلی و موتور کمکی)، (۴) بازیابی ترمزی، و (۵) شارژ شدن منبع ذخیره توسط موتور احتراق داخلی. برای کنترل سیستم هیبرید در حین حرکت خودرو، باید ترکیبی از حالات فوق الذکر در نظر گرفته شوند تا به میزان گشتاور مطلوب، بازدهی کلی بالا، نگه داشتن سطح شارژ منبع در یک حد مطلوب و بازیاب حداکثر انرژی ترمز برسیم.

شمای کلی کنترلر هیبرید موازی با کوپلینگ گشتاوری در شکل ۱۳ نشان داده شده است. این سیستم کنترلی شامل کنترلر خودرو، کنترلر موتور احتراق داخلی، کنترلر موتور کمکی، و کنترلر ترمز مکانیکی است. کنترلر خودرو در بالاترین سطح فرمان قرار دارد و با دریافت سیگنال از کلیه بخش‌های خودرو، فرمان‌های لازم را به تک تک اجزاء خودرو برای رسیدن به هدف مطلوب ارسال می‌نماید.



شکل ۱۳- شمای کلی کنترلر هیبرید موازی با کوپلینگ گشتاوری

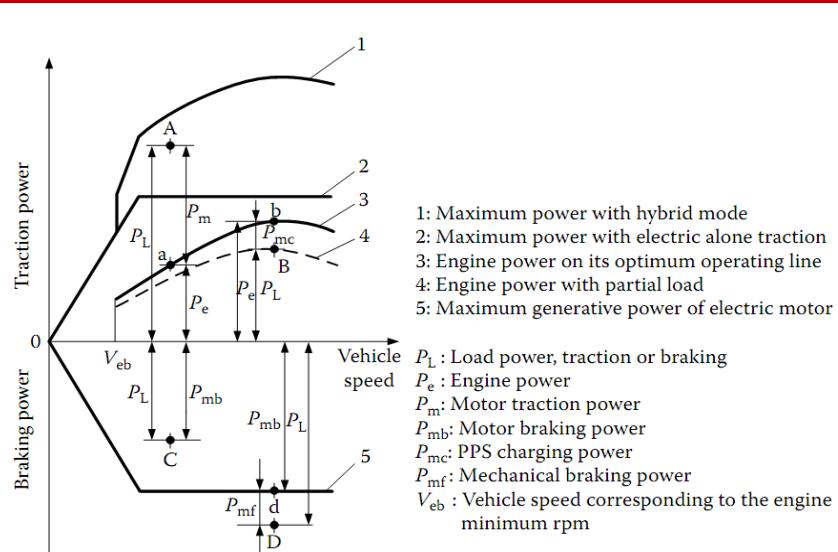
## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

کنترلر خودرو، نقش حیاتی در عملکرد سیستم محرکه دارد. این کنترلر، باید مدهای مختلف حرکتی را پشتیبانی کند. از آنجا که عملکرد خودرو کاملاً وابسته به فرمان‌های این کنترلر است، استراتژی کنترل نقشی بسیار مؤثر در موفقیت کارکرد خودرو دارد.

### استراتژی کنترلی بر اساس نگه داشتن منبع ذخیره در موقعیت حداکثر شارژ

در حالی که یک خودرو در سیکل توقف و حرکت مجدد در حال حرکت است، منبع ذخیره باید به‌طور متناوب، انرژی خود را به سیستم انتقال دهد. بنابراین شارژ منبع ذخیره خیلی زود تخلیه می‌شود. در چنین حالتی داشتن یک استراتژی کنترلی که موقعیت شارژ منبع ذخیره در یک حد مطلوب را در کل زمان تضمین کند تا در موقع نیاز برای شتاب‌گیری، توان مورد نیاز خودرو را تأمین نماید، ضروری است. قانون پایه‌ای در این استراتژی کنترل، استفاده از موتور احتراق‌داخلی به عنوان محرک اولیه و شارژ منبع ذخیره با مازاد انرژی آن در کل سیکل است. البته باید توجه داشت که میزان شارژ از یک حد معین باید فراتر برود.

این استراتژی کنترل در شکل ۱۴ توضیح داده شده است. در این شکل، مدهای متفاوت کارکرد موتور در برابر سرعت خودرو نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱۴- شماي حالت مختلف کارکرد، بر اساس میزان توان خواسته شده



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



مدهای متفاوت کاری سیستم محرکه هیبرید موازی در ادامه توضیح داده شده‌اند:

- ۱- ایجاد توان محرکه به تنها بی توسط موتور کمکی: هنگامی که سرعت خودرو از یک حد معین  $V_{eb}$  کمتر باشد؛ به طوری که موتور احتراق داخلی نتواند با بازدهی مطلوب توان محرکه را ایجاد کند. در این حالت کل توان مورد نیاز، توسط موتور کمکی تأمین می‌گردد و موتور احتراق داخلی خاموش است یا در دور آرام با کلاچ باز کار می‌کند. برای این حالت داریم:

$$P_e = 0 \quad (12)$$

$$P_m = P_L \quad (13)$$

$$P_{pps-d} = \frac{P_m}{\eta_m} \quad (14)$$

که در روابط فوق،  $P_e$  توان خروجی موتور احتراق داخلی،  $P_L$  توان مطلوب خواسته شده توسط راننده به وسیله پدال گاز،  $P_m$  توان خروجی از موتور کمکی،  $P_{pps-d}$  توان تخلیه انرژی منبع ذخیره، و  $\eta_m$  بازده موتور کمکی هستند.

- ۲- تأمین توان محرکه در مد هیبرید: هنگامی که توان خواسته شده ( $P_L$ )، مطابق نقطه‌ی کاری  $A$  بزرگ‌تر از مقداری است که موتور احتراق داخلی می‌تواند تأمین کند، دو موتور به طور همزمان به تأمین توان می‌پردازند. در چنین حالتی، موتور احتراق داخلی در خط بهینه‌ی کاریش (نقطه  $a$ ) تنظیم می‌شود. مابقی توان مورد نیاز در این حالت، توسط موتور کمکی تأمین می‌شود. در این حالت:

$$P_m = P_L - P_e \quad (15)$$

$$P_{pps-d} = \frac{P_m}{\eta_m} \quad (16)$$



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



۳- شارژ منبع ذخیره: هنگامی که میزان توان درخواستی، نشان داده شده توسط نقطه  $B$  کمتر از میزان

توانی باشد که موتور در حالت کارکرد در محدوده بینیه کاریش می‌تواند تحویل دهد و

هم‌چنین میزان شارژ منبع ذخیره کمتر از حد نهایی آن باشد، موتور در محدوده بینیه کاریش

(نقطه  $b$ ) کار خواهد کرد، و میزان توان  $P_e$  تحویل می‌دهد. در این حالت، موتور کمکی توسط

کنترلر ش به نحوی کنترل می‌شود که به عنوان ژنراتور کار کند و میزان توان مازاد تولیدی توسط

موتور را در منبع ذخیره شارژ کند. در این حالت:

$$P_m = (P_e - P_L) \eta_{t,e,m} \quad (17)$$

$$P_{pps-c} = P_m \eta_m \quad (18)$$

که در روابط فوق،  $\eta_{t,e,m}$  بازده انتقال قدرت از موتور احتراق داخلی تا موتور کمکی است.

۴- کارکرد موتور احتراق داخلی به تنها بعنوان محرکه: هنگامی که میزان توان خواسته شده توسط

راننده کمتر از میزان توان قابل تولید توسط موتور در نقطه بینیه کاریش باشد و میزان شارژ منبع

ذخیره نیز در حداکثر میزان شارژ مطلوبش باشد، سیستم موتور کمکی به طور کلی خاموش شده و

موتور احتراق داخلی به تنها بعنوان کار می‌کند که توان مورد نیاز محرکه را تأمین کند. منحنی

توان خروجی موتور احتراق داخلی، توسط خط‌چین در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. در این

حالت:

$$P_e = P_L \quad (19)$$

$$P_m = 0 \quad (20)$$

$$P_{pps-d} = 0 \quad (21)$$



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



۵- ترمزگیری فقط توسط بازیاب: هنگامی که خودرو فرمان توقف می‌گیرد و میزان توان ترمزی مورد نیاز کمتر از حداقل توان قابل تولید توسط سیستم بازیاب است (مطابق آنچه در شکل ۱۴ توسط نقطه‌ی  $C$  نمایش داده است)، موتور کمکی به نحوی فرمان می‌گیرد که به عنوان ژنراتور عمل کند و توان ترمزی را بازیاب نماید. در این حالت موتور احتراق داخلی خاموش است یا در دور آزاد کار می‌کند. در این حالت:

$$P_{mb} = P_L \eta_m \quad (22)$$

$$P_{pps-c} = P_{mb} \quad (23)$$

۶- ترمزگیری دوگانه: وقتی میزان توان ترمزی مورد نیاز بیشتر از مقدار قابل تأمین توسط سیستم بازیاب باشد (مطابق آنچه در شکل ۱۴ توسط نقطه‌ی  $D$  نمایش داده است)، موتور کمکی به نحوی کنترل می‌شود که حداقل توان ترمزی قابل تولیدش را ارائه دهد و سیستم ترمز مکانیکی، مابقی توان مورد نیاز برای ترمزگیری را تأمین کند. در چنین حالتی:

$$P_{mb} = P_{mb,max} \eta_m \quad (24)$$

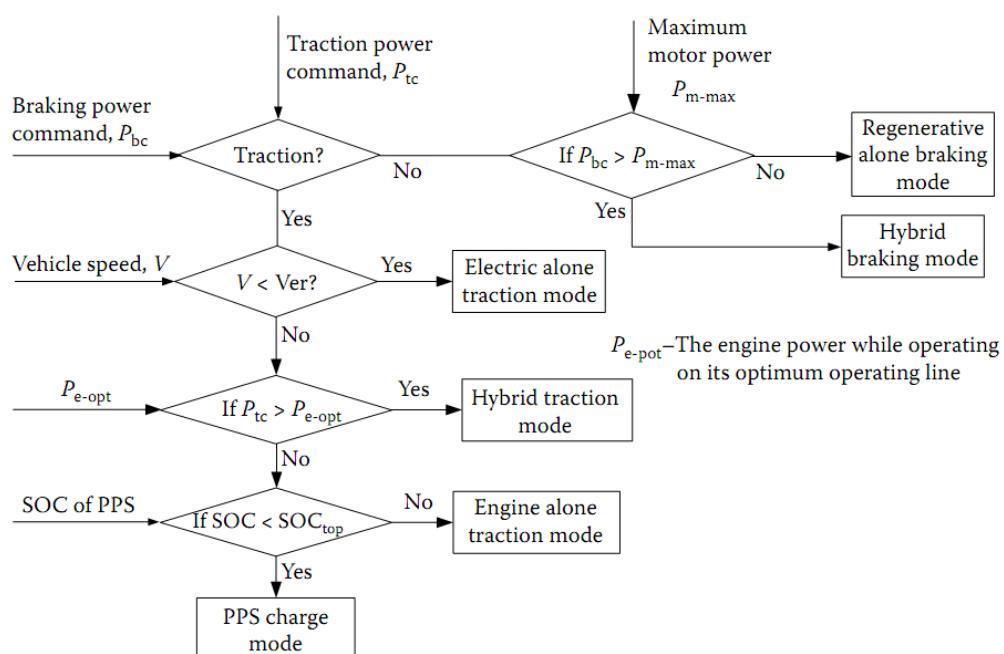
$$P_{pps-c} = P_{mb} \quad (25)$$

$$P_{mf} = P_L - P_{mb} \quad (26)$$

البته این نکته باید خاطر نشان شود که برای کارایی مناسب ترمزگیری، نیروهای ترمزی که به چرخ‌های عقب و جلوی خودرو وارد می‌شوند، باید با نیروهایی که به چرخ‌ها وارد می‌شوند، متعادل باشند. بنابراین نیروهای ترمزی مطلوب، دقیقاً مطابق آنچه در روابط فوق آمد، نیست. فلوچارت کنترل حداقل میزان شارژ منبع ذخیره در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.

هدف اصلی این سیستم کنترلی این است که تا حد ممکن از موتور احتراق داخلی برای تولید توان مورد نیاز استفاده کند و تا حد ممکن از موتور کمکی به عنوان تنها منبع تولید توان محركه خودرو استفاده نکند.

این نوع از سیستم کنترل، بخشی از توان موتور که باید به وسیله‌ی موتور کمکی در منبع ذخیره شارژ شود و در موقع نیاز استفاده شود را تا حد ممکن کم می‌نماید؛ این کار باعث کاهش تلفات ناشی از انتقال قدرت می‌شود.



شكل ١٥- فلوچارت كنترل حداكثه ميزان شارژ منبع ذخيره

استر اتئی کنترلی یا مدل خاموش - روشن کردن موتور

هنگامی که میزان توان مورد نیاز برای حرکت خودرو کمتر از میزانی باشد که موتور احتراق داخلی در نقطه‌ی بهینه‌ی کاریش تولید می‌کند و میزان شارژ منبع ذخیره در حداکثر خود باشد، سیستم کنترلی شارژ حداکثر منبع ذخیره موتور را مجبور می‌کند تا در محدوده‌ای خارج از محدوده‌ی بهینه‌ی کاریش کار کند. در چنین

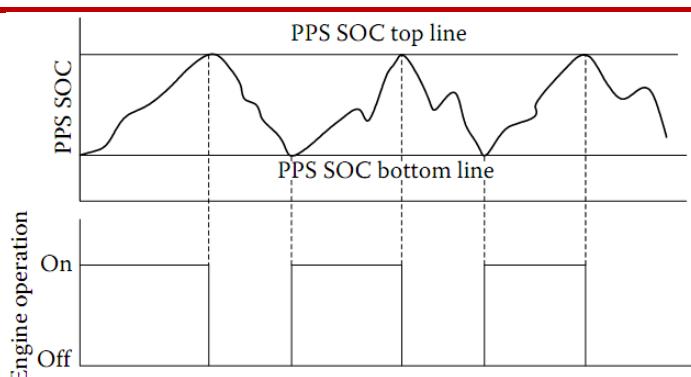
حالتی، بازده کلی خودرو کاهش پیدا می‌کند. در این صورت سیستم کنترلی با مدل خاموش-روشن کردن

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

موتور احتراق داخلی به کار می‌آید. در این استراتژی کنترل، سیستم با استفاده از موقعیت شارژ منبع ذخیره مطابق شکل ۱۶ کنترل می‌شود.

در طول مدتی که موتور در حال کار کردن است، همواره در محدوده‌ی بهینه‌ی کاریش کار می‌کند و استراتژی حداکثر موقعیت شارژ منبع ذخیره پابرجاست. هنگامی که منع ذخیره به حداکثر موقعیت شارژ خود بررسد، موتور احتراق داخلی به‌طور کلی خاموش می‌شود و موتور کمکی با استفاده از شارژ موجود در منبع ذخیره، کل توان محركه‌ی مورد نیاز خودرو را تأمین می‌کند. در ادامه، هنگامی که موقعیت شارژ منبع ذخیره به حداقل میزان مجازش می‌رسد، موتور احتراق داخلی مجدداً روشن می‌شود و دوباره استراتژی کنترلی مورد استفاده، مطابق سیستم حداکثر موقعیت شارژ منبع ذخیره می‌شود.

این نکته مشخص است که این سیستم کنترلی، موتور کمکی را به عنوان موتور اصلی در سیستم محركه‌اش استفاده می‌کند. موتور احتراق داخلی در این حالت یا در نقطه‌ی بهینه‌اش در حال کار کردن است و یا به‌طور کلی خاموش. بنابراین بازده میانگین موتور احتراق داخلی در این حالت در حداکثر ممکن است. هرچند در این حالت آن بخش از نیروی موtor که توسط سیستم انتقال قدرت باید در منبع ذخیره شارژ شود و در ادامه مورد استفاده قرار گیرد نیز به حداکثر میزان خود می‌رسد؛ و این امر می‌تواند باعث کاهش بازدهی کلی خودرو به علت تلفات موجود در این انتقال قدرت شود.



شکل ۱۶- شماتیک استراتژی کنترلی با سیستم موتور روشن-خاموش



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



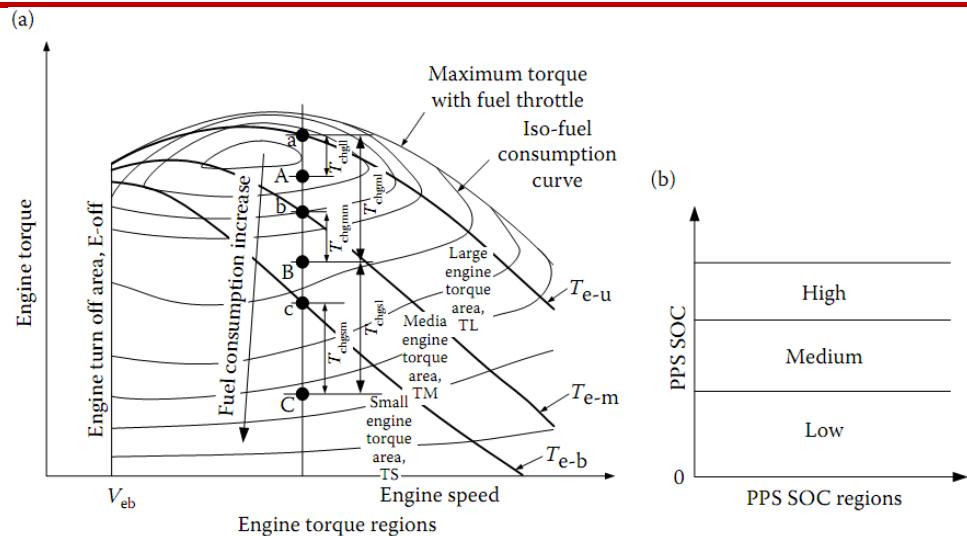
این نکته نیز در مورد این سیستم کنترلی باید مد نظر قرار گیرد که برای آن که بتوان با این سیستم کنترلی خودرو را در مسیر حرکت داد، موتور کمکی باید به گونه‌ای طراحی شود که بتواند به تنهایی توان مورد نیاز را برای حرکت خودرو، حتی در حالتی که خودرو به حداقل توان طراحیش نیاز دارد، تأمین کند.

## استراتژی کنترلی موتور روشن-خاموش تحمیلی

این مدل سیستم کنترلی، مایین دو حالت قبلی ذکر شده است. اصل کلی این حالت، اضافه کردن حالت خاموش و روشن شدن موتور به استراتژی کنترل براساس حداکثر شارژ منبع ذخیره است. استراتژی کنترل در این حالت تا زمانی که سرعت خودرو از  $V_{eb}$  کمتر است، دقیقاً مانند حالت شارژ حداکثر منبع ذخیره است و نیروهای محرکه‌ی مورد فرمان، نقاط  $A$ ،  $C$  و  $D$  از شکل ۱۴ می‌باشند. اگرچه در حالتی که توان مورد نیاز مطابق نقطه‌ی  $B$  در شکل ۱۴ باشد، یعنی میزان توان مورد نیاز برای حرکت خودرو کمتر از میزانی باشد که موتور در مدد بهینه‌اش تولید می‌کند، موتور می‌تواند در یکی از ۳ حالت زیر کار کند: (۱) کار در نقطه بهینه، (۲) کار در محدوده‌ای خارج از بهینه و (۳) حالت موتور خاموش؛ که بستگی به موقعیت شارژ منبع ذخیره دارد. این استراتژی کنترل با استفاده از شکل ۱۷ توضیح داده می‌شود.

میزان گشتاور مورد نیاز خودرو به ۳ بخش تقسیم می‌شود: (۱) محدوده‌ی گشتاور بالا  $-TL-$ ، (۲) محدوده‌ی گشتاور متوسط  $-TM-$  و محدوده‌ی گشتاور کوچک  $-TS-$  که هر سه در شکل ۱۷ قسمت (a) نشان داده شده‌اند. این سه محدوده با منحنی‌های گشتاور  $T_{e-l}$ ،  $T_{e-m}$  و  $T_{e-s}$  جدا شده‌اند. این سه محدوده می‌توانند با سه موقعیت خاص از میزان بازشدگی دریچه‌های موتور ایجاد شوند. در شکل ۱۷ قسمت (a) نمودارهای مصرف سوخت نیز رسم شده‌اند. به‌همین ترتیب، محدوده‌ی شارژ منبع ذخیره نیز به ۳ بخش - شارژ بالا، متوسط و پائین - تقسیم می‌شود (مطابق قسمت (b) شکل ۱۷). کنترلر مرکزی خودرو بر اساس میزان توان مورد نیاز در هر لحظه و موقعیت شارژ منبع ذخیره به صورت همزمان فرمان کنترلی صادر می‌کند. طرح کنترلر پیشنهادی در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شکل ۱۷- نمودار سیستم کنترلی موتور روش-خاموش تحمیلی؛ (a) محدوده‌های کاری موتور احتراق داخلی، (b) محدوده‌های موقعیت شارژ منبع ذخیره

هنگامی که میزان گشتاور خواسته شده در محدوده  $TL$  است - که با نقطه  $A$  در شکل ۱۷ قسمت (a) نمایش داده شده است -، و یا اینکه موقعیت شارژ منبع ذخیره در حد بالا یا متوسط خود باشد، موتور احتراق داخلی به گونه‌ای کنترل می‌شود که دقیقاً به میزان گشتاور خواسته شده تولید کند. در صورتی که منبع ذخیره در محدوده میزان شارژ کم باشد، موتور احتراق داخلی به گونه‌ای کار می‌کند تا در محدوده بهینه‌اش باشد و میزان گشتاور تولیدی مازاد، صرف شارژ منبع ذخیره می‌گردد. در این حالت گشتاوری که صرف شارژ منع می‌شود،  $T_{chgl}$  نامیده می‌شود.

وقتی میزان گشتاور درخواستی در محدوده  $TM$  باشد - که با نقطه  $B$  در شکل ۱۷ قسمت (a) نمایش داده شده است - و منبع در محدوده شارژ بالای خود باشد، موتور به نحوی کنترل می‌شود که دقیقاً مطابق با میزان گشتاور درخواستی تولید کند. ولی از سوی دیگر، اگر میزان شارژ منبع ذخیره در محدوده متوسط خود باشد، موتور در محدوده مرز بالایی که با نقطه  $b$  نشان داده شده است، کار می‌کند. در این صورت میزان گشتاور مصرفی برای شارژ منع را با  $T_{chgmm}$  نمایش داده می‌شود. بالاخره در صورتی که منبع ذخیره دارای شارژ بسیار پائینی باشد، موتور در نقطه‌ی بهینه‌اش شروع به کار می‌کند - نقطه  $a$  - تا هرچه سریع‌تر



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

منع ذخیره به شارژ مطلوب برسد. گشتاور مورد استفاده برای شارژ منبع ذخیره در این حالت را  $T_{chgml}$  نمایش می‌نامیم.

وقتی میزان گشتاور درخواستی در محدوده‌ی  $TS$  باشد - که با نقطه‌ی  $C$  در شکل ۱۷ قسمت (a) نمایش داده شده است - و میزان شارژ منبع ذخیره در سطح بالایی باشد، موتور خاموش شده و موتور کمکی با استفاده از شارژ منبع ذخیره، تمام گشتاور مورد نیاز را تأمین می‌کند. در صورتی که منبع ذخیره در محدوده‌ی شارژ متوسط خود باشد، موتور روشن شده و در محدوده‌ی مزر این قسمت کار می‌کند. در این حالت گشتاور شارژ منبع ذخیره  $T_{shgsm}$  نامیده می‌شود. در صورتی که منبع ذخیره در محدوده‌ی شارژ پائین خود باشد، موتور احتراق داخلی به‌نحوی کنترل می‌شود که در محدوده‌ی نقطه‌ی  $a$  کار کند تا شارژ منبع ذخیره را به سرعت به محدوده‌ی متوسط آن برساند. در این صورت گشتاور شارژ-کننده،  $T_{chgsl}$  نام دارد.

خلاصه‌ی اطلاعات فوق در شکل ۱۸ نمایش داده شده است.

PPS SOC Commanded torque, $T_L$	Low	Medium	High
In small area (point C)	$T_e = T_b$ $T_{chgsl} = T_b - T_c$	$T_e = T_c$ $T_{chgsm} = T_c - T_c$	$T_e = 0$ $T_{chgsh} = 0$
In medium area (point B)	$T_e = T_a$ $T_{chgml} = T_a - T_B$	$T_e = T_b$ $T_{chgmm} = T_b - T_B$	$T_e = T_B$ $T_{chgmh} = 0$
In large area (point A)	$T_e = T_a$ $T_{chgl} = T_a - T_A$	$T_e = T_A$ $T_{chglh} = 0$	$T_e = T_A$ $T_{chglh} = 0$

$T_A, T_B, T_C \dots$  Commanded traction torques in large, medium, and low torque areas, corresponding to point A, B, and C in Figure 8.6(a)

$T_a, T_b, T_c \dots$  Torques that engine is controlled to produce, corresponding to point a, b, and c

$T_{chgx} \dots$  PPS charging torque, footnote xx = lh--- large torque, low SOC, and so on

$T_e \dots$  Engine torque

شکل ۱۸ - الگوریتم کنترل پیشنهادی



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



### ۳-۲-۱ اصول طراحی سیستم محرکه هیبرید موازی

پارامترهای سیستم هیبرید موازی (کوپلینگ گشتاوری)، مثل توان موتور احتراق داخلی، توان موتور کمکی، نسبت دنده‌ها و ظرفیت ذخیره انرژی و توان منبع ذخیره، اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر کارکرد سیستم هیبرید و بازده مناسب آن هستند. اگرچه در طراحی اولیه، این پارامترها همگی بر اساس نیازهای طراحی تخمین زده می‌شوند، در ادامه باید با روش‌های متفاوت بهینه‌سازی طراحی آن‌ها صورت گیرد.

در ادامه‌ی این بخش برای درک بهتر مطلب، پارامترهای یک خودروی سواری مدنظر قرار گرفته‌اند. این پارامترها عبارتند از: جرم خودرو،  $M = 1500 \text{ kg}$ ، ضریب اصطکاک غلتشی،  $f_r = 0.1$ ، چگالی هوای  $C_D = 0.3$ ، سطح دید خودرو از روی رو،  $A_f = 2.0 \text{ m}^2$ ، ضریب درگ آئرودینامیکی،  $\rho_a = 1.205 \text{ kg/m}^3$  شعاع چرخ‌های محرک،  $m = 0.2794 \text{ m}$ ، بازده انتقال توان از موتور به چرخ‌های محرک،  $\eta_{t,e} = 0.9$  و بازده انتقال توان از موتور کمکی به چرخ‌های محرک،  $\eta_{t,m} = 0.95$ . روش طراحی این ساختار نیز برای انواع مختلف هیبرید تقریباً یکسان می‌باشد. در این بخش به پرسه طراحی بر مبنای یک خودروی هیبرید الکتریکی پرداخته می‌شود و در ادامه نیز طراحی خودروی هیبرید مکانیکی مدنظر ما خواهد بود.

#### محاسبه توان احتراق داخلی

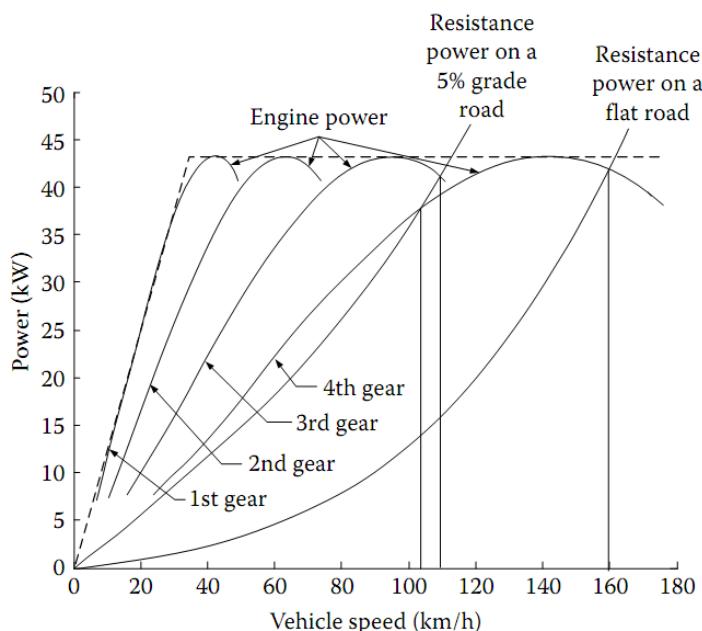
موتور احتراق داخلی باید به گونه‌ای طراحی شود که بتواند به تنایی و بدون نیاز به کمک موتور کمکی، توان مورد نیاز برای حرکت خودرو در سرعت ثابت، و حرکت در شیب‌های ملایم را تأمین کند. موتور هم‌چنین باید این قابلیت را داشته باشد که توان تولیدیش از میانگین توان مورد استفاده‌ی خودرو بیشتر باشد، تا بتواند در الگوهای حرکتی توقف و حرکت، توان مورد نیاز را تأمین نماید.

به عنوان حداقل توان موردنیاز برای حرکت با سرعت ثابت در یک مسیر صاف، یا یک جاده با شیب ملایم، می‌توان رابطه‌ی زیر را پیشنهاد کرد:

$$P_e = \frac{V}{1000\eta_{t,e}} \left( Mg f_r + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 + M g i \right) \quad (\text{kW}) \quad (27)$$

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

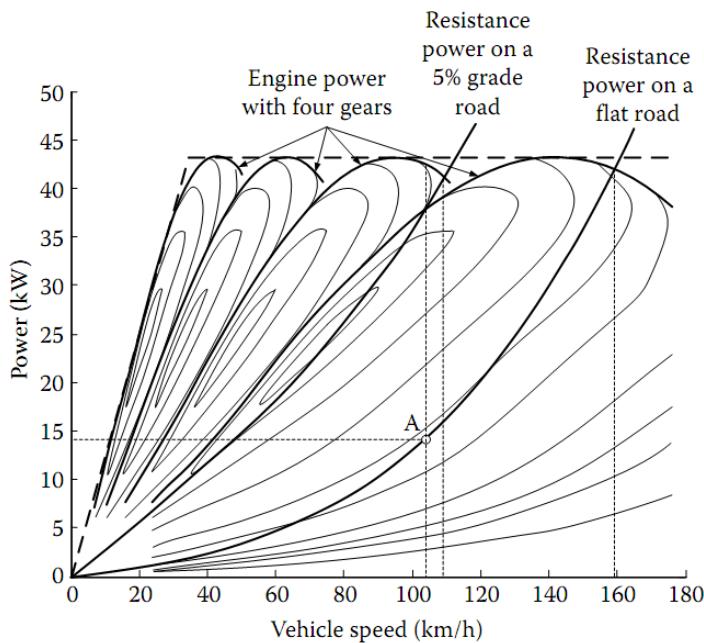
شکل ۱۹ نمودار کاری خودروی سواری نمونه با وزن ۱۵۰۰ kg را در برابر سرعت، روی یک جاده‌ی صاف و روی یک جاده‌ی با شیب ۵٪ نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود که در جاده‌ی صاف، حرکت با سرعت ۱۶۰ km/h نیازمند توانی معادل ۴۳ kW است. برای آن که بتوان مقایسه‌ای انجام داد، در شکل ۱۹ نمودارهای توان یک موتور ۴۳ kW با دیفرانسیل چندسرعته نیز رسم شده است. از شکل مشخص است که این خودرو با این موتور به کار گرفته شده، در شیب پیمایی در جاده‌ای با شیب ۵٪ به ترتیب با دنده‌های ۳ و ۴ می‌تواند به حداقل سرعت ۱۰۳ km/h و ۱۱۰ km/h برسد.



شکل ۱۹- توان مورد نیاز موتور برای حرکت در جاده‌ی صاف و جاده‌ی با شیب ۵٪

شکل ۲۰ مشابه آن چیزیست که در شکل ۱۹ نشان داده شده است، با این تفاوت که نمودار مصرف سوخت موتور در هر یک از دنده‌های سیستم انتقال قدرت نیز به آن اضافه شده است. از این نمودار می‌توان برای تحلیل اثر دنده‌های مختلف در کارآیی خودرو، مثل شتاب‌گیری، شیب‌پیمایی و میزان مصرف سوخت استفاده کرد.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شکل ۲۰ - توان مورد نیاز موتور برای حرکت در جاده‌ی صاف و جاده‌ی با شیب ۵٪ به همراه نقشه‌ی میزان مصرف سوخت خودرو در هر دنده

موتور طراحی شده به وسیله‌ی روابط فوق باید به گونه‌ای باشد که بتواند توان مورد نیاز میانگین برای حرکت در یک الگوی توقف-حرکت را نیز تأمین کند. این توان میانگین را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$P_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T \left( Mg f_r V + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^3 + \delta M V \cdot \frac{dV}{dt} \right) dt \quad (28)$$

این توان میانگین با میزان بازیابی انرژی ترمی تغییر می‌کند. دو حالت حد نهایت در طراحی، حالات بدون بازیاب و با حداکثر بازیاب هستند. حالت حداکثر بازیاب، تمام توان ترمی را بازیاب می‌کند، و توان میانگین با استفاده از رابطه‌ی (۲۸) محاسبه می‌شود؛ مقدار منفی  $dV/dt$  به علت شتاب منفی،  $P_{ave}$  را کاهش می‌دهد. و در سمت مقابل، هنگامی که بازیاب نداریم،  $P_{ave}$  مقداری بزرگ‌تر می‌شود.



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



در طراحی توان موتور خودرو، میانگین توانی که موتور تولید می‌کند باید بزرگ‌تر از بار واردہ باشد. در یک سیستم محرکه‌ی موازی، موتور به صورت مکانیکی به چرخ‌ها کوبیل شده است. از طرف دیگر، توان موتور با بازشدنگی کامل دریچه، با سرعت دورانی موتور تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، توان تولیدی موتور در حالتی که دریچه‌ی آن تا انتهای باز باشد، بستگی به سرعت خودرو دارد. بنابراین، تصمیم‌گیری درباره توان موتور برای آن که بزرگ‌تر از توان میانگین مورد نیاز باشد، به سادگی آن‌چه در مورد سیستم سری توضیح داده شد نیست، که در آن نقطه‌ی کاری موتور را می‌توان ثابت درنظر گرفت.

### طراحی توان موتور کمکی

در طراحی سیستم هیبرید، نقش اصلی موتور کمکی این است که میزان اضافه‌ی توان مورد نیاز خودرو برای رسیدن به حداکثر توان مورد نیازش را تأمین کند. در طراحی موتور کمکی، کارآیی شتاب‌گیری و حداکثر توان مورد نیاز، مؤثرترین نقش را دارند.

طراحی مستقیم موتور کمکی از روی مشخصه‌های شتاب‌گیری مطلوب سخت است. این سختی به این علت است که ما دو منبع انرژی داریم و میزان حداکثر توان قبل تولید توسط هر دوی این منابع به سرعت خودرو وابسته است. یک روش طراحی مناسب این است که ابتدا بر اساس مشخصه‌های شتاب‌گیری مطلوب خودرو، یک حدس اولیه در مورد ظرفیت توان موتور کمکی زده شود و در ادامه با مدل‌سازی و تکرار سیکل، ظرفیت مطلوب نهایی تعیین گردد.

به عنوان یک حدس اولیه، طراح می‌تواند فرض کند که نیروهای مقاوم پایا از جمله اصطکاک غلتشی و مقاومت آئرودینامیکی هوا توسط موتور احتراق داخلی مغلوب می‌شوند، و نیروی لازم برای غلبه بر نیروهای مقاوم دینامیکی، مثل اینرسی خودرو که در برابر شتاب‌گیری مقاومت می‌کند را، موتور کمکی تأمین می‌کند. با این فرض، شتاب‌گیری خودرو به طور مستقیم به میزان گشتاور موتور کمکی وابسته می‌شود؛ و می‌توان رابطه‌ی زیر را برای آن در نظر گرفت:

$$\frac{T_m i_{tm} \eta_{tm}}{r} = \delta_m M \cdot \frac{dV}{dt} \quad (29)$$



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



که در این رابطه،  $T_m$  گشتاور موتور کمکی،  $\eta_{tm}$  نسبت دنده از موتور به چرخ محرک وقتی که سیستم انتقال قدرت تک دنده باشد،  $\eta_{tm}$  بازده انتقال قدرت از موتور به چرخ محرک و  $\delta_m$  اینرسی چرخشی وابسته به موتور است.

با استفاده از مشخصه‌های خروجی پمپ-موتور هیدرولیکی و یک زمان شتاب‌گیری مشخص،  $t_a$ ، که از سرعت صفر تا یک سرعت نهایی مطلوب،  $V_f$ ، در نظر گرفته می‌شود، می‌توان موتور را به این شکل محاسبه کرد:

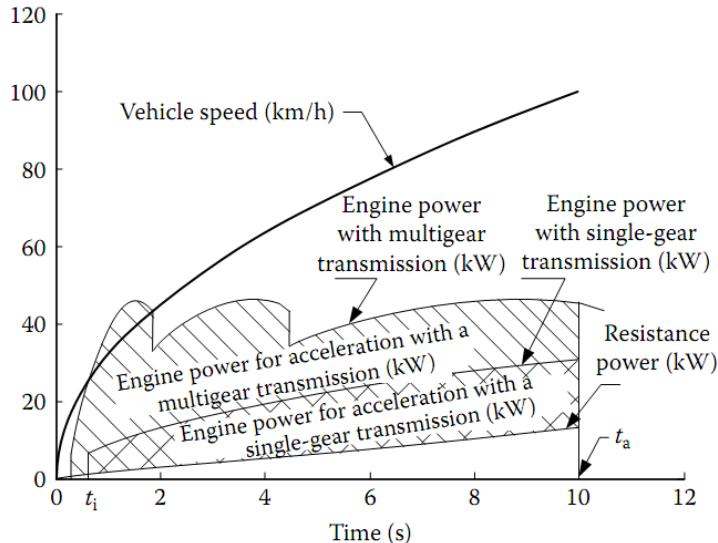
$$P_m = \frac{\delta_m M}{\eta_{tm} t_a} (V_f^2) \quad (30)$$

این نکته را باید فراموش کرد که این توان به دست آمده، بیشتر از مقدار مورد نیاز واقعی است. در واقع موتور احتراق داخلی مقداری توان اضافه دارد که بتواند با استفاده از آن به شتاب‌گیری خودرو کمک کند. در شکل ۲۱ نیز که در آن سرعت خودرو، توان موتور احتراق داخلی با دریچه‌ی کاملاً باز و توان مقاوم با سیستم‌های انتقال قدرت تک دنده و چند دنده در مقابل زمان شتاب‌گیری رسم شده‌اند، می‌توان این موضوع را مشاهده کرد. مقدار میانگین توان باقی‌مانده‌ی موتور احتراق داخلی که برای شتاب‌گیری از آن کمک گرفته می‌شود، برابر است با:

$$P_{e,a} = \frac{1}{t_a - t_i} \int_{t_i}^{t_a} (P_e - p_r) dt \quad (31)$$

که در آن  $P_e$  و  $p_r$  به ترتیب برابر با توان موتور احتراق داخلی و توان مقاوم هستند. این مطلب باید مد نظر قرار گیرد که، میزان توان منتقل شده از موتور احتراق داخلی به چرخ‌های محرک به نسبت دنده‌ها و دنده‌ای که خودرو در آن در حال کار است ارتباط دارد. مشخص است که خودرویی که در آن سیستم انتقال قدرت چند دنده داریم، مقدار توان باقی‌مانده در سر چرخ‌های محرک را افزایش می‌دهد، بنابراین کاهش توان موتور کمکی برای شتاب‌گیری لازم است.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شکل ۲۱ - سرعت خودرو، توان موتور احتراق داخلی و توان مقاوم در برابر زمان شتاب‌گیری

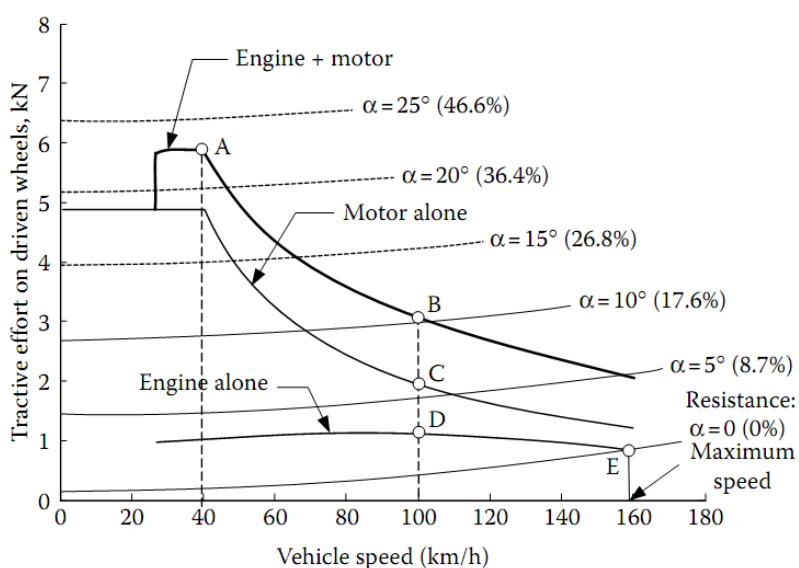
شکل ۲۱ میزان توان باقیمانده‌ی توان موتور احتراق داخلی پس از غلبه بر مقاومت‌های آئرودینامیکی و اصطکاک غلتشی برای حالات گیربکس تک‌دنده و چند دنده در مرحله‌ی شتاب‌گیری را نشان می‌دهد. این شکل بیان می‌کند که یک موتور تک‌دنده  $17 \text{ kW}$  و یک موتور چند‌دنده  $22 \text{ kW}$ ، برای کمک به موتور هیدرولیکی برای شتاب‌گیری حاضرند. بنابراین در انتها میزان توان مورد نیاز برای موتور کمکی کمتر از میزانی است که با استفاده از رابطه‌ی  $(30)$  بدست می‌آید.

وقتی توان‌های موتور احتراق داخلی و موتور کمکی و سیستم انتقال قدرت به صورت اولیه طراحی شدند، یک محاسبه‌ی پیشرفته‌تر برای محاسبه‌ی کارآبی خودرو باید صورت گیرد که در آن سرعت نهایی خودرو، شب‌پیمایی، شتاب‌گیری باید محاسبه شوند. حداکثر سرعت و شب‌پیمایی را می‌توان از نمودار توان محرکه (Tractive Effort) و توان مقاوم در برابر سرعت خودرو بدست آورد.

شکل ۲۲ نتایج طراحی برای خودروی سواری ذکر شده با گیربکس تک‌دنده را نشان می‌دهد. این نمودار بیان می‌کند که حداکثر قابلیت شب‌پیمایی خودرو برابر با  $22/8\% = 42\%$  یا  $40 \text{ km/h}$  در سرعت  $40 \text{ km/h}$  است. در سرعت  $100 \text{ km/h}$  حداکثر قابلیت شب‌پیمایی خودرو در سه حالت تمام هیبرید، فقط با موتور کمکی و فقط

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

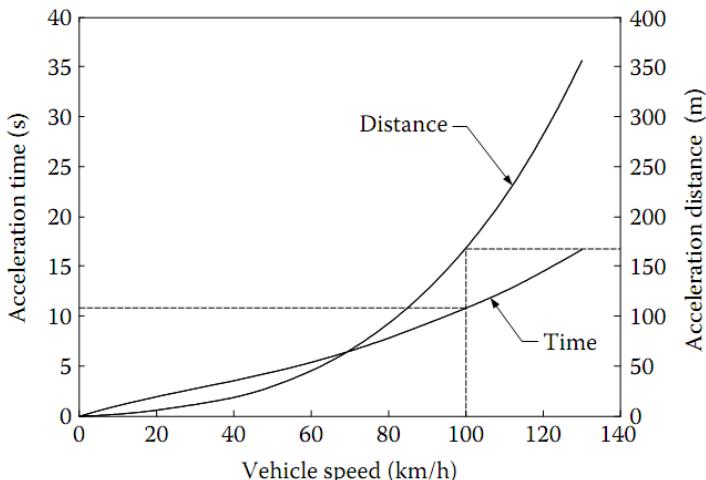
با موتور احتراق داخلی به ترتیب برابر با  $(10/28^{\circ})$ ,  $(5/91^{\circ})$ ,  $(10/36)$  و  $(4/6)$ ٪ است. حداکثر سرعت خودرو برابر با  $160 \text{ km/h}$  است که توسط موتور احتراق داخلی به تنها یعنی به دست می‌آید. اگرچه در صورتی که خودرو این قابلیت را داشته باشد که با سرعتی بیش از این مقدار داده شده حرکت کند، در حالت هیبرید می‌توان به سادگی به سرعت‌هایی مافوق این سرعت داده شده دست یافت.



شکل ۲۲- توان محرکه و مقاوم در برابر سرعت خودرو

شکل ۲۳ کارآیی شتاب‌گیری برای خودروی مورد بحث با گیربکس تک‌دنده را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که  $10/6 \text{ sec}$  و  $167 \text{ m}$  طول می‌کشد تا خودرو از حالت سکون به سرعت  $100 \text{ km/h}$  برسد. نتایج ارائه شده به طور کلی نشان می‌دهد که این طراحی صورت گرفته، برای رسیدن به مشخصه‌های مورد نظر مناسب بوده است.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شکل ۲۳ - زمان و فاصله‌ی شتاب‌گیری در برابر سرعت خودرو

### طراحی منبع ذخیره

طراحی منبع ذخیره به‌طور کلی شامل طراحی ظرفیت توان و انرژی است. طراحی ظرفیت توانی به‌نحوی کاملاً مستقیم است. توان ترمیナル  $pps$  باید از توان الکتریکی ورودی موتور الکتریکی (به عنوان موتور کمکی در اینجا) بزرگ‌تر باشد که می‌توان آنرا به این صورت نشان داد:

$$P_s \geq \frac{P_m}{\eta_m} \quad (32)$$

که در این رابطه،  $P_m$  و  $\eta_m$  توان و بازده موتور کمکی هستند.

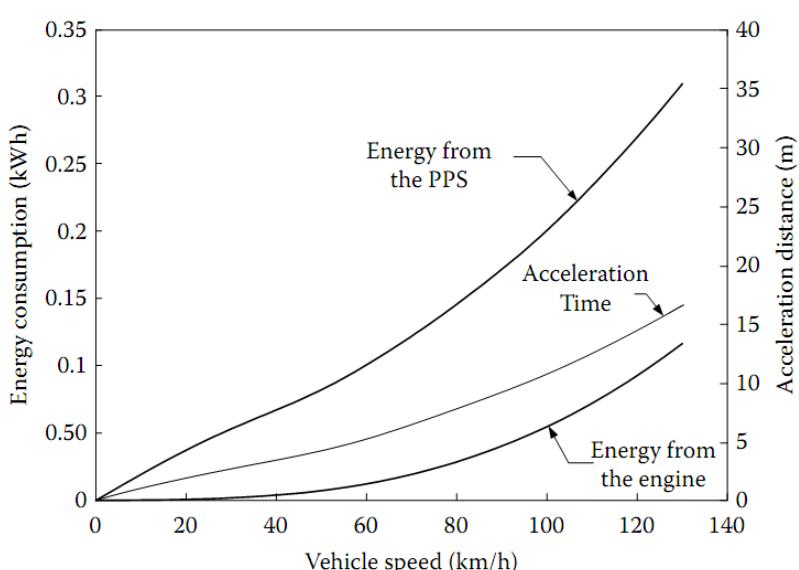
طراحی ظرفیت انرژی  $pps$  به‌طور نزدیک با مصرف انرژی منبع کمکی در سیکل‌های مختلف مرتبط است. این سیکل‌ها شامل شتاب‌گیری با بار واردی حداقل، و سیکل‌های رانندگی معمول شهری هستند. در مدت زمان شتاب‌گیری، میزان انرژی که از موتور احتراق داخلی و  $pps$  استخراج می‌شود را می‌توان از رابطه‌های زیر به‌دست آورد:

$$E_{pps} = \int_0^{t_a} \frac{P_m}{\eta_m} dt \quad (33)$$

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

$$E_{engine} = \int_0^{t_a} P_e dt \quad (34)$$

که در این روابط،  $E_{engine}$  و  $E_{pps}$  توانهای کشیده شده از  $pps$  و موتور احتراق داخلی هستند. در شکل ۲۴ نمودار میزان انرژی گرفته شده از این دو منبع برای فرآیند شتاب گیری برای خودروی سواری ذکر شده آمده است. برای رسیدن به سرعت نهایی  $120 \text{ km/h}$  نزدیک به  $0.3 \text{ kWh}$  انرژی از  $pps$  گرفته شده است.



شکل ۲۴ - توانهای گرفته شده از موتور احتراق داخلی و  $pps$  در فرآیند شتاب گیری

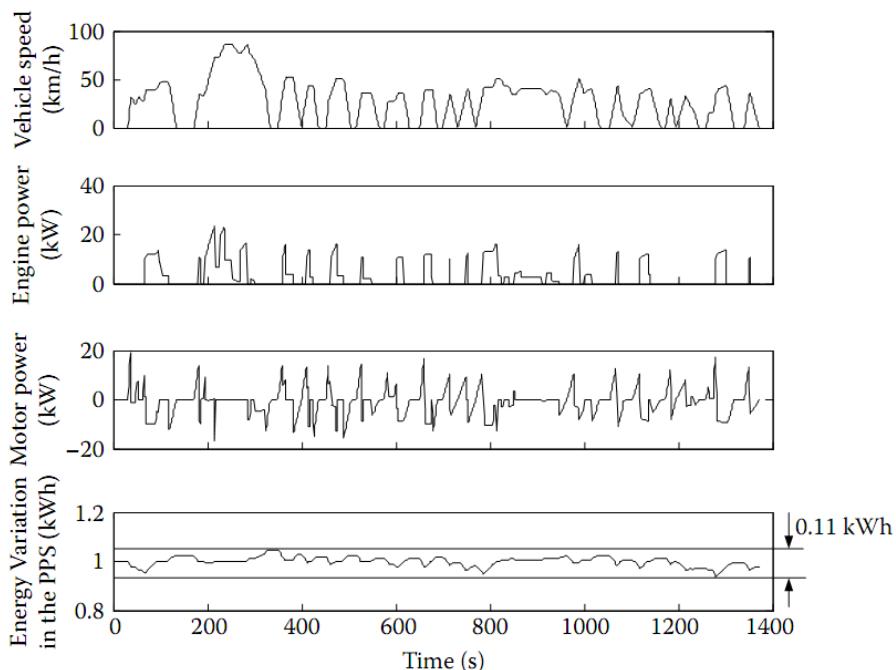
ظرفیت انرژی  $pps$  هم چنین باید میزان نیاز خودرو به انرژی هنگامی که در یک سیکل توقف/حرکت است را نیز تأمین کند. به عبارت دیگر، انرژی درون  $pps$  به طور کامل نباید تخلیه شود؛ تغییرات انرژی در  $pps$  را می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$E_{var} = \int_0^t (P_{pps-ch} - P_{pps-disch}) dt \quad (35)$$

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

که در این رابطه  $P_{pps-disch}$  و  $P_{pps-ch}$  توانهای لحظه‌ای شارژ و تخلیه‌ی  $pps$  هستند. با داشتن متدهای مورد نظر، می‌توان با قرار دادن سیستم طراحی شده در یک شبیه‌سازی سیکل رانندگی، می‌توان این مقادیر را بدست آورد.

شکل ۲۵ نتایج شبیه‌سازی خودروی سواری مورد بحث را در یک سیکل شهری FTP75 با استراتژی کنترل حداکثر نگهداشتن موقعیت شارژ منبع ذخیره نشان می‌دهد. مشخص است که حداکثر میزان تغییرات در ذخیره‌ی  $pps$  برابر با  $0/11 \text{ kWh}$  است که کمتر از میزان تغییرات برای شتاب‌گیری تمام‌بار است که چیزی حدود  $0/3 \text{ kWh}$  بود. بنابراین میزان نیاز به انرژی در حالت شتاب‌گیری با بار کامل است که ظرفیت انرژی مطلوب منبع ذخیره را مشخص می‌کند؛ هرچند این نتیجه‌گیری تنها برای سیکل FTP75 شهری و برای استراتژی کنترلی حداکثر نگهداشتن شارژ منبع ذخیره معتبر است. در صورتی که در سیکل‌های دیگر و یا با استراتژی‌های متفاوت کنترلی بررسی کنیم، ممکن است نتایج با آن‌چه گفته شد، متفاوت باشند.



شکل ۲۵- سرعت خودرو، توان موتور احتراق داخلی، توان موتور الکتریکی و تغییرات ذخیره‌ی  $pps$  در سیکل FTP75 شهری با استراتژی کنترل حداکثر نگهداشتن موقعیت شارژ منبع ذخیره



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



در حقیقت نمی‌توان کل انرژی موجود در  $pps$  را برای تأمین انرژی مورد نیاز خودرو مصرف کرد. به عنوان مثال در صورتی که از باتری به عنوان  $pps$  استفاده شود، شارژ کم  $pps$  باعث کاهش توان انجام کار منبع می‌شود، و هم‌چنین بازده، به علت افزایش مقاومت داخلی سیستم کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند. به طور مشابه هنگامی که از فلاپویل استفاده می‌شود، کم‌بودن شارژ بیان‌گر این است که سرعت دورانی فلاپویل پایین آمده است. بنابراین در مجموع می‌توان به این نتیجه رسید که تنها بخشی از میزان شارژ منبع ذخیره را می‌توان به عنوان انرژی استفاده کرد. ظرفیت انرژی  $pps$  را از رابطه زیر می‌توان استخراج کرد:

$$E_{c-pps} = \frac{E_{dis-max}}{SOC_t - SOC_b} \quad (36)$$

که در این رابطه،  $E_{dis-max}$  حداکثر میزان مجاز تخلیه  $pps$  است؛ و  $SOC_t$  و  $SOC_b$  حداکثر و حداقل میزان شارژ منبع ذخیره هستند. در خودروی سواری مثال زده شده،  $E_{dis-max} = 0/3 \text{ kWh}$  و با فرض این که حداکثر ۳۰٪ از انرژی کلی منبع ذخیره را می‌توان استقاده نمود، حداقل میزان ظرفیت انرژی منبع ذخیره با ۱ kWh برابر خواهد شد.

## ۲ بررسی محدودیت‌های مؤثر بر طراحی خودرو

در روند طراحی قوای محرکه واقعی، انجام تمامی مراحل مطابق با فرایند شرح داده شده در قسمت قبل امکان‌پذیر نمی‌باشد. محدودیت‌هایی هم‌چون عدم امکان تغییر دادن بعضی از قسمت‌های خودرو، یا محدود بودن منابع تأمین برخی از اجزای خودرو باعث می‌شوند که نتوان به بهترین گزینه‌ی طراحی دست یافت. برخی از این موارد در ادامه ارائه می‌شوند.

### ۱-۲ تعیین نوع سوخت مورد استفاده در خودرو

به طور کلی در کلاس خودروهای سنگین، به دلیل بالا بودن هزینه‌ی سوخت و توان بالای مورد نیاز، از سوخت دیزل استفاده می‌شود. در یک خودروی هیبرید، بسته به ساختار و طراحی صورت گرفته، توان مورد نیاز



## تعیین مشخصات کلی سیستم هایبرید مکانیکی



موتور احتراق داخلی می‌تواند تا نصف حالت اولیه کاهش پیدا کند؛ که در این صورت، استفاده از سوخت بنزین نیز مقرن به صرفه است. موتورهای بنزینی در مقایسه با موتورهای دیزلی با توان یکسان، وزن کمتری دارند. اما بنابر دلایلی همچون اینمنی پایین‌تر سوخت بنزین و نیاز به تغییرات اساسی در سیستم ذخیره‌ی سوخت و لوله‌کشی‌های مربوط به آن، این تغییر مقرن به صرفه نخواهد بود. به علاوه از لحاظ بازار نیز با توجه به عدم علاقه مصرف‌کننده و مشکلات مربوط به جایگاه‌های سوخت رسانی بنزین (عدم امکان تردد خودرویی با ابعاد اتوبوس در این جایگاه‌ها) تغییر سوخت خودرو عملاً امکان‌پذیر نیست.

## ۲-۲ تعیین نوع موتور احتراق داخلی مورد استفاده در خودرو

موتور احتراق داخلی از جمله قطعات اصلی خودرو است که تغییرات اندک در آن می‌تواند نتیجه نهایی طراحی را تا حد زیادی تحت تأثیر خود قرار دهد. ابتدائی ترین مسأله، نظر تولید کننده در رابطه با تغییر موتور احتراق داخلی می‌باشد. ممکن است بنابر مشکلات تأمین قطعات، سازنده علاقه‌ای به تغییر موتور خودروی تولیدی خود نداشته باشد. در صورت امکان تغییر موتور، در قدم بعدی تغییرات مورد نیاز روی خودرو و در دسترس بودن موتورهای با توانهای مختلف باید مورد بررسی قرار گیرد.

حتی در صورت استفاده از موتورهای دیزل، با تغییر شرکت تولیدکننده موتور تغییرات سیستم‌های الکتریکی و دسته سیم‌های خودرو اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنابراین بهترین گزینه، انتخاب موتوری از خانواده موتورهای تولیدی توسط شرکت قبلی است که در مورد خودروی مورد نظر این پروژه، شرکت *IDEM* به نمایندگی از بنز می‌باشد. شرکت *IDEM* سه رده موتور تولید می‌کند که به جز موتور فعلی اتوبوس در دو بازه توان ۱۷۰ تا ۲۰۵ و ۸۰ تا ۱۳۰ کیلووات می‌باشد. از میان این دو خانواده موتور انتخاب‌های ۲۰۵ و ۱۳۰ کیلووات با توجه به وزن یکسان هر دسته موتور بهتر خواهد بود.



### ۳ طراحی مفهومی خودروی هیبرید هیدرولیک

با مشخص شدن اصول طراحی و محدودیت‌های موجود، می‌توان ابعاد اجزای مختلف خودروی هیبرید مورد نظر را به دست آورد. در این بخش ابتدا محاسبه ابعاد اجزای مختلف خودروی هیبرید هیدرولیک برای دو ساختار سری و موازی ارائه می‌گردد. سپس انتخاب ساختار و چیدمان مناسب سیستم هیبرید هیدرولیک انجام می‌شود.

#### ۱-۳ انتخاب ابعاد اجزای خودروی هیبرید هیدرولیک

خودروی هیبرید هیدرولیک دارای سه جزء اصلی می‌باشد که مشخصات هر یک باید براساس حدود عملکردی تعیین شده و مشخصات هندسی خودروی پایه تعیین شود. همان‌طور که در بخش قبلی گفته شد به خودرو مجموعه‌ای از بارهای مختلف وارد می‌شود که بسته به الگوی عملکردی خودرو در شرایط مختلف برخی از آنها قابل صرف‌نظر کردن است. یکی از بارهای مهم و تأثیرگذار بر توان موردنیاز خودرو مؤلفه شتاب در معادله حرکت خودرو می‌باشد. با توجه به ماهیت کوتاه‌مدت بودن این مؤلفه، می‌توان عملکرد خودرو را به دو دسته حالت پایا و حالت گذرا تقسیم کرد. در عملکرد حالت پایا با توجه به محدود بودن انرژی ذخیره شده در مجموعه تولید توان کمکی، عملاً غلبه بر تمامی بار وارد بر خودرو بر عهده مجموعه تولید توان اصلی یا همان موتور احتراق داخلی می‌باشد. در حالت گذرا بسته به ساختار خودرو و درصد هیبریدسازی موردنظر طراح، هر یک از دو مجموعه تولید توان، سهم مشخصی از میزان توان موردنیاز برای حرکت خودرو خواهد داشت. با توجه به انتخاب توان موتور احتراق داخلی در حالت پایا در قدم بعدی با توجه به نتایج مربوط به حالت گذرا می‌توان به طراحی مجموعه توان کمکی (هیدرولیک) پرداخت.

#### ۱-۱-۳ مشخصات کلی خودروی مورد نظر و حدود عملکردی

خودروی انتخاب شده در فاز قبلی، اتوبوس داخل شهری 0457 مخصوص شرکت ایران خودرو دیزل می‌باشد. با توجه به عدم تغییرات ظاهری و ابعادی خودرو و لزوم حداقل تغییرات در وزن و تغییر محل مرکز جرم



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

خودرو، برای انجام فرایند طراحی اولیه از مشخصات این اتوبوس استفاده می‌گردد. در جدول ۱ مشخصات خودروی مورد نظر ارائه گردیده است.

جدول ۱: مشخصات اتوبوس ۰۴۵۷

۹۸۲۰ kg	وزن اتوبوس بدون سرنشین
۱۴۷۲۰ kg	وزن اتوبوس با سرنشین
۰/۴۶۶ m	شعاع چرخ
۲/۰ m <sup>2</sup>	سطح دید اتوبوس
۰/۰۱	ضریب اصطکاک غلتشی ( $f_r$ )
۰/۵۵	ضریب درگ (C <sub>D</sub> )
۰/۸۵	بازده سیستم تولید و انتقال قدرت
۴/۲	ضریب دندنه
۱/۲۰۲ kg/m <sup>3</sup>	چگالی هوا ( $\rho_a$ )
۱/۰۵	اینرسی دورانی ( $\delta$ )

قابل ذکر است که وزن اتوبوس بر اساس ۳۵ نفر نشسته و ۳۵ نفر ایستاده محاسبه شده است. محاسبات پیش رو نیز بر پایه وزن اتوبوس پر از مسافر انجام خواهد شد.

علاوه بر مشخصات خودرو، عامل مؤثر بعدی در فرایند سایزینگ خودرو، حدود عملکردی درنظر گرفته شده برای خودرو می‌باشد که در فاز قبلی پروژه تعیین گردیده‌اند. قیود عملکردی خودرو مربوط به شبیه‌سازی در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲: قیود شبیه‌سازی اتوبوس مورد نظر

شرط کار کرد	شتاب (km/h)	قید مورد نظر
ماکریم شبیه‌سازی کار کرد اتوبوس به صورت پیوسته	۴۰	شبیه ۷ درصد
ماکریم شبیه‌سازی کار کرد اتوبوس تا ۵ دقیقه	۳۵	شبیه ۱۰ درصد
ماکریم شبیه‌سازی کار کرد اتوبوس به صورت لحظه‌ای (در زمان کمتر از یک دقیقه)	۲۰	شبیه ۱۴ درصد



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



همچنین قیود عملکردی مربوط به شتاب گیری اتوبوس نیز در جدول ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۳: قیود شتاب گیری اتوبوس مورد نظر

زمان مطلوب (sec)	میزان تغییر سرعت (km/h)
۱۰	از ۰ تا ۲۵
۵	از ۲۵ تا ۴۰
۵	از ۳۵ تا ۴۰
۵	از ۴۰ تا ۴۴
۶۰	از ۰ تا ۶۵

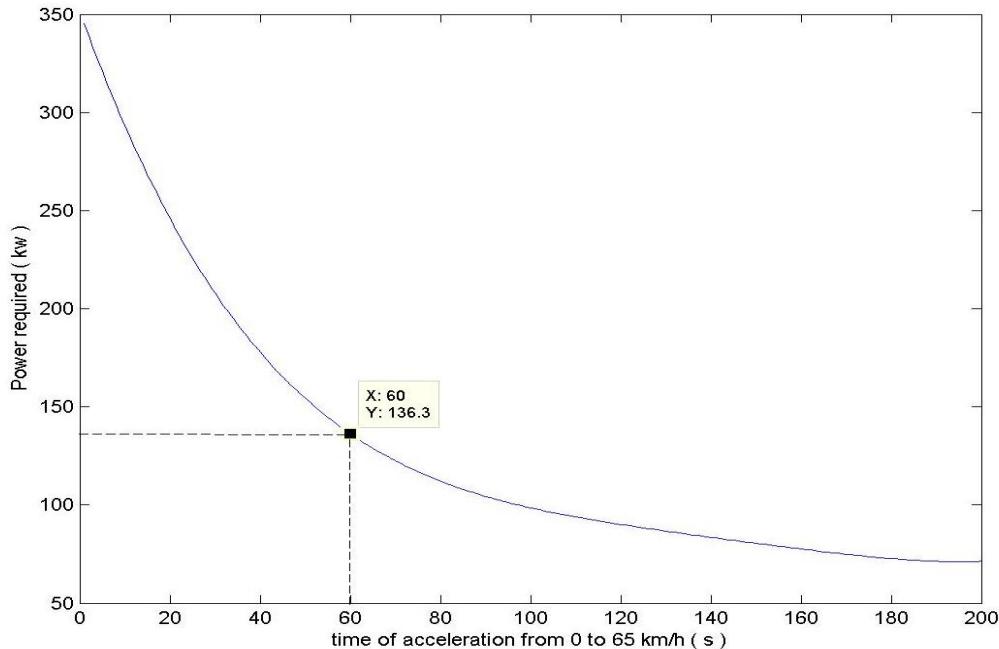
علاوه بر موارد فوق قوای محركه خودرو باید به گونه طراحی شود که اتوبوس قابلیت حرکت با حداکثر سرعت ۸۰ کیلومتربرساعت را دارا باشد.

### ۲-۱-۳ بررسی توان مورد نیاز خودرو در شرایط مختلف عملکردی

با نهایی شدن مشخصات خودرو و حدود عملکردی مورد انتظار می توان به بررسی توان مصرفی خودرو در شرایط مختلف حرکتی پرداخت. برای این منظور با استفاده از معادلات حاکم معرفی شده در بخش های پیشین مدلی در نرم افزار MATLAB تدوین گردیده و با استفاده از آن و در شرایط مختلف میزان توان مورد نیاز خودرو تخمین زده می شود.

در این راستا میزان توان مورد نیاز خودرو برای شتاب گیری از حالت سکون تا ۶۵ کیلومتربرساعت برای زمان های مختلف در شکل ۲۶ نمایش داده شده است.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

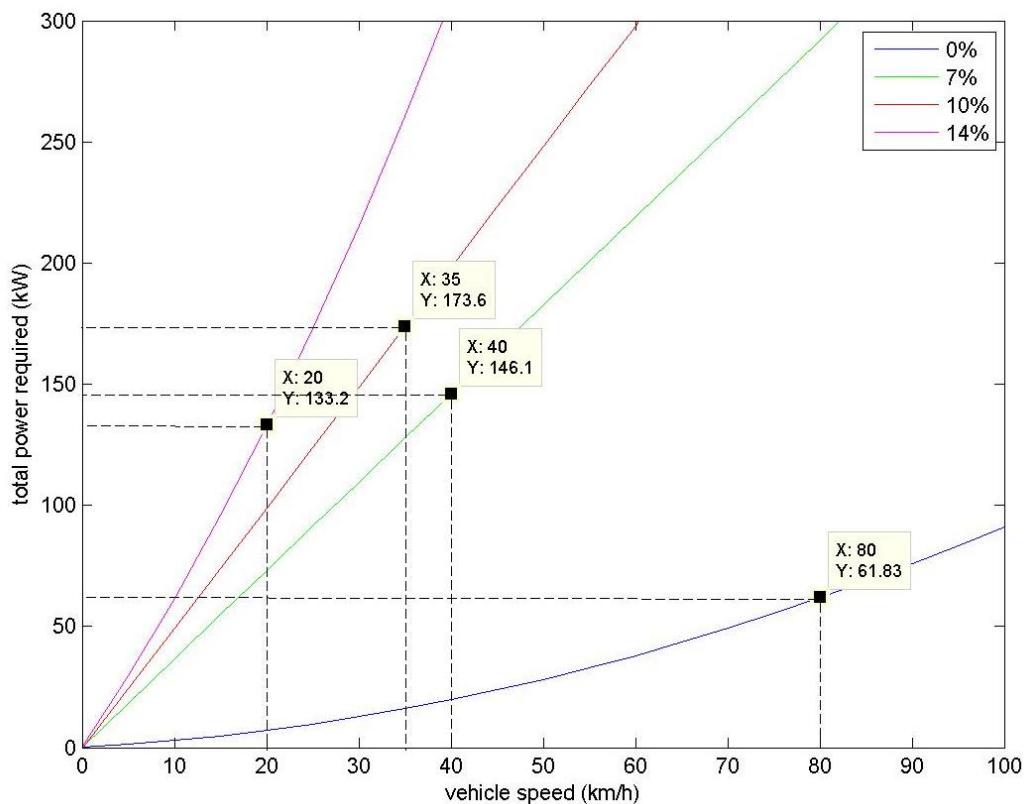


شکل ۲۶ - توان مورد نیاز خودرو برای شتابگیری از ۰ تا ۶۵ کیلومتر بر ساعت در زمان‌های مختلف

همان‌طور که در شکل ۲۶ نیز نمایان می‌باشد خودرویی با مشخصات ارائه شده برای اراضی حدود عملکردی مورد نظر نیاز به ۱۳۶ کیلووات توان دارد. با توجه به ماهیت گذرای این حالت عملکردی انرژی مورد نیاز باید به صورت مشترک توسط موتور احتراق داخلی و مجموعه تولید توان کمکی تأمین گردد. در ساختار سری مجموعه تولید توان کمکی (هیدرومотор) باید به تنها ی خودرو را به حرکت درآورد ولی توان مصرفی آن هم از طریق آکومولاتور و هم از طریق هیدرопمپ متصل به موتور احتراق داخلی تأمین می‌گردد. در ساختار موازی توان هیدرопمپ یا فلاپویل فقط بخشی از ۱۳۶ کیلووات می‌باشد و الباقی به صورت مستقیم توسط موتور احتراق داخلی تأمین می‌گردد. بنابراین منع تولید توان ساختار سری باید حداقل توانی معادل میزان محاسبه شده را دارا باشد ولی در ساختار موازی توان آن بنابر مقدار ضریب هیبریدسازی (هیبریدیزاسیون) کسری از این مقدار خواهد بود.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی

در حالت حرکت خودرو به صورت پیوسته نیز فرایند فوق تکرار گردیده و نتایج حاصل به صورت خلاصه در شکل ۲۷ نمایش داده شده است.



شکل ۲۷ - توان مورد نیاز خودرو در حرکت به صورت دایمی و غیر دایمی در شیب‌ها و سرعت‌های مختلف

همان‌طور که در بخش‌های قبلی گفته شد خودرو باید بتواند با سرعت‌های ۸۰ و ۴۰ کیلومتر بر ساعت به ترتیب در مسیر بدون شیب و با شیب ۷ درصد حرکت کند. بنابر محاسبات انجام شده، در حالت حرکت با شیب ۷ درصد خودرو توان بیشتری نیاز دارد. در این حالت توان موتور احتراق داخلی (چه در ساختار سری و چه در ساختار موازی) باید بیشتر از ۱۴۶ کیلووات باشد. همچنین خودرو برای ارضای شرط حرکت در شیب ۱۰ درصد باید قابلیت تولید حداقل ۱۷۳ کیلووات را داشته باشد. این مقدار از توان مورد نیاز برای شتاب‌گیری خودرو بیشتر می‌باشد. بنابراین در ساختار سری مجموعه موتور هیدرولیکی باید حداقل توانی



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



معادل این مقدار داشته باشد. البته باید توجه داشت که مقادیر ارائه شده در این بخش نهایی نیست. در بخش بعدی نتایج محاسبات دقیق‌تر با لحاظ کردن راندمان‌های موجود در مسیر انتقال قدرت ارائه می‌گردد.

### ۳-۱-۳ سایزینگ ساختار هیبرید هیدرولیکی سری

برای نهایی کردن ابعاد تجهیزات، برنامه‌ای با درنظر گرفتن ساختار و راندمان‌های مسیر انتقال قدرت تدوین گردید و جهت انتخاب استفاده شد. مقادیر به دست آمده در این قسمت با توجه به لحاظشدن راندمان‌ها کمی بیشتر از توان‌های مورد نیاز خودرو برای حرکت (بخش قبل) می‌باشد. قدم اول در فرایند سایزینگ موتور احتراق داخلی بررسی توان موتور مورد نیاز در شیب‌های مختلف می‌باشد. مقادیر محاسبه شده برای توان‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: توان‌های مورد نیاز برای سایزینگ اولیه‌ی موتور احتراق داخلی بر اساس قیود شیب‌پیمائی در چیدمان سری

توان موردنیاز (kW)	شرایط کارکرد
65	توان موردنیاز برای حرکت با سرعت ۸۰ km/h در شیب صفر
155	توان موردنیاز برای حرکت با سرعت ۴۰ km/h در شیب ۷ درصد
184	توان موردنیاز برای حرکت با سرعت ۳۵ km/h در شیب ۱۰ درصد
142	توان موردنیاز برای حرکت با سرعت ۲۰ km/h در شیب ۱۴ درصد

با توجه به نتایج جدول ۴، این خودرو نیاز به موتور احتراق داخلی با قابلیت تولید توان ۱۵۵ کیلووات دارد. ولی با توجه به محدودیت در انتخاب موتور احتراق داخلی، موتور OM ۹۰۴ با توان تولیدی ۱۳۰ کیلووات برای این خودرو انتخاب می‌شود. با توجه به مشخصات ساختار سری و درگیر نبودن موتور احتراق داخلی به صورت مستقیم با سر چرخ‌ها و میزان انرژی ذخیره شده بالاتر در مخازن هیدرولیک پیش‌بینی می‌شود که کمبود توان موتور احتراق داخلی جبران شود. علاوه‌بر این موارد با توجه به نتایج مطالعات صورت گرفته در فاز قبلی پروژه میزان حداکثر شیب متوسط مسیرهای اتوبوس‌رانی تهران ۳/۷ درصد می‌باشد. بنابراین درصوصت استفاده از این موتور خودرو قادر به حرکت با حداقل سرعت قابل قبول ۵۷ کیلومتر بر ساعت در چنین مسیری می‌باشد. همچنین با توجه به توقف‌های موجود در طول مسیر و شارژشدن مخزن،



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

دستیابی به سرعت‌های بالاتر نیز ممکن می‌باشد. با انتخاب این موتور احتراق داخلی جبران اضافه وزن ناشی از مخازن هیدرولیک نیز میسر می‌شود.

در یک سیستم هیبرید سری هیدرولیکی، به یک پمپ هیدرولیک بلا فاصله بعد از موتور احتراق داخلی و یک پمپ- موتور هیدرولیکی متصل به محور چرخ‌های محرک نیاز است. با تعیین ابعاد موتور احتراق داخلی عملاً اندازه مورد نیاز برای این دو قطعه نیز مشخص گردیده است. پمپ هیدرولیک باید توانی برابر با توان موتور احتراق داخلی داشته باشد. بنابراین یک پمپ هیدرولیک با جابجایی متغیر و ماکزیمم توان ۱۳۰ کیلووات موردنیاز است.

برای تعیین ابعاد پمپ- موتور هیدرولیک که محرک خودرو است، قیود شتاب‌گیری را نیز باید در نظر گرفت. مقادیر توان موردنیاز خودرو برای اراضی شرایط مختلف شتاب‌گیری در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: توان‌های موردنیاز برای سایزینگ اولیه پمپ- موتور براساس قیود شتاب‌گیری در چیدمان سری

شرايط کار کرد	توان موردنیاز (kW)
از ۰ تا ۲۵ در ۱۰ ثانیه	89
از ۲۵ تا ۳۵ در ۵ ثانیه	101
از ۳۵ تا ۴۰ در ۵ ثانیه	59
از ۴۰ تا ۴۴ در ۵ ثانیه	53
از ۰ تا ۶۵ در ۶۰ ثانیه	100

با توجه به مقادیر به دست آمده، میزان توان‌های موردنیاز برای شتاب‌گیری از مقدار توان موردنیاز برای حرکت در شیب‌های مختلف کمتر است. بنابراین با درنظر گرفتن مطالب ارائه شده در بخش ۳-۱-۲ و جداول ۴ و ۵، به یک پمپ- موتور هیدرولیکی با جابجایی متغیر و توان ماکزیمم ۱۸۵ کیلووات نیاز است.

### ۴-۱-۳ سایزینگ ساختار هیبرید هیدرولیکی موازی

فرایند انتخاب سایز تجهیزات ساختار موازی نیز تا حد زیادی مشابه ساختار سری می‌باشد. عاملی موثر در اختلاف عملکردی این دو ساختار نقش داشتن هم‌زمان هر دو مولفه تولید توان در به پیش‌راندن خودرو



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



می باشد. بنابراین فاکتور دیگری در سایزینگ با عنوان ضریب هیبریدیزاسیون معرفی می گردد. این فاکتور نمایان گر سهم هر یک از دو مولفه در تأمین توان مورد نیاز خودرو می باشد. همانطور که در بخش بررسی توان مورد نیاز خودرو در شرایط مختلف عملکردی توضیح داده شد، حداقل توان ممکن برای موتور احتراق داخلی حدود ۱۵۰ کیلووات می باشد ولی با توجه به موتورهای موجود و جهت جلوگیری از اتلافات تبدیل نوع انرژی در سیستم هیدرولیکی، موتور OM ۹۰۶ انتخاب می گردد. با توجه به وزن یکسان تمام قدرت های این خانواده موتور مدل با بالاترین توان (۲۰۵ کیلووات) انتخاب می گردد. دلیل دیگر برای انتخاب موتور با توان بالا محدودیت در تغییرات جعبه دنده اتوماتیک مورد استفاده در خودروی متعارف می باشد. با توجه به اینکه فقط امکان تغییر الگوریتم تعویض دنده این جعبه دنده وجود دارد و نمی توان نمونه جدیدی با ضرایب دنده جدید تأمین کرد، اعمال تغییرات زیاد بر توان تولیدی موتور امکان پذیر نمی باشد.

با مشخص شدن سایز موتور احتراق داخلی و با توجه به توان های مورد نیاز خودرو می توان پمپ - موتور هیدرولیک و به دنبال آن ضریب هیبریدیزاسیون را تعیین کرد. عامل موثر در انتخاب سایز پمپ - موتور تصمیمات طراح برای حالات مختلف عملکرد شتاب گیری است.

به طور معمول در یک خودروی هیبرید موازی بارهای متوسط بر عهده موتور احتراق داخلی و بارهای لحظه ای یا گذرا بر عهده مولفه ثانویه می باشد. از این رو هیدرو پمپ مورد نیاز خودرو باید قابلیت تولید توان های ارائه شده در جدول ۵ را دارا باشد. بنابراین در صورتی که اتوبوس طراحی شده قابلیت شتاب گیری کامل را داشته باشد باید از یک پمپ - موتور ۱۰۰ کیلوواتی بهره مند باشد. البته باید توجه داشت که توان بالای پمپ - موتور باعث بازیابی هر چه بیشتر انرژی ترمیزی نیز می گردد. در نهایت با توجه به محصولات مختلف، شرکت Bosch - Rexroth AG مدل A4VSO و نوع ۱۲۵ انتخاب می گردد. این پمپ - موتور قابلیت تأمین توان ۱۳۰ کیلووات را در سرعت دورانی ۱۸۰۰ rpm دارد؛ و وزنی معادل ۸۸ kg دارد.

عملکرد اتوبوس هیبرید شده با سایز اجزا انتخاب شده از اتوبوس متعارف نیز مطلوب تر خواهد بود و در صد هیبریدیزاسیون قوای محرکه هیبریدی نیز ۳۰ به دست می آید. همچنین اتوبوس قادر خواهد بود تا در مسیری با بیشترین مقدار متوسط شیب مسیرهای شهر تهران، با حداکثر سرعت حرکت کند.



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



### ۲-۳ انتخاب ساختار و چیدمان مناسب سیستم هیبرید هیدرولیکی

برای انجام شیوه‌سازی‌ها و ادامه مراحل بررسی‌های فنی و اقتصادی لازم، باید ساختار نهایی خودرو انتخاب گردد. با توجه به ابعاد محاسبه شده می‌توان یکی از دو ساختار سری یا موازی را انتخاب کرده و در نهایت چیدمان اجزای مختلف را بررسی نمود. تا این مرحله از فرایند طراحی، همه بررسی‌ها از دیدگاه توانی صورت گرفته و چیدمان اجزا تاثیری نداشته است. ولی در واقعیت باید چیدمان اجزا و محل قرارگیری کوپلینگ گشتاور میان دو منبع تولید توان مشخص گردد.

### ۱-۲-۳ انتخاب ساختار مناسب

هر یک از ساختارهای سایز شده داری مزايا و معایي هستند که با بررسی آنها می‌توان بهترین گزینه را برای فرایند مدل‌سازی و در نهایت نمونه‌سازی انتخاب کرد. اين انتخاب با توجه به افزایش وزن، هزینه و همچنین امكان تغييرات برواي اتوبوس متعارف و جانمائي تجهيزات صورت مي‌گيرد. عامل موثر ديگر دسترسی به تجهيزات مي‌باشد.

تفاوت اصلی در دو ساختار موازی و سری، اضافه شدن یک هیدرو پمپ در ساختار سری و ابعاد بزرگتر اجزای هیدرولیکی در اين ساختار است. اين دو عامل هردو باعث افزایش وزن خودرو و پيچيدگي در جانمائي تجهيزات مي‌گردد. علاوه بر اين موارد، به دليل سايز بالاي تجهيزات در ساختار سری مشكلات تأمین تجهيزات نيز وجود دارد. با توجه به كاربرد زياد هیدرو پمپ‌های با توان‌های حدود ۱۰۰ کيلوات تأمین تجهيزات مورد نياز ساختار موازی بسيار ساده‌تر مي‌باشد.

علاوه بر نکات فوق به دليل توان بالاي تجهيزات ساختار سری، دبى بالايی از سیال عامل و در نتيجه حجم مخزن و آکومولاتور بسيار بالايی در اين ساختار مورد نياز است. در نتيجه با توجه به وزن زياد اين تجهيزات، افزایش وزن خودرو زياد خواهد بود. بنابر دلایل ذكر شده و با توجه به هزینه‌های بالاتر ساختار سری برای ادامه مراحل پروژه از ساختار موازی استفاده خواهد شد.



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



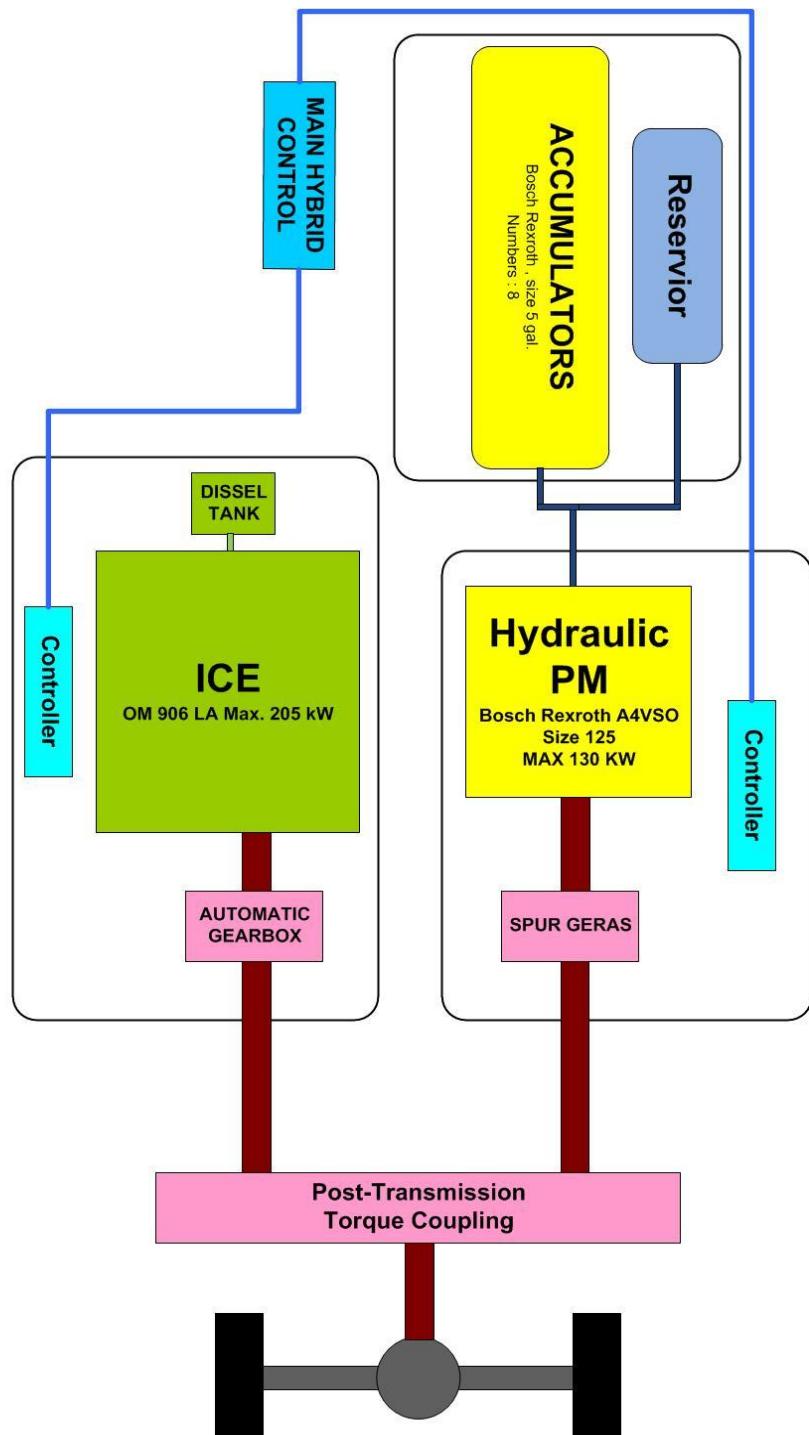
## ۲-۲-۳ انتخاب چیدمان مناسب

در فرایند طراحی قوای محركه انتخاب چیدمان اولین قدم برای شروع مدلسازی خودرو می‌باشد. به‌طور کلی ساختار موازی در خودروهای هیبرید با چیدمان‌های مختلفی معرفی گشته است که هر یک دارای مزايا و معایب خاص خود می‌باشند. در هر خودرو با توجه به کاربرد، درصد هیبریدیزاسیون، عملکرد مورد انتظار، مشخصات کاری اجزا و محدودیت‌های اعمال تغییرات چیدمان مشخصی برگزیده می‌شود و حتی در مواردی برای رسیدن به بهترین گزینه طراحی باید حتماً تمامی ساختارهای ممکن مدل‌شده و با بررسی دقیق عملکرد و بازده چیدمان‌های مختلف، چیدمان نهایی انتخاب گردد.

در این پژوهه با توجه به عدم امکان تغییر جعبه‌دنده و محدودیت گشتاور ورودی، قرارگیری پمپ-موتور بین موتور احتراق داخلی و جعبه‌دنده امکان‌پذیر نمی‌باشد. در نتیجه با توجه به دور کاری پمپ-موتور از یک کوپلینگ گشتاور بعد از جعبه‌دنده<sup>۱</sup> استفاده می‌گردد. با استفاده از این نوع کوپلینگ، گشتاور خروجی هریک از دو منبع تولید قدرت، بطور جداگانه و متناسب با تغییر موردنیاز بهبود می‌یابد. ساختار مورد استفاده در ادامه روند امکان‌سنجی حاضر در شکل ۲۸ نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Post-Transmission Torque Coupling

### Parallel Hydraulic Hybrid Drive for O457 City Bus



شکل ۲۸- ساختار و چیدمان انتخاب شده برای قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی

### ۴ طراحی مفهومی خودروی هیبرید فلایویل

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل، بسیاری از قدم‌های طراحی مفهومی خودروی هیبرید فلایویل مشابه خودروی هیبرید هیدرولیک قابل انجام می‌باشد. در این بخش ابتدا ساختار (سری یا موازی) و چیدمان (نوع کوپلینگ) و محل قرارگیری آن نسبت به جعبه‌دنده مناسب خودروی هیبرید فلایویل نهایی می‌شود. سپس بعد اجزای خودرو محاسبه می‌شود. این مرحله شامل تعیین توان مجموعه فلایویل، تعیین نوع و محاسبه ابعاد اجزای آن می‌باشد.

#### ۱-۴ انتخاب ساختار مناسب هیبرید فلایویل

منظور از انتخاب ساختار، تعیین ساختار سری یا موازی برای خودروی هیبرید می‌باشد. ساختار روی عملکردهای خودرو (مانند مصرف سوخت، شیب‌پیمایی و شتاب‌گیری) تأثیر مستقیم می‌گذارد. اما انتخاب ساختار براساس میزان بهبود عملکردهای خودرو، باید با توجه به افزایش وزن، هزینه، میزان تغییرات لازم روی اتوبوس متعارف برای هیبریدسازی، چالش‌های جانمایی تجهیزات و در دسترس بودن تجهیزات می‌باشد. تفاوت اصلی دو ساختار موازی و سری، مشابه خودروی هیبرید هیدرولیک، ابعاد بزرگتر اجزای خودروی هیبرید فلایویل در حالت سری می‌باشد. این موضوع با توجه به چگالی انرژی پایین فلایویل‌ها بیشتر خودنمایی می‌کند. در نتیجه از لحاظ افزایش وزن خودرو و چالش‌های جانمایی تجهیزات، ساختار موازی برای هیبرید فلایویل مناسب‌تر است. به علاوه مشکلات تأمین تجهیزات ساختار سری دشوارتر به نظر می‌رسد. با توجه به این مقایسه‌ها، ساختار موازی برای خودرو هیبرید فلایویل، مشابه خودرو هیبرید هیدرولیک، انتخاب می‌شود.

#### ۲-۴ انتخاب چیدمان مناسب هیبرید فلایویل

یکی از گزینه‌های انتخاب چیدمان برای ساختار موازی خودروی هیبرید، تعیین نوع کوپلینگ دو مؤلفه انتقال قدرت (کوپلینگ گشتاور یا سرعت) می‌باشد. همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد، اساس کار موتورهای

۵۶	مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران	تابستان ۱۳۹۰
----	--	--------------



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



احتراق داخلی تولید گشتاور می‌باشد. همچنین با توجه به ماهیت سیستم‌های تولید توان کمکی مکانیکی به طور کلی و فلاپلیویل به طور خاص، کوپلینگ گشتاور به نوع دیگر (کوپلینگ سرعت) ترجیح داده می‌شود.

گزینه دیگر برای تعیین چیدمان هیبرید موازی، محل قرارگیری سیستم کوپلیگ فلاپلیویل با موتور احتراق داخلی (قبل از جعبه‌دنده<sup>۲</sup> و بعد از جعبه‌دنده<sup>۳</sup>) می‌باشد. همان‌طور که در مورد هیبرید هیدرولیک بیان شد، در این پروژه امکان تغییر جعبه‌دنده وجود ندارد. همچنین ماهیت سرعت و گشتاور فلاپلیویل تشابه زیادی با موتور احتراق داخلی ندارد و ترجیح داده می‌شود که ضرایب دنده جعبه‌دنده موتور احتراق داخلی به فلاپلیویل اعمال نشود. لذا کوپلینگ گشتاور مجموعه فلاپلیویل و مجموعه موتور احتراق داخلی بعد از جعبه‌دنده قرار می‌گیرد.

### ۳-۴ محاسبه ابعاد اجزای خودروی هیبرید فلاپلیویل

در این بخش ابتدا توان مجموعه فلاپلیویل متناسب با نیازمندی‌های توانی خودرو محاسبه می‌شود. سپس نوع مجموعه فلاپلیویل مورد استفاده تعیین می‌شود. در ادامه نیز محاسبه ابعاد اجزای مجموعه فلاپلیویل انجام می‌گیرد.

### ۱-۳-۴ تعیین توان مجموعه فلاپلیویل

برای محاسبه ابعاد اجزا (سایزینگ) خودروی هیبرید فلاپلیویل، ابتدا باید مشخصات کلی خودروی موردنظر (اتوبوس) و حدود عملکردی آن مشخص شود. مشخصات اتوبوس مورد نظر در جدول ۱، قیود شیب‌پیمائی در جدول ۲ و قیود شتاب‌گیری در جدول ۳ بخش گذشته تدوین شده است.

پس از مشخص شدن مشخصات کلی خودروی موردنظر (اتوبوس) و حدود عملکردی آن، توان مورد نیاز خودرو در شرایط مختلف عملکردی باید بررسی شود. در جدول ۴ توان‌های مورد نیاز برای محاسبه اولیه

<sup>2</sup> Pre-transmission

<sup>3</sup> Post-transmission



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



ابعاد موتور احتراق داخلی و در جدول ۵ توان‌های مورد نیاز برای محاسبه اولیه مؤلفه دوم انتقال قدرت خودروی هیبرید، برای خودروی هیبرید هیدرولیک تدوین شده است. با توجه به فرض‌های موجود، این محاسبات برای خودروی هیبرید فلاپویل نیز معتبر است.

مشابه فرایند محاسبه ابعاد اجزا برای خودروی هیبرید موازی هیدرولیک، برای خودروی هیبرید فلاپویل نیز حداقل توان ممکن برای موتور احتراق داخلی حدود ۱۵۰ کیلووات می‌باشد. ولی با توجه به موتورهای احتراق داخلی موجود و اتفاقات متداول انتقال و ذخیره‌سازی انرژی در مجموعه فلاپویل، موتور OM 906 انتخاب می‌گردد. همچنین با توجه به وزن یکسان تمام قدرت‌های این خانواده موتور، مدل با بالاترین توان (۲۰۵ کیلووات) انتخاب می‌شود. دلیل دیگر برای انتخاب موتور با توان بالا، محدودیت در تغییرات جعبه‌دنده اتوماتیک مورد استفاده در خودروی متعارف می‌باشد. با توجه به اینکه فقط امکان تغییر الگوریتم تعویض دنده این جعبه‌دنده وجود دارد و تأمین نمونه جدید با ضرایب دنده متفاوت مقرر به صرفه نیست، اعمال تغییرات زیاد بر توان تولیدی موتور امکان‌پذیر نمی‌باشد.

با مشخص شدن توان و نوع موتور احتراق داخلی و با توجه به توان‌های مورد نیاز خودرو (جدول ۵)، می‌توان مجموعه فلاپویل، و به‌دلیل آن، ضریب هیبریدسازی را تعیین کرد. عامل مؤثر در محاسبه ابعاد مجموعه فلاپویل، تصمیمات طراح برای حالات مختلف عملکرد شتاب‌گیری است. بنابراین درصورتی که اتوبوس طراحی شده قابلیت شتاب‌گیری کامل را داشته باشد، توان خروجی مجموعه فلاپویل باید حداقل حدود ۱۰۰ کیلووات باشد. برای این توان، می‌توان معادل گشتاور خروجی مجموعه فلاپویل را به‌دست آورد. در این صورت، عملکرد اتوبوس هیبرید فلاپویل با ابعاد اجزای محاسبه شده از اتوبوس متعارف نیز مطلوب‌تر خواهد بود. درصد هیبریدسازی قوای محركه هیبرید فلاپویل، مشابه هیبرید هیدرولیک، حدود ۳۰ به‌دست می‌آید.



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

### ۲-۳-۴ تعیین نوع مجموعه فلاپلی

در مرحله دوم این پروژه و در قسمت «تعیین چارچوب اولیه طراحی»، دو ساختار برای مجموعه فلاپلی قابل استفاده در خودروی مورد نظر مشخص شده‌اند. این دو ساختار عبارتند از ساختار موسوم به FIVT و موازی ساده.

با توجه به توضیحات ارائه شده در مرحله دوم این پروژه، استفاده از ساختار FIVT باعث حذف جعبه‌دنده موتور احتراق داخلی و جایگزینی آن با سیستم ترکیبی جعبه‌دنده با ضربه دنده بینهایت (IVT) و فلاپلی می‌شود. این امکان در مورد پروژه حاضر، با توجه به تغییرات قابل توجه آن در خودروی متعارف، مناسب به نظر نمی‌رسد. همچنین این ساختار در عموم پروژه‌های تحقیقاتی و تجاری دیگر نیز به ندرت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. گسترش اندک به کارگیری یک فناوری باعث محدودشدن بلوغ آن در کاربردهای مختلف می‌شود. درنتیجه تأمین چنین فناوری و راهاندازی آن نیاز به رایزنی و تدوین دانش فنی قابل توجهی است که ممکن است از ظرفیت این پروژه خارج باشد. درصورتی که با استفاده از فناوری‌های رایج، می‌توان وابستگی پروژه را به یک تأمین کننده خاص و محدودیت‌های دانش فنی تدوین شده در مورد آن کاهش داد.

ساختار مجموعه فلاپلی پیشنهادی برای این پروژه، با توجه به توضیحات ارائه شده، ساختار هیبرید موازی فلاپلی می‌باشد. سیستم انتقال قدرت مجموعه فلاپلی اغلب از نوع متغیر پیوسته (CVT) می‌باشد. با توجه به گسترش استفاده از سیستم انتقال قدرت با ضربه دنده بینهایت (IVT) و عملکرد بهتر آن نسبت به سیستم CVT، برای این پروژه سیستم انتقال قدرت IVT پیشنهاد می‌شود. این انتخاب، با توجه به اینکه خودروی هیبرید فلاپلی در دورهای پایین می‌تواند تنها به وسیله مجموعه فلاپلی حرکت کند، می‌تواند راندمان کلی خودروی هیبرید را بهبود دهد.

### ۳-۳-۴ محاسبه ابعاد اجزای مجموعه فلاپلی

مجموعه فلاپلی انتخاب شده شامل این اجزای اصلی می‌باشد:

• فلاپلی



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

- سیستم انتقال قدرت با ضرایب متغیر پیوسته (CVT)

- سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت (IVT)؛ این سیستم علاوه‌بر CVT، شامل یک مجموعه چرخ دنده سیاره‌ای و یک چرخ دنده ساده (نکسرعته) می‌باشد.
- چرخ دنده‌های دیگر (غلب از نوع ساده و نکسرعته می‌باشد).

محاسبه ابعاد این اجزا باید به نحوی باشد که نیازمندی‌های خودروی هیبرید فلاپویل، شامل توان، سرعت و انرژی مورد نیاز سیکل رانندگی را براورده کند.

### محاسبه ابعاد فلاپویل

فلاپویل مناسب برای این پروژه از نوع سرعت بالا می‌باشد. محدوده سرعت کاری متداول این فلاپویل بین ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ دوربردیقه می‌باشد. قطر اولیه درنظر گرفته شده ۶۰ سانتی‌متر است. یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های فلاپویل، ممان اینرسی آن می‌باشد. این مشخصه تعیین کننده انرژی قابل ذخیره‌سازی در فلاپویل می‌باشد. تعیین ممان اینرسی فلاپویل وابسته به نیاز سیکل رانندگی می‌باشد. بنابراین تعیین آن به گزارش بخش بعد، «مدل‌سازی و شبیه‌سازی خودروی هیبرید فلاپویل در محیط فیدفوروارد»، موکول می‌شود. مشخصه کلی دیگر فلاپویل، نسبت انرژی به جرم آن می‌باشد که به‌طور معمول می‌توان مقدار ۹۹ کیلوژول بر کیلوگرم را برای آن درنظر گرفت.

### محاسبه ابعاد سیستم انتقال قدرت با ضرایب متغیر پیوسته (CVT)

از آنجاکه ظرفیت توان فلاپویل بسیار بالا می‌باشد، محدود کننده بیشینه گشتاور تولیدی مجموعه فلاپویل معمولاً سیستم انتقال قدرت با ضرایب متغیر پیوسته (CVT) است. از طرفی ضرایب دنده CVT دارای حدود بالا و پایین هستند که برای جبران آن می‌توان از چرخ دنده‌های ساده قبل و بعد آن استفاده نمود. محدوده سرعت CVT نیز باید نزدیک و متناسب با سرعت فلاپویل باشد.

یک سیستم انتقال قدرت با ضرایب متغیر پیوسته (CVT) متداول و مناسب با نیاز اتوبوس، دارای وزن ۴۲/۵ کیلوگرم می‌باشد. این سیستم می‌تواند نسبت دنده‌ای بین ۳ تا ۱۵ ایجاد کند. بیشینه سرعت این CVT



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



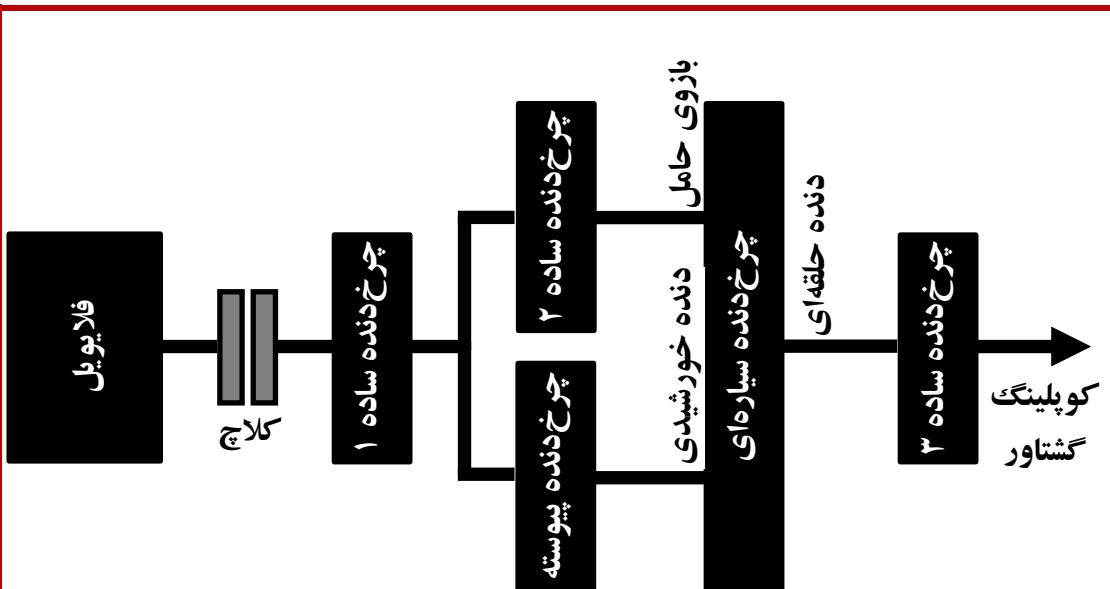
شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

حدود ۵۰۰۰ دوربردیقه و بیشینه گشتاور ورودی آن ۷۰ نیوتن متر است. چنین CVT می‌تواند در حدود  $\frac{70 \times 5000 \times 2\pi}{60}$  کیلووات توان تولید کند. با توجه به نیاز ۱۰۰ کیلووات تعیین شده برای مجموعه فلاپویل، می‌توان فرض کرد با سه برابر کردن وزن این CVT (۱۲۷/۵ کیلوگرم)، گشتاور و توان تولیدی آن نیز به ترتیب به حدود ۲۱۰ نیوتن متر و ۱۱۰ کیلووات می‌رسد.

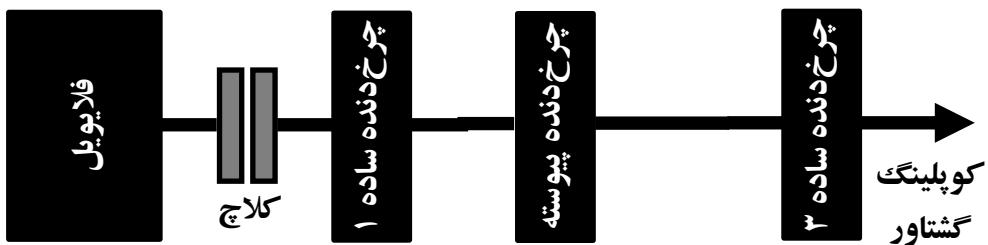
### محاسبه ابعاد سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت (IVT)

سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت دارای دو مود کاری سرعت پایین (IVT) و سرعت بالا (CVT) است. شما کلی این سیستم در شکل ۲۹ نشان داده شده است. تعویض این دو مود کاری به وسیله یک کلاچ دو طرفه انجام می‌شود که در این شکل نشان داده نشده است.

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



(الف)



(ب)

شکل ۲۹ سیستم انتقال قدرت با ضربیب دنده بی‌نهایت؛ (الف) مود کاری سرعت پایین (ب) مود کاری سرعت بالا

برای این مدهای کاری سیستم انتقال قدرت با ضربیب دنده بی‌نهایت، روابط سرعت (۳۷) (مود کاری سرعت پایین) و (۳۸) (مود کاری سرعت بالا) وجود دارد.



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

$$\frac{\omega_{IVT}}{\omega_{FW}} = \frac{G_p \times R_{CVT}(G_p + 1) - G_{sp2} \times G_p}{G_{sp1} \times G_{sp2} \times R_{CVT} \times G_{sp3}} \quad (37)$$

$$\frac{\omega_{IVT}}{\omega_{FW}} = \frac{1}{G_{sp1} \times R_{CVT} \times G_{sp3}} \quad (38)$$

که متغیرهای موجود در آنها به شرح زیر هستند.

$\omega_{IVT}$ : سرعت خروجی سیستم انتقال قدرت

$\omega_{FW}$ : سرعت فلاپوبل

$G_{sp1}$ : نسبت دنده چرخ دنده ساده ۱

$G_{sp2}$ : نسبت دنده چرخ دنده ساده ۲

$G_{sp3}$ : نسبت دنده چرخ دنده ساده ۳

$R_{CVT}$ : نسبت دنده چرخ دنده پیوسته

$G_p$ : نسبت دنده چرخ دنده سیاره‌ای

بین متغیرهای بالا، چهار مقدار مجھول (نسبت‌های دنده چرخ دنده‌های ساده ۱، ۲، ۳ و نسبت دنده چرخ دنده سیاره‌ای) وجود دارد که باید محاسبه شود. در این قسمت، نسبت دنده چرخ دنده ساده ۲ و نسبت دنده چرخ دنده سیاره‌ای محاسبه می‌شود. برای این هدف، دو رابطه نیاز است.

- رابطه (۳۹) که نشان‌گر نسبت دنده بی‌نهایت IVT در مود کاری سرعت پایین است. در این رابطه

نسبت دنده CVT می‌باشد.

- رابطه (۴۰) که نشان‌گر وضعیت تعویض مودهای کاری سرعت پایین و بالاست. در این شرایط

نسبت دنده CVT بیشینه است و سرعت خروجی هر دو مود کاری باید یکسان باشد.



## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



$$\frac{\omega_{IVT}}{\omega_{FW}} = \frac{G_p \times R_{min}(G_p + 1) - G_{sp2} \times G_p}{G_{sp1} \times G_{sp2} \times R_{min} \times G_{sp3}} = 0 \quad (39)$$

$$\frac{G_p \times R_{max}(G_p + 1) - G_{sp2} \times G_p}{G_{sp1} \times G_{sp2} \times R_{max} \times G_{sp3}} = \frac{1}{G_{sp1} \times R_{max} \times G_{sp3}} \quad (40)$$

که در آن  $R_{min}$  نسبت دندۀ کمینه CVT و  $R_{max}$  نسبت دندۀ بیشینه آن است.

مقادیر محاسبه شده نسبت‌های دندۀ چرخ دندۀ ساده ۲ و چرخ دندۀ سیاره‌ای، به کمک روابط فوق، به صورت زیر خواهند بود.

$$G_{sp2} = R_{max} \quad (41)$$

$$G_p = \frac{R_{max} - R_{min}}{R_{min}} \quad (42)$$

### محاسبه ابعاد چرخ دندۀ‌های دیگر

در این قسمت، نسبت دندۀ چرخ دندۀ‌های ساده ۱ و ۳ تعیین می‌شود. وظیفه چرخ دندۀ ساده ۱، سازگاری سرعت فلایویل ( $\omega_{FW}$ ) و سرعت سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته ( $\omega_{CVT}$ ) می‌باشد. همان‌طور که در قسمت‌های قبل اشاره شد، محدوده سرعت کاری فلایویل بین ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ دوربرد دقیقه و بیشینه سرعت CVT برابر با ۵۰۰۰ دوربرد دقیقه می‌باشد. بنابراین نسبت دندۀ چرخ دندۀ ساده ۱ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$G_{sp1} = \frac{\omega_{FW}}{\omega_{CVT}} = \frac{\omega_{FW-max}}{\omega_{CVT-max}} = \frac{20000}{5000} = 4 \quad (43)$$

وظیفه چرخ دندۀ ساده ۳، سازگاری سرعت مجموعه فلایویل ( $\omega_{IVT}$ ) و سرعت خودرو ( $V_{veh}$ ) می‌باشد. بین این دو، رابطه زیر برقرار است.



مرحله سوم - قسمت اول

## تعیین مشخصات کلی سیستم هیبرید مکانیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

$$\frac{\omega_{IVT}}{V_{veh}} = \frac{G_{FD} \times 1000 \times 60}{R_{wheel} \times 3600 \times 2\pi} = \frac{\omega_{IVT-max}}{V_{veh-max}} \quad (44)$$

که در آن  $G_{FD}$  نسبت دندۀ دیفرانسیل (Final Drive Ratio) ( $4/3$ ) و  $R_{wheel}$  شعاع چرخ ( $0.466$  متر) می‌باشد. ضرایب دیگر رابطه (۴۴) نیز برای تبدیل سرعت از دوربردقيقه (سرعت مجموعه فلاپویل) به کیلومتربرساعت (سرعت خودرو) می‌باشد.

در رابطه (۴۴)، سرعت مجموعه فلاپویل از رابطه (۳۸) (مود کاری سرعت بالا) به ازاء  $R_{CVT} = R_{min}$  به دست می‌آید. همچنین سرعت بیشینه اتوبوس شهری  $80$  کیلومتربرساعت فرض می‌شود، در حالی که سرعت فلاپویل ( $\omega_{FW}$ ) در این حالت، برای رعایت ضرایب اطمینان، میانگین سرعت بیشینه و کمینه آن ( $15000$  دوربردقيقه) فرض می‌شود. به این ترتیب نسبت دندۀ چرخ دندۀ ساده  $3$  از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{\omega_{IVT-max}}{V_{veh-max}} = \frac{\frac{\omega_{FW}}{G_{sp1} \times R_{min} \times G_{sp3}}}{80} = \frac{G_{FD} \times 1000 \times 60}{R_{wheel} \times 3600 \times 2\pi} = 24.477 \quad (45)$$

$$G_{sp3} = \frac{\omega_{FW}}{80 \times 24.477 \times G_{sp1} \times R_{min}} = 0.638 \quad (46)$$

لازم به ذکر است که چرخ دندۀ ساده  $3$ ، درواقع همان کوپلینگ گشتاور خروجی مجموعه موتور احتراق داخلی و خروجی مجموعه فلاپویل می‌باشد.



فاز دوم

مرحله سوم - قسمت دوم

مدل سازی و شبیه سازی

اتوبوس متعارف

در محیط فید فوروارد





## فهرست مطالب

۱	مقدمه
۴	۱ سیستم تولید و انتقال قدرت اتوبوس متعارف ۰۴۵۷
۵	۲ مدل سازی اتوبوس متعارف ۰۴۵۷
۶	۱-۲ سیکل رانندگی
۹	۲-۲ مدل راننده
۹	۱-۲-۲ طراحی کنترل کننده PID برای راننده
۱۲	۳-۲ مدل موتور احتراقی
۱۹	۴-۲ مدل انتقال قدرت
۱۹	۱-۴-۲ اجزای مدل گیربکس
۲۶	۲-۴-۲ صفحه گذاری بر مدل گیربکس
۲۷	۵-۲ مدل دینامیک اتوبوس
۳۰	۳ نتایج شبیه سازی در MATLAB/SIMULINK
۳۰	۱-۳ مشخصات فنی اتوبوس
۳۰	۲-۳ شبیه سازی مصرف سوخت در سیکل نورمبورگ
۳۳	۳-۳ شبیه سازی مصرف سوخت در سیکل تهران
۳۶	۴-۳ شبیه سازی عملکرد اتوبوس متعارف در شب پیمایی و شتابگیری
۳۷	۴ جمع بندی





## مدل‌سازی و شبیه‌سازی اتوبوس متعارف



## مقدمه

طراحی خودرو یک فرایند پرهزینه و زمانبر است که طی آن ابتدا مشخصات کلی سیستم و اجزای آن مشخص می‌شود. در مرحله بعد جزئیات طراحی این اجزا مشخص می‌شود و درنهایت با ساخت و تست یک مدل اولیه<sup>۱</sup> پایان می‌پذیرد. این هزینه و زمان هنگفت به کمک مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای به شدت کاهش می‌یابد. یک محیط شبیه‌سازی رایانه‌ای این امکان را برای طراح فراهم می‌کند که یک خودرو مجازی طراحی و آن را در شرایط گوناگون تست و تأثیر تغییر اندازه اجزای مختلف را بر عملکرد آن تحلیل کند. در مورد خودروهای هیبرید می‌توان استراتژی‌های کنترلی مختلفی را نیز بر خودرو اعمال و رفتار آن را پیش‌بینی کرد.

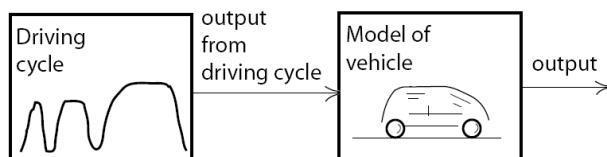
مدل‌سازی خودرو معمولاً به دو صورت رو به جلو<sup>۲</sup> و رو به عقب<sup>۳</sup> انجام می‌شود. شکل ۱ تفاوت پیاده‌سازی این دو روش را نشان می‌دهد. در مدل‌سازی رو به عقب، مانند ADVISOR، فرض می‌شود که سیکل رانندگی ورودی دقیقاً پیموده می‌شود و بعد توان لازم برای این پیمایش، گشتاور و سرعت در هریک از اجزای سیستم انتقال قدرت، مصرف سوخت و سایر پارامترها محاسبه می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در مدل‌سازی با این روش به مدل راننده احتیاجی نیست.

اما در مدل‌سازی رو به جلو، که به عملکرد واقعی خودرو نزدیک‌تر است، راننده سیکل رانندگی را می‌بیند و متناسب با آن فرمان گاز یا ترمز می‌دهد. درنتیجه پاسخ خودرو متناسب با فشدگی پدال گاز یا ترمز خواهد بود. برای آنکه خودرو بتواند یک پروفیل سرعت یا یک سیکل رانندگی را پیماید، لازم است که یک پیغام مرجع به مدل راننده داده شود. این نوع مدل‌سازی علی‌رغم دشواری‌هایی که دارد، از آنجاکه جریان اطلاعات در آن مانند یک خودروی واقعی است، پیش‌بینی دقیق‌تری از رفتار خودرو ارائه می‌دهد. این

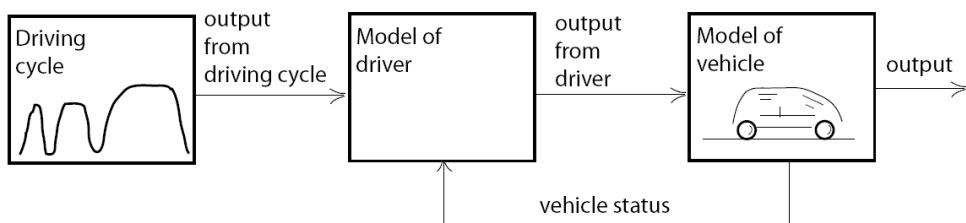
<sup>1</sup> Prototype<sup>2</sup> Forward Modeling<sup>3</sup> Backward Modeling

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

روش مدل سازی که حجم پردازش به مراتب بیشتری نسبت به روش رو به عقب طلب می کند، معمولاً هنگامی مورد استفاده قرار می گیرد که پدیده های دینامیکی خودرو یا اجزای آن بیشتر مورد توجه باشند. در حالی که در روش قبلی می توان به آسانی با هر بار برآورده اجزا، کار کرد خودرو را مورد مطالعه قرار داد. در این گزارش به شرح و توضیح مدل رو به جلو ساخته شده در محیط MATLAB\Simulink برای شبیه سازی رفتار اتوبوس پرداخته شده است. در فصل اول، سیستم و چیدمان اعضای مختلف اتوبوس متعارف O457 توضیح و در فصل دوم چگونگی مدل سازی هر یک از اعضای اتوبوس توضیح داده شده است. در نهایت در فصل سوم، نتایج شبیه سازی مدل اتوبوس در چندین سیکل حرکتی مختلف ارائه شده است.



(الف) رو به عقب

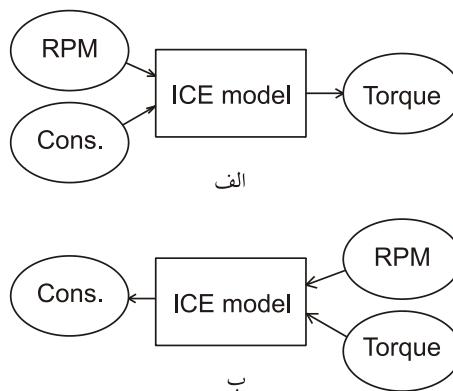


(ب) رو به جلو

شکل ۱ - روش های مدل سازی خودرو - (الف) رو به عقب، (ب) رو به جلو

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

نکته قابل توجه دیگر در مورد دو نوع مدل سازی ذکر شده، آن است که مدل سازی رو به جلوی خودرو زمانی می تواند اهداف طراح را به خوبی تأمین کند که علاوه بر نگاه رو به جلوی ماکروسکوپیک، از نظر میکروسکوپیک نیز رو به جلو باشد. به این معنا که مدل سازی اجزای خودرو نیز رو به جلو باشد. شکل ۲ تفاوت این دو روش مدل سازی را برای موتور احتراقی به خوبی نشان می دهد. در مدل رو به جلو سوخت می سوزد و گشتاور تولید می شود. در حالی که در مدل رو به عقب فرض می شود موتور تمام گشتاور درخواستی را تأمین می کند و از آنجا مصرف سوخت موتور محاسبه می شود.



شکل ۲ - مدل موتور احتراقی: (الف) مدل سازی رو به جلو، (ب) مدل سازی رو به عقب

## ۱ سیستم تولید و انتقال قدرت اتوبوس متعارف O457

نمایی از چیدمان اجزای اصلی سیستم تولید و انتقال قدرت یک اتوبوس متعارف<sup>۴</sup> O457 ، در شکل ۳ دیده می شود. همان طور که مشاهده می شود، تنها منبع تولید قدرت موتور احتراق داخلی می باشد که از طریق یک گیربکس اتوماتیک به محور چرخ ها متصل است. درون گیربکس اتوماتیک، یک مبدل گشتاور<sup>۵</sup> قرار دارد و

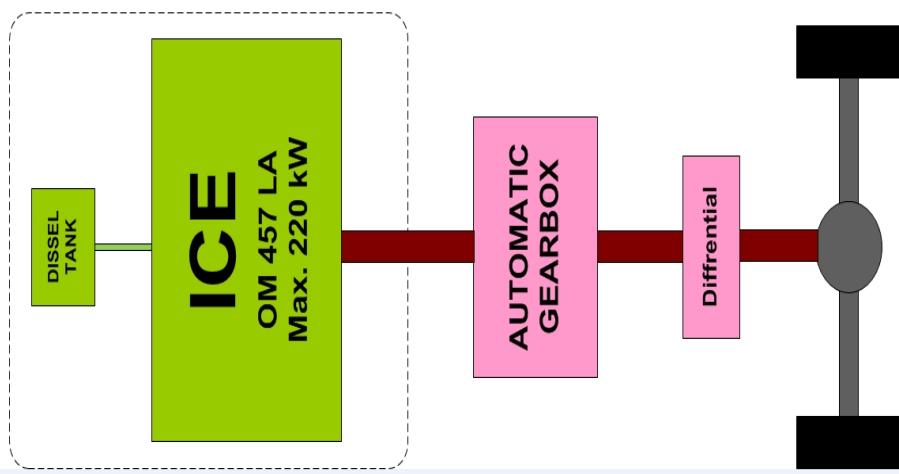
<sup>4</sup> Conventional

<sup>5</sup> Torque Convertor

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

به نوعی وظیفه یک کلاچ را انجام می دهد. در یک چیدمان متعارف، روشن بودن اتوبوس به معنای روشن بودن موتور احتراقی است و همین امر موجب بالابودن مصرف سوخت اتوبوس متعارف در مقایسه با چیدمان های هیبرید می شود.

### Conventional Drive for O457 City Bus

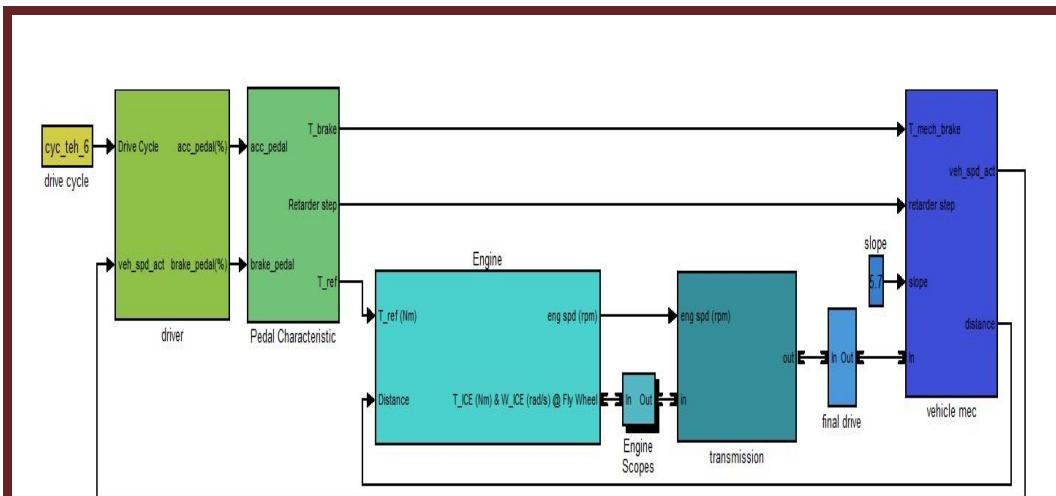


شکل ۳ - نمایی از چیدمان سیستم تولید و انتقال قدرت اتوبوس متعارف O457

## ۲ مدل سازی اتوبوس متعارف O457

در شکل ۴ مدل ارائه شده در محیط MATLAB Simulink برای شبیه سازی اتوبوس متعارف مشاهده می شود.

## مدل سازی و شبیه‌سازی اتوبوس متعارف



شکل ۴ - مدل رو به جلوی اتوبوس متعارف در O457 در Simulink

همان‌طور که گفته شد، این مدل یک مدل روبه جلو است که در آن راننده با توجه به اختلاف سرعت فعلی و سرعت مطلوب (سیگنال رسیده از بلوک سیکل رانندگی)، پدال گاز یا ترمز را فشار می‌دهد. در ادامه در یک بلوک محاسباتی، این فشرده شدن پدال‌ها به گشتاور مورد نیاز تبدیل و به بلوک موتور احتراقی فرستاده می‌شود. بین موتور احتراقی و چرخ‌ها، بلوک گیربکس قرار دارد. درنهایت برای مدل سازی چرخ‌ها و خودرو به عنوان بارهای مدل، یک بلوک با نام دینامیک خودرو قرار داده شده است.

### ۱-۲ سیکل رانندگی

سیکل رانندگی<sup>۶</sup>، یک منحنی سرعت بر حسب زمان است که برای نشان دادن الگوی رانندگی یک وسیله نقلیه خاص و در محیط حرکتی مورد نظر به کار می‌رود. هدف عمده در تدوین سیکل‌های رانندگی خودروها

<sup>6</sup> Drive cycle



## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



اندازه گیری میزان مصرف سوخت و آلایندگی خودروها به وسیله انجام تست های شاسی دینامومتر<sup>۷</sup> یا شبیه سازی می باشد. سیکل های رانندگی دو نوع عمدۀ می باشند: گذراء<sup>۸</sup> و مodal<sup>۹</sup>. سیکل های گذراء، علاوه بر شرایط پایدار سرعت ثابت، شرایط گذرای شتاب گیری و ترمز گیری را نیز شبیه سازی می کنند؛ مانند سیکل های رانندگی شهرهای تهران، منهتن و نورمبورگ. سیکل های مodal، الگوی واقعی رانندگی را بیان نمی کنند و در بازه های کوتاه زمانی سرعت آنها ثابت است؛ مانند سیکل رانندگی NEDC. این تست ها شرایط گذراء، یعنی شتاب گیری و ترمز گیری را که مقدار زیادی از مصرف سوخت ناشی از آن می باشد، نادیده می گیرند. نمونه ای از یک سیکل رانندگی Modal و یک سیکل رانندگی گذراء در شکل ۵ نشان داده شده است.

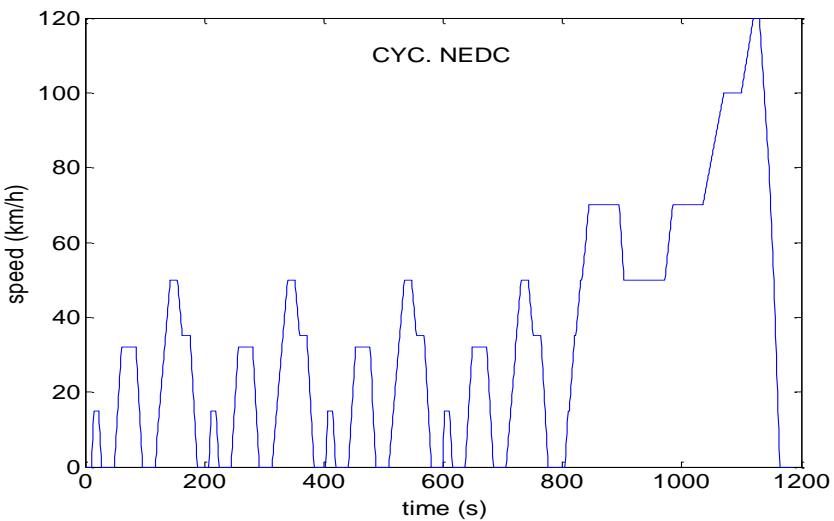
برای تست مدل رو به جلوی اتوبوس در پروژه حاضر، از سیکل رانندگی گذرای شهرهای تهران و نورمبورگ استفاده شده است.

<sup>7</sup> Chassis Dynamometer Test

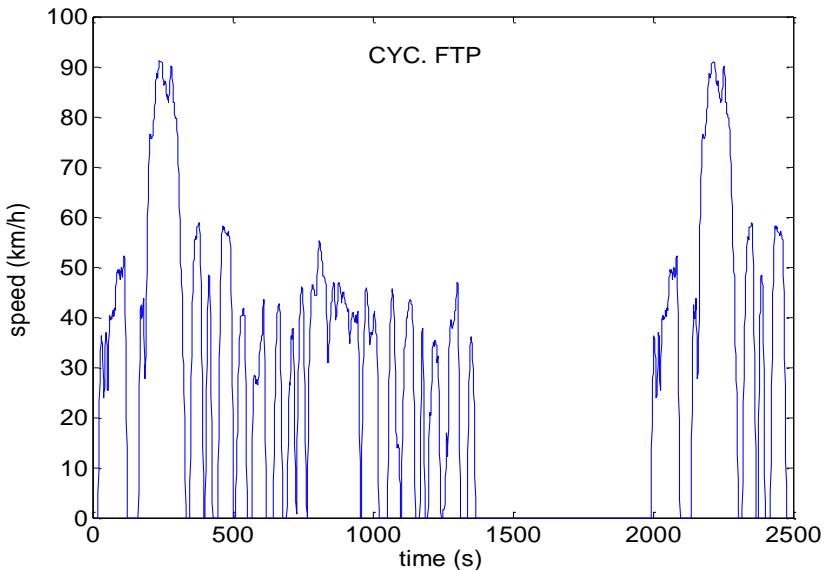
<sup>8</sup> Transient cycle

<sup>9</sup> Modal cycle

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



(الف)



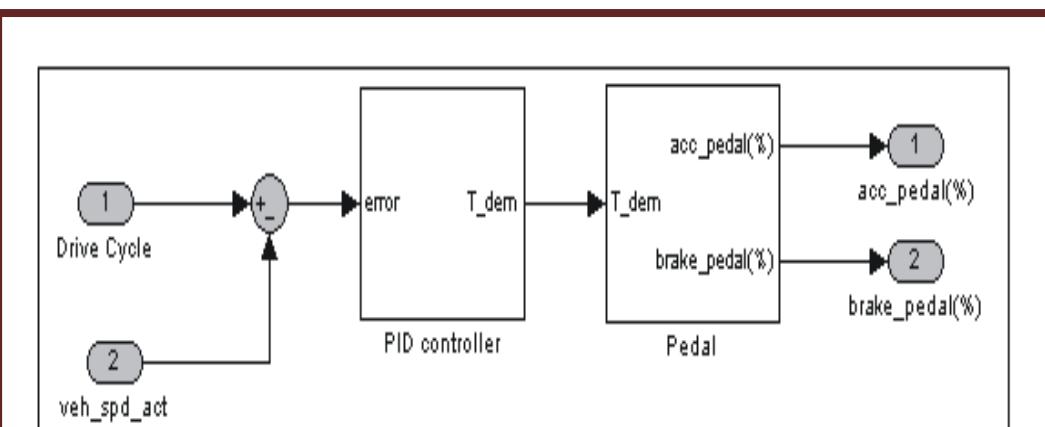
(ب)

شکل ۵ - (الف) سیکل رانندگی مودال NEDC، (ب) سیکل رانندگی گذرای FTP

### ۲-۲ مدل راننده

راننده در واقعیت با مقایسه سرعت فعلی خودرو و سرعت مطلوب سیکل رانندگی، پدال گاز یا ترمز را فشار می‌دهد. برای شبیه‌سازی راننده می‌توان از روش‌های کلاسیک، مانند کنترل کننده PID-action<sup>۱۰</sup>، یا روش‌های تکاملی<sup>۱۱</sup> مانند کنترلر فازی<sup>۱۲</sup> بهره برد. راننده فازی می‌تواند با توجه به اختلاف سرعت واقعی با سرعت مطلوب و نیز شتاب خودرو زاویه پدال گاز یا ترمز را تعیین کند.

در این پژوهه از یک کنترل کننده PID استفاده شده است که با توجه به اختلاف سرعت واقعی و مطلوب خودرو، گشتاور لازم را فرمان می‌دهد. شکل ۶ مدل ارائه شده برای راننده را نشان می‌دهد.



شکل ۶ - مدل راننده در Simulink

### ۱-۲-۲ طراحی کنترل کننده PID برای راننده

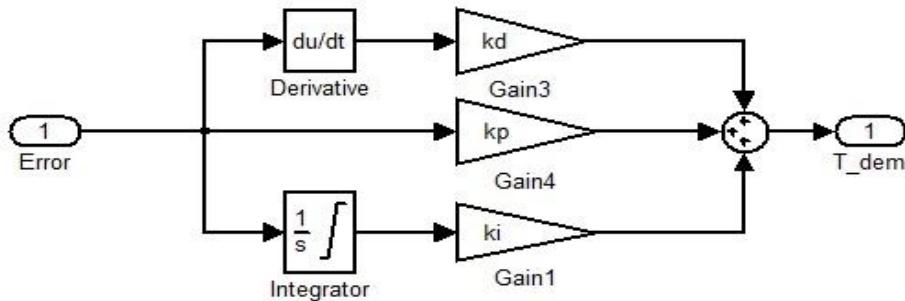
در شکل ۷، کنترلر PID راننده، مشاهده می‌شود.

<sup>10</sup> Proportional Integral Derivative action

<sup>11</sup> Evolutionary

<sup>12</sup> Fuzzy

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



شکل ۷ - کنترلر PID راننده

در طراحی مدل راننده مشاهده شد که کنترلر P-action<sup>۱۳</sup> به تنهایی می‌تواند سیکل رانندگی را به طور مناسب دنبال کند، اما نوسانات پاسخ سیستم را اصلاح نمی‌کند. همچنین انتگرال خطای سرعت منجر به آن می‌شود که مسافت طی شده توسط خودرو با طول واقعی سیکل رانندگی اختلاف داشته باشد. برای بهبود رفتار سیستم کنترلرهای D-action<sup>۱۴</sup> و I-action<sup>۱۵</sup> اضافه و رفتار سیستم در حالت‌های مختلف مقایسه شد. مهمترین خاصیت کنترلر I-action آن است که خطای حالت ماندگار سیستم را صفر می‌کند. در مقابل کنترلر D-action سیستم مدار بسته را پایدارتر کرده و فراجهش<sup>۱۶</sup> را کاهش می‌دهد.

باید توجه داشت تنظیم پارامترهای کنترلر در پیش‌بینی رفتار خودرو بسیار تعیین کننده می‌باشد. پارامترهای کنترلر PID با توجه به تأثیر هر کدام از ضرایب، با روش سعی و خطأ تنظیم شده‌اند. در نهایت، پس از تست ترکیب‌های مختلف از ضرایب PID، مقدار ۱۰۰۰ برای  $K_p$ ، ۱۰۰۰ برای  $K_i$  و صفر برای  $K_d$ ، انتخاب شد.

<sup>13</sup> Proportional action

<sup>14</sup> Derivative action

<sup>15</sup> Integral action

<sup>16</sup> Overshoot



مرحله سوم - قسمت دوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

نمودار نتایج استفاده از کنترلر PID راننده را در سیکل رانندگی نورمبورگ در شکل ۸ مشاهده می کنید.

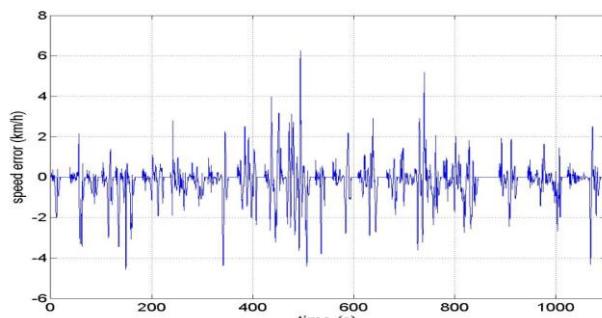
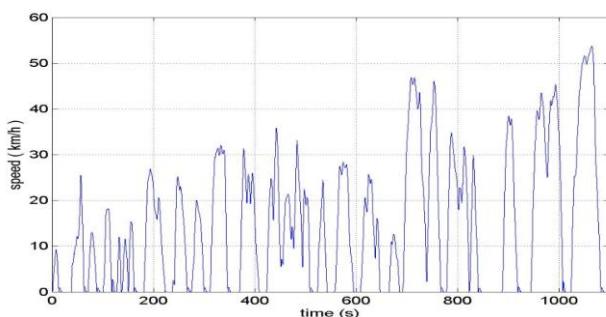
نمودار اول، سرعت سیکل رانندگی که مطلوب راننده است، می باشد. نمودار دوم، سرعت خودرو است.

نمودار سوم نمایشگر خطای سرعت پیمایش سیکل در هر لحظه می باشد. تأثیر کنترلر انگرال گیر بر خطای

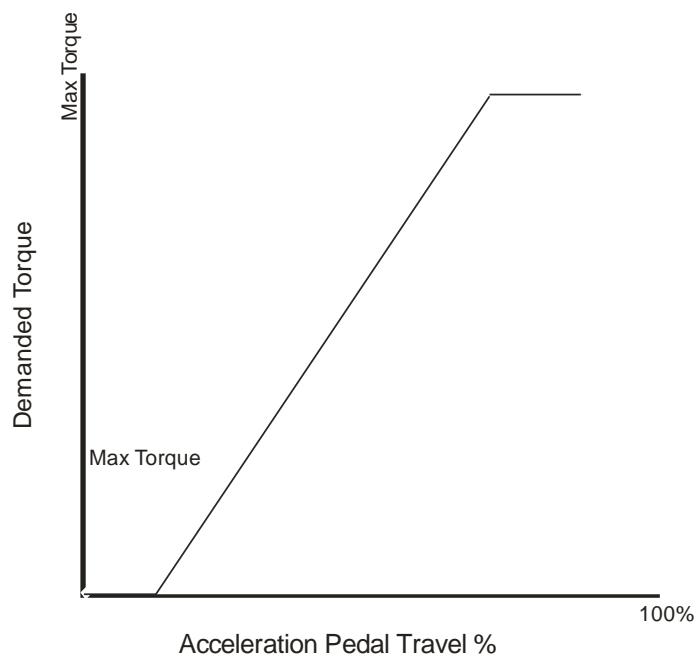
سرعت، با کاهش محسوس انگرال خطا در طول سیکل، به وضوح مشاهده می شود. در سیکل رانندگی

استفاده شده، راننده نامناسب ضمن عملکرد ضعیف در پیمایش سیکل، حدوداً شش برابر راننده مناسب

سوخت مصرف می کند.



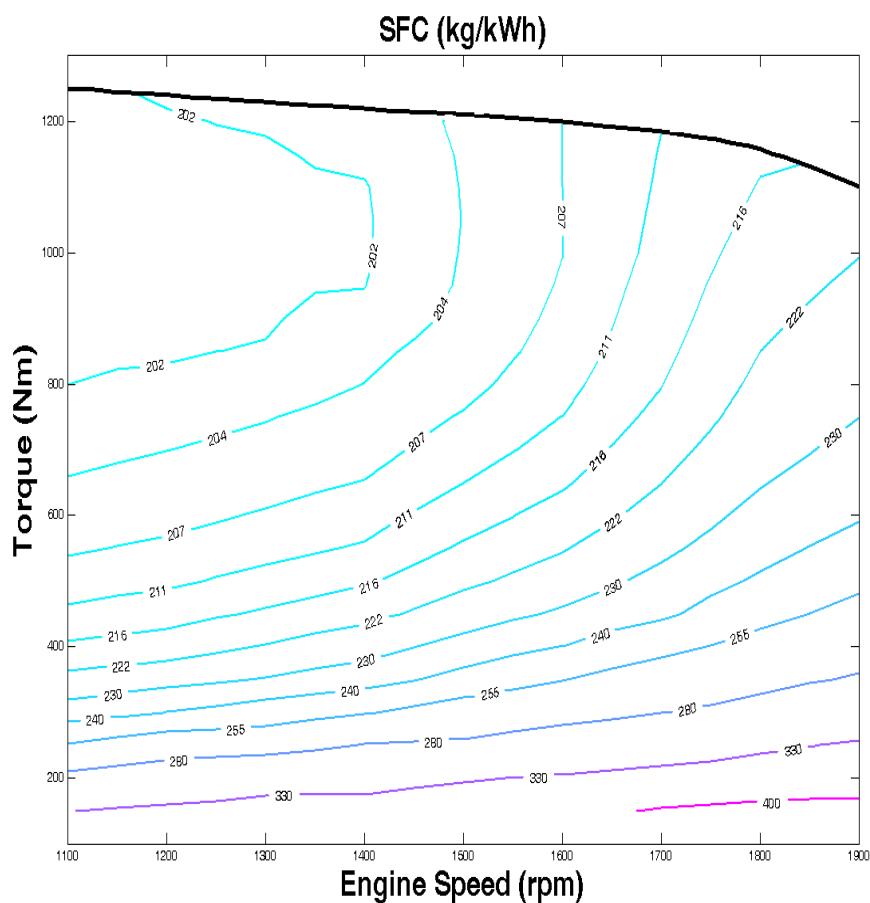
شکل ۸ - نتایج نهایی مدل در سیکل نورمبورگ با استفاده از کنترلر PID برای راننده - سرعت اتوبوس (شکل بالا) و خطای سرعت اتوبوس نسبت به سرعت سیکل (شکل پایین)



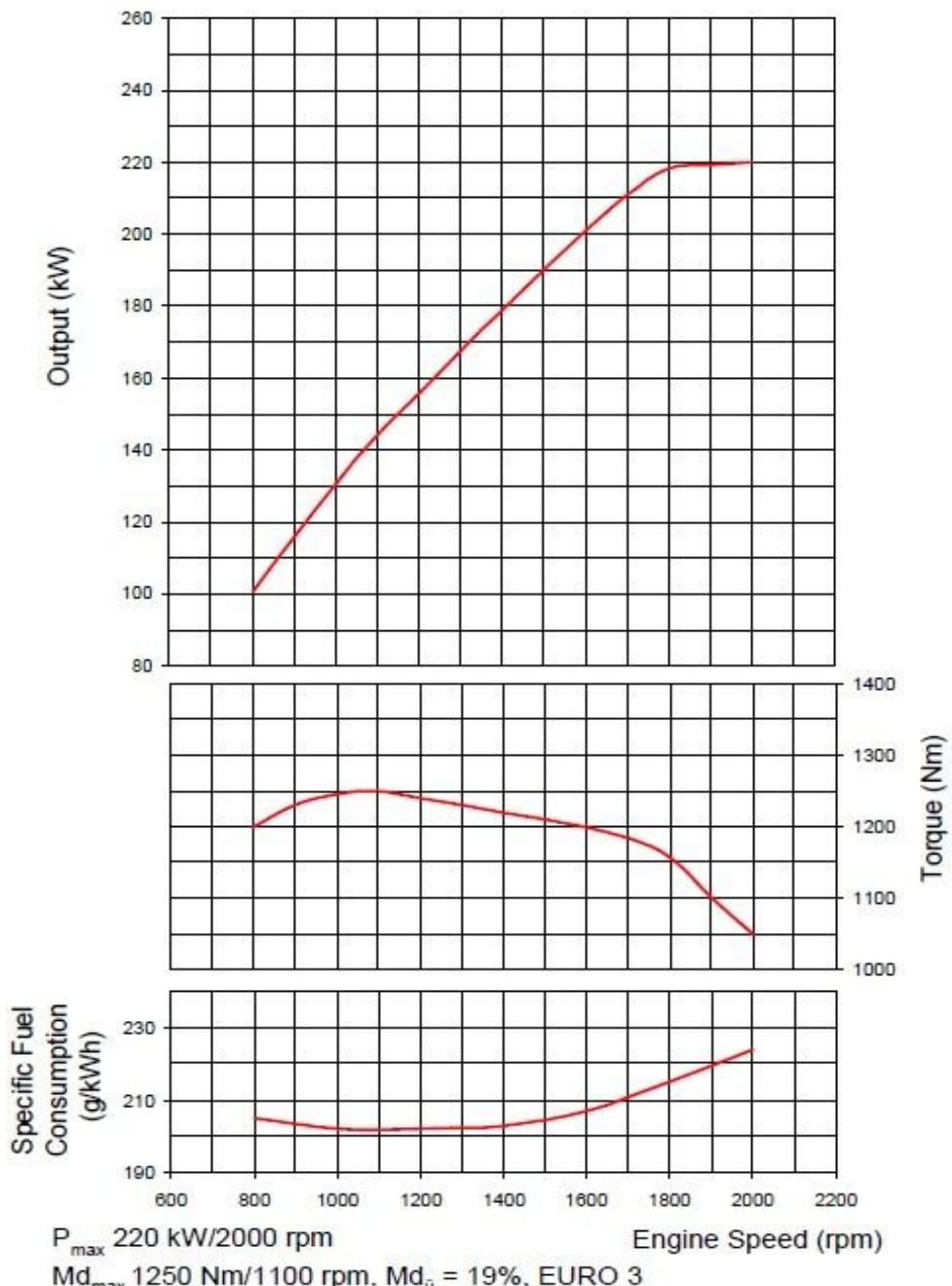
شکل ۹ - طرحی شماتیک از رابطه خطی بین گشتاور درخواستی بر حسب زاویه پدال

- ی--- .ی سر -

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



شکل ۱۰ - منحنی مصرف سوخت موتور OM 457 LA



شكل ۱۱ - منحنی عملکرد موتور OM 457 LA



شکل ۱۲ - موتور احتراقی OM 457 LA

برای مدل سازی بلوک موتور احتراق داخلی، از بلوک های محیط SimDriveline، استفاده شده است. با این کار، ارتباط بین موتور احتراق داخلی با گیربکس و همچنین با چرخها، به واقعیت نزدیک تر خواهد بود. در این بلوک، پنج مورد وجود دارد که موتور موردنظر را از دیگر موتورها متمایز می نماید:

- مصرف سوخت موتور. برای تعیین مصرف سوخت، یک بلوک محاسباتی درنظر گرفته شده است که در آن با توجه به منحنی مصرف سوخت موتور احتراقی بر حسب دور و گشتاور (شکل ۱۰)، یک جدول جستجو تهیه شده و ورودی های آن دور و گشتاور موتور و خروجی آن مصرف سوخت بر حسب گرم بر کیلووات ساعت است. با ضرب این مقدار در توان مصرفی موتور و انتگرال گیری بر حسب زمان، مصرف سوخت موتور بر حسب گرم به دست می آید. درنهایت با توجه به چگالی سوخت مصرفی و مسافت طی شده، مصرف سوخت بر حسب لیتر در ۱۰۰ کیلومتر محاسبه می شود.

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

- ماکریم گشتاور. براساس منحنی عملکرد موتور مذکور، در هر سرعت دورانی شافت آن، یک

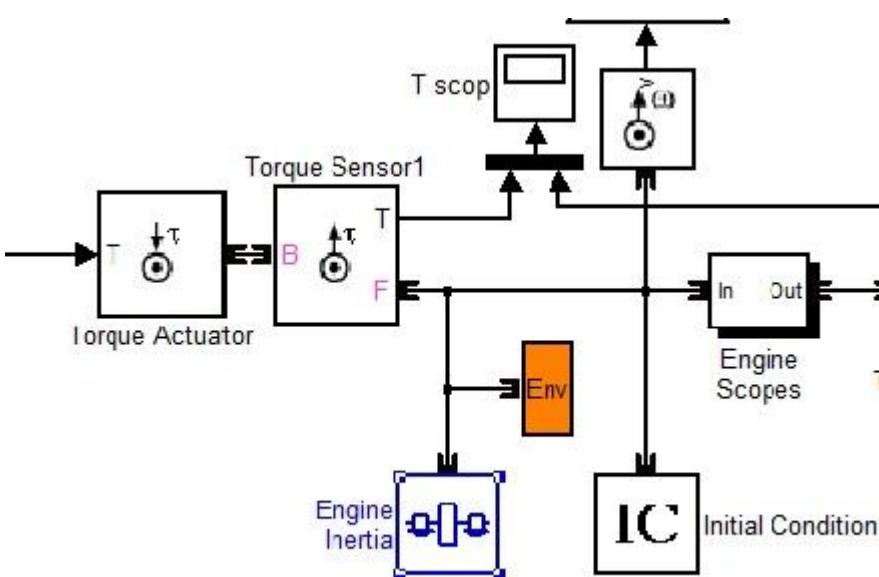
مقدار ماکریم گشتاور محاسبه می شود که حد بالای گشتاور خروجی از بلوک موتور احترافی است.

- ایرسی موتور. یکی از مشخصه های اصلی یک موتور، مقدار ایرسی آن است. این مقدار برای موتور

۲/۱۶ کیلوگرم مترمربع می باشد که در بلوک موتور احترافی حاضر، این مقدار با

استفاده از بلوک های محیط SimDriveline، مدل و به صورت یک بار بر شافت خروجی موتور

احترافی اعمال شده است (شکل ۱۳).



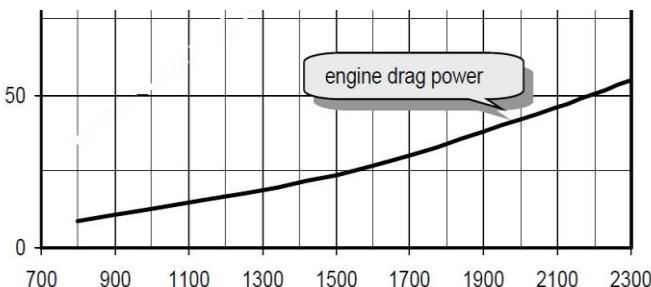
شکل ۱۳ - بلوک ایرسی موتور احترافی (مشخص شده با رنگ آبی)



## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



- دور خلاصی<sup>۱۷</sup> موتور. در حالتی که موتور روشن است ولی از محور چرخ ها جدا می باشد و هیچ گشتاوری فراهم نمی کند. با کاهش سرعت دورانی شافت موتور، از یک دور مشخص به پایین، موتور برای حرکت نرم و هموار خود نیاز به یک توان مشخص دارد. این توان از طرف خود موتور تأمین می شود و باعث افزایش مصرف سوخت می گردد. این حالت حرکت موتور را، دور خلاصی و سرعت دورانی مربوطه را دور خلاصی می نامند. در بلوک موتور حاضر، حالت خلاصی موتور مدل شده است. دور خلاصی برای موتور OM 457 LA، ۵۶۰ دور بر دقیقه می باشد.
- گشتاور مقاوم موتور<sup>۱۸</sup>. در حالاتی از حرکت خودرو که موتور احتراقی به محور چرخ ها متصل است ولی گشتاوری تولید نمی کند (پدال گاز فشرده نمی شود)، مانند حرکت در سرنشیبی در حالی که گیربکس در گیر باشد ولی پای راننده روی پدال گاز نباشد، موتور مانند یک کمپرسور هوا عمل کرده و گشتاور منفی تولید می کند. این گشتاور منفی تأثیری بر میزان مصرف سوخت ندارد و فقط مانند یک گشتاور ترمزی عمل می کند. این مورد نیز براساس شکل ۱۴ موجود در کاتالوگ موتور موردنظر در مدل قرار داده شده است.



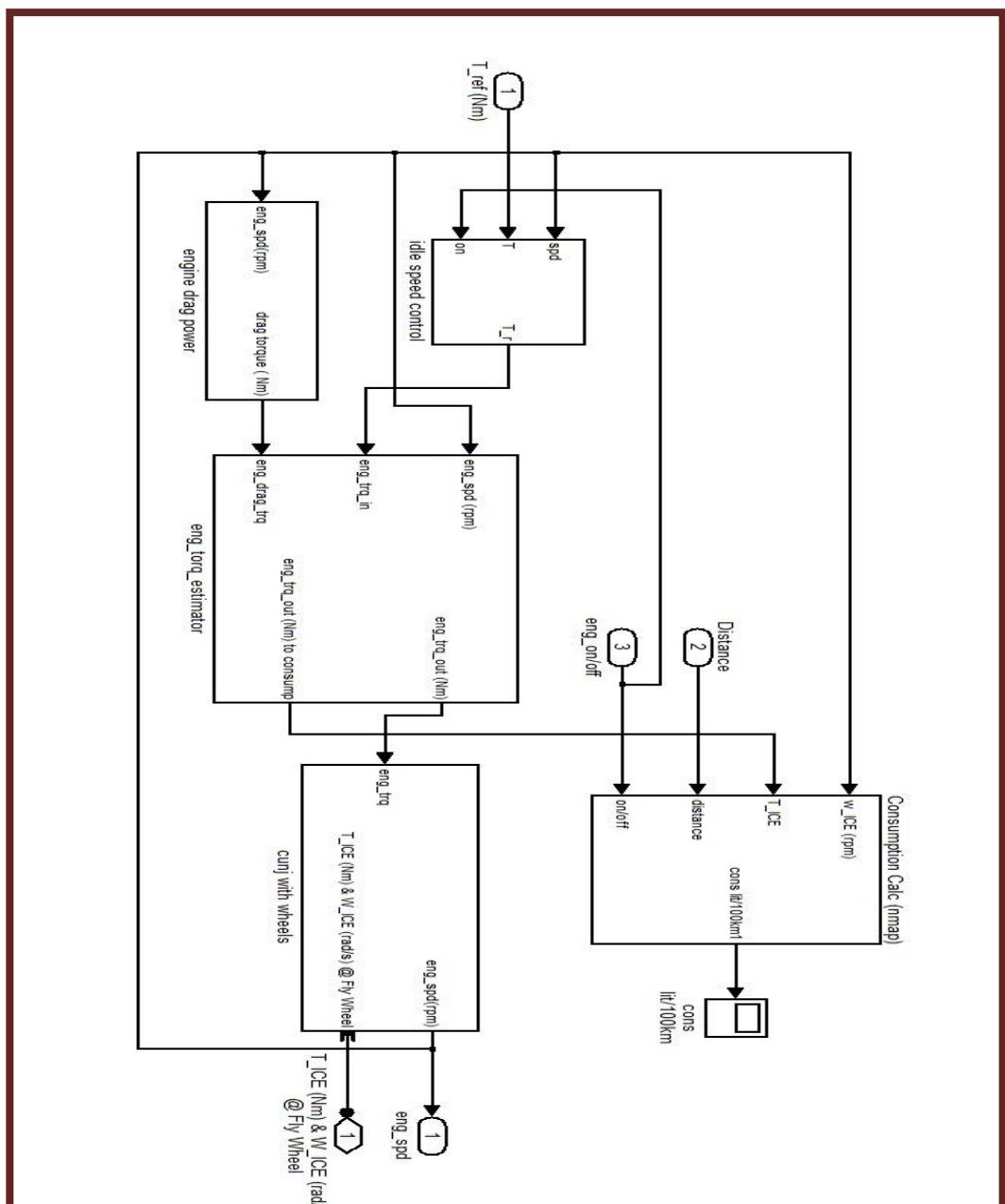
شکل ۱۴- منحنی توان مقاوم موتور احتراق داخلی (محور عمودی) بر حسب سرعت موتور (محور افقی)

<sup>17</sup> Idle Speed

<sup>18</sup> Engine Drag Torque

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

بلوک نهایی موتور احتراقی در شکل ۱۵ نمایش داده شده است. در مدل موتور احتراقی، مسئله انتقال حرارت موتور و تأثیر دمای آن بر مصرف سوخت لحاظ نشده است.



شکل ۱۵ - مدل موتور احتراق داخلی در محیط Simulink

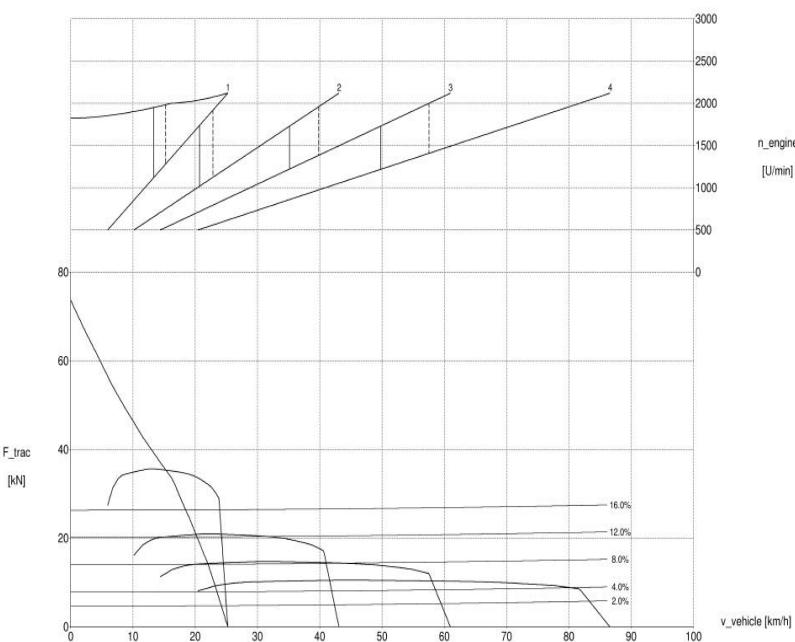
### ۴-۲ مدل انتقال قدرت

همان‌طور که در فصل اول اشاره شد برای بهبود گشتاور خروجی موتور احتراق داخلی، از یک گیربکس اتوماتیک چهارسرعته استفاده شده است. در این بخش ابتدا قسمت‌های مختلف مدل گیربکس معرفی شده و سپس صحنه‌گذاری بر مدل انجام گرفته است.

### ۱-۴-۲ اجزای مدل گیربکس

مدل گیربکس اتوماتیک، از سه قسمت تشکیل شده است:

کنترل گیربکس. این بلوک براساس سرعت خودرو و با استفاده از یک روند مشخص که در کاتالوگ گیربکس به صورت یک نمودار (شکل ۱۶) بیان شده است، دنده مورد نظر را انتخاب می‌کند و به بلوک جعبه دنده فرمان می‌فرستد.

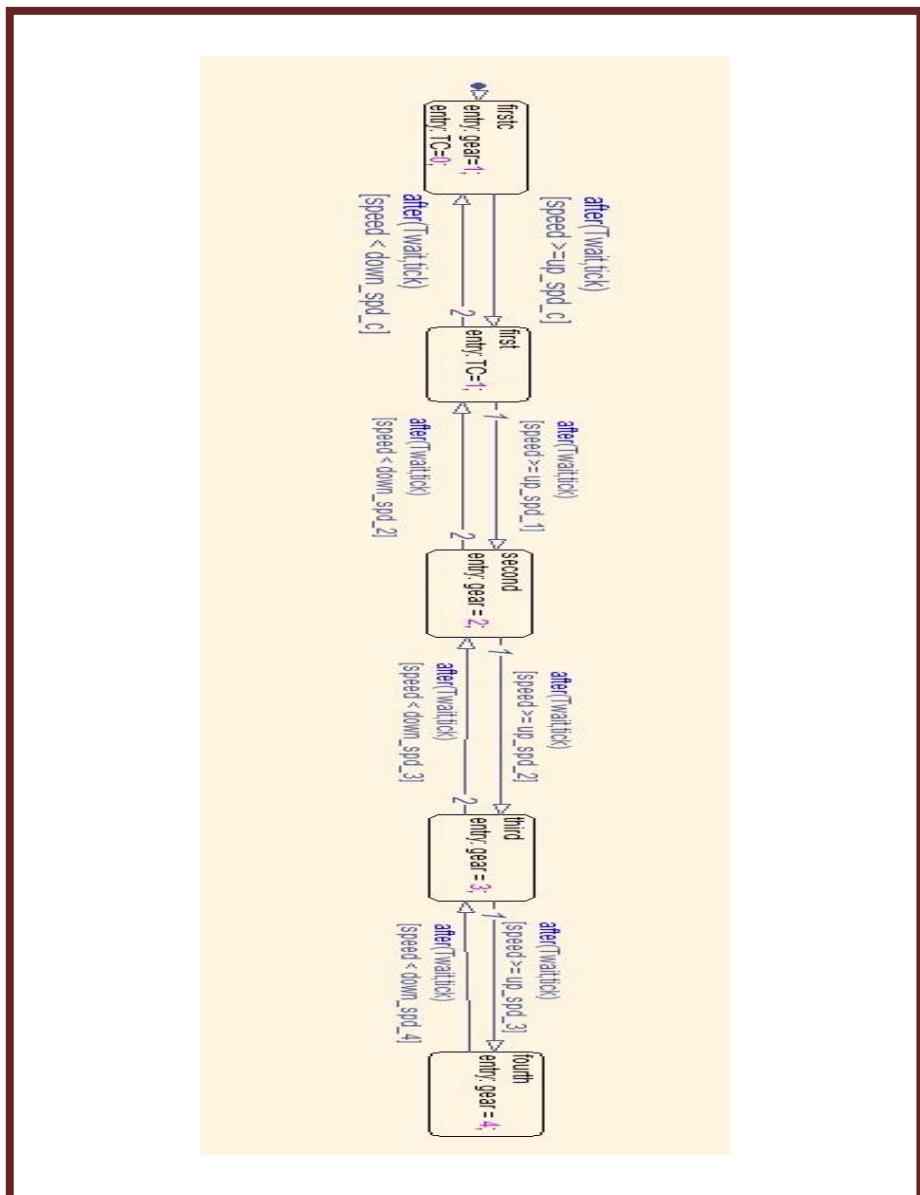


شکل ۱۶ - نمودار روند تعویض دنده در گیربکس اتوماتیک استفاده شده در مدل اتوبوس ۰۴۵۷

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

در بلوک کنترل گیربکس، جهت تعویض دنده از یک بلوک جریان حالت<sup>۱۹</sup>، استفاده شده است (شکل

.۱۷).



شکل ۱۷ - بلوک کنترل گیربکس که یک جریان حالت (State Flow) است.

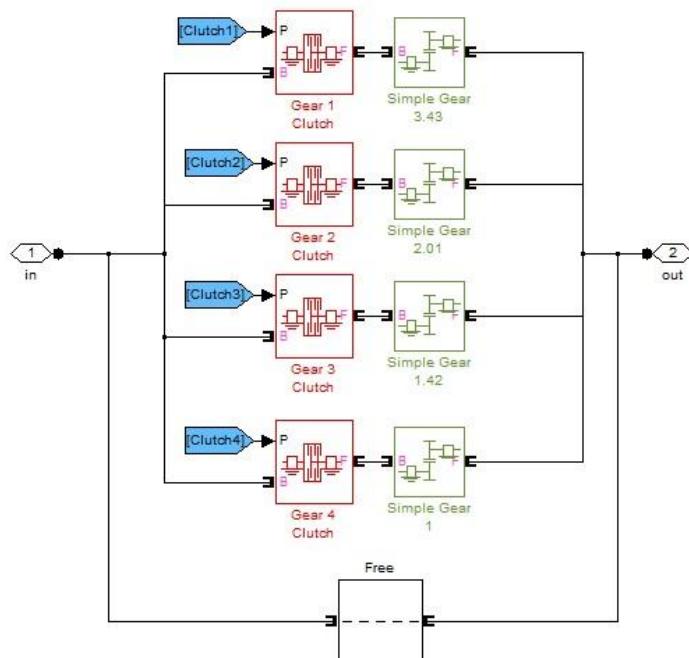
<sup>19</sup> State flow

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

- جعبه دنده. این بلوک شامل چهار چرخدنده با نسبت دنده های متفاوت است (شکل ۱۸) که براساس فرمان بلوک کنترل گیربکس، چرخدنده مورد نظر انتخاب می شود. در اینجا نیز، از بلوک های ابزار SimDriveline جهت مدل سازی استفاده شده است. ضریب دنده های چهار گانه مذکور در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱ - ضریب دنده های جعبه دنده

ضریب دنده	شماره دنده
۳/۴۳	۱
۲/۰۱	۲
۱/۴۲	۳
۱	۴



شکل ۱۸ - بلوک مربوط به جعبه دنده



## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



• مبدل گشتاور<sup>۲۰</sup>. مبدل گشتاور (شکل ۱۹) یک مجموعه هیدرولیکی است که در گیربکس های

اتوماتیک به جای کلاچ به کار می رود و حرکت خودرو را هموار تر می نماید. یک مبدل گشتاور از

سه قطعه اصلی تشکیل شده است:

۱- پمپ<sup>۲۱</sup>. این قطعه به محور خروجی موتور احتراقی متصل است و گشتاور را از محور خروجی آن

می گیرد. گشتاور خروجی موتور احتراقی، پمپ را می چرخاند و پمپ نیز سیال موجود در محفظه ای

مبدل را به حرکت درمی آورد. حرکت سیال عامل منتقل کننده قدرت از پمپ به توربین است.

۲- توربین<sup>۲۲</sup>. این قطعه به محور ورودی گیربکس اتماتیک متصل است و در واقع محور خروجی مبدل

گشتاور می باشد.

۳- استاتور<sup>۲۳</sup>. این قطعه به محفظه ای خروجی مبدل گشتاور وصل شده است و در برابر افزایش فشار و

سرعت سیال که توسط پمپ صورت می گیرد، عکس العمل نشان می دهد، موجب می شود که سیال،

توان خود را به توربین منتقل کند. در شروع حرکت، نسبت تبدیل بین پمپ و توربین بسیار بالا است

که با افزایش سرعت دورانی توربین توسط سیال پمپ شده، این نسبت تبدیل پایین آمده و درنهایت به

یک می رسد. در این لحظه، استاتور توسط یک کلاچ از مدار خارج می شود.

مدل سازی مبدل گشتاور بر اساس سه کمیت انجام شده که هر سه کمیت از کاتالوگ گیربکس مورد نظر

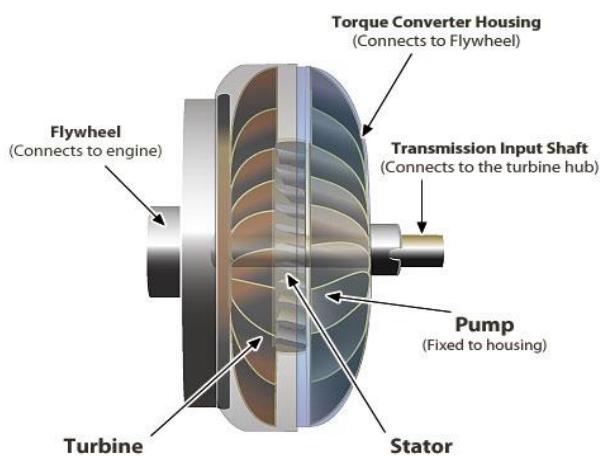
قابل استخراج است:

<sup>20</sup>Torque Convertor

<sup>21</sup>Impeller

<sup>22</sup>Turbine

<sup>23</sup>Stator



شکل ۱۹ - مبدل گشتاور (Torque Converter)

۱- نسبت گشتاور ( $C_{tr}$ ). این کمیت برابر با نسبت گشتاور توربین به گشتاور پمپ مبدل در هر لحظه است (شکل ۲۰).

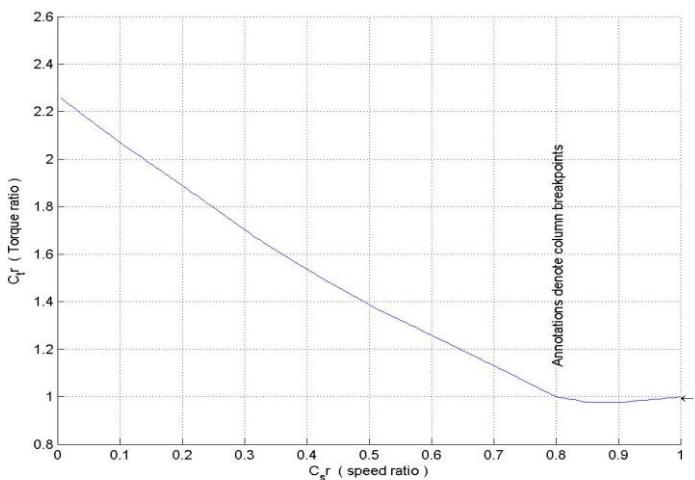
۲- نسبت سرعت ( $C_{sr}$ ). این کمیت برابر با نسبت سرعت دورانی توربین به سرعت دورانی پمپ در هر لحظه است.



## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



Table and breakpoints data for block: conv\_std\_mec\_lock\_final/transmission/Torque Converter/main solver/Torque generator



شکل ۲۰ - نمودار نسبت گشتاور بر حسب نسبت سرعت مبدل گشتاور

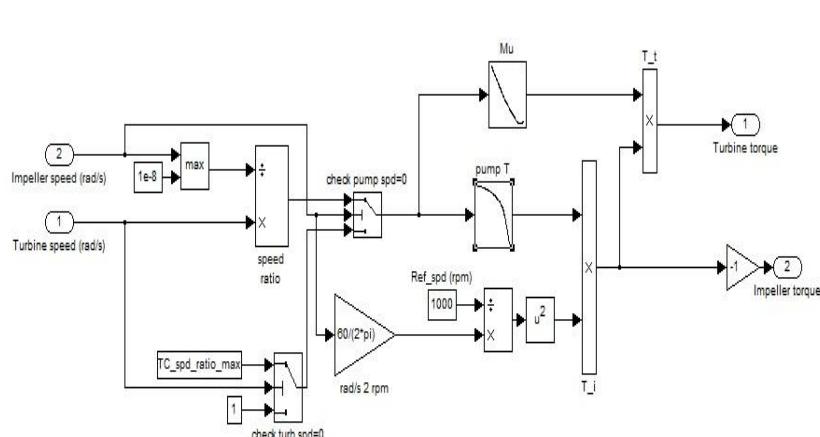
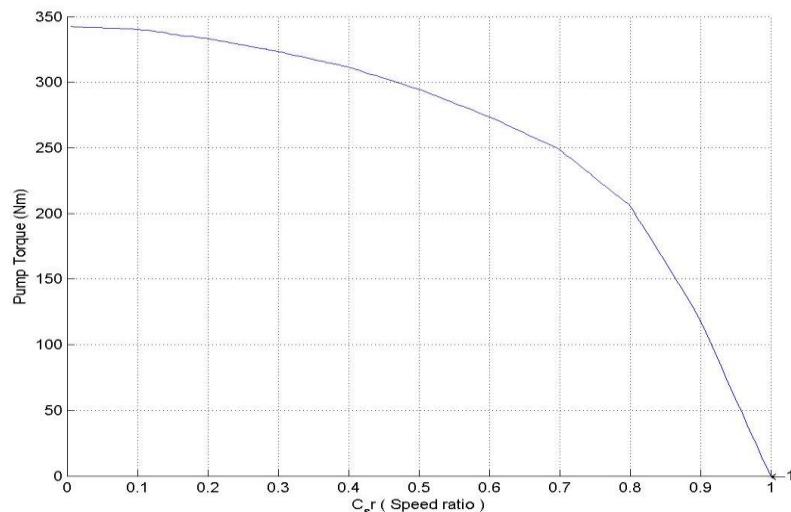
۳- گشتاور پمپ ( $T_p$ ). این کمیت گشتاور دریافتی پمپ مبدل است. از آنجا که مبدل گشتاور بازده ۱۰۰ درصد ندارد و با افت گشتاور قابل ملاحظه‌ای همراه است، جهت مدل‌سازی دقیق مبدل گشتاور باید بازده آن را در هر دور درنظر گرفت. با استفاده از نموداری که در کاتالوگ گیربکس موردنظر ارائه شده است، یک جدول جستجو در Simulink ایجاد و مقادیر نمودار مذکور به آن داده شده است. در هنگام شبیه‌سازی مدل، این جدول جستجو، مقادیر نسبت سرعت ( $C_{sr}$  معرفی شده در بالا) را به عنوان ورودی می‌گیرد و گشتاور پمپ را در هر لحظه به عنوان خروجی می‌دهد (شکل ۲۱).

رابطه بین گشتاور خروجی مبدل گشتاور و سه کمیت فوق، در رابطه (۱) و بلوک ساخته شده برای پیاده‌سازی این رابطه و در نهایت مدل‌سازی دقیق مبدل گشتاور در شکل ۲۲ ارائه شده است. در رابطه (۱)،  $n_e$  مقدار سرعت شافت خروجی موتور احتراقی بر حسب دور بر دقیقه می‌باشد.

$$T_{out} = \left( T_p \times \left( \frac{n_e}{1000} \right)^2 \right) \times C_{tr} \quad (1)$$

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

ible and breakpoints data for block: conv\_std\_mec\_lock\_final/transmission/Torque Convertor/main solver/Torque generation/p

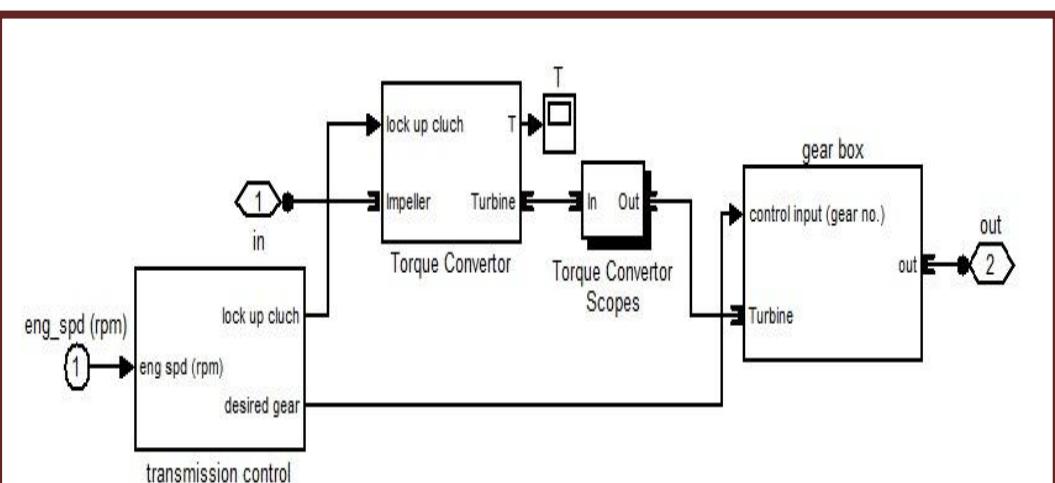


TORQUE CONVERTER  
Not motoring mode is neglected

شکل ۲۲ - بلوک مربوط به مبدل گشتاور

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

در مدل حاضر، یک بلوک مجزا جهت مدل سازی گیربکس درنظر گرفته شده است که شامل هر سه قسمت کنترل گیربکس، جعبه دنده و مبدل گشتاور می باشد. ورودی این بلوک شافت خروجی موتور احتراقی و اطلاعات مربوط به گشتاور و سرعت دورانی آن است و خروجی آن به عنوان گشتاور اصلاح شده وارد بلوک دینامیک اتوبوس می شود. بلوک گیربکس را در شکل ۲۳ می توان مشاهده کرد.

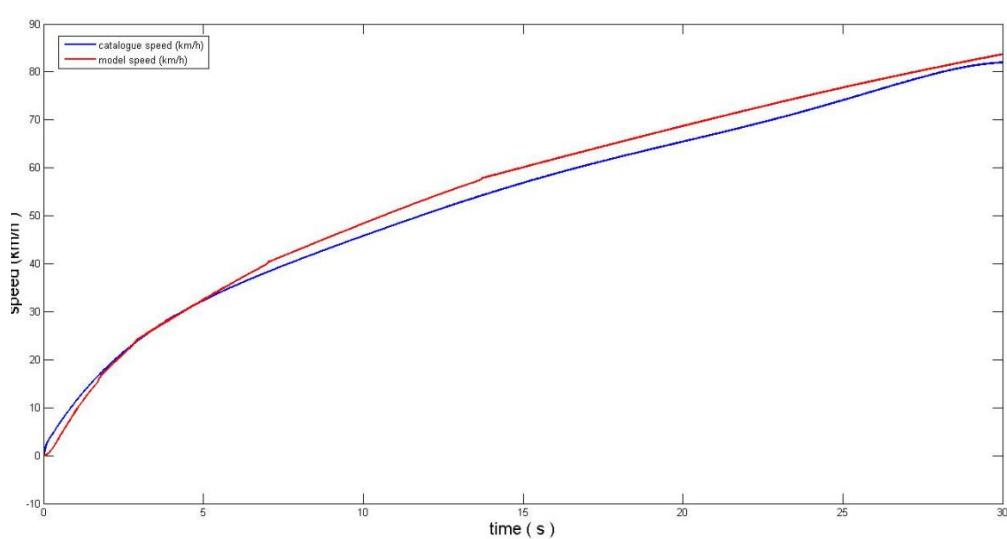


شکل ۲۳ - مدل گیربکس چهارسرعته در محیط Simulink

### ۲-۴-۲ صهه گذاری بر مدل گیربکس

پس از ساخت مدل گیربکس، باید درستی مدل تأیید شود. بدین منظور نتایج مربوط به یک شتاب گیری اتوبوس هیبرید هیدرولیکی با نمودارهای موجود در کاتالوگ گیربکس اتوبوس متعارف مقایسه شده است. شکل ۲۴ و جدول ۲ نتایج صهه گذاری مدل گیربکس را نشان می دهد. ملاحظه می شود که مقدار متوسط خطای کمتر از ۵ درصد است و می توان نتیجه گرفت که گیربکس، صحیح مدل شده است.

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



شکل ۲۴ - نمودار مقایسه سرعت اتوبوس در یک فرآیند شتاب‌گیری - اتوبوس متعارف (آبی) و اتوبوس هیبرید هیدرولیکی (قرمز)

جدول ۲ - نتایج مقایسه سرعت در اتوبوس متعارف و اتوبوس هیدرولیکی

خطا (%)	
۴,۱۹	مقدار متوسط خطأ
۲,۱۱	مقدار خطأ در ماکریزم سرعت

## ۵-۲ مدل دینامیک اتوبوس

در عمل، گشتاور تولیدی موتور احتراقی در سیستم انتقال قدرت و کوپلینگ تقویت گشته و با کمی اتلاف به چرخ‌ها اعمال می‌شود و نیروی پیشان به خودرو اعمال می‌کند. از طرفی نیروهای مقاوم اصطکاکی، مقاومت هوا و شبیه جاده باعث شتاب منفی اتوبوس می‌گردد. برای مدل سازی دینامیک اتوبوس می‌توان یک مدل چند درجه آزادی پیچیده شامل کمک‌فراهمان، سیستم ترمز و غیره را به کار برد، یا اینکه یک جرم متumer کرده چند درجه آزادی در نظر گرفت. از آنجا که هدف مدل سازی تخمین میزان مصرف سوخت و ارزیابی عملکرد



## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



کلی اتوبوس بوده است، ساده سازی مدل اتوبوس به صورت یک جرم مرکزی برای مدل فعلی مناسب به نظر می رسد. همچنین از دینامیک عرضی و عمودی اتوبوس صرف نظر شده است. البته باید توجه داشت که جرم اتوبوس را در معادلات، جرم مؤثر<sup>۲۴</sup> در نظر گرفت. توضیح جرم مؤثر اتوبوس بدین شرح است که موتور احتراقی علاوه بر اینکه باید به جرم خودرو شتاب خطی بدهد، می باشد. با اینست شتاب زاویه ای تمام اجزای دوار را نیز تأمین کند. گشتاور لازم برای این شتاب زاویه ای برابر است با:

$$T = IG \frac{a}{r} \quad (2)$$

که  $I$  ممان اینرسی موتور احتراقی،  $G$  ضریب تبدیل سرعت مجموع انتقال قدرت بین چرخ و موتور،  $a$  شتاب خطی و  $r$  شعاع چرخ اتوبوس می باشد. بنابراین نیروی اعمالی به چرخ برای تأمین شتاب زاویه ای  $F$  به صورت رابطه (۳) به دست می آید:

$$F = \frac{G}{r} IG \frac{a}{r} = IG^2 \frac{a}{r^2} \quad (3)$$

حاصل جمع ترم  $\frac{G^2}{r^2} I$  با جرم واقعی اتوبوس، تحت عنوان جرم مؤثر  $M_e$  شناخته می شود.

در این مدل ابتدا با توجه به گشتاور سر چرخ نیروی جلوبرنده محاسبه می شود. از طرفی نیروهای مقاوم شامل نیروی آیرودینامیکی (مقاومت هوا)  $F_a$  در رابطه (۴)، نیروی ناشی از شیب جاده  $F_g$  در رابطه (۵) و نیروی مقاومت اصطکاک چرخ  $f_f$  با زمین در رابطه (۶) باید محاسبه شوند.

$$F_a = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2 \quad (4)$$

که  $A$  سطح مقطع مؤثر اتوبوس،  $C_D$  ضریب مقاومت هوا،  $\rho$  چگالی هوا،  $V$  سرعت اتوبوس و  $F_a$  نیروی مقاومت هوا می باشد.

<sup>۲۴</sup> Effective Mass

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف

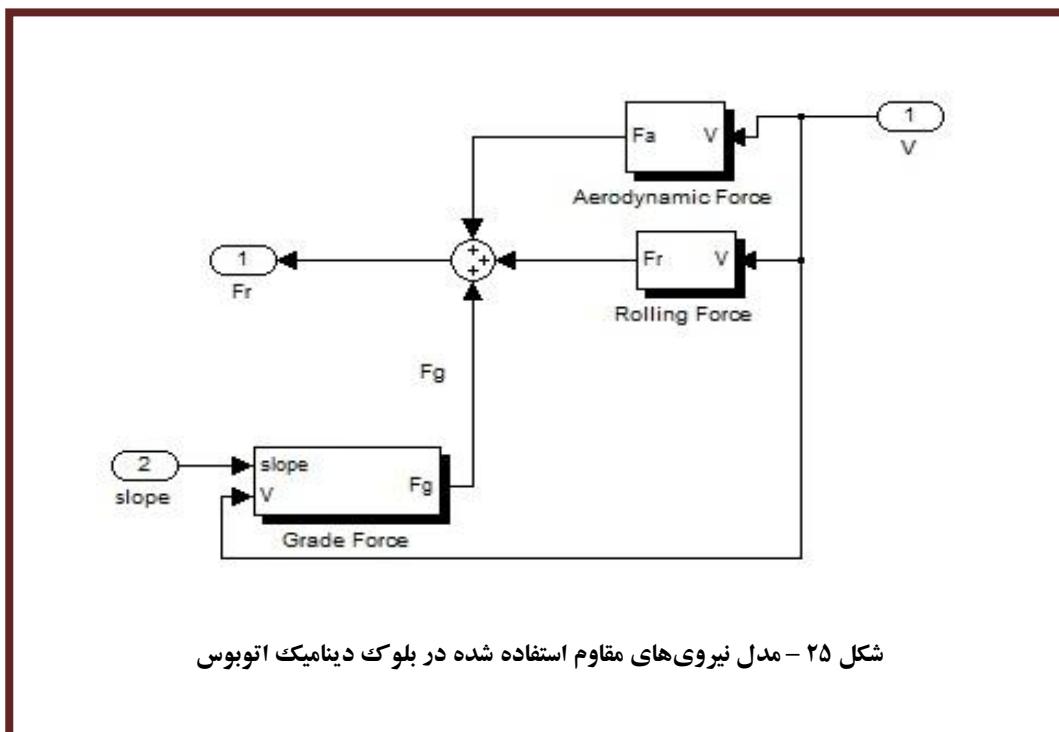
$$F_g = M_e g \sin \theta \quad (5)$$

که  $M_e$  جرم مؤثر خودرو،  $g$  شتاب ثقل،  $\theta$  شیب جاده و  $F_g$  نیروی ناشی از شیب جاده می باشد.

$$F_f = M_e g \mu_r \quad (6)$$

که  $\mu$  ضریب اصطکاک چرخ با جاده می باشد.

از تقسیم اختلاف نیروی جلوبرنده و مقاوم بر جرم مؤثر اتوبوس ، شتاب اتوبوس و با انتگرال گیری از شتاب، سرعت اتوبوس به دست می آید که به صورت پسخور منفی به مدل راننده می رود. مدل ارائه شده برای نیروهای مقاوم که در دینامیک اتوبوس تأثیر دارند در شکل ۲۵ دیده می شود.



شکل ۲۵ - مدل نیروی های مقاوم استفاده شده در بلوک دینامیک اتوبوس



### ۳ نتایج شبیه سازی در MATLAB/SIMULINK

برای بررسی طرح ارائه شده، مدل در سیکل های رانندگی متنوع و با ضرائب های مختلف کنترل اجرا شد. در شبیه سازی ها، وزن ۷۰ مسافر ۷۰ کیلو گرمی به وزن خالص اتوبوس اضافه و توان درنظر گرفته شده برای سیستم جانبی ۳ کیلووات فرض شده است.

#### ۱-۳ مشخصات فنی اتوبوس

مشخصات فنی مربوط به اتوبوس متعارف ۰۴۵۷ در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ - مشخصات فنی اتوبوس متعارف ۰۴۵۷

جرم اتوبوس بدون سرنشین	۹۸۵۰ کیلو گرم
جرم اتوبوس با سرنشین	۱۴۷۵۰ کیلو گرم
ضریب اصطکاک غلتشی	۰,۰۱
ضریب درگ	۰/۵۵
چگالی هوا	۱/۲۲ کیلو گرم بر متر مکعب
سطح مؤثر اتوبوس	۶/۳ متر مربع
شعاع لاستیک	۰/۴۶۶ متر
ضریب تبدیل دیفرانسیل	۴/۳
راندمان دیفرانسیل، جعبه دنده بین موتور احتراقی و چرخها	۰/۹۵
چگالی سوخت دیزل در دمای ۲۵°C	۸۱۰ کیلو گرم بر متر مکعب

#### ۲-۳ شبیه سازی مصرف سوخت در سیکل نورمبورگ

در این بخش نتایج شبیه سازی مدل اتوبوس متعارف ۰۴۵۷ با مشخصات ذکر شده در جدول ۶، در ۱۰ سیکل متوالی نورمبورگ با مشخصات تولید قدرت بیان شده در فصل دوم ارائه شده است. برخی مشخصات این سیکل به شرح زیر می باشد:

- حداکثر سرعت ۵۳/۷ کیلومتر بر ساعت

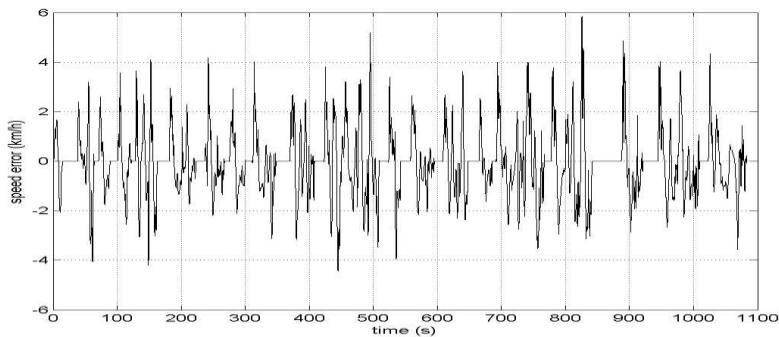
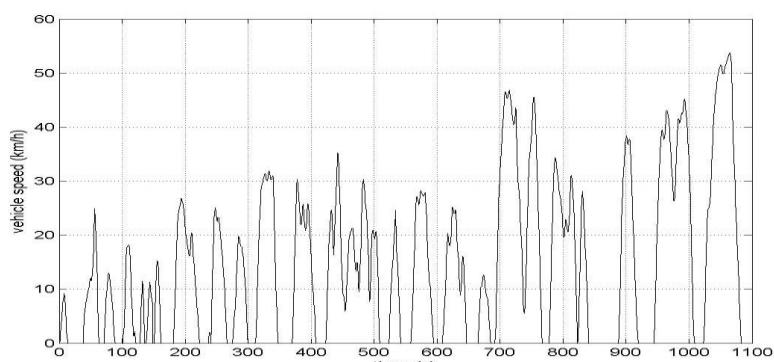


## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



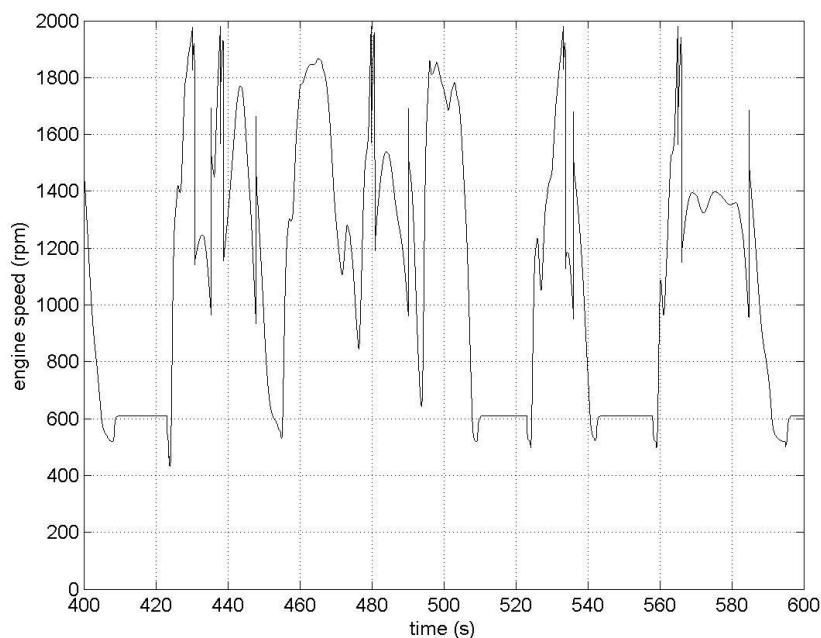
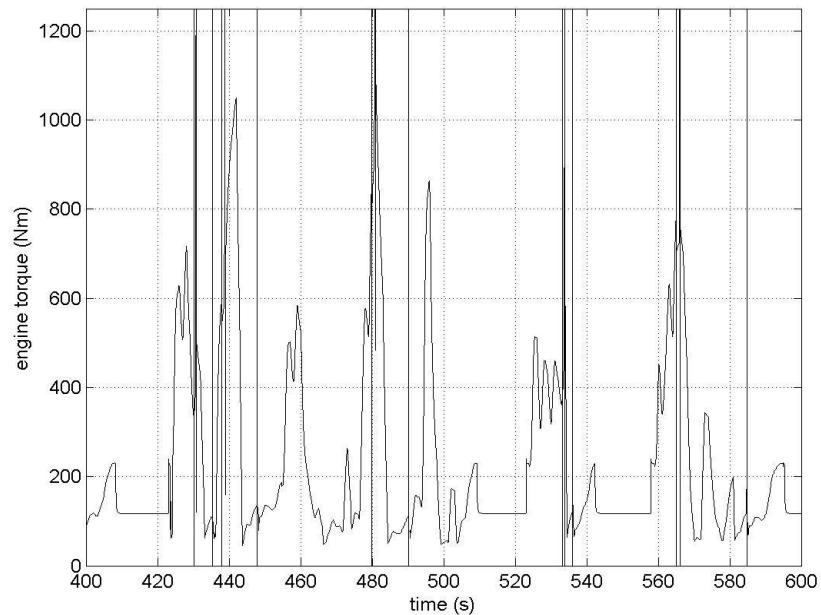
- سرعت متوسط  $14/33$  کیلومتر بر ساعت
- زمان کار درجا: حدود  $31\%$  کل سیکل
- زمان  $10.84$  ثانیه (یک سیکل)
- مسافت  $4/32$  کیلومتر (یک سیکل)

مقدار نهایی مصرف سوخت اتوبوس در این سیکل  $72/7$  می باشد. نتایج شبیه سازی های انجام شده در شکل ۲۶ و شکل ۲۷ نشان داده شده است. توجه شود برای وضوح بیشتر، نتایج مربوط به سرعت و گشتاور موتور احتراق داخلی برای  $200$  ثانیه از یک سیکل ارائه شده است.



شکل ۲۶ - (به ترتیب از بالا به پایین) نمودار سرعت اتوبوس و خطای سرعت بر حسب زمان در یک سیکل نورمبورگ

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



شکل ۲۷ - نمودار گشتاور و سرعت موتور احتراق داخلی در ۲۰۰ ثانیه از یک سیکل نورمبورگ



### ۳-۳ شبیه سازی مصرف سوخت در سیکل تهران

در این بخش نتایج شبیه سازی مدل اتوبوس متعارف O457 در شش سیکل متواتی تهران ارائه شده است. برخی

مشخصات این سیکل به شرح زیر می باشد:

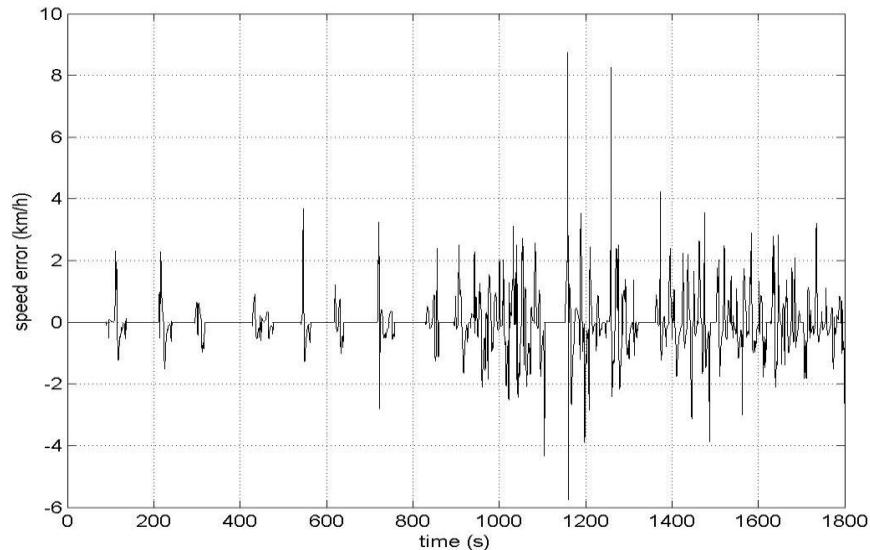
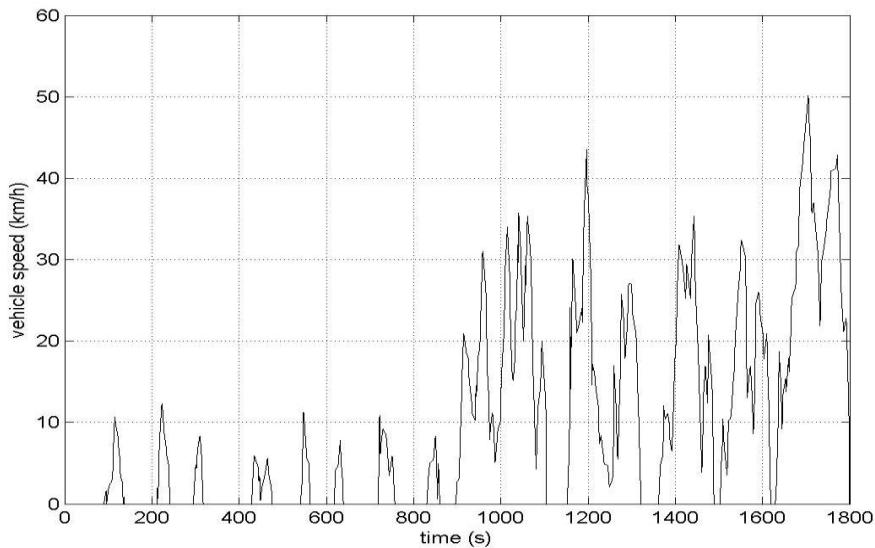
- حداکثر سرعت  $50/18$  کیلومتر بر ساعت
- حداکثر شتاب  $2/98$  متر بر مجددور ثانیه
- توان متوسط سیکل  $6/97$  کیلووات
- انرژی مصرفی سیکل  $3/49$  کیلووات ساعت
- زمان  $1800$  ثانیه ( یک سیکل )
- مسافت  $4/81$  کیلومتر ( یک سیکل )

مقدار نهایی مصرف سوخت اتوبوس در این سیکل،  $71/9$  لیتر در  $100$  کیلومتر می باشد. نمودارهای نتایج

شبیه سازی در شکل ۲۸ و شکل ۲۹ قرار داده شده اند. توجه شود برای وضوح بیشتر، نتایج مربوط به سرعت و

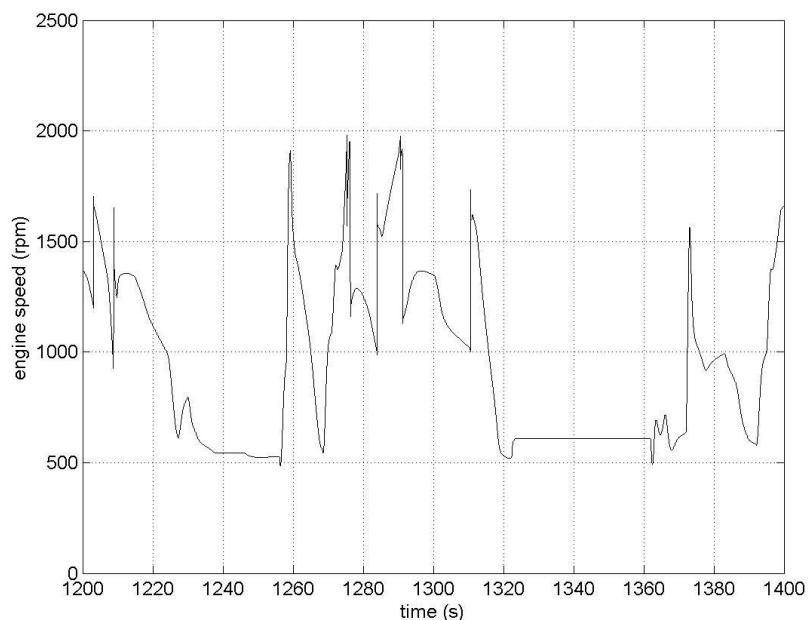
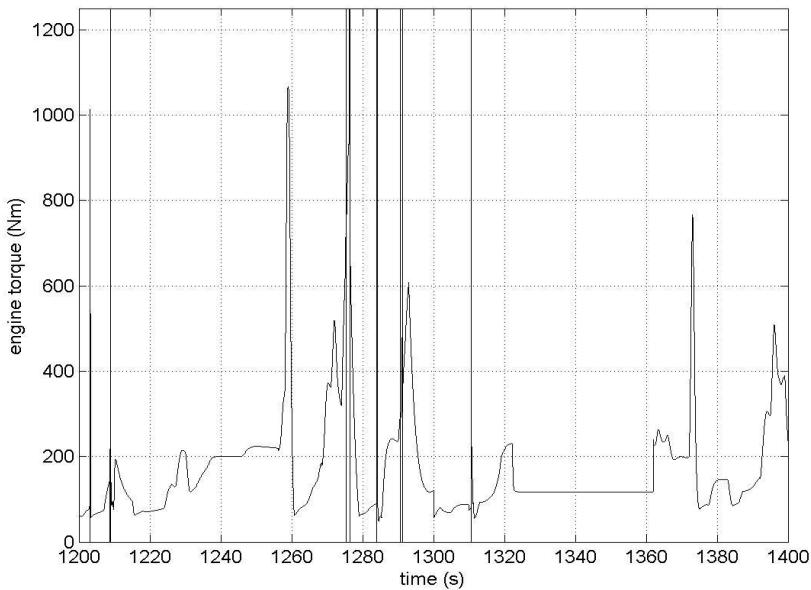
گشتاور موتور احتراق داخلی برای  $200$  ثانیه از یک سیکل ارائه شده است.

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



شکل ۲۸-(به ترتیب از بالا به پایین) نمودار سرعت اتوبوس و خطای سرعت بر حسب زمان در یک سیکل تهران

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



شکل ۲۹ - نمودار گشتاور و سرعت موتور احتراق داخلی در ۲۰۰ ثانیه از یک تهران



## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



### ۴-۳ شبیه سازی عملکرد اتوبوس متعارف در شیب پیمایی و شتابگیری

به غیر از مصرف سوخت اتوبوس، باید عملکرد اتوبوس را در شرایط شتابگیری و شیب پیمایی بررسی کرد.

برای این منظور از موارد مطلوب یک اتوبوس متعارف شهری به عنوان ملاک استاندارد و مرجع استفاده می-

شود. در جدول ۳ مقادیر مطلوب و بدست آمده در شبیه سازی برای قیدهای عملکردی اتوبوس ارائه شده است.

جدول ۴ - شرایط کارکرد و قیدهای مربوطه برای اتوبوس شهری متعارف در حالت ایده‌آل

شرط کارکرد	قید	مقدار مطلوب	مقدار بدست آمده در شبیه سازی
شتابگیری	۰ تا ۲۵ کیلومتر بر ساعت	۱۰ ثانیه	۳,۳ ثانیه
	۲۵ تا ۳۵ کیلومتر بر ساعت	۵ ثانیه	۲,۵ ثانیه
	۳۵ تا ۴۰ کیلومتر بر ساعت	۵ ثانیه	۱,۴ ثانیه
	۴۰ تا ۴۴ کیلومتر بر ساعت	۵ ثانیه	۱,۳ ثانیه
	۶۵ کیلومتر بر ساعت	۶۰ ثانیه	۱۷,۸ ثانیه
شیب پیمایی	۰ درصد	۸۰ کیلومتر بر ساعت	۹۴,۵ کیلومتر بر ساعت
	۷ درصد	۴۰ کیلومتر بر ساعت	۸۰ کیلومتر بر ساعت
	۱۰ درصد	۳۵ کیلومتر بر ساعت	۵۰ کیلومتر بر ساعت
	۱۴ درصد	۲۰ کیلومتر بر ساعت	۳۵ کیلومتر بر ساعت



مرحله سوم - قسمت دوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس متعارف



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

### ۴ جمع بندی

نتایج نهایی شبیه سازی مدل اتوبوس متعارف 0457 با اعمال وزن مسافران، در سیکل های تهران و نورمبورگ در جدول ۵ مشاهده می شود.

جدول ۵ - نتایج نهایی شبیه سازی های مربوط به مصرف سوخت اتوبوس متعارف 0457

نام سیکل	حداکثر خطا ( km/h )	صرف سوخت اتوبوس متعارف 0457 ( لیتر در ۱۰۰ کیلومتر )
تهران	۸	۷۱/۹
نورمبورگ	۵	۷۲/۷

همچنین نتایج شبیه سازی های انجام شده به منظور تست عملکرد اتوبوس، نشان می دهد که اتوبوس 0457 شرایط عملکردی بسیار بهتری نسبت به مقادیر مطلوب برای یک اتوبوس شهری دارد.



فاز دوم

مرحله سوم - قسمت سوم

مدل سازی و شبیه سازی

اتوبوس هایبرید

هیدرولیکی

در محیط فید فوروارد





## فهرست مطالب

۱	۲	مقدمه
۱	۱	۱ مدل راننده
۱	۲	۲ سیستم تولید قدرت هیدرولیکی
۱	۳	۳ - ۱ مدل پمپ-موتور هیدرولیکی و کنترل آن
۱	۴	۴ - ۱ مدل آکومولاتور
۱	۵	۵ - ۱ سایزینگ آکومولاتور
۱	۶	۶ - ۱ مدل کلی سیستم تولید قدرت هیدرولیکی
۱	۷	۷ - ۱ کنترلر مرکزی هیبرید
۱	۸	۸ - ۱ کنترلر مرکزی هیبرید
۱	۹	۹ - ۱ استراتژی کنترل هیبرید
۱	۱۰	۱۰ - ۱ مدل کنترلر مرکزی هیبرید
۱	۱۱	۱۱ - ۱ مدل موتور احتراق داخلی
۱	۱۲	۱۲ - ۱ مدل انتقال قدرت و کوپلینگ
۲	۱۳	۱۳ - ۱ نتایج شبیه سازی در MATLAB/SIMULINK
۲	۱۴	۱۴ - ۱ شبیه سازی مصرف سوخت در سیکل نورمبورگ
۲	۱۵	۱۵ - ۱ شبیه سازی مصرف سوخت در سیکل تهران
۲	۱۶	۱۶ - ۱ شبیه سازی عملکرد در شیب پیمایی و شتاب گیری
۳	۱۷	۱۷ - ۱ جمع بندی





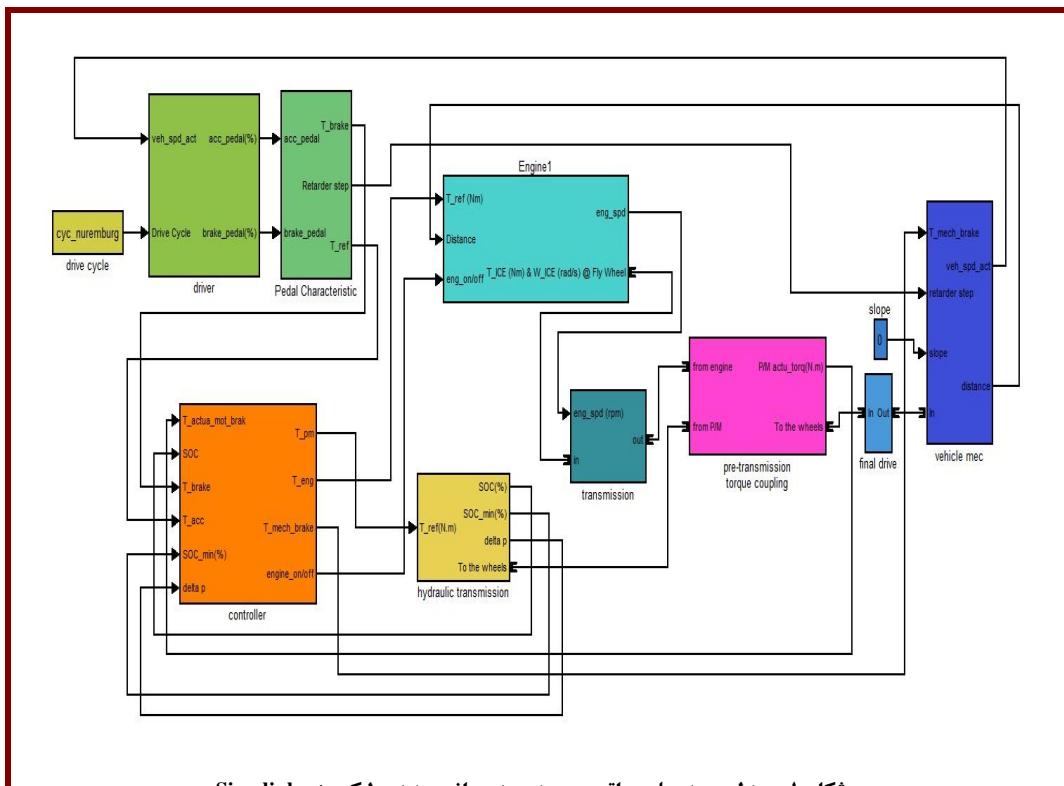
## مقدمه

در فصل مدل‌سازی خودروی معمولی این گزارش، دلایل لزوم انجام مدل‌سازی و شبیه‌سازی کامپیوتربی در فرایند طراحی و ساخت خودرو ارائه شده است. انجام مرحله مدل‌سازی و شبیه‌سازی در پروژه‌هایی مانند طراحی و ساخت اتوبوس هیبرید که تجربه طراحی و ساخت در زمینه‌ی آن بالا نمی‌باشد، از اهمیت دوچندانی برخوردار است. هدف در این بخش، مدل‌سازی و شبیه‌سازی اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی بوده است. به این منظور اتوبوس O457 به عنوان اتوبوس پایه که قرار است تکنولوژی هیبرید روی آن پیاده شود، در نظر گرفته شده است. همچنین بلوک‌های پایه‌ای اتوبوس که در فصل یک برای مدل‌سازی اتوبوس معمولی در نرم‌افزار شبیه‌ساز رایانه‌ای به کار رفته‌اند، در اینجا نیز با تغییرات موردنیاز استفاده شده‌اند. مدل ساخته شده برای اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی، یک مدل روبه‌جلو می‌باشد.

## ۱ مدل‌سازی اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی

در شکل ۱ مدل ارائه شده در محیط MATLAB نرم افزار Simulink برای شبیه‌سازی اتوبوس مشاهده می‌شود. این مدل یک مدل روبه‌جلو است که در آن راننده با توجه به اختلاف سرعت فعلی و سرعت مطلوب، پدال گاز یا ترمز را فشار می‌دهد. در ادامه در یک بلوک محاسباتی، این فشرده شدن پدال‌ها به گشتاور مورد نیاز تبدیل و به کنترل مرکزی فرستاده می‌شود. کنترل کننده مرکزی، قسمت اصلی مدل اتوبوس هیبرید است که براساس استراتژی کنترل و متغیرهای ورودی، سهم هر یک از دو منبع قدرت را در تولید گشتاور مورد نیاز خودرو مشخص و به بلوک‌های مربوطه ارسال می‌کند. گشتاور ارسال شده از طرف کنترلر مرکزی، وارد بلوک‌های موتور احتراق داخلی و پمپ - موتور هیدرولیکی می‌شود و گشتاور مورد نظر تأمین می‌گردد. بین موتور احتراق

داخلی و کوپلینگ، بلوک گیربکس چندسرعته قرار دارد. درنهایت این دو گشتاور در بلوک کوپلینگ با یکدیگر جمع می شود و پس از عبور از دیفرانسیل به محور چرخ ها انتقال می یابد.



شکل ۱ - مدل روبه جلوی اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی در Simulink

در حالت ترمز گیری، پمپ-موتور هیدرولیکی در حالت پمپی عمل کرده و آکومولاتور<sup>۱</sup> را شارژ می کند. اختلاف گشتاور ترمزی در خواستی با گشتاور منفی پمپ-موتور، توسط ترمز مکانیکی (ترمز اصلی اتوبوس) تأمین می شود.

در انتهای مدل مربوط به دینامیک اتوبوس، سرعت اتوبوس را با توجه به گشتاور سر چرخ ها محاسبه و آن را به صورت پسخور<sup>۲</sup> به راننده ارسال می کند. مدل دینامیک خودرو، همان مدل استفاده شده در مدل سازی اتوبوس

<sup>1</sup> Accumulator



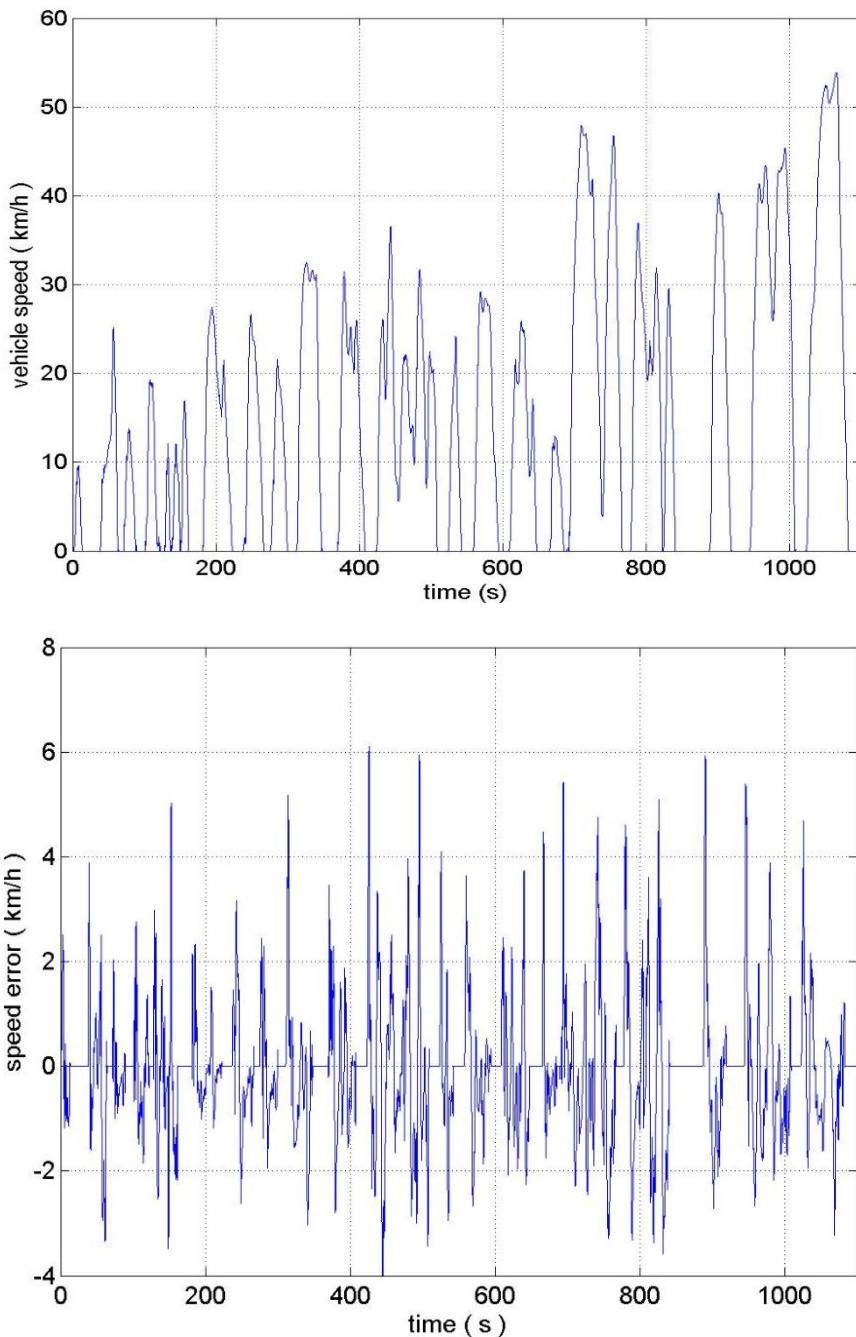
معمولی ۰۴۵۷ است. همچنین در این مدل نیز سیکل های تهران و نورمبورگ به عنوان سیکل های مرجع رانندگی استفاده شده اند. در ادامه توضیحات مربوط به هر بلوک به طور جداگانه ارائه می شود.

## ۱-۱ مدل راننده

برای مدل راننده در مدل اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی، همان بلوک راننده استفاده شده در مدل اتوبوس معمولی ۰۴۵۷ به کار رفته است؛ با این تفاوت که ضرائب کنترلر PID موجود در این بلوک تغییر کرده است. ضرائب جدید کنترلر راننده در جدول ۱ و نتایج نهایی استفاده از این کنترلر در سیکل نورمبورگ در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۱ - ضرائب کنترلر PID راننده

مقدار	ضریب کنترلی
10000	$K_p$
100	$K_i$
0	$K_d$



شکل ۲ - نتایج نهایی مدل در سیکل نورمبورگ با استفاده از کنترلر PID - سرعت اتوبوس (شکل بالا) و خطای سرعت اتوبوس(شکل پایین)

## ۱-۲ سیستم تولید قدرت هیدرولیکی

سیستم تولید قدرت هیدرولیکی از دو بخش اصلی تشکیل شده است: پمپ - موتور هیدرولیکی و آکومولاتور.

### ۱-۲-۱ مدل پمپ - موتور هیدرولیکی و کنترل آن

برای مدل سازی پمپ - موتور هیدرولیکی، دو قسمت اصلی باید به طور جداگانه مدل شود؛ یکی کار کرد پمپ - موتور که خروجی آن گشتاور است و دیگری کنترلر پمپ - موتور که وظیفه کنترل گشتاور خروجی پمپ - موتور را با توجه به فرمانی که از کنترلر مرکزی هیبرید می گیرد، بر عهده دارد.

#### مدل پمپ - موتور

براساس سایزینگ انجام شده، پمپ - موتور سایز ۱۲۵ شرکت Bosch - Rexroth AG (شکل ۳) که یک شرکت آلمانی است و در ایران نمایندگی دارد، انتخاب گردید. مشخصات این پمپ - موتور در جدول ۲ نمایش داده شده است. در کاتالوگ این قطعه، روابط کار کرد آن ارائه شده که تفاوت این روابط در دو حالت پمپی و موتوری، فقط در نحوه اعمال بازده است. به عنوان مثال در مورد دبی، بازده حالت به صورت زیر است.

- در حالت پمپی، سرعت شافت خروجی از طریق گشتاور خارجی تأمین می شود و دبی پمپ به عنوان مورد مطلوب، از پمپ دریافت می گردد. بنابراین بازده حجمی در این حالت برابر با نسبت دبی پمپ به حاصل ضرب سرعت شافت آن در مقدار جابجایی است.

- در حالت موتوری، دبی موتور به عنوان عامل ورودی اعمال می شود و سرعت شافت خروجی آن، مورد مطلوب است. بنابراین بازده حجمی در این حالت برابر با نسبت حاصل ضرب سرعت شافت خروجی موتور در مقدار جابجایی آن به مقدار دبی موتور است.



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



جدول ۲ - مشخصات پمپ - موتور هیدرولیکی اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی

مشخصه	مقدار
Maximum Displacement ( cm <sup>3</sup> )	125
Maximum speed at maximum displacement (rpm)	1800
Maximum Speed at lower displacement (rpm)	2200
Maximum Flow (lit/min)	225
Maximum Power (kW)	131
Maximum Torque (Nm)	696
Moment of Inertia (Kg.m <sup>2</sup> )	0.03
Maximum Acceleration (rad/s <sup>2</sup> )	8000
Case Volume ( lit )	5
Weight (Kg)	88
Length * width * height (mm)	360 * 310 * 354



شکل ۳ - پمپ - موتور شرکت Rexroth



تفاوت بازده حجمی در حالت پمپی و موتوری، در مورد بازده های مکانیکی و کلی پمپ- موتور نیز صادق است.

در این مرحله می توان بازده های حجمی، مکانیکی و کلی پمپ- موتور در دو حالت پمپی و موتوری را یکسان در نظر گرفت. البته باید دقت نمود که نحوه اعمال بازده ها در حالت موتوری، عکس نحوه اعمال آنها در حالت پمپی است. روابط مربوط به تعیین دبی، گشتاور و توان پمپ- موتور در هر دو حالت پمپی (روابط (۱) تا (۳)) و موتوری (روابط (۴) تا (۶)) در ادامه آمده است. همچنین بلوکی که محاسبات مربوط به بازده پمپ-

موتور را انجام می دهد، در شکل ۴ نشان داده شده است.

$$q_v = \frac{v_g \times n \times \eta_v}{1000} \quad (1)$$

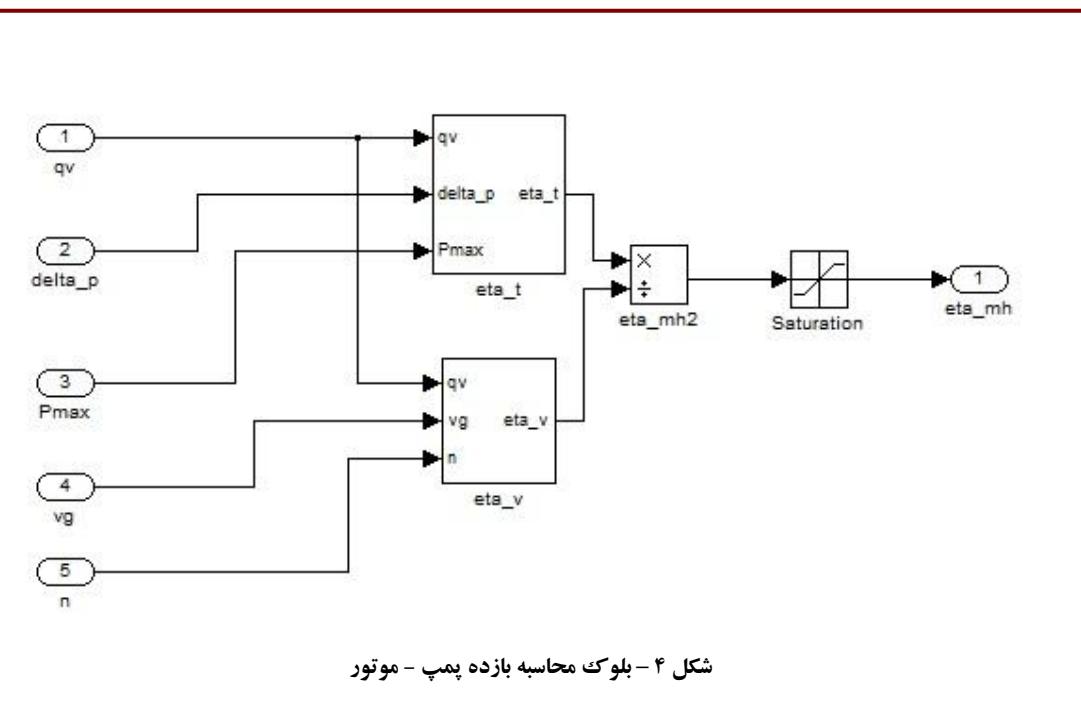
$$T = \frac{v_g \times \Delta p}{20 \times \pi \times \eta_{mh}} \quad (2)$$

$$P = \frac{2\pi \times T \times n}{60000} = \frac{q_v \times \Delta p}{600 \times \eta_t} \quad (3)$$

$$q_v = \frac{v_g \times n}{1000 \times \eta_v} \quad (4)$$

$$T = \frac{v_g \times \Delta p \times \eta_{mh}}{20 \times \pi} \quad (5)$$

$$P = \frac{2\pi \times T \times n}{60000} = \frac{q_v \times \Delta p \times \eta_t}{600} \quad (6)$$



شکل ۴ - بلوک محاسبه بازده پمپ - موتور

در روابط (۱) تا (۶) ،  $q_v$  دبی بر حسب  $v_g$  lit/min ،  $v_g$  جابجایی پمپ - موتور بر حسب  $n$  سرعت شافت

پمپ - موتور بر حسب  $\Delta p$  ، rpm اختلاف فشار بین دو مخزن پرفشار و کم فشار بر حسب bar ، T گشتاور بر

حسب Nm و  $P$  توان بر حسب kW است. همچنین بازده های حجمی، مکانیکی - هیدرولیکی و کلی به ترتیب با

$\eta_v$  و  $\eta_t$  و  $\eta_{mh}$  نشان داده شده اند.

براساس روابط فوق، مشخصه اصلی که پمپ - موتور براساس آن شناخته می شود، بازده های سه گانه آن

هستند. در کاتالوگ مربوطه، برای هر یک از اندازه ها پمپ - موتور، یک نمودار ارائه شده که نمودار مربوط به

سایز ۱۲۵ در شکل ۵ نمایش داده شده است. در این نمودار مقادیر دو متغیر دبی ( $q_v$ ) و توان ماکریم ( $p_{max}$ )

بر حسب مقادیر مختلف اختلاف فشار در دو سرعت نمونه ۱۵۰۰ و ۱۸۰۰ دور بر دقیقه ارائه شده است. با استفاده

از این نمودار و استخراج مقادیر  $q_v$  و  $p_{max}$  در سرعت های دیگر و همچنین استفاده از روابط (۷) تا (۹)، می توان

مقادیر بازده ها را تعیین کرد. ابتدا مقادیر بازده های حجمی و کلی با استفاده از روابط (۷) و (۸) به دست می آیند،



سپس بازده مکانیکی- هیدرولیکی با استفاده از رابطه (۹) تعیین می گردد. محاسبات مربوط به جدول خوانی و تعیین بازده ها در مدل پمپ- موتور در دو بلوک مجزا انجام گرفته است.

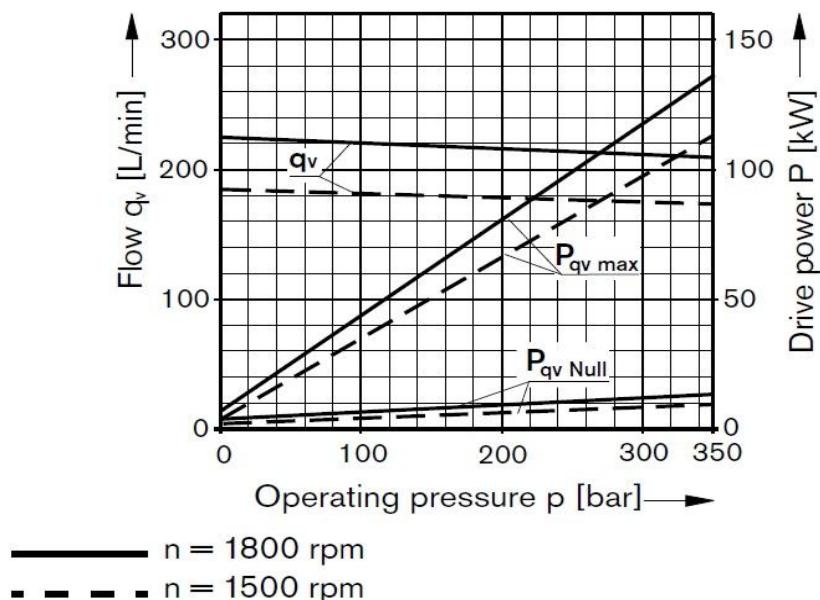
$$\eta_v = \frac{q_v \times 1000}{v_g \times n} \quad (7)$$

$$\eta_t = \frac{q_v \times \Delta p}{p_{max} \times 600} \quad (8)$$

$$\eta_{mh} = \frac{\eta_t}{\eta_v} \quad (9)$$

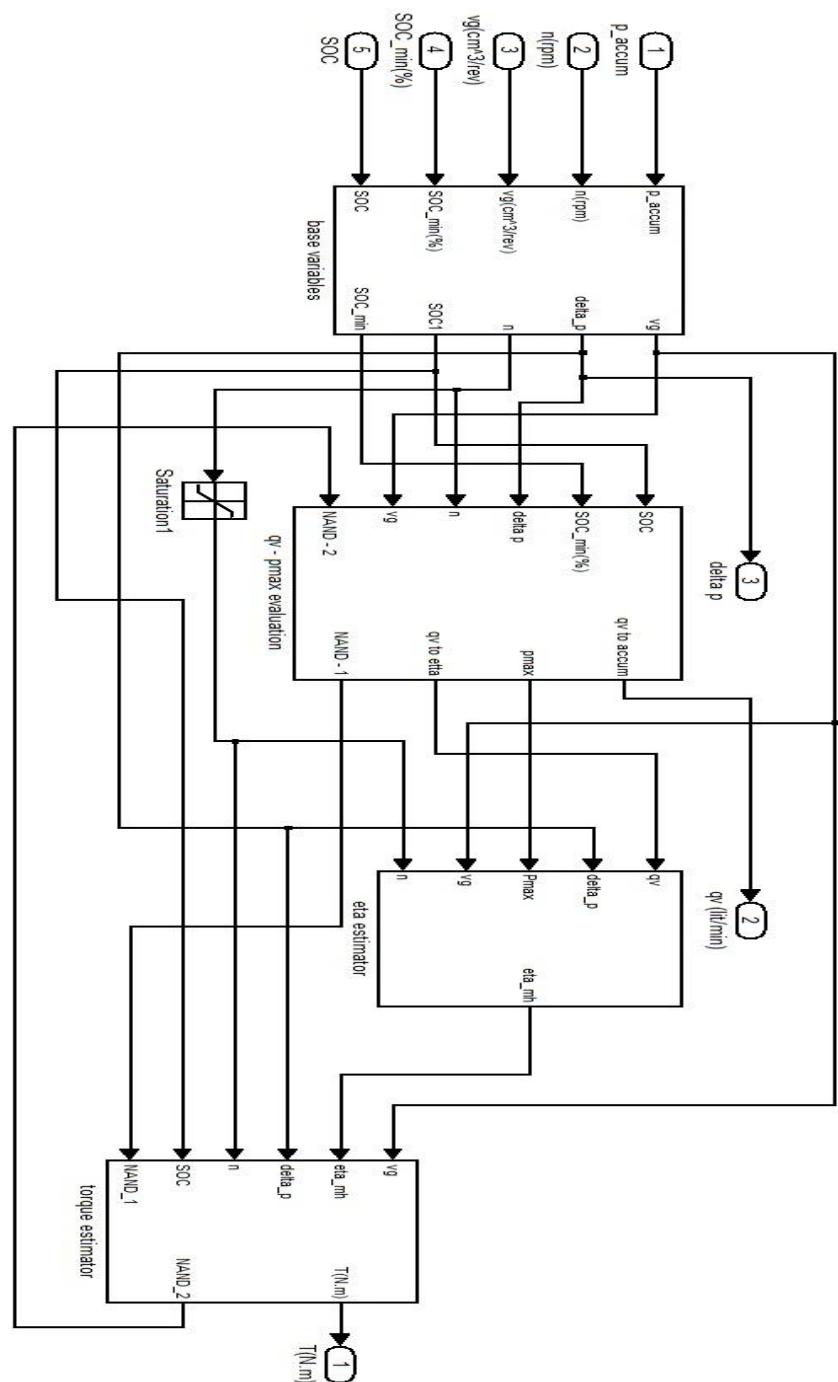
نکته قابل ذکر دیگر در مورد بازده های پمپ- موتور هیدرولیکی آن است که در سرعت های پایین (زیر ۴۰۰ دور بر دقیقه)، با استفاده از نمودار شکل ۵، مقدار  $q_v$  بسیار پایین به دست می آید. با قراردادن این مقدار در رابطه (۷)، مقدار بازده حجمی عددی بسیار پایین در حدود ۱/۰ به دست می آید. همچنین در سرعت های بسیار پایین (زیر ۱۰ دور بر دقیقه) که مقدار  $q_v$  از سرعت بیشتر است، مقدار بازده حجمی یک عدد بسیار بالا در حدود ۱۰<sup>۴</sup> خواهد بود. البته مشخص است که در واقعیت چنین موردی وجود نخواهد داشت. برای رفع این مشکل، مقدار بازده بین دو عدد ۰/۷ و ۱/۰ محدود می شود. مقدار ۰/۷ به عنوان حد پایین بازده، از کاتالوگ پمپ- موتور و از اطلاعات کلی در مورد پمپ- موتورها به دست می آید. این اعمال محدودیت در مورد بازده مکانیکی- هیدرولیکی نیز قابل انجام است.

Size 125



شکل ۵ - نمودار اطلاعات بازده پمپ - موتور هیدرولیکی

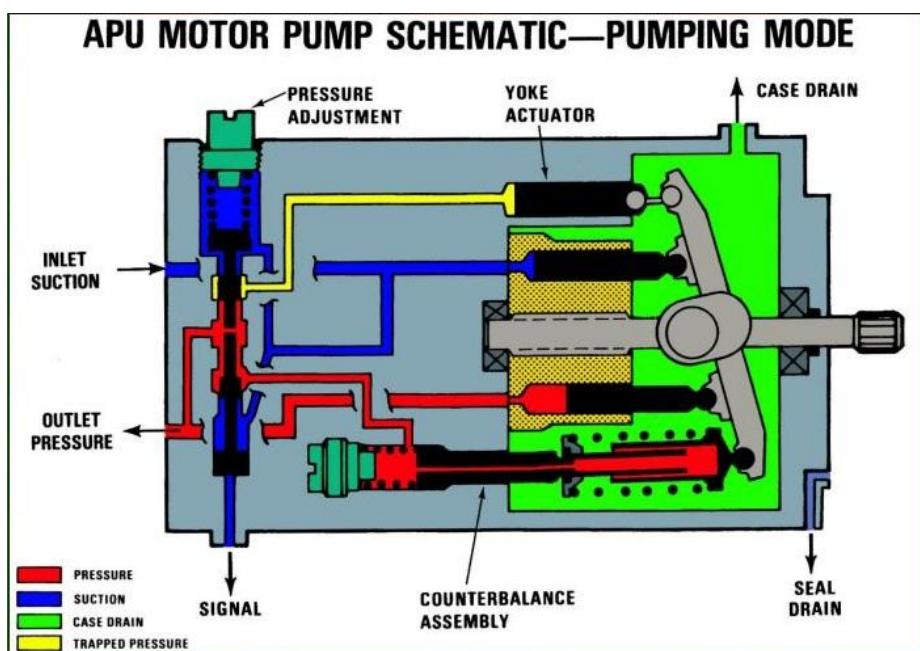
در پایان، مدل پمپ - موتور هیدرولیکی به صورت شکل ۱۱ می باشد. توجه شود که خروجی این بلوک گشتاور تأمین شده توسط پمپ - موتور و میزان دبی مورد نیاز یا مصرف شده پمپ - موتور است.



شکل ۶ - مدل پمپ-موتور هیدرولیکی

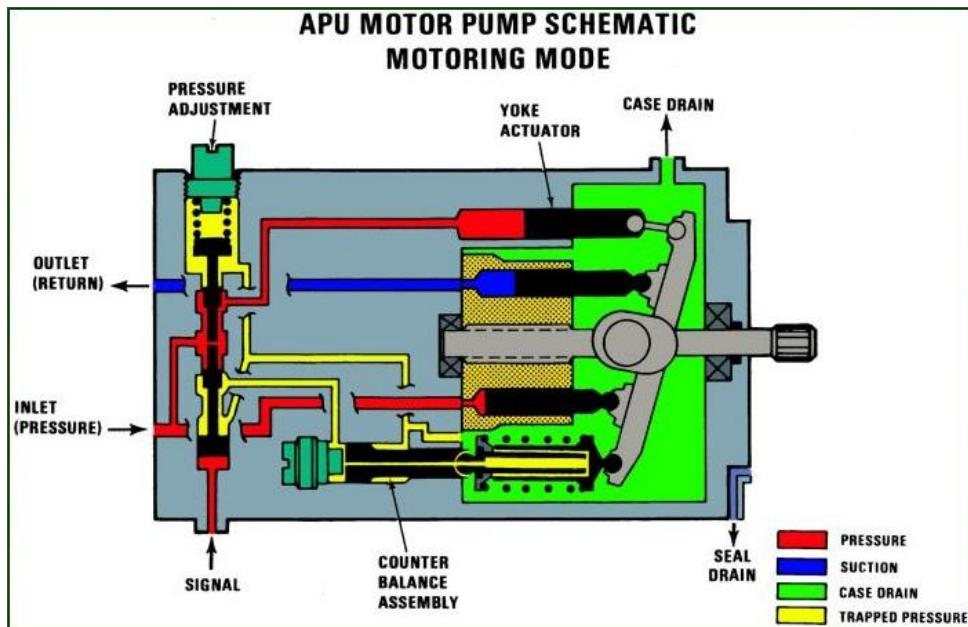
## کنترل پمپ - موتور

پمپ - موتور مورد استفاده از نوع جابجایی متغیر است. مقدار جابجایی پمپ - موتور با تغییر مقدار زاویه صفحه مورب<sup>۱</sup> آن تغییر می کند. منظور از کنترل پمپ - موتور، کنترل تغییرات زاویه صفحه مورب به منظور تولید گشتاور موردنظر می باشد. باید توجه شود که اگر زاویه صفحه مورب منفی باشد، مقدار جابجایی پمپ - موتور منفی خواهد بود و در حالت پمپی کار خواهد کرد. بر عکس، اگر این مقدار مثبت باشد پمپ - موتور در حالت موتوری کار می کند. این عملکرد صفحه مورب در شکل ۷ و شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷ - صفحه مورب و کار کرد پمپی پمپ - موتور

<sup>۱</sup> Swash plate



شکل ۸ - صفحه مورب و کار کرد موتوری پمپ - موتور

بنابراین برای کنترل مقدار گشتاور خروجی از پمپ - موتور باید مقدار جابجایی که متناسب با زاویه صفحه مورب است را براساس مقدار گشتاور مرجعی که توسط کنترلر مرکزی و متناظر با شرایط اتوبوس و خواست رانده تعیین می گردد، تنظیم کرد. به این منظور از یک کنترلر PID که ورودی آن خطای بین گشتاور خواسته شده و گشتاور تأمین شده توسط پمپ - موتور و خروجی آن مقدار جابجایی مطلوب پمپ - موتور است، استفاده می شود. در عمل این کنترل توسط یک سرو کنترلر<sup>۱</sup> که به صفحه مورب متصل است و مقدار زاویه آن را تنظیم می کند، انجام می گیرد.

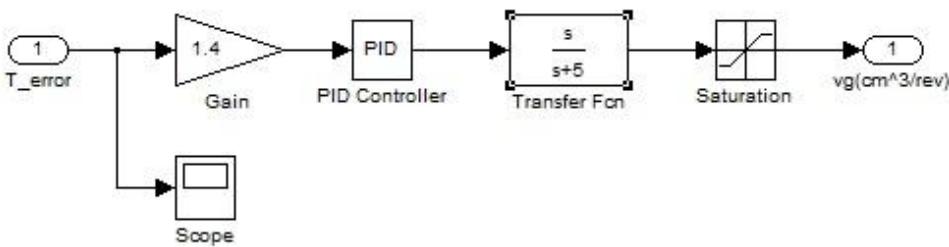
ضرائب مناسب کنترلر PID مانند آنچه در مورد بلوک رانده گفته شد، براساس روش سعی و خط تعیین شده است. البته در اینجا بعد از کنترلر PID از یک جبران ساز پیش - فاز<sup>۲</sup>، جهت ازین بردن تأخیر فاز موجود در

<sup>1</sup> Servo Controller

<sup>2</sup> Lead - phase Compensator

پاسخ مدل نیز استفاده شده است. این ضرائب به ترتیب  $0/14$  برای  $K_p$ ،  $14$  برای  $K_i$  و صفر برای  $K_d$  می باشند.

بلوک کنترلر پمپ- موتور در شکل ۹ مشاهده می شود.



شکل ۹ - کنترلر پمپ- موتور هیدرولیکی

خروجی بلوک کنترلر پمپ- موتور، مقدار جابجایی پمپ- موتور برحسب  $\text{cm}^3$  است. این مقدار باید از مقدار ماکریم جابجایی پمپ- موتور بیشتر شود.

## ۱-۲-۲ مدل آکومولاتور

آکومولاتور در سیستم هیبرید هیدرولیکی، مانند باتری در سیستم هیبرید الکتریکی، وظیفه ذخیره انرژی را برعهده دارد. براساس سایزینگ صورت گرفته و همچنین مقایسه بین ظرفیت انرژی باتری و آکومولاتور، تعداد هشت آکومولاتور ۵ گالانی تولید شرکت Bosch - Rexroth AG (شکل ۱۰)، به عنوان انتخاب اولیه درنظر گرفته شد. مشخصات این نوع آکومولاتور که از نوع دیافراگمی<sup>۱</sup> است، براساس کاتالوگ شرکت مذکور در جدول ۳ ارائه شده است. البته در مدل آکومولاتور ساخته شده در محیط Simulink، دو نمونه آکومولاتور دیگر

<sup>1</sup> Bladder Accumulator

نیز مدل شده است که در صورت تغییر طراحی، امکان اعمال تغییرات روی مدل به راحتی وجود دارد. (این

موضوع در قسمت بعد به طور مفصل بحث می شود)

**جدول ۳ - مشخصات آکومولاتور هیدرولیکی**

مشخصه	مقدار
Maximum Operating Pressure (bar)	<b>345</b>
Capacity (lit)	<b>20</b>
Dry Weight (kg)	<b>100</b>
Length × Diameter (mm)	<b>889 × 243</b>
Maximum ratio of system pressure to pre-charge pressure	<b>4:1</b>
Operating Temperature range (F)	<b>-26 to 238</b>



شکل ۱۰ - آکومولاتور شرکت Rexroth



برای مدل کردن آکومولاتور ابتدا باید فرایند ترمودینامیکی مرجع برای گاز محبوب درون آکومولاتور تعیین شود.

در کاتالوگ آکومولاتور مورد نظر پیشنهاد شده که در بیشتر مواقع از فرایند آدیباتیک در مقابل فرایند

هم دما استفاده شود. در عمل نیز به نظر می‌رسد که فرایند واقعی که گاز محبوب (نیتروژن) تحت آن کار می‌کند،

آنقدر سریع انجام می‌پذیرد که امکان انتقال حرارت بین گاز و محیط وجود ندارد. سرعت فرایند تغییر حالت

گاز آکومولاتور مناسب با فرکانس تقاضای گشتاور توسط کنترلر مرکزی از پمپ-موتور است. البته این

فرکانس با توجه به اکثر استراتژی‌های کنترل خودروی هیبرید موجود، مقدار بالایی می‌باشد. بنابراین، فرایند تغییر

حالت گاز محبوب در آکومولاتور، آدیباتیک درنظر گرفته می‌شود. علاوه بر نوع فرایند، مقادیر کمترین و

بیشترین فشار کاری سیستم هیدرولیک و همچنین فشار شارژ اولیه آکومولاتور نیز باید تعیین گردند. فشار

ماکریم کاری پمپ-موتور برابر ۳۴۵ بار و فشار شارژ اولیه آکومولاتور ( $p_{pre}$ ) ۱۴۰ بار می‌باشد. با توجه به این

مقادیر و رابطه (۱۰) مقدار کمترین فشار کاری سیستم برابر با ۱۶۰ بار به دست می‌آید. این مقادیر در جدول ۴

مشاهده می‌شود.

$$p_{min} \approx 0.9 \times p_{pre} \quad (10)$$

جدول ۴ - مشخصات فشارهای کاری سیستم

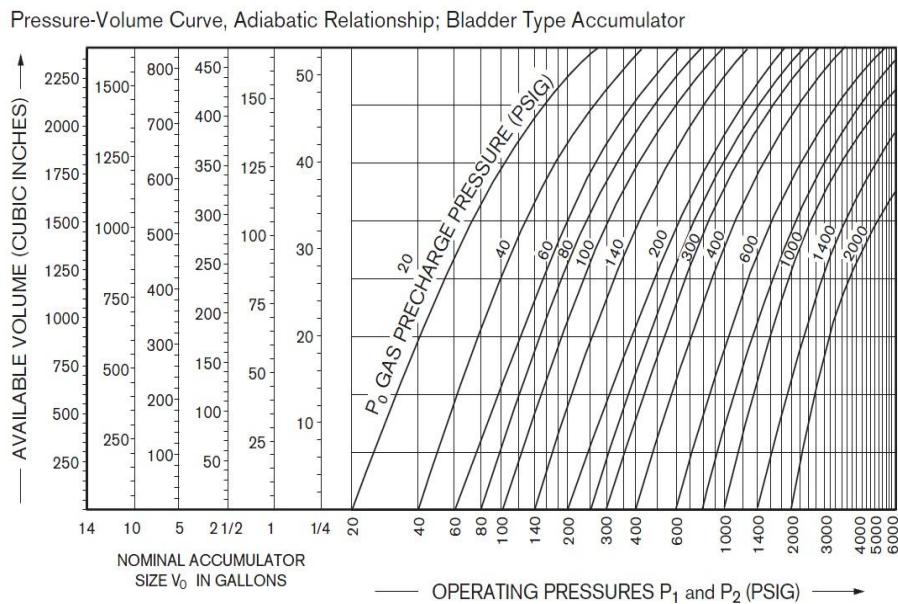
مشخصه	مقدار
P_max ( bar )	345
P_min ( bar )	160
P_pre ( bar )	140



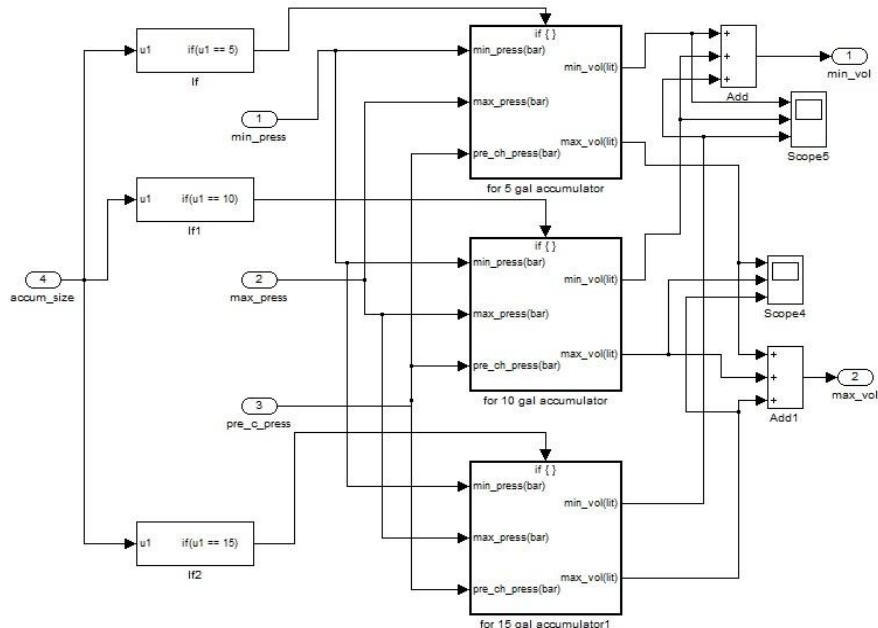
خروجی مدل آکومولاتور شامل چهار متغیر زیر است:

- فشار آکومولاتور که برابر با فشار گاز محبوس در آن است ( $p_{accum}$ ).
- سطح شارژ آکومولاتور که براساس حجم سیال درون آن بیان می شود (SOC).
- سطح شارژ مینیمم که توسط کمترین فشار کاری سیستم محدود می شود.
- حجم اولیه آکومولاتور که براساس سطح شارژ اولیه (وروودی سیستم) تعیین می شود.

برای به دست آوردن متغیرهای خروجی آکومولاتور، از نمودار حجم سیال قابل ذخیره سازی برحسب فشارهای کاری سیستم (جدول ۴) استفاده می شود. این نمودار در شکل ۱۱ و بلوک متناظر با آن در شکل ۱۲ ارائه شده است. بلوک شکل ۱۲ با استفاده از جدول جستجو برای سایزهای مختلف، مقادیر ماکزیمم و مینیمم حجم سیال قابل ذخیره سازی در آکومولاتور را محاسبه می کند. علاوه بر اطلاعات این نمودار، از رابطه فرایند آدیباتیک برای گاز آکومولاتور در حالات مختلف گاز استفاده می شود. رابطه (۱۱)، رابطه مذکور را بیان می کند. در این رابطه، فشارهای شارژ اولیه، مینیمم و ماکزیمم سیستم به ترتیب با  $p_0$ ،  $p_1$  و  $p_2$  و حجم گاز آکومولاتور متناظر با هر یک از حالات نیز به ترتیب با  $v_0$ ،  $v_1$  و  $v_2$  نشان داده شده اند. مقادیر  $P_x$  و  $v_x$ ، فشار و حجم گاز آکومولاتور در حالت مجهول مورد نظر هستند. همچنین در این رابطه،  $n$  برابر با گرمای ویژه گاز است که برای نیتروژن (گاز معمول در آکومولاتورها)  $1/4$  می باشد.



شکل ۱۱ - نمودار حجم - فشار آکومولاتور هیدرولیکی



شکل ۱۲ - بلوک محاسبه حجم های ماقزیم و مینیمم سیال قابل ذخیره سازی در آکومولاتور



$$p_0 \times v_0^n = p_1 \times v_1^n = p_2 \times v_2^n = p_x \times v_x^n \quad (11)$$

با مر架ع قراردادن یکی از حالات صفر، یک یا دو و با استفاده از رابطه (11)، مقدار فشار گاز در حالت مجهول

براساس رابطه (12) به دست می آید. مقادیر چهار متغیر موجود در این رابطه، مربوط به گاز آکومولاتور هستند.

$$p_x = p_1 \times \left( \frac{v_1}{v_x} \right)^n \quad (12)$$

که در آن مقادیر  $p_1$  و  $v_1$ ، از روی نمودار آکومولاتور (به صورت یک جدول جستجو<sup>1</sup> در Simulink) به دست

می آیند. مقدار  $v_x$  با کم کردن حجم سیال مصرفی یا تولیدی توسط پمپ - موتور در هر لحظه از مقدار گنجایش

آکومولاتور ( $v_0 = 5$  gallon) تعیین می گردد. حجم سیال مصرفی یا تولیدی توسط پمپ - موتور از طریق

انتگرال گیری دبی پمپ - موتور به دست می آید (روابط (13) تا (16)).

$$v_{init} = SOC_{init} \times v2_{fluid} \quad , \quad v2_{fluid} = v_{max_{fluid}} \quad (13)$$

$$vx_{fluid} = v_{init} + \int qv \cdot dt \quad (14)$$

$$v1_{gas} = v0 - vx_{fluid} \quad , \quad v1_{fluid} = v_{min_{fluid}} \quad (15)$$

$$vx_{gas} = v0 - vx_{fluid} \quad (16)$$

در رابطه (13)،  $SOC_{init}$  سطح شارژ اولیه آکومولاتور است که توسط کاربر وارد می شود و از طریق آن،

مقدار حجم اولیه سیال در آکومولاتور ( $v_{init}$ ) به دست می آید. برای تعیین سطح شارژ آکومولاتور در هر لحظه،

از رابطه (17) استفاده می شود. در این رابطه  $v_{max}$  برابر با حجم ماکریم سیال قابل ذخیره سازی در آکومولاتور

است که متناظر با حجم سیال نظر فشار ماکریم کاری (۳۴۵ بار) می باشد. همچنین برای تعیین حداقل سطح

شارژ مجاز آکومولاتور، از رابطه (18) استفاده می شود. در این درابطه  $v_{min}$  برابر با حجم سیال مجاز در

<sup>1</sup> Look up Table



مرحله سوم - قسمت سوم

### مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



آکومولاتور متناظر با فشار مینیمم کاری (۱۶۰ بار) می باشد. بلوک نهایی آکومولاتور در شکل ۱۳ ارائه شده است.

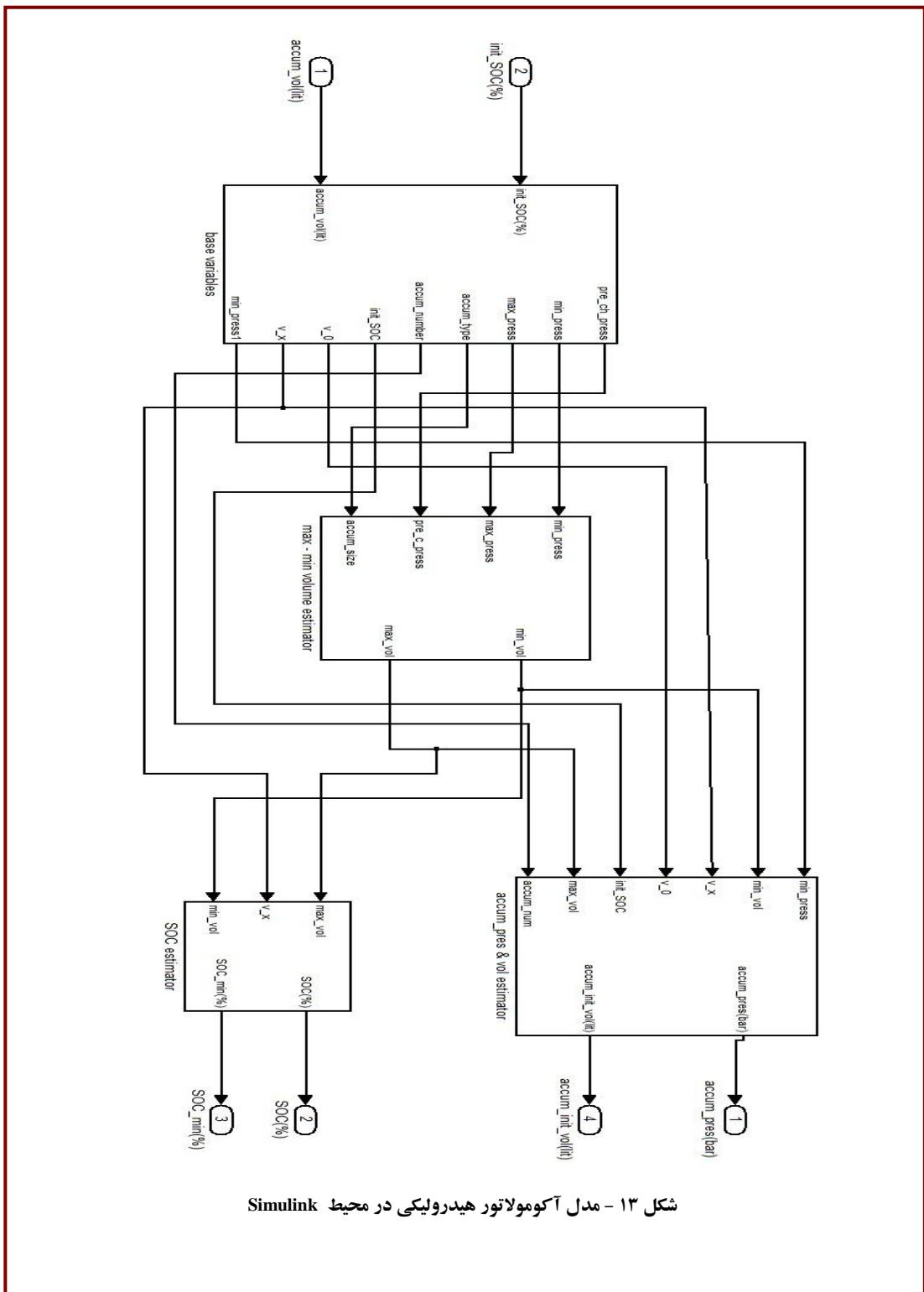
این مدل به سه قسمت اصلی تقسیم شده است و هر یک از این بخش ها، یک دسته از محاسبات ذکر شده در بالا را

انجام می دهد.

$$SOC(\%) = \frac{vx_{fluid}}{vmax_{fluid}} \times 100 \quad (17)$$

$$SOC_{min} (\%) = \frac{vmin_{fluid}}{vmax_{fluid}} \times 100 \quad (18)$$

در اتوبوس ها، قطعات جانبی مانند فرمان، سیستم تهویه، سیستم تعليق و غیره برای کار کرد خود، نیاز به فشار و جریان هیدرولیک دارند. در مدل حاضر، این فشار هیدرولیک تو سط آکومولاتور خط قدرت تأمین و در مدل آکومولاتور، با اضافه کردن دبی منفی توسط یک توان مصرفی ثابت، اعمال می گردد. این دبی اضافی در تمامی حالات حرکت، به دبی مصرفی پمپ- موتور اضافه می شود.



شکل ۱۳ - مدل آکومولاتور هیدرولیکی در محیط Simulink



### ۱ - ۲ - ۳ سایزینگ آکومولاتور

منظور از سایزینگ آکومولاتور، تعیین ظرفیت و تعداد بهینه آن است. تعیین مقدار این دو متغیر قبل از انجام

شبیه سازی های اتوبوس در سیکل های مختلف حرکتی، امری غیر منطقی و البته غیر قابل انجام به نظر می آید. از

طرف دیگر برای انجام مدل سازی و آغاز شبیه سازی های اتوبوس هیبرید هیدرولیکی نیازمند تعداد و نوع

آکومولاتور هستیم. بدین منظور پس از اتمام مرحله مدل سازی، با انجام سعی و خطا به یک مقدار اولیه برای

شروع شبیه سازی ها می رسیم. مقادیر اولیه سایزینگ آکومولاتور، آکومولاتور با ظرفیت ۵ گالن می باشد.

برای سایزینگ آکومولاتور با یک محدوده مشخص از نوع و ظرفیت آکومولاتورها روبرو هستیم. بدليل

محدودیت جانمایی و نصب، آکومولاتور نوع دیافراگمی را استفاده می کنیم. این نوع آکومولاتور در هر دو

راستای افقی و عمودی قابل نصب است. در مقابل آکومولاتورهای فتری، فقط در راستای عمودی قابل نصب و

استفاده می باشند. در مورد انتخاب ظرفیت مناسب برای آکومولاتورها، با یک جستجو در میان محصولات

شرکت های معروف تولید کننده (مانند Bosch ، Parker و ...) ، محدوده ظرفیت مشخص می شود. انتخاب های

ممکن برای ظرفیت آکومولاتورها در جدول ۵ نشان داده شده است. نکته قابل ذکر در مورد جدول ۵ آن است

که با توجه به فشار ماکزیمم کاری پمپ - موتور هیدرولیکی موردنظر در اتوبوس هیبرید هیدرولیکی (۳۵۰ bar) ،

آکومولاتورهای ذکر شده در جدول، دارای ماکزیمم فشار کاری ۳۴۵ bar هستند. (آکومولاتورهایی با

فشار کاری کمتر نیز وجود دارد).



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



جدول ۵ - مشخصات گزینه های موجود برای ظرفیت آکومولاتور

ظرفیت نامی آکومولاتور (gal)	ظرفیت واقعی آکومولاتور (lit)	وزن (kg)	طول × قطر (mm)
۵	۷,۲	۱۰۰	۲۴۳ × ۹۱۴
۱۰	۱۳,۶	۱۵۲	۲۴۳ × ۱۴۴۱
۱۵	۲۰	۲۲۰	۲۴۳ × ۲۰۳۸

در مورد تعداد آکومولاتورها، محدودیت جانمایی و افزایش وزن اتوبوس وجود دارد. به عنوان یک محدوده معقول و البته کامل، تعداد ۴ تا ۱۵ آکومولاتور از نوع ۵ گالنی انتخاب می شود. برای تعیین این محدوده، سیستم های هیبرید هیدرولیکی که تابه حالت ساخته شده اند نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

عملیات طراحی به منظور سایزینگ آکومولاتور در سه مرحله انجام می گیرد :

- تعیین حجم سیال بهینه (تعداد آکومولاتورها). با ثابت نگه داشتن نوع آکومولاتور (۵ گالن)، تعداد

آکومولاتورها را در محدوده موردنظر تغییر می دهیم و براساس معیارهای طراحی، گزینه بهینه تعیین می شود.

- تعیین نوع آکومولاتور بهینه. پس از مشخص شدن حجم سیال بهینه موردنیاز، گزینه های موجود از ۳ نوع

آکومولاتور ذکر شده در جدول ۵ که حجم سیال موردنظر را تأمین می کنند، مشخص می شوند. سپس براساس معیارهای طراحی، از میان گزینه های موجود بهترین گزینه انتخاب می شود.

- ملاحظات طراحی. در پایان ملاحظات طراحی نیز مدنظر قرار می گیرند. این ملاحظات براساس شرایط کاری سیستم تدوین می شوند.



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



### • معیارهای طراحی

برای سایزینگ آکومولاتور، به یک سری معیار طراحی نیاز است که براساس آنها، در مورد گزینه های موجود

قضاوت صورت گیرد. این معیارها را می توان به صورت زیر بیان کرد:

- مصرف سوخت اتوبوس. مصرف سوخت اتوبوس در ده سیکل حرکتی نورمبور گ محاسبه می شود.
- قابلیت شتاب گیری اتوبوس. شتاب گیری اتوبوس در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه محاسبه می گردد.
- قابلیت شیب پیمایی اتوبوس. مقدار سرعت ثابتی که اتوبوس در هریک از شیب های ۴، ۷، ۱۰ و ۱۴ درصد می تواند مسیر را طی کند، محاسبه می شود.

در هر یک از ۳ حوزه فوق، نتایج شبیه سازی اتوبوس متعارف با اتوبوس هیبرید هیدرولیکی مقایسه می شود.

در هر بار شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، یکی از گزینه های موجود برای آکومولاتورها مورد استفاده قرار می گیرد.

### • تعیین حجم سیال بهینه موردنیاز

همان طور که در قسمت های قبل اشاره شد، با فرض آکومولاتور با ظرفیت ۵ گالن، معیارهای طراحی برای تعداد آکومولاتورهای ۴ تا ۱۵ عدد مقایسه شده است. نتایج مقایسه معیارهای طراحی در جدول ۶ تا جدول ۸ نشان داده شده است (با درنظر گرفتن سطح شارژ اولیه برابر با ۸۰ درصد برای تمامی حالات).



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



جدول ۶ - مقایسه مصرف سوخت اتوبوس هیبرید هیدرولیک و متعارف برای آکومولاتور با ظرفیت ۵ گالن

درصد کاهش مصرف سوخت	مصرف سوخت (lit در ۱۰۰ کیلومتر)	تعداد آکومولاتور
۲۳,۸	۵۳,۸	۴
۲۴,۹	۵۳,۰	۵
۲۶,۰	۵۲,۲۵	۶
۲۵,۲	۵۲,۸	۷
۲۳,۷	۵۳,۹	۸
۲۳,۳	۵۴,۲	۹
۲۲,۱	۵۵,۰	۱۰
۲۱,۵	۵۵,۴	۱۱
۲۱,۶	۵۵,۲	۱۲
۲۲,۴	۵۴,۸	۱۳
۲۱,۵	۵۵,۴	۱۴
۲۱,۷	۵۵,۱	۱۵
-	۷۰,۶	اتوبوس متعارف

جدول ۷ - مقایسه شتاب گیری در اتوبوس متعارف و اتوبوس هیبرید هیدرولیکی با استفاده از آکومولاتور ۵ گالن

سرعت بعد از ۱۰۰ s	سرعت بعد از ۵۰ s	سرعت بعد از ۲۰ s	سرعت بعد از ۱۰ s	تعداد آکومولاتور
۱۱۲,۵	۱۰۱,۳	۶۶,۷۸	۴۶,۶۰	۴
۱۱۲,۵	۱۰۱,۵	۶۶,۴۰	۴۶,۶۴	۵
۱۱۲,۴	۱۰۱,۸	۶۸,۱۲	۴۶,۶۵	۶
۱۱۲,۴	۱۰۲,۱	۶۸,۸۹	۴۶,۶۵	۷
۱۱۲,۴	۱۰۲,۴	۶۹,۶۲	۴۶,۶۶	۸
۱۱۲,۴	۱۰۲,۷	۷۰,۳	۴۶,۶۲	۹
۱۱۲,۴	۱۰۲,۹	۷۱,۰	۴۶,۶۱	۱۰
۱۱۲,۴	۱۰۳,۲	۷۱,۷	۴۶,۶۰	۱۱
۱۱۲,۴	۱۰۳,۵	۷۲,۴	۴۶,۵۹	۱۲
۱۱۲,۴	۱۰۳,۷	۷۳,۱	۴۶,۵۸	۱۳
۱۱۲,۴	۱۰۴,۱	۷۳,۲	۴۶,۵۴	۱۴
۱۱۲,۳	۱۰۴,۶	۷۳,۲	۴۶,۵۳	۱۵
۹۷,۸	۹۷,۷	۶۸,۹	۴۸,۰	اتوبوس متعارف



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



جدول ۸ - مقایسه شیب پیمایی در اتوبوس متعارف و اتوبوس هیبرید هیدرولیکی با استفاده از آکومولاتور ۵ گالن

تعداد آکومولاتور	سرعت ثابت در شیب $\% 4$ (km/h)	سرعت ثابت در شیب $\% 7$ (km/h)	سرعت ثابت در شیب $\% 10$ (km/h)	سرعت ثابت در شیب $\% 14$ (km/h)
۴	۷۸	۵۲,۵	۴۰,۲	۲۱,۷
۵	۷۷	۵۲,۱	۳۹,۹	۲۱,۷
۶	۷۶,۵	۵۱,۷	۳۹,۵	۲۱,۶
۷	۷۶	۵۱,۳	۳۹,۱	۲۱,۶
۸	۷۵,۵	۵۰,۹	۳۸,۷	۲۱,۶
۹	۷۵	۵۰,۵	۳۸,۳	۲۱,۶
۱۰	۷۴,۵	۴۹,۹	۳۸	۲۱,۶
۱۱	۷۴,۲	۴۹,۲	۳۷,۶	۲۱,۶
۱۲	۷۳,۸	۴۸,۵	۳۷,۳	۲۱,۶
۱۳	۷۳,۴	۴۷,۸	۳۷	۲۱,۶
۱۴	۷۳	۴۷	۳۶,۷	۲۱,۳
۱۵	۷۲,۵	۴۶,۴	۳۶,۵	۲۱,۳
اتوبوس متعارف	۹۴,۶	۷۹,۱	۵۰	۳۵

براساس نتایج ارائه شده در جداول ۶ تا ۸، نتایج زیر بدست می آید:

- مصرف سوخت اتوبوس هیبرید هیدرولیکی نسبت به اتوبوس متعارف، برای تمامی گزینه های موجود

آکومولاتور بین ۲۰ تا ۲۶ درصد کاهش یافته است.

- قابلیت شتاب گیری اتوبوس هیبرید هیدرولیکی برای تمام گزینه های موجود آکومولاتور، در مجموع

۱۰۰ ثانیه بهتر از اتوبوس متعارف است. همچنین میان گزینه های مختلف سایزینگ آکومولاتور، تفاوت

ناچیزی در قابلیت شتاب گیری وجود دارد. این تفاوت به این صورت است که با تعداد بیشتری

آکومولاتور، قابلیت شتاب گیری بهتری حاصل می شود.



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



- قابلیت شیب پیمایی اتوبوس هیدرولیکی برای تمام گزینه های موجود آکومولاتور، نسبت به اتوبوس متعارف کمتر است. البته همچنان میان گزینه های مختلف سایزینگ آکومولاتور، تفاوت محسوسی در

قابلیت شیب پیمایی مشاهده نمی شود. این تفاوت به این صورت است که با تعداد کمتری آکومولاتور، قابلیت شیب پیمایی بهتری بدست می آید.

- در انتخاب مناسب ترین تعداد آکومولاتور باید هزینه خرید آکومولاتور را نیز درنظر گرفت.

با درنظر گرفتن جمیع مطالب گفته شده، انتخاب نهایی میان ۴، ۵ و ۶ عدد آکومولاتور صورت می گیرد. با توجه به قابلیت شیب پیمایی و شتاب گیری یکسان اتوبوس با استفاده از این سه گزینه، عامل اصلی در انتخاب نهایی میزان کاهش مصرف سوخت است. برای تعیین مناسب ترین تعداد آکومولاتور بین این سه گزینه، باید ظرفیت های دیگر آکومولاتور نیز درنظر گرفته شود.

### • تعیین ظرفیت بهینه آکومولاتور

با درنظر گرفتن تعداد ۴، ۵ و ۶ آکومولاتور با ظرفیت ۵ گالن، تعداد آکومولاتورهای با ظرفیت متفاوت متناظر با این حجم سیال قابل محاسبه است. با توجه به نتایج فصل قبل، مهمترین عامل در مقایسه گزینه های موجود میزان کاهش مصرف سوخت است. در جدول ۹ مقادیر مصرف سوخت هر گزینه به همراه سیال در دسترس و وزن مجموعه ارائه شده است.



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل‌سازی و شبیه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



جدول ۹ - مقایسه تعداد آکومولاتورهای مورد نیاز با ظرفیت‌ها متفاوت برای سه حجم سیال مشخص

	حجم سیال در دسترس (lit)	وزن مجموعه آکومولاتورها (kg)	صرف سوخت اتوبوس (در ۱۰۰ کیلومتر)
۴ عدد آکومولاتور ۵ گالانی	۲۸,۸	۴۰۰	۵۳,۸
۵ عدد آکومولاتور ۵ گالانی	۳۶	۵۰۰	۵۳,۰
۶ عدد آکومولاتور ۵ گالانی	۴۳,۲	۶۰۰	۵۲,۵
۲ عدد آکومولاتور ۱۰ گالانی	۲۷,۲	۳۰۴	۵۳,۷
۳ عدد آکومولاتور ۱۰ گالانی	۴۰,۸	۴۵۶	۵۲,۳
۲ عدد آکومولاتور ۱۵ گالانی	۴۰	۴۴۰	۵۲,۲

همچنین برای انتخاب تعداد و نوع آکومولاتور بهینه باید نکات زیر نیز درنظر گرفته شود :

۱. برای استفاده از آکومولاتورها در مدار قدرت یک پمپ-موتور، همواره باید سطح فشار همگی یکسان باشد. این موضوع در هیبریدهای الکتریکی نیز در مورد سطح ولتاژ باتری‌ها صادق است. بدیهی است

که هم‌فشار نگهداشتن تعداد کمتری آکومولاتور نسبت به تعداد زیاد آن، آسان‌تر است.

۲. در مدل‌سازی سیستم تولید و انتقال قدرت اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، تمامی رفتارهای فیزیکی شناخته شده اجزای سیستم مدل شده است. حال آنکه در عمل، احتمال بروز رفتارهای مدل‌نشده از هر بک از اجزاء سیستم وجود دارد. در مرور اجزای سیستم هیدرولیکی این رفتارهای شناسایی نشده با نشتشی سیال و کاهش بازده کلی سیستم همراه است. از این‌رو استفاده از آکومولاتور با حجم سیال در دسترس بیشتر، توصیه می‌شود.

۳. افزایش تعداد و سایز (ابعاد) آکومولاتور متناظر با افزایش هزینه خرید آن است. بنابراین گزینه‌ای انتخاب می‌شود که تعداد کمتر و سایز کوچکتری داشته باشد.



۴. به عنوان یک امر بدیهی، گزینه‌ای را انتخاب می‌شود که با وزن کمتر، حجم سیال در دسترس بیشتری را فراهم کند.

درنهایت با توجه به تمامی نکات ذکر شده، تعداد ۲ آکومولاتور با ظرفیت ۱۵ گالن انتخاب می‌شود.

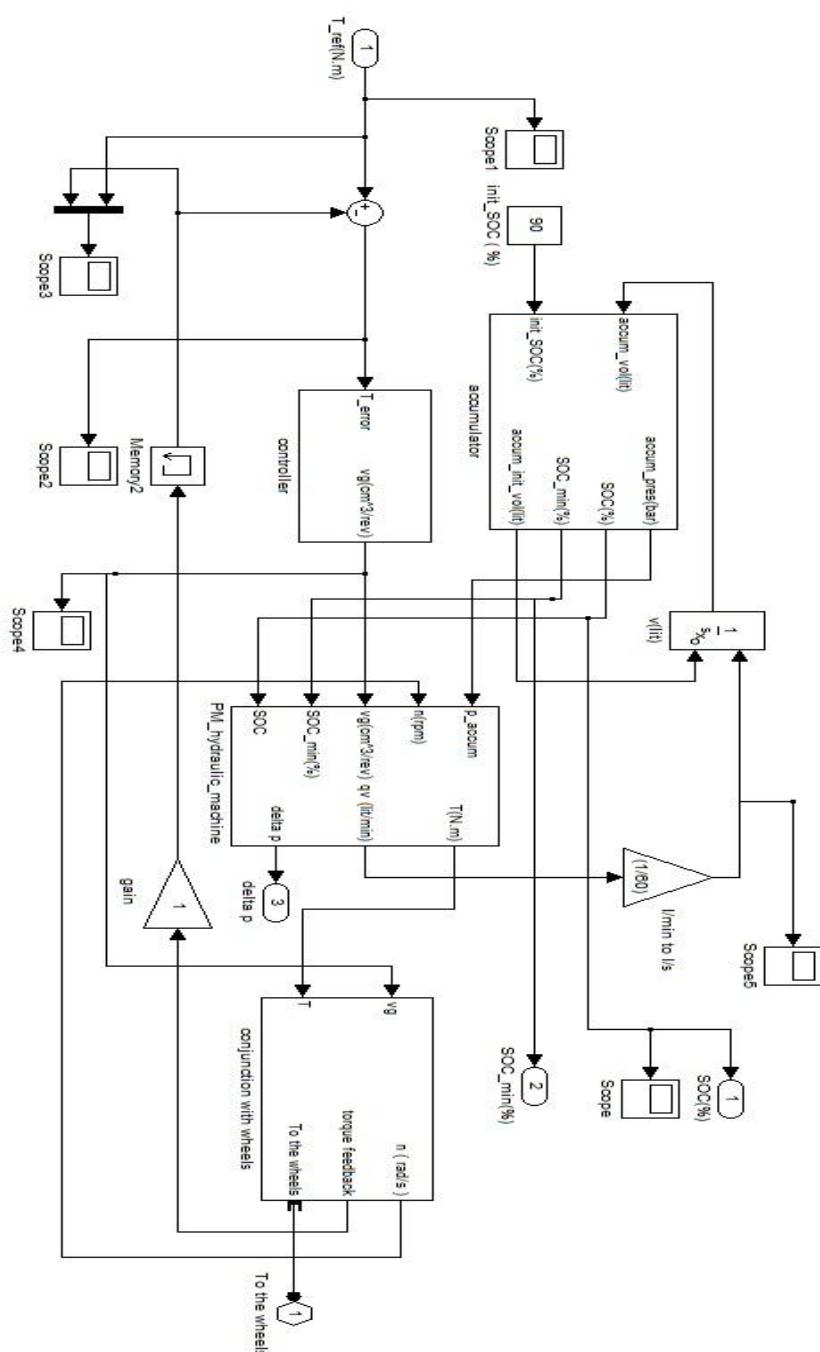
## ۱-۲-۴ مدل کلی سیستم تولید قدرت هیدرولیکی

پس از مدل سازی پمپ-موتور و آکومولاتور، باید ارتباط بین این دو قطعه و همچنین ارتباط مجموعه هیدرولیکی با مجموعه مکانیکی مشخص شود. این ارتباط به کمک بلوک‌های محیط SimDriveline نرم‌افزار انجام می‌گیرد. بلوک کلی مجموعه هیدرولیکی در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

## ۱-۳ کنترلر مرکزی هیبرید

کنترلر در خودروهای هیبرید نقشی حیاتی بر عهده دارد، به طوری که در صورت عدم کار کرد صحیح آن، به هیچ یک از اهداف مورد انتظار نمی‌توان دست پیدا کرد. راننده با فشردن پدال گاز، به کنترلر مرکزی فرمان صادر می‌کند. کنترلر علاوه بر دریافت فرمان از سوی راننده، از تمام قسمت‌های دیگر خودرو نیز اطلاعات پسخور می‌گیرد. سپس با تحلیل اطلاعات مربوط به هر بخش (موتور احتراقی، پمپ-موتور هیدرولیکی، سرعت خودرو، حالت شارژ<sup>۱</sup> (SOC) آکومولاتور وغیره) در هر لحظه فرمان مناسب را صادر می‌کند. کنترلر ضمن اجرای فرمان صادر شده از سوی راننده، باید همه قسمت‌ها را در حالت کار کرد با حداقل بازده نگاه دارد. همچنین باید مقدار شارژ آکومولاتورها به گونه‌ای کنترل شود که همواره مقدار انرژی ذخیره شده در آنها بین دو مقدار حداقل و حداقل از پیش تعیین شده قرار گیرد.

<sup>۱</sup> State of Charge



شکل ۱۴ - مدل سیستم تولید قدرت هیدرولیکی



### ۱-۳ کنترلر مرکزی هیبرید

کنترلر در خودروهای هیبرید نقشی حیاتی بر عهده دارد، به طوری که در صورت عدم کار کرد صحیح آن، به هیچ یک از اهداف مورد انتظار نمی‌توان دست پیدا کرد. راننده با فشردن پدال گاز، به کنترلر مرکزی فرمان صادر می‌کند. کنترلر علاوه بر دریافت فرمان از سوی راننده، از تمام قسمت‌های دیگر خودرو نیز اطلاعات پسخور می‌گیرد. سپس با تحلیل اطلاعات مربوط به هر بخش (موتور احتراق داخلی، پمپ-موتور هیدرولیکی، سرعت خودرو، حالت شارژ<sup>۱</sup> (SOC) آکومولاتور وغیره) در هر لحظه فرمان مناسب را صادر می‌کند. کنترلر ضمن اجرای فرمان صادر شده از سوی راننده، باید همه قسمت‌ها را در حالت کار کرد با حداکثر بازده نگاه دارد. همچنین باید مقدار شارژ آکومولاتورها به گونه‌ای کنترل شود که همواره مقدار انرژی ذخیره شده در آنها بین دو مقدار حداقل و حداکثر از پیش تعیین شده قرار گیرد.

### ۱-۳-۱ استراتژی کنترل هیبرید

پیش از مدل‌سازی، ابتدا باید استراتژی کنترل هیبرید تعیین شود. در استراتژی کنترل، مودهای مختلف حرکت مشخص و برای هر یک نحوه عملکرد سیستم بیان می‌گردد. در مورد اتوبوس هیبرید هیدرولیکی موازی، گشتاور مطلوب راننده، سرعت اتوبوس و سطح شارژ آکومولاتور به عنوان سه متغیر معیار در استراتژی کنترل به کار می‌رond. به دلیل آنکه در سرعت‌های پایین امکان شتاب گیری بالا و به تبع آن تقاضای گشتاور بالا از سوی راننده وجود دارد، اگر معیار تنها سرعت خودرو در نظر گرفته شود (به عنوان مثال از سرعت‌های پایین‌تر از ۲۵ کیلومتر بر ساعت گشتاور موردنیاز تنها از پمپ-موتور تأمین شود) با توجه به محدودبودن گشتاور پمپ-موتور، گشتاور موردنظر تأمین نخواهد شد. بنابراین خودرو به شرایط مورد نظر راننده نمی‌رسد. این مطلب در شبیه‌سازی‌های

<sup>۱</sup> State of Charge



انجام شده روی مدل در سیکل حرکتی نورمبورگ، بهوضوح قابل مشاهده است. از این رو می بایست گشتاور و سرعت را به طور همزمان به عنوان معیار درنظر گرفت. همچنین می توان به عنوان گزینه ساده‌تر فقط گشتاور را ملاک قرار داد. در این مرحله با توجه به نتایج شبیه سازی های انجام شده، گزینه کامل تر یعنی استفاده از گشتاور، سرعت اتوبوس و سطح شارژ به عنوان معیارهای استراتژی کنترل درنظر گرفته شده است. مودهای موجود در استراتژی کنترل انتخاب شده برای اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی به صورت زیر می باشد.

- **مود ۱: حالت شتاب گیری اتوبوس، گشتاور مطلوب راننده کمتر از گشتاور حدی  $T_0$ ، سرعت اتوبوس**

کمتر از سرعت حدی  $V_0$  و سطح شارژ آکومولاتور بیشتر از حداقل سطح شارژ مجاز ( $SOC_{min}$ ) باشد.

در این حالت، پمپ-موتور به تنها ی گشتاور مورد نیاز راننده را تأمین می کند و موتور احتراق داخلی خاموش است. برای انتقال کنترلر از این مود به مودهای دیگر دو حالت درنظر گرفته شده است:

۱. اگر گشتاور مطلوب راننده بیشتر از گشتاور حدی  $T_0$  شود یا سرعت اتوبوس بیشتر از سرعت حدی

$V_0$  شود، کنترلر به مود ۲ منتقل می شود.

۲. اگر سطح شارژ آکومولاتور به حداقل سطح شارژ مجاز ( $SOC_{min}$ ) برسد، کنترلر به مود ۴ منتقل

می شود.

- **مود ۲ : حالت شتاب گیری، گشتاور مطلوب راننده بیشتر از گشتاور حدی  $T_0$ ، سرعت اتوبوس بیشتر از**

سرعت حدی  $V_0$  و سطح شارژ آکومولاتور بیشتر از حداقل سطح شارژ مجاز ( $SOC_{min}$ ) باشد. در این

حالت، موتور احتراق داخلی روشن می شود و به عنوان منبع اصلی، گشتاور مورد نیاز راننده را تأمین

می نماید. در این مود، هیچ کسری از گشتاور تولیدی توسط موتور احتراق داخلی در آکومولاتورها

ذخیره نمی شود. در مود ۲ ، دو حالت کاری تعریف شده است:



۱. اگر گشتاور مطلوب راننده بیشتر از گشتاور حدی  $T_1$  باشد، گشتاور تولیدی توسط موتور احتراق داخلي برابر  $T_1$  خواهد بود و مقدار گشتاور اضافي توسط پمپ-مотор هيدروليكي تأمین می گردد.

۲. اگر گشتاور مطلوب راننده کمتر از گشتاور حدی  $T_1$  باشد، گشتاور تولیدی توسط موتور احتراق داخلي با استفاده از رابطه (۱۹) تعیین می شود و تفاوت بین گشتاور مطلوب و تولیدی موتور احتراق داخلي، توسط پمپ-مotor هيدروليكي تأمین می گردد. دليل استفاده از رابطه (۱۹)، جلوگيری از ناپيوستگي و فراجهش شدید در سيگنال فرمان ارسالي به موتور احتراق داخلي است. ناپيوستگي و فراجهش شدید در سيگنال فرمان ارسالي به موتور احتراق داخلي، علاوه بر کاهش بازده کارکرد موتور، با واقعيت کارکرد موتور احتراق داخلي نيز تناقض دارد.

$$T_{eng} = T_{acc} - \left( \frac{SOC - SOC_{min}}{SOC_{max} - SOC_{min}} \right) \times (T_{acc} - T_0) \quad (19)$$

در رابطه (۱۹)،  $T_{eng}$  گشتاور مطلوب راننده است و  $T_{eng}$  برابر با گشتاور تولیدی توسط موتور احتراق داخلي می باشد. برای انتقال کنترلر از اين مود به مودهای ديگر دو حالت درنظر گرفته شده است:

۱. اگر گشتاور مطلوب راننده کمتر از گشتاور حدی  $T_0$  شود، کنترلر به مود ۳ منتقل می شود.
۲. اگر سطح شارژ آكمولاتور به مقدار مینيمم مجاز خود ( $SOC_{min}$ ) برسد، کنترلر به مود ۴ منتقل می شود.

- **مود ۳ :** حالت شتاب گيری، مود قبلی کنترلر مود ۲ بوده است، گشتاور مطلوب راننده کمتر از گشتاور حدی  $T_0$  و سطح شارژ آكمولاتور بيشتر از حداقل سطح شارژ مجاز ( $SOC_{min}$ ) باشد. اين مود برای

جلوگيری از روشن و خاموش شدن پي درپي موتور احتراق داخلي درنظر گرفته شده است. روشن و خاموش شدن پي درپي موتور احتراق داخلي علاوه بر افزایش مصرف سوخت اتوبوس با واقعيت کارکرد



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل‌سازی و شبیه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



شرکت ملی نفت ایران

شرکت بهینه سازی صنایع سوخت

آن نیز تناقض دارد. با توجه به اینکه مود قبلی کنترلر مود ۲ بوده است، کاهش گشتاور مطلوب راننده به

منظور توقف اتوبوس یا دراثر قرار گرفتن اتوبوس در مسیر بدون شب (یا شب منفی) می‌باشد. در

ادامه هریک از این دو امکان، احتمال افزایش گشتاور مطلوب راننده (گاز خوردن خودرو) وجود دارد؛

که این به معنای روشن و خاموش شدن موتور احتراق داخلی است. برای جلوگیری از این امر، زمانی که

گشتاور مطلوب راننده از مقداری بیشتر از  $T_0$  به مقداری کمتر از  $T_0$  برسد، برای یک مدت زمان

مشخص ( $t_{\text{wait\_2}}$ ) موتور احتراق داخلی گشتاوری برابر با گشتاور حدی  $T_0$  را تأمین می‌کند. در طول

این مدت، گشتاور اضافی موتور احتراق داخلی توسط پمپ-موتور در آکومولاتورها ذخیره می‌گردد.

بعد از طی مدت زمان ذکر شده، اگر گشتاور مطلوب راننده همچنان کمتر از  $T_0$  باشد، کنترلر به مود ۱

منتقل می‌شود. همچنین در این مود حرکتی نیز در هر لحظه اگر سطح شارژ آکومولاتور کمتر از مقدار

$SOC_{min}$  شود، کنترلر به مود ۴ منتقل می‌گردد.

- **مود ۶** : سطح شارژ آکومولاتور کمتر یا مساوی  $SOC_{min}$  باشد. در این مود حرکت، پمپ-موتور

هیدرولیکی نمی‌تواند به عنوان منبع کمکی به کار رود و موتور احتراق داخلی به تنها یابی احتیاجات

گشتاور راننده را تأمین می‌کند. در مود ۶، بحث اصلی تعیین چگونگی و مقدار شارژ آکومولاتورها

توسط موتور احتراق داخلی است. برای این مود، سه حالت کاری تعریف می‌شود :

۱. اگر گشتاور مطلوب راننده کمتر از گشتاور حدی  $T_0$  باشد، گشتاور تولیدی موتور احتراق داخلی

برابر  $T_0$  خواهد بود و گشتاور اضافی، توسط پمپ-موتور در آکومولاتور ذخیره می‌شود.

۲. اگر گشتاور مطلوب راننده بیشتر از گشتاور حدی  $T_0$  و کمتر از گشتاور حدی  $T_1$  باشد، گشتاور

تولیدی توسط موتور احتراق داخلی با استفاده از رابطه (۲۰) تعیین می‌گردد و گشتاور اضافی،



توسط پمپ - موتور در آکومولاتور ذخیره می گردد. دلیل استفاده از رابطه (۲۰)، جلوگیری از

ناپیوستگی و فراجهش شدید در سیگنال فرمان ارسالی به موتور احتراق داخلی است.

$$T_{eng} = T_{acc} + \left( 1 - \frac{SOC - SOC_{min}}{SOC_{max} - SOC_{min}} \right) \times (T_1 - T_{acc}) \quad (20)$$

۳. اگر گشتاور مطلوب راننده بیشتر از گشتاور حدی  $T_1$  باشد، گشتاور تولیدی توسط موتور احتراق

داخلی برابر  $T_1$  خواهد بود و گشتاور پمپ - موتور هیدرولیکی صفر است.

همچنین در مود ۴، انتقال کنترلر به مودهای دیگر به صورت زیر انجام می گیرید :

۱. اگر سطح شارژ آکومولاتور به ماکریمم حد مطلوب سطح شارژ ( $SOC_{max}$ ) برسد و گشتاور مطلوب

راننده کمتر از گشتاور حدی  $T_0$  باشد، کنترلر به مود ۳ منتقل می گردد.

۲. اگر سطح شارژ آکومولاتور به ماکریمم حد مطلوب سطح شارژ ( $SOC_{max}$ ) برسد و گشتاور مطلوب

راننده بیشتر از گشتاور حدی  $T_0$  باشد، کنترلر به مود ۲ منتقل می شود.

- **مود ۵:** حالت ترمزنگیری. اگر سطح شارژ آکومولاتورها به مقدار ۱۰۰ درصد نرسیده باشد، پمپ -

مотор به صورت پمپی کار می کند و گشتاور منفی اصلی را برای عمل ترمزنگیری تأمین می نماید (ترمز

بازیاب). در اثر اعمال این گشتاور منفی، انرژی جنبشی که در عمل ترمزنگیری هدر می رود، به صورت

فشار هیدرولیکی در آکومولاتورها ذخیره می گردد. هر زمان که گشتاور منفی تولیدی توسط پمپ -

مотор برای ترمزنگیری مناسب اتوبوس کافی نباشد، ترمز مکانیکی به کمک ترمز هیدرولیکی می آید و

کسری گشتاور منفی را جبران می نماید. این عملکرد ترمزنگیری ترمز بازیاب موازی نامیده می شود.

اگر سطح شارژ آکومولاتورها برابر ۱۰۰ درصد باشد، نمی توان از قابلیت ترمزنگیری بازیاب استفاده کرد و

ترمز مکانیکی تمامی گشتاور ترمزی مورد نیاز را تأمین می کند. همچنین در استراتژی کنترل اتوبوس هیبرید



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

هیدرولیکی، هر زمان که گشتاور ترمزی که توسط راننده اعلام می شود غیرصفر باشد، گشتاور تولیدی توسط موتور احتراق داخلی برابر صفر در نظر گرفته می شود.

استراتژی کنترل هیبرید هیدرولیکی مورد استفاده به صورت خلاصه در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

همان طور که در ارائه مودهای حرکتی اتوبوس مشاهده می شود، یک سری مقادیر ثابت برای محدود کردن حالات مختلف حرکت به کار برد شده است. در جدول ۱۱ این مقادیر ثابت بیان شده است. این مقادیر براساس

مشخصات قطعات سیستم و نتایج شبیه سازی ها تعیین شده اند:

- گشتاورهای حدی  $T_0$  و  $T_1$  باتوجه به نمودار گشتاور - سرعت موتور احتراق داخلی و همچنین مقدار

گشتاور ماکریم تولیدی توسط پمپ - موتور هیدرولیکی درنظر گرفته شده اند.

- مقدار  $SOC_{min}$  کمی بیشتر از پایین ترین سطح شارژ مجاز برای آکومولاتور درنظر گرفته شده است.

پایین ترین سطح شارژ یک آکومولاتور باتوجه به حداقل سیال موردنیاز در آکوملاتور و همچنین فشار

اولیه ای که گاز درون آکومولاتور تحت آن وارد آکومولاتور می شود، تعیین می گردد. باتوجه به اینکه

شارهیدرولیک موردنیاز برای قطعات جانبی اتوبوس مانند سیستم فرمان، کمک فرها، درب اتوبوس و

غیره از طریق همین آکومولاتور خط قدرت تأمین می گردد، باید یک حداقل سطح شارژی درون

آکومولاتور باقی بماند. از این رو مقدار  $SOC_{min}$  کمی بیشتر از پایین ترین سطح شارژ مجاز آکومولاتور

درنظر گرفته می شود.

- مقدار  $SOC_{max}$  برای سطح شارژ آکومولاتور، با درنظر گرفتن قابلیت ترمیگیری بازیاب برای سیستم

تولید و انتقال قدرت هیبرید هیدرولیکی درنظر گرفته می شود. به این معنی که همواره به منظور حفظ

ظرفیت خالی درون آکومولاتور جهت بازیابی انرژی ترمزی، مقدار سطح شارژ آکومولاتور از یک حد

فراتر نمی رود.



- سرعت حدی  $V_0$  جهت استفاده از پمپ-موتور هیدرولیکی برای راه اندازی اتوبوس، تعیین می شود.

مقدار این متغیر با توجه به مقدار خطای مدل تعیین می گردد.

در جدول ۱۰ مقادیر  $T_{acc}$  و  $T_{brk}$  برابر با گشتاورهای شتاب گیری و ترمز گیری مورد نیاز راننده و مقادیر

گشتاورهای تأمین شده توسط پمپ-موتور هیدرولیکی و موتور احتراقی می باشند.

جدول ۱۰ - استراتژی کنترل هیبرید در اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی

شماره مود	حالت حرکت	زیر شاخه های حالات	مقادیر گشتاور
۱	$T_{acc} < T_0$ $SOC > SOC_{min}$ $Veh_{spd} < V_0$	-----	$T_{pm} = T_{acc}$ $T_{eng} = 0$
۲	$(T_{acc} > T_0 \text{ or}$ $Veh_{spd} > V_0)$ $SOC > SOC_{min}$	$T_{acc} > T_1$	$T_{pm} = T_{acc} - T_{eng}$ $T_{eng} = T_{acc}$
		$T_0 < T_{acc} < T_1$	$T_{pm} = T_{acc} - T_{eng}$ $T_{eng} = T_{acc} - \left( \frac{SOC - SOC_{min}}{SOC_{max} - SOC_{min}} \right) \times (T_{acc} - T_0)$
		$T_{acc} < T_0$	$T_{pm} = T_{acc} - T_{eng}$ $T_{eng} = T_0$
۴	$SOC < SOC_{min}$	$T_{acc} > T_1$	$T_{pm} = 0$ $T_{eng} = T_{acc}$
		$T_0 < T_{acc} < T_1$	$T_{pm} = T_{acc} - T_{eng}$ $T_{eng} = T_{acc} + \left( 1 - \frac{SOC - SOC_{min}}{SOC_{max} - SOC_{min}} \right) \times (T_1 - T_{acc})$
		$T_{acc} < T_0$	$T_{pm} = T_{acc} - T_{eng}$ $T_{eng} = T_0$
۵	$T_{acc} = 0$ $T_{brk} < 0$ $SOC < 100$	$T_{brk} > -T_0$	$T_{pm} = T_{brk}$ $T_{mech\_brk} = 0$
		$T_{brk} < -T_0$	$T_{pm} = -T_0$ , $T_{mech\_brk} = T_{brk} + T_0$



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



جدول ۱۱ - ثابت های استفاده شده در استراتژی کنترل هیبرید

ثابت	مقدار
$T_0$ ( Nm )	<b>500</b>
$T_I$ ( Nm )	<b>1000</b>
$SOC_{min}$ ( % )	<b>20</b>
$SOC_{max}$ ( % )	<b>80</b>
$V_0$ ( km/h )	<b>2</b>
$t_{wait\_2}$ ( s )	<b>5</b>

## ۱-۳-۲ مدل کنترلر مرکزی هیبرید

بعد از تعیین مشخصات استراتژی کنترل هیبرید، نوبت به مدل سازی بلوک کنترلر می‌رسد. این مدل در

شکل ۱۵ مشاهده می‌شود. بلوک کنترلر از دو مجموعه اصلی زیر تشکیل شده است.

- بلوک محاسبه گشتاور جلوبرنده خواسته شده از پمپ- موتور هیدرولیکی و موتور احتراق داخلی: این

بلوک براساس مودهای ۱ تا ۴ کنترل استراتژی سیستم هیبرید کار می‌کند. عملکرد کنترلر در هریک از

مودهای حرکت اتوبوس توسط یک بلوک جریان حالت<sup>۱</sup> تأمین می‌گردد.

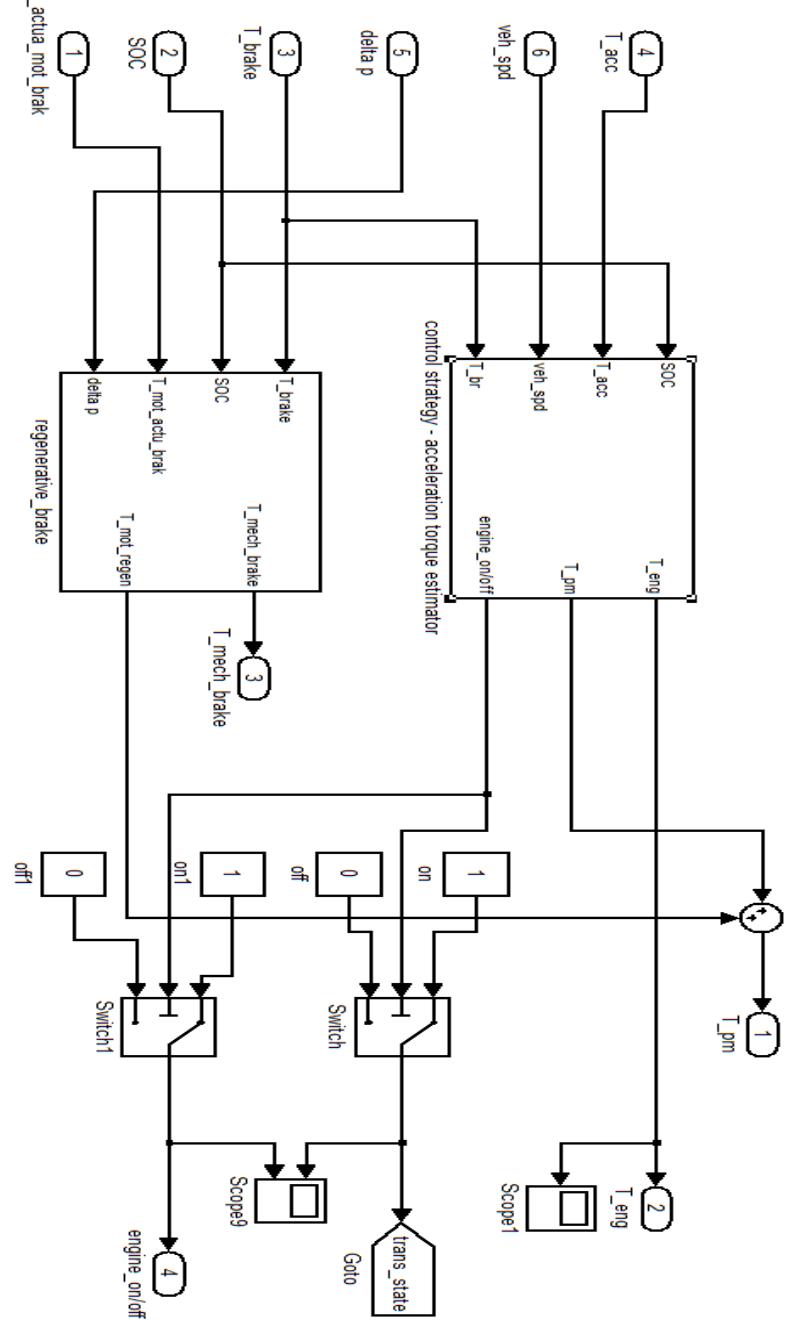
- بلوک محاسبه ترمز بازیاب: در این بلوک برای انجام دقیق کار کنترل، یک سیگنال پسخور از گشتاور

خروجی پمپ - موتور هیدرولیکی، وارد و به عنوان گشتاور منفی تولیدی توسط پمپ - موتور از آن

استفاده شده است. خروجی این بلوک مقدار گشتاور ترمزی است که توسط پمپ - موتور هیدرولیکی

و ترمز مکانیکی باید تأمین شود.

<sup>۱</sup> State Flow



شکل ۱۵- مدل کنترل مرکزی هیبرید



همان طور که در شکل ۱۵ مشاهده می شود، یک بلوک به نام  $\text{Trans\_state}^1$  برای جداسازی موتور احتراق داخلی از محور چرخ های محرک کننده می شود. هر گاه گشتاور تقاضا شده از موتور احتراق داخلی صفر باشد ولی موتور خاموش نباشد، حالت کاری موتور احتراق داخلی حالت خلاص (Idle) نامیده می شود. در این حالت، باید موتور احتراق داخلی از محور چرخ های محرک جدا باشد. این عمل با صفر کردن مقدار متغیر  $\text{Trans\_state}$  انجام می گیرد و بلوک کلاچ، موتور احتراق داخلی را از چرخ ها جدا می کند. به مخصوص غیر صفر شدن مقدار گشتاور تقاضا شده از موتور احتراق داخلی، (با در نظر گرفتن تأخیر راه اندازی موتور) بلوک کلاچ با فرمان بلوک  $\text{Trans\_state}$  موتور احتراق داخلی را به چرخ ها وصل می کند و گشتاور موتور به چرخ ها منتقل می گردد.

همچنین برای خاموش کردن موتور احتراق داخلی، از یک متغیر دیگر به نام Engine On/Off استفاده می شود. هر گاه موتور احتراق داخلی برای مدت زمانی برابر با  $t_{\text{wait}}$  در حالت خلاص قرار داشته باشد و بعد از این مدت همچنان گشتاور تقاضا شده از موتور برابر صفر باشد، مقدار متغیر Engine On/Off صفر شده، موتور خاموش می شود. به مخصوص آنکه مقدار گشتاور تقاضا شده از موتور احتراق داخلی از صفر بیشتر شد، (با در نظر گرفتن تأخیر راه اندازی موتور) مقدار متغیر Engine On/Off یک شده، موتور روشن می شود.

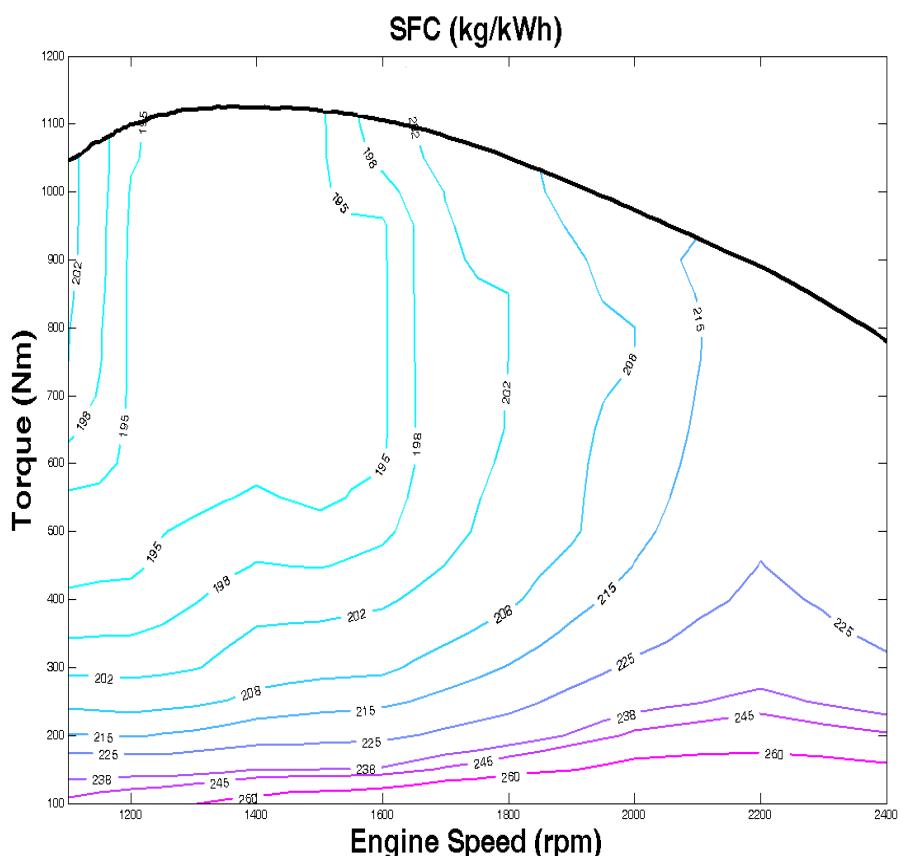
## ۱-۴ مدل موتور احتراق داخلی

موتور احتراق داخلی انتخاب شده برای اتوبوس هیبرید موازن هیدرولیکی، ساخت شرکت بنز مدل OM 906 LA (شکل ۱۸) با حداکثر توان  $205 \text{ kW}$  و وزن  $530 \text{ kg}$  می باشد. این موتور نسبت به موتور احتراق داخلی اتوبوس

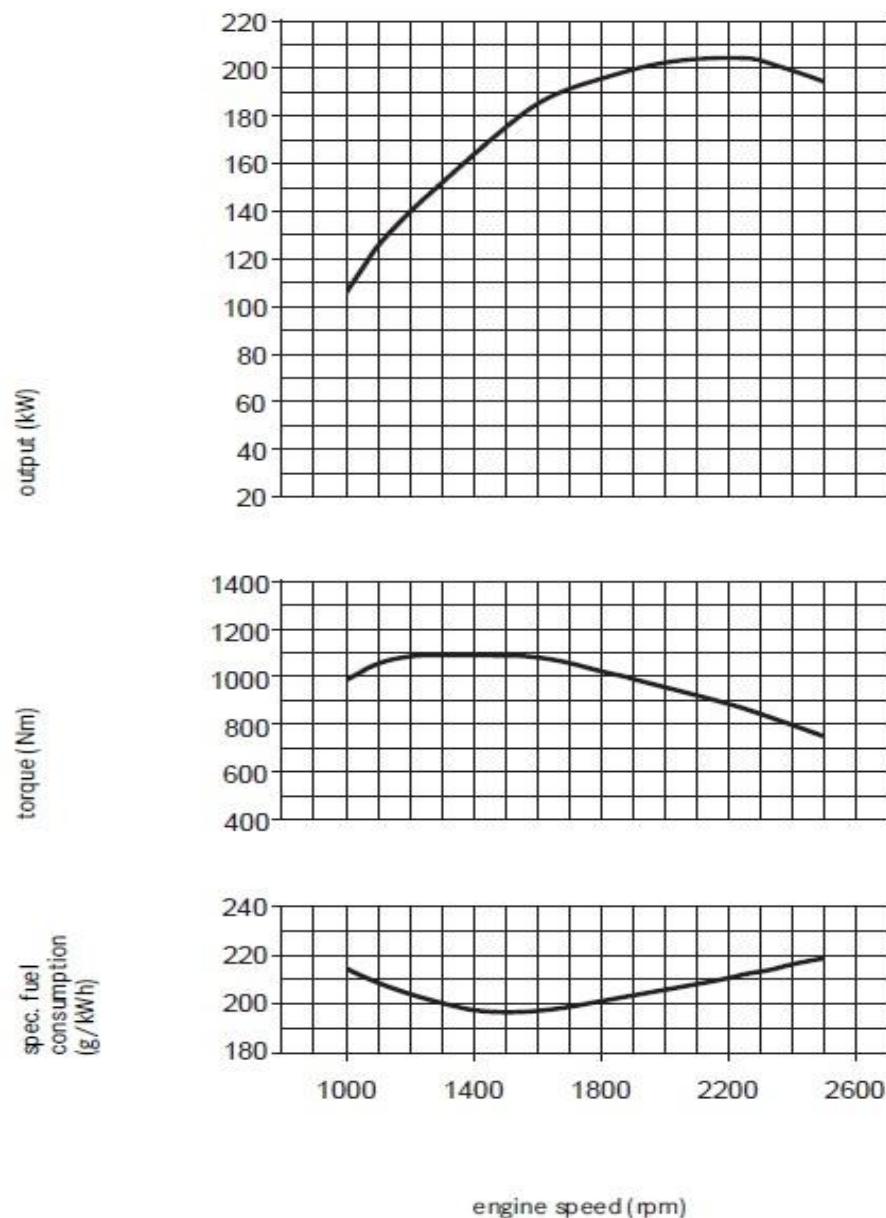
<sup>1</sup> به معنای «حالات جعبه دنده»

معمولی (موتور OM 457 LA با توان حداکثر ۲۲۰ kW و وزن ۹۲۰ kg) کوچکتر، سبک‌تر و درنتیجه کم

صرف‌تر می‌باشد. منحنی مصرف سوخت و عملکرد این موتور در شکل ۱۶ و شکل ۱۷ دیده می‌شود.



شکل ۱۶ - منحنی مصرف سوخت موتور OM 906 LA (محور افقی سرعت دورانی بر حسب دور برد دقیقه و محور عمودی توان خروجی موتور بر حسب کیلووات است )



شکل ۱۷ - منحنی عملکرد موتور OM 906 LA



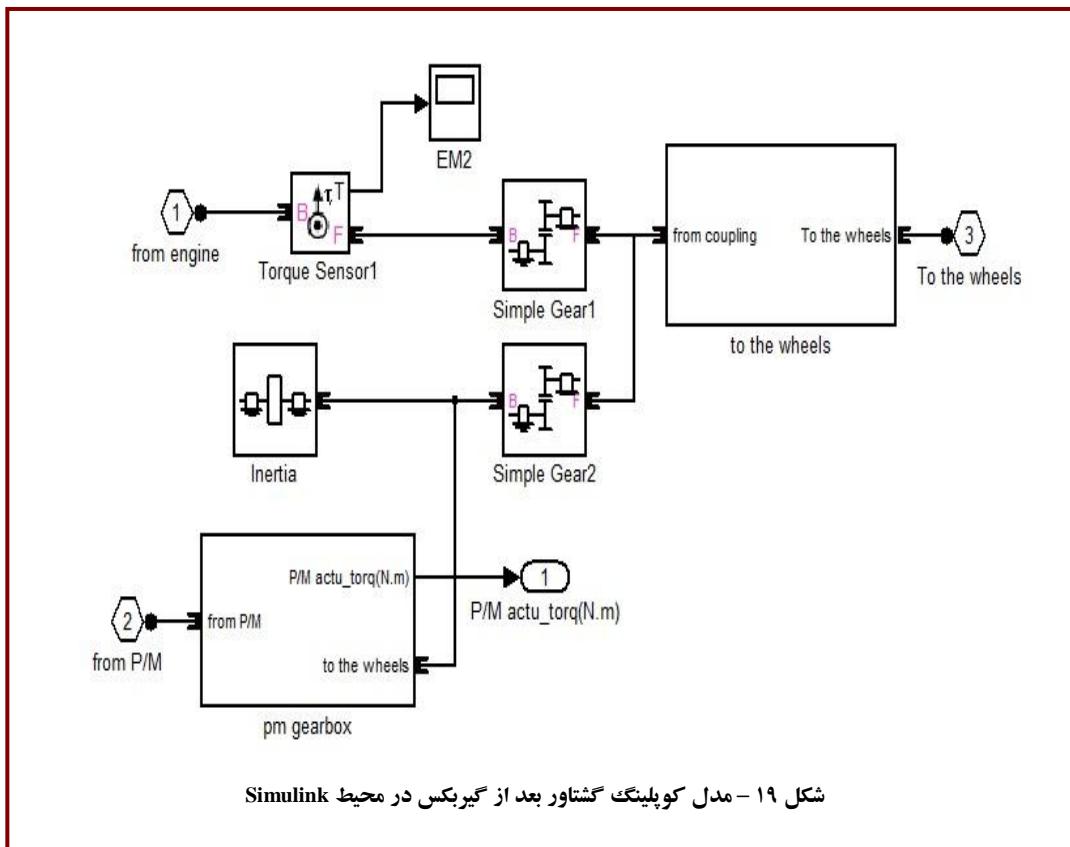
شکل ۱۸ - موتور احتراقی OM 906 LA

ساختار مدل موتور احتراق داخلی اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی همان مدل موجود در اتوبوس احتراق داخلی است و تنها نمودارهای مصرف سوخت و گشتاور ماکزیمم آن اصلاح شده است. همچنین اینرسی موتور تغییر کرده است.

## ۱-۵ مدل انتقال قدرت و کوپلینگ

سیستم انتقال قدرت اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی یک کوپلینگ گشتاور از نوع بعد از گیربکس می باشد. در این سیستم هر یک از دو منبع قدرت یک گیربکس مجزا دارند. برای پمپ - موتور هیدرولیکی و با توجه به نمودار گشتاور هموار آن، تنها از یک جعبه دنده تک سرعته استفاده شده است. اما برای بهبود گشتاور خروجی موتور احتراق داخلی از یک گیربکس اتوماتیک چهار سرعته استفاده شده است.

کوپلینگ گشتاور موردنیاز سیستم به کمک دو چرخ دنده (که یکی روی شافت خروجی پمپ - موتور و دیگری روی شافت خروجی گیربکس و موتور احتراق داخلی قرار دارد) مدل سازی شده است. از طرفی با توجه به سرعت های ماکزیمم دو منبع قدرت و سرعت ماکزیمم اتوبوس، ضریب دنده های مناسب تعیین شده است. اتصالات مکانیکی مدل کوپلینگ و گیربکس با استفاده از بلوک های محیط SimDriveline ایجاد شده است. این بلوک را در شکل ۱۹ می توان مشاهده کرد.



شکل ۱۹ - مدل کوپلینگ گشتاور بعد از گیربکس در محیط Simulink



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## ۲ نتایج شبیه سازی در MATLAB/SIMULINK

برای بررسی مدل سازی، مدل در سیکل های رانندگی متنوع و با ضرایب مختلف کنترل شبیه سازی شد. نتایج این شبیه سازی ها در این بخش ارائه می شود. مشخصات فنی مربوط به اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در جدول ۱۲ آمده است.

جدول ۱۲ - مشخصات فنی اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی

۹۸۵۰ کیلو گرم	جرم اتوبوس بدون سرنشین
۱۴۷۵۰ کیلو گرم	جرم اتوبوس با سرنشین
۰/۰۱	ضریب اصطکاک غلتی
۰/۵۵	ضریب درگ
۱/۲۲ کیلو گرم بر متر مکعب	چگالی هوا
۶/۳ متر مربع	سطح مؤثر اتوبوس
۰/۴۶۶ متر	شعاع لاستیک
۴/۳	ضریب تبدیل دیفرانسیل
۰/۹۵	راندمان دیفرانسیل، جعبه دنده بین موتور احتراقی، پمپ - موتور هیدرولیکی و چرخها
۸۱۰ کیلو گرم بر متر مکعب	چگالی سوخت دیزل در دمای ۲۵°C

## ۱ - شبیه سازی مصرف سوخت در سیکل نورمبورگ

در این بخش نتایج شبیه سازی در ۱۰ سیکل متالی نورمبورگ ارائه شده است. برخی مشخصات این سیکل در ادامه می آید.

- حداکثر سرعت ۵۳/۷ کیلومتر بر ساعت

- سرعت متوسط ۱۴/۳۳ کیلومتر بر ساعت

- زمان کار درجا حدود ۳۱٪ کل سیکل



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

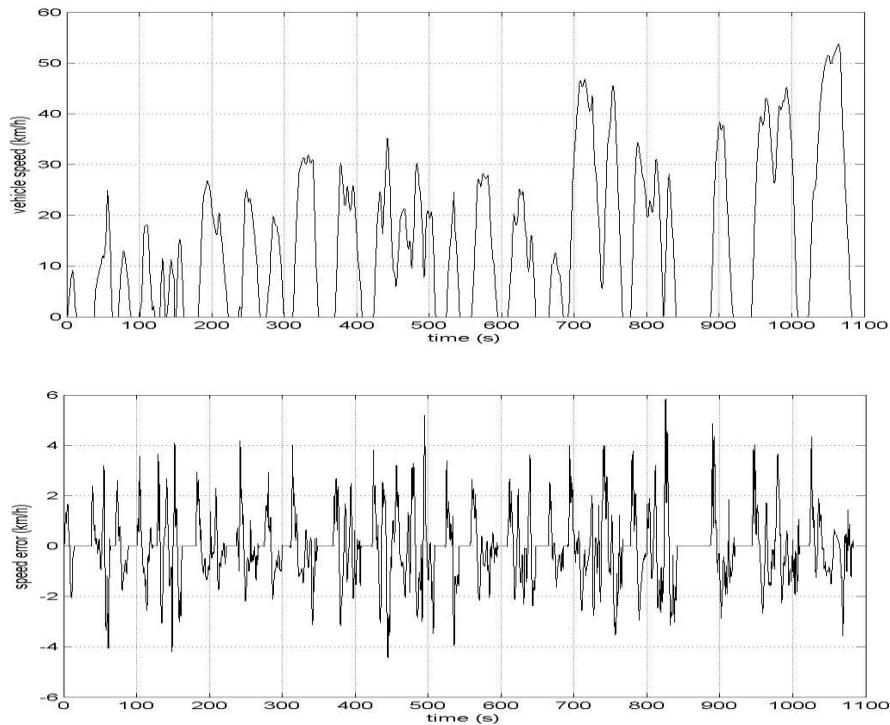
- زمان هر سیکل ۱۰۸۴ ثانیه

- مسافت هر سیکل ۴/۳۲ کیلومتر

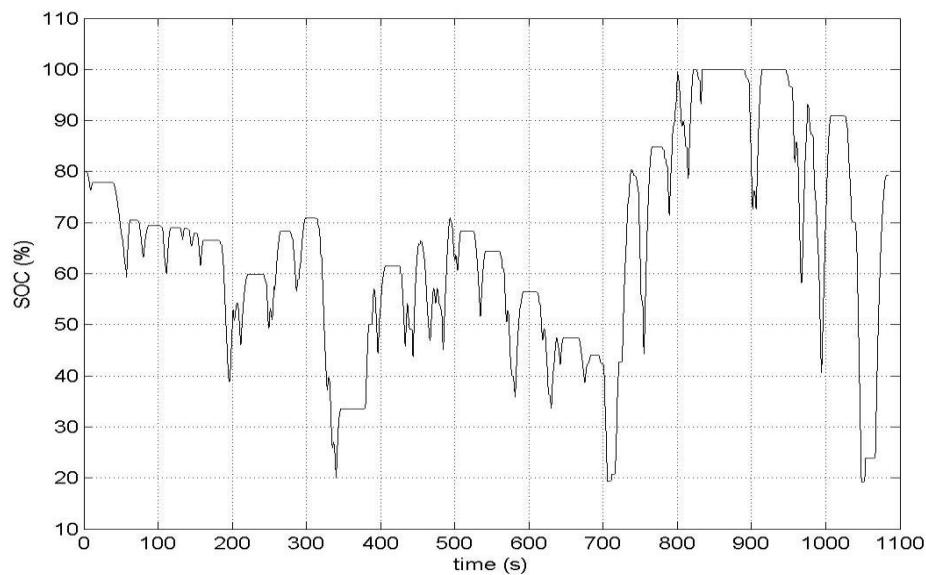
برای تعیین مصرف سوخت دقیق، لازم است سطح شارژ اولیه و نهایی آکومولاتور یکسان باشد. به این منظور شبیه سازی چند بار با سطوح شارژ اولیه متفاوت و در چند سیکل متوالی تکرار گردید که نتایج آن در جدول ۱۳ مشاهده می شود. مقدار نهایی مصرف سوخت ۵۱/۰ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر می باشد. نمودارهای نتایج شبیه سازی های انجام شده برای حالت سطح شارژ اولیه آکومولاتور ۸۰ درصد، به عنوان نمونه در شکل ۲۰ تا شکل ۲۳ نشان داده شده است. توجه شود که برای وضوح بیشتر نمودارها، نتایج مربوط به سرعت و گشتاور موتور احتراق داخلی و پمپ-موتور هیدرولیکی تنها برای ۲۰۰ ثانیه از یک سیکل نشان داده شده است.

جدول ۱۳ - نتایج تکرار شبیه سازی با سطح شارژ اولیه متفاوت برای تعیین دقیق مصرف سوخت در سیکل نورمبورگ

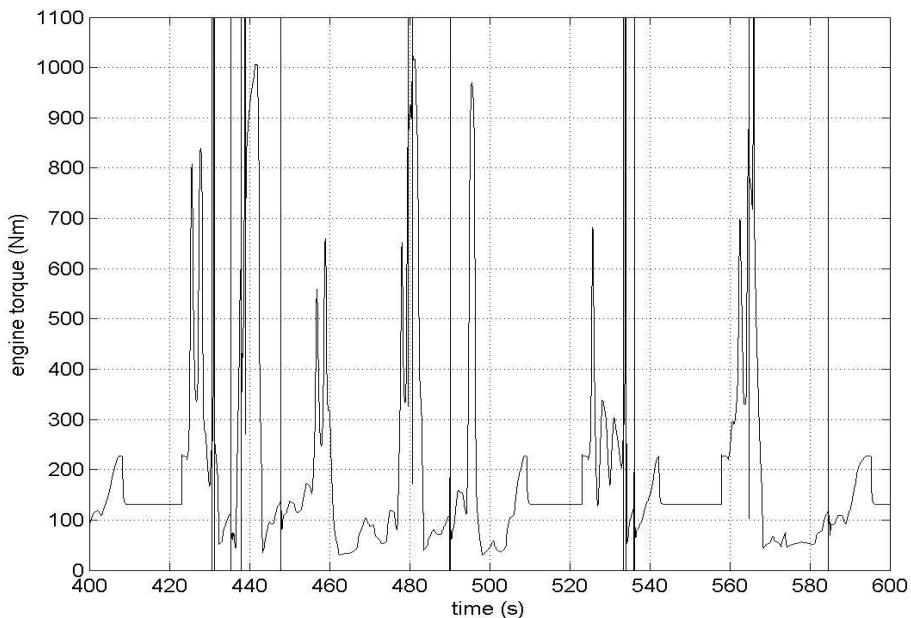
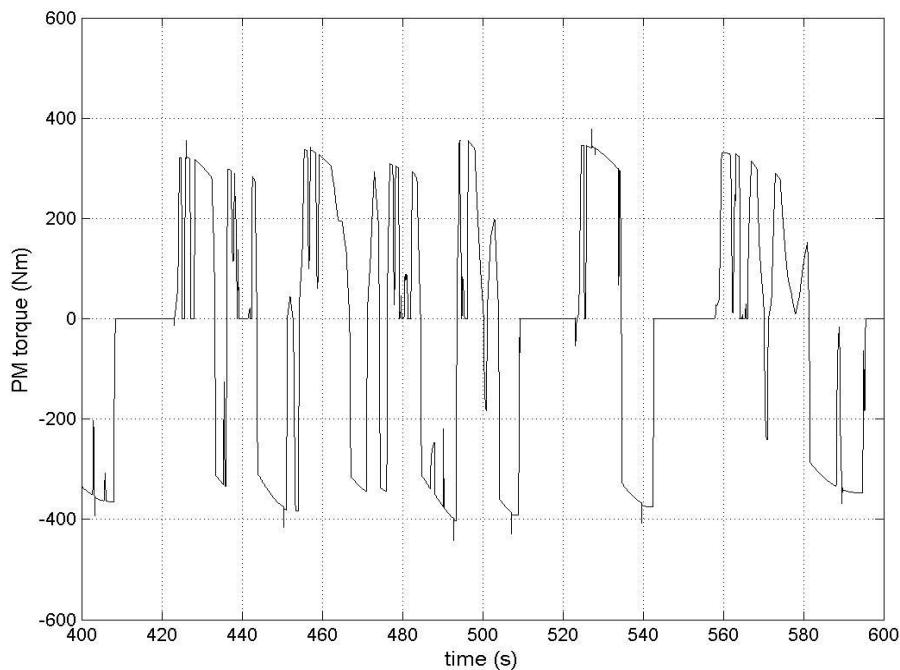
مصرف سوخت (لیتر در صد کیلومتر)	سطح شارژ نهایی (درصد)	سطح شارژ اولیه (درصد)
۴۹/۶	۸۰	۱۰۰
۵۰/۵	۸۰	۹۰
۵۱/۰	۸۰	۸۰



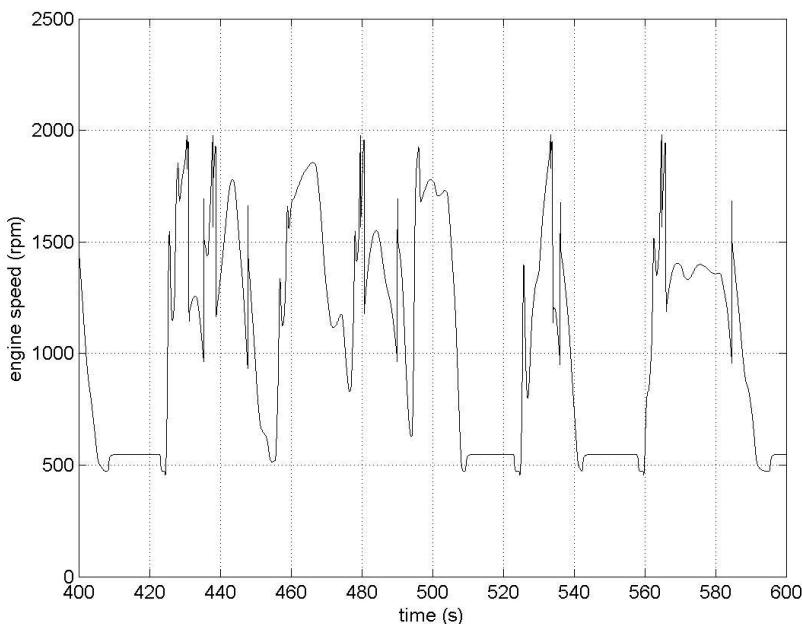
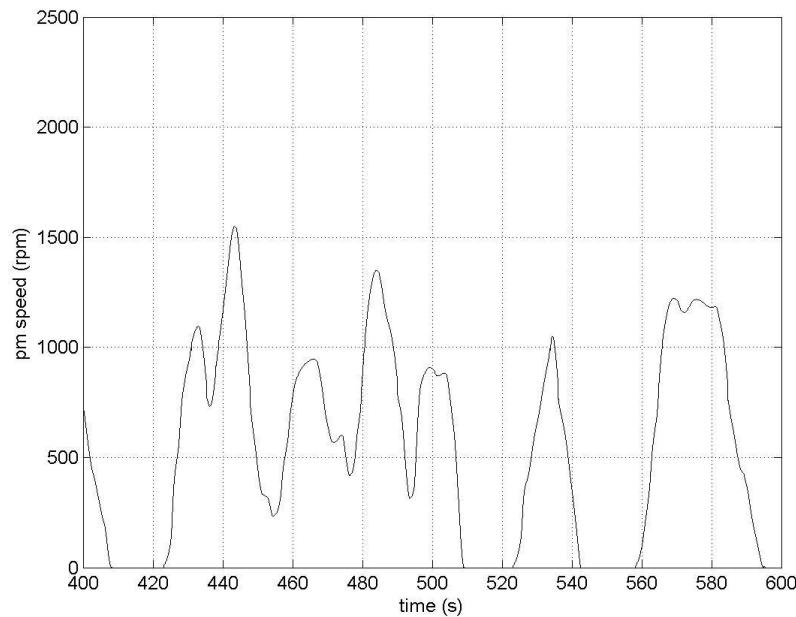
شکل ۲۰ - (به ترتیب از بالا به پایین) نمودار سرعت خودرو و خطای سرعت خودرو بر حسب زمان در یک سیکل نورمبورگ  
(شارژ اولیه ۸۰ درصد)



شکل ۲۱ - نمودار سطح شارژ آکومولاتور هیدرولیکی در یک سیکل حرکتی نورمبورگ (شارژ اولیه ۸۰ درصد)



شکل ۲۲-نمودار گشتاور تولیدشده توسط پمپ-موتور هیدرولیکی (شکل اول) و موتور احتراق داخلی (شکل دوم)  
در ۲۰۰ ثانیه از یک سیکل نورمبورگ (شارژ اولیه٪۸۰)



شکل ۲۳-نمودار سرعت پمپ-موتور هیدرولیکی (شکل اول) و موتور احتراق داخلی (شکل دوم) در ۲۰۰ ثانیه از یک سیکل نورمبورگ (شارژ اولیه %۸۰)



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## ۲ - شبیه سازی مصرف سوخت در سیکل تهران

در این بخش نتایج شبیه سازی مدل اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی در شش سیکل متوالی تهران ارائه شده است.

برخی مشخصات این سیکل به شرح زیر می باشد.

- حداکثر سرعت  $50/18$  کیلومتر بر ساعت

- حداکثر شتاب  $2/98$  متر بر مجدور ثانیه

- توان متوسط سیکل  $6/97$  کیلووات

- انرژی مصرفی سیکل  $3/49$  کیلووات ساعت

- زمان هر سیکل  $1800$  ثانیه

- مسافت هر سیکل  $4/81$  کیلومتر

همان طور که در مورد سیکل نورمبورگ اشاره شد، برای افزایش دقت و اعتبار نتایج شبیه سازی ها، شبیه سازی

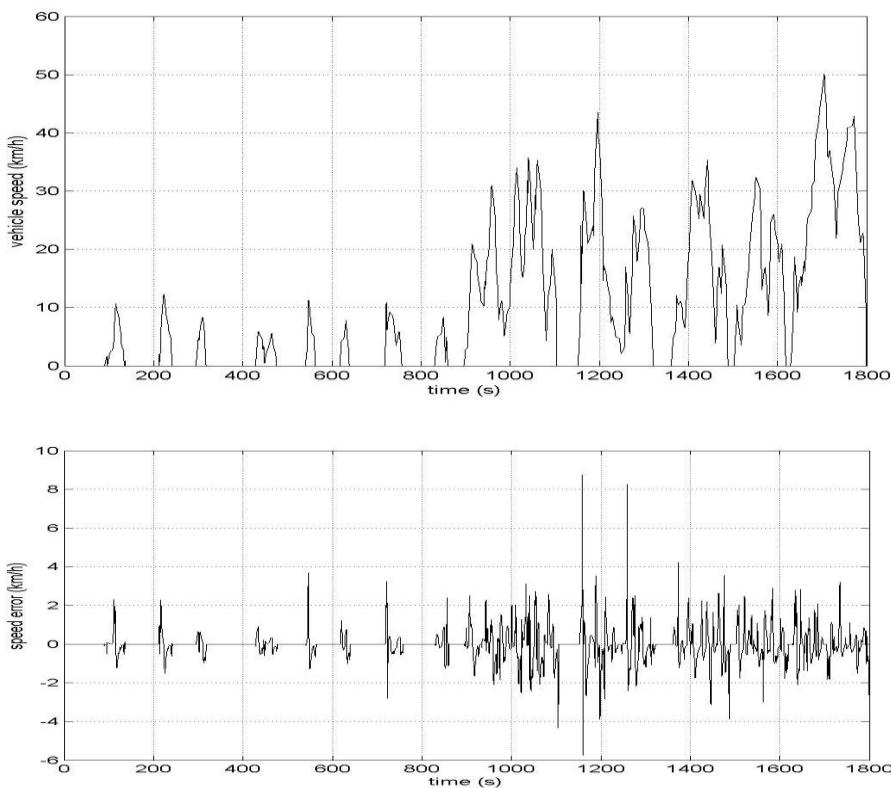
را چندبار با مقادیر مختلف سطح شارژ آکومولاتور انجام گرفته و نتایج در جدول ۸ ارائه شده است. مقدار نهایی

صرف سوخت  $46/6$  لیتر در  $100$  کیلومتر می باشد. همچنین نمودارهای نتایج شبیه سازی با مقدار سطح شارژ اولیه

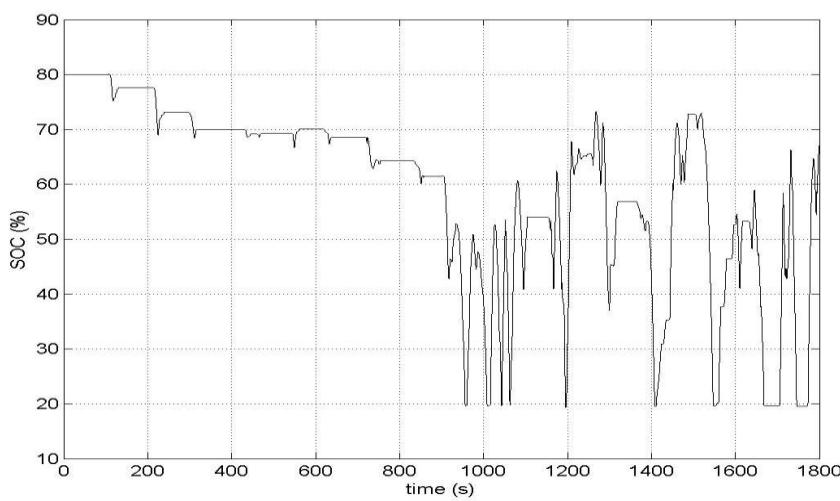
آکومولاتور  $80$  درصد به عنوان نمونه در شکل ۲۴ تا شکل ۲۷ قرار داده شده اند.

جدول ۱۴ - نتایج تکرار شبیه سازی با سطح شارژ اولیه متفاوت برای تعیین دقیق مصرف سوخت در سیکل تهران

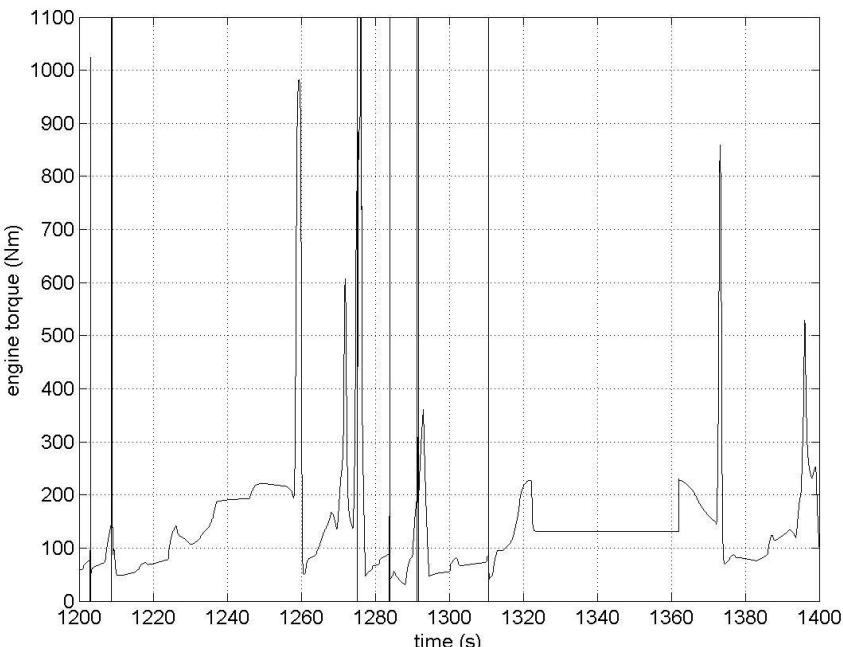
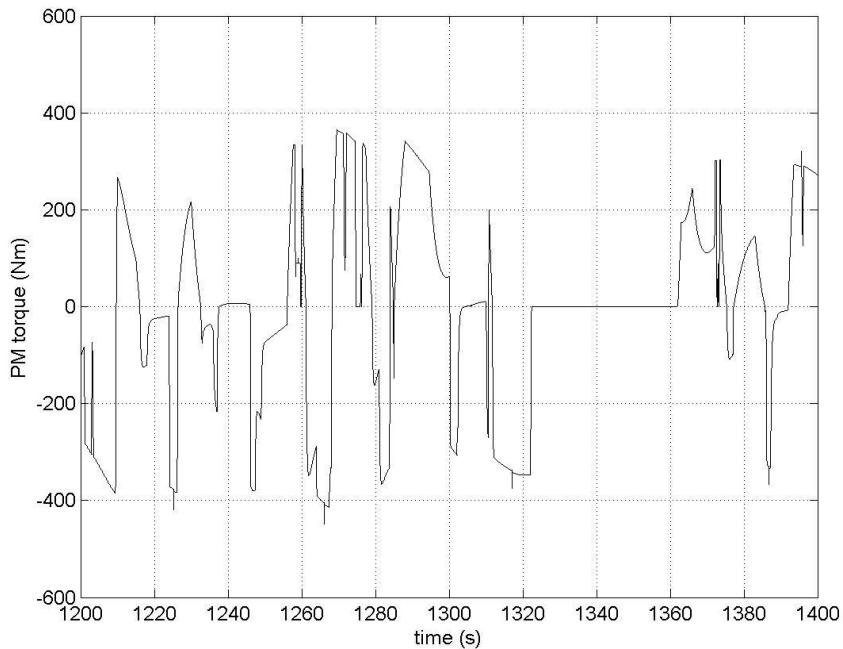
سطح شارژ اولیه (درصد)	سطح شارژ نهایی (درصد)	صرف سوخت (لیتر در صد کیلومتر)
۹۰	۶۷	$46/03$
۸۰	۶۷	$46/3$
۶۷	۶۷	$46/6$



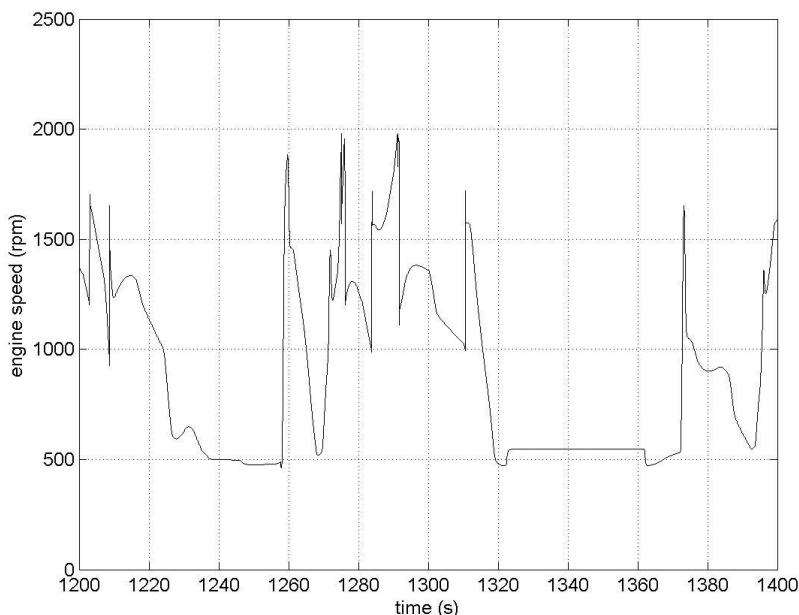
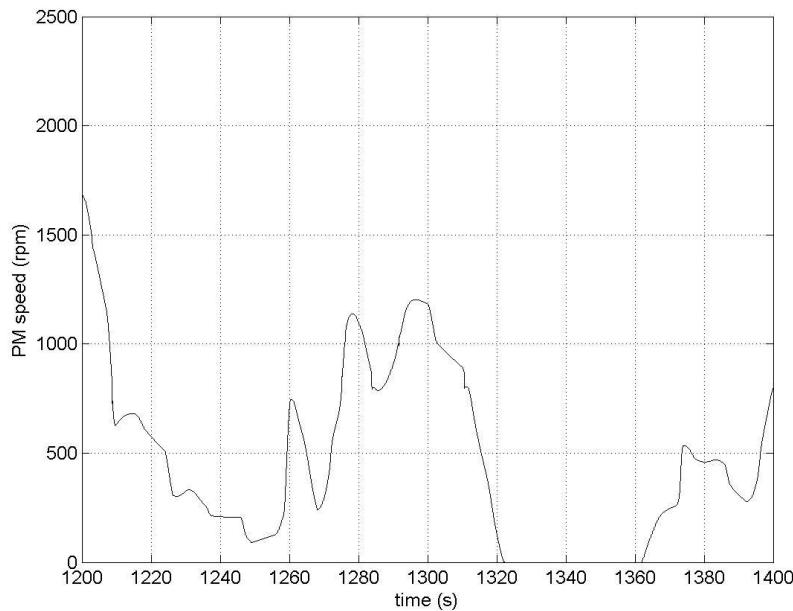
شکل ۲۴ - (به ترتیب از بالا به پایین) نمودار سرعت خودرو و خطای سرعت خودرو برحسب زمان در یک سیکل تهران (شارژ اولیه ۸۰ درصد)



شکل ۲۵ - نمودار تغییرات سطح شارژ آکومولاتورها در یک سیکل تهران (شارژ اولیه ۸۰ درصد)



شکل ۲۶- نمودار گشتاور تولیدشده توسط پمپ-موتور هیدرولیکی (شکل اول) و موتور احتراق داخلی (شکل دوم) در ۲۰۰ ثانیه از یک سیکل تهران (شارژ اولیه٪۸۰)



شکل ۲۷ - نمودار سرعت پمپ-موتور هیدرولیکی (شکل اول) و موتور احتراق داخلی (شکل دوم) در ۲۰۰ ثانیه از یک سیکل تهران (شارژ اولیه %۸۰)



### ۳-۲ شبیه‌سازی عملکرد در شیب‌پیمایی و شتاب‌گیری

برای بررسی عملکرد اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در این بخش عملکرد آن با اتوبوس معمولی مقایسه شده است. بدین منظور قابلیت‌های شیب‌پیمایی و شتاب‌گیری برای اتوبوس معمولی و اتوبوس هیبرید هیدرولیکی با تعداد مسافر یکسان (۷۰ مسافر ۷۰ کیلوگرمی) در جدول ۱۰ ارائه شده است. برای شبیه‌سازی قیدهای جدول ۱۵، سیگنال‌های موردنظر به عنوان سرعت مطلوب به مدل داده شد.

جدول ۱۵ - شرایط کارکرد و قیدهای مربوطه برای اتوبوس معمولی در حالت ایده‌آل

اتوبوس هیبرید هیدرولیکی	اتوبوس معمولی	قید	شرایط کارکرد
۴,۶ ثانیه	۳,۳ ثانیه	۰ تا ۲۵ کیلومتر بر ساعت	شتاب‌گیری
۲,۴ ثانیه	۲,۵ ثانیه	۰ تا ۳۵ کیلومتر بر ساعت	
۱,۲ ثانیه	۱,۴ ثانیه	۰ تا ۳۵ کیلومتر بر ساعت	
۱,۱ ثانیه	۱,۳ ثانیه	۰ تا ۴۴ کیلومتر بر ساعت	
۱۸,۳ ثانیه	۱۷,۸ ثانیه	۰ تا ۶۵ کیلومتر بر ساعت	
۷۶,۵ کیلومتر بر ساعت	۹۴,۵ کیلومتر بر ساعت	شیب ۴ درصد	شیب‌پیمایی
۵۱ کیلومتر بر ساعت	۸۰ کیلومتر بر ساعت	شیب ۷ درصد	
۳۹ کیلومتر بر ساعت	۵۰ کیلومتر بر ساعت	شیب ۱۰ درصد	
۲۱ کیلومتر بر ساعت	۳۵ کیلومتر بر ساعت	شیب ۱۴ درصد	



مرحله سوم - قسمت سوم

## مدل‌سازی و شبیه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در محیط فیدفوروارد

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## ۳ جمع‌بندی

نتایج نهایی شبیه‌سازی مدل اتوبوس هیبرید هیدرولیکی موازی با اعمال وزن مسافران در سیکل‌های تهران و نورمبورگ در جدول ۱۶ مشاهده می‌شود.

جدول ۱۶ - نتایج نهایی شبیه‌سازی‌های مربوط به مصرف سوخت اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی

درصد کاهش مصرف سوخت (%)	مصرف سوخت اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی (لیتر در ۱۰۰ کیلومتر)	مصرف سوخت اتوبوس غیرهیبرید (لیتر در ۱۰۰ کیلومتر)	حداکثر خطا (km/h)	نام سیکل
۳۵/۲	۴۶/۶	۷۱/۹	۸	تهران
۲۹/۸	۵۱/۰	۷۲/۷	۵	نورمبورگ

همان‌طور که در جدول ۱۶ مشاهده می‌شود اتوبوس هیبرید مدل شده مصرف سوخت کمتری نسبت به اتوبوس معمولی دارد. همچنین نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده به منظور تست عملکرد اتوبوس هیبرید (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی عملکرد شتاب‌گیری و شبیه‌سازی مطلوبی دارد و استانداردهای یک اتوبوس معمولی را برآورده می‌نماید.

فاز دوم

مرحله سوم – قسمت چهارم

مدل سازی و شبیه سازی

اتوبوس هیبرید فلاکس

در محیط فید فوروارد





## فهرست مطالب

۱	۱ مدل ریاضی اجزای اتوبوس هیبرید فلایویل
۲	۱-۱ فلایویل
۲	۱-۱-۱ تلفات فلایویل
۱۲	۱-۲ سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته
۱۴	۱-۲-۱ تلفات سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته
۱۵	۱-۳ سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت
۱۸	۲ مدل سازی
۲۰	۱-۲ فلایویل
۲۱	۱-۲-۲ سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت
۲۳	۱-۲-۳ کوپلینگ
۲۴	۳ شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلایویل
۲۴	۳-۱ سیکل رانندگی نورمیرگ
۳۲	۳-۲ سیکل رانندگی تهران
۴۰	۴ بهینه سازی ممان اینرسی فلایویل به کمک مدل فیدفوروارد





## مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلایویل در محیط فیدفوروارد

مدل سازی اتوبوس هیبرید فلایویل ابزار مناسبی برای انجام طراحی با دقت بالا (نزدیک به بهینه) در کوتاه ترین زمان و کمترین زمینه برای طراح فراهم می کند. همچنین اگر این مدل سازی در محیط فیدفوروارد صورت بگیرد، امکان تدوین استراتژی کنترل مرکزی خودروی هیبرید و کنترلرهای محلی اجزای هیبرید را با کیفیت مناسب به وجود می آید.

در این بخش ابتدا مدل ریاضی اجزای اتوبوس هیبرید فلایویل معرفی می شود. این روابط ریاضی معادل رفتار دینامیکی اجزای خودرو می باشد. سپس مدل سازی پیاده شده در محیط فیدفوروارد MATLAB/Simulink تشریح می شود. در ادامه و به کمک مدل فیدفوروارد تدوین شده، ممان اینرسی مطلوب فلایویل محاسبه می شود. در انتها نیز برخی از نتایج شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلایویل در سیکل های رانندگی مختلف با عملکرد اتوبوس متعارف مقایسه می شود.

### ۱ مدل ریاضی اجزای اتوبوس هیبرید فلایویل

در این بخش به تشریح مدل ریاضی اجزای اصلی اتوبوس هیبرید فلایویل پرداخته می شود. این اجزا عبارتند از:

- فلاپلایویل
- سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته (CVT)
- سیستم انتقال قدرت با ضربیب دنده بی نهایت (IVT)



## ۱-۱ فلایویل

چرخ دوار یا فلایویل<sup>۱</sup> یک استوانه محرک دوار است که برای ذخیره انرژی مکانیکی از آن استفاده می شود. با توجه به رابطه انرژی جنبشی<sup>۲</sup> که به صورت رابطه (۱) تعریف می شود، برای ذخیره بیشترین انرژی می بایست از فلایویلی که دارای ممان اینرسی<sup>۳</sup> (I) زیادی می باشد و توانایی تحمل سرعت های بالا را دارد استفاده نمود. با افزایش ممان اینرسی، انرژی ذخیره شده به صورت خطی و با افزایش بیشترین حد سرعت زاویه ای<sup>۴</sup> (ω) به صورت مجدوری (مرتبه دو) این مقدار انرژی افزایش پیدا می کند.

$$P = I\omega^2 / 2 \quad (1)$$

تنها معادله ای که برای این بخش لازم است معادله دیفرانسیلی انرژی است که در رابطه (۲) آمده است.

$$T = I\omega \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

که اعمال گشتاور (T) به فلایویل باعث تغییر انرژی جنبشی و درنتیجه سرعت زاویه ای آن می شود. اگر مقدار گشتاور اعمالی منفی باشد، باعث کم شدن انرژی و درنتیجه کاهش سرعت می شود. اگر مقدار گشتاور مثبت باشد، باعث افزایش سرعت فلایویل می شود. با توجه به اینکه برای هر فلایویل یک مقدار حداکثری سرعت تعريف می شود، می بایست با استفاده از سیستم کنترلی از زیاد شدن بیش از حد سرعت زاویه ای فلایویل جلوگیری شود. از طرف دیگر، نباید سرعت فلایویل از یک حد کمتر شود. بنابراین با کاهش سرعت از یک حد مشخص، سیستم کنترلی می بایست فلایویل را از مدار جدا کند و در موقعیت مناسب که فلایویل امکان جذب انرژی را دارد است، دوباره به مدار باز گردداند.

### ۱-۱-۱ تلفات فلایویل

تلفات فلایویل شامل دو بخش عمده زیر می باشد که در ادامه معرفی می شود:

<sup>1</sup> Flywheel

<sup>2</sup> Kinetic Energy

<sup>3</sup> Moment of Inertia

<sup>4</sup> Angular Velocity



### مرحله سوم - قسمت چهارم

### مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلایویل در محیط فیدفوروارد



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

۱- تلفات یاتاقان

۲- تلفات آیرودینامیکی

#### • تلفات یاتاقان

تلفات یاتاقان ناشی از حرکت محور درون یاتاقان‌ها<sup>۱</sup> می‌باشد. به علت وزنی که خود فلایویل دارد، نیروی شعاعی به یاتاقان‌های نگهدارندهٔ خود وارد می‌کند و با حرکت دورانی فلایویل نیروی اصطکاکی به یاتاقان‌ها اعمال می‌شود. ضرب این نیروی اصطکاکی در سرعت زاویه‌ای محور<sup>۲</sup> باعث ایجاد تلفات شده و درنتیجهٔ آن انرژی فلایویل کاهش می‌یابد.

فرضیاتی که برای به دست آوردن گشتاور اتلافی لازم می‌باشد در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: فرضیات محاسبه گشتاور اتلافی یاتاقان‌های فلایویل

4205 ATN9		نوع یاتاقان
25 (mm)	d	
52 (mm)	D	
38.5 (mm)	d <sub>m</sub>	
70°C		دمای کاری یاتاقان
70°C		دمای مرجع برای روان‌کاری
Grease		نوع روان‌کاری
2×300 (N)		نیروی شعاعی
0 (N)		نیروی محوری
0.05		$\mu_{EHL}$
6e-8		K <sub>rs</sub>

<sup>1</sup> Bearings

<sup>2</sup> Shaft



### مرحله سوم - قسمت چهارم

### مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلایویل در محیط فیدفوروارد



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

با داشتن فرضیات جدول ۱ برای دو یاتاقان نگهدارنده‌ی یک فلایویل با جرم ۵۰ کیلوگرم که دارای ممان اینرسی ۱ کیلوگرم در میلی‌متر مربع و شعاع دوران<sup>۱</sup> ۰/۱ متر، می‌توان (با استفاده از جداول محاسبات تلفات داخل یاتاقان‌ها در سایت SKF، با عنوان Frictional moment - power loss) برای سرعت‌های زاویه‌ای متفاوت مقادیر گشتاور مقاوم را به دست آورد. با استفاده از مقادیری که در جدول ۱ آورده شده است، می‌توان یک جدول جستجو<sup>۲</sup> در مدل مربوط به فلایویل در محیط MATLAB/Simulink پیاده‌سازی کرد که برای هر سرعت زاویه‌ای، مقدار گشتاور اتلافی محاسبه شود. نمونه استفاده شده این جدول جستجو در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: داده‌های جدول جستجو برای محاسبه گشتاور اتلافی یاتاقان فلایویل

$\omega$ (rad/s)	N(rpm)	T(N.mm)
200	1909.859	7.59
400	3819.719	8.71
600	5729.578	9.5
800	7639.437	10.1
1000	9549.297	10.6
1200	11459.16	11
1400	13369.02	11.4
1600	15278.87	11.7
1800	17188.73	11.9
2000	19098.59	12.2
2200	21008.45	12.4
2400	22918.31	12.5
2500	23873.24	12.6

<sup>1</sup> Radius of Gyration

<sup>2</sup> Lookup Table



## • تلفات آیرودینامیکی

تلفات آیرودینامیکی ناشی از حرکت دورانی فلایویل درون محفظه فشار پایین آن می باشد. برای محاسبه این تلفات می بایست تلفات ناشی از دوران را در دو قسمت متفاوت محاسبه کرد:

۱- تلفات روی قسمت بیرونی فلایویل، در بیشترین شعاع

۲- تلفات روی دو طرف فلایویل، از شعاع صفر تا بیشترین شعاع

در نهایت با محاسبه هر کدام از مقادیر بالا، مقدار کل تلفات آیرودینامیکی از جمع دو مقدار بالا به دست می آید.

### تلفات آیرودینامیکی روی قسمت بیرونی فلایویل

این نوع اتلاف به علت وجود اختلاف سرعتی که بین دیواره داخلی نگهدارنده فلایویل (با سرعت صفر) با قسمت بیرونی فلایویل (با سرعت  $R \times \omega$ ) وجود دارد، باعث ایجاد جریان هوایی بین این دو صفحه می شود. این جریان هوای باعث ایجاد نیروی برشی<sup>۱</sup> و گشتاور تلف کننده می شود. مقدار این گشتاور با توجه به شرایط فلایویل متفاوت است. با تعریف عدد بی بعد<sup>۲</sup> رینولدز<sup>۳</sup> (رابطه (۳))، می توان مقدار گشتاور را براساس مقدار عدد رینولدز ( $Re_c$ ) آن طبقه بندی و محاسبه نمود. با ضرب گشتاور اتلافی در مقدار سرعت زاویه ای محور، توان تلف شده فلایویل به دست می آید.

$$Re_c = \frac{\omega \cdot R \cdot t}{v} \quad (3)$$

که در آن  $R$  شعاع فلایویل،  $t$  طول فلایویل، و  $v$  گران روی سینماتیکی<sup>۴</sup> می باشد.

<sup>1</sup> Shear Force

<sup>2</sup> Dimensionless

<sup>3</sup> Reynolds Number

<sup>4</sup> Kinematic Viscosity



عدد رینولدز (رابطه (۳)) تابعی از شکل هندسی محیط، سرعت زاویه ای و گران روی هوای درون محفظه فلایویل می باشد. براساس این عدد رژیم های جریانی مختلف وجود دارند. براساس نوع رژیم حاکم مقدار گشتاور اتلافی نیز متفاوت خواهد بود.

برای تلفات بین دیواره و قسمت بیرونی استوانه فلایویل چهار رژیم مختلف به صورت زیر تعریف می شود.

- **رژیم I:** جریان کاملاً آرام<sup>۱</sup> است و لایه مرزی<sup>۲</sup> دو صفحه هم دیگر را پوشش داده اند. به همین علت جمع دو لایه مرزی می باشد بزرگتر یا مساوی فاصله دو صفحه باشد. به علت کوچک بودن نسبی فاصله بین دو صفحه به ابعاد چرخ، این نوع رژیم مانند جریان صفحه کوئت<sup>۳</sup> می باشد.
- **رژیم II:** جریان کاملاً آرام است و در این قسمت جمع لایه مرزی های دو صفحه از فاصله دو صفحه کوچکتر است. درنتیجه یک قسمت مرکزی به وجود می آید که فضای بین دو لایه مرزی را پر می کند. جریان در این قسمت به صورت خطی می باشد. با افزایش عدد رینولدز لایه های مرزی نیز بزرگتر می شوند.
- **رژیم III:** جریان مغشوش<sup>۴</sup> است و دو لایه مرزی هم دیگر را پوشش می دهند. درنتیجه جمع دو لایه مرزی باید بزرگتر از فاصله دو صفحه باشد.
- **رژیم IV:** جریان کاملاً مغشوش است و دو لایه مرزی از هم دیگر جدا هستند.

برای محاسبه گشتاور تلف شده یک عدد رینولدز بحرانی (رابطه (۴)) تعریف می شود که رژیم های مختلف جریان در محفظه فلایویل براساس آن به صورت چهار حالت تقسیم بندی می شوند.

$$\text{Re}_{c,crit} = \left[ \frac{\omega \cdot R \cdot t}{\nu} \right] \simeq 41.2 \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{t}{R}}{\frac{t}{R}}} \quad (4)$$

<sup>1</sup> Laminar

<sup>2</sup> Boundary Layer

<sup>3</sup> Couette Flow

<sup>4</sup> Turbulent Flow

$Re_{c,crit} < Re_c$

جريان آرام صفحه کوئت

$400 < Re_c < Re_{c,crit}$

جريان آرام به همراه ورتکس های<sup>۱</sup> تیلور

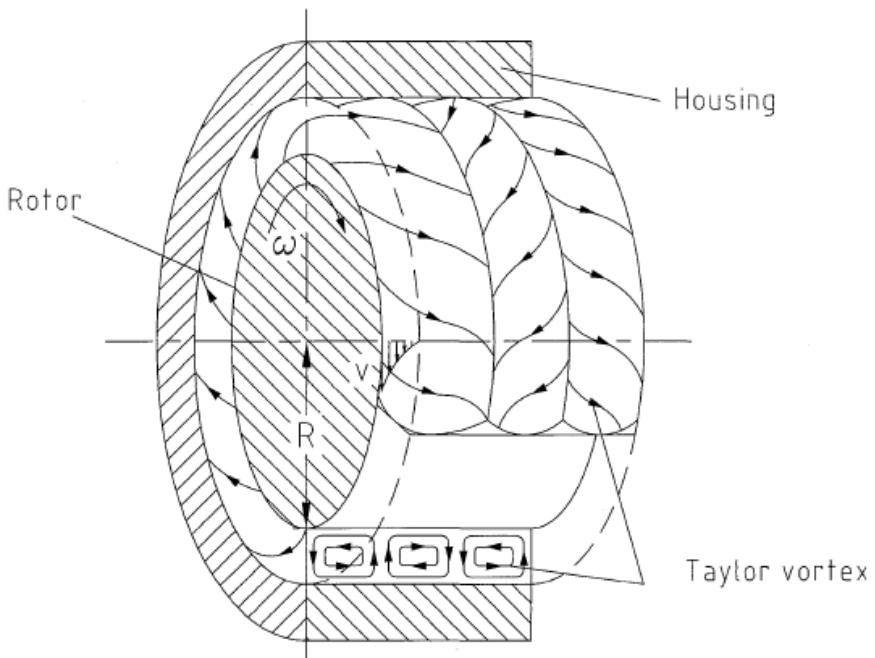
$10^4 < Re_c < 400$

جريان مغشوش به همراه ورتکس های تیلور

$10^4 > Re_c$

جريان کاملاً مغشوش

در شکل ۱ نوع جريان به وجود آمده بين دو صفحه به همراه ورتکس های تیلور نشان داده شده است.



شکل ۱: ورتکس های ایجاد شده در محفظه فلایویل

حال با تعریف ضریب  $C_{circ}$  در رابطه (۵) معیاری برای بی بعد کردن تنش تلف شده به دست می آید.

<sup>۱</sup> Vortices



$$C_{circ} = \frac{\tau_{circ}}{\frac{1}{2} \rho \cdot v^2} \quad (5)$$

برای رینولدز های مختلف، مقدار ضریب  $C_{circ}$  به صورت جدول ۳ محاسبه می شود.

جدول ۳: ضرایب  $C_{circ}$  برای رژیم های جریانی مختلف

Regime $k$	Circumference torque coefficient	Application range <sup>۱</sup>
I	$C_{circ} = 3.6 \cdot \left( \frac{t}{R} \right)^{-0.25} \cdot \frac{\left( 1 + \frac{t}{R} \right)^2}{2 + \frac{t}{R}} \cdot Re_c^{-1}$	$Re_c < Re_{c,crit}$
II	$C_{circ} = 10^{const \cdot log(Re_c) + const_2}$	$Re_{c,crit} < Re_c < 400$
III	$C_{circ} = 0.920 \cdot \left( \frac{t}{R} \cdot \left( 1 + \frac{t}{R} \right) \right)^{0.25} \cdot Re_c^{-0.5}$	$\max(Re_{c,crit}, 400) < Re_c < 10^4$
IV	$C_{circ} = 0.146 \cdot \left( \frac{t}{R} \cdot \left( 1 + \frac{t}{R} \right) \right)^{0.25} \cdot Re_c^{-0.3}$	$Re_c > 10^4$

که مقدار ضرایب  $Const1$  و  $Const2$  در جدول ۳ به صورت رابطه (۶) محاسبه می شوند.

$$const1 = \frac{\log(C_{circ}(Re_{c,400})) - \log(C_{circ}(Re_{c,circ}))}{\log(Re_{c,400}) - \log(Re_{c,circ})} \quad (6)$$

$$const2 = \log(C_{circ}(Re_{c,400})) - \frac{\log(C_{circ}(Re_{c,400})) - \log(C_{circ}(Re_{c,circ}))}{\log(Re_{c,400}) - \log(Re_{c,circ})} \cdot \log(Re_{c,400})$$

با انتگرال گیری از مقادیر اشاره شده در جدول ۳ (که نشان دهنده گشتاورهای برشی بی بعد می باشند) روی سطح بیرونی فلایویل و اعمال شرایط کاری فلایویل (که برای بی بعد کردن تنش از آن استفاده شد)، مقدار گشتاور تلف شده به صورت تابعی از هندسه فلایویل، فشار هوا، دمای هوا و سرعت زاویه ای فلایویل از رابطه (۷) محاسبه می گردد.



$$T_{circ,k} = k_k \cdot H_k \left( \frac{h}{R} \right) \cdot \Xi_k \left( \frac{t}{R} \right) \cdot \Pi_k(p_{air}) \cdot \Theta_k(\vartheta_{air}) \cdot \Gamma_k(R) \cdot \Omega_k(\omega) \quad (7)$$

که ضرایب موردنیاز در رابطه (7) در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: ضرایب معادله گشتاور اتلافی

$k$	$k_k$	$H_k \left( \frac{h}{R} \right)$	$\Xi_k \left( \frac{t}{R} \right)$	$\Pi_k(p_{air})$	$\Theta_k(\vartheta_{air})$	$\Gamma_k(R)$	$\Omega_k(\omega)$
I	$8.44 \cdot 10^{-6}$	$\frac{h}{R}$	$\left( \frac{t}{R} \right)^{-1.25} \cdot \frac{\left( 1 + \frac{t}{R} \right)^2}{2 + \frac{t}{R}}$	1	$\vartheta_{air}^{0.5} \cdot \left( 1 + \frac{113}{\vartheta_{air}} \right)^{-1}$	$R^3$	$\omega$
II					$5.47 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{h}{R} \cdot p_{air} \cdot \vartheta_{air}^{-1} \cdot \omega^2 \cdot R^5 \cdot 10^{const1 \cdot log(Re_c) + const2}$		
III	$1.04 \cdot 10^{-4}$	$\frac{h}{R}$	$\left( \frac{t}{R} \right)^{-0.25} \cdot \left( 1 + \frac{t}{R} \right)^{0.25}$	$p_{air}^{0.5}$	$\vartheta_{air}^{-0.25} \cdot \left( 1 + \frac{113}{\vartheta_{air}} \right)^{-0.5}$	$R^4$	$\omega^{1.5}$
IV	$7.80 \cdot 10^{-5}$	$\frac{h}{R}$	$\left( \frac{t}{R} \right)^{-0.05} \cdot \left( 1 + \frac{t}{R} \right)^{0.25}$	$p_{air}^{0.7}$	$\vartheta_{air}^{-0.55} \cdot \left( 1 + \frac{113}{\vartheta_{air}} \right)^{-0.3}$	$R^{4.4}$	$\omega^{1.7}$

### تلفات آیرودینامیکی روی دو طرف فلایویل

با داشتن مقادیر مقدارگران روی هوای بین دو صفحه، سرعت زاویه‌ای و شعاع چرخ، عدد رینولدز برای جریان به دست می‌آید. براساس این عدد رژیم‌های جریانی مختلفی حاکم می‌شوند و براساس آنها مقدار گشتاور اتلافی نیز متفاوت خواهد بود.

$$Re_s = \frac{\omega \cdot R^2}{v} \quad (8)$$

با توجه به شکل ۲ چهار نوع رژیم ممکن است به وجود بیاید.

**رژیم I:** جریان کاملاً آرام است و لایه مرزی دو صفحه همدیگر را پوشش داده اند. به همین علت

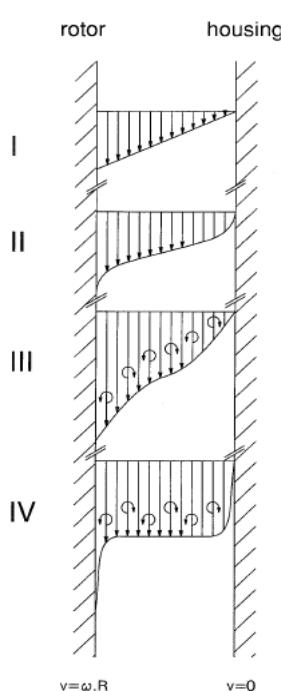
جمع دو لایه مرزی می باشد بزرگتر یا مساوی فاصله دو صفحه باشد. به علت کوچک بودن نسبی فاصله بین دو صفحه به ابعاد چرخ، این نوع رژیم مانند جریان صفحه کوئت می باشد.

**رژیم II:** جریان کاملاً آرام است. در این رژیم جمع لایه های مرزی دو صفحه از فاصله دو صفحه کوچک تر است. درنتیجه یک قسمت مرکزی به وجود می آید که فضای بین دو لایه مرزی را پر می کند. جریان در این قسمت به صورت خطی می باشد. با افزایش عدد رینولدز لایه های مرزی نیز بزرگتر می شوند.

**رژیم III:** جریان مغشوش است و دو لایه مرزی هم دیگر را پوشش می دهند. درنتیجه جمع دو لایه

مرزی باید بزرگتر از فاصله دو صفحه باشد.

**رژیم IV:** جریان کاملاً مغشوش است و دو لایه مرزی از هم دیگر جدا هستند.



شکل ۲: رژیم های جریانی مختلف بین دیواره متحرک و دیواره ثابت



مانند قسمت قبل برای هر کدام از این نوع رژیم ها می توان یک معادله برای ضریب C (عدد بی بعد گشتاور برشی) به دست آورد. در جدول ۵ برای هر یک از رژیم های جریان رابطه ای پیشنهاد شده است.

جدول ۵: ضریب C برای رژیم های جریانی مختلف

m	Side plane friction coefficient	Application range'	$Re_{s, m \rightarrow m+1}$
I	$C_{side} = 2\pi \cdot \left(\frac{s}{R}\right)^{-1} \cdot Re_s^{-1}$	$0 < Re_s < Re_{s,I \rightarrow II}$	$Re_{s,I \rightarrow II} = 2.9 \cdot \left(\frac{s}{R}\right)^{-\frac{11}{5}}$
II	$C_{side} = 3.7 \cdot \left(\frac{s}{R}\right)^{\frac{1}{10}} \cdot Re_s^{-\frac{1}{2}}$	$Re_{s,I \rightarrow II} < Re_s < Re_{s,II \rightarrow III}$	$Re_{s,II \rightarrow III} =$
III	$C_{side} = 8.0 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{s}{R}\right)^{-\frac{1}{6}} \cdot Re_s^{-\frac{1}{4}}$	$Re_{s,II \rightarrow III} < Re_s < Re_{s,III \rightarrow IV}$	$4.6 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{s}{R}\right)^{\frac{16}{15}}$
IV	$C_{side} = 1.0 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{s}{R}\right)^{\frac{1}{10}} \cdot Re_s^{-\frac{1}{5}}$	$Re_s > Re_{s,III \rightarrow IV}$	$Re_{s,III \rightarrow IV} =$ $7.8 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{s}{R}\right)^{-\frac{16}{3}}$

با انتگرال گیری از مقادیر جدول ۵ و اعمال چگالی و گرانروی هوای داخل فلایویل (جهت تبدیل گشتاور بی بعد به گشتاور)، رابطه کلی (۹) به دست می آید.

$$T_{circ,m} = k_m \cdot \Xi_m \left( \frac{s}{R} \right) \cdot \Pi_m(p_{air}) \cdot \Theta_m(\vartheta_{air}) \cdot \Gamma_m(R) \cdot \Omega_m(\omega) \quad (9)$$

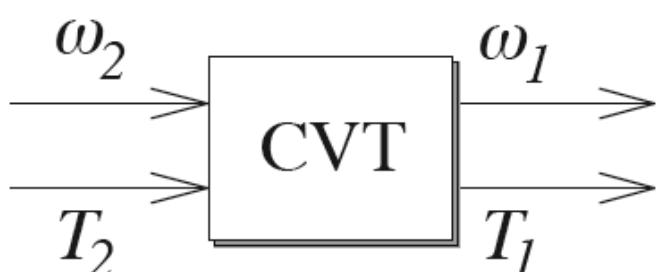
مقادیر ضرایب رابطه (۹) برای رژیم های مختلف در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶: ضرایب معادله گشتاور اقلافی

$m$	$k_m$	$\Xi_m\left(\frac{s}{R}\right)$	$\Pi_m(p_{air})$	$\Theta_m(\vartheta_{air})$	$\Gamma_m(R)$	$\Omega_m(\omega)$
I	$1.49 \cdot 10^{-6}$	$\left(\frac{s}{R}\right)^{-1}$	1	$\vartheta_{air}^{0.5} \cdot \left(1 + \frac{113}{\vartheta_{air}}\right)^{-1}$	$R^3$	$\omega$
II	$1.33 \cdot 10^{-4}$	$\left(\frac{s}{R}\right)^{0.1}$	$p_{air}^{0.5}$	$\vartheta_{air}^{-0.25} \cdot \left(1 + \frac{113}{\vartheta_{air}}\right)^{-0.5}$	$R^4$	$\omega^{1.5}$
III	$2.01 \cdot 10^{-5}$	$\left(\frac{s}{R}\right)^{-0.25}$	$p_{air}^{0.75}$	$\vartheta_{air}^{-0.625} \cdot \left(1 + \frac{113}{\vartheta_{air}}\right)^{-0.25}$	$R^{4.5}$	$\omega^{1.75}$
IV	$3.77 \cdot 10^{-6}$	$\left(\frac{s}{R}\right)^{0.1}$	$p_{air}^{0.8}$	$\vartheta_{air}^{-0.7} \cdot \left(1 + \frac{113}{\vartheta_{air}}\right)^{-0.2}$	$R^{4.6}$	$\omega^{1.8}$

## ۲-۱ سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته

سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته<sup>۱</sup> یا CVT (شکل ۳) جعبه دنده‌ای است که نسبت دندۀ آن به صورت پیوسته قابلیت تغییر دارد.



شکل ۳: شکل شماتیک جعبه دندۀ پیوسته

<sup>1</sup> Continuously Variable Transmission



تعریف نسبت دندن برای CVT به صورت نسبت سرعت زاویه‌ای ورودی به خروجی تعریف می‌شود ( $R(t)$ )

(رابطه (۱۰)). اندیس ۱ به معنای طرف فلایویل و اندیس ۲ طرف خروجی به چرخ‌ها می‌باشد.

$$\omega_1(t) = R(t) \cdot \omega_2(t) \quad (10)$$

در مدل سازی ارائه شده، سرعت‌های زاویه‌ای دو سر CVT معلوم فرض می‌شوند. یکی سرعت زاویه‌ای فلایویل است که هر لحظه مشخص می‌باشد و دیگری سرعت زاویه‌ای سمت چرخ‌ها می‌باشد که آن نیز تابعی از سرعت چرخ‌ها است. حال برای تغییر سرعت لازم، گشتاورهای لازم بدست می‌آید.

برای اعمال گشتاور و تغییر در سیستم تنها وسیله تغییر نسبت دندن است. با استفاده از تعریف اولیه نسبت دندن و مشتق گرفتن از رابطه (۱۰) بر حسب زمان، رابطه (۱۱) به دست می‌آید. این رابطه تنها راه برای اعمال تغییرات به سیستم است. در واقع سیستم کنترلی نسبت دندن را برای سرعت گرفتن یا کاهش سرعت تغییر می‌دهد.

$$\begin{aligned} \omega_1 &= R(t) \cdot \omega_2 \\ d\omega_1 &= dR \cdot \omega_2 + R \cdot d\omega_2 \\ dR &= \frac{d\omega_1 - R \cdot d\omega_2}{\omega_2} \end{aligned} \quad (11)$$

هر کدام از پارامترهای رابطه (۱۱) در هر لحظه موجود است و چون روش حل به صورت گام‌های زمانی پیوسته می‌باشد. پس می‌توان از تمامی متغیرها مشتق گرفت و مقدار تغییرات دیفرانسیلی را در رابطه (۱۱) قرار داد.

در این قسمت برای به دست آوردن رابطه سرعت و گشتاور انتقالی از یک طرف به طرف دیگر فرض می‌شود که بازدهی CVT صد درصد است. پس انرژی انتقال داده شده ( $P$ ) از ورودی به خروجی تغییری نخواهد کرد (رابطه (۱۲)). در حالت بازدهی کامل، حاصل ضرب گشتاور در سرعت زاویه‌ای دو طرف با هم برابر است.



$$P_1 = P_2$$

$$T_1 \omega_1 = T_2 \omega_2$$

$$T_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} T_1 = R(t) \cdot T_1 \quad (12)$$

حال اگر بازدهی CVT برابر ۱۰۰٪ نباشد و مقدار بازدهی  $(t)$ <sup>۷</sup> فرض شود رابطه گشتاور به صورت رابطه

(۱۳) درخواهد آمد. ضریب بازدهی  $(t)$ <sup>۷</sup> یک عدد مثبت کوچکتر از یک است که می‌توان آن را به صورت تابعی از سرعت زاویه‌ای، نسبت دندن و گشتاور انتقالی فرض کرد. تنها تفاوت روابط (۱۲) و (۱۳) در مقدار ضریب بازدهی می‌باشد.

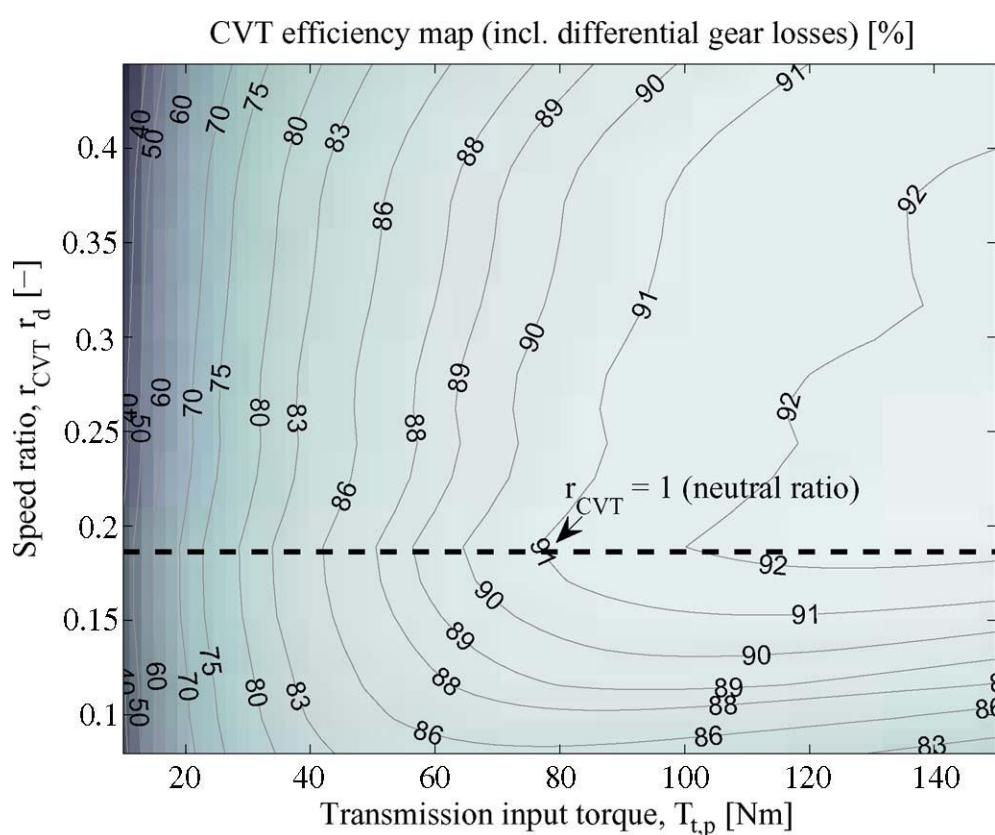
$$T_2 = v(t) \cdot (R(t) \cdot T_1) \quad (13)$$

که ضریب  $(t)$ <sup>۷</sup> مقداری کمتر از یک دارد. پس اگر در سمت چرخ‌ها مقدار گشتاور  $T_2$  لازم باشد، به اندازه‌ی  $RT_2/v$  (مقداری بزرگتر از  $T_2$ ) گشتاور منفی به فلایویل وارد می‌شود. بنابراین هرچه مقدار بازدهی بیشتر باشد، گشتاور اضافی کمتری به سمت فلایویل اعمال خواهد شد.

## ۱-۲-۱ تلفات سیستم انتقالی قدرت متغیر پیوسته

بازدهی CVT را می‌توان به صورت یک نگاشت برای تمامی گشتاورها و نسبت دندنهای درنظر گرفت. این قسمت، در واقع همان ضریب بازدهی  $(t)$ <sup>۷</sup> رابطه (۱۳) می‌باشد. تابعیت بازده نسبت به مقدار گشتاور و نسبت دندن را می‌توان به صورت جدول نگاشت یا کانتور<sup>۱</sup> نشان داد. در شکل ۴ یک نمونه کانتور بازدهی CVT در گشتاور و نسبت دندنهای متفاوت نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Contour



شکل ۴: کانتور بازدهی CVT در گشتاور و نسبت دندنهای مختلف

### ۳-۱ سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت

سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت<sup>۱</sup> یا IVT، یک سیستم انتقال قدرت شامل CVT است که نسبت دنده‌ی صفر نیز در گستره‌ی نسبت دنده‌های تحت پوشش آن قرار دارد. نسبت دنده‌ی صفر به این معناست که با وجود اتصال مستقیم، در یک طرف دوران وجود داشته باشد در حالی که محور طرف دیگر ساکن است.

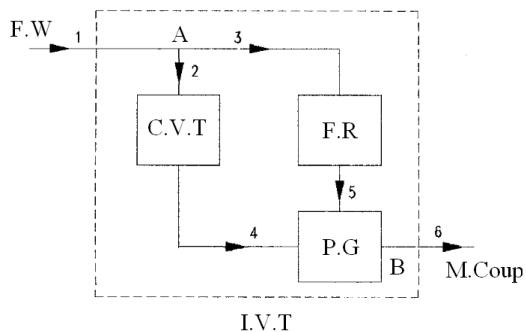
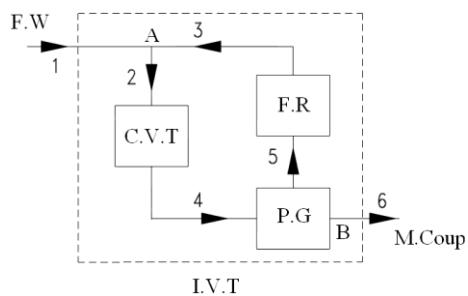
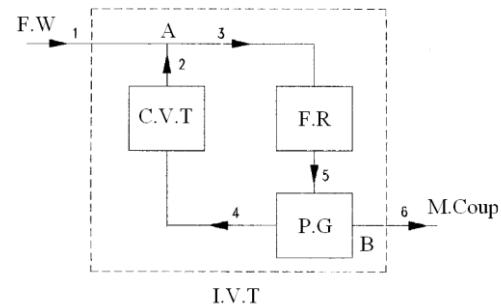
<sup>1</sup> Infinitely Variable Transmission (IVT)



در عمل می توان از ترکیب یک CVT، چرخ دنده خورشیدی و چرخ دنده ساده، یک IVT ایجاد کرد. در واقع با اتصال محور خروجی و ورودی یک سامانه‌ی تبدیل دور پیوسته به دو محور از سه محور چرخ دنده خورشیدی، تعداد درجات آزادی آن را به یک کاهش داد. در این حالت گستره ضربه دنده‌های CVT نیز جابجا می‌شود. اما روش‌های اتصال متفاوتی برای درگیر کردن یک سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته و سه محور چرخ دنده خورشیدی (رینگ، بازو و خورشید) وجود دارد. سه روش عمدۀ اتصال عبارتند از:

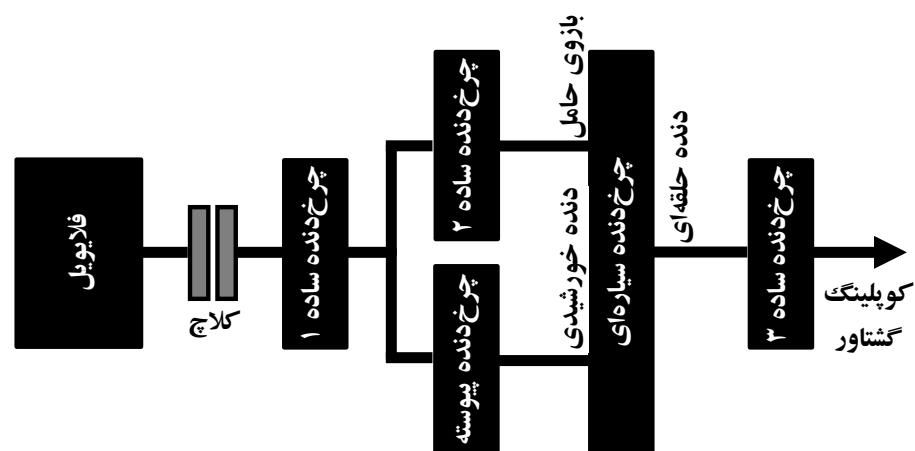
- ارتباط رینگ و بازو با CVT
- ارتباط رینگ و خورشید با CVT
- ارتباط بازو و خورشید با CVT

علاوه بر این سه روش، اگر جهت چرخش متفاوتی که می‌تواند برای رینگ، بازو و خورشید به وجود آید در نظر گرفته شود، تعداد حالات به شش عدد افزایش می‌یابد. در صورتی که مکان چرخ دنده ثابت نیز بتواند تغییر کند، ۱۲ حالت می‌تواند با در نظر گرفتن جریان توان به سه جریان شکل ۵ خلاصه گردد. از این بین با توجه به ملاحظات صورت گرفته، جریان توان اول مناسب است.



شکل ۵: جریان های توان در جعبه دنده IVT

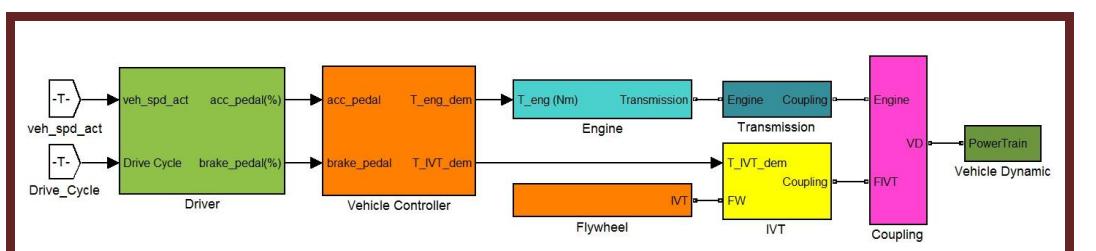
در نهایت، شمای کلی سیستم انتقال قدرت با ضربی دنده بی نهایت به صورت شکل ۶ خواهد بود.



شکل ۶: سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت

## ۲ مدل سازی

برای مدل سازی اتوبوس هیبرید فلایویل از نرم افزار Simulink محصول شرکت Mathworks است استفاده می شود. یکی از جعبه ابزارهای این نرم افزار جعبه ابزار Simscape می باشد که برای مدل سازی تمامی قسمت های مکانیکی استفاده شده است. این جعبه ابزار به صورت خود کار معادلات نیرو را برای قطعات مکانیکی حل نموده و سیگنال های کنترلی و نمایشی را با استفاده از سنسورها و عملگرها به بلوک های Simulink می فرستد. در شکل ۷ نمونه کل یک خودرو هیبرید فلایویل آورده شده است.



شکل ۷: دیاگرام بلوکی مدل فیدفوروارد اتوبوس هیبرید فلایویل در محیط MATLAB/Simulink



بلوک های اصلی مدل شکل ۷ به صورت زیر می باشند.

- سیکل رانندگی<sup>۱</sup>: این قسمت شامل سیکل رانندگی می باشد که قرار است خودرو براساس آن حرکت کند.
- رانده<sup>۲</sup>: رانده فشردگی پدال های گاز و ترمز را براساس سرعت موردنظر (سیکل رانندگی) و سرعت خودرو تعیین می کند.
- کنترلر<sup>۳</sup>: در این قسمت میزان فشردگی پدال ها تبدیل به گشتاور تولیدی مورد نیاز می شود. همچنین گشتاور مورد نیاز بین موتور احتراق داخلی، مجموعه فلایویل و ترمز مکانیکی توزیع می شود.
- موتور احتراق داخلی<sup>۴</sup>: این بلوک شامل مدل موتور احتراق داخلی می باشد. این بلوک گشتاور تولیدی را به صورت یک سیگنال فرمان از کنترلر خودروی هیبرید دریافت می کند. خروجی این بلوک میل لنگ موتور می باشد که به صورت simdriveline مدل شده است. خروجی موتور به بلوک انتقال قدرت منتقل می شود.
- انتقال قدرت<sup>۵</sup>: بلوک انتقال قدرت وظیفه انتقال توان از موتور به کوپلینگ را برعهده دارد. این بلوک شامل زیر بلوک های مبدل گشتاور و جعبه دنده می باشد.
- کوپلینگ: محورهای خروجی موتور و مجموعه فلایویل به بلوک کوپلینگ منتقل می شود. خروجی کوپلینگ به بلوک دینامیک خودرو می رود.
- فلایویل<sup>۶</sup>: بلوک فلایویل شامل یک ممان اینرسی و یک شفت می باشد. خروجی این بلوک شفت فلایویل است که به صورت simdriveline می باشد که به IVT می رود.

<sup>1</sup> Drive Cycle

<sup>2</sup> Driver

<sup>3</sup> Controller

<sup>4</sup> Engine

<sup>5</sup> Transmission

<sup>6</sup> Flywheel



• سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بینهایت: این بلوک شامل جعبه دنده متغیر پیوسته، جعبه دنده

خورشیدی و چرخ دنده ساده می باشد. براساس فرمان گشتاوری که از کنترلر خودرو به این بلوک

می رسد، نسبت دنده CVT تغییر می کند تا گشتاور مورد نظر کنترلر خودرو تأمین شود. فرمان

تغییرات نسبت دنده CVT توسط کنترلر محلی IVT تعیین می شود.

• دینامیک خودرو<sup>۱</sup>: در این قسمت که شامل اینرسی کل خودرو می باشد، شافت خروجی کوپلینگ به

اینرسی خودرو اعمال می شود. در اثر گشتاور ناشی از کوپلینگ موتور و فلایویل، گشتاور مقاوم

جاده ای (شامل اصطکاک چرخ و جاده، نیروی مقاوم هوا و نیروی ناشی از شیب جاده)، و گشتاور

منفی ترمز مکانیکی سرعت خودرو تغییر می کند.

اغلب بلوک های اصلی مدل خودروی هیبرید فلایویل که در بالا به آن اشاره شد، اغلب در خودرو

معارف نیز وجود دارد. در این قسمت تنها به توضیح بلوک های مجموعه فلایویل پرداخته می شود.

## ۱-۲ فلایویل

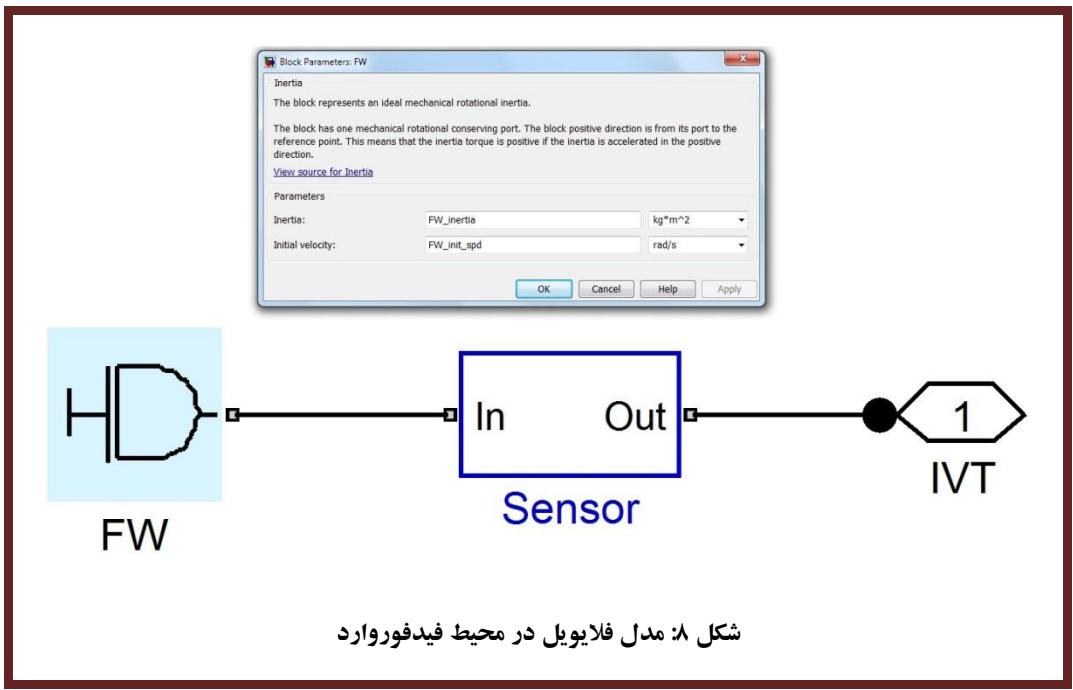
بلوک فلایویل (شکل ۸) شامل یک شفت اصلی (از نوع SimDriveline) می باشد که به یک بلوک اینرسی

(FW) متصل است. مقدار اینرسی (FW\_init-spd) و سرعت اولیه (FW\_inertia) فلایویل در پنجره

مشخصات بلوک FW تعیین می شود. بلوک سنسور (Sensor) در شکل ۸ وظیفه اندازه گیری سرعت و

گشتاور فلایویل را در هر لحظه بر عهده دارد.

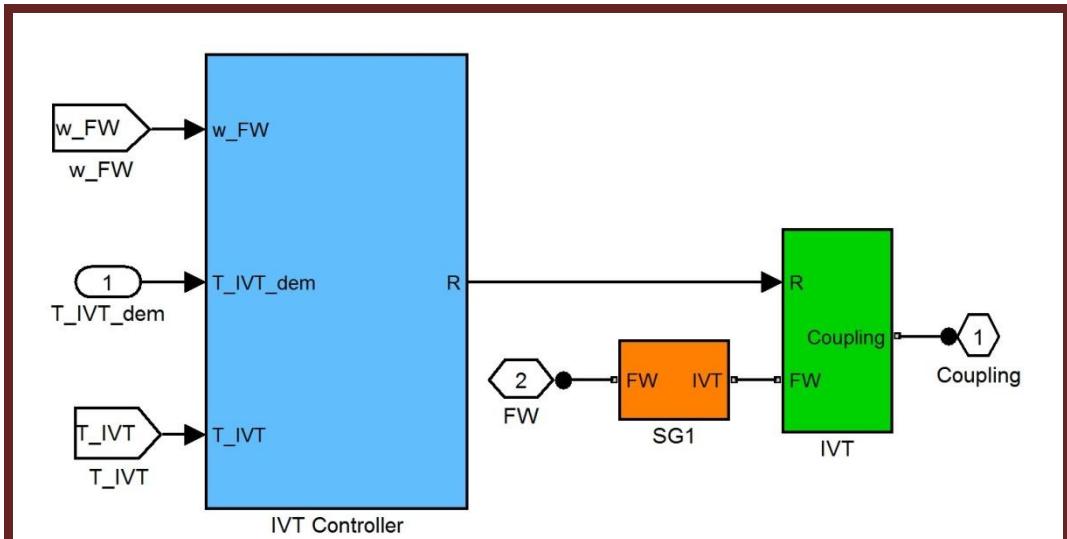
<sup>۱</sup> Vehicle Dynamic



شکل ۸: مدل فلایویل در محیط فیدفوروارد

## ۲-۲ سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت

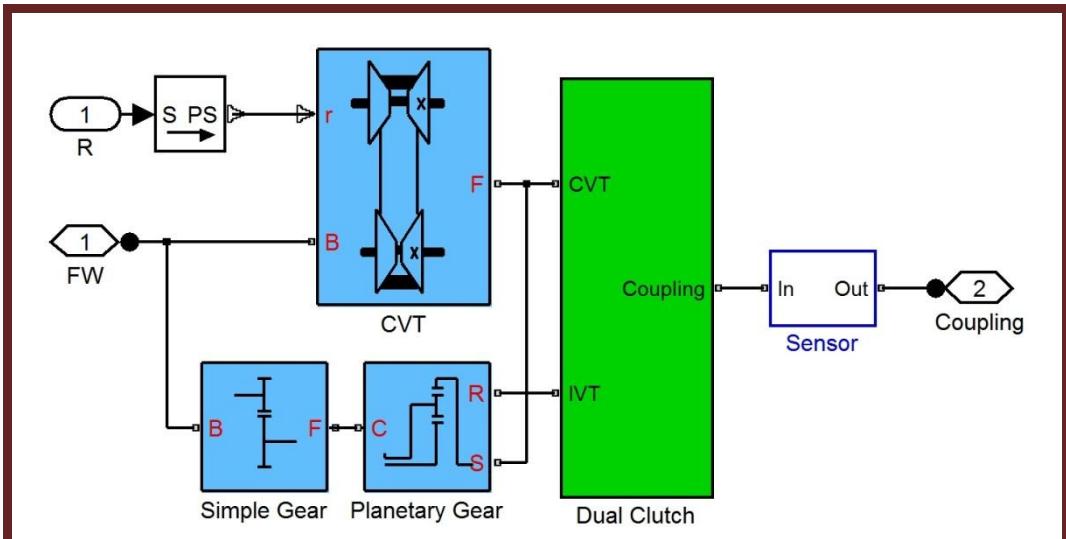
سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت بلوکی است که در ادامه مسیر انتقال قدرت از فلایویل به کوپلینگ وجود دارد. شافت ورودی این بلوک، شافت خروجی فلایویل است و شافت خروجی آن به کوپلینگ می‌رود (شکل ۹).



شکل ۹: مدل فیدفوروارد مجموعه سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت

مدل فیدفوروارد سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت شکل ۹ از سه قسمت اصلی تشکیل می شود:

- کنترلر IVT
- چرخ دنده ساده ۱
- سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت (شکل ۱۰)

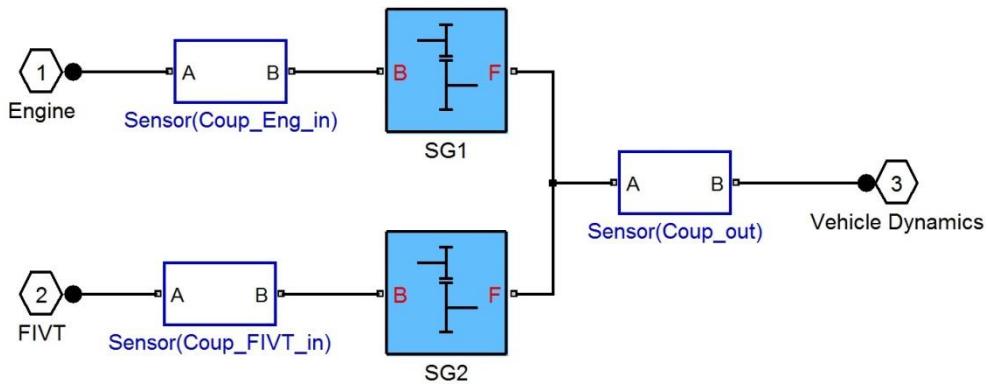


شکل ۱۰: مدل فیدفوروارد سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت

مدل فیدفوروارد سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت (شکل ۱۰) شامل بلوک‌های چرخ دنده‌های پیوسته (CVT)، ساده (Simple Gear) و خورشیدی (Planetary Gear) می‌باشد. فرمان نسبت دنده CVT با عنوان سیگنال R وارد این بلوک می‌شود. بلوک Dual Clutch وظیفه تعیین مود کاری IVT (سرعت پایین و بالا) را دارد. بلوک سنسور نیز سرعت و گشتاور شافت خروجی IVT را اندازه‌گیری می‌کند.

### ۳-۲ کوپلینگ

در ادامه‌ی سیستم انتقال قدرت لازم است که دو گشتاور تولیدی از موتور و فلایویل با هم ترکیب شوند و به بلوک دینامیک خودرو اعمال شوند. برای این منظور از یک بلوک استفاده می‌شود که دو ورودی از نوع simdriveline دارد؛ یکی گشتاور تولیدی موتور و دیگری گشتاور تولیدی فلایویل را انتقال می‌دهد. این دو ورودی در بلوک کوپلینگ ترکیب شده و به بلوک دینامیک خودرو ارسال می‌شود (شکل ۱۱). بلوک‌های سنسور موجود در کوپلینگ وظیفه اندازه‌گیری سرعت و گشتاور شافت‌های ورودی و خروجی را بر عهده دارند.



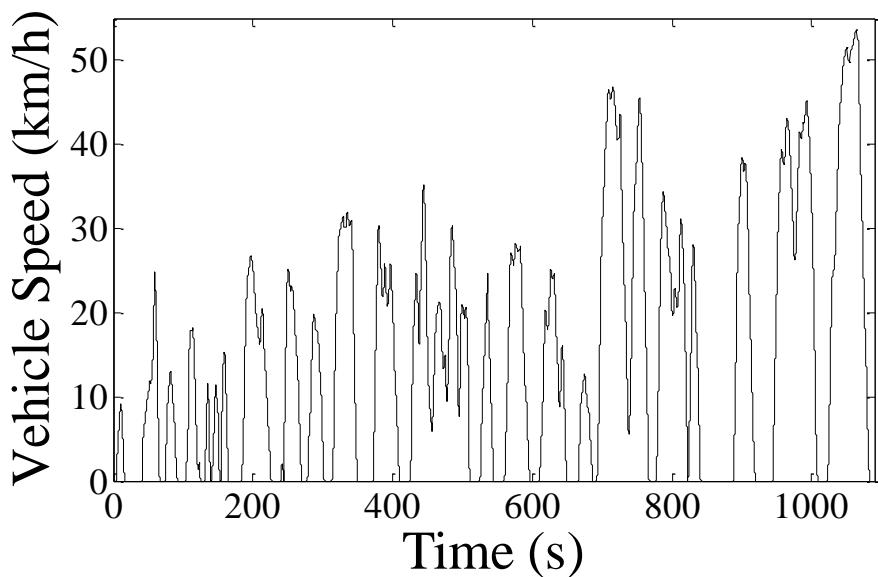
شکل ۱۱: بلوک کوپلینگ

### ۳ شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلامیویل

در این بخش به بررسی نتایج شبیه سازی در دو سیکل رانندگی اتوبوس درون شهری نورمبرگ و تهران پرداخته می شود.

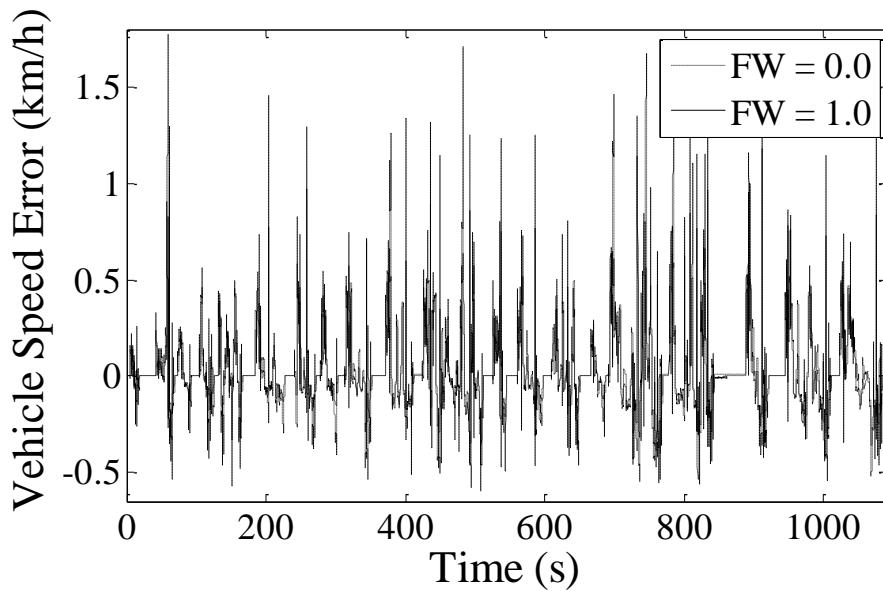
#### ۱-۳ سیکل رانندگی نورمبرگ

یکی از سیکل های رانندگی استاندارد اتوبوس درون شهری، سیکل رانندگی نورمبرگ می باشد. نمودار سرعت بر حسب زمان این سیکل در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



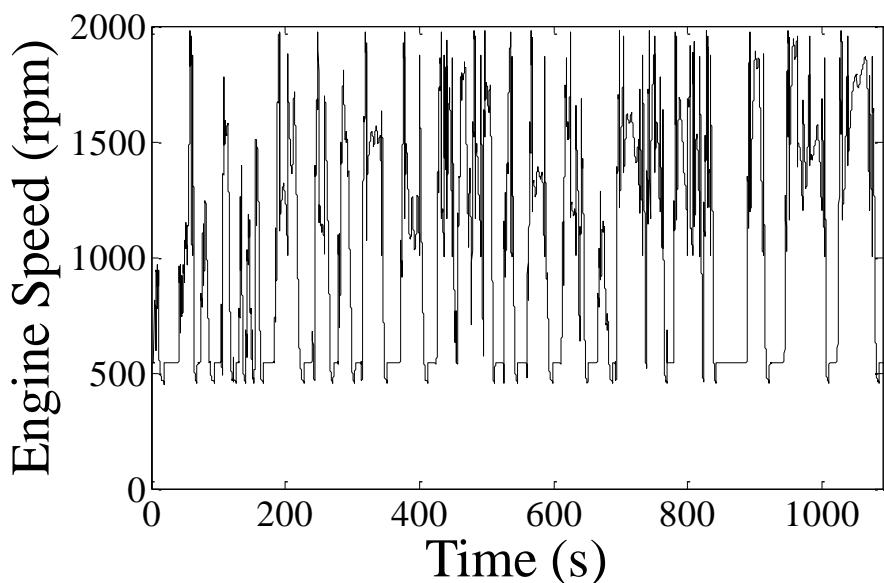
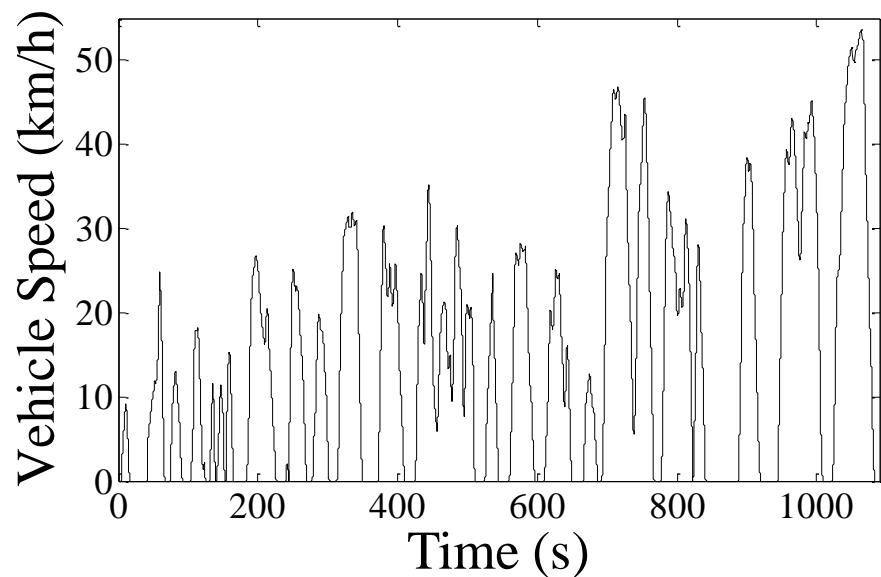
شکل ۱۲: نمودار سرعت زمان سیکل رانندگی اتوبوس درون شهری نورمیرگ

خطای پیمایش سیکل نورمیرگ برای اتوبوس های معمولی و هیبرید فلایویل در شکل ۱۳ نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که خطای پیمایش با افزودن فلایویل کاهش پیدا کرده است.

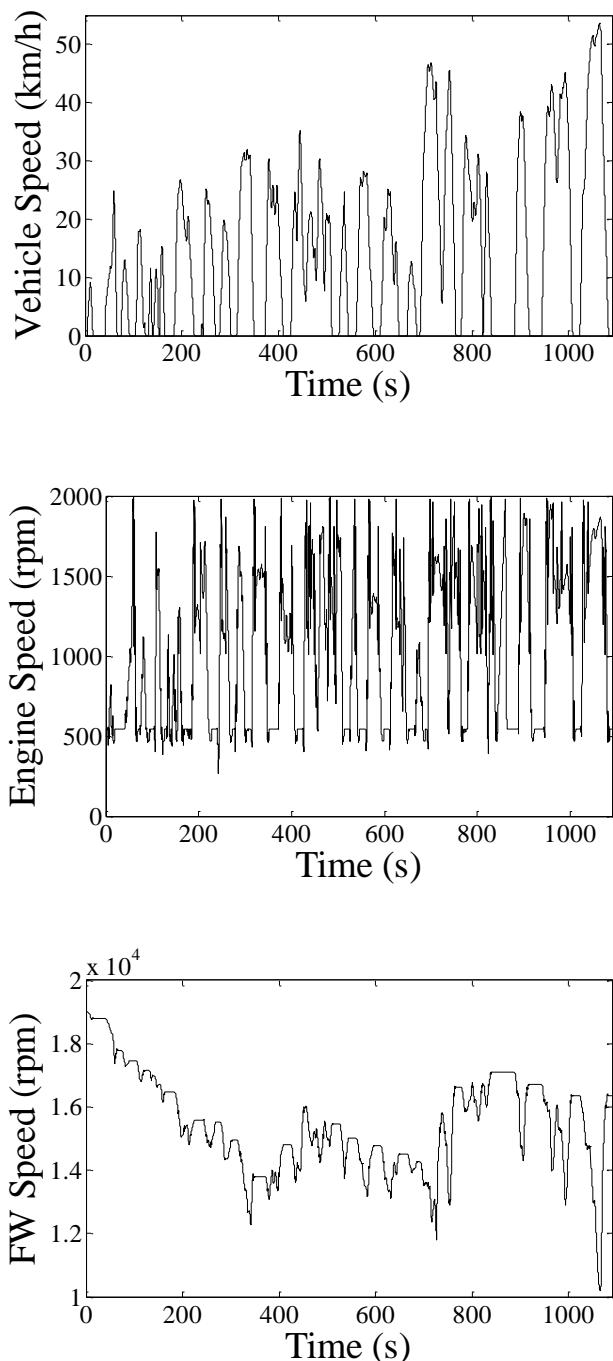


شکل ۱۳: نمودار خطای پیمایش سیکل رانندگی نورمیرگ  
برای اتوبوس معمولی ( $FW = 0.0$ ) و هیبرید فلایویل ( $FW = 1.0$ )

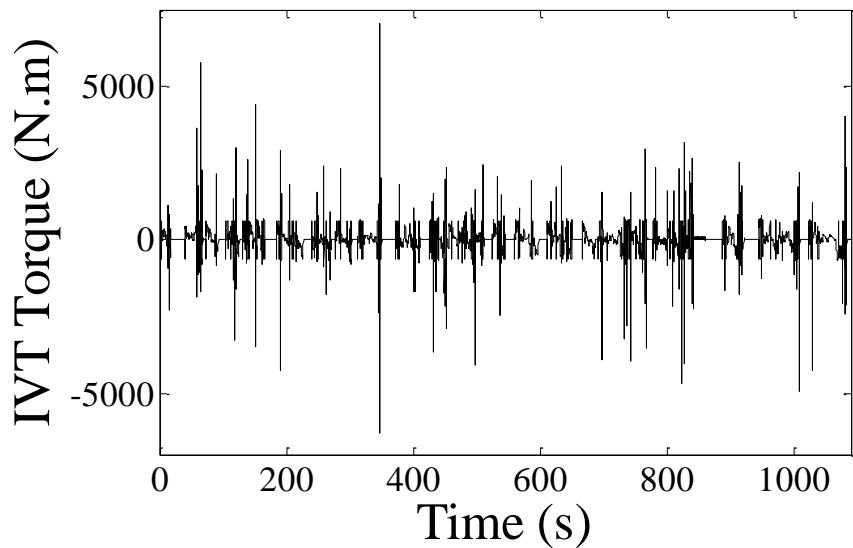
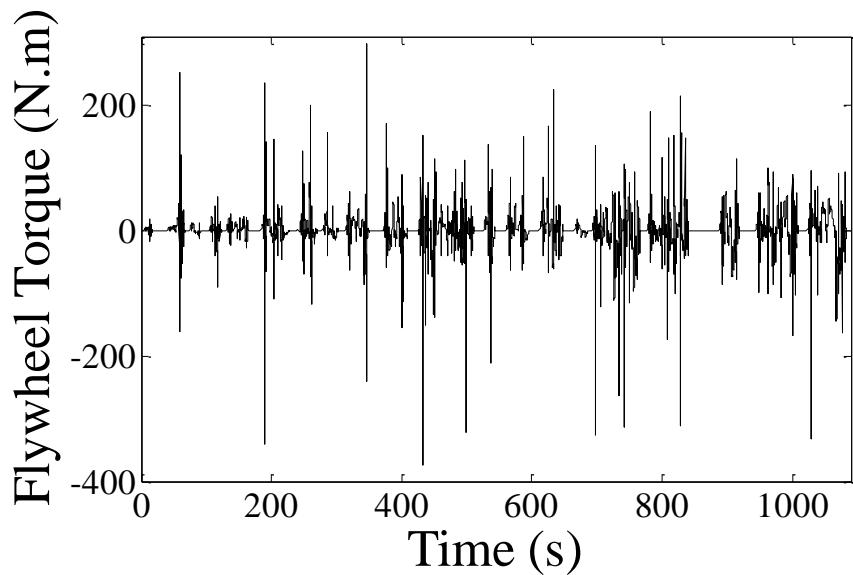
سرعت خودرو در اتوبوس معمولی توسط موتور احتراق داخلی و سیستم انتقال قدرت آن تأمین می شود. در شکل ۱۴ نمودار سرعت زمان خودرو و موتور در سیکل نورمیرگ برای اتوبوس معمولی نشان داده شده است. در خودروی هیبرید، سرعت خودرو علاوه بر موتور احتراق داخلی و سیستم انتقال قدرت آن، از طریق مجموعه فلایویل نیز تأمین می شود. در شکل ۱۵ تفاوت پروفیل سرعت فلایویل را در مقایسه با موتور احتراق داخلی نشان می دهد. این تفاوت بیشتر نشان دهنده اختلاف عملکرد جعبه دنده اتوماتیک متصل به موتور احتراق داخلی و سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت می باشد.



شکل ۱۴: نمودار سرعت زمان خودرو و موتور در سیکل نورمیرگ برای اتوبوس معمولی



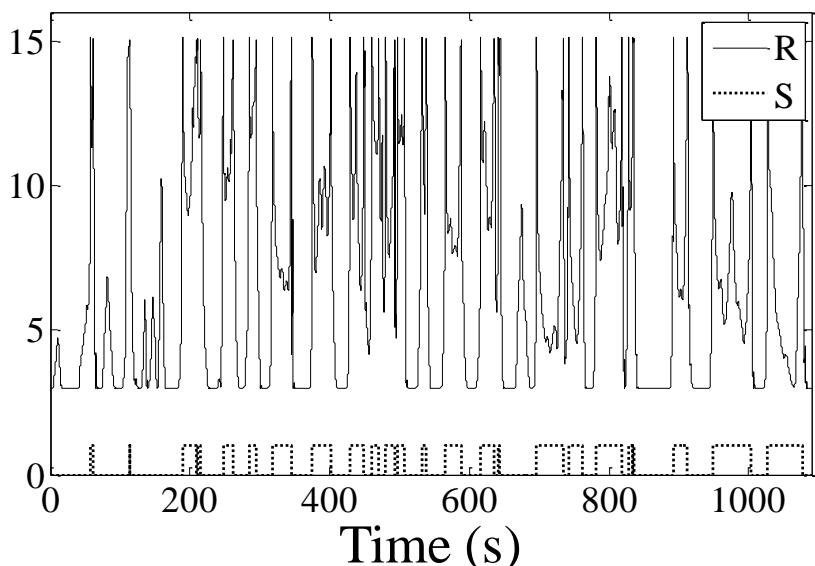
شکل ۱۵: نمودار سرعت زمان خودرو، موتور و فلاکویل در سیکل نورمیرگ برای اتوبوس هیبرید



شکل ۱۶: نمودار گشتاور فلاکسیول و سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی‌نهایت

نمودار گشتاور تولیدی فلایویل و سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت در شکل ۱۶ نشان داده شده است. این نمودار میزان تقویت گشتاور خروجی فلایویل توسط سیستم انتقال قدرت متصل به آن را نمایش می دهد.

عملکرد مناسب مجموعه فلایویل، وابسته به کنترل مناسب سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته و تعیین صحیح مود کاری سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت می باشد. در شکل ۱۷ نمودار تغییرات نسبت دنده سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته (R) و مود کاری سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت (S) را نشان می دهد. در این شکل مقدار صفر برای S نشان دهنده مود کاری سرعت پایین و مقدار یک معرف مود کاری سرعت بالا برای سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت می باشد. بدیهی است که قواعد تعیین R در مودهای کاری سرعت پایین و بالا متفاوت می باشد.



شکل ۱۷: نمودار نسبت دنده سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته (R)  
و مود کاری سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت (S)



در جدول ۷ مقایسه عملکرد اتوبوس های معمولی و هیبرید فلایویل در سیکل رانندگی نورمبرگ خلاصه شده است. این مقادیر برای شبیه سازی در یک سیکل رانندگی می باشد. با توجه به عدم تشابه انرژی فلایویل در ابتدا و انتهای سیکل (روش معمولی) نمی توان به مقادیر بهبود مصرف سوخت با دقت بالا استناد کرد. برای محاسبه دقیق تر بهبود مصرف سوخت باید از روش «اصلاح سطح شارژ» استفاده کرد. اما تناسب نزدیک بین میزان کاهش «معیار مجموع گشتاور تولیدی موتور» و «مصرف سوخت» نشان می دهد که میزان کاهش مصرف نشان داده شده در این جدول تا حد زیادی به میزان کاهش مصرف دقیق نزدیک است. نتایج روش اصلاح سطح شارژ (ستون آخر جدول) نشان می دهد که درصد بهبود مصرف سوخت روش معمولی و اصلاح سطح شارژ حدود ۰/۷ درصد تفاوت دارد. بنابراین نتایج روش معمولی نیز تا حد زیادی قابل استناد خواهد بود. همچنین می توان ضریب تصحیحی برای تخمین مصرف سوخت دقیق تر استخراج نمود؛ به این ترتیب که هر کیلوژول انرژی فلایویل معادل  $100 \text{ میلی لیتر} / 3/6 \text{ کیلومتر}$  مصرف سوخت خودرو در سیکل نورمبرگ می باشد.

پس به طور تقریبی می توان گفت که در سیکل نورمبرگ برای اتوبوس درون شهری ۰457، با استفاده از فلایویل با انرژی حدود  $1/5$  مگاژول می توان مصرف سوخت را حدود  $30$  درصد کاهش داد.



### مرحله سوم - قسمت چهارم

### مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلایویل در محیط فیدفوروارد



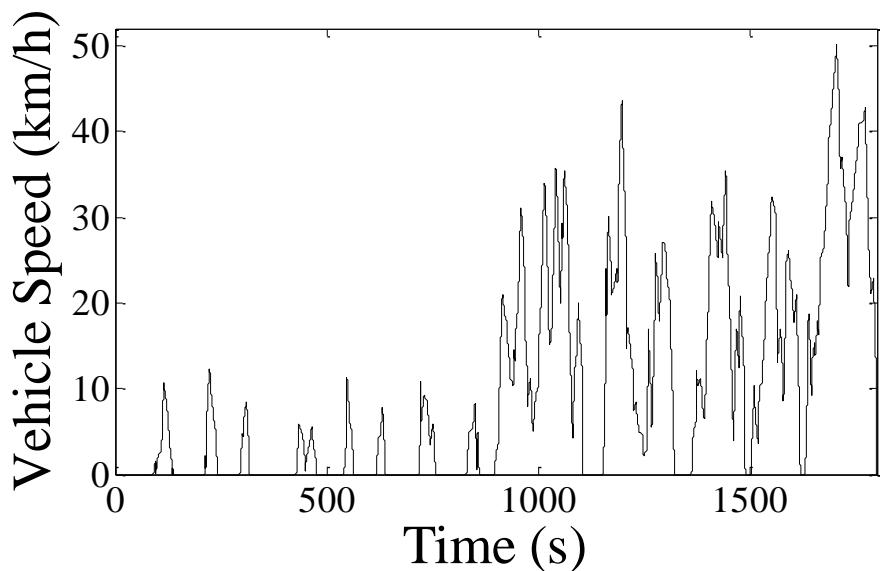
شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۷: مقایسه عملکرد اتوبوس های معمولی و هیبرید فلایویل در سیکل رانندگی نورم برگ

اتوبوس هیبرید فلایویل (روش اصلاح سطح شارژ)	اتوبوس هیبرید فلایویل (روش معمولی)	اتوبوس معمولی	
۴۳/۲	۴۲/۸	۶۱/۱	صرف سوخت (km/h)
۱۳۹/۵	۱۳۹/۳	۱۴۹/۳	معیار مجموع خطای پیمایش سیکل
۱/۳	۱/۳	۱/۷	بیشینه خطای پیمایش سیکل (km/h)
۳۲/۷	۳۲/۷	۴۹/۶	معیار مجموع گشتاور تولیدی موتور
۱۶۴۴/۹	۱۶۴۴/۹	.	مجموع انرژی قابل ذخیره در فلایویل (kJ)
-۹/۶	-۶۰۹/۶	.	تفاوت سرعت فلایویل در ابتدا و انتهای سیکل (rpm)
-۱/۷	-۱۱۱/۶	.	تفاوت انرژی فلایویل در ابتدا و انتهای سیکل (kJ)

### ۲-۳ سیکل رانندگی تهران

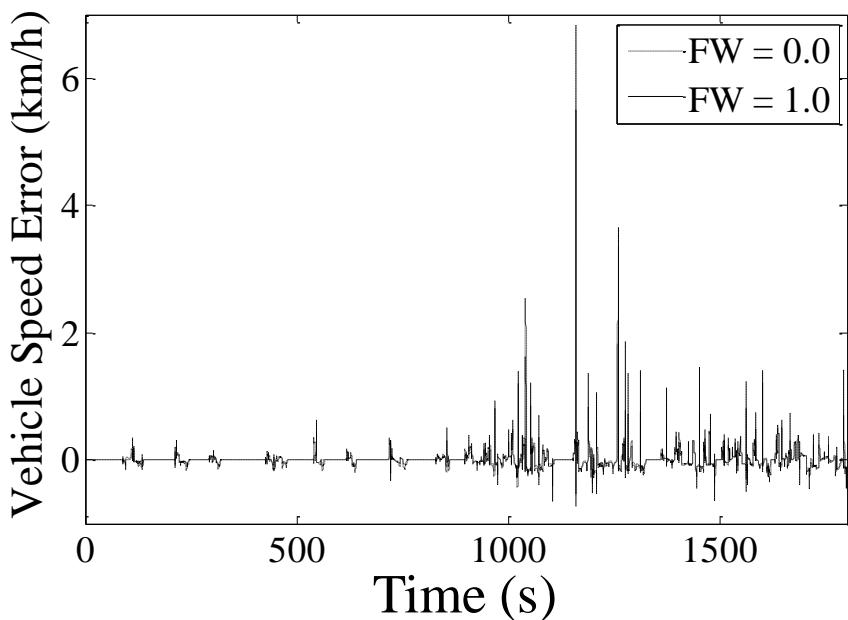
اتوبوس درون شهری مورد مطالعه برای کشور ایران طراحی می شود. در این قسمت سیکل رانندگی اتوبوس شهری تهران مورد بررسی قرار می گیرد. نمودار سرعت بر حسب زمان این سیکل در شکل ۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۸: نمودار سرعت زمان سیکل رانندگی اتوبوس درون شهری تهران

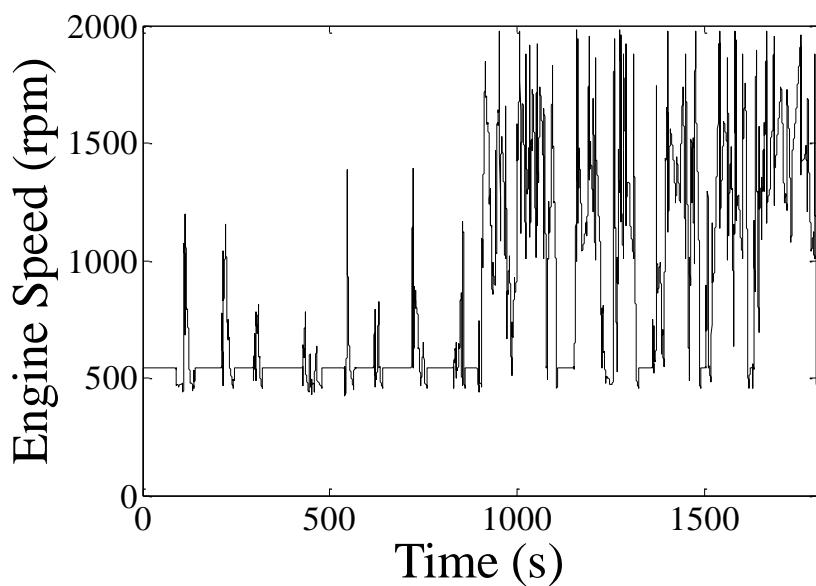
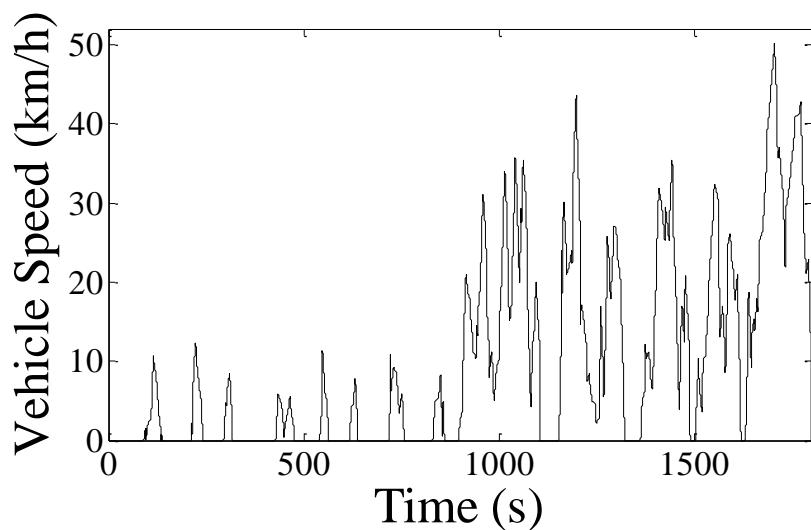
خطای پیمایش سیکل تهران برای اتوبوس‌های معمولی و هیبرید فلایویل در شکل ۱۹ نشان داده شده است.

این شکل نشان می‌دهد که خطای پیمایش با افزودن فلایویل کاهش پیدا کرده است.

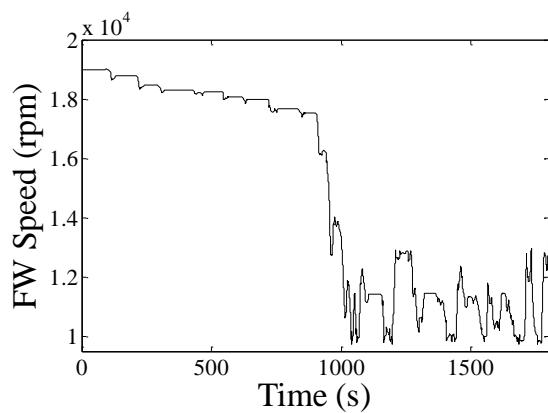
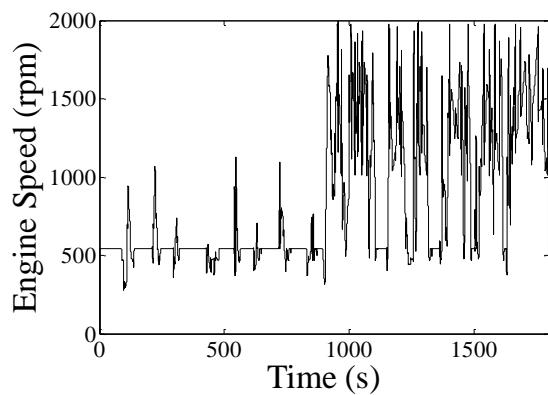
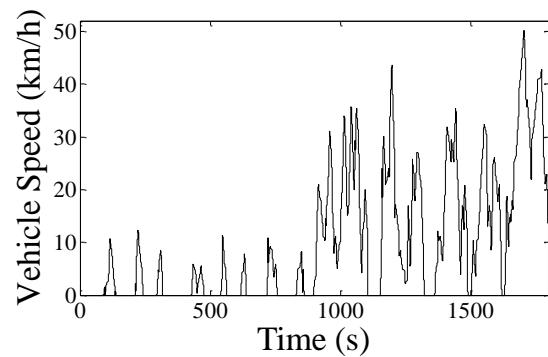


شکل ۱۹: نمودار خطای پیمایش سیکل رانندگی تهران  
برای اتوبوس معمولی ( $FW = 0.0$ ) و هیبرید فلاکویل ( $FW = 1.0$ )

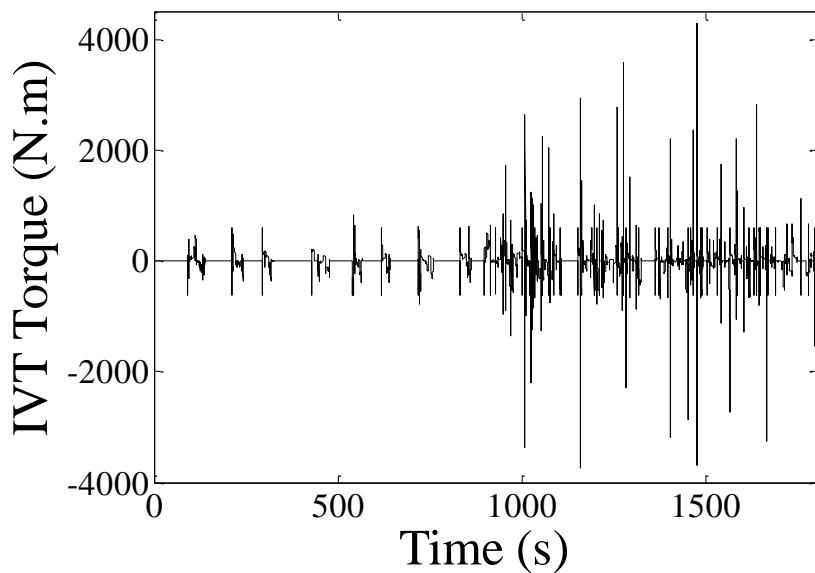
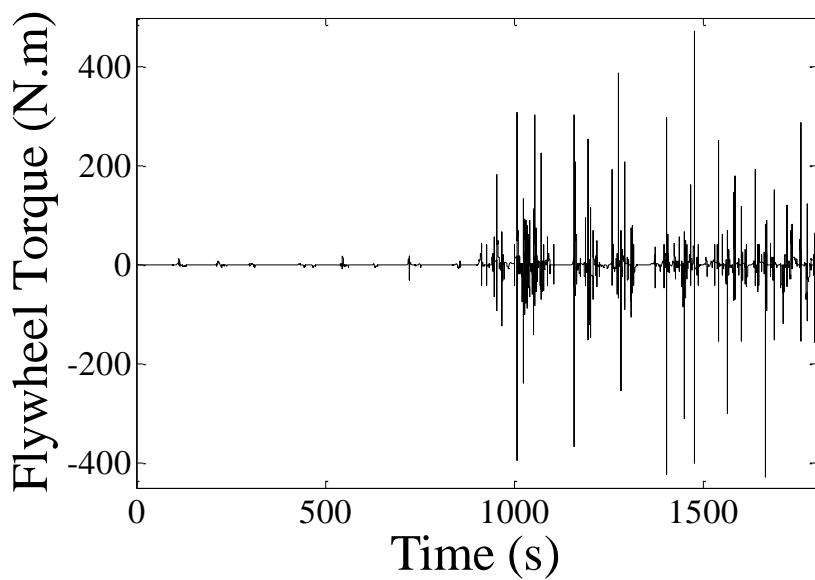
سرعت خودرو در اتوبوس معمولی توسط موتور احتراق داخلی و سیستم انتقال قدرت آن تأمین می شود. در شکل ۲۰ نمودار سرعت زمان خودرو و موتور در سیکل تهران برای اتوبوس معمولی نشان داده شده است. در خودروی هیبرید، سرعت خودرو علاوه بر موتور احتراق داخلی و سیستم انتقال قدرت آن، از طریق مجموعه فلاکویل نیز تأمین می شود. در شکل ۲۱ تفاوت پروفیل سرعت فلاکویل را در مقایسه با موتور احتراق داخلی نشان می دهد. این تفاوت پروفیل بیشتر نشان دهنده اختلاف عملکرد جعبه دنده اتوماتیک متصل به موتور احتراق داخلی و سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت می باشد.



شکل ۲۰: نمودار سرعت زمان خودرو و موتور در سیکل تهران برای اتوبوس معمولی



شکل ۲۱: نمودار سرعت زمان خودرو، موتور و فلایویل در سیکل تهران برای اتوبوس هیبرید

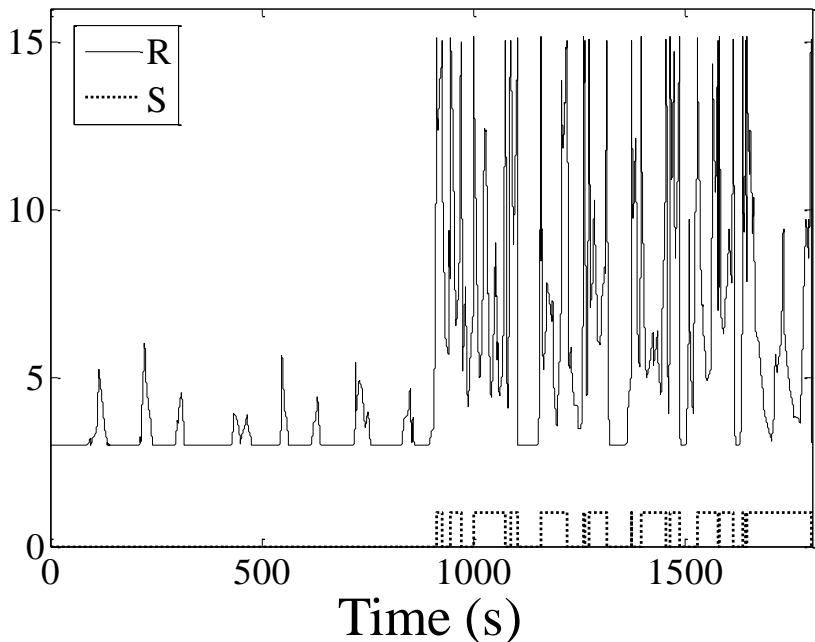


شکل ۲۲: نمودار گشتاور فلایویل و سیستم انتقال قدرت با ضرب ب دنده بی نهایت



نمودار گشتاور تولیدی فلایویل و سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت در شکل ۲۲ نشان داده شده است. این نمودار میزان تقویت گشتاور خروجی فلایویل توسط سیستم انتقال قدرت متصل به آن را نمایش می دهد.

عملکرد مناسب مجموعه فلایویل، وابسته به کنترل مناسب سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته و تعیین صحیح مود کاری سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت می باشد. در شکل ۲۳ نمودار تغییرات نسبت دنده سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته ( $R$ ) و مود کاری سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت ( $S$ ) را نشان می دهد. در این شکل مقدار صفر برای  $S$  نشان دهنده مود کاری سرعت پایین و مقدار یک معرف مود کاری سرعت بالا برای سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت می باشد. بدیهی است که قواعد تعیین  $R$  در مودهای کاری سرعت پایین و بالا متفاوت می باشد. همچنین نتایج این شبیه سازی نشان می دهد که در ۹۰۰ ثانیه ابتدایی سیکل رانندگی تهران، مود کاری سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بی نهایت همواره سرعت پایین ( $S = 0$ ) بوده است.



شکل ۲۳: نمودار نسبت دندنه سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته (R)  
و مود کاری سیستم انتقال قدرت با ضریب دندنه بی نهایت (S)

در جدول ۸ مقایسه عملکرد اتوبوس های معمولی و هیبرید فلاکویل در سیکل رانندگی تهران خلاصه شده است. این مقادیر برای شبیه سازی در یک سیکل رانندگی می باشد. به منظور افزایش دقت مصرف سوخت محاسبه شده، شبیه سازی با سرعت اولیه (سطح شارژ) فلاکویل دیگری تکرار می شود (ستون انتهایی جدول ۸). از مقایسه نتایج شبیه سازی روش معمولی و اصلاح سطح شارژ می توان ضریب تصحیح معادل سازی برای تخمین مصرف سوخت دقیق تر استخراج نمود. بنابراین می توان گفت هر کیلوژول انرژی فلاکویل معادل ۲/۵ میلی لیتر در ۱۰۰ کیلومتر مصرف سوخت خودرو در سیکل تهران می باشد. این عدد برای سیکل نورمبرگ ۳/۶ به دست آمده بود.

پس به طور تقریبی می توان گفت که در سیکل تهران برای اتوبوس درون شهری O457، با استفاده از فلاکویل حدود ۱/۵ مگاژول می توان مصرف سوخت را حدود ۲۵ درصد کاهش داد. تفاوت درصد کاهش



مصرف سوخت در سیکل های تهران و نورم برگ را می توان به میزان هیجانی بودن آنها مربوط دانست. با این توجه، از آنجاکه سیکل نورم برگ هیجانی تر از سیکل تهران می باشد (به نمودارهای سرعت زمان آنها توجه کنید)، تأثیر افزایش فلایویل و مهار شرایط کار کرد با نوسانات زیاد و راندمان نامطلوب موثر احتراق داخلی بیشتر به چشم می خورد.

جدول ۸: مقایسه عملکرد اتوبوس های معمولی و هیبرید فلایویل در سیکل رانندگی تهران

اتوبوس هیبرید فلایویل (روش اصلاح سطح شارژ)	اتوبوس هیبرید فلایویل (روش معمولی)	اتوبوس معمولی	
۳۴/۰	۳۱/۷	۴۲/۴	مصرف سوخت (km/h)
۱۰۸/۶	۱۰۶/۳	۱۱۴/۴	معیار مجموع خطای پیمایش سیکل
۵/۵	۵/۵	۶/۸	بیشینه خطای پیمایش سیکل (km/h)
۳۰/۴	۲۸/۶	۴۱/۳	معیار مجموع گشتاور تولیدی موتور
۱۶۴۴/۹	۱۶۴۴/۹	۰	مجموع انرژی قابل ذخیره در فلایویل (kJ)
-۹۰۲/۷	-۵۹۰۲/۷	۰	تفاوت سرعت فلایویل در ابتداء و انتهای سیکل (rpm)
-۱۳۴/۱	-۱۰۳۸/۸	۰	تفاوت انرژی فلایویل در ابتداء و انتهای سیکل (kJ)

## ۴ بهینه سازی ممان اینرسی فلایویل به کمک مدل فیدفوروارد

برای تعیین انرژی مناسب فلایویل مورد استفاده در اتوبوس هیبرید، انجام شبیه سازی های مکرر در سیکل رانندگی روشن متداولی است. در این روشن با تغییر انرژی فلایویل، عملکرد خودروی هیبرید به وسیله شبیه سازی رایانه ای استخراج می شود. سپس با توجه به میزان تأثیر انرژی فلایویل در عملکرد و هزینه مورد انتظار طراح، انرژی مطلوب فلایویل تعیین می شود.



### مرحله سوم - قسمت چهارم

#### مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلایویل در محیط فیدفوروارد



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

همان طور که در مورد نتایج شبیه سازی سیکل های رانندگی نورمبرگ و تهران بیان شد، میزان بهبود مصرف سوخت اتوبوس هیبرید با استفاده از یک مجموعه فلایویل مشابه، وابسته به نوع سیکل خواهد بود.

بنابراین تعیین سیکل رانندگی می تواند از بزرگ درنظر گرفتن بی دلیل فلایویل جلوگیری کند.

خلاصه نتایج شبیه سازی عملکرد اتوبوس با فلایویل های مختلف در سیکل رانندگی نورمبرگ در جدول ۹ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می دهد که بهترین نتیجه مصرف سوخت معادل به کمک فلایویل با ممان اینرسی یک کیلوگرم در مترمربع (۱/۶ مگاژول) به دست می آید. منظور از مصرف سوخت معادل، درنظر گرفتن اثر تفاوت انرژی فلایویل در ابتدا و انتهای سیکل نورمبرگ با کمک نتایج جدول ۷ مقایسه روش معمولی و روش اصلاح سطح شارژ می باشد.

**جدول ۹: عملکرد اتوبوس با فلایویل های مختلف در سیکل رانندگی نورمبرگ**

$I_{FW} = 3.0$	$I_{FW} = 1.5$	$I_{FW} = 1.0$	$I_{FW} = 0.5$	$I_{FW} = 0.1$	$I_{FW} = 0.0$	
۴۲/۶	۴۲/۱	۴۳/۲	۴۵/۶	۵۰/۰	۶۱/۱	صرف سوخت (km/h)
۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۲۹	۱/۳۳	۱/۵۴	۱/۷۷	بیشینه خطای پیمایش سیکل (km/h)
۳۲/۹۹	۳۳/۰۰	۳۲/۷	۳۵/۳۱	۳۹/۵۶	۴۹/۶۴	معیار مجموع گشتاور تولیدی موتور
۴۹۳۴/۸	۲۴۶۷/۴	۱۶۴۴/۹	۸۲۲/۴۷	۱۶۴/۴۹	.	مجموع انرژی قابل ذخیره در فلایویل (kJ)
-۱۸۳۷/۶	-۸۹۷/۵۸	-۱/۷	-۳۴/۰۳	۱۹/۲۳	.	تفاوت انرژی فلایویل در ابتدا و انتهای سیکل (kJ)
۴۹/۲۲	۴۵/۳۰	۴۳/۲۱	۴۵/۷۳	۴۹/۹۴	۶۱/۱۰	صرف سوخت معادل (km/h)

نتایج جدول ۹ نشان می دهد که برای کاهش هزینه هیبرید سازی اتوبوس شهری نورمبرگ، می توان به جای استفاده از فلایویل ۱۶۴۵ کیلوژول (که باعث کاهش مصرف سوخت ۲۹/۳ درصد می شود)، از فلایویل ۸۲۲ کیلوژول (با میزان کاهش مصرف سوخت ۲۵/۲ درصد) یا فلایویل ۱۶۴ کیلوژول (با میزان کاهش مصرف سوخت ۱۸/۳ درصد) استفاده نمود. همچنین برای افزایش دقت بهینه سازی ممان اینرسی فلایویل، می توان



### مرحله سوم - قسمت چهارم

#### مدل سازی و شبیه سازی اتوبوس هیبرید فلایویل در محیط فیدفوروارد



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

این شبیه سازی ها را با فلایویل های دیگر با مقادیر متفاوت ممان ایترسی و انرژی تکرار نمود. از طرفی با استفاده از روش اصلاح سطح شارژ می توان دقت میزان مصرف سوخت محاسبه شده را افزایش داد.

خلاصه نتایج شبیه سازی عملکرد اتوبوس با فلایویل های مختلف در سیکل رانندگی تهران در جدول ۱۰ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می دهد که بهترین نتیجه مصرف سوخت معادل به کمک فلایویل با ممان ایترسی نیم کیلو گرم در مترمربع (۰/۸ مکارو) به دست می آید. منظور از مصرف سوخت معادل، در نظر گرفتن اثر تفاوت انرژی فلایویل در ابتدا و انتهای سیکل نورم برگ با کمک نتایج جدول ۸ (مقایسه روش معمولی و روش اصلاح سطح شارژ) می باشد.

جدول ۱۰: عملکرد اتوبوس با فلایویل های مختلف در سیکل رانندگی تهران

$I_{FW} = 3.0$	$I_{FW} = 1.0$	$I_{FW} = 0.5$	$I_{FW} = 0.0$	
۲۷/۷۳	۳۴/۰۳	۳۲/۳۳	۴۲/۳۶	صرف سوخت (km/h)
۴/۴۲	۵/۴۹	۵/۵۰	۶/۸۳	بیشینه خطای پیمایش سیکل (km/h)
۲۴/۵۱	۳۰/۴۵	۲۹/۶۱	۴۱/۲۸	معیار مجموع گشتاور تولیدی موتور
۴۹۳۴/۸	۱۶۴۴/۹	۸۲۲/۵	.	مجموع انرژی قابل ذخیره در فلایویل (kJ)
-۳۸۶۰/۳	-۱۳۴/۱	-۳۳۰/۷	.	تفاوت انرژی فلایویل در ابتدا و انتهای سیکل (kJ)
۳۷/۳۸	۳۴/۳۷	۳۳/۱۶	۴۲/۳۶	صرف سوخت معادل (km/h)

نکته جالب از مقایسه نتایج بهینه سازی ممان ایترسی فلایویل در سیکل نورم برگ و تهران این است که فلایویل بهینه اتوبوس شهری تهران انرژی کمتری دارد. همان طور که قبل اشاره شد، برای افزایش دقت بهینه سازی ممان ایترسی فلایویل، می توان این شبیه سازی ها را با فلایویل های دیگر با مقادیر متفاوت ممان ایترسی و انرژی تکرار نمود. از طرفی با استفاده از روش اصلاح سطح شارژ می توان دقت میزان مصرف سوخت محاسبه شده را افزایش داد.

## فاز دوم

مرحله چهارم - قسمت اول

مطالعات مفهومی و انتخاب

اولیه تجهیزات اتوبوس

هیبرید هیدرولیکی





مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پژوهش سازی صنایع سوخت

# فهرست مطالب

۳.....	مقدمه
۱ برسی اجزاء اصلی سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی .....	۳
۱-۱ پمپ - موتور هیدرولیکی .....	۴
۲-۱ آکومولاتور .....	۸
۳-۱ موتور هیدرولیکی مورد استفاده در مجموعه کمکی .....	۱۱
۲ برسی مدار هیدرولیکی سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی .....	۱۳
۳ برسی مدار کنترلی سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی .....	۱۸
۴ مجموعه های کامل تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی .....	۲۱
۵ تخمین میزان اضافه شدن وزن اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی .....	۲۷
۶ امکان سنجی جانمایی تجهیزات هیدرولیک در خودرو .....	۲۹
۱-۶ برسی فضای موجود .....	۳۰
۲-۶ تعیین جانمایی مناسب اجزای سیستم تولید و انتقال قدرت .....	۳۱
۱-۲-۶ جانمایی پمپ - موتور هیدرولیکی .....	۳۲
۲-۲-۶ جانمایی موتور هیدرولیک مجموعه کمکی .....	۳۵
۳-۲-۶ جانمایی آکومولاتورها و مخزن کم فشار هیدرولیک .....	۳۵



۳۹..... ۴-۲-۶ جانمایی موتور احتراقی و گیربکس

**۷ تخمین مکان مرکز ثقل اتوبوس به عنوان پارامتر مؤثر در عملکرد خودرو..... ۴۱**

۴۱ ..... ۱-۷ مکان مرکز ثقل در اتوبوس متعارف .....

۴۲..... ۱-۱-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بدون بار .....

۴۳..... ۱-۲-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بار کامل .....

۴۴ ..... ۲-۷ مکان مرکز ثقل اتوبوس متعارف در حالت حذف موتور .....

۴۴..... ۱-۲-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بدون بار .....

۴۵..... ۲-۲-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بار کامل .....

۴۶ ..... ۳-۷ مرکز ثقل در جانمایی اتوبوس هیبرید .....

۴۶..... ۱-۳-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بدون بار .....

۴۸..... ۲-۳-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بار کامل .....

۴۹..... ۸ نتیجه‌گیری .....



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پژوهش سازی صنایع سوخت

### مقدمه

پس از آن که در فاز دوم پروژه، مرحله مدل‌سازی و طراحی سیستم هیبرید موازی هیدرولیکی انجام گرفت، در این مرحله اجزاء سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی شامل قطعات هیدرولیکی، مدارت هیدرولیکی و ادوات کنترلی موردنیاز بررسی و مشخصات آنها تعیین شده است. بعلاوه میزان افزایش وزن کلی اتوبوس با توجه به قطعات جدید مورد بررسی قرار گرفته و امکان سنجی جانمایی تجهیزات سیستم تولید و انتقال قدرت هیبریدی انجام شده است. در طول این گزارش، گزینه‌های موجود برای تأمین قطعات سیستم هیبرید موازی هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت بهترین گزینه معرفی شده است. برای انتخاب بهترین گزینه برای تأمین قطعات، کشور تأمین کننده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است.

## ۱ بررسی اجزاء اصلی سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی

پمپ - موتور هیدرولیکی و آکومولاتور دو قطعه اصلی سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی هستند.

در مرحله دوم پروژه مشخصات موردنیاز این دو قطعه مشخص شده است. این مشخصات در زیر آمده است:

- یک عدد پمپ - موتور هیدرولیکی پیستونی محوری<sup>۱</sup> با ماکزیمم توان ۱۳۰ کیلووات، سرعت نامی

۱۵۰۰ دور بر دقیقه و جابجایی ماکزیمم ۱۲۵ مترمکعب بر دور.

- دو عدد آکومولاتور دیافراگمی با ماکریمم فشار کاری ۳۵۰ بار و ظرفیت ۱۵ گالن برای هر یک.

<sup>1</sup> Axial Piston Hydraulic Pump/Motor



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پهنه‌سازی صحرای سوخت

### ۱-۱ پمپ - موتور هیدرولیکی

باتوجه به ماهیت متغیر گشتاور خودرو در شرایط مختلف حرکت، پمپ - موتوری موردنیاز است که بتواند در هر دو حالت پمپی و موتوری گشتاور متغیر تولید کند. مقدار گشتاور تولیدی توسط پمپ - موتور در حالت پمپی از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$T = \frac{v_g \times \Delta p}{20 \times \pi \times \eta_{mh}} \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $\Delta p$  مقدار اختلاف فشار سیستم است که با تغییر حجم سیال درون آکومولاتور، تغییر می‌کند و نمی‌توان از آن به عنوان پارامتر کنترل کننده گشتاور تولیدی پمپ - موتور استفاده کرد. بنابراین باتوجه به رابطه ۱، تنها پارامتر کنترل کننده گشتاور پمپ - موتور، مقدار جابجایی آن در هر دور ( $V_g$ ) است. ازین رو برای سیستم تولید قدرت هیبرید موازی هیدرولیکی از پمپ - موتوری استفاده می‌شود که امکان فعالیت با جابجایی متغیر را داشته باشد. از طرفی هرچه فشار کاری سیستم بیشتر باشد، گشتاور تولیدی پمپ - موتور نیز بیشتر خواهد بود.

در میان انواع مختلف پمپ - موتورهای هیدرولیکی، دو نوع وجود دارد که مشخصات مطلوب ذکر شده در بالا را دارا می‌باشند. پمپ - موتور پیستونی محوری با جابجایی متغیر و پمپ - موتور پیستونی با محور خمیده و جابجایی متغیر دو نوع پمپ - موتور موردنظر هستند. مشخصات فنی این دو نمونه در جدول ۱ ارائه شده است. در میان این دو پمپ - موتور نیز پمپ - موتور پیستونی با محور خمیده به دلیل اشغال حجم بیشتر و قیمت بالاتر از مقبولیت کمتری در صنعت برقخوردار است. درنهایت پمپ - موتور نوع پیستونی



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پژوهش سازی صنایع سوخت

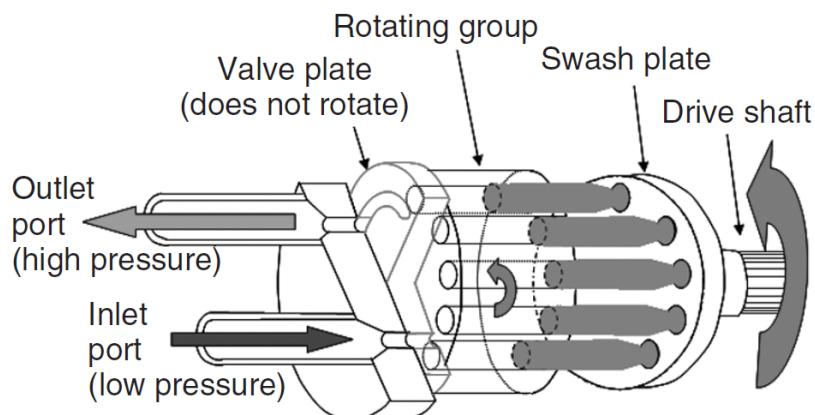
محوری با جابجایی متغیر به عنوان پمپ - موتور موردنیاز، انتخاب گردید. شما می‌باشید از دو پمپ - موتور مورد بحث در شکل ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱ - پمپ - موتورهای مناسب جهت استفاده در سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید موازی هیدرولیکی

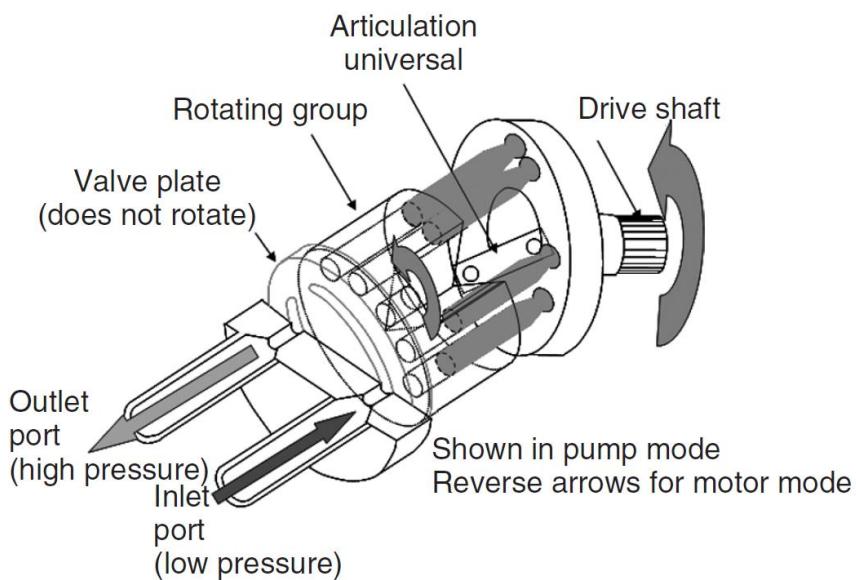
ماکریم فشار کاری (bar)	ماکریم سرعت کاری (rpm)	ماکریم گشتاور تولیدی (Nm)	بازده (%)	میزان کاربرد در صنعت خودروسازی خودروسازی	نوع پمپ - موتور
۴۰۰	۴۰۰۰	۲۵۰۰	۹۰ <	بسیار بالا	پمپ - موتور پیستونی با محوری با جابجایی <sup>۱</sup> متغیر
۳۵۰	۸۵۰۰	۱۰۰۰	۹۰ <	پایین	پمپ - موتور پیستونی با محور خمیده و جابجایی <sup>۲</sup> متغیر

<sup>1</sup> Variable Displacement Axial Piston Pump/Motor

<sup>2</sup> Variable Displacement Bent Axis Piston Pump/Motor



شکل ۱ - پمپ - موتور پیستونی محوری با جابجایی متغیر



شکل ۲ - پمپ - موتور پیستونی با محور خمیده و جابجایی متغیر



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



برای تأمین پمپ - موتور هیدرولیکی، دو گزینه وجود دارد. این دو گزینه، دو پمپ - موتور پیستونی محوری با جابجایی متغیر می‌باشد و مشخصات فنی آنها در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این که مورد اول یک شرکت آمریکایی می‌باشد و در تأمین قطعات از این کشور با مشکل روبرو هستیم، گزینه اول حذف می‌شود و گزینه دوم انتخاب می‌گردد. شرکت Bosch-Rexroth یک شرکت آلمانی است و حوزه فعالیت آن تولید قطعات مختلف هیدرولیکی شامل پمپ - موتور، آکومولاטור، شیر، سیلندر و ... می‌باشد.

جدول ۲ - گزینه‌های موجود برای تأمین پمپ - موتور هیدرولیکی

کمپانی	ملیت	نام دقیق مدل	جابجایی	توان
Parker	آمریکا	PD140	140 cm^3/rev	125 kW
Bosch-Rexroth	آلمان	A4VSO	125 cm^3/rev	131 kW

مشخصات پمپ - موتور مورد نظر در جدول ۳ و نمای ظاهری این پمپ - موتور در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳ - مشخصات پمپ - موتور A4VSO محصول شرکت Bosch-Rexroth

مشخصه	مقدار
Maximum Displacement (cm <sup>3</sup> )	125
Maximum speed at maximum displacement (rpm)	1800
Maximum Speed at lower displacement (rpm)	2200
Maximum Flow (lit/min)	225
Maximum Power (kw)	131
Maximum Torque (Nm)	696
Moment of Inertia (kg.m <sup>2</sup> )	0.03
Maximum Acceleration (rad/s <sup>2</sup> )	8000
Case Volume (lit)	5
Weight (kg)	88
Length * width * height (mm)	360×310×354



شکل ۳ - پمپ - موتور A4VSO محصول شرکت Bosch-Rexroth

## ۱-۲ آکومولاتور

بطور کلی آکومولاتورها یا همان مخازن هیدرولیکی، از لحاظ نوع عملکرد به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- آکومولاتور بارگذاری شده با نیروی وزن<sup>۱</sup>.
- آکومولاتور بارگذاری شده با نیروی فنر<sup>۲</sup>.
- آکومولاتور بارگذاری شده با فشار گاز<sup>۳</sup>.

سه نوع آکومولاتور فوق در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. در استفاده از آکومولاتورهای نوع اول و دوم

محدودیت نصب وجود دارد، به این ترتیب که تنها استفاده به صورت عمودی آن‌ها مجاز به است. این

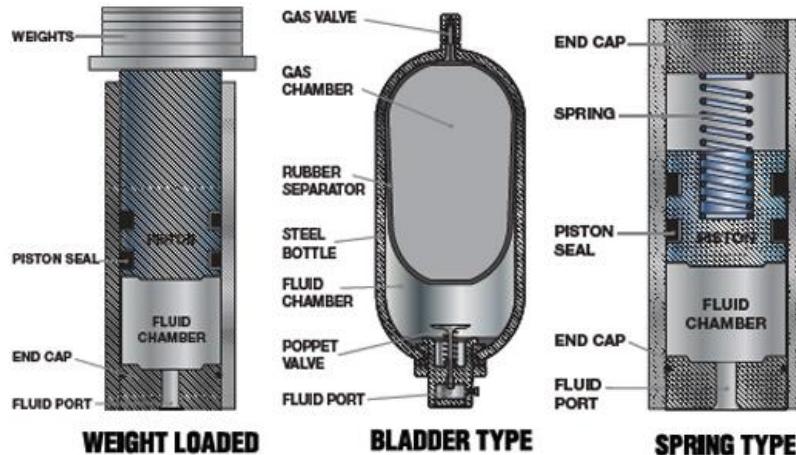
محدودیت در آکومولاتورهای نوع دیافراگمی یا همان نوع بارگذاری شده با فشار گاز وجود ندارد. همچنین

دو آکومولاتور بارگذاری شده با بارخارجی و نیروی فنر، در سیستم‌های دارای فشار بالا کار نمی‌کنند.

<sup>1</sup> Weight-Loaded Accumulator

<sup>2</sup> Spring-Loaded Accumulator

<sup>3</sup> Gas-Loaded Accumulator



شکل ۴- انواع آکومولاتورها. به ترتیب از راست به چپ : بارگذاری شده با فنر، بارگذاری شده با فشار گاز و بارگذاری شده با نیروی وزن

برای سیستم‌های با فشار کاری بالا باید از آکومولاتورهای دیافراگمی استفاده شود. برتری اصلی آکومولاتورهای دیافراگمی، کاهش انتقال حرارت بین گاز تحت فشار و محیط است. این خاصیت بدليل وجود یک لایه فوم الاستومر<sup>۱</sup> روی سطح درونی دیافراگم جداکننده آکومولاتور می‌باشد. این لایه فوم دارای ظرفیت گرمایی بالایی است و مانند یک عایق حرارتی عمل می‌کند.

با درنظر گرفتن نکات فوق، در سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید هیدرولیکی از آکومولاتور نوع دیافراگمی به عنوان منبع ذخیره انرژی هیدرولیکی استفاده شده است. آکومولاتورهای دیافراگمی از نقطه نظر جنس به دو دسته تقسیم می‌شوند. آکومولاتورهای فولادی که وزن بالا و قیمت پایین دارند و آکومولاتورهای الیاف کربنی (از الیاف کربن ساخته شده‌اند) که وزن پایین و قیمت بالایی دارند. در سیستم هیبرید موازی هیدرولیکی حاضر، اختلاف وزن ناشی از انتخاب آکومولاتور فولادی یا الیاف کربنی در حدود ۳۰۰ کیلوگرم می‌باشد. این مقدار اختلاف وزن نسبت به وزن اتوبوس به انضمام مسافران که در حدود ۱۶ تن می‌باشد، ناچیز

<sup>1</sup> Elastomeric Foam



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



است. بنابراین با درنظر گرفتن این اختلاف وزن ناچیز و با توجه به اختلاف قیمت بالای دو قطعه موردنظر،

آکومولاتور فولادی انتخاب می‌گردد. جهت تأمین آکومولاتور نیز سه گزینه وجود دارد گزینه‌های موجود

در جدول ۴ ارائه شده است. در اینجا نیز با درنظر گرفتن کشور تأمین‌کننده آکومولاتورها، شرکت آلمانی

Bosch Rexroth انتخاب می‌شود.

جدول ۴ - گزینه‌های موجود برای تأمین آکومولاتور هیدرولیکی

ملیت	کمپانی	حجم	ماکزینم فشار کاری	ابعاد ( mm * mm )
آمریکا	Parker	56.7 lit	345 bar = 5000 psi	۵۲۴ × ۱۹۲۸
آلمان	Bosch- Rexroth	50 lit	345 bar = 5000 psi	۲۴۳ × ۲۰۱۳
آمریکا	Tobul	57 lit	345 bar = 5000 psi	۲۴۸ × ۱۹۸۱

مشخصات آکومولاتور موردنظر در جدول ۵ و نمای ظاهری این آکومولاتور در شکل ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ - مشخصات آکومولاتور دیافراگمی مدل HAB محصول شرکت Bosch-Rexroth

مقدار	مشخصه
345	Maximum Operating Pressure (bar)
50	Capacity (lit )
220	Dry Weight (kg)
2032 × 243	Length × Diameter (mm)
4:1	Maximum ratio of system pressure to pre-charge pressure
-26 to 238	Operating Temperature range (°F)



شکل ۵ - آکومولاتور مدل HAB محصول شرکت Bosch-Rexroth

### ۱-۳- موتور هیدرولیکی مورد استفاده در مجموعه کمکی

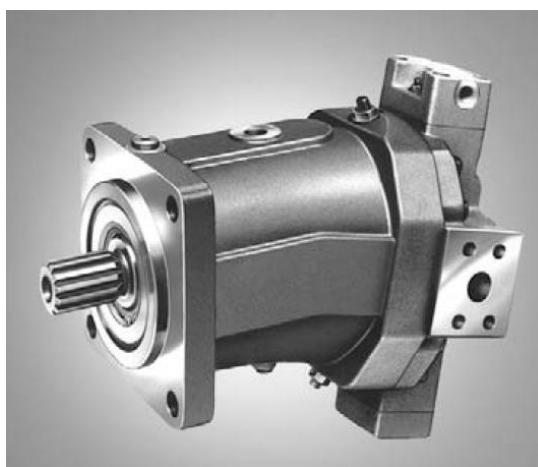
در یک اتوبوس متعارف، توان مورد نیاز برای فعالیت قطعات جانبی اتوبوس توسط موتور احتراقی تأمین می‌شود. این ادوات جانبی که مجموعه کمکی نامیده می‌شوند، شامل سیستم فرمان، سیستم تعليق ، سیستم خنک‌کاری، ترمز و سیستم عملکردنی اتوبوس است. اما در یک اتوبوس هیبرید نمی‌توان این توان کمکی را توسط موتور احتراقی تأمین کرد. دلیل این امر وجود حالت خاموش برای موتور احتراق داخلی در کنترل استراتژی حرکت اتوبوس است.

برای اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی، یک موتور هیدرولیکی اضافی به منظور تأمین توان موردنیاز مجموعه کمکی در نظر گرفته شده است. به دلیل تأمین تمامی قطعات هیدرولیک موردنیاز از شرکت Bosch مجموعه کمکی در نظر گرفته شده است. به دلیل تأمین تمامی قطعات هیدرولیک موردنیاز از شرکت Rexroth، برای تأمین موتور هیدرولیکی مجموعه کمکی نیز از محصولات این شرکت استفاده شده است. این موتور هیدرولیکی از نوع پیستونی محوری با جابجایی متغیر می‌باشد. مشخصات موتور هیدرولیکی

موردنظر تولید شرکت Bosch Rexroth در جدول ۶ ارائه شده است. همچنین نمایی از این موتور هیدرولیک در شکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶ - مشخصات موتور هیدرولیک مجموعه کمکی محصول Bosch Rexroth

A6VM	نام تجاری
۲۸ سانتی متر مکعب بر دور	ماکریم جابجایی
۴۰۰ بار	ماکریم فشار کاری
۵۵۵۰ دور بر دقیقه	ماکریم سرعت در ماکریم جابجایی
۱۷۹ نیوتن متر	ماکریم گشتاور
۱۵۶ لیتر بر دقیقه	ماکریم دبی در سرعت و جابجایی ماکریم
۲۶۰ × ۲۴۵ × ۱۴۶	ابعاد (میلی متر)
۱۶ کیلو گرم	وزن



شکل ۶ - نمایی از موتور هیدرولیک A6VM محصول شرکت Bosch Rexroth



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



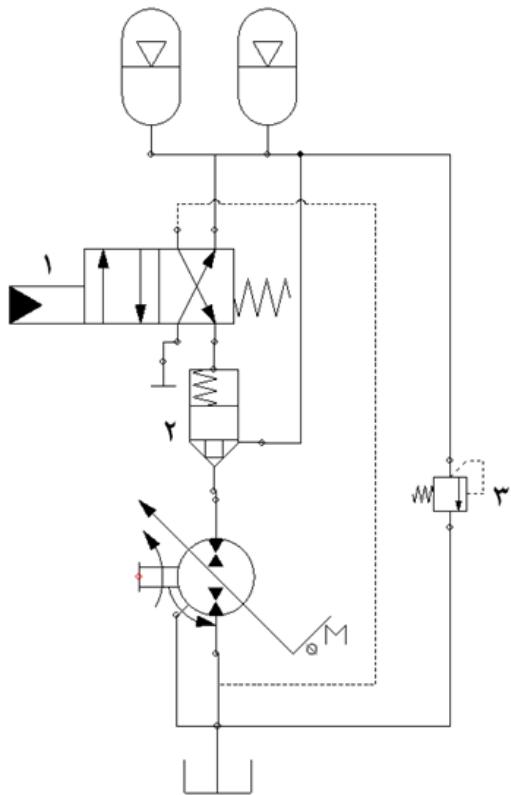
موتور هیدرولیک مجموعه کمکی برای تأمین گشتاور و توان موردنیاز از سیال پرفشار موجود در آکومولاتورها استفاده نماید. به منظور تأمین گشتاور و سرعت مناسب توسط موتور هیدرولیکی مجموعه کمکی، به یک کنترلر الکتروهیدرولیک نیاز است. این کنترلر مشابه کنترلر موردنیاز برای پمپ - موتور اصلی سیستم می‌باشد و از شرکت Bosch Rexroth قابل تأمین است. در مورد کنترلر الکتروهیدرولیک پمپ - موتور هیدرولیکی سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید در فصل ۳ توضیح داده شده است.

## ۲ بررسی مدار هیدرولیکی سیستم تولید و انتقال قدرت

### هیدرولیکی

برای استفاده از منبع دوم تولید قدرت در سیستم هیبرید موازی هیدرولیکی، به یک مدار هیدرولیک نیاز است. مدار هیدرولیک موردنیاز برای سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی در شکل ۷ نشان داده شده است. اجزاء مختلف مدار هیدرولیکی موردنیاز برای سیستم تولید و انتقال قدرت هیبریدی در زیر آمده است:

- پمپ - موتور هیدرولیکی و آکومولاتورها. این قطعات اجزای اصلی مدار هستند و مشخصات فنی سایر قطعات براساس مشخصات این دو قطعه تعیین شده است.



شکل ۷ - مدار هیدرولیک سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی

- بلوک شیر کنترل کننده<sup>۱</sup>. این بلوک شامل یک شیر تعیین مسیر چهار راهه دو وضعیتی<sup>۲</sup> (شماره ۱

در شکل ۷) به همراه یک شیر فشنگی<sup>۳</sup> (شماره ۲ در شکل ۷) است. وظیفه این بلوک، کنترل

فرآیند پر و خالی شدن آکومولاتور در طول فعالیت سیستم است. به عبارت دیگر این بلوک مقدار

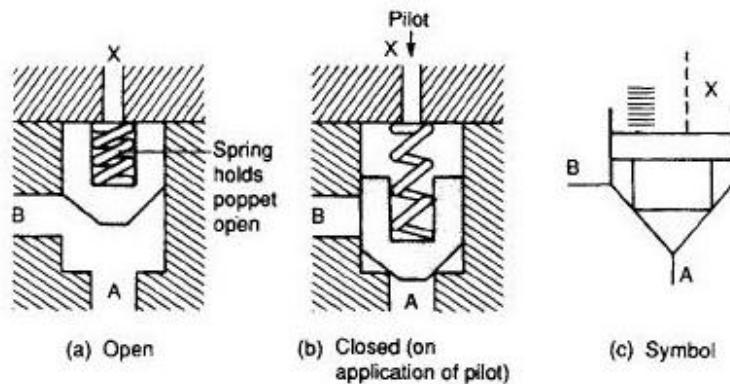
دبی و جهت جریان سیال را بهینه می کند. نمایی از دو شیر فشنگی و تعیین مسیر در شکل ۸ و شکل

۹ نشان داده شده است.

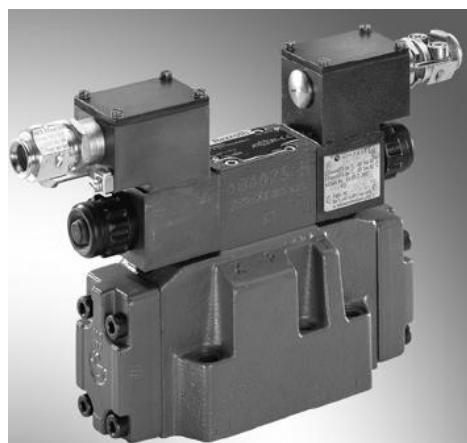
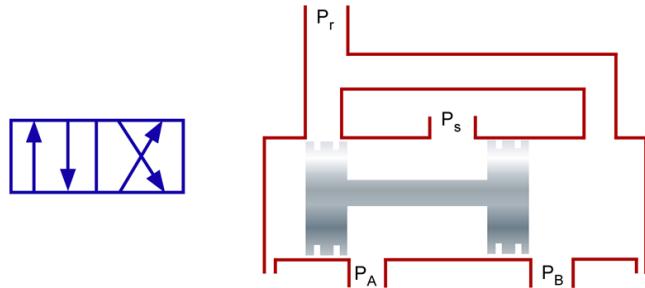
<sup>1</sup> Valve Control Block

<sup>2</sup> 4/2 Directional Valve

<sup>3</sup> Cartridge Valve



شکل ۸- شیر فشنگی



شکل ۹ - شیز تعیین مسیر چهار راهه دو وضعیتی

- شیر فشارشکن<sup>۱</sup>. این شیر به منظور محافظت از پمپ - موتور هیدرولیکی در برابر افزایش فشار

سیستم تعییه شده است (شماره ۳ در شکل ۷). نمایی از این شیر در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

- کنترلر الکترو- هیدرولیک<sup>۲</sup>. این واحد دو وظیفه اصلی دارد. اول، کنترل مقدار جابجایی پمپ -

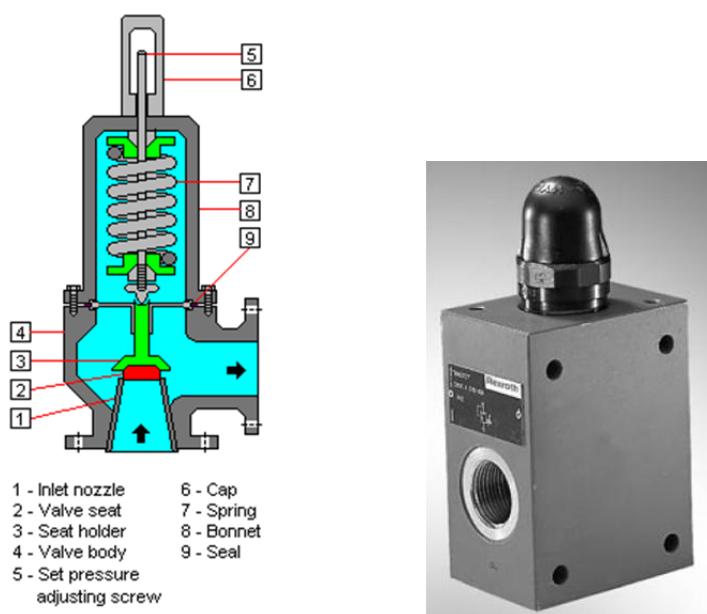
موتور هیدرولیکی که با کنترل زاویه صفحه مورب پمپ - موتور انجام می گیرد (در این مورد در

<sup>1</sup> Relief valve

<sup>2</sup> Electro Hydraulic Control

فصل بعد توضیح شده است). دوم، کنترل عملکرد شیر تعیین مسیر موجود در بلوک شیر کنترل کننده

که از طریق ارسال سیگنال مناسب به سولونوئید تعییه شده روی شیر انجام می‌گیرد.



شکل ۱۰ - شیر فشارشکن

- روغن هیدرولیک کمپانی Bosch Rexroth به عنوان تولید کننده پمپ - موتور هیدرولیکی

مورد نظر این پروژه، نوع روغن هیدرولیک مناسب را روغن های HF<sup>1</sup> معرفی کرده است. این دسته

از روغن ها، یکی از پر کاربرد ترین روغن ها در مصارف هیدرولیکی بوده و دارای چگالی ۱,۰۵

کیلو گرم بر لیتر می باشد. همچنین ویسکوزیته بهینه روغن مورد استفاده بین ۱۶ تا ۳۶ میلیمتر مربع بر

ثانیه می باشد.

<sup>1</sup> Hydraulic Fracturing Fluids

تمامی قطعات جانبی مدار هیدرولیک شامل بلوک شیر کنترل کننده، شیر فشارشکن و کنترلر الکترونیکی

از شرکت Bosch Rexroth قابل تأمین می باشد.

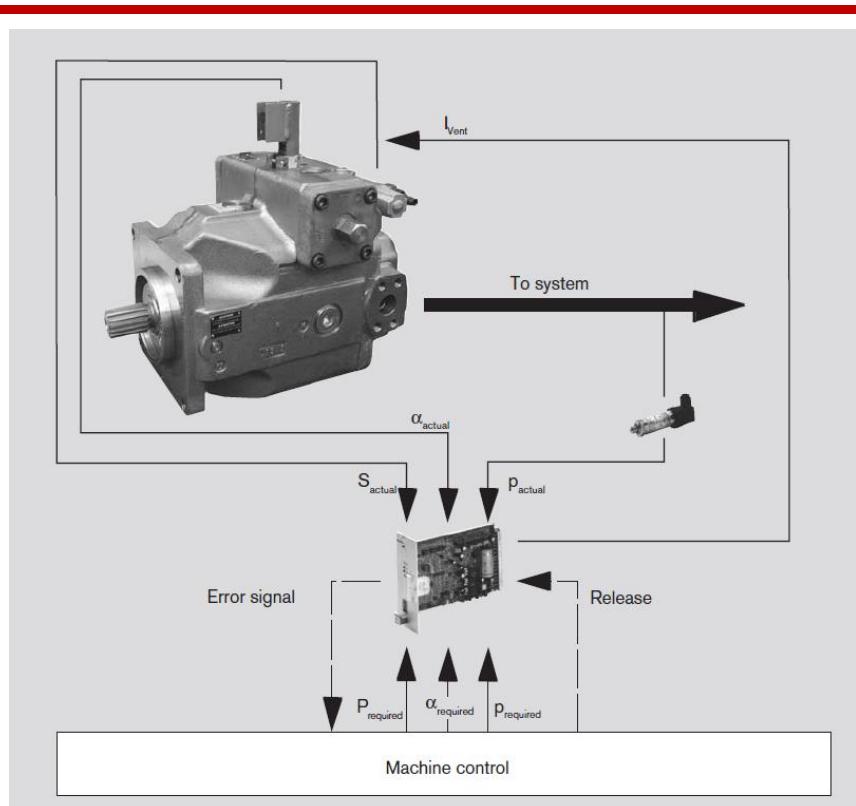
### ۳ بررسی مدار کنترلی سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی

همان طور که در فصل قبل اشاره شد، برای کنترل عملکرد پمپ - موتور هیدرولیکی، یک واحد کنترلر

الکتروهیدرولیک درنظر گرفته شده است. نمایی کلی از مجموعه کنترلر الکتروهیدرولیک در شکل ۱۱ نشان

داده شده است. در این مجموعه، سیگنال ورودی یک سیگنال آنالوگ از جنس ولتاژ است و مقدار آن بین ۰

تا ۱۰ ولت می باشد. همچنین سیگنال فرمان خروجی از جنس جریان الکتریکی است.



شکل ۱۱ - نمایی از مجموعه کنترلر الکترو- هیدرولیک و عملکرد آن



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پهپنه سازی صنعت سوخت

در مجموعه کنترلر الکترو- هیدرولیک، یک سیلندر دووجهه<sup>۱</sup> تعییه شده است (شماره ۱ در شکل ۱۲) که

حرکت پیستون آن متناظر با تغییر زاویه صفحه مورب درون پمپ - موتور هیدرولیکی می باشد. همچنین

مجموعه کنترلی شامل یک شیر تعیین مسیر چهارراه سه وضعیتی (شماره ۲ در شکل ۱۲) است. کنترلر

استفاده شده در مجموعه کنترلر الکترونیکی، یک کنترلر تناسبی<sup>۲</sup> است و سیگنال فرمان آن آنالوگ می باشد.

این کنترلر دو سیگنال فیدبک از دو سنسور تعیین موقعیت که روی شیر تعیین مسیر و سیلندر دووجهه قرار

گرفته اند و یک سیگنال فیدبک از سنسور فشار (شماره ۳ در شکل ۱۲) که فشار سیستم را اندازه می گیرد،

دریافت می نماید. کنترلر با دریافت سیگنال های فیدبک و باتوجه به سیگنال فرمان که از مجموعه کنترلر

مرکزی هیبرید وارد می شود، سیگنال فرمان مناسب را به سولونوئید تعییه شده روی شیر تعیین مسیر ارسال

می نماید. درنتیجه این فرمان، مقدار زاویه صفحه مورب و به دنبال آن جابجایی پمپ - موتور کنترل می گردد.

منظور از سیگنال فرمان مناسب، سیگنالی است که موقعیت صفحه مورب را چنان تنظیم کند که گشتاور

تولیدی توسط پمپ - موتور، مطلوب باشد. مطلوبیت مقدار گشتاور تولیدی توسط پمپ - موتور باتوجه به

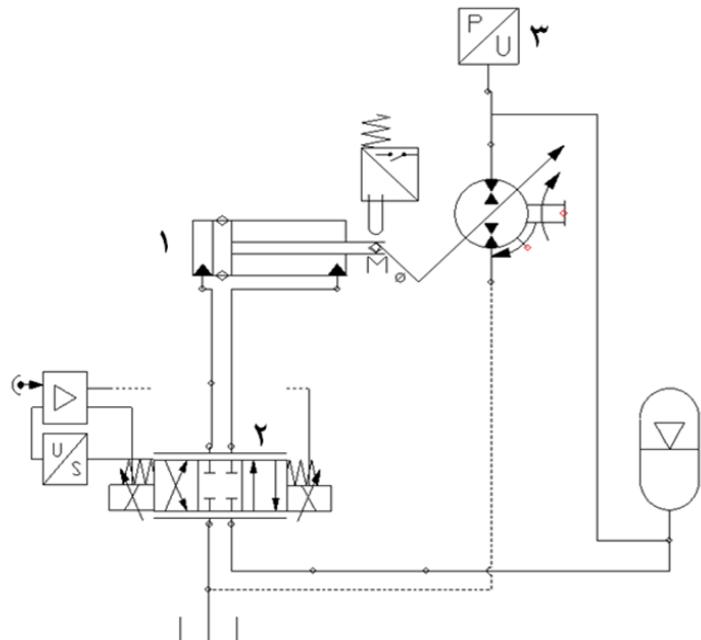
سیگنال فرمان ارسال شده از کنترلر مرکزی هیبرید تعیین می گردد. به عیارت دیگر سیگنال فرمان ارسالی از

مجموعه کنترلر مرکزی هیبرید، مقدار گشتاور مطلوب پمپ - موتور است. مدار کنترلر الکترو- هیدرولیک

موردنظر در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Double-Acting Cylinder

<sup>2</sup> Proportional Control

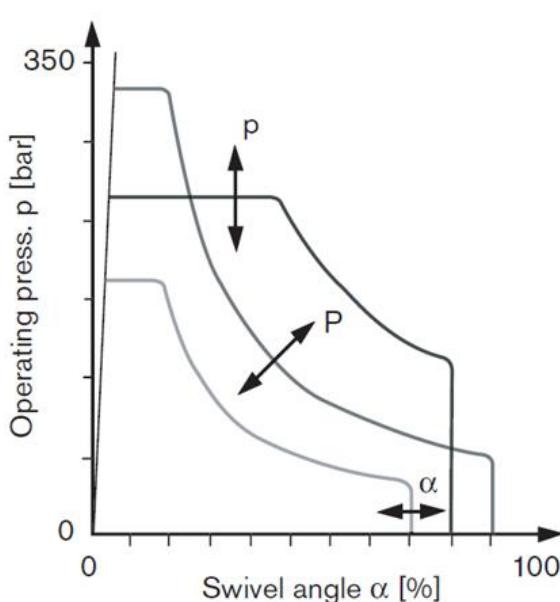


شکل ۱۲ - مدار کنترل الکترو-هیدرولیک

کنترلر الکترونیک موردنظر با نام تجاری Bosch Rexroth DFE1 از شرکت تأمین است. نمودار

عملکرد کنترلر الکترو-هیدرولیک در شکل ۱۳ ارائه شده است. در این شکل تغییرات زاویه صفحه مورب و

توان تولیدی توسط پمپ-موتور در فشارهای مختلف نشان داده شده است.



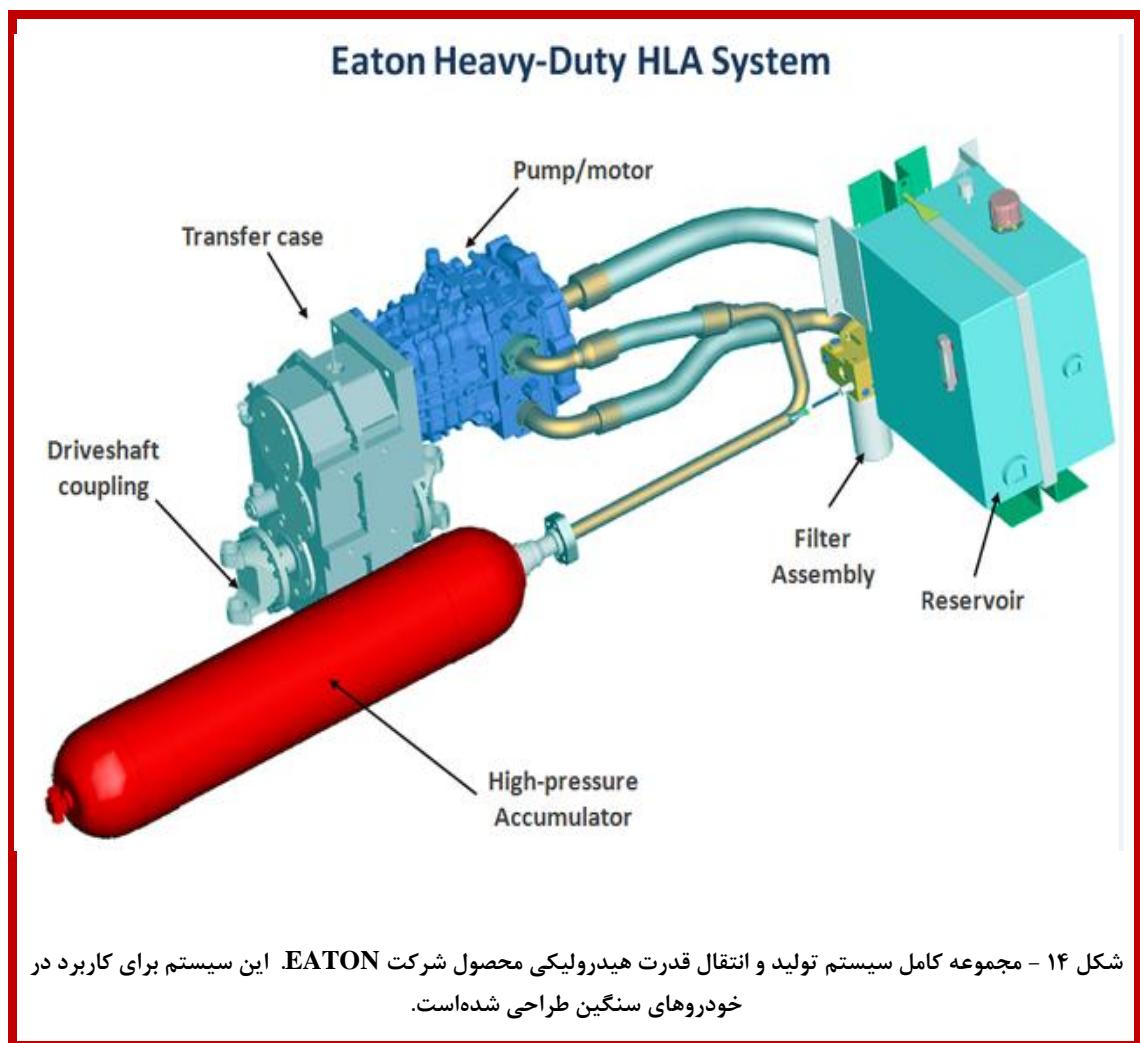
شکل ۱۳- نمودار عملکرد کنترلر الکترو - هیدرولیک

#### ۴ مجموعه‌های کامل تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی

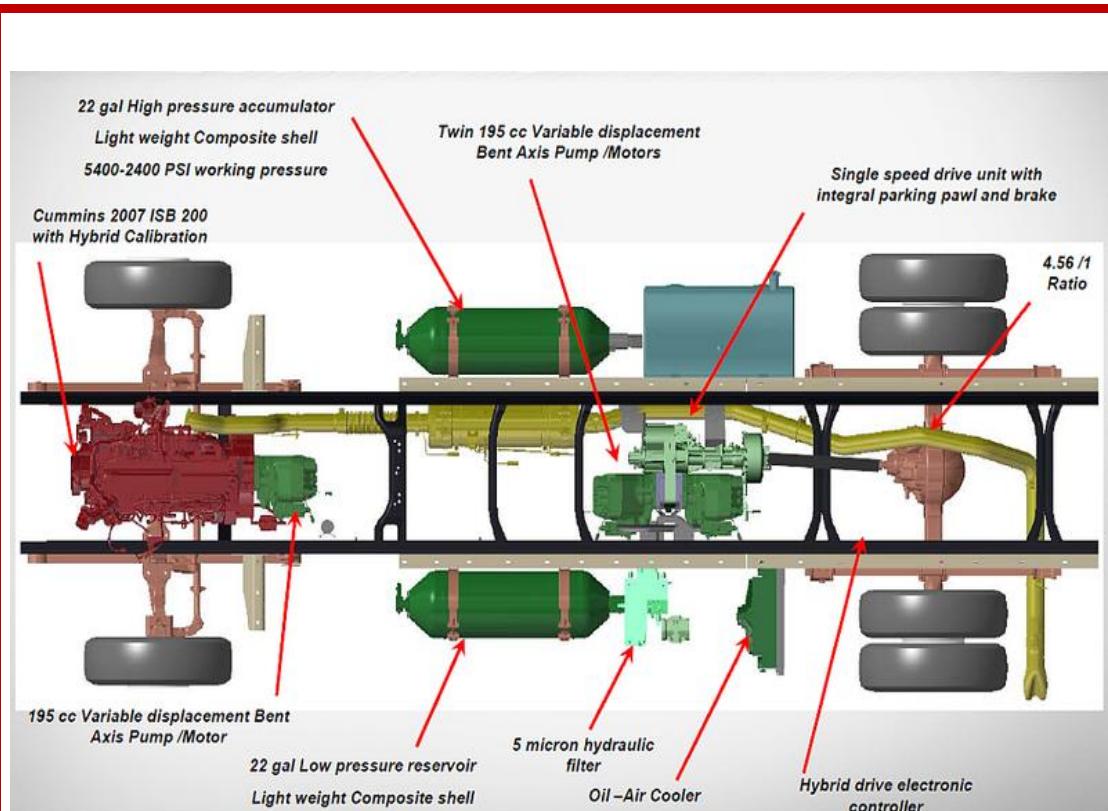
در فصل‌های ۱ تا ۳، ایده تأمین جداگانه قطعات موردنیاز سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت. ایده دیگر جهت تأمین قطعات این سیستم، استفاده از مجموعه‌های کاملی است که تعدادی از شرکت‌های خارج از کشور، اقدام به تولید آنها نموده‌اند. منظور از مجموعه کامل، یک مجموعه تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی شامل پمپ - موتور، آکسومولاטור، شیرهای هیدرولیکی موردنیاز و کنترلر است. در حال حاضر سه شرکت Bosch-Rexroth و EATON و Parker مجموعه‌های کامل تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی را تولید می‌نمایند. دو شرکت EATON و آمریکایی هستند و Bosch-Rexroth یک شرکت آلمانی است. در این مجموعه‌های هیدرولیک، هریک از شرکت‌ها با استفاده از محصولات خود، سیستم تولید و انتقال قدرت موردنظر را تولید و به عنوان یک محصول جدید ارائه نموده‌است. در شکل

۱۴ و شکل ۱۵ مجموعه‌های کامل تولید و انتقال قدرت شرکت‌های EATON و Parker نشان داده

شده‌است.

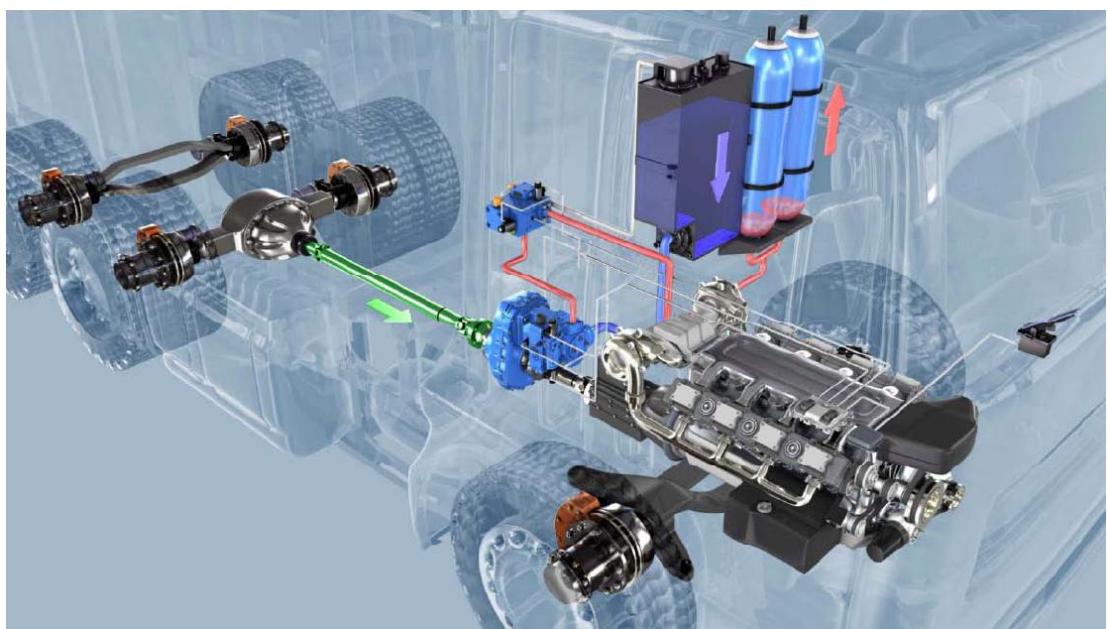


شکل ۱۴ - مجموعه کامل سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی محصول شرکت EATON. این سیستم برای کاربرد در خودروهای سنگین طراحی شده است.



شکل ۱۵- مجموعه کامل سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی محصول شرکت Parker. این سیستم بر روی خودروهای حمل زباله اجرا شده است.

همان طور که در فصول قبل اشاره شد، امکان تهیه قطعات از کشور آمریکا وجود ندارد. از این رونماییان سه مجموعه کامل تولید قدرت هیدرولیکی موجود، محصول شرکت Bosch-Rexroth انتخاب می‌گردد. نمای کلی این مجموعه در شکل ۱۶ ارائه شده است.



شکل ۱۶ - مجموعه کامل سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی (HRB) محصول شرکت Bosch-Rexroth. این سیستم بر روی خودروهای حمل زباله اجرا شده است.

مجموعه تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی محصول شرکت Bosch-Rexroth System با نام تجاری HRB بر روی خودروهای حمل زباله در کشور آلمان اجرا شده است. در این سیستم، از یک پمپ-موتور A4VSO با جابجایی ماکزیمم ۲۱۰ سانتی‌متر مکعب بر دور و ماکزیمم توان ۲۳۳ کیلووات استفاده شده است. برای انتقال قدرت میان پمپ-موتور و محور محرک یک گیربکس تک سرعته به کار رفته است. همچنین دو آکمولاتور که ظرفیت هریک ۳۲ لیتر می‌باشد، به عنوان مخازن ذخیره انرژی هیدرولیکی درنظر گرفته شده‌اند. در مدار هیدرولیک سیستم HRB، از یک شیر فشار شکن و یک مجموعه شیر کنترل مسیر جریان سیال استفاده شده است. اجزای مدار هیدرولیک مجموعه HRB در شکل ۱۷ ارائه شده است.

<sup>۱</sup> Hydrostatic Regenerative Braking system



مرحله چهارم - قسمت اول

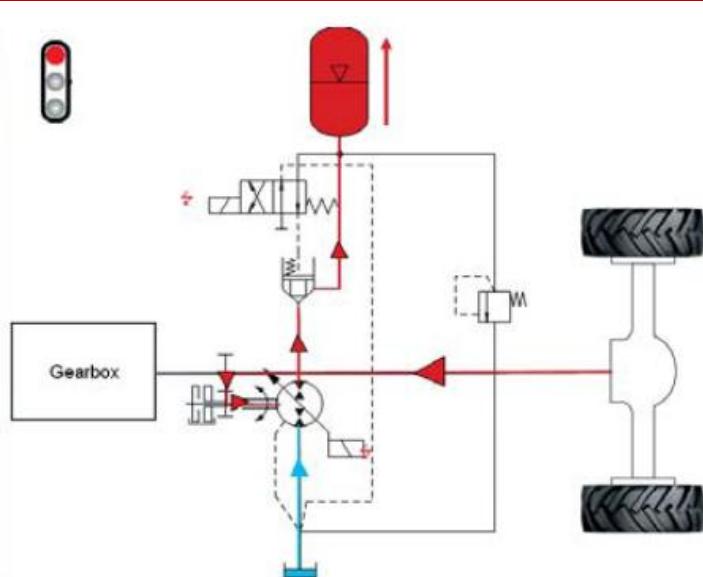
## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



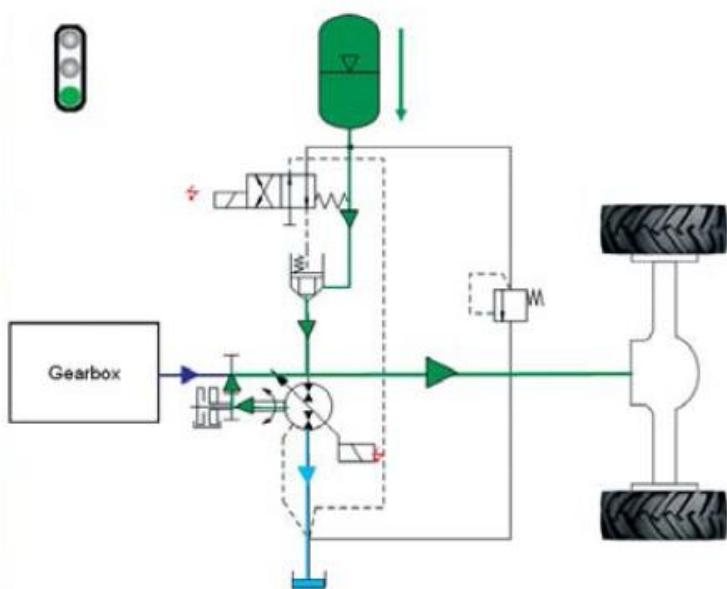
شکل ۱۷ - قطعات مدار هیدرولیکی سیستم HRB.

اساس کار سیستم HRB، بازیابی انرژی هدررفته در فرآیند ترمزگیری خودرو است. به این ترتیب که در زمان ترمزگیری خودرو پمپ - موتور هیدرولیکی که به محور چرخ‌ها متصل است، با اعمال گشتاور منفی انرژی جنبشی خودرو را به فشار هیدرولیک تبدیل کرده و از طریق مدار هیدرولیک در آکومولاتورها ذخیره می‌کند. سپس در هنگام شتاب‌گیری خودرو، پمپ - موتور در حالت موتوری کار کرده، انرژی ذخیره شده در آکومولاتورها را به انرژی جنبشی تبدیل می‌نماید. عملکرد سیستم HRB در دو حالت ترمزگیری و شتاب‌گیری در شکل ۱۸ و شکل ۱۹ نشان داده شده است. در طول فعالیت خودرو براساس حالت حرکت، شیر کنترل مسیر موجود در مدار هیدرولیک در وضعیت مناسب قرار می‌گیرد. وضعیت کاری این شیر، جهت جریان سیال را تعیین می‌کند. وضعیت کاری شیر تعیین مسیر و مقدار جابجایی پمپ - موتور توسط یک کنترلر تناسبی<sup>۱</sup>، کنترل می‌شود. استفاده از مجموعه HRB در خودروهای حمل زیاله کاهش ۲۵ درصدی مصرف سوخت را به همراه داشته است. با استفاده از مجموعه کامل تولید انتقال قدرت هیدرولیکی، مسئله برقراری هماهنگی میان اجزاء سیستم بطور خودکار حل شده است.

<sup>1</sup> Proportional Control



شکل ۱۸ - عملکرد سیستم HRB در حالت ترمزگیری خودرو



شکل ۱۹ - عملکرد سیستم HRB در حالت شتابگیری خودرو



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پژوهش سازی صنعت سوخت

### ۵ تخمین میزان اضافه شدن وزن اتوبوس هیبرید موازی

#### هیدرولیکی

با اعمال سیستم هیبرید موازی هیدرولیکی بر اتوبوس O457، با توجه به حذف بعضی قطعات و اضافه

نمودن قطعات جدید تغییراتی در وزن اتوبوس ایجاد می شود. این تغییرات را می توان در دو گروه مکانیکی و

هیدرولیکی دسته بندی کرد:

- تغییرات وزن در سیستم مکانیکی. موتور احتراق داخلی اتوبوس O457، موتور دیزل مدل

OM457LA با وزن خام ۹۲۰ کیلوگرم تولید شرکت IDEM تبریز می باشد. در اتوبوس هیبرید

موازی هیدرولیکی این موتور با موتور دیزل مدل OM906LA با وزن خام ۵۵۵ کیلوگرم تولیدی

شرکت مذکور، جایگزین شده است. همچنین گیربکس استفاده شده برای موتور احتراق داخلی در

اتوبوس هیبرید، مشابه گیربکس اتوبوس متعارف O457 است. بعلاوه در اتوبوس هیبرید موازی

هیدرولیکی برای ایجاد کوپلینگ بین موتور احتراق داخلی و پمپ- موتور هیدرولیکی، از یک

مجموعه چرخدنده ساده به عنوان کوپلینگ گشتاور استفاده شده است که وزن این قطعه ۲۰

کیلوگرم می باشد. تغییرات وزن در قسمت مکانیکی در جدول ۷ نشان داده شده است. در مجموع

در قسمت مکانیکی ۳۳۰ کیلوگرم از وزن اتوبوس کاسته شده است.

جدول ۷ - تغییرات وزن در قسمت مکانیکی

تغییرات مکانیکی	وزن (کیلوگرم)
تعویض موتور احتراق داخلی	-۳۶۵
اضافه کردن کوپلینگ گشتاور	۳۵
مجموع تغییرات مکانیکی	-۳۳۰



مرحله چهارم - قسمت اول  
**مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی**



- تغییرات وزن در سیستم هیدرولیکی. در این قسمت، وزن تمامی قطعات مدار هیدرولیکی به وزن

اتوبوس اضافه می شود. وزن هریک از قطعات مدار هیدرولیکی در جدول ۸ ارائه شده است. در قسمت هیدرولیکی ۷۲۰ کیلو گرم به وزن اتوبوس اضافه شده است.

جدول ۸ - وزن قطعات مدار هیدرولیکی

نام قطعه	وزن (کیلو گرم)
پمپ - موتور هیدرولیکی	۸۸
آکومولاتور پرفشار	۴۴۰
موتور هیدرولیکی مجموعه کمکی	۱۴
مخزن کم فشار	۶۰
بلوک شیر کنترل کننده (شامل شیر تعیین مسیر و شیر فشنگی)	۱۴
شیر فشارشکن	۱۴
کنترلر الکترو-هیدرولیک	۱۰
ادوات جانبی (لوله، فیلتر ، بسته های هیدرولیکی)	۲۰
سیال (روغن از نوع HF)	۶۰
مجموع مدار هیدرولیکی	۷۲۰



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پهپنه سازی مصرف سوخت

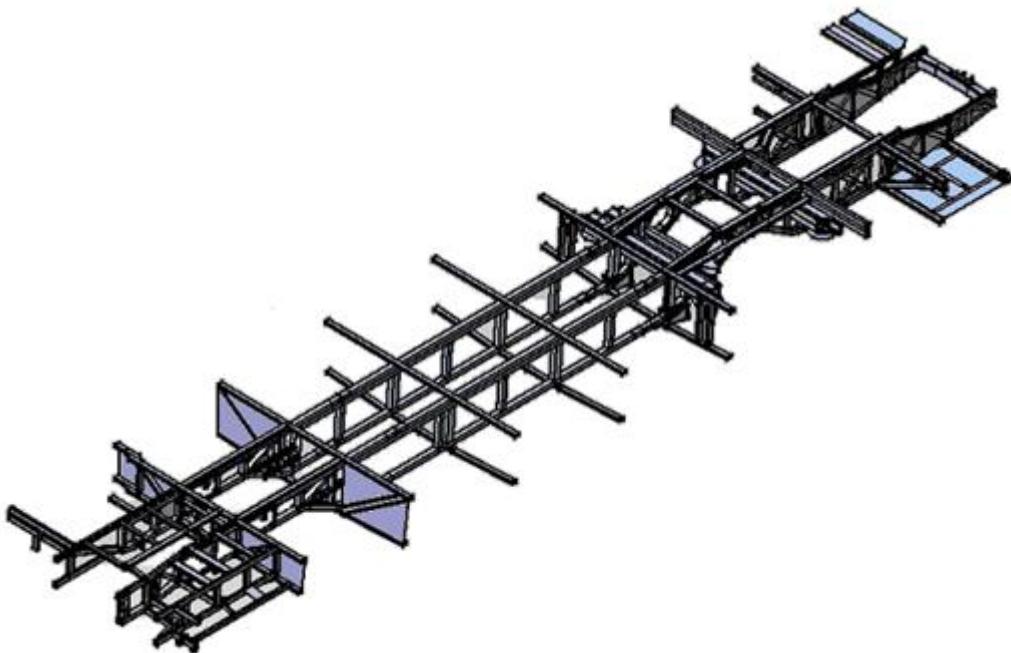
بنابراین بادرنظر گرفتن کاهش و افزایش وزن در دو قسمت مکانیکی و هیدرولیکی، با اجرای سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید هیدرولیکی بر اتوبوس ۰۴۵۷، مقدار ۳۹۰ کیلوگرم به وزن خودرو اضافه می‌گردد. این مقدار با توجه به وزن اتوبوس به انضمام مسافران که در حدود ۱۶ تن می‌باشد، ناچیز است.

## ۶ امکان‌سنجی جانمایی تجهیزات هیدرولیک در خودرو

اهمیت جانمایی تجهیزات در خودروی هیبرید دوچندان است. زیرا از یک‌سو، جانمایی تجهیزات سیستم حرکة احتراقی و متعلقات آن همانند خودروهای احتراقی معمولی باید انجام شود و از سوی دیگر، تجهیزات حجیم و سنگین حرکة هیدرولیکی باید جاسازی شوند. جاداًدن همه تجهیزات خودرو در فضای موجود به‌طوری که از نظر طراحی و اصول نصب مناسب بوده و از لحاظ مسائل تعمیر و تعویض و بازبینی تجهیزات نیز قابل دسترسی باشند، نیازمند یک طراحی مبسوط و بررسی همه‌جانبه است.

در فرایند تبدیل یک خودروی معمولی به خودروی هیبرید هیدرولیکی، بسیاری از بخش‌های خودرو که در طراحی اولیه به وجود آمده‌اند، قابل تغییر نخواهند بود. لذا با هندسه مشخص و طراحی‌شده شاسی و بدنه فعلی اتوبوس، باید تجهیزات هیبریدسازی را در فضای موجود جای داد. به‌طورکلی در جانمایی ادوات اتوبوس هیبرید باید اساس کار را بر توزیع مناسب وزن، قابل دسترسی بودن تجهیزات جهت انجام تعمیرات، کاهش مشکلات نصب آنها و اعمال کمترین تغییرات در شاسی و بدنه خودرو قرار داد.

شاسی اتوبوس ۰۴۵۷ مطابق شکل ۲۰ از نوع شاسی پروفیلی می‌باشد. این شاسی به‌وسیله پروفیل‌هایی که اکثراً از نوع مقاطع بسته می‌باشند، تشکیل شده‌است. سازه قسمت اتاق نیز پروفیلی بوده و توسط یک سری تکیه‌گاه‌ها به شاسی متصل می‌گردد. تمام قسمت‌های اتاق و شاسی با اتصالات جوشی به‌هم متصل می‌گردند.



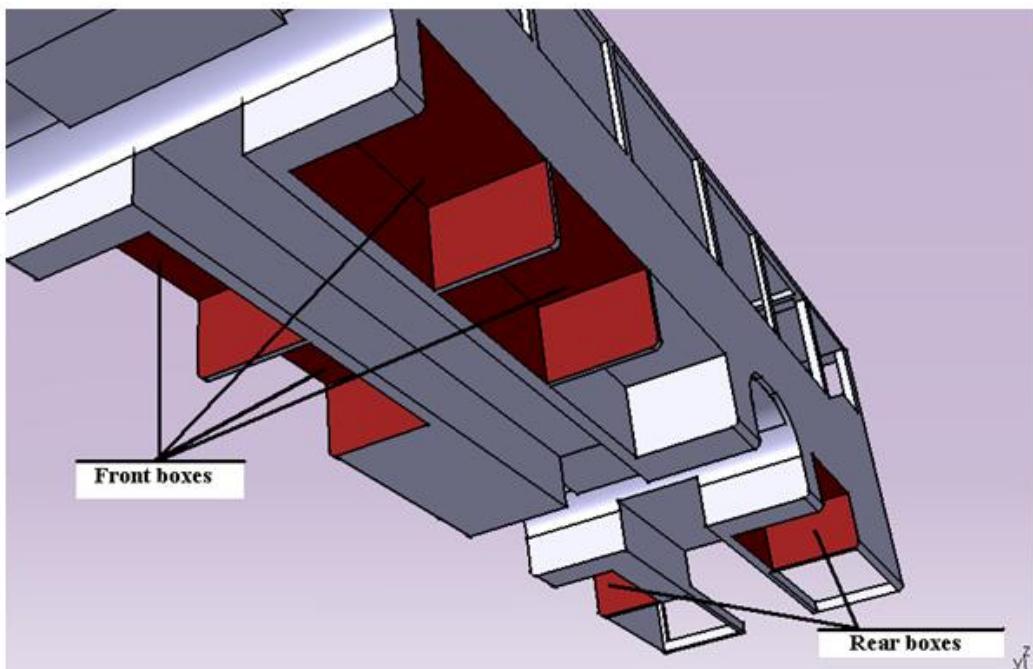
شکل ۲۰ - شاسی پروفیلی اتوبوس ۰۴۵۷

در این فصل، ابتدا فضای موجود جهت جانمایی قطعات مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با درنظر گرفتن اجزای سیستم معرفی شده در فصل های قبل، محل مناسب اجزای هیبرید تعیین شده است. در پایان محل مرکز ثقل خودرو در حالت عادی و هیبرید تعیین و میزان بار اکسل ها پس از تعیین مرکز ثقل، مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در این فصل ابعاد ذکرشده اجزاء بر حسب ارتفاع × عرض × طول می باشد.

## ۱-۶ بررسی فضای موجود

جهت جانمایی تجهیزات مورد نیاز برای هیبرید سازی اتوبوس ۰۴۵۷، ابتدا فضای خالی موجود مورد بررسی قرار می گیرد و ابعاد این مکان ها اندازه گیری می شود. از جمله فضاهای خالی موجود می توان به

صندوق‌های جانبی اشاره نمود که در حال حاضر به جز محل مخزن سوخت، از بقیه آنها به دلیل درون شهری بودن اتوبوس استفاده نمی‌شود. این صندوق‌ها شش عدد بوده که چهار صندوق بین دو اکسل و دو صندوق دیگر در پشت اکسل عقب قرار دارند. همچنین در صورت تغییر نوع شاسی و تبدیل آن به یک شاسی نردبانی، فضای آزاد بیشتری در دسترس خواهد بود. مخزن سوخت در قسمت جلو قرار گرفته است و محل آن در شکل ۲۱ در صندوق سوم بین دو اکسل می‌باشد.



شکل ۲۱ - فضاهای خالی و صندوق‌های کناری اتوبوس

## ۶-۲ تعیین جانمایی مناسب اجزای سیستم تولید و انتقال قدرت

در این قسمت با توجه به فضای موجود در دسترس، جانمایی تجهیزات سیستم هیبرید انجام می‌گردد. بعضی از اجزای موجود خودرو از جمله جعبه‌دنده و مخزن سوخت، حذف شده و یا محل آنها تغییر می‌یابد. فضای موجود جهت جانمایی تجهیزات در شکل ۲۱ نشان داده شده است. در این شکل فضای خالی صندوق‌ها و



مرحله چهارم - قسمت اول

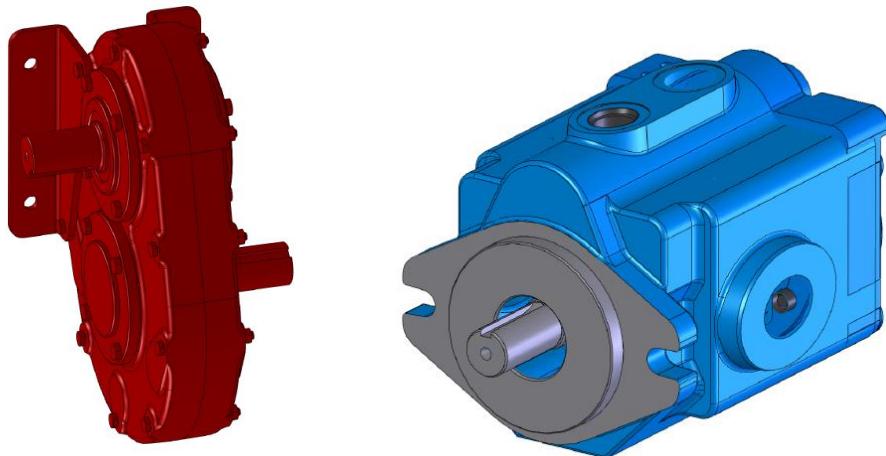
## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پژوهش سازی صنعت سوخت

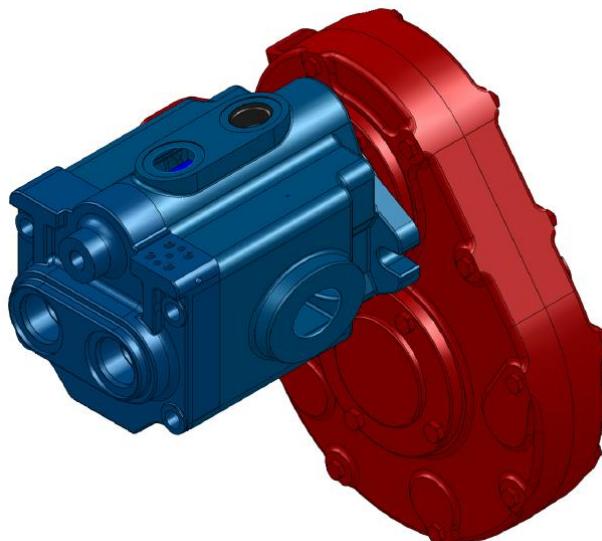
همچنین فضای بین دو تیر شاسی قابل مشاهده است. مدل مطلوب جهت جانمایی تجهیزات هیبرید همان گونه که در مقدمه بیان گردید، به صورتی است که تغییرات مرکز ثقل خودرو حداقل باشد و بار اکسل‌ها نیز در حد مجاز نگاه داشته شود. همچنین تجهیزات را باید به صورتی جانمایی نمود که فاصله بین آنها حداقل شود تا جهت اتصال آنها به یکدیگر هزینه کمتری صرف گردد. در انجام جانمایی قطعات باید سعی شود که جرم کمتری در انتهای خودرو متتمرکز گردد تا فرمان پذیری خودرو دچار مشکل نگردد. خنک‌کاری تجهیزات نیز باید مدنظر قرار گیرد که در این حالت راستای قرار گیری و محل اجزاء و نیز فاصله آنها باید به نحو مطلوب تعیین شود. در ادامه، جانمایی اجزای مختلف خودروی هیبرید مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۶-۲-۱ جانمایی پمپ - موتور هیدرولیکی

همان‌طور که در فصول قبل گفته شد، پمپ - موتور هیدرولیکی ساخت شرکت Bosch-Rexroth و از مدل A4VSO است که دارای ابعاد  $312 \times 354 \times 355$  mm و وزنی معادل ۸۸ kg می‌باشد. گشتاور تولیدی توسط پمپ - موتور به وسیله یک جعبه‌دنده کوپلینگ تک سرعته به میل گارдан منتقل می‌شود. این جعبه‌دنده علاوه بر اتصال شافت خروجی پمپ - موتور هیدرولیکی و موتور احتراقی، وظیفه تبدیل دور را نیز بر عهده دارد. ابعاد این جعبه‌دنده  $361 \times 525 \times 230$  mm می‌باشد. نسبت تبدیل دور جعبه‌دنده مورد نظر  $1/5$  و میزان تغییر زاویه گاردان در موقعیت عادی ۷ درجه و در شرایط حداکثر فشردگی فرها ۱۳ درجه می‌باشد. شکل ۲۲ نمایی از پمپ - موتور هیدرولیکی و جعبه‌دنده و شکل ۲۳ اتصال پمپ - موتور و جعبه‌دنده را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲- نمایی از پمپ - موتور هیدرولیکی و جعبه دندنه



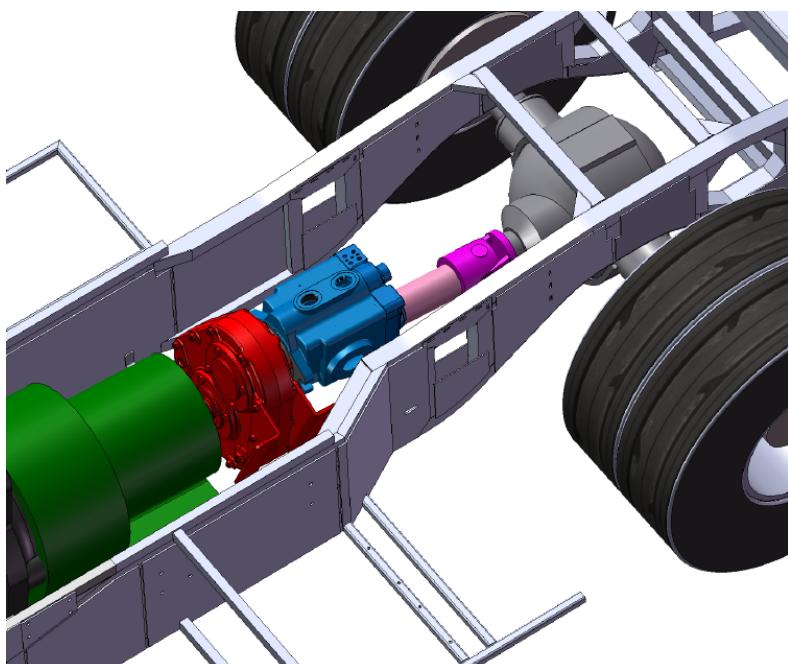
شکل ۲۳- پمپ - موتور هیدرولیکی و جعبه دندنه در وضعیت متصل به هم

جهت جانمایی، پمپ - موتور هیدرولیکی در قسمت پشت اکسل عقب قرار می گیرد (شکل ۲۴). در این

صورت نیازی به چرخاندن اکسل عقب جهت اتصال میل گارдан نخواهد بود و مرکز ثقل خودرو نیز در به

سمت عقب جایجا شده و بار اکسل جلو کاهش می‌یابد که از لحاظ بار مجاز اکسل جلو مطلوب است.

همچنین جعبه دنده کوپلینگ بلا فاصله بعد از گیربکس اتوماتیک و قبل از اتصال به میل گاردان قرار گرفته است. از معایب این جانمایی می‌توان به طولانی شدن فاصله بین آکومولاتورها و پمپ - موتور هیدرولیکی اشاره نمود که در نتیجه آن طول لوله‌ها بیشتر شده و باعث افزایش وزن و همچنین اتلاف انرژی خواهد شد. عیب دیگر این نوع جانمایی، افزایش گشتاور اینرسی حول محور عمودی<sup>۱</sup> به دلیل افزایش جرم در انتهای خودرو می‌باشد که بر فرمان پذیری، تأثیر منفی خواهد داشت.

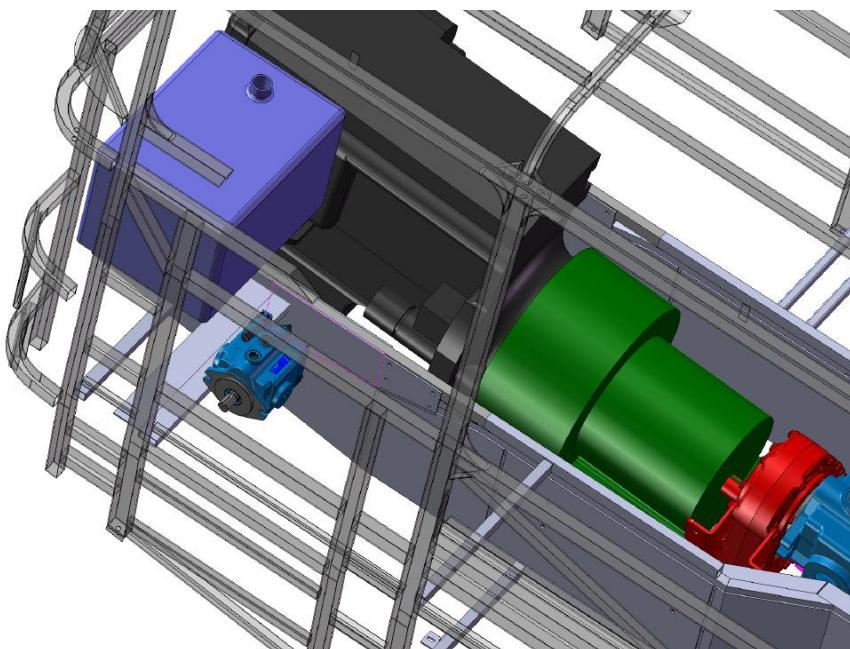


شکل ۲۴- محل پمپ - موتور هیدرولیکی در انتهای خودرو

<sup>1</sup> Yaw

## ۶-۲-۶ جانمایی موتور هیدرولیک مجموعه کمکی

همان طور که در فصول قبل ذکر شد، توان لازم برای مجموعه کمکی اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی توسط یک موتور هیدرولیکی تأمین می گردد. محل قرارگیری این موتور در محل مجموعه کمکی اتوبوس متعارف، یعنی در انتهای خودرو و کنار موتور احتراقی خواهد بود. در شکل ۲۵ نمایی از جانمایی موتور هیدرولیک نشان داده شده است.

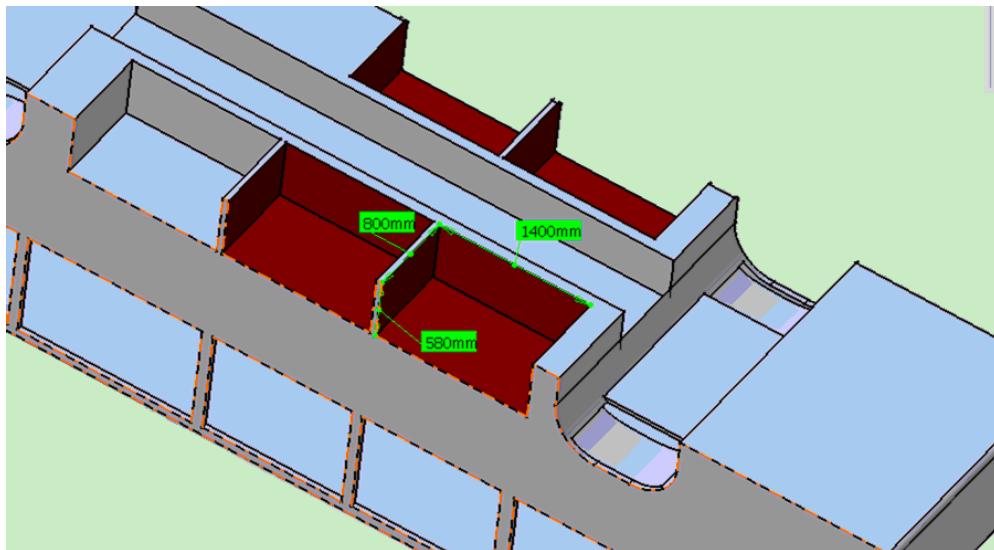


شکل ۲۵ - نمایی از جانمایی موتور هیدرولیک مجموعه کمکی

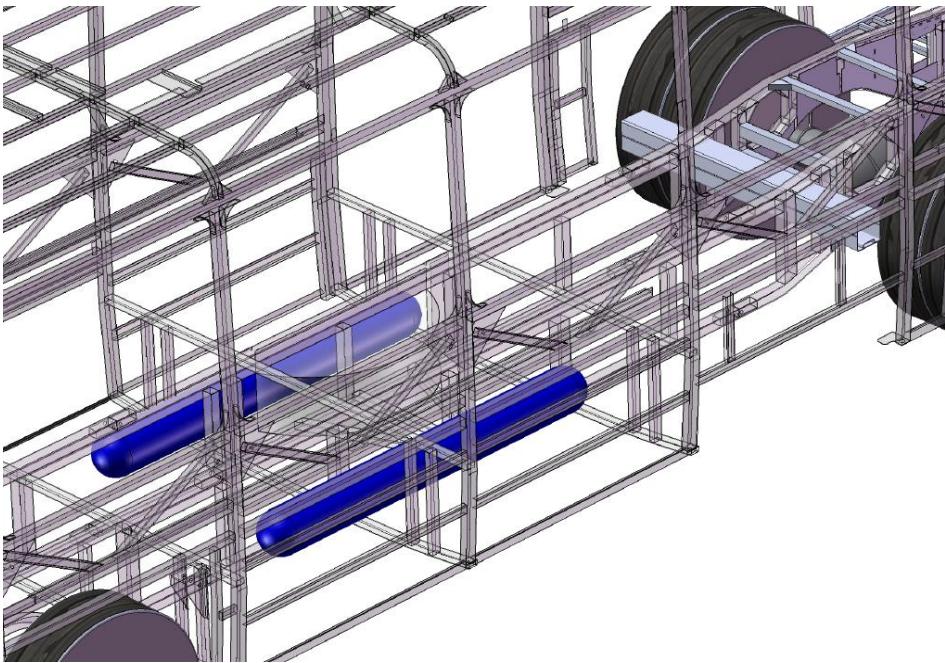
## ۶-۲-۶ جانمایی آکومولاتورها و مخزن کم فشار هیدرولیک

دو آکومولاتور پیشنهاد شده محصول شرکت Bosch-Rexroth می باشند. هریک از آکومولاتورها استوانه ای به قطر mm ۲۴۳ و طول mm ۲۰۳۲ است. جهت جانمایی آکومولاتورها دو گزینه وجود دارد. آکومولاتورها را می توان بر روی سقف قرار داد و یا اینکه از فضای صندوق ها جهت جانمایی آنها استفاده

نمود. با توجه به اینکه قراردادن آکومولاتورها با وزن حدود ۵۰۰ کیلوگرم (به انضمام بسته‌ها و چارچوب نصب) روی سقف خودرو باعث افزایش گشتاور اینرسی حول محور طولی می‌گردد و این امر تمایل به غلتش خودرو را افزایش می‌دهد، باید از قراردادن آکومولاتورها روی سقف خودرو تاحد امکان اجتناب نمود. علاوه بر این موضوع، قراردادن آکومولاتورها روی سقف، مستلزم تقویت سازه سقف می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده، فضای موجود صندوق‌ها که در شکل ۲۶ نشان داده شده است، جهت جانمایی آکومولاتورها مناسب‌تر می‌باشد. با توجه به ابعاد صندوق‌های بین اکسل‌ها، می‌توان هریک از آکومولاتورها را در طرفین اتوبوس و داخل صندوق قرار داد. شکل ۲۷ جانمایی آکومولاتورها را در هر صندوق نشان می‌دهد. در این وضعیت، ملاحظه می‌گردد که بازرسی و جابجا نمودن آکومولاتورها به‌آسانی امکان‌پذیر است.



شکل ۲۶- ابعاد صندوق‌ها جهت جانمایی آکومولاتور

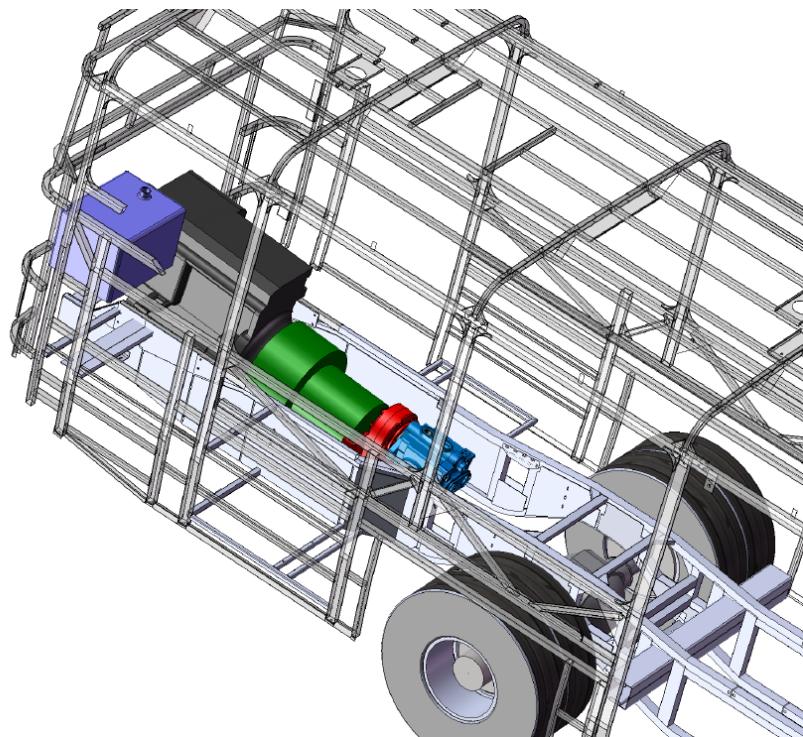


شکل ۲۷ - چیدمان آکومولاتورها در صندوقهای جانبی

مخزن کم فشار پیشنهاد شده ابعاد  $450 \times 400 \times 600$  میلی متر و وزن خالص ۶۰ کیلو گرم دارد. محل

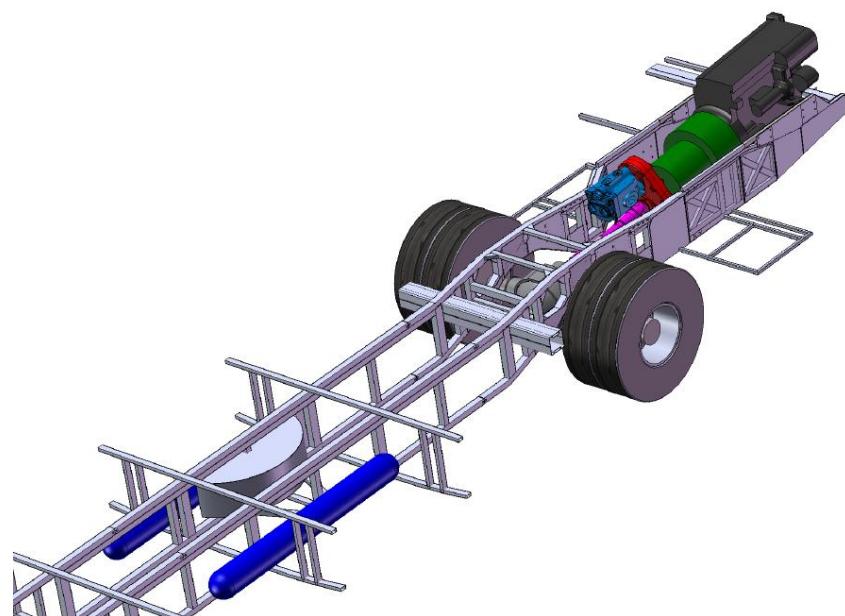
قرار گیری این مخزن در انتهای اتوبوس و بالای مجموعه کمکی می باشد. نمایی از جانمایی مخزن کم فشار در

شکل ۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۲۸ - نمایی از جانمایی مخزن کم فشار در انتهای خودرو

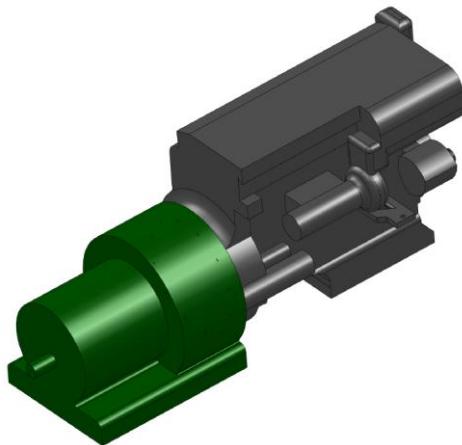
از معایب جانمایی انجام شده برای آکومولاتورها می‌توان به افزایش بار اکسل جلو اشاره نمود. با توجه به وزن آکومولاتورها و سازه نگهدارنده آنها، هر آکومولاتور در حدود  $250 \text{ kg}$  بار به شاسی اعمال خواهد نمود که باعث افزایش بار اکسل جلو نسبت به اکسل عقب، به دلیل نزدیک‌تر بودن فاصله صندوق‌ها به اکسل جلو می‌گردد. از جمله مزایای جانمایی آکومولاتورها در فضای بین دو اکسل خودرو، کاهش ممان اینرسی حول محور عمودی و درنتیجه، افزایش فرمان‌پذیری خودرو می‌باشد. لازم به ذکر است در صورت جایگزینی این شاسی با یک شاسی نردبانی، فضای آزاد بیشتری در دسترس خواهد بود و می‌توان از فضای بین دو تیر طولی نیز جهت انجام جانمایی استفاده نمود. شکل ۲۹ محل آکومولاتورها را نسبت به سایر اجزای هیبرید و اکسل‌ها نشان می‌دهد.



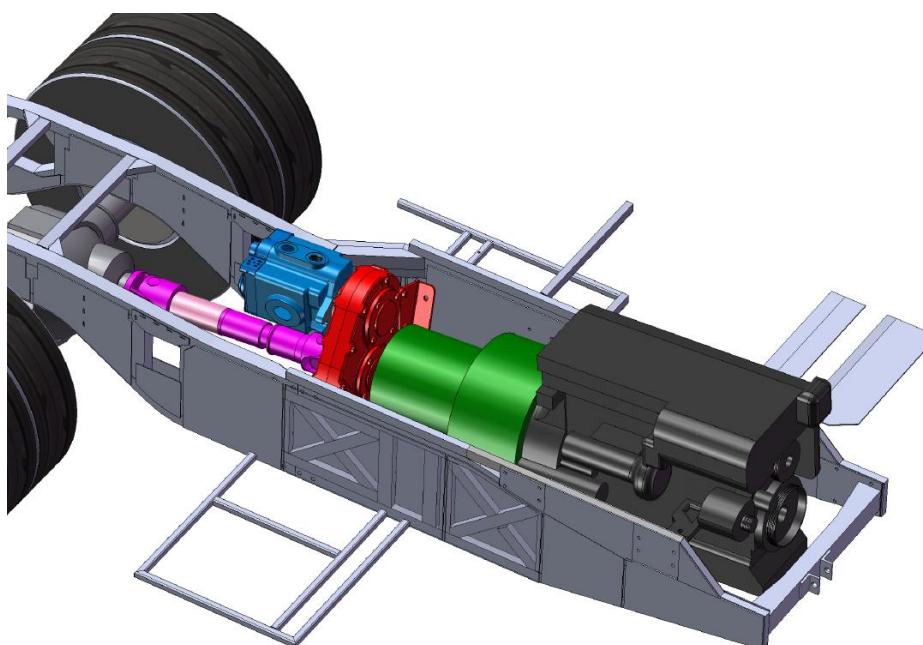
شکل ۲۹ - محل قرارگیری آکومولاتورها نسبت به سایر اجزاء

### ۶-۲-۴- جانمایی موتور احتراقی و گیربکس

موتور احتراقی از نوع OM 906 LA و دارای ابعاد  $1078 \times 940 \text{ mm} \times 645$  می‌باشد. بین موتور احتراقی و جعبه‌دنده کوپلینگ، گیربکس اتوماتیک موجود در اتوبوس متعارف با نسبت تبدیل‌های  $1/42$ ،  $2/01$ ،  $3/43$  و  $1$  قرار داده شده است تا دور محور محرک را نسبت به دور خروجی موتور احتراقی افزایش دهد. ابعاد جعبه‌دنده ذکر شده  $577/5 \text{ mm} \times 244/5 \times 211$  می‌باشد. شکل ۳۰ نمایی از موتور احتراقی و گیربکس ذکر شده را نشان می‌دهد. موتور احتراقی و گیربکس اتوماتیک به صورت طولی و در انتهای اتوبوس قرار گرفته است. در انتخاب این نوع جانمایی سعی شده است حالت کلی مجموعه مکانیکی شامل موتور احتراقی و گیربکس اتوماتیک مشابه مجموعه در اتوبوس متعارف باشد. شکل ۳۱ جانمایی موتور احتراقی و گیربکس را نشان می‌دهد.



شکل ۳۰ - موتور احتراقی و جعبه‌دنده اتوماتیک



شکل ۳۱ - جانمایی موتور احتراقی و گیربکس اتوماتیک در انتهای خودرو



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پژوهش سازی صنایع سوخت

## ۷ تخمین مکان مرکز ثقل اتوبوس به عنوان پارامتر مؤثر در

### عملکرد خودرو

تخمین مکان مرکز ثقل اتوبوس متعارف و هیبرید، به منظور تعیین کیفیت جانمایی انجام شده برای قطعات سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید هیدرولیکی می باشد. چنانچه تغییرات افقی و عمودی مرکز ثقل ناچیز باشد، کیفیت جانمایی قطعات مناسب ارزیابی می شود. در ادامه تغییرات مرکز ثقل اتوبوس های متعارف و هیبرید برای هر دو حالت بدون بار و بار کامل محاسبه شده است. همچنین به منظور تخمین مکان مرکز ثقل اتوبوس هیبرید، مکان مرکز ثقل اتوبوس متعارف در حالت حذف موتور نیز محاسبه شده است.

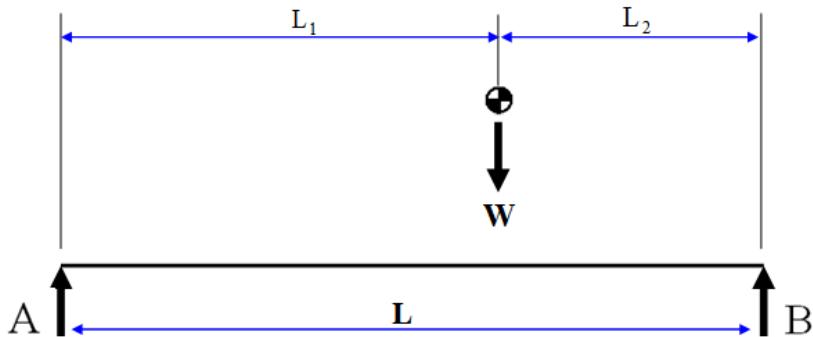
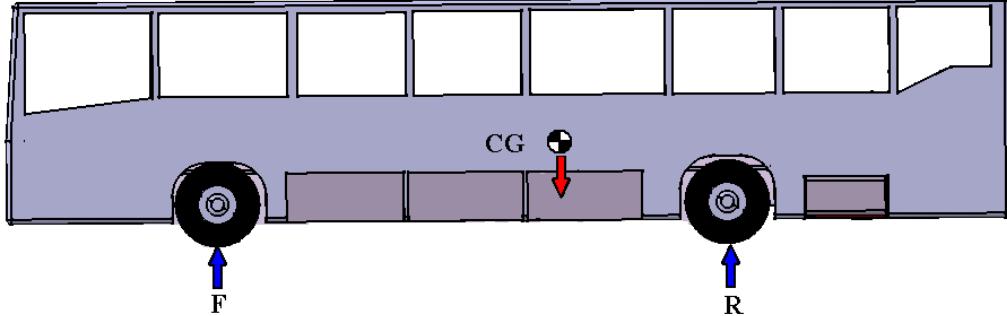
### ۱-۷ مکان مرکز ثقل در اتوبوس متعارف

همان گونه که ذکر شد، جانمایی بر اساس وضعیت فعلی خودرو انجام گرفته است (جرم خودرو در حالت بدون بار kg ۹۸۲۰ و در حالت بار کامل kg ۱۸۰۰۰ می باشد). بار اکسل جلو در حالت بدون بار (مسافر) kg ۲۶۶۸ و بار اکسل عقب kg ۷۱۵۲ می باشد. در حالت بار کامل، اکسل جلو دارای باری معادل kg ۶۵۰۰ و اکسل عقب دارای باری معادل kg ۱۱۵۰۰ است. موتور احتراقی و جعبه دنده اتوبوس فعلی در انتهای خودرو قرار دارند. در ادامه تعیین مکان مرکز ثقل خودرو و بار اکسل ها در دو وضعیت بدون بار و بار کامل انجام شده است.

محل افقی مرکز ثقل اتوبوس متعارف در دو وضعیت بدون بار و بار کامل در این قسمت تعیین شده است.

فاصله مرکز ثقل در این حالت نسبت به اکسل عقب تعیین می شود. ابتدا بار اکسل ها از طریق توزین بدست

آمده و سپس محل مرکز ثقل محاسبه شده است. در شکل ۳۲ نقاط A و B، محل اکسل‌ها و  $L_1$  و  $L_2$  به ترتیب فاصله مرکز ثقل را از اکسل جلو و عقب نشان می‌دهند.



شکل ۳۲- بارهای وارد بر اکسل‌ها و محل مرکز ثقل اتوبوس

### ۱-۱-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بدون بار

در حالت بدون بار (مسافر) میزان بار اکسل جلو  $2688 \text{ kg}$  و بار اکسل عقب  $7152 \text{ kg}$  می‌باشد که در این وضعیت با گشتاورگیری حول نقطه B (اکسل عقب) فاصله مرکز ثقل از اکسل عقب،  $L_2$  تعیین می‌گردد. با توجه به مطالب ذکر شده محاسبات به صورت زیر خواهد بود.



$F=2688 \text{ kg}$

بار اکسل جلو:

$R=7152 \text{ kg}$

بار اکسل عقب:

$W=9820 \text{ kg}$

کل بار اکسل‌ها:

$L=6055 \text{ mm}$

فاصله بین دو اکسل:

$$\sum M_B = 0$$

گشتاور حول نقطه B (اکسل عقب)

$$WL_2 - FL = 0$$

$$\Rightarrow L_2 = \frac{FL}{W} = \frac{(2688)(6055)}{9820} = 1657 \quad \text{فاصله مرکز ثقل از اکسل عقب (mm)}$$

درنتیجه، در وضعیت بدون بار، مرکز ثقل در حدود ۱۶۵۷ mm از اکسل عقب فاصله داشته و بین دو اکسل

قرار دارد.

## ۲-۱-۴ مکان مرکز ثقل در حالت بار کامل

در حالت بار کامل میزان بار اکسل جلو و عقب و بار کل به شرح زیر می‌باشد.

$F=6500 \text{ kg}$

بار اکسل جلو:

$R=11500 \text{ kg}$

بار اکسل عقب:

$W=18000 \text{ kg}$

کل بار اکسل‌ها:

$L=6055 \text{ mm}$

فاصله بین دو اکسل:

$$\sum M_B = 0$$

گشتاور حول نقطه B (اکسل عقب)

$$WL_2 - FL = 0$$

$$\Rightarrow L_2 = \frac{FL}{W} = \frac{(6500)(6055)}{18000} = 2186 \quad \text{فاصله مرکز ثقل از اکسل عقب (mm)}$$

درنتیجه در وضعیت بار کامل، مرکز ثقل در حدود ۲۱۸۶ mm از اکسل عقب فاصله داشته و بین دو اکسل

می‌باشد. میزان تغییر فاصله مرکز ثقل در حالت بدون بار و در حالت بار کامل ۵۲۹ mm می‌باشد.



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پژوهش سازی صنایع سوخت

### ۲-۷ مکان مرکز ثقل اتوبوس متعارف در حالت حذف موتور

باتوجه به مطالب ذکر شده در مورد سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید موازی هیدرولیکی، مشخص می‌گردد

که موتور اتوبوس متعارف باید با موتور احتراقی جدید که ابعاد و وزن کمتری دارد، جایگزین شود. جهت

تعیین مرکز ثقل خودروی هیبرید، ابتدا باید مرکز ثقل خودروی معمولی بدون موتور محاسبه شده و سپس

مرکز ثقل خودروی هیبرید همراه با تجهیزات جایگزین محاسبه گردد.

در وضعیتی که موتور فعلی اتوبوس حذف شود، وزن کل اتوبوس کاهش یافته و بهدلیل کاهش جرم انتهای

خودرو، مرکز ثقل به سمت جلو جابجا می‌گردد. در این حالت، مرکز ثقل خودرو به صورت زیر محاسبه

می‌گردد.

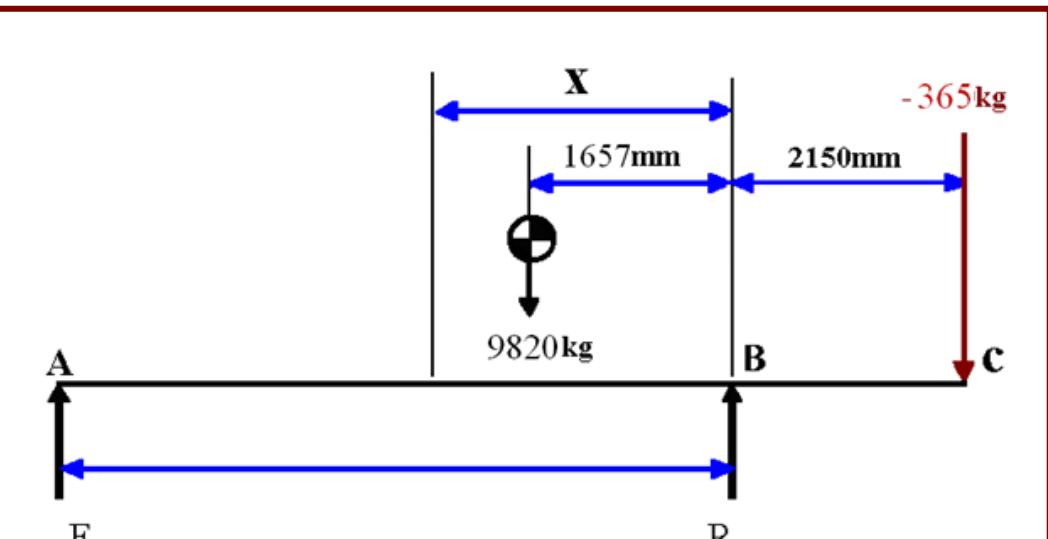
### ۱-۲-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بدون بار

در وضعیت بدون بار باید جرم حدود ۳۶۵ کیلوگرم مربوط به موتور از انتهای خودرو حذف گردد (شکل

۳۳). این کاهش جرم، ناشی از اختلاف وزن موتور احتراقی جدید و موتور احتراقی موجود در اتوبوس

متعارف است (به جدول ۷ مراجعه شود). مکان افقی مرکز جرم موتور احتراق داخلی، ۲۱۵۰ میلی متر پشت

محور عقب اتوبوس قرار دارد.



شکل ۲۳ - بارگذاری اتوبوس بدون مسافر پس از حذف موتور و جعبه‌دنده

محاسبات مربوط به تعیین مرکز ثقل به صورت زیر می‌باشد.

$$(9820 - 365)x = 9820 \times 1657 + 365 \times 2150$$

$$\Rightarrow x = 1804 \text{ mm}$$

فاصله مرکز ثقل از اکسل عقب

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مرکز ثقل ۱۸۰۴ mm از اکسل عقب فاصله خواهد داشت که با توجه به مقدار

محاسبه شده در حالت همراه با موتور (بخش ۶-۳-۱)، به میزان ۱۵۹ mm افزایش می‌یابد.

### ۲-۲-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بار کامل

در حالت بار کامل نیز همانند حالت بدون بار، جرم ۳۶۵ کیلوگرم از انتهای خودرو حذف می‌گردد.

محاسبات مربوط به مکان مرکز ثقل به صورت زیر می‌باشند.

$$(18000 - 365)x = 18000 \times 2186 + 365 \times 2150$$

$$\Rightarrow x = 2275 \text{ mm}$$

فاصله مرکز ثقل از اکسل عقب



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی محضر سوخت

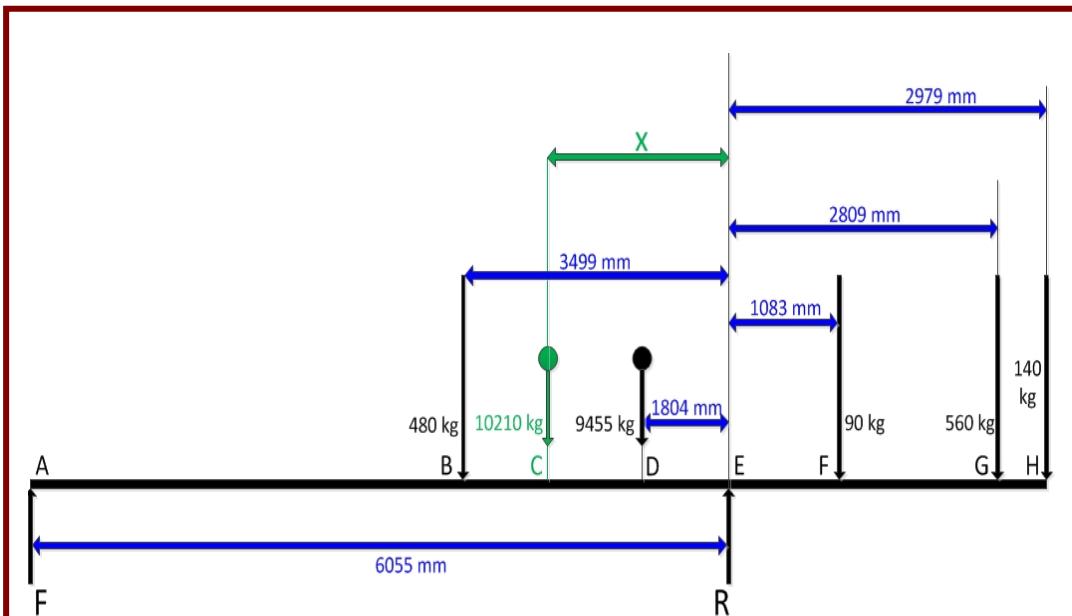
همان طور که ملاحظه می‌گردد، مرکز ثقل  $2275\text{ mm}$  از اکسل عقب فاصله خواهد داشت که با توجه به مقدار محاسبه شده در حالت همراه با موتور (بخش ۲-۳-۶)، فاصله آن به میزان  $89\text{ mm}$  نسبت به اکسل عقب افزایش خواهد یافت.

## ۳-۷ مرکز ثقل در جانمایی اتوبوس هیبرید

در این بخش با توجه به جانمایی صورت گرفته در فصل ۶ برای قطعات سیستم تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی و کاهش وزن محاسبه شده در فصل ۵، تغییر مکان مرکز ثقل اتوبوس هیبرید محاسبه شده است. محاسبات تعیین مرکز ثقل در دو حالت بدون بار و بار کامل انجام گرفته است.

### ۳-۷-۱ مکان مرکز ثقل در حالت بدون بار

با فرض چیدمان آکومولاتورها در حالت ذکر شده که یک عدد آکومولاتور در هریک از صندوق های طرفین اتوبوس قرار خواهد گرفت، می‌توان محاسبات مربوط به مرکز جرم خودرو را انجام داد. شکل ۳۴ محل جرم ها و فاصله آنها از اکسل عقب را نشان می‌دهد. نقطه D در این شکل، محل مرکز ثقل خودروی فعلی با حذف موتور احتراق داخلی و در حالت بدون بار است و نقطه C محل مرکز ثقل خودروی هیبرید را نشان می‌دهد. توجه شود که در نقطه D وزن اتوبوس با حذف موتور احتراق داخلی اعمال می‌شود. همچنین نقطه B محل آکومولاتورها در صندوق های جلو، نقطه F محل پمپ-موتور هیدرولیکی، نقطه G محل موتور احتراق داخلی جدید و نقطه H محل مجموعه کمکی و مخزن کم فشار را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه در جانمایی اتوبوس هیبرید موازی هیدرولیکی، مخزن کم فشار و مجموعه کمکی موقعیت طولی یکسانی دارند، مجموع جرم این دو مورد در نقطه H اعمال شده است.



شکل ۳۴- توزیع جرم در اتوبوس هیبرید در حالت بدون بار

مرکز تقل اتوبوس به صورت زیر بدست می آید:

$$10210x = 480 \times 3499 + 9455 \times 1804 - 90 \times 1083 - 560 \times 2809 - 140 \times 2979$$

$$x = 1631 \text{ mm}$$

فاصله مرکز ثقل از اکسل عقب

$$\Delta = 1631 - 1657 = -26 \text{ mm}$$

میزان تغییر فاصله مرکز ثقل خودرو

پس مرکز ثقل در حالت بدون بار حدود ۲۶ mm به سمت عقب جابجا می گردد. مشاهده می شود که مرکز

ثقل اتوبوس هیبرید در حالت بدون بار تفاوت چندانی با اتوبوس متعارف ندارد.

### ۲-۳-۷ مکان مرکز ثقل در حالت بار کامل

مطابق مطالب گفته شده می‌توان محل مرکز ثقل اتوبوس هیبرید شده را در وضعیت بار کامل بدست آورد.

بارگذاری در این حالت در شکل ۳۵ نمایش داده شده است. وزن کل اتوبوس (بدون موتور احتراق داخلی

قبلی) ۱۷۶۳۵ kg در نظر گرفته شده است.

$$18390 x = 480 \times 3499 + 17635 \times 2275 - 90 \times 1083 - 560 \times 2809 - 140 \times 2979$$

$$x = 2159 \text{ mm}$$

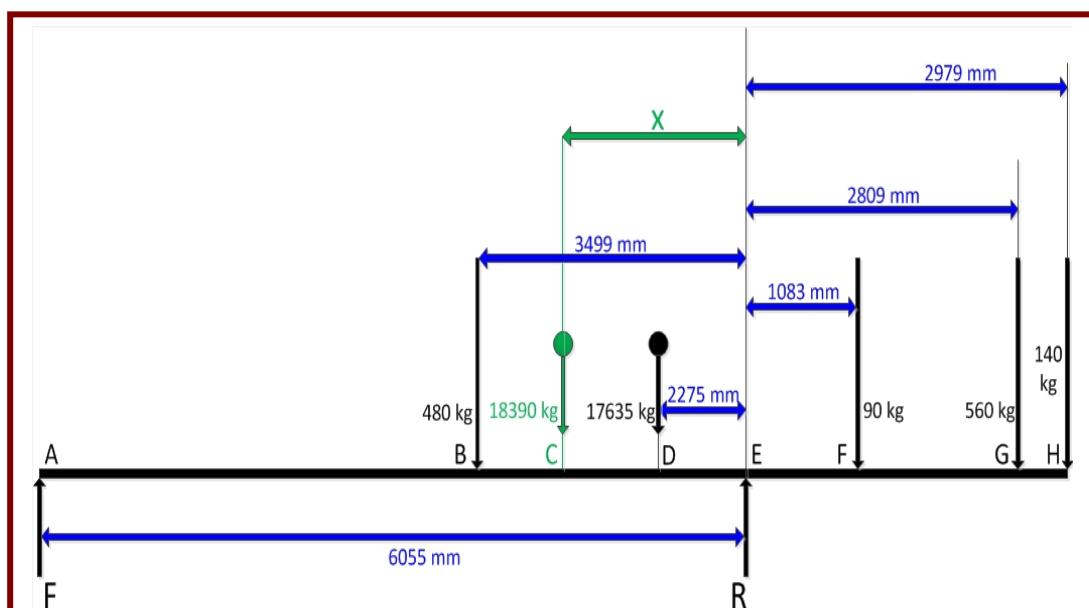
فاصله مرکز جرم از اکسل عقب

$$\Delta = 2159 - 2186 = -27 \text{ mm}$$

میزان تغییر فاصله مرکز ثقل خودرو

مرکز ثقل در حالت بار کامل حدود ۲۷ mm به سمت عقب خودرو جابجا می‌گردد. در این حالت نیز با

اجرای تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی، تغییر محسوسی در موقعیت مرکز ثقل اتوبوس ایجاد نمی‌شود.



شکل ۳۵- توزیع جرم در اتوبوس هیبرید در حالت بار کامل



مرحله چهارم - قسمت اول

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت پژوهش سازی صنایع سوخت

## ۸ نتیجه‌گیری

در این فصل طراحی آرشیتکتوری و جانمایی تجهیزات سیستم هیبرید انجام گردید و وضعیت مناسب جانمایی با توجه به فضای موجود و ابعاد اجزاء تعیین شد. در جانمایی، میزان جرم اتوبوس و مکان مرکز ثقل آن با توجه به نوع بارگذاری بررسی و تعیین شد. بارگذاری در دو وضعیت خودروی با بار کامل و خودروی بدون بار انجام شده و میزان تغییرات مرکز ثقل در هر حالت بررسی گردید. درنهایت ملاحظه شد که با اجرای سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید موازی هیدرولیکی بر اتوبوس شهری O457 تغییر ناچیزی در موقعیت مرکز ثقل اتوبوس ایجاد می‌شود.



فاز دوم

مرحله چهارم - قسمت دوم

مطالعات مفهومی و انتخاب

اولیه تجهیزات اتوبوس

هیبرید فلاپویل





## فهرست مطالب

۱	بررسی فلایویل مورد نیاز	..... ۲
۲	۱-۱ فلایویل شرکت ریکاردو	..... ۳
۳	۲-۱ فلایویل شرکت فلایرید	..... ۸
۴	۲ بروزی جعبه‌دنده مورد نیاز	..... ۱۲
۵	۱-۲ شرکت توروتراک	..... ۱۳
۶	۳ بروزی ادوات کنترل مورد نیاز	..... ۱۹
۷	۴ پروژه‌های هیبرید فلایویل	..... ۲۰
۸	۱-۴ برد استراتژی فناوری دولت انگلستان	..... ۲۱
۹	۲-۴ پروژه کینرستور	..... ۲۱
۱۰	۳-۴ پروژه سیستم هیبرید فلایویل برای خودروهای پیشرو	..... ۲۳
۱۱	۴-۴ پروژه فلای‌باس	..... ۲۷
۱۲	۵-۴ پروژه کسترل	..... ۳۰
۱۳	۶-۴ پروژه هیبرید فلایویل ولوو	..... ۳۴
۱۴	۵ امکان‌سنجی جانمایی تجهیزات در خودرو و تخمین میزان اضافه‌شدن وزن و تغییر پارامترهای مؤثر دیگر در عملکرد آن	..... ۳۷





## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل

در این قسمت گزارش به مطالعات مفهومی انجام شده در زمینه اتوبوس هیبرید فلایویل و انتخاب اولیه تجهیزات آن پرداخته می شود. در این فصل نتایج مطالعات درباره بررسی فلایویل، جعبه دندنه و ادوات کنترل مورد نیاز به صورت جداگانه ارائه می شود. سپس برخی از پروژه های انجام شده در زمینه خودروهای هیبرید فلایویل معرفی می شوند. در ادامه امکان سنجی جانمایی تجهیزات در خودرو و تخمین میزان اضافه شدن وزن فلایویل و تغییر پارامترهای مؤثر دیگر در عملکرد خودرو بررسی می شود.

### ۱ بررسی فلایویل مورد نیاز

طبق نتایجی که در بخش های گذشته گزارش استخراج شد، فلایویل مورد استفاده در اتوبوس هیبرید فلایویل باید قابلیت ذخیره سازی انرژی در حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوژول داشته باشد. همچنین توان تولیدی آن حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلووات باید باشد. همچنین سرعت کاری آن باید به نحوی باشد که با کمک یک سیستم انتقال قدرت مناسب به کوپلینگ گشتاور اتوبوس هیبرید موازن وصل شود.

با توجه به این مشخصات مطالعات مفهومی، شامل جستجوی منابع تأمین و رایزنی با شرکت های تحقیق و توسعه معتبر جهانی نظیر AVL، برای انتخاب اولیه فلایویل آغاز شد. نتیجه این مطالعات نشان می دهد که فلایویل با مشخصات مورد نیاز اتوبوس هیبرید فلایویل به صورت تجاری و مستقل از سیستم انتقال قدرت در بازار جهانی به راحتی در دسترس نمی باشد. بیشتر تولیدات فلایویل با ابعاد مورد انتظار مربوط به پروژه های



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاکویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

تحقیقاتی و نیمه‌صنعتی می‌باشد. این محصولات نیز فلاکویل را به عنوان یک جزء مستقل معرفی نمی‌کنند، بلکه فلاکویل را به همراه سیستم انتقال قدرت ارائه می‌دهند. ویژگی این محصولات داشتن طراحی خاص برای خودروی نمونه تولید شده می‌باشد و برای استفاده عمومی در همه خودروها توصیه نشده‌اند. به این ترتیب برای تهیه فلاکویل از این شرکت‌ها باید هزینه اصلاحات طراحی برای نیاز مورد نظر پروژه خاص نیز پرداخته شود که عملاً توجیه اقتصادی فلاکویل را تضعیف می‌کند.

در ادامه به معرفی فلاکویل‌های دو شرکت مطرح ریکاردو و فلاکویل پرداخته می‌شود.

## ۱-۱ فلاکویل شرکت ریکاردو

براساس تجربه گسترده در زمینه تحقیق و توسعه سیستم‌های مدیریت انرژی پیشرفته<sup>۱</sup>، شامل مهندسی سیستم‌های بازیافت انرژی جنبشی<sup>۲</sup> (KERS) موتورهای اسپورت، شرکت ریکاردو<sup>۳</sup> فلاکویل کینرژی<sup>۴</sup> را ابداع کرده است. کینرژی یک سیستم ذخیره انرژی فلاکویل با سرعت بالا و آببندی نفوذناپذیر<sup>۵</sup> با چرخ‌دنده مغناطیسی<sup>۶</sup> و سازوکار کوپلینگ<sup>۷</sup> بسیار مبتکرانه و ثبت اختراع شده است.

از ویژگی‌های سیستم فلاکویل کینرژی می‌توان به چگالی<sup>۸</sup> بالا و عمر طولانی آن اشاره کرد. این ویژگی‌ها باعث ساده‌سازی کاربری و موفقیت کینرژی در کاربردهای گوناگون می‌شود. در این فناوری به جای پمپ‌های خلاء<sup>۹</sup> از فیبرهای کربن سرعت بالا در کنار آببندهای متداول استفاده می‌شود. در واقع کینرژی راه حلی فشرده و سبک با مقاومت بالا برای طراحی محصولات جدید و همچنین بهبود راندمان ناوگان خودرویی و تجهیزات صنعتی در حال بهره‌برداری می‌باشد.

<sup>1</sup> Advanced energy management concepts<sup>2</sup> Kinetic energy recovery systems<sup>3</sup> Ricardo<sup>4</sup> Kinergy<sup>5</sup> Hermetically-sealed<sup>6</sup> Magnetic gearing<sup>7</sup> Coupling mechanism<sup>8</sup> Power density<sup>9</sup> Vacuum pumps



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاکویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

قیمت ارزان کینرژی باعث می‌شود که محدوده کاربری آن کوچک نباشد. در کاربرد خودرویی، این فناوری قابلیت بازیابی انرژی ترمی<sup>۱</sup> و تولید گشتاور کمکی<sup>۲</sup> را دارد که باعث بهبود راندمان، مصرف سوخت و آلایندگی  $\text{CO}_2$  می‌شود. زمینه کاربرد خودرویی کینرژی در مورد خودروهای سواری کوچک، خودروهای سواری متداول با میزان تولید زیاد، خودروهای شاسی بلند بزرگ، اتوبوس‌ها و کامیون‌ها وجود دارد. هیبریدسازی انواع خودرو با این فناوری بسیار به صرفه‌تر از استفاده از باتری‌های الکتروشیمیایی گران با عمر کوتاه است. کاربردهای دیگر کینرژی در زمینه تجهیزات صنعتی و ساختمانی، آسانسورها، وسایل نقلیه ریلی<sup>۳</sup>، ایستگاه‌های محلی الکتریکی<sup>۴</sup> و سیستم‌های توزیع قدرت<sup>۵</sup> پیش‌بینی می‌شود.

ریکاردو قصد دارد فناوری کینرژی را از طریق همکاری‌های تحقیقاتی با تعدادی از شرکای صنعتی خود توسعه و مزایای آن را نشان دهد. اولین تجربه این همکاری‌ها پروژه‌های تحقیقاتی کینرستور و فلاپیل‌باس می‌باشد. هر دو این پروژه‌های توسط برد استراتژی فناوری دولت انگلستان حمایت می‌شود.

اجزای فلاکویل تولیدی شرکت ریکاردو در شکل ۱ نشان داده شده است. این اجزا عبارتند از:

• کامپوزیت فیبر کربن<sup>۶</sup>• استاتور<sup>۷</sup>• بلبرینگ‌های سرامیکی<sup>۸</sup>• کامپوزیت تحت‌بار مغناطیسی<sup>۹</sup> (MLC)<sup>1</sup> Regenerative braking<sup>2</sup> Torque assist<sup>3</sup> Railway rolling stocks<sup>4</sup> Local electrical substations<sup>5</sup> Power distribution systems<sup>6</sup> Carbon fibre<sup>7</sup> Stator<sup>8</sup> Ceramic bearings<sup>9</sup> Magnetically loaded composite



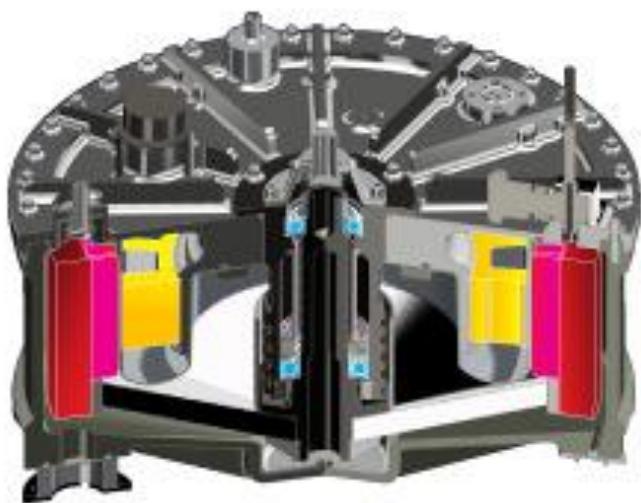
دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

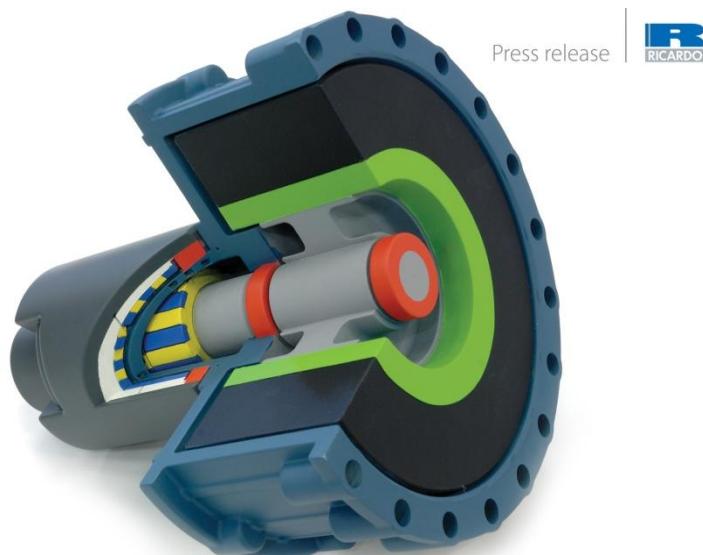


- Carbon fibre
- Stator
- Ceramic bearings
- Magnetic Loaded Composite

شکل ۱: اجزای فلاپویل تولیدی شرکت ریکاردو

در شکل ۲ شماتیک اجزای داخلی فلاپویل تولیدی شرکت ریکاردو و در شکل ۳ نماهایی از این نوع فلاپویل نشان داده شده است. در شکل ۴ نماهایی از فلاپویل ریکاردو مورد استفاده در اتوبوس هیبرید فلاپویل آمده است.

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



Press release



شکل ۲: شماتیک اجزای داخلی فلایویل تولیدی شرکت ریکاردو



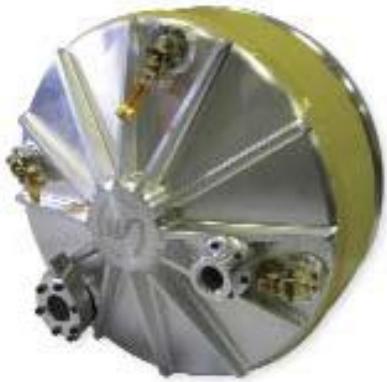
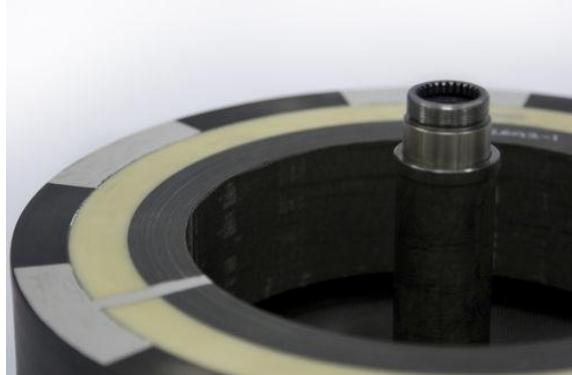
دانشگاه فنی  
اصفهان

مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۳: نماهایی از فلایویل تولیدی شرکت ریکاردو



دانشکده فنی

مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپلی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۴: نمایهایی از فلاپلی ریکاردو مورد استفاده در اتوبوس هیبرید فلاپلی باس

## ۲-۱ فلاپلی شرکت فلاپرید

فلاپلی شرکت فلاپرید یک فلاپلی سرعت بالا برای خودروهای مسابقه‌ای و به روز است. این فلاپلی، دومین نسل KERS‌ها است که به بازار معرفی می‌شود و نسبت به نسل قبلی از جهت اندازه، وزن و قیمت تغییرات محسوسی کرده است که دورنمای این فناوری سبز را برای آینده روشن نشان می‌دهد.

در شکل ۵ نمایی از سیستم فلاپلی شرکت فلاپرید برای خودروی فورمول ۱ نشان داده شده است. این سیستم دارای توان ۱۰۰ کیلووات و انرژی قابل ذخیره‌سازی ۵۴۰ کیلوژول می‌باشد. با این ظرفیت توان و انرژی، وزن این سیستم کمتر از ۴۰ کیلوگرم می‌باشد. این وزن، وزن کامل مجموعه شامل سخت‌افزارهای نشان داده شده در شکل، سیستم کنترل الکتروهیدرولیکی، واحد کنترل KERS، دسته‌سیم‌ها<sup>۱</sup>، مایع‌های خنک‌کاری و روان‌کاری و کولر روغنی<sup>۲</sup> می‌باشد.

<sup>1</sup> Wiring loom

<sup>2</sup> Oil cooler



دانشکده فنی

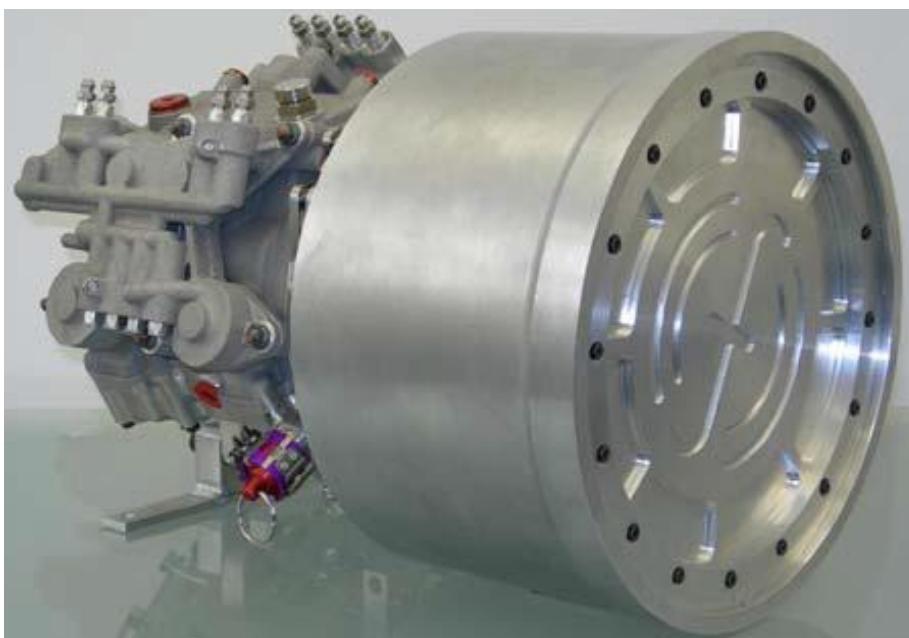
## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

این سیستم برای استفاده در خودروهای اسپرت و سواری معمولی مناسب است. این مجموعه می‌تواند برای خودروهای کوچک‌تر و کاربردهای دیگر در ابعاد کوچک‌تر طراحی و ساخته شود. مزیت چشمگیر این محصول قیمت بسیار اندک تولید انبوه آن است که باعث می‌شود دورنمای استفاده فراگیر آن به عنوان سیستم هیبرید با راندمان بالا بسیار روشن باشد.



شکل ۵: نمایی از سیستم فلایویل شرکت فلایویل برای خودروی فورمول ۱

اهداف اصلی شرکت فلایویل برای تولید سیستم فلایویل به شرح زیر است:

- عمر کاری ۲۵۰ هزار کیلومتر
- قیمت پایین تولید انبوه
- طراحی بهینه CVT برای حفظ راندمان بالا در سطوح توان پایین



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

- طراحی و تولید پمپ‌های خلا روغنی و هیدرولیکی برای کاهش تلفات جانبی<sup>۱</sup>
- کلچهای قدرتمند به منظور آغاز به کار خودرو از حالت سکون به کمک توان فلاویل به تنهایی در حالی که موتور خاموش است.
- سیستم‌های کنترل تمام خودکار که از پدال گاز معمولی خودرو فرمان می‌گیرند و نیاز به هیچ ورودی اضافه رانده ندارند.

چنین سیستم تمام هیبریدی قابلیت بازیافت انرژی جنبشی به علاوه ذخیره انرژی اضافی موتور هنگامی که عملکرد موتور در حالت بهینه تنظیم می‌شود (غیر از حالات ترمزی) را دارد که باعث افزایش راندمان کاری موتور می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که امکان بهبود مصرف سوخت و آلایندگی  $\text{CO}_2$  تا میزان ۲۰ درصد در سیکل NEDC و تا ۳۰ درصد در شرایط رانندگی معمول با استفاده از این سیستم وجود دارد.



شکل ۶: نمایی از سیستم هیبرید فلاویل XF ۹۰۱۳ جگوار

<sup>۱</sup> Parasitic losses



## مرحله چهارم - قسمت دوم



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل

این سیستم که بر مبنای CVT کار می کند پیشرفته ترین و نزدیک ترین محصول به تولید انبوه در زمینه فلایویل می باشد. زمان تعیین شده برای ارائه محصول سال ۲۰۱۳ می باشد.

در شکل ۶ نمایی از سیستم هیبرید فلایویل XF ۹۰۱۳ جگوار نشان داده شده است. همچنین در شکل ۷ نمایی از فلایویل تولیدی شرکت فلایویل و در شکل ۸ بخش های مختلف فلایویل شرکت فلایویل نشان داده شده است.



شکل ۷: نمایی از فلایویل تولیدی شرکت فلایویل



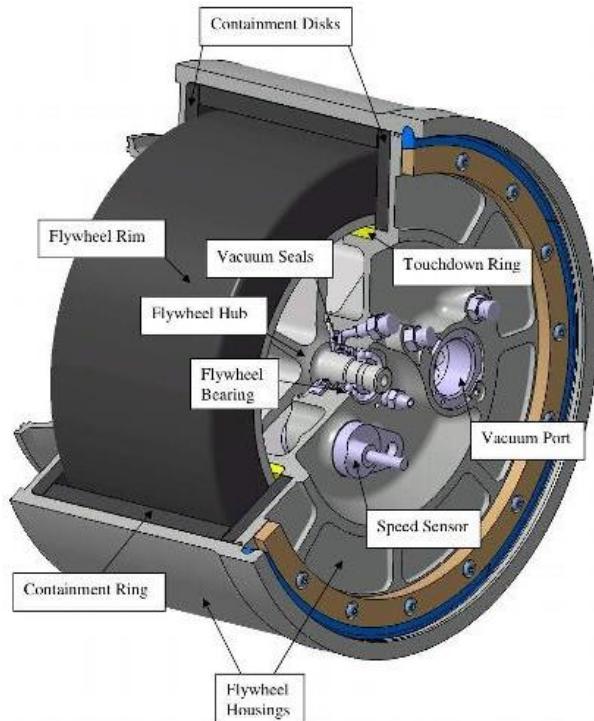
دانشگاه فنی  
دانشکده فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۸: بخش‌های مختلف فلایویل شرکت فلایبرید

## ۲ بررسی جعبه‌دنده مورد نیاز

جعبه‌دنده یکی از مهمترین قسمت‌های استفاده شده در سیستم‌های ذخیره شامل فلایویل است. اهمیت جعبه‌دنده بیشتر به ماهیت انرژی جنبشی ذخیره شده در فلایویل و ضرورت استقلال هرچه بیشتر سرعت آن نسبت به سیستم اصلی (خودرو) می‌باشد. اغلب جعبه‌دنده‌های مجموعه‌های فلایویل شامل سیستم‌های انتقال قدرت متغیر پیوسته (CVT) می‌باشد که گاهی با ترکیب CVT و چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای یا سازوکارهای دیگر، سیستم انتقال قدرت با ضریب دنده بینهایت (IVT) به وجود می‌آید.

مشخصه اصلی جعبه‌دنده اتوبوس هیبرید فلایویل مورد نظر، قابلیت تولید توان در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلووات می‌باشد. اغلب جعبه‌دنده‌ها محدودیت دور و گشتاور دارند. این محدودیت‌ها برای انتخاب باید

دانشگاه فنی  
آزاد اسلامی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

به دقت مورد توجه طراح قرار بگیرد. برای سازگاری دور کاری فلایویل انتخاب شده با جعبه‌دنده، می‌توان از چرخ‌دنده‌های واسط استفاده نمود که البته باعث افزایش قیمت و کاهش راندمان می‌شود. همچنین محدوده ضرایب دنده CVT باعث تعیین ضرایب دنده چرخ‌دنده سیارهای و چرخ‌دنده‌های دیگر سیستم انتقال قدرت می‌شود. رابطه بین این مجموعه‌ها در بخش‌های قبلی گزارش ارائه شده است. به این ترتیب تعیین نامناسب CVT ممکن است باعث تعیین ضرایب دنده نامطلوبی برای چرخ‌دنده‌های دیگر بشود که خود به خود منجر به افزایش قیمت و کاهش راندمان می‌شود.

به طور خلاصه می‌توان گفت که انتخاب جداگانه فلایویل، CVT، چرخ‌دنده سیارهای و چرخ‌دنده‌های ساده و سپس سرهم کردن آنها کار معقولی به نظر نمی‌رسد. همان‌طور که در مورد فلایویل نیز اشاره شد، اغلب محصولات مورد استفاده در خودروهای هیبرید فلایویل موجود به صورت یک مجموعه کامل طراحی و ساخته می‌شود. این محصولات اغلب به صورت کنسرسیومی از شرکت‌های صنعتی با تجربه، نظیر کنسرسیوم کیرنستور که توسط ریکاردو هدایت می‌شود، طراحی و تولید می‌شود. در ادامه به معرفی محصولات شرکت توروترواک به عنوان یکی از معتبرترین سازندگان جعبه‌دنده‌های مورد استفاده در پروژه‌های هیبرید فلایویل پرداخته می‌شود.

## ۱-۲ شرکت توروترواک

شرکت توروترواک بزرگ‌ترین تولیدکننده سیستم‌های پیش‌ران تمام‌چمبه‌ای<sup>۱</sup> دنیا می‌باشد. این شرکت سیستم‌های انتقال قدرت متغیر پیوسته (CVT) و ضریب دنده بی‌نهایت (IVT) طراحی و تولید می‌کند. سطح بالای عملکردی این محصولات باعث بهبود عملکرد، مصرف سوخت و آلایندگی انواع خودروها شده است. توروترواک همچنین سیستم انتقال قدرت‌های با ضریب دنده متغیر برای سیستم‌های هیبرید مکانیکی فلایویل به عنوان سیستم تولید توان اصلی و فرعی خودرو طراحی و معرفی کرده است.

<sup>1</sup> Full-toroidal traction drive technology



## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل

زمینه‌های فعالیت توروترواک در رابطه با خودرو، کامیون، اتوبوس، ماشین‌های خارج شهری<sup>۱</sup> و کشاورزی، موتورهای اسپرت و تجهیزات تولید تو ان بیرون از ساختمان<sup>۲</sup> می‌باشد. مشتریان این شرکت از اروپا تا شمال امریکا و هند تا ژاپن از جمله تولیدکنندگان اصلی خودرو هستند.

در شکل ۹ نمایی از CVT ساخت Torotrak / Xtrac شرکت توروترواک که با همکاری Xtrac ساخته شده نشان داده شده است.

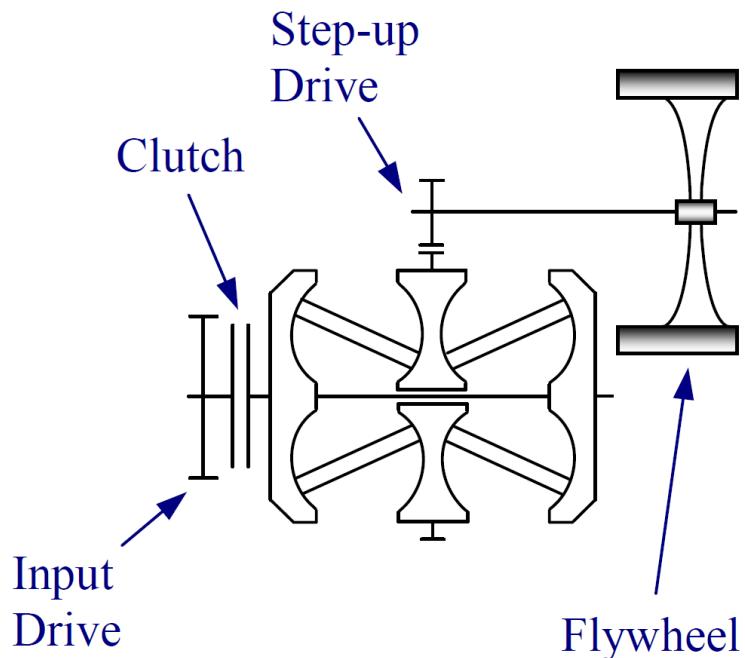


شکل ۹: نمایی از CVT ساخت Torotrak / Xtrac

در شکل ۱۰ شماتیک نحوه اتصال CVT به فلایویل و در شکل ۱۱ نمایی از سیستم تست CVT نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> Off-highway

<sup>۲</sup> Outdoor power equipment

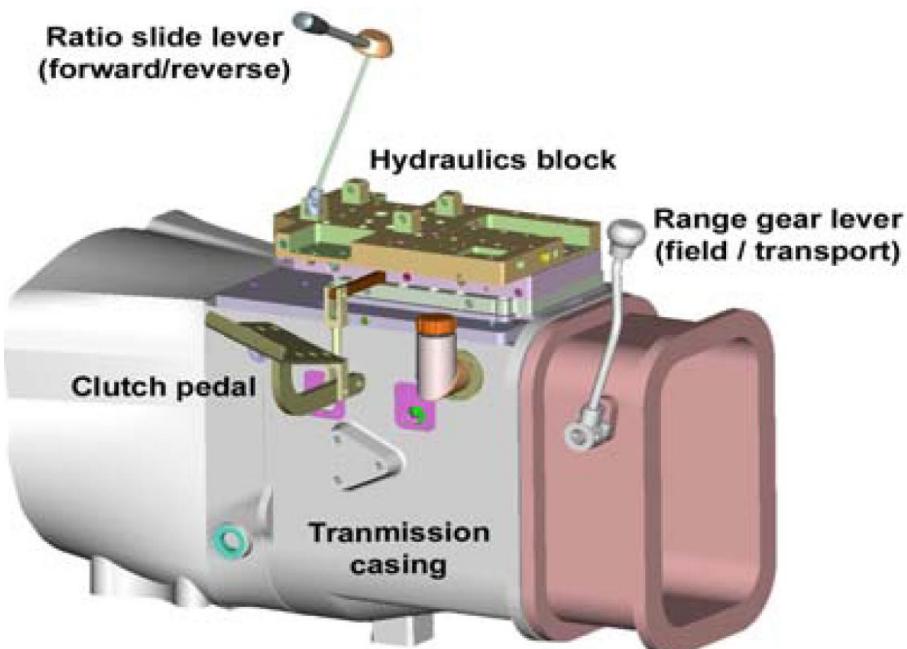


شکل ۱۰: شماتیک نحوه اتصال جعبه‌دنده توروترواک به فلایویل



شکل ۱۱: نمایی از سیستم تست CVT

یکی از محصولات توروتراک در زمینه جعبه‌دنده‌های پیشرفته، IVT هیدرومکانیکی (شکل ۱۲) است. این محصول جایگزین مناسبی برای سیستم‌های انتقال قدرت با ضریب دنده مشخص در بازار تراکتورهای ارزان با اندازه کوچک و متوسط می‌باشد. با این سیستم می‌توان شرایط مطلوب سیستم انتقال قدرت در هر شرایط کاری را فعال کرد که باعث کاهش خستگی راننده و فرسودگی اجزای انتقال قدرت می‌شود.



شکل ۱۲: نمایی از IVT هیدرومکانیکی شرکت توروتراک

یکی دیگر از پژوهه‌های شرکت توروتراک در زمینه توسعه سیستم‌های انتقال قدرت پیشرفته، انتقال قدرت متغیر با ضریب دنده بینهایت و راندمان بالا، خودروی سواری تاتا می‌باشد. در اول مارس ۲۰۱۱ در ژنو، کمپانی فناوری انتقال قدرت توروتراک با همکاری شرکت خودروسازی تاتا موتور هندوستان یک خودروی



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم – قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاکس



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

مفهومی پروتوتاپ با نام تاتا پیکسل<sup>۱</sup> عرضه نمود. این خودروی ۴ سرنشین از سیستم انتقال قدرت IVT برای بهبود عملکرد، مصرف سوخت و مانورهای ویژه استفاده می‌کند. این خودرو قابلیت دور زدن درجا<sup>۲</sup> را نیز دارد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: نمایی از خودروی تاتا پیکسل

در شرایط عادی کارکرد خودرو، سیستم IVT به‌نحوی ضریب دنده را تغییر می‌دهد که عملکرد و مصرف سوخت بهینه شود. اما در زمان پارک کردن و مانورهای ویژه، سیستم IVT این خودرو می‌تواند هر کدام از چرخ‌های عقب را جداگانه، حتی در جهت خلاف یکدیگر کنترل کند. این کار از طریق اتصال

<sup>1</sup> Tata Pixel

<sup>2</sup> Zero-turn capability



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

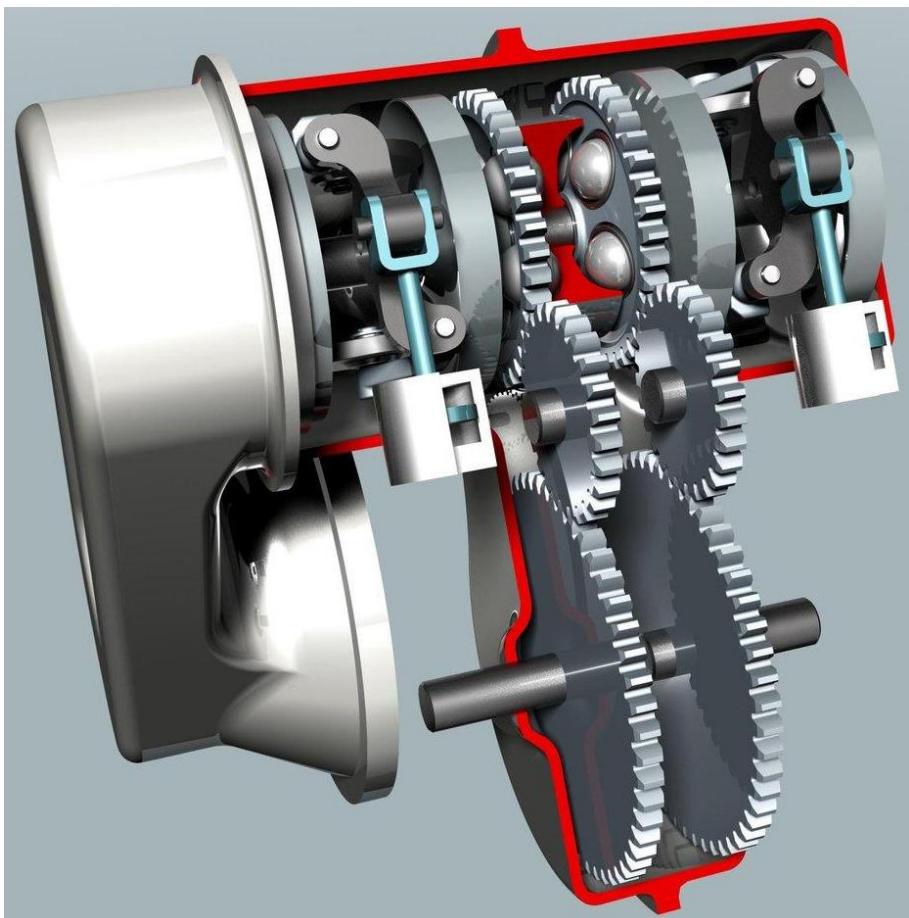
### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاکسیل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

فرمان به کنترل کننده IVT انجام می‌شود. در این صورت مانور پذیری خودرو به حدی ارتقا می‌یابد که می‌تواند در تنگ‌ترین شرایط ممکن عملیات پارک کردن را انجام دهد.

سیستم IVT مورد استفاده در خودروی تاتا پیکسل دارای قیمت مناسب و با قابلیت تغییر اندازه برای کاربردهای متنوع خودرویی می‌باشد. در شکل ۱۴ نمایی از جعبه‌دنده توروتروک برای خودروی تاتا پیکسل نشان داده شده است.

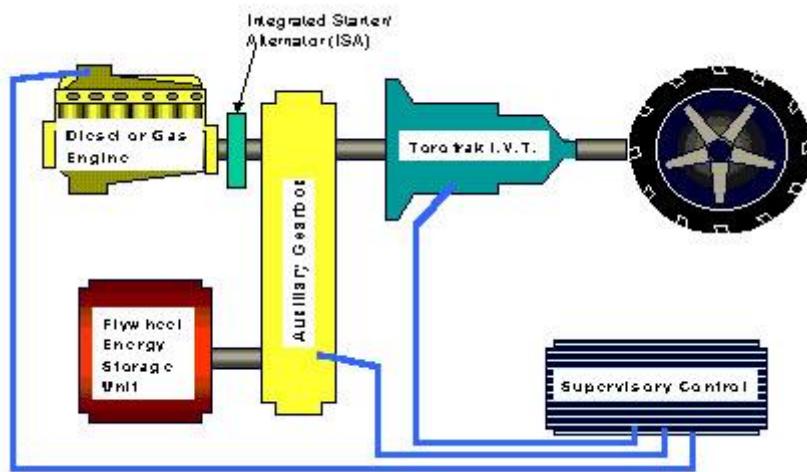


شکل ۱۴: نمایی از جعبه‌دنده توروتروک برای خودروی تاتا پیکسل

### ۳ بررسی ادوات کنترل مورد نیاز

با توجه به ویژگی‌های خاص خودروهای هیبرید فلایویل، ادوات کنترل این خودروها به صورت جداگانه تأمین نمی‌شود. بلکه سیستم کنترل توسط تأمین کنندگان تجهیزات ارائه می‌شود.

در شکل ۱۵ نحوه ارتباط سیستم کنترل مرکزی خودروی هیبرید فلایویل با اجزای آن در یکی از خودروهای هیبرید فلایویل به عنوان نمونه نشان داده شده است.



شکل ۱۵: نحوه ارتباط سیستم کنترل مرکزی خودروی هیبرید فلایویل با اجزای آن

همان‌طور که در شکل ۱۵ نشان داده شده، واحد کنترل زنجیره توان که بالاترین سطح کنترلی اجزای زنجیره توان می‌باشد، اطلاعات لازم را از موتور احتراق داخلی، سیستم انتقال قدرت خودرو (در اینجا IVT توروترواک) و جعبه‌دنده کوپلینگ دریافت می‌کند. از طرفی این واحد کنترلی اطلاعاتی نیز از خودرو (مانند سرعت) و راننده (مانند وضعیت پدال‌های گاز و ترمز) می‌گیرد. سپس براساس استراتژی کنترل برنامه‌ریزی شده فرامین لازم را برای هر کدام از اجزای خودروی هیبرید ارسال می‌کند. هر بخش خودروی



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

هیبرید نیز دارای یک واحد کنترل محلی است. کنترل کننده محلی سیستم ذخیره انرژی فلاپویل فرامین کنترلی را از کنترل کننده مرکزی خودروی هیبرید دریافت می کند که شامل وضعیت کاری مطلوب (مانند سرعت و گشتاور تولیدی) است. از طرفی با استفاده از حسگرهای خود که شرایط فلاپویل (مانند سرعت و شتاب زاویه‌ای و وضعیت خرابی احتمالی) و CVT (مانند نسبت دنده) را می‌سنجند، تصمیمات کنترلی لازم را می‌گیرد و برای کنترل کننده CVT ارسال می‌کند.

مهمترین نکته در شناخت و طراحی سیستم کنترل خودروی هیبرید فلاپویل، توجه به سلسله مراتبی<sup>۱</sup> بودن چنین سیستمی است. به این معنا که کنترل خودروی هیبرید در بالاترین سطح قرار دارد و براساس استراتژی کنترل خود شرایط کاری را برای کنترل کننده‌های محلی اجزای زنجیره توان مشخص می‌کند. هر کنترل کننده محلی نیز براساس فرامین دریافت شده از کنترل کننده سطح بالاتر خود و شرایط سیستم دینامیکی تحت کنترل، باید در هر لحظه دستورهای کنترلی مناسب را بگیرد و ارسال کند. بنابراین سرعت عمل کنترل کننده‌های محلی خودروی هیبرید فلاپویل (مانند کنترل کننده CVT) باید بهمراه سریع تر از کنترل کننده سطح بالا (مانند کنترل کننده خودرو) باشد. از طرفی سازگاری کنترل کننده‌های سطوح مختلف بسیار مهم است.

با توجه به این نکات در اغلب پروژه‌ها، سیستم‌های کنترل خودروی هیبرید فلاپویل توسط یک شرکت که معمولاً همان توسعه‌دهنده مجموعه فلاپویل یا CVT است تأمین می‌شود.

## ۴ پروژه‌های هیبرید فلاپویل

در این بخش برای آشنایی بیشتر با انواع خودروهای هیبرید فلاپویل ساخته شده به معرفی برخی از انواع این پروژه‌ها پرداخته می‌شود. اغلب این پروژه‌ها در اروپا و تحت حمایت‌های دولتی در دست انجام هستند.

<sup>1</sup> Hierarchic

دانشگاه فنی  
آزاد اسلامی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاکویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## ۱-۴ برد استراتژی فناوری دولت انگلستان

برد استراتژی فناوری دولت انگلستان بودجه حمایتی یک میلیون پوندی برای برنامه «تحقیقات سبز<sup>۱</sup>» به منظور

توسعه یک سیستم هیبرید مکانیکی بر مبنای فلاکویل با نام «سیستم بازیافت انرژی جنبشی<sup>۲</sup>» (KERS) جهت

استفاده در انواع خودروهای سواری، تجاری و اتوبوس اختصاص داده است.

برخی از پروژه‌های تحت حمایت این برد عبارتند از:

- پروژه کینرستور
- پروژه سیستم هیبرید فلاکویل برای خودروهای پیشرو (FHSPV)
- پروژه فلاکی‌باس
- پروژه کسترل

## ۲-۴ پروژه کینرستور

پروژه کینرستور<sup>۳</sup> که در نوامبر سال ۲۰۰۹ معرفی شد، با حمایت دولتی که در راستای استراتژی رشد

تکنولوژی‌های نوظهور انجام می‌گیرد، قصد معرفی سیستم‌های هیبرید فلاکویل ارزان<sup>۴</sup> به عنوان یک راه حل

پویا و درحال گسترش را دارد.

پروژه کینرستور توسط کمپانی ریکاردو<sup>۵</sup> هدایت می‌شود که شامل کنسرسیومی از شرکای صنعتی نظیر

Williams Hybrid Power، SKF، Torotrak، Land Rover، JCB، CTG

نشان‌دادن پتانسیل سیستم‌های هیبرید بر مبنای فلاکویل برای کاهش مصرف سوخت (و به تبع آن کاهش

<sup>1</sup> Green research

<sup>2</sup> Kinetic energy recovery system

<sup>3</sup> Kinerstor project

<sup>4</sup> Low-cost flywheel hybrid systems

<sup>5</sup> Ricardo



دانشگاه فنی  
دانشکده فنی

## مرحله چهارم – قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

آلایندگی  $\text{CO}_2$ ) به میزان ۳۰ درصد با هزینه‌ای کمتر از یک هزار یورو می‌باشد. این ویژگی می‌تواند طرفداران زیادی برای این محصول در بازار تولید انبوه خودروهای هیبرید جذب کند.

برای کاهش ریسک در این پروژه، تحقیقات مستقلی روی زیرسیستم‌های مجموعه فلاپویل انجام می‌گیرد، سپس یک پارچه‌سازی زیرسیستم‌ها به صورت بهینه با دو رویکرد دنبال می‌شود:

۱- اتصال مکانیکی-مغناطیسی سیستم فلاپویل؛ توسط ریکاردو، با نام تجاری کینرژی<sup>۱</sup>

۲- اتصال الکتریکی؛ توسط Williams Hybrid Power

سیستم‌های فلاپویل شرکای کنسرسیوم کینرستور پتانسل مناسبی برای استفاده در خودروهای سواری، از سایز کوچک با تولید محدود تا سایزهای متداول بازار تا خودروهای شاسی بلند لوکس بزرگ دارد. همچنین به عنوان سیستم‌های ذخیره انرژی فشرده ارزان قابل استفاده در صنعت و تجهیزات ساختمان می‌باشد. پیشرفت پروژه کینرستور به نحوی است که محصولات آن آماده نصب روی خودروهای مختلف و گذراندن مراحل تست و رونمایی می‌باشد.

برخی از مهارت‌ها و تخصص‌های شاخص کنسرسیوم کینرستور به شرح زیر است:

- سیستم‌های فلاپویل پیشرفتنه
- تکنولوژی‌های مواد جدید از جمله فیبرهای کامپوزیتی ارزان<sup>۲</sup> و استیل‌های مخصوص
- سیستم‌های انتقال قدرت متغیر پیوسته (CVT)
- طراحی کوپلینگ و بلبرینگ
- یک پارچه‌سازی زنجیره توان<sup>۳</sup>
- تولید انبوه خودرو

<sup>1</sup> Kinergy

<sup>2</sup> Low-cost composite fibres

<sup>3</sup> Drivetrain



دانشکده فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

تنوع مهارت‌ها و تخصص‌های کنسرسیوم کینرستور پتانسل آن را برای یافتن راه حل قابل اطمینان کاهش مصرف سوخت و آلایندگی  $\text{CO}_2$  دوچندان می‌کند.

## ۳-۴ پروژه سیستم هیبرید فلاپویل برای خودروهای پیشرو

هدف اصلی پروژه سیستم هیبرید فلاپویل برای خودروهای پیشرو<sup>۱</sup> (FHSPV)، طراحی و توسعه یک هیبرید فلاپویل (فلاپویل و سیستم رانش متغیر<sup>۲</sup>، به عنوان سیستم بازیافت انرژی جنبشی برای استفاده در خودروهای سواری پیشرو<sup>۳</sup> به عنوان جایگزین سیستم‌های هیبرید دیگر می‌باشد. به این منظور هیبریدسازی روی پلتفرم یک خودروی موجود برای نمایش موفقیت و ارزش این فناوری انجام می‌شود. هدف گذاری برد استراتژی فناوری دولت انگلستان، کاهش ۲۰ درصدی آلایندگی  $\text{CO}_2$  با استفاده از سیستم فلاپویل-CVT است. کنسرسیومی شامل شرکت‌های انگلیسی در زمینه خودرو برای انجام پروژه FHSPV به عنوان یک خودرو کم کربن در تاریخ ۱۵ سپتامبر ۲۰۱۰ در میلبروک انگلستان ایجاد شده است. این سیستم با اضافه کردن سیستم بازیافت انرژی ۶۰ کیلووات قصد کاهش حدود ۲۰ درصد مصرف سوخت دارد. تست‌های مربوطه در حال انجام است.

در مقایسه با سیستم‌های هیبرید موجود، هیبریدهای فلاپویل تعداد تبدیل انرژی را کاهش می‌دهند. به این ترتیب راندمان سیستم بازیاب انرژی افزایش می‌یابد. به جای تبدیل انرژی جنبشی به الکتریسیته به منظور ذخیره‌سازی در یک باتری، یک انتقال قدرت متغیر پیوسته (CVT) کوچک به دیفرانسیل عقب خودرو وصل می‌شود. به این وسیله انرژی جنبشی خودرو هنگام ترمز گیری و به طور مستقیم در فلاپویل فشرده و سرعت بالا ذخیره می‌شود. هنگامی که راننده پدال گاز را دوباره می‌فشارد، سیستم CVT به نرمی انرژی را از فلاپویل به چرخ‌ها بازمی‌گرداند.

در شکل ۱۶ خودروی هیبرید فلاپویل شرکت جگوار (پروژه FHSPV) نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Flywheel hybrid system for premium vehicles

<sup>2</sup> Variable drive system

<sup>3</sup> Premium segment passenger vehicle



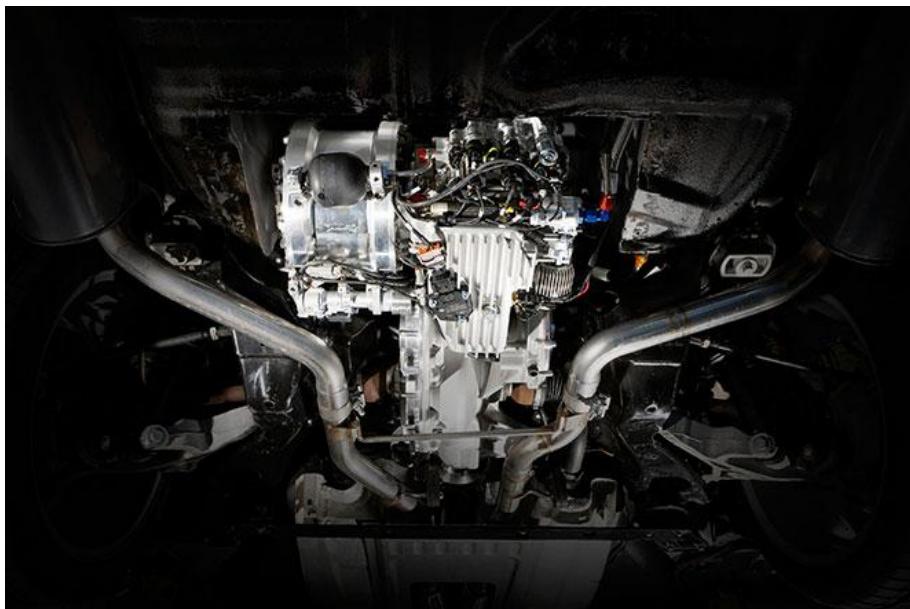
دانشگاه فنی

مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۱۶: خودروی هیبرید فلایویل شرکت جگوار (پروژه FHSPV)



دانشکده فنی

## مرحله چهارم – قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

همکاران اصلی پژوهه سیستم هیبرید فلاپویل برای خودروهای پیشرو عبارتند از:

- جگوار لندرور<sup>۱</sup>
- سیستم‌های فلاپرید<sup>۲</sup>
- فورد<sup>۳</sup>
- ریکاردو
- توروترواک
- Xtrac

در پژوهه سیستم هیبرید فلاپویل برای خودروهای پیشرو، شرکت جگوار لندرور هدایت‌کننده اصلی می‌باشد و مراحل نهایی سازی بروتوتایپ و تست این پژوهه در جولای سال ۲۰۱۰ با موفقیت انجام شده است.

فلاپویل پژوهه سیستم هیبرید فلاپویل برای خودروهای پیشرو توسط شرکت سیستم‌های فلاپرید تأمین شده است. سرعت کاری فلاپویل مورد استفاده بیش از ۶۰ هزار دوربردیقه می‌باشد که باعث افزایش چگالی انرژی فلاپویل می‌شود. به این ترتیب ابعاد فلاپویل کوچک و محفظه‌بندی آن ساده می‌شود. سیستم CVT با استفاده از فناوری رانش ابداعی توروترواک تأمین شده است. پیکربندی و یکپارچه‌سازی سیستم Xtrac روی خودرو توسط شرکت مشاوره‌ای Prodrive انجام شده است. این شرکت، همچنین، نرم‌افزار کنترل ماهر<sup>۴</sup> و سیستم‌های الکترونیکی مرتبط رانیز طراحی و ساخته است.

در شکل ۱۷ نمایی از سیستم هیبرید فلاپویل FHSPV در حال تست آزمایشگاهی و در شکل ۱۸ تست خودرویی آن نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Jaguar Land Rover

<sup>2</sup> Flybrid Systems

<sup>3</sup> Ford

<sup>4</sup> Sophisticated control software



دانشگاه فنی  
شهرورد

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۱۷: نمایی از سیستم هیبرید فلایویل FHSPV در حال تست آزمایشگاهی



شکل ۱۸: نمایی از سیستم هیبرید فلایویل FHSPV در حال تست خودرویی

## ۴-۴ پروژه فلاپیباس

پروژه فلاپیباس همکاری شرکت ریکاردو برای طراحی و ساخت یک وسیله ذخیره انرژی فلاپویل کینرژی با شرکت توروتراک مبدع سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته (CVT) به جهت نصب روی خودروی هدف می‌باشد. خودروی هدف این پروژه یک اتوبوس Optare Solo است. این پروژه توسط شرکت توروتراک هدایت می‌شود. در شکل ۱۹ نمایی از اتوبوس هیبرید فلاپویل با نام فلاپیباس نشان داده شده است.



شکل ۱۹: نمایی از اتوبوس هیبرید فلاپویل با نام فلاپیباس

هدف اصلی پروژه فلاپیباس کاهش هزینه سوخت و آلایندگی اتوبوس‌های جدید و در حال بهره‌برداری می‌باشد. شرکت توروتراک به عنوان هدایت‌کننده این پروژه صرف‌جویی حداقل ۲۰ درصدی مصرف سوخت را با استفاده از سیستم هیبرید مکانیکی هدف‌گذاری کرده است. متخscaran انتقال قدرت شرکت توروتراک، که در زمینه فناوری سیستم‌های پیش‌ران تمام‌چمبه‌ای در دنیا پیشگام هستند، سرپرست برنامه جدید «فلاپیباس» می‌باشند. این برنامه شامل دو کنسرسیوم است:

- هدایت مهندسان خودروی بین‌المللی و تأمین کنندگان فناوری ریکاردو انگلستان



دانشکده فارسی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

- شرکت Optare plc که تولیدکننده اصلی دوستدار محیط زیست اتوبوس‌های تک و دو کابین می‌باشد.

شرکت انتقال قدرت آليسون<sup>۱</sup>، که تولیدکننده اصلی جهانی در زمینه انتقال قدرت‌های خودکار خودروهای تجاری سنگین و نیمه‌سنگین می‌باشد، این پروژه را از طریق تأمین سخت‌افزارها و تجهیزهای یک پارچه‌سازی پشتیبانی می‌کند.

کنسرسیوم فلاپاکس از فناوری انتقال قدرت متغیر پیوسته (CVT) ثبت‌شده توروترواک به همراه یک فلاپویل کامپوزیتی سرعت بالا تولید ریکاردو انگلستان (کینرژی) به منظور ذخیره انرژی بهره می‌برد. هردو این فناوری‌ها تحت حمایت برنامه حمایتی KERS می‌باشند و قبلًا در موتورهای اسپرت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نوآوری قابل توجه این فناوری، بی‌سابقه‌بودن و قیمت کم، همگی شانس موفقیت آن را برای کاهش قابل توجه مصرف سوخت و آلایندگی CO<sub>2</sub> بیشتر می‌کند. با وجود زمینه‌های بهینه‌سازی موجود، توروترواک امیدوار است که حتی به بهبودی بیش از این برسد.

برد استراتژی فناوری انگلستان مبلغ نیم میلیون پوند برای برنامه تحقیقاتی فلاپاکس تأمین کرده که سهمی از طرح ابتکاری خودروهای کم کربن<sup>۲</sup> می‌باشد. هدف این پروژه معرفی یک سیستم هیبرید فلاپویل برای یک اتوبوس Optare Eco Drive Solo است که بتواند مزایای سیستم هیبرید مکانیکی را اثبات کند. در این صورت می‌توان این فناوری را در طراحی خودروهای جدید و بهبود خودروهای در حال کار استفاده نمود. توسعه موفق یک سیستم هیبرید مکانیکی برای کاربرد خودروهای تجاری باعث توانمندی صنعت انگلستان جهت تولید و فروش «سخت‌افزار سبز» برای ناوگان تازه‌تولید و در حال کار از نوع اتوبوس و کامیون در سراسر جهان خواهد شد.

در شکل ۲۰ نحوه نصب سیستم ذخیره انرژی مکانیکی به موتور احتراق داخلی در فلاپاکس نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Allison Transmission Inc.

<sup>2</sup> Low carbon vehicles initiative



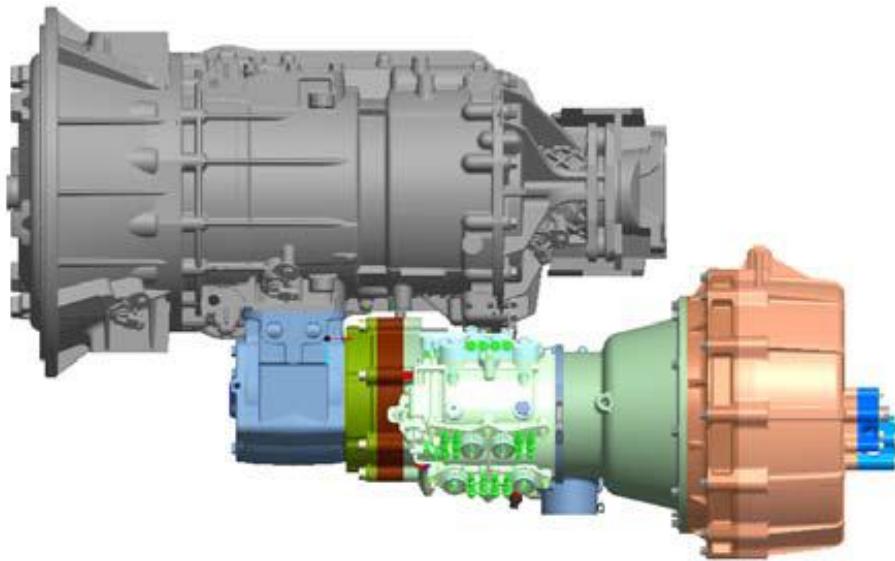
دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۲۰: نحوه نصب سیستم ذخیره انرژی مکانیکی به موتور احتراق داخلی در فلایباس

در حالی که سیستم‌های هیبرید الکتریکی برای کاربردهای اتوبوس در حال توسعه هستند و قابلیت صرفه‌جویی سوخت آنها معلوم شده است، اما چالش اصلی آنها باتری‌های شیمیایی با وزن و پیچدگی زیاد می‌باشد که باعث افزایش قیمت و هزینه‌های محیط زیستی مانند بازیافت باتری‌های فرسوده شیمیایی است. در مقابل، هیبریدهای مکانیکی دارای راندمانی در حدود دوباره یک سیستم هیبرید الکتریکی بر مبنای باتری با اندازه نصف، وزن نصف و قیمت یک‌چهارم است.

سرپرست مهندسان توروترواک، راجر استون، اهداف اصلی برنامه و میزان بهبود مصرف سوخت و آلایندگی  $\text{CO}_2$  را این گونه بیان می‌کند: «کارهای شبیه‌سازی توروترواک نشان داده است که با استفاده از سیستم ذخیره انرژی ۶۰ کیلووات و ۴۰۰ کیلوژول به عنوان طراحی اولیه، صرفه‌جویی سوخت اتوبوس در سیکل تست انگلستان حدود ۲۰ درصد می‌باشد».



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

«در این طراحی اولیه، سیستم CVT و فلاویل از طریق سیستم موجود و بلااستفاده دستگاه انتقال نیرو<sup>۱</sup> (PTO)، که به صورت استاندارد در انتقال قدرت خودکار آلیسون وجود دارد، به زنجیره رانش خودرو وصل شده است. شبیه‌سازی‌های بعدی نشان داد که با استفاده از سیستم ذخیره انرژی ۱۱۰ کیلووات و یک مگاژول می‌توان بهبود مصرف سوخت قابل توجه بیشتری در سیکل رانندگی مشابه به دست آورد.»

از ۲ تا ۴ نوامبر ۲۰۱۰ سیستم هیبرید مکانیکی فلای‌باس برای اولین بار در نمایشگاه اتوبوس‌های اروپایی<sup>۲</sup> در NEC بیرونگام به نمایش گذاشته شد. این محصول توجه ویژه نویسنده‌گان محلی، کاربران ناوگان اتوبوس‌رانی، سازندگان و تجار را به خود جلب کرد. اینیشن‌های نمایش‌داده شده به بینندگان نحوه کار اتوبوس هیبرید مکانیکی را معرفی می‌کرد. از ویژگی‌های جذاب این محصول برای بازدیدکنندگان امکان نصب آن روی خودروهای تازه تولید و درحال کار، بدون کاهش ظرفیت مسافر بود.

## ۵-۴ پروژه کسترل

پروژه کسترل<sup>۳</sup> یک پیشرفت غیرمنتظره درباره اتوبوس‌های سبز است. کسترل ترکیبی از یک سیستم ترمز بازیاب مکانیکی و یک سیستم انتقال قدرت متغیر با ضربی بی‌نهایت (IVT) می‌باشد که به زنجیره توان اتوبوس‌های درحال استفاده متصل می‌شود. چنین سیستمی تا ۳۰ درصد مصرف سوخت را می‌تواند کاهش دهد (شکل ۲۱).

<sup>1</sup> Power take-off<sup>2</sup> Euro Bus Expo<sup>3</sup> KESTREL project



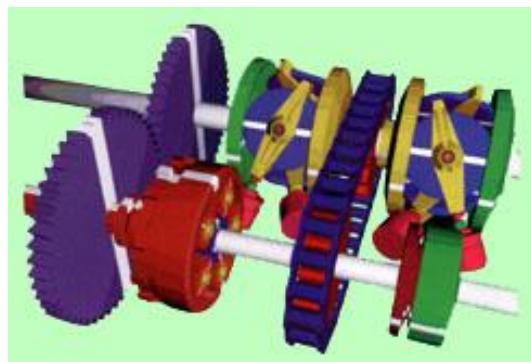
دانشگاه فنی

مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۲۱: پروژه کسترل



دانشکده فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

حدود ۲۰ هزار اتوبوس درون شهری در انگلستان مشغول به کار است. طبق گزارش های DFT، این اتوبوس ها سالیانه ۳ میلیون تن آلاینده  $\text{CO}_2$  تولید می کنند. اگر جعبه دندنه ناوگان اتوبوس ها با سیستم ترمز بازیاب مکانیکی پیشنهادی پروژه کسترل جایگزین شود، میزان کاهش آلاینده  $\text{CO}_2$  تا ۳۰ درصد در سیکل ترکیبی و تا ۵۰ درصد در سیکل درون شهری برآورد می شود. به این ترتیب تولید آلودگی این ناوگان به میزان یک میلیون تن آلاینده  $\text{CO}_2$  کاهش می یابد. به علاوه به واسطه ویژگی سیستم انتقال قدرت توروترواک، می توان به جای موتور دیزل از موتور CNG در اتوبوس استفاده کرد که باعث کاهش بیشتر آلاینده  $\text{CO}_2$  این اتوبوس ها می شود.

طرح این پروژه برای انجام طی ۳ فاز پیشنهاد شده است. فعالیت های تعریف شده به شرح زیر است:

- توسعه و مدل سازی مفهومی<sup>۱</sup>، ۴ ماه (فاز ۱)، ۱۴۰ هزار پوند
- طراحی جزئیات<sup>۲</sup>، ۶ ماه (فاز ۲)، ۲۸۴ هزار پوند
- تهییه مواد اولیه، ساخت و تست<sup>۳</sup> (فاز ۳)، ۱۴ ماه، ۹۶۶ هزار پوند
- مدیریت پروژه و دیلده بازی خودرو<sup>۴</sup> (فازهای ۱ تا ۳)، ۲۴ ماه، ۲۰۳ هزار پوند
- مجموع ۲۴ ماه و ۱۵۹۳ هزار پوند

از اوایل دهه ۱۹۸۰، شرکت خودروهای لیلاند<sup>۵</sup> یک سیستم انتقال قدرت متغیر پیوسته (CVT) برای اتوبوس های درون شهری معرفی کرد. این سیستم به خوبی توسعه پیدا کرد و روی یک اتوبوس ۱۶ تن ملی لیلاند نصب شد. مصرف سوخت این اتوبوس در یک سیکل کاری متداول با ۶ توقف در مایل حدود ۱۰ درصد بهتر از اتوبوس های دیگر بود. پس از تست عمر بیش از ۲۵ هزار مایل اجزای اصلی CVT همچنان

<sup>1</sup> Concept development and modelling

<sup>2</sup> Detailed design

<sup>3</sup> Procurement, build and test

<sup>4</sup> Project management and vehicle monitoring

<sup>5</sup> Leyland Vehicles



دانشگاه فارسی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

سالم و در شرایط خوبی قرار داشت. تولید این محصول به خوبی برنامه ریزی و تولید آن در حال آغاز بود که شرکت اتوبوس لیلاند در حال انتقال و تعطیلی قرار گرفت و انجام این پروژه نیست عملاً منتفی شد.

البته پروژه دیگری نیز توسط شرکت لیلاند انجام شده بود. در این پروژه از یک سیستم ترمز بازیاب مکانیکی که شامل یک فلاپویل کامپوزیتی سرعت بالا برای ذخیره سازی انرژی ساخت شرکت BP، یک موتور دیزل کوچکتر و CVT لیلاند به عنوان سیستم انتقال قدرت اصلی اتوبوس استفاده شده بود. پیش‌بینی‌ها و تست‌ها نشان می‌داد که مصرف سوخت این اتوبوس بین ۴۰ تا ۵۵ درصد بهتر از اتوبوس‌های متداول مشابه است. متأسفانه این طرح نیز با توقف تحقیق و توسعه در زمینه CVT‌های لیلاند متوقف شد. حتی در سال ۱۹۸۴ قرار شد ۴ نمونه دیگر از این اتوبوس تولید و تست شود که هیچگاه عملی نشد.

در سال ۱۹۸۸، گروه تکنولوژی بریتانیا<sup>۱</sup>، که از بیشتر تحقیقات توسعه‌ای CVT لیلاند حمایت می‌کردند، فناوری‌های مرتبط با CVT را به توروترانک منتقل کردند. به دلایل اقتصادی، کار طراحی و توسعه بر خودروهای سواری متمن کز شد. اما برخی از تولید کنندگان سیستم‌های انتقال قدرت اروپایی، که از چرخ‌های جلو برای رانش استفاده می‌کردند، از این فناوری در خودروهای اسپرت، شاسی بلند و کامیون‌های سبک استفاده کردند. این کار باعث کاهش مصرف سوخت ۱۷ درصد در بازار امریکایی این خودروها شد.

با وجود منابع کافی، یک سیستم انتقال قدرت اتوبوسی با استفاده از جدیدترین توسعه‌های فناوری توروترانک به سرعت قابل طراحی و ساخت بود. با این وجود، واقعیات اقتصادی باعث شده تمرکز بیشتر روی خودروهای سواری بود. در سال‌های اخیر توجه جدی به صرفه‌جویی انرژی باعث شده تحقیقات روی اتوبوس‌ها قوت بگیرد. در حال حاضر هدف ایجاد فناوری است که با نصب آن روی اتوبوس‌های در حال کار بتوان مصرف سوخت را در آنها کاهش داد.

سیستم انتقال قدرتی که توروترانک برای خودروهای اسپرت و شاسی بلند (SUV) اخیراً توسعه داده است قابلیت مناسبی برای بازطراحی و استفاده به عنوان سیستم ترمز بازیاب اتوبوس‌های کوچک دیزلی دارد.

<sup>1</sup> British Technology Group



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم – قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاکس



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که هزینه چنین اصلاحی با قیمت بلیط‌های فعلی قابل تأمین است و نیاز اساسی به سرمایه‌گذاری‌های خارجی وجود ندارد. امید است که تجربه‌های این پروژه بتواند در پروژه‌های بعدی با ابعاد بزرگ‌تر مفید باشد.

## ۶-۴ پروژه هیبرید فلاکس ولوو

در ۳۱ می ۲۰۱۱ در لیلاند انگلستان شرکت تورو تراک، پیشگام در زمینه فناوری انتقال قدرت بدون چرخ دنده در خودروهای با آلایندگی  $\text{CO}_2$  کم، موافقت خود را برای تأمین فناوری CVT به هنوان بخشی از پروژه خودروی هیبرید فلاکسلی ولوو اعلام کرد.

پروژه ولوو، یکی از طرح‌های تحت حمایت آژانس انرژی سوئدی<sup>۱</sup> می‌باشد که با همکاری تورو تراک (در زمینه تولید انتقال قدرت) و فلاکس (در زمینه تولید فلاکس) انگلیسی، شرکت SKF سوئدی و زنجیره توان ولوو در حال انجام است. هدف این پروژه نمایش قابلیت سیستم هیبرید فلاکس در یکی از کاربردهای دیگر خودرویی است که مزیت آن را نسبت به هیبریدهای الکتریکی به ویژه از لحاظ قیمت نشان می‌دهد. رئیس اجرایی تورو تراک ادعا می‌کند که این پروژه به کاهش مصرف دو رقمی دست خواهد یافت.

در شکل ۲۲ نمایی از خودروی پروژه ولوو و موقعیت سیستم فلاکس آن و در شکل ۲۳ نمایی از فلاکس و انتقال قدرت پروژه ولوو را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Swedish Energy Agency



شکل ۲۲: نمایی از خودروی پروژه ولوو



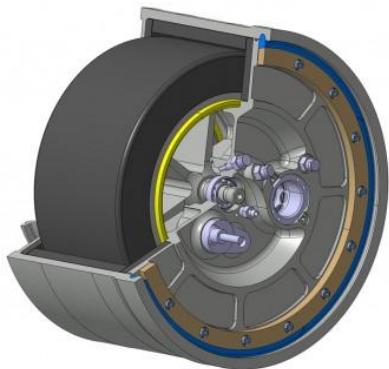
دانشگاه فنی  
دانشکده فنی

مرحله چهارم - قسمت دوم

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاپویل

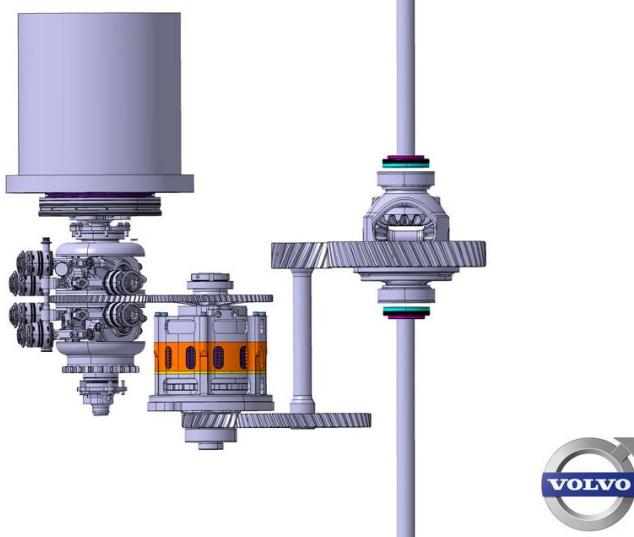


شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



### FLYWHEEL KERS

SYSTEM LAYOUT



شکل ۲۳: نمایی از فلاپویل و انتقال قدرت پروژه ولوو



دانشگاه فنی  
اصفهان

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



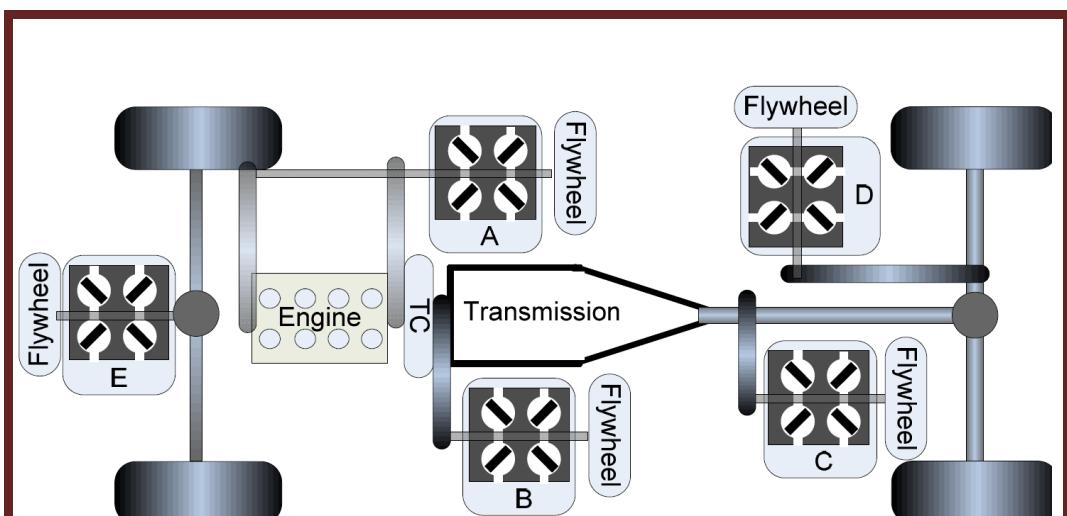
شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## ۵ امکان‌سنجی جانمایی تجهیزات در خودرو و تخمین میزان

### اضافه شدن وزن و تغییر پارامترهای مؤثر دیگر در عملکرد آن

سیستم هیبرید فلایویل با توجه به چگالی توان و انرژی قابل قبول آن در مقایسه با سیستم هیبرید هیدرولیکی ابعاد کوچکتری دارد و جانمایی آن نیز ساده‌تر می‌باشد. با توجه به موجود نبودن اجزای استاندارد برای استفاده در این گونه قوای محرکه برخلاف قوای محرکه هیبرید هیدرولیک امکان انجام دقیق فعالیت‌های مربوط به این بخش وجود ندارد.

از دیدگاه جانمایی تجهیزات، با توجه به وزن و ابعاد کوچک تجهیزات مورد استفاده در این گونه قوای محرکه تمامی تجهیزات به صورت یکپارچه پک می‌گردند. بنابراین تنها نیاز به جانمایی یک مجموعه واحد درون خودرو می‌باشد. به طور کلی سیستم ذخیره انرژی فلایویل را می‌توان به قسمت‌های مختلف قوای محرکه خودرو متصل کرد که در شکل ۲۴ نشان داده شده است.



شکل ۲۴: انواع روش‌های جانمایی فلایویل در خودرو



دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلاکویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

با توجه به ساختار انتخاب شده در مرحله قبلی از پنج گزینه موجود در شکل ۲۴ مورد حذف می‌گردد. در خودروهای نمونه طراحی و یا تولید شده هر سه حالت مورد استفاده قرار گرفته اند. در خودروی جگوار مجموعه سیستم هیبرید فلاکویل بر روی اکسل عقب خودرو که محرک نیز می‌باشد نصب گردیده است. در این روش جانمایی دیفرانسیل قبلی خودرو تغییر کرده و ورودی دیگری برای سیستم هیبرید فلاکویل به آن اضافه می‌گردد. ساختار و جانمایی اجزای مختلف سیستم هیبرید جگوار در شکل ۲۵ نشان داده شده است.



دانشگاه فنی  
دانشکده فنی

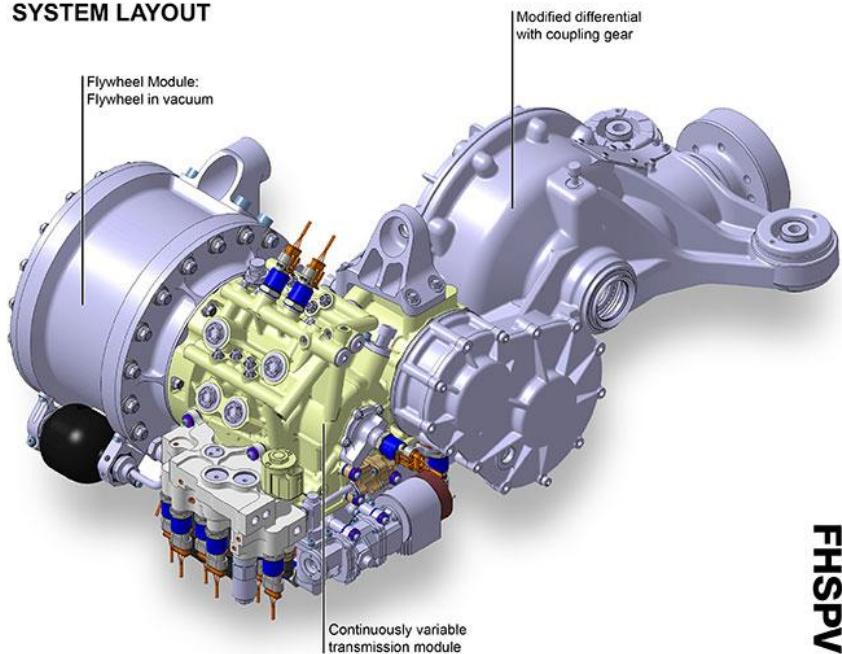
## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



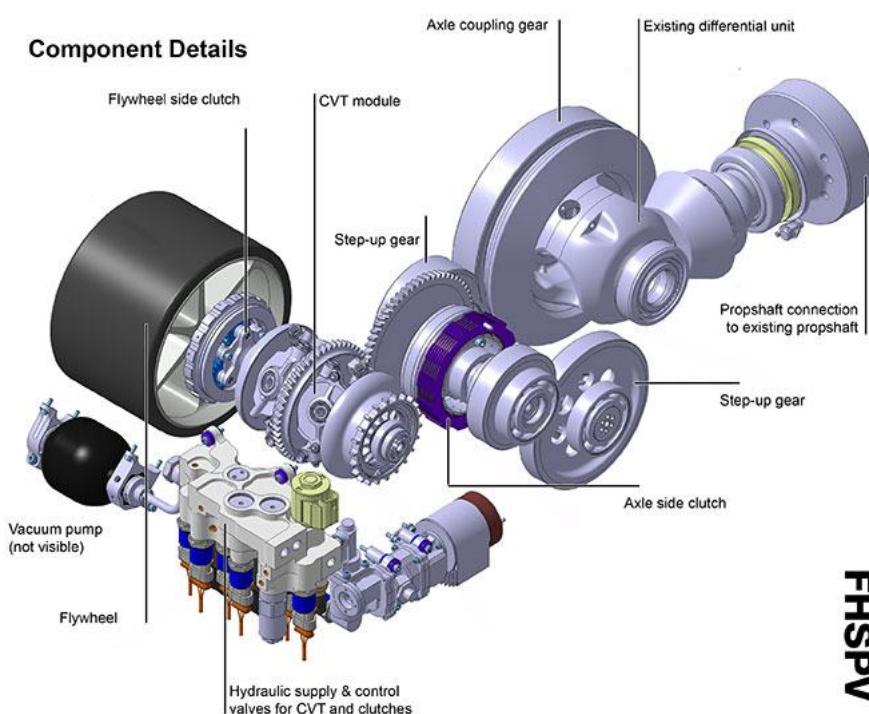
شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

#### SYSTEM LAYOUT



FHSPV

#### Component Details

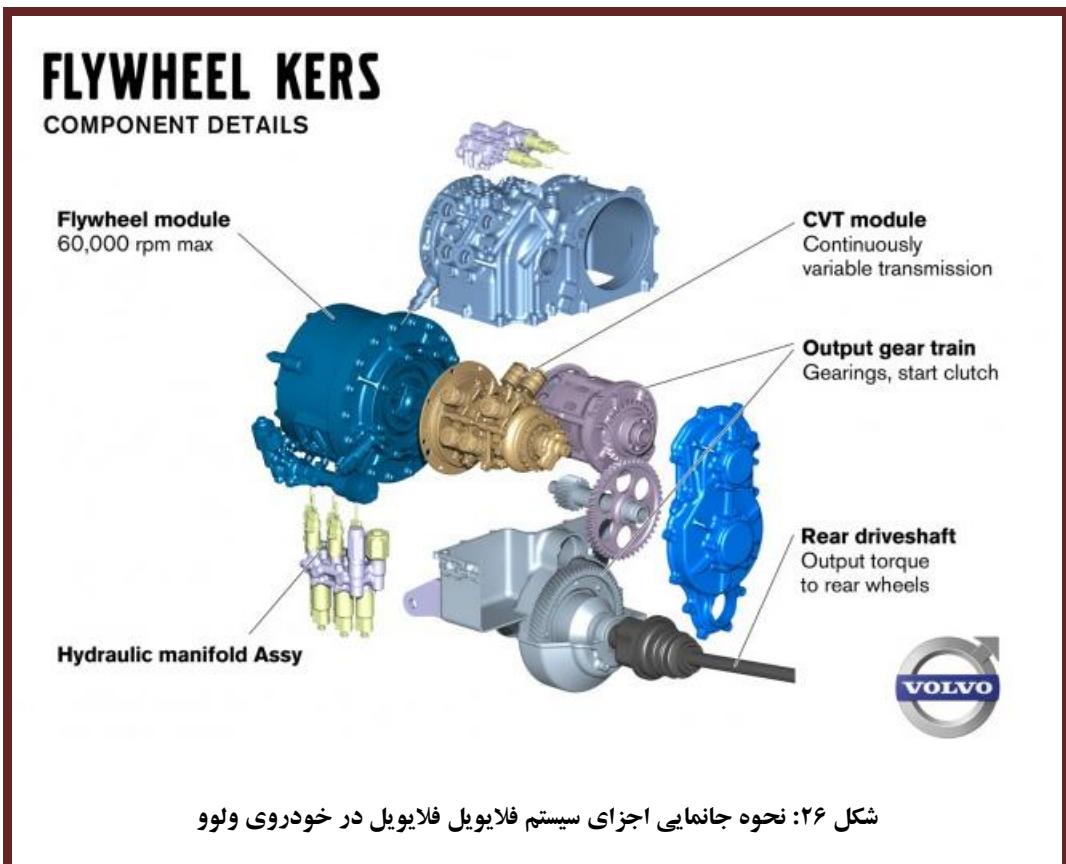


FHSPV

شکل ۲۵: نحوه جانمایی فلایویل شرکت فلایبیرید روی خودرو جگوار

## مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل

همچنین شرکت ولوو نیز ساختار تقریباً مشابهی را برای استفاده در خودروی هیبرید مکانیکی خود معرفی کرده است. در این ساختار همان‌طور که در شکل ۲۶ مشاهده می‌گردد با اضافه کردن یک دیفرانسیل به محور غیر محرک خودرو متصل گردیده است.



شکل ۲۶: نحوه جانمایی اجزای سیستم فلایویل فلایویل در خودروی ولوو

از میان خودروهای هیبرید فلایویل معرفی شده فقط یک نمونه اتوبوس وجود داشته است. در این اتوبوس جانمایی مجموعه هیبرید با توجه به خروجی<sup>۱</sup> PTO موجود در جعبه دنده خودروی پایه صورت پذیرفته است. همان‌طور که در شکل ۲۷ مشاهده می‌شود در این خودرو مجموعه هیبرید به خروجی PTO جعبه دنده کوپل شده است و مجموعه سیستم انتقال قدرت خودرو تغییری نکرده است.

۱ Power Take off



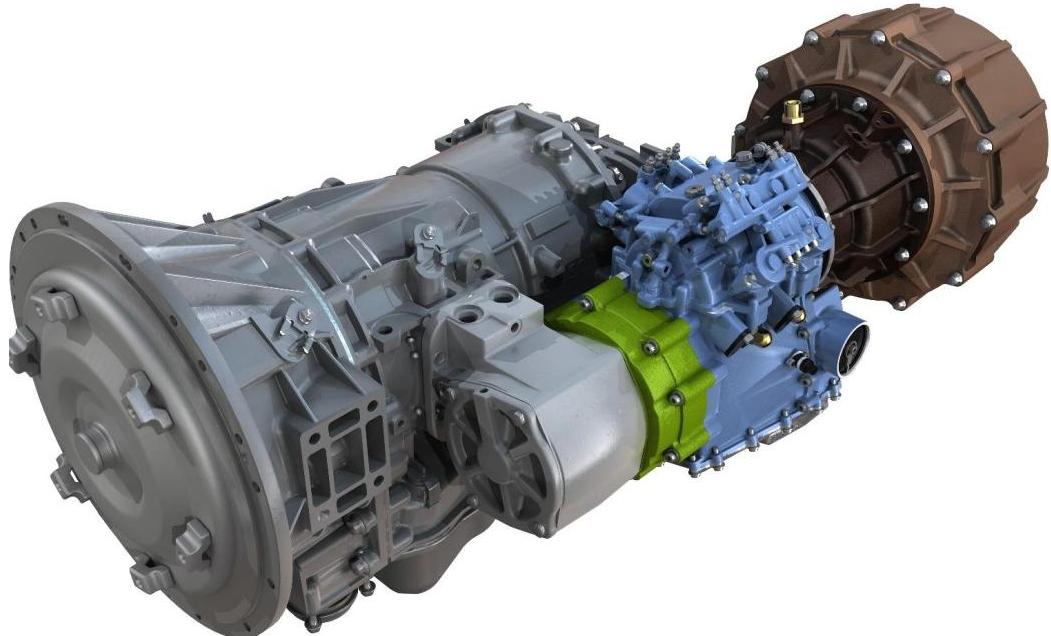
دانشگاه فنی

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۲۷: نحوه نصب سیستم ذخیره انرژی مکانیکی به قوای محركه در اتوبوس فلای باس

با توجه به اینکه در خودروی مورد نظر در این پروژه جعبه‌دنده مورد استفاده فاقد خروجی PTO می‌باشد و تغییر آن نیز در طراحی لحاظ نگردیده است، امکان استفاده از ساختار و جانمایی مشابه اتوبوس فلای باس وجود ندارد. بنابراین ساده‌ترین راه کار جانمایی مجموعه هیبرید فلایویل بر روی دیفرانسیل خودرو مشابه ساختار مورد استفاده توسط جگوار می‌باشد. طرح اولیه جانمایی این سیستم در شکل ۲۸ نشان داده شده است.

با توجه به فضای کم مورد نیاز و فضای موجود در پشت دیفرانسیل خودروی متعارف پیاده‌سازی این جانمایی کاملاً قابل پیاده‌سازی می‌باشد. تنها ایراد این طرح افزایش جزیی وزن فربندی نشده اکسل عقب خودرو می‌باشد که ممکن است منجر به تغییرات جزیی در سیستم تعليق خودرو گردد.



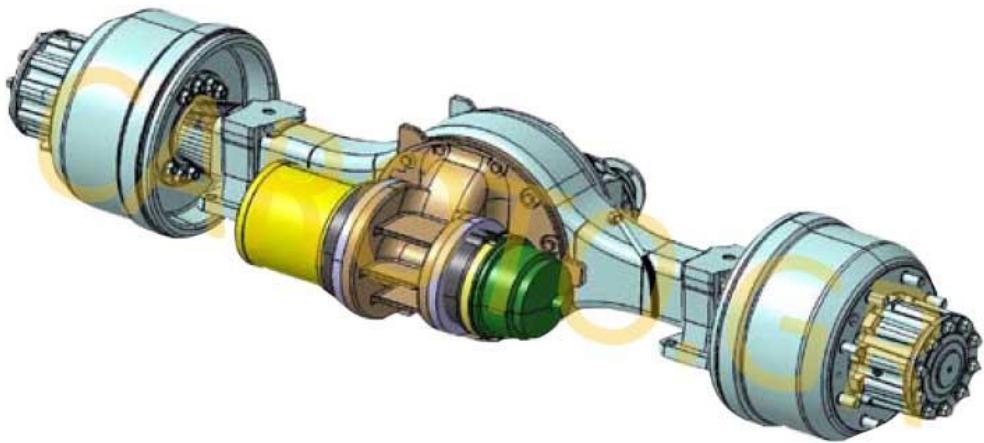
دانشگاه فنی  
اصفهان

## مرحله چهارم - قسمت دوم

### مطالعات مفهومی و انتخاب اولیه تجهیزات اتوبوس هیبرید فلایویل



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت



شکل ۲۸: یکی از روش‌های استفاده شده برای کوپلینگ فلایویل به دیفرانسیل در خودروهای سنگین

در نهایت با توجه به موجود نبودن اطلاعات دقیق در رابطه با سیستم هیبرید فلایویل قابل استفاده در این خودرو و نیاز به طراحی یک سیستم جدید توسط منابع تامین کننده، تخمین دقیق تغییر وزن و بررسی پارامترهای موثر بر عملکرد خودرو ممکن نیست. با این وجود با توجه به کمتر بودن وزن چشمگیر موتور احترافی نمونه هیبرید در مقایسه با خودروی متعارف می‌توان مطمین بود که خودروی هیبرید کمتر یا معادل وزن خودروی متعارف خواهد داشت و این تغییرات اندک نیز با توجه به بررسی‌های انجام شده در رابطه با خودروی هیبرید هیدرولیک تاثیری بر روی پارامترهای موثر بر عملکرد خودرو نخواهد داشت.



فاز سوم

مرحله پنجم

مطالعات امکان سنجی





مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## فهرست

۳	..... مقدمه ۴
۳	۱ تهیه BOM به تفکیک ساخت و خرید و تغییرات لازم ..... ۱
۳	..... ۱-۱ لیست BOM
۵	۱-۲ تغییرات لازم در خودروی پایه .....
۷	۲ بررسی منابع تأمین، طراحی و ساخت در داخل و خارج کشور ..... ۲
۸	۱-۲ پمپ-موتور هیدرولیکی .....
۱۰	۲-۲ آکومولاتور .....
۱۱	۳-۲ موتور احتراق داخلی .....
۱۱	۴-۲ شیرهای هیدرولیکی .....
۱۲	۵-۲ واحد کنترل مرکزی .....
۱۲	۳ بررسی امکان‌سنجی فنی هیبرید شدن اتوبوس‌های تولید داخل: ..... ۳
۱۳	۱-۳ بررسی امکان‌سنجی از منظر طراحی .....
۱۳	۱-۱-۳ بررسی اتوبوس‌های موجود و انتخاب اتوبوس مناسب .....
۱۳	بررسی امکان اعمال طراحی بر دیگر خودروهای سنگین (کامیون‌ها، مینی‌بوس‌ها و ...) .....
۱۶	۲-۱-۳ نهایی کردن طراحی مفهومی و انتخاب قطعات .....
۱۷	۳-۱-۳ طراحی نهایی مدارات هیدرولیکی و کنترلی سیستم .....
۱۸	۴-۱-۳ طراحی جانمایی نهایی قطعات .....
۲۰	۲-۳ بررسی امکان‌سنجی از منظر ساخت .....



مرحله پنجم

**مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی**شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

۲۲.....	۳-۳ بررسی امکان‌سنجی از منظر تست و بهینه‌سازی
۲۳.....	۴ برآورد هزینه‌های مالی نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید در ایران
۲۴.....	۴-۱ انتخاب نوع سیستم هیبرید مناسب برای اجرای قوای محركه هیبرید مکانیکی روی یک اتوبوس شهری
۲۶.....	۴-۲ لیست و هزینه قطعات مورد نیاز برای نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی
۲۸.....	۴-۳ ارزیابی قیمت قطعات حذف شده اتوبوس شهری به‌منظور ساخت اتوبوس هیبرید هیدرولیکی
۲۹.....	۴-۴ ارزیابی هزینه خدمات مونتاژ و ساخت اتوبوس هیبرید هیدرولیکی
۲۹.....	۴-۵ ارزیابی هزینه نیروی انسانی متخصص جهت ساخت اتوبوس هیبرید مکانیکی
۳۰.....	۴-۶ هزینه کل نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی
۳۱.....	۵ مطالعات امکان‌سنجی تولید اتوبوس هیبرید مکانیکی در ایران
۳۱.....	۵-۱ بررسی چگونگی تولید قطعات سیستم هیبرید در ایران
۳۴.....	۵-۲ بررسی صرفه‌جویی ملی بر اساس پیش‌بینی میزان کاهش مصرف سوخت و آلايندگی
۳۷.....	۵-۱-۲ بررسی صرفه‌جویی ملی بر اساس پیش‌بینی میزان کاهش آلايندگی
۴۹.....	۵-۲-۲ بررسی صرفه‌جویی ملی بر اساس پیش‌بینی میزان کاهش مصرف سوخت
۵۱.....	۵-۳ بررسی امکان بسته شدن قرارداد با شرکت‌های تامین کننده اجزاء و تکنولوژیهای لازم
۵۲.....	۵-۴ قیمت تمام شده در صورت تولید انبوه و نیمه انبوه



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

### مقدمه

در این بخش از پژوهه به مطالعات امکان‌سنجی نمونه‌سازی خودروی هیبرید هیدرولیکی پرداخته می‌شود. در بخش امکان‌سنجی فنی ابتدا لیست تغییرات لازم در خودروی پایه اعم از قطعات و تجهیزات اضافه شده و حذف شده از خودروی پایه و همچنین تغییرات الزامی روی قطعات ثابت مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس این لیست می‌توان به جستجوی منابعی پرداخت که امکان همکاری با آنها به عنوان تأمین‌کننده خدمات و تجهیزات وجود دارد. این مرحله همراه با نهایی کردن مشخصات فنی تجهیزات مورد نیاز صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که انتخاب تأمین‌کننده و مشخصات نهایی قطعات و تجهیزات اصلی در مرحله چهارم این پژوهه انجام وارائه شده است. در این بخش مستندات مربوط به سایر قطعات ارائه می‌گردد.

## ۱ تهیه BOM به تفکیک ساخت و خرید و تغییرات لازم

در پژوهه اتوبوس هیبرید هیدرولیکی که در حقیقت تبدیل یک اتوبوس معمولی به یک اتوبوس هیبرید هیدرولیکی است، موتور احتراق داخلی موجود که از نوع OM457LA می‌باشد، حذف و موتور OM906LA جایگزین آن می‌شود. علاوه بر این، تجهیزات هیدرولیکی مانند پمپ-مотор هیدرولیکی، مخازن پرفشار و کم‌شار، شیرها و لوله‌های هیدرولیکی و تجهیزات کنترلی مانند سنسورهای فشار، دما، سرعت و کنترل‌الکترونیک به مجموعه اضافه می‌شود. در بخش‌های دینامیکی اتوبوس مانند سیستم‌های تعليق، فرمان و ترمز تغییراتی اعمال نمی‌شود.

### ۱-۱ لیست BOM

در جدول ۱ و جدول ۲، لیست قطعات اضافه و حذف شده به منظور اجرای تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی روی یک اتوبوس شهری O457 آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در قسمت تجهیزات مکانیکی، تغییراتی در گیربکس و دیفرانسیل اتوبوس پایه ایجاد نمی‌شود.

۳	مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران	۱۳۹۰
---	--	------



مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## جدول ۱ - تجهیزات هیدرولیکی

امکان تأمین		قطعات	
خارجی	داخلی	قطعات اضافه شده	قطعات حذف شده
✓	✗	پمپ-موتور هیدرولیکی	
✓	✗	آکومولاتور (۲ عدد)	
✓	✓	محزن کم فشار	
✓	✗	بلوک شیر کنترل کننده (شامل شیر تعیین مسیر و شیر فشنگی)	
✓	✗	شیر فشارشکن	
✓	✓	ادوات جانبی (لوله، فیلتر و ...)	
✓	✗	سیال (روغن هیدرولیک)	
✓	✗	کنترلر الکترونیک	

## جدول ۲ - تجهیزات مکانیکی

امکان تأمین		قطعات	
خارجی	داخلی	قطعات اضافه شده	قطعات حذف شده
-	-		موتور احتراق داخلی OM457LA
✓	✓	موتور احتراق داخلی OM906LA	
✓	✓	مجموعه کوپلینگ گشتاور	

زمانی که بحث تبدیل خودروی معمولی به هیبرید هیدرولیک مطرح می شود، طراحی سیستمی و انتخاب نوع و مدل هریک از این قطعات، حساسیت ویژه ای پیدا می کند؛ چراکه علاوه بر تأمین نیازهای عملکردی و ایمنی خودرو باید به نحوی انتخاب و در خودرو جاسازی شوند که با طراحی خودروی پایه هماهنگ باشند؛ به عبارت دیگر کمترین تغییرات ممکن در وزن، شاسی و ساختار کلی خودرو بوجود بیاید.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

### ۱-۲ تغییرات لازم در خودروی پایه

در تبدیل خودروی معمولی به خودروی هیبرید هیدرولیکی، موتور احتراق داخلی با یک موتور که از نظر ابعاد و وزن کوچکتر است، جایگزین می شود. فضای خالی ایجاد شده در قسمت انتهای خودرو، می تواند برای جانمایی پمپ- موتور هیدرولیکی و چرخدنده های مجموعه کوپلینگ استفاده شود. این نحوه جانمایی موجب تغییرات ناچیزی در ساختار شاسی خودروی پایه می شود. به منظور جانمایی آکومولاتورهای پرفشار، به عنوان سنگین ترین و حجمی ترین قطعات اضافی اتوبوس هیبرید، از فضای خالی موجود در جعبه های جانبی اتوبوس استفاده می شود. به این صورت که هر یک از آکومولاتورها در یکی از جعبه های قرار می گیرد. طول آکومولاتورها از طول جعبه ها بیشتر است؛ از این رو با استی تغییراتی در ساختار شاسی اتوبوس در فضای اطراف جعبه ها ایجاد شود. قطعه دیگری که از لحاظ جانمایی مهم است، مخزن روغن است. این قطعه در قسمت انتهایی اتوبوس و در کنار موتور احتراق داخلی قرار می گیرد. سایر قطعات اضاف شده، وزن و حجم بالایی نداشته و جانمایی آنها تغییرات زیادی در ساختار شاسی اتوبوس ایجاد نمی کند. موقعیت طولی مرکز ثقل اتوبوس هیبرید در مرحله چهارم پروژه محاسبه شده است و نشان می دهد که با اجرای تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی، تغییر بسیار ناچیزی در موقعیت مرکز ثقل نسبت به اتوبوس پایه ایجاد می شود. جدول ۳، تغییرات مربوط به جانمایی قطعات سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید هیدرولیکی را در مقیاس نمونه سازی و تولید ابوه نشان می دهد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

## جدول ۳- تغییرات لازم در طراحی خودروی پایه

قطعه	محل نصب	نمونه	نمونه‌سازی برای نمونه	تولید انبوه	تولید انبوه
پمپ- موتور هیدرولیکی	انتهای اتوبوس	×	✓	✓	✓
آکومولاتورها	جعبه‌های جانبی اتوبوس	✓	✓	✓	✓
موتور احتراق داخلی	انتهای اتوبوس	×	✓	✓	✓
مخزن کم‌فشار	انتهای اتوبوس	×	✓	✓	✓
سایر قطعات	-	-	×	✓	✓

✓ تغییرات لازم است.

✗ تغییرات لازم نیست.

در خصوص جدول فوق، باید به موارد زیر اشاره شود:

- در نمونه‌سازی برای نمونه، لازم نیست که در طراحی اولیه خودرو تغییرات اساسی داده شود و با

ایجاد تغییرات جزئی می‌توان تجهیزات را، در محل تعیین شده قرار داد.

- در نمونه‌سازی به منظور تولید انبوه محصول، لازم است که موارد جزئی تری مانند ایمنی، تهويه-

طبع، راحتی سرنشین، محل بار و مانند آن نیز در نظر گرفته شود و بنابراین طراحی اولیه شاسی

مقداری تغییرات خواهد داشت.

- در ردیف "سایر قطعات" ، منظور قطعاتی است که دارای ابعاد کوچک‌تری نسبت به تجهیزات

اصلی هستند و از نظر جانمایی مشکل زیادی ایجاد نمی‌کنند. بنابراین تنها در تولید انبوه محصول،

ممکن است تغییرات جزئی به طراحی اولیه تحمیل شود.

علاوه در زمینه تولید انبوه خودرو باید دو مورد را مد نظر داشت:



مرحله پنجم

### مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

▪ تغییرات لازم در طراحی اولیه اتوبوس که در این صورت تغییرات لازم مشابه تغییرات در نمونه‌سازی برای تولید انبوه خواهد بود.

▪ تغییرات لازم در خط تولید برای ساخت اتوبوس با مشخصات مورد نظر.

به طور کلی، در اعمال تغییرات روی شاسی همواره باید به بهینه بودن طراحی از نظر توزیع وزن نیز توجه داشت (شکل ۱).

بهینه‌سازی وزن

برداشت قطعات اضافی

ثبت نگهداشت توزیع وزن

شکل ۱ : نکات لازم برای دستیابی به توزیع وزن بهینه

## ۲ بررسی منابع تأمین، طراحی و ساخت در داخل و خارج کشور

اجرای تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی، یک فناوری جدید محسوب می‌شود. اما استفاده از تجهیزات هیدرولیکی در صنعت خودرو از سابقه طولانی برخوردار است. از این‌رو تأمین تجهیزات هیدرولیکی موردنیاز برای اجرای تکنولوژی در مقایسه با این مورد در هیبرید الکتریکی، با مشکلات کمتری روبرو است. کمپانی‌های مختلفی در سراسر جهان تجهیزات هیدرولیکی با مشخصات و کاربردهای مختلف تولید می‌کند. بسیاری از این شرکت‌ها نیز در ایران نمایندگی داشته و قطعات مربوطه را وارد می‌نمایند. البته با توجه به مشخصات عملکردی تجهیزات موردنیاز، تولید این قطعات در داخل کشور صورت نمی‌گیرد. بهمین دلیل در این پروژه بسیاری از قطعات هیدرولیکی موردنیاز باید از خارج از کشور تهیه شوند. اما در خارج از کشور نیز منابع این تجهیزات محدود هستند و بسیاری از آنها نیز در ایالات متحده قرار دارند که در این زمینه محدودیت‌هایی را ایجاد می‌کند.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



مهم‌ترین تجهیزات خودروی هیبرید هیدرولیکی عبارتند از:

- پمپ - موتور هیدرولیکی
- آکومولاتور فشار بالا (۳۵۰ بار)
- موتور احتراق داخلی
- شیرهای هیدرولیکی
- واحد کنترل مرکزی

در این بخش تعدادی از تولید کنندگان هریک از تجهیزات معرفی می‌شوند.

### ۱-۲ پمپ - موتور هیدرولیکی

پمپ - موتور هیدرولیکی انتخاب شده از نوع جابجایی متغیر است. این نوع پمپ - موتورها برای کنترل و تغییر دبی خروجی نیاز به یک کنترلر دارند. پمپ - موتورهای جابجایی متغیر در ایران تولید نمی‌شوند. در مقابل کمپانی‌های متعددی در خارج از کشور این قطعه را تولید می‌کنند. در جدول ۴ لیست این کمپانی‌ها ارائه شده است.

جدول ۴ - لیست تولید کنندگان پمپ - موتور هیدرولیکی

توضیحات	کشور	ماکزیمم توان تولیدی (kw)	مدل	تولید کننده
Mobile Hydraulic	آمریکا	۹۰	P1-100	Parker Hannifin Corporation
		۱۲۵	P1-140	
Mobile Hydraulic	آلمان	۹۱	A4VSO - 71	Bosch Rexroth Company
		۱۳۱	A4VSO - 125	
		۱۸۹	A4VSO - 180	



مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

از دو شرکت فوق، شرکت Bosch Rexroth در ایران نمایندگی دارد و تأمین قطعات از این شرکت در مقایسه با شرکت دیگر که آمریکایی می باشد، آسان تر به تظر می رسد. تأمین قطعات از شرکت های آمریکایی با مشکل تحریمهای اقتصادی رو برو است.

شرکت Bosch آلمان در سال ۲۰۰۱ با ادغام دو شرکت با سابقه در تولید قطعات هیدرولیکی و الکترونیکی و همچنین ادوات کنترلی به نام های Manessmann Rexroth و Automation Technology Business Unit of Robert Bosch GmbH افتتاح شد. تولیدات این شرکت شامل قطعات موردنیاز در مدارات هیدرولیکی (مانند شیرها، پمپ ها، هیدرومоторها، مخازن و ...) و کنترلهای الکترونیکی مربوطه می باشد. پمپ - موتور موردنظر در پروژه حاضر، مدل A4VSO-125 از محصولات این شرکت است. این پمپ - موتور از نوع پیستونی محوری بوده و دارای حجم جابجایی ماکزیمم ۱۲۵ سانتی متر مکعب در هر دور می باشد. توان ماکزیمم آن ۱۳۱ کیلووات است و ماکزیمم گشتاور تولیدی آن ۶۹۶ نیوتن متر می باشد. اطلاعات جامع تر در مورد پمپ - موتور A4VSO-125 در گزارش مرحله چهارم پروژه آمده است.

برای کنترل عملکرد پمپ / موتور هیدرولیکی نیازمندو احد کنترلر هستیم. واحد کنترلر از یک برد الکترونیکی و مدارهای جانبی تشکیل شده است. وظیفه این واحد تعیین مقدار مطلوب زاویه صفحه مورب با توجه به فرمان ارسال شده از واحد کنترل مرکزی سیستم هیبرید می باشد.

همان طور که در گزارش مرحله چهارم آمده است، برای اجرای تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی روی اتوبوس شهری O457 می توان از مازول های آماده تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی استفاده نمود. منظور مجموعه های تولیدی شرکت های مختلف است که شامل ادوات و مدارات هیدرولیکی موردنیاز می باشد. این مجموعه ها بدون نیاز به تغییرات اضافی روی خودروی موردنظر نصب می شوند. هر دو شرکت ذکر شده در جدول ۴، مجموعه های مجتمع تولید و انتقال قدرت هیدرولیکی را تولید می نمایند. بدیهی است که در صورت تصمیم به استفاده از چنین مجموعه هایی، شرکت Bosch Rexroth، مناسب ترین گزینه می باشد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## ۲-۲ آکومولاتور

آکومولاتورهای انتخاب شده برای پروژه حاضر، از نوع دیافراگمی هستند که فشار ماکزیمم کاری آنها ۳۴۵ بار می باشد. این چنین آکومولاتورهایی در داخل کشور تولید نمی شوند. در میان گزینه های خارجی، با توجه به مشخصات آکومولاتورهای موردنیاز، سه شرکت مدنظر قرار می گیرند. لیست این شرکت ها و مدل محصولات موردنظر در جدول ۵ آورده شده است. در میان این شرکت ها، شرکت Bosch Rexroth با توجه به سهولت تأمین گزینه مناسب تری به نظر می رسد. از میان آکومولاتورها با ظرفیت های مختلف، آکومولاتور با گنجایش ۵۰ لیتر انتخاب شده است. برای اجرای تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی روی اتوبوس شهری O457، دو عدد آکومولاتور ۵۰ لیتری نیاز است.

جدول ۵ - لیست تولید کنندگان آکومولاتور

توضیحات	کشور	ماکزیمم حجم ذخیره (lit)	مدل	تولید کننده
Bladder Type	آمریکا	۱۸/۹	BA05B5T01A1	Parker Hannifin Corporation
		۳۷/۹	BA10B5T01A1	
		۵۶/۸	BA15B5T01A1	
Bladder Type	آلمان	۲۰	HAB20-5x	Bosch Rexroth Company
		۳۵	HAB35-5x	
		۵۰	HAB50-5x	
Bladder Type	آمریکا	۱۹	TBR50-5	Tobul Company
		۳۸	TBR50-10	
		۵۷	TBR50-15	



مرحله پنجم

### مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

## ۳-۲ موتور احتراق داخلی

موتور OM906LA همانند موتور OM457LA محصول شرکت مرسدس بنز آلمان می باشد. شرکت I.D.E.M تبریز در ایران این دو موتور را تولید می نماید. بنابراین تأمین موتور احتراق داخلی موردنیاز پروژه حاضر در داخل کشور صورت خواهد گرفت. لازم به ذکر است که موتور OM906LA با مشخصات ظاهری یکسان در محدوده توانی ۱۷۰ تا ۲۰۵ کیلووات موجود است و موتور موردنظر در پروژه حاضر ۲۰۵ کیلووات توان دارد و جایگزین موتور OM457LA که ۲۲۰ کیلو وات توان دارد، خواهد شد.

## ۴-۲ شیرهای هیدرولیکی

در میان مهمترین تجهیزات اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، سه شیر هیدرولیکی وجود دارد. یک شیر کارتریج و یک شیر کنترل مسیر چهار جهته - دو وضعیتی که در مجموع بلوک شیر کنترل کننده جریان ورودی به پمپ - موتور هیدرولیکی یا خروجی از آن را کنترل می کند. همچنین مدار هیدرولیک موجود شامل یک شیر فشارشکن به منظور محافظت از مدار هیدرولیکی می باشد. با توجه به تأمین پمپ - موتور هیدرولیکی و آکومولاتورها از شرکت Bosch Rexroth و همچنین عدم وجود شیرهای هیدرولیکی تولید داخل با مشخصات موردنظر، تصمیم برآن است که این سه قطعه نیز از شرکت مذکور تأمین شوند. در جدول ۶، لیست شیرها و نام تجاری آنها آورده شده است.

جدول ۶ - لیست شیرهای هیدرولیکی موردنیاز

توضیحات	کشور	مدل	نام شیر	تولید کننده
شیرها تحت فشار	آلمان	LC2A	شیر کارتریج	Bosch Rexroth Company
کاری آکومولاتورها		H-4WEH	شیر کنترل مسیر	
و پمپ - موتور کار می کنند		DBD	شیر فشارشکن	



مرحله پنجم

### مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

توجه شود که مخزن کم‌فشار، لوله‌های موردنیاز، روغن هیدرولیک و ... از داخل کشور قابل تأمین می‌باشند.

## ۵-۲ واحد کنترل مرکزی

در یک خودرو که دارای سیستم انتقال قدرت هیبرید می‌باشد، یک واحد کنترلی وظیفه‌ی توزیع توان میان دو منبع تولید قدرت را برعهده دارد. این واحد براساس کنترل استراتژی طراحی شده عمل می‌کند. کنترل استراتژی یک سیستم محرکه‌ی هیبرید با هدف کاهش مصرف سوخت خودرو و همچنین کاهش آلایندگی‌های آن طراحی می‌شود. معمولاً در خودروهای هیبرید نمونه‌سازی شده، طراحی کنترل استراتژی براساس یک‌سری قوائد که توسط طراحان سیستم درنظر گرفته می‌شوند، صورت می‌گیرد. پیاده‌سازی و اجرای واحد کنترل مرکزی سیستم محرکه هیبرید، شامل طراحی و ساخت بردۀای الکترونیکی است که مجموعه‌ی آنها، اهداف استراتژی کنترل را تأمین می‌نماید.

برای اتوبوس هیبرید هیدرولیک حاضر، طراحی و ساخت واحد کنترل مرکزی توسط متخصصین مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران صورت می‌گیرد. این مورد با توجه به انجام و پیاده‌سازی پروژه‌ای مشابه برای اتوبوس هیبرید الکتریکی، ساخته شده توسط آن مرکز، قابل اجرا خواهد بود. بنابراین جهت طراحی و ساخت واحد کنترل مرکزی، نیازی به خرید قطعه‌ی از خارج از کشور نمی‌باشد.

## ۳ بررسی امکان‌سنجی فنی هیبرید شدن اتوبوس‌های تولید

### داخل

امکان‌سنجی فنی هیبرید شدن اتوبوس‌های تولید داخل از سه منظر طراحی، ساخت و تست و بهینه‌سازی بررسی شده است. بر اساس نتایج مراحل قبلی پروژه، این بررسی فقط برای سامانه انتقال قدرت هیبرید الکتریکی انجام شده است. اگرچه طراحی مفهومی انجام شده در فاز قبلی پروژه برای یک اتوبوس خاص



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

انجام شد ولی نتایج آن قابل تعمیم به سایر اتوبوس‌های درون شهری تولید شده داخل کشور و همچنین کامیون‌های داخل شهری است. در ادامه به هر یک از بخش‌های مذکور پرداخته می‌شود.

### ۱-۳ بررسی امکان‌سنجی از منظر طراحی

طراحی برای تبدیل یک اتوبوس احترافی به هیبرید هیدرولیکی شامل مراحل مختلفی است. این مراحل شامل انتخاب اتوبوس مورد نظر، نهایی کردن طراحی مفهومی و انتخاب قطعات با توجه به خودروی انتخاب شده، طراحی نهایی مدارات هیدرولیکی و کنترلی سیستم، طراحی جانمایی نهایی قطعات و بررسی اثر این تغییرات در دینامیک خودرو و سازه و شاسی می‌باشد.

#### ۱-۱-۳ بررسی اتوبوس‌های موجود و انتخاب اتوبوس مناسب

در این پژوهه، طراحی قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی برای اتوبوس شهری ۰۴۵۷ ساخت شرکت ایران خودرو دیزل صورت گرفته است. روند انتخاب اتوبوس ۰۴۵۷ به عنوان اتوبوس پایه در گزارش فاز یک پژوهه آمده است. مسائلی مانند سهم اتوبوس در خطوط حمل و نقل عمومی شهر تهران، وجود خط تولید اتوبوس در کشور، دسترسی به نقشه‌های ساخت اتوبوس و مسائلی از این دست در این انتخاب مؤثر بوده است. در پایان باید به این نکته اشاره کرد که انتخاب نهایی اتوبوس مناسب با نظر مساعد تأمین‌کنندگان صنعتی انجام خواهد گرفت.

##### الف- بررسی امکان اعمال طراحی بر دیگر خودروهای سنگین (کامیون‌ها، مینی‌بوس‌ها و ...)

بطور کلی سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی، با توجه به ماهیت خاص آن که دارای چگالی توان بالایی می‌باشد، گزینه مناسبی برای بهینه‌سازی مصرف سوخت در خودروهای سنگین است. از این‌رو امکان اعمال تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی، علاوه‌بر انواع اتوبوس‌ها، روی دیگر خودروهای سنگین مانند مینی‌بوس‌ها و کامیون‌ها نیز وجود دارد. در این میان خودروهای خدمات شهری (حمل زباله) که برای عملکرد خود نیازمند



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

مدارات و ادوات هیدرولیکی مختلفی هستند، گزینه بسیار مناسبی برای کاربرد سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی می‌باشد. همچنین خودروهای خدمات شهری دارای سیکل حرکتی مشخص و با شروع و توقف فراوان هستند؛ این مورد بر تناسب این خودروها جهت اجرای تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی می‌افزاید. در جدول ۷ نام چندین محصول که می‌توانند به عنوان خودروی پایه برای پروژه هیبرید هیدرولیکی به کار روند، ارائه شده است. در انتخاب این محصولات با توجه به محدودیت موجود در مورد عبور و مرور کامیون‌های با وزن بیش از ۸/۵ تن در معابر شهری، گزینه‌های انتخاب به کامیون‌ها و مینی‌بوس‌ها محدود شده است. کامیون‌های باری با وزن مجاز بیش از ۸/۵ تن، کمپرسی‌ها و کشنده‌ها از میان گزینه‌های موجود حذف شده‌اند. همچنین در جدول زیر، کامیونت‌هایی که سیستم پرس زباله روی آنها نصب شده و به عنوان محصول جدید به فروش می‌رسند، مشخص شده است. در حال حاضر شرکت‌های مبارز و نوین مبارز در شهر اصفهان، آذرپاد صنعت در قزوین دستگاه‌های پرس زباله را روی برخی کامیونت‌ها نصب می‌نمایند.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

جدول ۷ - انواع کامیونت هایی که سیستم پرس زباله روی آنها نصب می شود

نام خودرو	نام شرکت تولید کننده	وزن مجاز (تن)	قدرت موتور (کیلووات)	گشتاور موتور (نیوتن متر)	کاربری خودروی خدمات شهری
مینی بوس کروس	ایران خودرو دیزل	۵/۵	۸۴	۲۹۴	-
کامیونت مایتی	ایران خودرو دیزل	۵/۵	۸۴	۲۹۴	دارد
NQR-8 T	بهمن خودرو	۸	۹۹	۳۵۶	دارد
NQR-6 T	بهمن خودرو	۶	۹۹	۳۵۶	دارد
NQR-5.2 T	بهمن خودرو	۵/۲	۷۱	۲۰۶	دارد
مینی بوس ایسوزو	بهمن خودرو	۶	۹۹	۳۵۶	-
کامیونت آمارک - ۱۰۶۱	سایپا دیزل	۸/۵	۱۱۵	۵۰۰	-
کامیونت آمارک - ۱۰۶۹	سایپا دیزل	۶/۵	۱۰۵	۴۵۰	-
کامیونت فوتون	سایپا دیزل	۶	۷۵	۳۶۰	-
کامیونت بادسان	سایپا دیزل	۶	۱۰۰	۴۴۵	دارد
مینی بوس NAVECO A45-12	زامیاد	۵/۲	۸۸	۲۶۹	-
K 106 GL	کاریزان خودرو	۶/۵	۹۳	۴۱۰	-

در جدول ۸، سهم هریک از خانواده‌ی محصولات آورده شده در جدول ۷، در بازار کامیونت و مینی بوس کشور ارائه شده است. این آمار از سایت شرکت سایپا دیزل استخراج شده است. آمار موجود نشان می‌دهد که کامیونت‌های ایسوزو محصول شرکت بهمن خودرو، از لحاظ سهم در بازار کشور، مناسب‌ترین گزینه برای اجرای تکنولوژی هیبرید می‌باشد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۸ - سهم شرکت‌های خودروسازی مختلف در بازار کامیونت کشور

نام شرکت تولیدکننده	محصولات	سهم در بازار کشور (درصد)
بهمن خودرو	ایسوزو	۵۴
ایران خودرو دیزل	مایتی و کروس	۲۳
کاریزان خودرو	کاویان	۲۱
سایپا دیزل	الوند، بادسان، ...	۱/۳
دیگر شرکت‌ها		۰/۷

علاوه بر خودروهای ذکر شده در جداول فوق، در سال‌های اخیر چندین نمونه مینی‌بوس و کامیونت جدید در کشور تولید شده است. این خودروها سهم بالایی در بازار خودروی کشور ندارند؛ از این‌رو گزینه مناسبی برای اجرای تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی به حساب نمی‌آیند.

### ۲-۱-۳ نهایی کودن طراحی مفهومی و انتخاب قطعات

طراحی انجام شده تاکنون در این پروژه یک طراحی مفهومی می‌باشد. پس از انتخاب نهایی اتوبوس مناسب به منظور نمونه‌سازی یک اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، بایستی طراحی قسمت‌های مختلف سیستم قوای محرکه هیبرید برای اتوبوس مورد نظر با درنظر گرفتن جزئیات بیشتر انجام گیرد. در طراحی جدید که برپایه طراحی مفهومی موجود انجام می‌گیرد، انتخاب نهایی قطعات، طراحی نهایی مدارات هیدرولیکی و کنترلی سیستم هیبرید، تأثیر دقیق هیبرید شدن قوای محرکه بر موقعیت مرکز جرم اتوبوس، جانمایی نهایی قطعات و اثر آنها بر شاسی و سازه اتوبوس و همچنین دینامیک خودرو بررسی شود.

در توضیحات ارائه شده در ادامه، فرض بر طراحی و انتخاب قطعات به صورت جداگانه است. در صورت تهیه سیستم تولید قدرت هیبرید هیدرولیکی به صورت مجتمع، حجم فعالیت‌ها در بخش طراحی کاهش یافته و تنها به حد تعیین قیود حرکتی اتوبوس هیبرید می‌رسد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

### الف- انتخاب نهایی قطعات

در این قسمت بايستی انتخاب نهایی ادوات اصلی سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی شامل پمپ-موتور هیدرولیکی، آکومولاتورها، موتور احتراق داخلی و گیربکس‌های موردنیاز برای هر منبع تولید قدرت انجام گیرد. در طراحی مفهومی سیستم قوای محرکه هیبرید، روند طراحی سیستم و انتخاب ادوات مشخص شده است. همچنین منابع تأمین هریک از قطعات تعیین شده است. در مرحله نمونه‌سازی بايستی این روند برای خودروی پایه انتخاب شده تکرار شود. بافرض پیاده‌سازی تکنولوژی هیبرید هیدرولیکی روی اتوبوس، بايستی وزن اتوبوس، محدودیت‌های بار روی اکسل‌های جلو و عقب، توان موردنیاز برای مجموعه کمکی و مواردی از این دست که میان انواع اتوبوس‌ها متفاوت است، درنظر گرفته شود. همچنین می‌توان قیود حرکتی درنظر گرفته شده در طراحی مفهومی را با توجه به استانداردهای مطلوب شهر تهران تغییر داد. در بحث انتخاب نهایی ادوات تولید قدرت، انتخاب نوع کنترلر مناسب برای پمپ-موتور هیدرولیکی، از اهمیت خاصی برخوردار است. این انتخاب در طراحی مفهومی صورت گرفته است. در مرحله انتخاب نهایی، بايستی ادوات جانبی موردنیاز جهت عملکرد مناسب کنترلر موردنظر انتخاب و مسیر کامل انتقال سیگنال‌های کنترلی مشخص شود. توجه شود که نوع کنترلر با توجه به نوع پمپ-موتور هیدرولیکی تفاوت خواهد داشت.

### ۳-۱-۳ طراحی نهایی مدارات هیدرولیکی و کنترلی سیستم

مورد دیگری که بايستی در نهایی نمودن طراحی سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی مدنظر قرار داد، طراحی مدار هیدرولیکی سیستم تولید قدرت هیدرولیکی و همچنین مدار و ادوات کنترلی موردنیاز برای کنترل عملکرد سیستم است. دو قسمت ذکر شده به عنوان هسته مرکزی سیستم هیبرید نقش ایفا می‌کنند. در طراحی مفهومی، کلیت دو سیستم ارائه شده است. در طراحی نهایی بايستی موارد جزئی سیستم‌ها نیز درنظر گرفته شود. این موارد برای مدار هیدرولیکی به صورت زیر است:

الف) طراحی و انتخاب نوع فیلتر روغن مدار هیدرولیک. فیلتر روغن در مدارات هیدرولیکی، صحبت سیال عامل را به منظور عملکرد مطلوب سیستم تضمین می‌نماید.



دانشگاه فنی  
دانشگاه فنی

مرحله پنجم

### مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

ب) تعیین فشار مراکزیم مجاز برای سیستم در مدار قدرت. این مورد با توجه به محدودیت‌های محافظتی موجود در اتوبوس‌های شهری تعیین می‌شود.

ج) تعیین و انتخاب سنسورهای هیدرولیکی موردنیاز (دما سنج، دبی سنج، فشارسنج، موقعیت سنج و ...). به منظور اعمال کنترل موردنظر بر سیستم و همچنین محافظت از ادوات هیدرولیکی، به مجموعه‌ای از سنسورهای هیدرولیکی نیاز است.

د) برای مدار و ادوات کنترلی سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی نیز جزئیات زیر در طراحی نهایی بایستی مدنظر قرار گیرد:

- تعیین نهایی پارامترهای کنترلر مرکزی هیبرید. این مورد براساس نوع اتوبوس پایه قابل تغییر است.
- تعیین ولتاژ و جریان الکتریکی موردنیاز برای عملکرد مطلوب ادوات کنترلی مدار هیدرولیک و مجموعه کنترل مرکزی هیبرید.
- طراحی بردهای الکترونیکی موردنیاز جهت اعمال استراتژی کنترل هیبرید.

### ۴-۱-۳ طراحی جانمایی نهایی قطعات

در پروژه حاضر، یک جانمایی اولیه و البته مناسب برای سیستم قوای محرکه هیبرید روی اتوبوس 0457 ارائه شده است. بدیهی است با تغییر در انتخاب نهایی ادوات سیستم قوای محرکه هیبرید، جانمایی پیش‌بینی شده نیز دست‌خوش تغییراتی خواهد شد. به منظور نمونه‌سازی اتوبوس هیدرولیکی بایستی جانمایی ادوات سیستم قوای محرکه هیبرید درون اتوبوس نهایی گردد. این جانمایی با درنظر گرفتن کمترین تغییرات در ساختار شاسی فعلی اتوبوس لحاظ خواهد شد. تغییرات موردنیاز روی شاسی اتوبوس در این قسمت در نظر گرفته می‌شود. همچنین در این قسمت قاب‌ها و ادوات جانبی به منظور جانمایی اجزای سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی طراحی می‌گردد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

### الف - تأثیر دقیق هیبرید شدن قوای محرکه بر موقعیت مرکز جرم اتوبوس

در طراحی مفهومی ارائه شده در پروژه حاضر، تغییرات طولی مرکز جرم اتوبوس با درنظر گرفتن یک جانمایی اولیه مشخص شده است. به منظور نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، بایستی پس از انجام جانمایی دقیق و نهایی ادوات سیستم قوای محرکه، محاسبات نهایی جهت تعیین تغییرات مرکز جرم اتوبوس در هر سه راستای مکانی انجام گیرد. برای دست‌یابی به این هدف می‌توان پس از مدل‌سازی دقیق اتوبوس و قوای محرکه هیبرید در نرم‌افزار طراحی مهندسی (Solid Works)، موقعیت مرکز جرم اتوبوس هیبرید را تعیین نمود. بدیهی است تغییرات جزئی موقعیت مرکز جرم مطلوب است.

### ب - تأثیر هیبرید شدن قوای محرکه بر سازه و شاسی

اضافه کردن تجهیزات و سیستم‌های هیدرولیک به عنوان قوای محرکه ثانویه که در مجموع ۷۲۰ کیلوگرم می‌باشد، باعث تغییر مرکز جرم اتوبوس خواهد شد. در جانمایی صورت گرفته آکومولاتورها در صندوق‌های بین اکسل‌ها مقید شده و هر آکومولاتور ۲۵۰ کیلوگرم بار اضافی به شاسی تحمیل می‌کند. در مرحله نمونه‌سازی، این افزایش بار باید بررسی شود و در صورت نیاز بایستی شاسی تقویت گردد.

در پایان ذکر این نکته حائز اهمیت است که با توجه به انجام پروژه نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید الکتریکی در مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران، بخش اعظمی از موارد ذکر شده در قسمت بررسی امکان‌سنجی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی از منظر طراحی با پیچیدگی‌های خاصی روبرو نخواهند بود. تنها انتخاب نهایی ادوات هیدرولیکی موردنیاز و طراحی مدارات هیدرولیکی سیستم نیاز به نوع‌آوری دارد. در این زمینه نیز مطالعات صورت گرفته در طراحی مفهومی، هدفمند و کافی به نظر می‌رسد. لذا پیش‌بینی می‌شود در قسمت طراحی نهایی سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی با مشکلات غیرقابل حل روبرو نشویم.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

### ۲-۳ بررسی امکان‌سنجی از منظر ساخت

در این مرحله، براساس طراحی‌های صورت گرفته در قسمت قبل، اقدام به ساخت و اصلاح اتوبوس هیبرید هیدرولیکی می‌گردد. در این قسمت نیز تجربه بدست آمده از انجام پروژه نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید الکتریکی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. فعالیت‌هایی که در مرحله ساخت انجام می‌گیرد را می‌توان به زیرمجموعه‌های زیر تقسیم نمود:

#### (الف) حذف ادوات و قطعات

منظور خارج نمودن ادوات موجود در اتوبوس متعارف است که در اتوبوس هیبرید جایگاهی ندارد. در طراحی مفهومی انجام گرفته، موتور احتراق داخلی موجود در اتوبوس متعارف ۰۴۵۷ با موتوری کوچکتر که نقاط عملکرد آن راندمان بالاتری دارد، جایگزین شده است. از این‌رو اصلی‌ترین قطعه خارج شده از اتوبوس، موتور احتراق داخلی می‌باشد. همچنین در طراحی مفهومی پیش‌بینی شده است که از گیربکس موجود در اتوبوس متعارف استفاده شود. بنابراین نیازی به حذف گیربکس نمی‌باشد. علاوه‌براین به منظور جانمایی آکومولاتورهای هیدرولیکی بایستی جعبه‌های جانبی اتوبوس که در هر دو طرف قرار دارند، به اندازه موردنیاز فضای خالی باشد. از این‌رو قطعات موجود در این قسمت‌ها بایستی حذف شود.

#### (ب) ساخت قاب‌ها و ادوات جانمایی اضافه شده

پس از حذف ادوات بدون مصرف در اتوبوس، اقدام به ساخت قطعات موردنیاز جهت جانمایی و قرار گیری ادوات سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی می‌شود. در این قسمت براساس مشخصات فیزیکی (ابعاد و وزن) ادوات سیستم هیبرید، قطعات مناسب طراحی می‌گردد. همچنین در ساخت این قطعات عدم افزایش محسوس وزن اتوبوس به عنوان یک فاکتور مهم در نظر گرفته می‌شود.



مرحله پنجم

### مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

## ج) اعمال تغییرات موردنیاز روی شاسی خودرو

به منظور جانمایی سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی، اعمال تغییرات فیزیکی روی شاسی اتوبوس پایه امری اجتناب ناپذیر است. براساس تغییرات موردنیاز طراحی شده در قسمت طراحی نهایی، در این مرحله اقدام به اعمال تغییرات می شود.

## د) استقرار تجهیزات سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی

با انجام مراحل ۱ تا ۳ فوق، می توان ادوات سیستم قوای محرکه را روی شاسی اتوبوس و در قسمت موردنظر قرار داد. چنانچه مراحل طراحی نهایی و ۳ مرحله فوق از ساخت نهایی اتوبوس هیبرید بطور مطلوب صورت گرفته باشد، انجام مرحله قرارگیری ادوات نکته خاصی را به همراه نخواهد داشت.

## ۵) پیاده سازی مدارات هیدرولیکی و کنترلی

پس از اتمام قرارگیری ادوات قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی روی اتوبوس پایه، بایستی ارتباطات میان آنها از طریق مدارات هیدرولیکی و کنترلی و همچنین اتصالات مکانیکی صورت گیرد. اتصالات مکانیکی حین جانمایی قطعات ایجاد شده است. در این مرحله، مدارات هیدرولیکی و کنترلی بسته می شوند. در پیاده سازی مدار هیدرولیکی، با توجه به فشار کاری بسیار بالا (۳۵۰ بار)، رعایت مسائل ایمنی از اهمیت خاصی برخوردار است. به نظر می رسد بخش پیاده سازی مدارات هیدرولیکی و کنترلی، حساس ترین قسمت ساخت نمونه اتوبوس هیبرید هیدرولیکی باشد.

در پایان لازم به ذکر است که انجام مرحله ساخت و نمونه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، نیازمند یک کارگاه مجهر با فضای کافی است. به نظر می رسد بزرگترین دغدغه برای انجام این مرحله، مسئله تأمین کارگاه مناسب می باشد. در صورت دراختیار داشتن امکانات مطلوب انجام مراحل ۵ گانه فوق با مشکل خاصی روبرو نخواهد شد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

### ۳-۳ بررسی امکان‌سنجی از منظر تست و بهینه‌سازی

پس از اتمام مراحل طراحی و ساخت اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، بایستی اتوبوس ساخته شده تست و در صورت وجود ایرادات، اصلاح گردد. انجام تست‌ها براساس مجموعه‌ای از استانداردها انجام خواهد شد. از این‌رو، یکی از بخش‌های مهم این مرحله تعیین استانداردهای مناسب است. سپس براساس استانداردها، تست‌های متعددی روی اتوبوس و اجزای مختلف سیستم قوای محركه صورت می‌گیرد. نتیجه تست‌ها مشخص خواهد کرد که کدامیک از بخش‌های اتوبوس نیاز به اصلاح دارد. این اصلاحات بیشتر به صورت بهینه‌سازی طراحی‌های صورت گرفته و با هدف کاهش افت‌های موجود در سیستم خواهد بود.

استانداردهای موردنیاز را می‌توان به ۳ دسته تقسیم نمود: استانداردهای هیدرولیکی، مکانیکی و الکترونیکی.

با توجه به تجربه ساخت اتوبوس هیبرید الکتریکی اعضای تیم آشنایی کامل با استانداردهای مکانیکی و الکترونیکی را داشته و تأمین این استانداردها توسط اتوبوس سخت بنظر نمی‌رسد. اما استاندارد تجهیزات و سیستم‌های هیدرولیک به عنوان یک استاندارد جدید برای تیم تحقیقاتی هیبرید تلقی شده و نیاز به آموزش دارد.

#### استانداردهای هیدرولیکی:

منظور استانداردهایی است که مدار و ادوات هیدرولیکی موجود در اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، بایستی آنها را تأمین کند. این موارد شامل استانداردهای ایمنی و استانداردهای مربوط به روش تست عملکرد مدار و ادوات آن می‌باشد. استانداردهای ایمنی و تست عملکرد موردنظر در جدول ۹ و جدول ۱۰ ارائه شده‌است.

جدول ۹ - استانداردهای ایمنی مدار و ادوات هیدرولیکی

کشور مربوطه	کد استاندارد
آمریکا	ANSI B11.2
کانادا	Z142-02
اروپا	EN 693
-	ISO 4413:2010



## جدول ۱۰ - استانداردهای تست عملکرد ادوات هیدرولیکی

کشور مربوطه	کد استاندارد	قطعه‌ای که تست روی آن صورت می‌گیرد
-	ISO 10770	شیرهای هیدرولیکی
آمریکا	SAE J2470	
-	ISO 2942	فیلتر هیدرولیکی
آمریکا	SAE J931	
-	ISO 6605	شنگ‌ها و اتصالات هیدرولیکی
آمریکا	SAE J516	
-	ISO 7745	روغن هیدرولیک
-	ISO 4409	پمپ هیدرولیکی
آمریکا	SAE J745	
آمریکا	ASME Section VIII-DIV 1	آکسیلریتور هیدرولیکی
اروپا	PED 97/23/EC	

بدیهی است مرحله انجام تست‌ها تازمانیکه اتوبوس استانداردهای مورد نظر را برآورده نکرده باشد، ادامه خواهد یافت.

## ۴ برآوردهزینه‌های مالی نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید در ایران

خودروهای هیبرید مکانیکی از جمله تکنولوژی‌های نوین جهان امروز می‌باشند که با توجه به شرایط آب و هوایی موجود لزوم ارزیابی نمونه‌سازی و تولید انبوه این خودروها که باعث کاهش آلودگی هوا می‌شوند، امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. با نظر به اینکه تکنولوژی خودروهای هیبرید مکانیکی در سناریوهای مختلف (هیدرولیکی، پنوماتیکی و فلایویل) در کشور بومی نشده است، می‌بایست جهت ورود این تکنولوژی به کشور مطالعات کاملی صورت پذیرد تا از لحاظ تکنولوژی‌های زیرساختی، تأمین منابع مالی، تأثیر این تکنولوژی بر شاخص‌های کلان اقتصادی مانند GDP، اشتغال‌زایی، توزیع درآمد، یارانه‌ها و ... و محیط



زیست مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه بخشی از تکنولوژی ساخت این طیف خودروها در اختیار کشورهای توسعه یافته می‌باشد، لذا می‌بایست با توجه به شرایط سیاسی و اقتصادی موجود برنامه جامع و مدونی در زمینه نمونه‌سازی، تولید انبوه و به‌طور کلی ورود به این تکنولوژی طراحی و تدوین نمود. به‌طور کلی از اولین اقدامات جهت ورود تکنولوژی جدید، نمونه‌سازی است که معمولاً بعد از مطالعات نظری و بازدید از کشورهای صاحب تکنولوژی به منظور ارزیابی نقاط ضعف و قوت این تکنولوژی به صورت عملی صورت می‌پذیرد.

## ۱-۴ انتخاب نوع سیستم هیبرید مناسب برای اجرای قوای محرکه هیبرید مکانیکی

### روی یک اتوبوس شهری

برای اجرای سیستم قوای محرکه هیبرید مکانیکی روی اتوبوس شهری، سه گزینه وجود دارد: هیبرید هیدرولیکی، هیبرید فلایویل و هیبرید نیوماتیکی. پس از انجام طراحی مفهومی سیستم‌ها، گزینه هیبرید نیوماتیکی به دلایل ذیل رد شد:

- پیاده‌سازی این سیستم مستلزم اعمال تغییرات اساسی روی موتور احتراق‌داخلی می‌باشد. در واقع فرآیند طراحی و ساخت یک خودروی هیبرید نیوماتیکی مشتمل بر کلیه فرآیندهای طراحی و ساخت موتور احتراق‌داخلی با پیچیدگی‌های خاص خود است.

- با توجه به کمبود انرژی قابل ذخیره‌سازی در مخازن هوای فشرده، دستیابی به درصدهای بالای هیبریدسازی در خودروهای هیبرید نیوماتیکی ممکن نیست و معمولاً این خودروها به صورت هیبرید ملائم طراحی می‌گردند.

- چگالی انرژی موردنیاز در اتوبوس‌های شهری به عنوان یک خودروی سنگین، بالا است. از این‌رو چگالی انرژی پایین در هیبریدهای نیوماتیکی پاسخگوی نیازهای یک اتوبوس نمی‌باشد. تاکنون نمونه‌ای از یک خودروی سنگین با قوای محرکه هیبرید نیوماتیکی تولید نشده است.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

با رد گزینه هیبرید نیوماتیکی، مراحل طراحی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی برای دو قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی و فلاپویل صورت گرفته است. همچنین پس از تعیین دقیق مشخصات اجزای موردنیاز برای دو سیستم قوای محرکه هیدرولیکی و فلاپویل، امکان تهیه (خرید یا تولید) قطعات و اجزای موردنیاز برای اجرای دو سیستم مذکور روی یک اتوبوس شهری بررسی شده است. در پایان، گزینه هیبرید فلاپویل نیز با وجود دستیابی به مصرف سوخت کمتر در مقایسه با قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی، براساس دلایل ذیل رد شد:

- عدم امکان تهیه فلاپویل و مجموعه انتقال قدرت مناسب. فلاپویل‌های مناسب که هماکنون در نمونه‌های ساخته شده قوای محرکه هیبرید فلاپویل به کار می‌روند، تولید انبوه نشده و تنها به صورت تکی و برای یک خودروی خاص تولید شده‌اند. از این‌رو به دلیل عدم وجود خط تولید فلاپویل‌های مناسب در جهان، تهیه مجموعه مناسب با دو مشکل اساسی روبرو می‌باشد: ۱- هزینه بالا و ۲- عدم امکان تهیه قطعات از شرکت‌های خارجی تولید‌کننده به دلیل تحریم‌های اقتصادی و سیاسی.

- عدم بلوغ تکنولوژی تولید و ساخت فلاپویل‌های دارای ظرفیت انرژی بالا. در واقع چگالی انرژی فلاپویل‌های موجود و قابل استفاده پایین است. همچنین با توجه به سرعت بالای فلاپویل مورداستفاده در سیستم هیبرید و عدم آگاهی کافی از بروز خطرات و مشکلات احتمالی در طول حرکت خودرو، مسئله تعمیر و نگهداری سیستم با دشواری‌ها و پیچیدگی‌های اساسی همراه است.

بنابراین تنها گزینه باقی‌مانده برای اجرای سیستم هیبرید مکانیکی روی یک اتوبوس شهری، سیستم هیبرید هیدرولیکی است. مزایای استفاده از این سیستم هیبرید عبارت است از:

- چگالی انرژی قابل قبول در مقایسه با انواع دیگر قوای محرکه هیبرید مکانیکی (هیبرید فلاپویل و هیبرید نیوماتیکی). این ظرفیت انرژی مناسب، امکان استفاده از سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی را در هر دو ساختار موازی و سری فراهم می‌آورد.



مرحله پنجم

### مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



- چگالی توان بالا. این مشخصه موجب می شود در حالات حرکتی گذرا، رفتار دینامیک مناسب تری

نسبت به دو گزینه دیگر داشته باشد. این چگالی توان بالا در مقایسه با هیبرید الکتریکی نیز یک مزیت عملده محسوب می شود.

- بلوغ تکنولوژی تجهیزات موردنیاز برای اجرای سیستم. به عبارت دیگر تهیه ادوات اصلی مناسب برای سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی و قطعات جانبی آنها، سهل الوصول است.

- کاهش مصرف سوخت حاصل از اجرای این سیستم روی خودروها، به خصوص خودروهای سنگین، قابل قبول می باشد.

- بحث تعمیر و نگهداری تجهیزات یک سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی، با دشواری های موجود در سیستم هیبرید فلاپویل و حتی هیبرید الکتریکی روبرو نیست.

- هزینه اجرای سیستم هیبرید هیدرولیکی در مقایسه با هزینه موردنیاز برای اجرای هیبرید فلاپویل و هیبرید الکتریکی پایین تر است.

## ۲-۴ لیست و هزینه قطعات مورد نیاز برای نمونه سازی اتوبوس هیبرید

### هیدرولیکی

قطعات اصلی انتخاب شده جهت نمونه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی به شرح جدول ۱۱ می باشد. در این محاسبات قیمت یورو ۱۸۲۰۰ ریال مدنظر قرار گرفته شده است.



## مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



جدول ۱۱: لیست و هزینه قطعات مورد نیاز برای نمونه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

ردیف	قطعه	نام تجاری	مشخصات	کمپانی تولید کننده	تعداد	قیمت کل (میلیون ریال)	سهم (%)
۱	موتور احتراق داخلی	OM906LA	ماکریم توان : ۲۰۵ (kW) ماکریم گشتاور : ۱۱۰۰ (Nm) وزن خالص : ۵۵۵ (kg) ابعاد (mm) : ۹۱۰ * ۶۴۵ * ۱۰۷۸	ایدم - ایران	۱	۱۷۰	۲۴/۰۴
۲	بمب - موتور هیدرولیکی	A4VSO125	ماکریم جابجایی : ۱۲۵ (cc/rev) ماکریم توان : ۱۳۱ (kW) ماکریم گشتاور : ۶۹۵ (Nm) ماکریم دبی : ۲۲۵ (lit/min) وزن خالص : ۸۸ (Kg) ابعاد (mm) : ۳۵۴ * ۳۱۰ * ۳۶۰ (DFE1 : الکترو هیدرولیک)	بوش - رکسروت - آلمان	۱	۲۴۵/۷	۳۴/۷۴
۳	آکومولاتور هیدرولیکی	HAB50-345	ماکریم فشار کاری : ۳۴۵ (bar) حجم کلی (یک عدد) : ۵۰ (lit) وزن خالص (یک عدد) : ۲۲۰ (kg) قطر * طول (mm) : ۲۴۳ * ۲۰۳۲	بوش - رکسروت - آلمان	۲	۱۸۹/۲۸	۲۶/۷۶
۴	شیر تعیین مسیر هیدرولیکی	H-4WEH16	نوع : ۲ - ۴ ماکریم فشار کاری : ۳۵۰ (bar) ماکریم دبی کاری : ۱۱۰۰ (lit/min) وزن (kg) : ۱۰ ابعاد (mm) : ۹۳ * ۲۴۱ * ۳۱۲	بوش - رکسروت - آلمان	۱	۲۹/۱۲	۴/۱۰
۵	شیر تخلیه هیدرولیکی	DBDS30	ماکریم فشار کاری : ۶۳۰ (bar) ماکریم دبی کاری : ۳۳۰ (lit/min) وزن (kg) : ۱۴ ابعاد (mm) : ۹۰ * ۱۳۰ * ۱۸۵	بوش - رکسروت - آلمان	۱	۹/۱	۱/۲۹
۶	شیر کارتريج	LC2A016	ماکریم فشار کاری : ۴۲۰ (bar)	بوش	۱	۹/۱	۱/۲۹

دانشگاه فنی  
آزاد اسلامی

مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

			رکسروت - آلمان	ماکریم دبی کاری : (lit/min) ۳۴۰ (kg) ۴ ابعاد (mm) : ۱۴۷ * ۹۵ * ۱۲۰					
۷/۰۷	۵۰	۱	ساخت داخل	نسبت دنده : ۱/۷۵ وزن تقریبی : (kg) ۳۵	-	جعبه دنده کوپلینگ	۷		
۰/۷۱	۵	۱	ساخت داخل	گنجایش : (lit) ۶۰ وزن تقریبی : (kg) ۶۰	-	مخزن کم فشار	۸		
۱۰۰	۷۰۷/۳	۹	مجموع						

## ۳-۴ ارزیابی قیمت قطعات حذف شده اتوبوس شهری به منظور ساخت

## اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

قطعه‌ی حذف شده از اتوبوس شهری O457 به شرح جدول ۱۲ می‌باشد. حذف حداقل قطعه از اتوبوس مورد بررسی درون شهری یکی از مزایای استفاده از این اتوبوس می‌باشد.

جدول ۱۲: لیست و هزینه قطعات حذف شده از اتوبوس شهری جهت نمونه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

ردیف	قطعه	نام تجاری	مشخصات	کمپانی تولید کننده	تعداد	قیمت کل (میلیون ریال)
۱	موتور احتراق داخلي	OM457LA	ماکریم توان : (kW) ۲۰۵ ماکریم گشتاور : (Nm) ۱۱۰۰ وزن خالص : (Kg) ۵۵۵ ابعاد (mm) : ۹۱۰ * ۱۰۷۸ * ۶۴۵	ایدم - ایران	۱	۳۲۰



مرحله پنجم

### مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

## ۴-۴ ارزیابی هزینه خدمات مونتاژ و ساخت اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

جهت ساخت، مونتاژ و نصب قطعات پیش‌بینی شده در قسمت‌های قبل نیاز به یکسری اعمال کارگاهی مانند سوراخ‌کاری، برش کاری، رنگ‌کاری و... می‌باشد که در جدول ۱۳ به تفکیک، همراه با هزینه پیش‌بینی شده ارائه شده است.

جدول ۱۳: پیش‌بینی هزینه‌های مونتاژ و ساخت اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

سهم	هزینه	ساخت
%۲۰/۶۳	۷۵,۰۰۰,۰۰۰	ماده خام
%۳۰/۹	۱۱,۲۵۰,۰۰۰	لوله فشار قوی
%۴/۱۲	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	اتصالات
%۱۲/۳۷	۴۵,۰۰۰,۰۰۰	برش
%۸/۲۵	۳۰,۰۰۰,۰۰۰	جوش
%۲۰/۰۶	۷,۵۰۰,۰۰۰	سوراخ کاری
%۲۰/۶۲	۷۵,۰۰۰,۰۰۰	رنگ
%۴/۱۲	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	ماشین کاری
%۲۴/۷۴	۹۰,۰۰۰,۰۰۰	نصب
%۱۰۰	۳۶۳,۷۵۰,۰۰۰	جمع

## ۴-۵ ارزیابی هزینه نیروی انسانی متخصص جهت ساخت اتوبوس هیبرید

### مکانیکی

با توجه به ارزیابی‌های به عمل آمده هزینه نیروی انسانی متخصص مورد نیاز برای ساخت اتوبوس هیبرید هیدرولیکی به شرح جدول ۱۴ می‌باشد.

۲۹	مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران	۱۳۹۰
----	--	------



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



جدول ۱۴: پیش‌بینی هزینه نیروی انسانی متخصص مورد نیاز جهت نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

ردیف	تحصیلی مقطع	مدت (ماه)	تعداد	حقوق ماهیانه (نفر)	حقوق سالیانه هر نفر با ضریب ۴/۱۶	هزینه پرسنلی سال اول (دیال)	افزایش سالیانه حقوق (درصد)	هزینه پرسنلی سال دوم (دیال)	هزینه پرسنلی کل (دیال)
۱	دکترا	۲۴	۲	۱۴,۰۰۰,۰۰۰	۲۲۹,۶۰۰,۰۰۰	۴۵۹,۲۰۰,۰۰۰	%۱۰	۵۰۵,۱۲۰,۰۰۰	۹۶۴,۳۲۰,۰۰۰
۲	فوق لیسانس	۲۴	۳	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۶۴,۰۰۰,۰۰۰	۴۹۲,۰۰۰,۰۰۰	%۱۰	۵۴۱,۲۰۰,۰۰۰	۱,۰۳۳,۲۰۰,۰۰۰
۳	لیسانس	۲۴	۴	۷,۰۰۰,۰۰۰	۱۱۴,۸۰۰,۰۰۰	۴۵۹,۲۰۰,۰۰۰	%۱۰	۵۰۵,۱۲۰,۰۰۰	۹۶۴,۳۲۰,۰۰۰
۴	تکسین	۲۴	۲	۵,۵۰۰,۰۰۰	۹۰,۲۰۰,۰۰۰	۱۸۰,۴۰۰,۰۰۰	%۱۰	۱۹۸,۴۴۰,۰۰۰	۳۷۸,۰۸۴,۰۰۰
مجموع									
حق بیمه کارفرما ۲۰٪ + بیمه بیکاری ۳٪									
مجموع									
۴,۱۰۹,۰۳۶,۴۰۰									
۲,۱۵۲,۳۵۲,۴۰۰									
۱,۷۴۹,۵۸۰,۰۰۰									
۷۶۸,۰۵۶,۴۰۰									
۴۰۲,۴۷۲,۴۰۰									
۳۶۵,۸۸۴,۰۰۰									
%۱۰									
۱,۵۹۰,۸۰۰,۰۰۰									
۹۶۴,۳۲۰,۰۰۰									

## ۶-۴ هزینه کل نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

باتوجه به موارد در نظر گرفته شده به عنوان هزینه‌های اتوبوس هیبرید هیدرولیکی، می‌توان هزینه کل این نمونه‌سازی را در جدول ۱۵ جمع‌بندی کرد شایان ذکر است که هزینه تست A-sample شامل تست‌های عملکردی، مصرف سوخت و آلایندگی می‌باشد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۱۵: هزینه کل نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

ردیف	توضیح	میلیون ریال	سهم از هزینه
۱	هزینه خرید اتوبوس ۰۴۵۷	۱۴۰۰	%۱۸/۰۳
۲	هزینه کل قطعات اصلی اضافه شده	۷۰۷/۳	%۹/۱۱
۳	هزینه خدمات مونتاژ و ساخت	۳۶۴	%۴/۶۸
۴	هزینه نیروی انسانی متخصص	۴,۱۰۹	%۵۲/۹۱
۵	هزینه تست A - sample	۱۰۰۰	%۱۲/۸۸
۶	هزینه پیش‌بینی نشده (%۳) موارد فوق به غیر از هزینه خرید اتوبوس)	۱۸۵/۴	%۲/۳۹
هزینه			
۷	قیمت قطعات حذف شده	۳۲۰	.
هزینه کل			
۷,۷۶۵			

## ۵ مطالعات امکان‌سنجی تولید اتوبوس هیبرید مکانیکی در ایران

## ۱-۵ بررسی چگونگی تولید قطعات سیستم هیبرید در ایران

در این بخش امکان تأمین و ساخت ادوات مختلف سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی، بررسی می‌شود.

بدیهی است که تأمین قطعات موردنیاز در داخل کشور از هر دو لحاظ مالی و زمانی نسبت به تأمین قطعات از



خارج از کشور ارجحیت دارد. در اینجا هریک از ادوات سیستم هیبرید بطور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. بسیاری از قطعات به کار رفته (بخصوص قطعات هیدرولیکی) دارای مشخصات فنی ویژه‌ای هستند. این امر موجب شده است که منابع تأمین کننده آنها بسیار محدود باشد. همچنین در حال حاضر تکنولوژی ساخت این چنین قطعاتی مانند پمپ-موتور هیدرولیکی و آکومولاتور در داخل کشور وجود ندارد. بعلاوه راه اندازی خط تولید قطعات مذکور، تعریف و انجام یک پروژه مجزا را می‌طلبد که در حوصله پروژه حاضر نمی‌گنجد. تنها امکان استفاده از منابع تأمین در داخل کشور، همکاری با شرکت‌های وارد کننده قطعات است.

#### • پمپ-موتور هیدرولیکی

پمپ-موتور موردنظر برای استفاده در سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی، مشخصات ویژه‌ای مانند فشار کاری بالا (۳۵۰ بار)، گشتاور بالا (۷۰۰ نیوتن متر) و بازده بالا دارد. همچنین امکان کنترل الکترونیکی برای پمپ-موتور موردنظر وجود دارد. در حال حاضر تکنولوژی ساخت این قطعه در داخل کشور وجود ندارد و برای تأمین آن محدود به همکاری با شرکت‌های وارداتی هستیم.

#### • موتور احتراق داخلی

موتور موردنظر در پروژه حاضر مشخصه ویژه‌ای (در آن حد که برای پمپ-موتور متصور هستیم) ندارد. این موتور با نام تجاری OM906LA و محصول شرکت مرسدس بنز آلمان است. تا چند سال گذشته این موتور در داخل کشور توسط شرکت ایدم تبریز تولید می‌شد؛ که متأسفانه در حال حاضر خط تولید این موتور متوقف شده است. از این‌رو دو امکان در پیش رو قرار دارد:

۱. انتخاب یک موتور دیزل دیگر با مشخصات مشابه از میان محصولات موجود در داخل کشور. برای این مورد می‌توان موتور OM305 شرکت بنز و موتورهای شرکت کامینز را در نظر داشت. این موارد در شرکت ایران خودرو دیزل تولید می‌شوند.
۲. استفاده از موتور OM906LA با ارائه درخواست تأمین به شرکت مرسدس بنز از سوی شرکت ایدم تبریز.



باقیه به وجود تحریم‌های اقتصادی و همچنین ارجحیت تأمین از داخل کشور در مقابل تأمین از خارج، به نظر می‌رسد مورد اول گزینه مناسب‌تری باشد. البته در مورد انتخاب اول، مسأله در اختیار قرار داشتن اطلاعات فنی موتور یک فاکتور محدود کننده محسوب می‌گردد. منظور از اطلاعات فنی، نمودارهای مربوط به مصرف سوخت موتور در گشتاورها و سرعت‌های مختلف است. این اطلاعات برای طراحی دقیق استراتژی کنترل هیبرید و تعیین نقاط کاری موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## • آکومولاتورها

آکومولاتورهای درنظر گرفته شده در پروژه حاضر در فشارهای بسیار بالا کار می‌کنند. این مورد باعث می‌شود که امکان تأمین آکومولاتورها در داخل کشور وجود نداشته باشد؛ زیرا در ایران چندین شرکت تولید کننده مخازن پرفشار (آکومولاتورها) وجود دارند که محصولات آنها در بهترین حالت در فشار ۲۵۰ بار کار می‌کند. این درحالی است که فشار مطلوب در سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیکی ۳۵۰ بار است. از این‌رو در تأمین آکومولاتورها نیز با عدم وجود تکنولوژی در کشور روبرو هستیم که همین امر ما را محدود به تأمین از خارج از کشور و همکاری با شرکت‌های وارداتی در داخل کشور می‌نماید.

## • جعبه‌دنده‌ها

بطور کلی سه جعبه‌دنده در سیستم قوای محرکه هیبرید وجود دارد. در طراحی مفهومی، جعبه‌دنده مربوط به موتور احتراق‌داخلی موجود در اتوبوس متعارف که یک جعبه‌دنده اتوماتیک می‌باشد، در سیستم هیبرید نیز استفاده شده است. این جعبه‌دنده محصول شرکت ZF آلمان می‌باشد. این جعبه‌دنده در ایران تولید نمی‌شود و برای تأمین آن با شرکت‌های وارداتی همکاری خواهد شد.

جعبه‌دنده مورد استفاده بعد از پمپ-موتور هیدرولیکی، یک جعبه‌دنده تک‌سرعته است. این قطعه در داخل کشور قابل تأمین می‌باشد. جعبه‌دنده آخر، کوپلینگ گشتاور است. این جعبه‌دنده نیز از نوع تک‌سرعته است و به راحتی در داخل کشور قابل تأمین است.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

### • ادوات مدار هیدرولیکی

باتوجه به فشار کاری ۳۵۰ بار برای مدار هیدرولیکی، اجزای مدار هیدرولیکی نیز بایستی در این فشار امکان فعالیت داشته باشند. ادوات اصلی مدار، شامل شیرهای هیدرولیکی در داخل کشور موجود نمی باشد و محل تأمین آنها در خارج از کشور قرار دارد. به غیر از شیرها، ادواتی مانند شلنگ‌ها، فیلتر، روغن هیدرولیک و اتصالات در داخل کشور قابل تأمین است.

### • ادوات کنترلی

ادوات کنترلی به دو گروه عمده تقسیم می شود. در گروه اول قطعاتی قرار دارند که به صورت موردنی قابل خرید می باشند؛ مانند سنسورها و سیم‌ها. این قطعات به صورت گسترهای در کشور موجود می باشد. گروه دوم شامل ادواتی است که به صورت موردنی تنها در پروژه اتوبوس هیبرید هیدرولیکی استفاده می شود؛ مانند بردهای کنترلی. این موارد با همکاری اعضای تیم تحقیقاتی و شرکت‌های طراحی مهندسی در داخل کشور تولید می شود.

## ۲-۵ بررسی صرفه جویی ملی بر اساس پیش‌بینی میزان کاهش مصرف

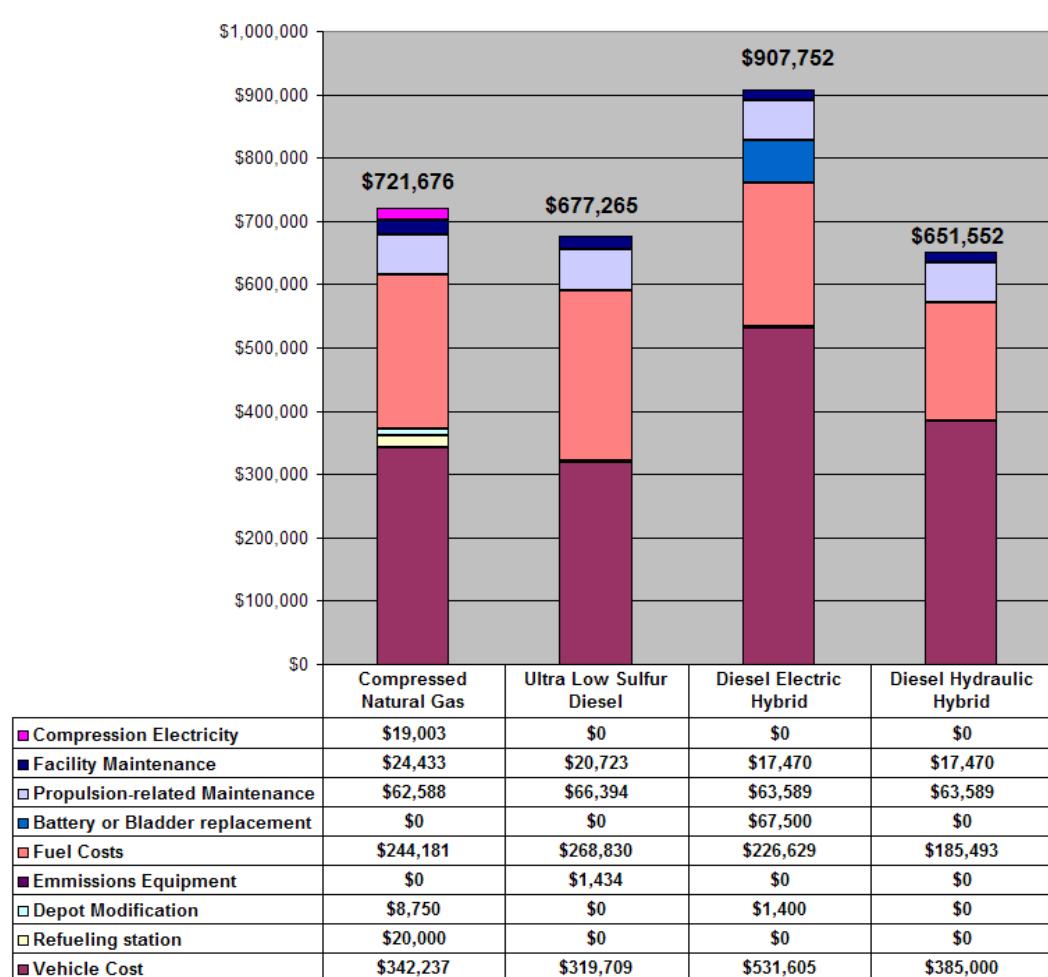
### سوخت و آلایندگی

در حال حاضر باتوجه به مشکلات مربوط آلدگی هوا بالاخص در کلان شهرهای کشور و مصرف بالای سوخت‌های فسیلی، به کارگیری فناوری‌هایی با قابلیت کاهش مصرف سوخت و کاهش آلایندگی هوا می‌تواند راه‌گشا باشد. در این میان استفاده از فناوری‌های هیبرید در صنعت حمل و نقل کشور یکی از راه کارهایی است که می‌تواند اقتصاد، صنعت و محیط زیست کشور را یاری کند. در حال حاضر در کلان شهر تهران ۸۹ درصد آلدگی هوا مربوط به منابع متحرک و ۱۱ درصد مربوط به منابع ساکن می‌باشد، که در این میان ۵ درصد سهم ناوگان حمل و نقل عمومی می‌باشد که اتوبوس‌های درون شهری نیز در این بخش طبقه بنده می‌شوند. در حال حاضر در ایران اتوبوس هیبرید الکتریکی به کارفرمائی شرکت بهینه سازی مصرف



سوخت کشور در قالب پروژه نمونه‌سازی توسط مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران و دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شده است که منجر به کاهش مصرف سوخت و کاهش آلایندگی می‌گردد و از جمله اتوبوس‌هایی است که در برخی از کلان‌شهرهای دنیا همانند مکزیکوستی به عنوان یک ابزار کارآمد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پروژه نیز اتوبوس هیبرید مکانیکی در قالب ۳ سناریوی اتوبوس هیبرید مکانیکی فلاکویل، پنوماتیک و هیدرولیک مورد بررسی قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت هر کدام در بخش‌های قبلی پروژه ارائه شده است. در این مرحله نیز به بررسی تاثیر به کارگیری اتوبوس‌های هیبرید مکانیکی به عنوان یک ابزار و سیاست جهت کاهش آلودگی هوا و کاهش مصرف سوخت در ناوگان حمل و نقل پرداخته خواهد شد.

بر اساس گزارش به دست آمده از دپارتمان حمل و نقل اداره فدرال ترانزیت ایالات متحده آمریکا، در میان اتوبوس‌های رایج در دنیا، بیشترین هزینه خرید و بهره‌برداری مربوط به اتوبوس هیبرید الکتریکی با ۹۰۷،۷۵۲ دلار و کمترین هزینه مربوط به اتوبوس هیدرولیکی با ۶۵۲،۵۵۲ دلار می‌باشد. در مقایسه‌ای بین انواع مختلف اتوبوس‌های رایج جهان صورت پذیرفته است، اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در مقایسه با نوع گازوئیل سوز و CNG سوز نیز فاقد هزینه‌های زیرساخت سوخت‌رسانی است که از جمله مزایای به کارگیری آن می‌باشد. علاوه بر این در مقایسه با سه مدل دیگر اتوبوس هزینه خرید سوخت آن نیز کمتر می‌باشد (نسبت به نوع دیزلی ۴۰ درصد کمتر می‌باشد)، و در عین حال از هزینه‌های تعمیرات و نگهداری کمتری نیز برخوردار است. با توجه به موارد فوق اتوبوس‌های هیبرید هیدرولیکی به عنوان یکی از موثرترین راهکارهای کاهش آلودگی هوا و کاهش مصرف سوخت در آمریکا مطرح می‌باشند.



شکل ۲: مقایسه انواع مختلف اتوبوس‌های درون شهری



## ۱-۲-۵ بررسی صرفه‌جویی ملی بر اساس پیش‌بینی میزان کاهش آلایندگی

هزینه‌های خارجی<sup>۱</sup>، هزینه‌هایی هستند که اثرات تخریب‌کننده یا سوء‌یک آلایندگی یا فعالیت بر محصولات کشاورزی، اکوسیستم‌ها، مواد و سلامت انسان را نشان می‌دهند و اغلب هزینه‌هایی هستند که در قیمت تمام شده کالاهای، خدمات مد نظر قرار نگرفته و همچنین در حساب‌های ملی نیز در نظر گرفته نمی‌شوند. هزینه‌های خارجی می‌توانند از تولید یا از مصرف حاصل شوند به عنوان مثال هزینه خسارت آلودگی هوا به علت تولید آلایندگی‌های حاصل از یک کارخانه سیمان هزینه خارجی حاصل از تولید و هزینه خسارت آلودگی هوا ناشی از مصرف سوخت در خودروها هزینه خارجی حاصل از مصرف می‌باشد. در تعریف دیگر به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشار مواد آلایندگی و گازهای گلخانه‌ای را جبران نماید، هزینه تخریب یا هزینه خارجی گفته می‌شود. جهت محاسبه هزینه‌های تخریب نیاز به کمی کردن اثر آلایندگی‌ها و فعالیت‌ها در محیط‌های اثربدار (انسانی و طبیعی) می‌باشد.

آلودگی محیط زیست بالاخص آلودگی هوا به سه صورت بر روی تولید و بهره‌وری اثرگذار است:

- آلودگی محیط زیست روی سلامت انسان‌ها اثر می‌گذارد و باعث کاهش بهره‌وری نیروی کار می‌گردد چراکه باعث می‌شود که نیروی کار به عنوان یک نهاده تولید از مدار تولید خارج شده و سطح تولید کاهش یابد.

- هزینه‌ای که فرد بابت به دست آوردن سلامتی خود می‌پردازد که آن هزینه خود به دو گونه است هزینه‌ای که فرد خود می‌پردازد و هزینه‌ای که دولت در قالب بیمه بابت درمان فرد می‌پردازد. - درآمدی که فرد بر اثر ترک کار از دست می‌دهد.

<sup>۱</sup> - External Costs



## مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

به‌طور کلی به‌دست آوردن هزینه‌های خارجی که بر روی انسان اثر می‌گذارند به دو‌گونه محاسبه است که یکی بر اساس دستمزد ازدست رفته و دیگری هزینه درمان پرداخت شده می‌باشد، با توجه به اینکه در سال ۱۳۸۹ چند روز به علت آلودگی هوا تعطیل شده بود می‌توان تاثیر قابل توجه این قضیه را بر تولید ناخالص داخلی و کاهش نرخ رشد اقتصادی و درآمد ملی متوجه شد. با توجه به حداقل دستمزد روزانه در سال ۱۳۸۹ که مبلغ ۱۰۱,۰۰۰ ریال بوده است، با در نظر گرفتن هر روز تعطیل بهمناسبت آلودگی هوا در شهر تهران و با فرض اینکه ۱ میلیون نفر کارگر روزمزد در تهران وجود دارد به‌ازاء هر روز تعطیل در سال ۱۳۸۹ حداقل ۱۰۱ میلیارد ریال کاهش درآمد حاصل شده است.

تاثیر آلودگی هوا بر اقتصاد ملی نیز قابل توجه است، برآورد تولید ناخالص داخلی به قیمت جاری در سال ۸۹ حدود چهار میلیون، میلیارد ریال است اگر این عدد را تقسیم بر ۲۸۸ روز کاری کنیم، حدود ۱۳,۸۸۸ هزار میلیارد ریال ضرر به‌ازاء هر روز تعطیلی متوجه کشور می‌شود، که سهم تهران از این ضرر ۲۵ درصد است یعنی حدود ۳۴۷۲ میلیارد ریال یا ۳۴۷ میلیارد تومان ضرر و زیان هر روز تعطیلی در تهران است، همچنین با کاهش درآمد افراد حاصل از تعطیلی آلودگی هوا درآمد ملی، سطح بهره‌وری، سطح تولید نیز کاهش می‌یابد که اثر مضاعفی بر کاهش تولید ناخالص داخلی و رشد اقتصادی کشور خواهد داشت.

بر اساس گزارش به‌دست آمده از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران وضعیت آلودگی هوا در تهران به‌شرح جدول ۱۶ می‌باشد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



جدول ۱۶: سهم منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای کلان‌شهر تهران

مجموع (درصد)	سهم (درصد)	توضیح	منابع آلینده
۸۹	۲۲	موتورهای احتراق داخلی فرسوده	آلینده‌های متحرک
	۲۷	موتورهای احتراق داخلی غیر فرسوده	
	۳۵	موتورهای احتراق داخلی موتورسیکلت	
	۵	ناوگان حمل و نقل عمومی	
۱۱	۱۱	گاز ناشی از دودکش منازل و کارخانجات	آلینده‌های غیرمتحرک
	ناقص	نشت گاز شهری و تبخیر سوخت ناشی از پمپ بنزین	

بر اساس جدول ۱۶ منابع متحرک بیشترین سهم را در آلودگی هوای تهران با ۸۹ درصد دارند و منابع ثابت با ۱۱ درصد در جایگاه بعدی می‌باشند. در میان منابع متحرک نیز موتورسیکلت‌ها با ۳۵ درصد از کل آلینده‌های تولید شده بیشترین سهم را دارند، گاز ناشی از دودکش منازل و کارخانجات نیز با ۱۱ درصد در میان منابع ثابت بیشترین نقش را دارا می‌باشد.

در حال حاضر کاهش مصرف انرژی در ایران به عنوان یک ضرورت ملی مطرح می‌باشد و اولین گام در این راستا امکان‌سنجی کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف می‌باشد. در بخش حمل و نقل به عنوان یکی از بخش‌های مهم مصرف سوخت پتانسیل‌های شناسایی شده در سند چشم انداز استفاده از خودروهای هیبریدی در ناوگان حمل و نقل است.

به منظور محاسبه میزان انتشار آلینده‌ها از اتوبوس‌های نفت‌گاز سوز درون‌شهری کشور مهم‌ترین عامل استفاده از ضرائب انتشار<sup>۲</sup> آلینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. بر اساس مطالعات و تحقیقات به عمل آمده

<sup>2</sup> - Emission Factors

۳۹	مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران	۱۳۹۰
----	--	------



مرحله پنجم

### مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



ضرائب انتشار مختلفی برای سوخت‌های کشور محاسبه شده است که هر کدام مقدار متفاوتی را نشان می‌دهند.

از مهم‌ترین آنها می‌توان به ضرائب انتشار محاسبه شده توسط شرکت ژاپنی JICA<sup>۳</sup> اشاره کرد که در سال های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۵ به بررسی آلودگی هوای کلان شهر تهران پرداختند و با توجه به سیکل‌های رانندگی مختلف ضرائب انتشار سوخت‌های مختلف را محاسبه کردند که در جدول ۱۷ ارائه شده است. از دیگر ضرائب انتشار محاسبه شده می‌توان به ضرائب انتشار موجود در کتاب «اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور» در سال ۱۳۸۶ اشاره کرد که توسط پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید بهشتی محاسبه شده است. با توجه به تفاوت موجود میان این دو ضریب انتشار محاسبه هزینه‌های خارجی حاصل از اتوبوس‌های نفت‌گاز سوز کشور در قالب ۲ سناریو به شرح ذیل انجام شده است:

#### سناریو ۱: بر اساس ضرائب انتشار JICA

در جدول ۱۷ تعداد اتوبوس‌های موجود در ناوگان حمل و نقل درون‌شهری کشور برحسب سن آنها استخراج شده از کتاب حمل و نقل و انرژی کشور در سال ۱۳۸۷ ارائه شده است.

جدول ۱۷: تعداد و سن اتوبوس‌های موجود در کشور تا پایان سال ۱۳۸۷

تعداد	سن (سال)
۲۸,۱۲۱	۱۰ سال و پایین‌تر
۴,۸۵۷	۱۵-۱۰ سال
۳,۴۰۸	۲۰-۱۵ سال
۱۲۰۷۸	بیش از ۲۰ سال
۴۸,۴۶۴	جمع کل

<sup>۳</sup> - Japan International Cooperation Agency (JICA)



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



ضرائب انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای که از گزارش منتشره توسط شرکت JICA که در سال ۲۰۰۵ برای کلان‌شهر تهران محاسبه شده است، استخراج گردیده است. لازم به ذکر است که ضرائب انتشار محاسبه شده توسط شرکت جایکا در سال ۱۳۸۶ توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران تعديل شد که در جدول ۱۸ ارائه شده است.

جدول ۱۸: ضرائب انتشار آلاینده‌ها برای سوخت‌های مختلف سناریو ۱ (gr/lit)

SPM	CH4	CO	NOx	SO2	سوخت
۱۰/۱۱	۶۳	۳۱۱/۶	۱۰/۹۵	۱/۳	بنزین
۱۳/۲	۲۲	۷/۲	۲۷	۱۶/۸	نفت‌گاز
۸۵۱	۰/۳۷	۰/۵۶	۴/۲۳	۳/۲	نفت سفید
۲	-	۰/۲۹	۳	۰/۴	گاز طبیعی
۲/۷۵	۰/۳۵	۰/۵	۶	۵/۵	Heavy Oil

با توجه به مطالعات میدانی به عمل آمده حجم باک هر اتوبوس نفت‌گاز سوز ۲۲۰ لیتر گنجایش دارد با نظر به اینکه اتوبوس‌های درون‌شهری بسیار پر کار هستند روزانه حدود ۱۰۰ لیتر سوخت نفت‌گاز مصرف می‌کنند و با فرض اینکه ۳۶۵ روز سال در حال خدمت‌رسانی می‌باشند، لذا میزان مصرف نفت‌گاز هر اتوبوس نفت‌گاز سوز ۳۶۵۰ لیتر در سال خواهد بود با توجه به ضرائب انتشار آلاینده‌ها در جدول ۱۸، میزان انتشار آلاینده‌های هر اتوبوس در سال به شرح جدول ۱۹ خواهد بود:

جدول ۱۹: میزان انتشار آلاینده‌ها توسط یک اتوبوس نفت‌گاز سوز در سال

مجموع	SPM	CH4	CO	NOx	SO2	آلاینده
۳،۱۴۶،۳۰۰	۴۸۱،۸۰۰	۸۰۳،۰۰۰	۲۶۲،۸۰۰	۹۸۵،۵۰۰	۶۱۳،۲۰۰	میزان انتشار آلاینده (گرم)
۱۰۰	۱۵،۳۱	۲۵،۵۲	۸،۳۵	۳۱،۳۲	۱۹،۴۹	سهم از آلاینده‌گی (درصد)



مرحله پنجم

### مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

بر اساس جدول ۱۹ هر اتوبوس نفت‌گاز سوز سالانه ۳،۱۴۶,۳۰۰ گرم آلایinde تولید می‌کند که در این میان از لحاظ حجم آلایinde تولیدی، NOx در رتبه نخست، CH4 در رتبه دوم و SO2 در رتبه سوم قرار دارد.

با توجه به اینکه در پایان سال ۱۳۸۷، حدود ۷۰ درصد ناوگان حمل و نقل اتوبوس‌های درون‌شهری نفت‌گاز سوز بوده‌اند، لذا با توجه به برآورد به عمل آمده مصرف روزانه نفت‌گاز اتوبوس‌های درون‌شهری کشور جدول تعداد اتوبوس‌های موجود در ناوگان حمل و نقل درون‌شهری کشور بر حسب سن آنها و همچنین جدول ضرائب انتشار گازهای آلایinde و گلخانه‌ای می‌توان میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلایinde ناشی از اتوبوس‌های درون‌شهری کشور را به دست آورد که در جدول ۲۰ قابل رویت می‌باشد.

جدول ۲۰: میزان انتشار آلایinde‌های زیست‌محیطی توسط اتوبوس‌های درون‌شهری نفت‌گاز سوز تا پایان سال ۱۳۸۷

مجموع	SPM	CH4	CO	NOx	SO2	آلایinde
۱۰۶,۷۳۸	۱۶,۳۴۵	۲۷,۲۴۲	۸,۹۱۵	۳۳,۴۳۳	۲۰,۸۰۳	میزان انتشار آلایinde (تن)

براساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۶، ۱۳۸۷ و گزارش بازنگری زیست‌محیطی انرژی جمهوری اسلامی ایران که توسط بانک جهانی در سال ۱۳۸۲ منتشر شده است هزینه‌های خارجی آلایinde‌ها به شرح جدول ۲۱ می‌باشد.

جدول ۲۱: هزینه‌های خارجی (اجتماعی) بخش انرژی به تفکیک گاز آلایinde/ گلخانه‌ای بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۸۱ (هزار ریال بر تن)

N2O	CH4	CO2	SPM	CO	SO3	SO2	NOx	نوع گاز
NA	۱۶۸۰	۸۰	۳۴۴۰۰	۱۵۰۰	NA	۱۴۶۰۰	۴۸۰۰	هزینه

بر اساس جداول فوق هزینه‌های خارجی یک اتوبوس نفت‌گاز سوز و ناوگان اتوبوس‌های نفت‌گاز سوز کشور تا پایان سال ۱۳۸۷ به شرح جدول ۲۲ خواهد بود.

۴۲	مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران	۱۳۹۰
----	--	------



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۲۲: هزینه‌های خارجی حاصل از انتشار آلایinde‌ها توسط اتوبوس‌های نفت‌گاز سوز در سال ۱۳۸۷

مجموع	SPM	CH4	CO	NOx	SO2	آلایinde
۳۲,۰۰۰	۱۶,۰۷۴	۱,۳۴۹	۳۹۴	۴,۷۳۰	۸,۹۵۳	یک اتوبوس (هزار ریال)
۱,۰۸۵,۶۰۳,۰۹۹	۵۶۲,۲۶۶,۹۲۱	۴۵,۷۶۵,۹۱۲	۱۳,۳۷۳,۱۵۶	۱۶۰,۴۷۷,۸۷۴	۳۰۳,۷۱۹,۲۳۵	اتوبوس‌های نفت‌گازسوز درون‌شهری (هزار ریال)
۱۰۰	۵۱/۷۹	۴/۲۲	۱/۲۳	۱۴/۷۸	۲۷/۹۸	سهم از هزینه کل (درصد)

بر اساس جدول ۲۲ قابل مشاهده است که ذرات معلق در رتبه اول و اکسیدهای گوگرد در رتبه دوم هزینه‌های خارجی حاصل از مصرف نفت‌گاز در اتوبوس‌های درون‌شهری کشور مطرح می‌باشند.

باتوجه به محاسبات سناریو ۱ هر لیتر نفت‌گاز مصرفی در ناوگان اتوبوس‌های درون‌شهری نفت‌گاز سوز ۸۷۷ ریال خسارت به جامعه وارد می‌کند.

## سناریو ۲: بر اساس ضرائب انتشار اطلاعات حمل و نقل انرژی کشور

ضرائب انتشار گازهای آلایinde و گلخانه‌ای کتاب اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور در سال ۱۳۸۶ به شرح جدول ۲۳ ارائه شده است.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۲۳: ضرائب انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای سناریو ۲

نوع آلاینده	مقدار انتشار به ازاء هزار لیتر نفت گاز (kg/1000 lit)
CO2	۲۵۸۵/۱۵
CO	۱۳/۲۲
NOx	۵۱/۴۱
CH	۲۲/۷۲
SPM	۱۳/۶

باتوجه به محاسبات ارائه شده در سناریو ۱، هر اتوبوس نفت گاز سوز درون شهری کشور روزانه ۳۶۵۰۰ لیتر نفت گاز مصرف می‌کند. بافرض اینکه ۷۰ درصد ناوگان اتوبوس‌های درون شهری کشور تا پایان سال ۱۳۸۷ نفت گاز سوز باشند این مقدار مصرف ۱،۲۳۸،۲۶۲،۵۰۰ لیتر خواهد بود که بر اساس ضرائب انتشار جدول ۲۳ میزان انتشار آلاینده‌ها به شرح جدول ۲۴ خواهد بود.

جدول ۲۴: میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناوگان اتوبوس‌های نفت گاز سوز درون شهری کشور در سال ۱۳۸۷

آلاینده	SPM	CH	NOx	CO	CO2
میزان انتشار آلاینده (کیلوگرم در سال)	۱۶،۸۴۰،۲۷۱	۲۸،۱۳۳،۱۵۸	۶۳،۶۵۸،۷۰۰	۱۶،۳۶۹،۷۳۴	۳،۲۰۱،۰۷۵،۴۳۰
میزان انتشار آلاینده (تن در سال)	۱۶،۸۴۰	۲۸،۱۳۳	۶۳،۶۵۹	۱۶،۳۷۰	۳،۲۰۱،۰۷۵



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

حال با توجه به هزینه‌های خارجی موجود در سناریو ۱ که از ترازانمۀ انرژی کشور سال ۱۳۸۷ استخراج شده است هزینه‌های خارجی ناوگان اتوبوس‌های نفت‌گاز سوز درون شهری کشور در سال ۱۳۸۷ به شرح جدول ۲۵ خواهد بود:

جدول ۲۵: هزینه‌های خارجی ناوگان اتوبوس‌های نفت‌گاز سوز درون شهری کشور در سال ۱۳۸۷

مجموع	CO <sub>2</sub>	CO	NOx	CH	SPM	آلاینده
۱,۲۱۲,۷۷۱,۴۱۳	۲۵۶,۰۸۶,۰۳۴	۲۴,۵۵۴,۶۰۱	۳۰۵,۵۶۱,۷۵۹	۴۷,۲۶۳,۷۰۶	۵۷۹,۳۰۵,۳۱۳	هزینه خارجی (هزار ریال در سال)

با توجه به جدول ۲۵ هزینه‌ای که به جامعه توسط اتوبوس‌های نفت‌گاز سوز تحمیل می‌شود حدود ۱۲۱۲ میلیارد ریال در سال می‌باشد که مقدار قابل توجهی می‌باشد شاید بتوان از نقاط ضعف این ضریب انتشار به عدم درنظر گرفتن مقدار انتشار گاز  $SO_x$  به‌ازاء هر لیتر اشاره کرد که با توجه به اینکه اکسیدهای گوگرد از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های منتشره در اثر احتراق سوخت نفت‌گاز هستند میزان هزینه اجتماعی به دست آمده بیشتر از ۱۲۱۲ میلیارد ریال در سال خواهد بود.

با توجه به محاسبات سناریو ۲ هر لیتر نفت‌گاز مصرفی در ناوگان اتوبوس‌های درون شهری نفت‌گاز سوز ۹۸۰ ریال خسارت به جامعه وارد می‌کند که با درنظر گرفتن ضریب انتشار  $SO_x$  این مقدار تا ۲۰ درصد نیز قابل افزایش خواهد بود که در این صورت این هزینه به ۱۱۸۰ ریال به‌ازاء هر لیتر خواهد رسید.

با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات آلاینده‌گی موتورهای احتراقی مورد استفاده در اتوبوس‌های هیبرید و متعارف، امکان انجام شبیه‌سازی دقیق میزان انتشار آلاینده‌ها میسر نمی‌باشد. با این وجود با نظر به اینکه موتور احتراقی مورد استفاده در اتوبوس هیبرید مکانیکی دارای استاندارد آلاینده‌گی Euro3 می‌باشد، بدون در نظر گرفتن تأثیرات ناشی از هیبریدشدن خودرو در مقایسه با موتور اتوبوس متعارف که از استاندارد آلاینده‌گی Euro2 بهره می‌برد، کاهش قابل توجهی در آلاینده‌گی حاصل خواهد شد. علاوه بر این موتور مورد استفاده



مرحله پنجم

### مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



قابلیت تطابق با استاندارد آلایندگی Euro4 را نیز دارا می باشد که با توجه به کیفیت پایین سوخت نفت گاز موجود در کشور این مهم میسر نمی باشد.

به طور کلی با عنایت به قابلیت های موتور جدید و کاهش ضریب مصرف در اتوبوس هیبرید در مقایسه با اتوبوس متعارف و همچنین عملکرد بهینه موتور احتراقی، دستیابی به حداقل کاهش آلاینده های منتشره به میزان ۵۰ درصد امکان پذیر می باشد.

شایان ذکر است که در حال حاضر استانداردهای آلایندگی مرتبط با خودروهای سنگین، فقط بر اساس موتورهای احتراقی مورد استفاده می باشد که با نظر به اینکه موتور احتراق داخلی در اتوبوس هیبرید همیشه فعال نمی باشد، تدوین استاندارد آلایندگی بسیار مشکل بوده و تاکنون در سطح جهانی نیز استاندارد مشخص و معینی تدوین نشده است.

حال با توجه به سناریوهای ارائه شده در بخش های قبل میزان انتشار آلاینده ها در اتوبوس هیبرید مکانیکی با در نظر گرفتن ۵۰ درصد کاهش آلایندگی در ۱۰ درصد از ناوگان حمل و نقل اتوبوس های نفت گاز سوز کشور در سناریو ۱ به شرح جدول ۲۶ خواهد بود، همچنین کاهش در میزان هزینه های خارجی نیز به شرح جدول ۲۷ می باشد.

جدول ۲۶: میزان کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی توسط اتوبوس های درون شهری هیبرید مکانیکی تا پایان سال ۱۳۸۷ بر اساس سناریو ۱

مجموع	SPM	CH4	CO	NOx	SO2	آلایندگی
۵۰,۳۳۷	۸۱۷	۱,۳۶۲	۴۴۶	۱,۶۷۲	۱۰۰۴۰	میزان کاهش انتشار آلایندگی (تن در سال)



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



جدول ۲۷: میزان کاهش هزینه‌های خارجی انتشار آلایinde‌های زیست‌محیطی توسط اتوبوس‌های درون‌شهری هیبرید مکانیکی تا پایان سال ۱۳۸۷ بر اساس سناریو ۱

مجموع	SPM	CH4	CO	NOx	SO2	آلاینده
۵۴,۲۸۰,۴۷۵	۲۸,۱۱۳,۵۱۲	۲,۲۸۸,۳۰۹	۶۶۸,۶۶۲	۸۰۰۲۳,۹۴۱	۱۵,۱۸۶,۰۵۱	میزان کاهش در هزینه‌های خارجی (هزار ریال در سال)
۱۰۰	۵۱,۷۹	۴,۲۲	۱,۲۳	۱۴,۷۸	۲۷,۹۸	سهیم از هزینه کل

بر اساس جدول ۲۸ در سناریو ۱ میزان کاهش هزینه‌های خارجی حاصل از به کارگیری اتوبوس‌های هیبرید مکانیکی به میزان ۱۰ درصد ناوگان اتوبوس‌های نفت‌گاز‌سوز کشور که به‌واسطه به کاربردن تکنولوژی هیبرید مکانیکی ۵۰ درصد کاهش انتشار آلایinde‌ها را منجر می‌شود، ۵۴ میلیارد ریال در سال می‌باشد که مبلغ قابل توجهی می‌باشد.

در سناریو ۲ نیز با توجه به کاهش ۵۰ درصدی میزان انتشار آلایinde‌ها در ۱۰ درصد ناوگان حمل و نقل کشور میزان کاهش انتشار آلایinde‌ها به شرح جدول ۲۸ خواهد بود، همچنین کاهش در میزان هزینه‌های خارجی نیز به شرح جدول ۲۸ می‌باشد.

جدول ۲۸: میزان کاهش انتشار آلایinde‌های زیست‌محیطی توسط اتوبوس‌های درون‌شهری هیبرید مکانیکی تا پایان سال ۱۳۸۷ بر اساس سناریو ۲

مجموع	CO2	CO	NOx	CH	SPM	آلاینده
۱۶۶,۳۰۴	۱۶۰,۰۵۴	۸۱۸	۳۱۸۳	۱۴۰۷	۸۴۲	میزان کاهش انتشار آلایinde (تن در سال)



مرحله پنجم

**مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی**



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

جدول ۲۹: میزان کاهش هزینه‌های خارجی انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی توسط اتوبوس‌های درون‌شهری هیبرید مکانیکی تا پایان سال ۱۳۸۷ بر اساس سناریو ۲

مجموع	CO2	CO	NOx	CH	SPM	آلاینده
۶۰,۶۳۸,۵۷	۱۲۸۰۴,۳۰	۱,۲۲۷,۷۳	۱۵,۲۷۸,۰۸	۲,۳۶۳,۱۸	۲۸,۹۶۵,۲۶	کاهش هزینه خارجی (هزار ریال در سال)

بر اساس جدول ۲۹ در سناریو ۲ میزان کاهش هزینه‌های خارجی حاصل از به کارگیری اتوبوس‌های هیبرید مکانیکی به میزان ۱۰ درصد ناوگان اتوبوس‌های نفت‌گاز سوز کشور که به واسطه به کاربردن تکنولوژی هیبرید مکانیکی ۵۰ درصد کاهش انتشار آلاینده‌ها را منجر می‌شود، ۶۰ میلیارد ریال در سال می‌باشد.

بر اساس اطلاعات به دست آمده از کتاب اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور در سال ۱۳۸۷، تا پایان سال ۱۳۸۷، ۱۲,۰۷۸ دستگاه اتوبوس با سن بیش از ۲۰ سال در ناوگان حمل و نقل کشور وجود دارند که جزء اتوبوس‌های فرسوده و مستعمل محسوب می‌شوند، این خودروها مصرف سوخت بالایی داشته و آلودگی محیط زیست بسیار زیادی را تولید می‌کنند. به طور کلی خودروهای فرسوده در مقایسه با خودروهای نو حداقل ۵۰ درصد مصرف سوخت بیشتری داشته و حداقل ۵۰ درصد نیز آلودگی هوای بیشتری تولید می‌کنند. با جایگزین کردن اتوبوس‌های هیبرید هیدرولیکی به جای اتوبوس‌های فرسوده می‌توان از خسارت واردۀ توسط اتوبوس‌های فرسوده جلوگیری کرد. هر اتوبوس نو درون‌شهری به ازاء هر ۱۰۰ کیلومتر پیمایش ۵۱ لیتر سوخت نفت‌گاز مصرف می‌کند، حال با توجه به مفروضات فوق هر اتوبوس مستعمل حداقل حدود ۱۰۲ لیتر مصرف سوخت نفت‌گاز در ۱۰۰ کیلومتر خواهد داشت که با در نظر گرفتن قیمت ۱۵۰۰ ریال قیمت سوخت نفت‌گاز به ازاء هر لیتر، با هیبرید کردن هر اتوبوس مستعمل ۹۶,۴۵۰ ریال صرفه‌جویی در هزینه خرید سوخت نفت‌گاز حاصل خواهد شد. با در نظر گرفتن پیمایش ۱۰۰,۰۰۰ کیلومتری هر اتوبوس در سال میزان صرفه‌جویی سالیانه به ازاء هر اتوبوس مستعمل هیبرید شده ۹۶,۴۵۰,۰۰۰ ریال خواهد بود، در صورت از رده خارج



کردن ۵۰ درصد اتوبوس‌های مستعمل و جایگزین کردن آنها با اتوبوس‌های هیبرید هیدرولیکی ۵۸۲,۴۶۱ ریال صرفه‌جویی در هزینه خرید سوخت نفت‌گاز خواهد شد، با در نظر گرفتن قیمت حداکثر ۲,۰۰۰,۰۰۰ ریال بهاءه هر اتوبوس هیبرید مکانیکی، با درآمد حاصل از صرفه‌جویی به دست آمده می‌توان ۲۹۱ اتوبوس هیبرید مکانیکی تولید کرد.

## ۲-۲-۵ بررسی صرفه‌جویی ملی بر اساس پیش‌بینی میزان کاهش مصرف سوخت

از دیدگاه مصرف سوخت و بحث خروج ارز و هزینه فرصت سرمایه‌گذاری نیز در سال ۱۳۸۷ باتوجه به برآورد فوق اتوبوس‌های نفت‌گازسوز کشور حدود ۱,۲۳۸,۲۵۵,۲۰۰ لیتر در سال نفت‌گاز مصرف می‌کنند، حال باتوجه به قیمت FOB نفت‌گاز که حدوداً ۷۹۵۴ ریال بهاءه هر لیتر می‌باشد، حدود ۹۸۴۹ میلیارد ریال هزینه خرید سوخت در سال خواهد شد. بافرض اینکه ۱۰ درصد ناوگان حمل و نقل اتوبوس‌های نفت‌گازسوز هیبرید مکانیکی (هیدرولیکی) شوند که ۳۰ درصد مصرف سوخت پایین‌تری دارند حدود ۲۹۵ میلیارد ریال صرفه‌جویی در هزینه خرید سوخت سالیانه خواهد شد. که همین مقدار صرفه‌جویی می‌تواند به عنوان یارانه جهت تولید اتوبوس هیبرید مکانیکی و ارتقاء زیرساخت‌های این صنعت به کار رود.

موضوع دیگری که لزوم ایجاد تغییر در فناوری‌های متدالوی مورد استفاده در صنعت خودرو را گوشزد می‌کند، کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و وجود نوسانات شدید قیمت در بازار نفت و دیگر منابع سوختی می‌باشد. ظرف ۵۰ سال آینده تقریباً ۴ میلیارد نفر به جمعیت ۷ میلیارد نفری کره زمین اضافه خواهد شد. صرف نظر از هرگونه پیشرفت در فناوری‌های جدید و بهبود بهره‌وری در مصارف انرژی، تقاضا برای انرژی رو به افزایش است و این افزایش را هم اکنون در کاهش مقدار نفت موجود در انبارهای کشورهای صنعتی و افزایش قیمت جهانی نفت می‌توان ملاحظه کرد. پیش‌بینی شده‌است که تعداد کل خودروها در سطح جهان از ۴۰۰ میلیون خودرو در سال ۲۰۰۰ میلادی به حدود ۸۰۰ میلیون خودرو در سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت و از سوی دیگر پیش‌بینی می‌شود که مصرف گاز طبیعی تا سال ۲۰۲۰ به دو برابر افزایش پیدا کند. از طرفی تا ۱۰ سال دیگر به دلیل کاهش منابع زیرزمینی، تولید نفت و گاز کشورهای غیر اوپک رو به کاهش رفته و



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

وابستگی کشورهای غربی به اوپک افزایش خواهد یافت. کشورهای اوپک نیز به واسطه کاهش منابع نفتی در آن زمان قادر به افزایش تولید نخواهند بود و به عبارت دیگر در آینده‌ای نه چندان دور، منابع موجود در کره زمین قادر به پاسخگویی نیازهای انرژی جامعه بشری نخواهد بود.

در ایران با توجه با ارزان بودن قیمت انرژی و همچنین فراوانی خودروهایی با عمر بالا که مصرف سوخت بالایی دارند، می‌توان انتظار داشت که افزایش مصرف انرژی در صنعت حمل و نقل بیشتر از مقدار ذکر شده در مورد کشورهای پیشرفته باشد.

باتوجه به توضیحات فوق چنین می‌توان چنین نتیجه گرفت که با به کارگیری اتوبوس‌های هیبریدی در ناوگان حمل و نقل درون‌شهری، دولت، جامعه و بنگاه‌ها به عنوان ذینفع مطرح خواهند بود. با کاهش مصرف سوخت نفت‌گاز دولت هزینه کمتری جهت تولید و خرید سوخت صرف خواهد کرد و این سرمایه را می‌تواند جهت رشد و ارتقاء زیرساخت‌های صنایع خودروهای هیبریدی صرف کند، از طرفی با کاهش آلودگی هوا و بالا بردن سطح سلامت جامعه منجر به کاهش هزینه خسارت‌های اجتماعی و هزینه‌های درمانی و افزایش میزان عمر افراد جامعه خواهد شد که به این ترتیب با کاهش هزینه‌های دولت باعث بالا رفتن میزان تولید ناخالص داخلی و رشد اقتصادی خواهد شد. بنگاه‌های اقتصادی که در این زمینه به طور مستقیم و غیرمستقیم در گیر خواهند بود نیز سود و سهم خود را از بازار خودرو با کمک و حمایت دولت برداشت خواهند کرد. با ایجاد اشتغال در این زمینه که طیف عظیمی از بنگاه‌ها را تحت پوشش قرار خواهد داد کمک به حل مسئله بیکاری در کشور خواهد کرد. با نظر به این مطلب که صنعت خودروهای هیبریدی از نوع صنایع با فناوری‌های پیشرفته می‌باشد لذا در این راستا تعداد زیادی متخصص تربیت خواهند شد.

در مجموع با فرض تبدیل ۱۰ درصد ناوگان اتوبوس‌های نفت‌گازسوز کشور به اتوبوس‌های هیبرید مکانیکی هیدرولیکی در بخش کاهش آلودگی هوا در سناریو ۱، ۴۷۵، ۲۸۰، ۵۴ هزار ریال و در سناریو ۲، ۶۳۸، ۵۷۱ هزار ریال و در بخش کاهش مصرف سوخت با در نظر گرفتن قیمت FOB خلیج فارس، ۲۹۵ میلیارد ریال و در بخش جایگزینی با اتوبوس‌های فرسوده ۵۸۳ میلیارد ریال صرفه‌جویی خواهد داشت.



## ۳-۵ برسی امکان بسته شدن قرارداد با شرکت های تامین کننده

### اجزاء و تکنولوژیهای لازم

تکنولوژی هیبرید هیدرولیک کاملاً نوپا بوده و استفاده از این تکنولوژی برای خودروهای سنگین و نیمه سنگین که در سیکل حرکتی خود توقف و شروع مجدد های زیادی دارند، توجیه فنی و اقتصادی دارد. طبق بررسی های انجام شده شرکت هایی که در زمینه تولید تجهیزات و ادوات هیدرولیکی فعالیت دارند این تکنولوژی را معرفی کرده و تجهیزات و المان های هیبرید هیدرولیک توسط خودشان به صورت یک پکیج آماده تولید و ارائه می شود. از معروفترین این شرکت ها می توان شرکت Parker در آمریکا و شرکت Bosch-Rexroth در آلمان اشاره کرد. تهیه تجهیزات هیبرید عملاً از شرکت parker در شرایط فعلی غیر ممکن بوده و تنها با شرکت Bosch-Rexroth می توان وارد مذاکره شد. شرکت مذکور تجهیزات هیبرید خود را تنها بر روی کامیون های خدمات شهری که وزن آنها بین ۹ الی ۲۴ تن می باشد، طراحی کرده و در کشورهایی همچون آلمان، تایلند، کانادا و ۱۰ ایالت آمریکا تست کرده و در سال ۲۰۱۰ موفق به دریافت گواهینامه استاندارد از شرکت TUV شده است. برای انجام مذاکره با شرکت Bosch-Rexroth از طریق شرکت TOC اقدام کردیم و نماینده تیم مجری در آذر ماه سال جاری به کشور آلمان سفر کرده و از این شرکت و محصولات هیبرید آن بازدید کرد. طبق مذاکرات انجام شده شرکت Bosch-Rexroth تمایل خود را برای اجرای تکنولوژی هیبرید بر روی اتوبوس اعلام کرده است ولی با توجه به تحریمات اخیر ادامه این مذاکرات با مشکل مواجه شده است. امید داریم که در آینده نزدیک بتوانیم ادامه مذاکرات را ادامه دهیم.

همچنین طی یک جلسهی حضوری با متخصصان شرکت توسعه خودرو کار، به عنوان مرکز تحقیقات شرکت ایران خودرو دیزل، در مورد نمونه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی تبادل نظر شد. تمایل آن شرکت روی نمونه سازی یک کامیون با استفاده از سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید هیدرولیک است. از میان کامیون های موجود، کامیون های خدمات شهری حمل زباله گزینه‌ی مناسبی برای اجرای سیستم انتقال قدرت هیبرید هیدرولیک می باشد. این انتخاب با درنظر داشتن سیکل حرکتی خودرو و همچنین وجود سازو کارهای



دانشگاه فنی  
آزاد اسلامی

مرحله پنجم

### مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

هیدرولیکی بسیار در آن صورت گرفته است. سیکل حرکتی کامیون‌های خدمات شهری، دارای توقف و شروع مجدد‌های بسیاری می‌باشد که این امر بیانگر وجود پتانسیل مناسب برای اجرای تکنولوژی هیبرید در این خودروها است. با توجه به تولید انواع کامیون‌های خدمات شهری در کشور توسط شرکت مبارز اصفهان، امکان نمونه‌سازی خودروی خدمات شهری هیدرولیک وجود دارد. بنابراین با درنظر گرفتن تمایل شرکت TKC و همچنین وجود شرکت سازنده کامیون‌های خدمات شهری در کشور، به نظر می‌رسد شرایط برای اجرای پروژه نمونه‌سازی کامیون خدمات شهری هیدرولیکی فراهم است. اجرای این پروژه نیازمند همکاری شرکت‌های ذکر شده در بالا و همچنین مراکز دولتی مربوط می‌باشد.

## ۴-۵ قیمت تمام شده در صورت تولید انبوه و نیمه انبوه

باتوجه به مطالعات به عمل آمده در بخش‌های قبل، به کارگیری سیستم هیدرولیک در قوای محرکه اتوبوس جهت تبدیل اتوبوس نفت‌گاز سوز به اتوبوس هیبرید مورد تائید فنی قرار گرفت، همچنین هزینه‌های نمونه‌سازی اتوبوس هیدرولیکی به تفکیک هزینه‌های خرید اتوبوس، قطعات اضافه شده، خدمات و مونتاژ، نیروی انسانی متخصص و تست‌های اولیه استخراج شد که بالغ بر ۷,۷۶۵ میلیون ریال برآورد شد که با حذف موتور ۰۴۵۷ این هزینه به ۷۴۴۵ میلیون ریال تقلیل یافت.

جهت ارزیابی تولید انبوه و نیمه‌انبوه تولید اتوبوس هیدرولیکی ابتدا می‌بایست هزینه‌های سرمایه‌گذاری احداث و راه‌اندازی خط را استخراج کرده، در گام بعدی هزینه‌های دوران بهره‌برداری را نیز محاسبه کرد و درآمد حاصل از فروش هر اتوبوس نیز باتوجه به سود هر خودروساز به دست آورد. در نهایت با تشکیل جدول جریانات نقدی پروژه در طول دوران احداث و بهره‌برداری شاخص‌های مالی و اقتصادی پروژه را محاسبه کرد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



شرکت ملی نفت ایران

شرکت بهینه سازی صرف سوخت

### برنامه زمانبندی راهاندازی خط و تولید

در این پژوهه بر اساس استعلامات به عمل آمده در صورتیکه اتوبوس نفت‌گاز سوز بدون موتور O457 از شرکت ایران خودرو دیزل تحويل گرفته شده و عملیات هیبریدسازی اتوبوس در سوله‌ای دیگر اجرا شود، دوره تولید یک اتوبوس هیبرید هیدرولیک ۱۵ روز می‌باشد. همچنین زمان احداث و راهاندازی سوله، خرید و راهاندازی ماشین‌آلات و تجهیزات، تربیت نیروی انسانی متخصص نیز حدود ۱۵ ماه به طول خواهد انجامید. لذا در سال اول بعد از احداث که ۹ ماه از آن باقی مانده است، ۱۸ اتوبوس هیبرید هیدرولیکی تولید خواهد شد که با فرض افزایش ظرفیت تولید در سال‌های بعد این تعداد بیشتر خواهد شد. در صورتیکه ۲۰٪ در سال دوم بهره‌برداری به ظرفیت تولید اضافه شود میزان تولید ۲۹ دستگاه در سال خواهد بود و در صورتیکه ۲۰٪ در سال سوم بهره‌برداری به ظرفیت تولید اضافه شود ۳۴ دستگاه در سال تولید خواهیم داشت. لذا با افزایش ۲۰٪ در سال چهارم بهره‌برداری ۴۰ دستگاه در سال تولید خواهد شد. لذا تولید ۱۰۰ دستگاه اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در سال چهارم بهره‌برداری و پنجم پژوهه خواهد بود. با توجه به موارد فوق برنامه تولید اتوبوس هیبرید هیدرولیکی به شرح جدول ۳۰ خواهد بود.

جدول ۳۰: برنامه زمانبندی تولید اتوبوس هیبرید هیدرولیکی با فرض افزایش ظرفیت ۲۰٪ در سال

توضیح	میزان تولید (دستگاه در سال)	سال
سال اول احداث	۰	۰
روز تولید ۲۷۵	۱۸	۱
روز تولید ۳۶۵	۲۹	۲
روز تولید ۳۶۵	۳۴	۳
روز تولید ۳۶۵	۴۰	۴
	۱۲۱	مجموع



مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



باتوجه به مطالعات به عمل آمده در بخش های قبل قیمت اتوبوس نفت گاز سوز ۰۴۵۷، ۱۴۰۰ میلیون ریال مد نظر قرار گرفته شده است که با حذف موتور ۰۴۵۷، به قیمت ۳۲۰ میلیون ریال می توان نتیجه گرفت که اتوبوس بدون موتور ۱۰۸۰ میلیون ریال ارزش دارد. همچنین هزینه قطعات اضافه شده نیز ۷۰۷/۳ میلیون ریال خواهد بود. لذا هزینه مواد اولیه برای یک دوره تولید به شرح جدول ۳۱ خواهد بود. همچنین هزینه مواد اولیه تولید باتوجه به برنامه زمانبندی تولید مندرج در جدول ۳۰ با فرض این مهم که هزینه قطعات مورد نیاز در صورت تولید نیمه ابوبه ۱۰ درصد کاهش یابند، به شرح جدول ۳۲ خواهد بود.

جدول ۳۱: هزینه مواد اولیه برای یک دوره تولید

توضیح	مبلغ (میلیون ریال)
اتوبوس بدون موتور ۰۴۵۷	۱۰۸۰
قطعات مورد نیاز (موتور احتراق داخلی، پمپ موتور هیدرولیکی و...)	۷۰۷/۳
<b>مجموع</b>	<b>۱۷۸۷/۳</b>

جدول ۳۲: هزینه مواد اولیه بر اساس برنامه زمانبندی تولید

سال	میزان تولید (دستگاه در سال)	هزینه قطعات مورد نیاز (میلیون ریال)	اتوبوس بدون موتور (میلیون ریال)	مجموع (میلیون ریال)
۱	۱۸	۱۱۴۵۸/۲۶	۱۹,۴۴۰	۳۰,۸۹۸/۲۶
۲	۲۹	۱۸۴۶۰/۵۳	۳۱,۳۲۰	۴۹۷۸۰/۵۳
۳	۳۴	۲۱۶۴۳/۳۸	۳۶,۷۲۰	۵۸۳۶۳/۳۸
۴	۴۰	۲۵۴۶۲/۸	۴۳,۲۰۰	۶۸۶۶۲/۸
<b>مجموع</b>	<b>۱۲۱</b>	<b>۷۷۰۲۴/۹۷</b>	<b>۱۳۰,۶۸۰</b>	<b>۲۰۷۷۰۴/۹۷</b>



## مرحله پنجم

## مطالعات امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی

شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی صرف سوخت

نیروی انسانی متخصص دوران بهره برداری نیز به شرح جدول ۳۳ می باشد.

جدول ۳۳: هزینه نیروی انسانی مورد نیاز

مجموع (ریال)	حقوق ثابت سالیانه (ضریب ۱۶/۴) (ریال)	حقوق ماهیانه (ریال) (ریال)	تعداد	تخصص	سطح
۱۶۴,۰۰۰,۰۰۰	۱۶۴,۰۰۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱	مدیر فنی و مهندسی	مدیریت
۲۷۸,۸۰۰,۰۰۰	۱۳۹,۴۰۰,۰۰۰	۸,۵۰۰,۰۰۰	۴	مکانیک	مهندس
۲۶۲,۴۰۰,۰۰۰	۱۳۱,۲۰۰,۰۰۰	۸,۰۰۰,۰۰۰	۲	برق	
۳۱۹,۸۰۰,۰۰۰	۱۰۶,۶۰۰,۰۰۰	۶,۵۰۰,۰۰۰	۴	مکانیک	تکنسین
۳۱۹,۸۰۰,۰۰۰	۱۰۶,۶۰۰,۰۰۰	۶,۵۰۰,۰۰۰	۲	برق	
۶۵,۶۰۰,۰۰۰	۶۵,۶۰۰,۰۰۰	۴,۰۰۰,۰۰۰	۱	حسابدار	اداری
۹۰,۲۰۰,۰۰۰	۹۰,۲۰۰,۰۰۰	۵,۵۰۰,۰۰۰	۱	انباردار	
۱۶۴,۰۰۰,۰۰۰	۸۲,۰۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰,۰۰۰	۲	اداری	
۷۳,۸۰۰,۰۰۰	۷۳,۸۰۰,۰۰۰	۴,۵۰۰,۰۰۰	۲	ماهر	کارگر
۷۳,۸۰۰,۰۰۰	۷۳,۸۰۰,۰۰۰	۴,۵۰۰,۰۰۰	۲	نیمه ماهر	
۱۳۱,۲۰۰,۰۰۰	۶۵,۶۰۰,۰۰۰	۴,۰۰۰,۰۰۰	۲	ساده	
۱,۹۴۳,۴۰۰,۰۰۰	۱,۰۹۸,۸۰۰,۰۰۰	۶۷,۰۰۰,۰۰۰	۲۳	مجموع	
۳۷,۲۴۸,۵۰۰				بیمه سهم کارفرما (۲۰٪ حق بیمه + ۳٪ بیمه بیکاری) (ماهیانه)	
۴۴۶,۹۸۲,۰۰۰				بیمه سهم کارفرما (۲۰٪ حق بیمه + ۳٪ بیمه بیکاری) (سالیانه)	
۱۹۹,۱۹۸,۵۰۰				پرداختی ماهیانه	
۲,۳۹۰,۳۸۲,۰۰۰				جمع کل	

هزینه ماشین آلات و تجهیزات مورد نیاز خط مانند جیگ و فیکسچرها، دستگاه های جوش CO<sub>2</sub>، دستگاه های جوش برق، لیفتراک ها، گیوتین، خم کن، دریل برقی، پمپ باد و ... نیز ۱۵۰۰ میلیون ریال مد نظر می باشد.



مرحله پنجم

## مطالعات امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی اتوبوس هیبرید هیدرولیکی



هزینه‌های تست‌های ۵۵ گانه نیز برای اتوبوس هیبرید هیدرولیکی نیز ۷۵۰۰ میلیون ریال می‌باشد که در هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

همچنین هزینه انرژی سالیانه (برق و گاز) نیز با فرض مصرف ۲۵۰۰۰ کیلووات ساعت برق در سال حدود ۱۸/۷ میلیون ریال برآورد شده است. همچنین با توجه به قیمت ۷۰۰ ریال بهازه هر مترمکعب گاز صنعتی نیز هزینه گاز مصرفی در سال ۵۰ میلیون ریال برآورد شده است.

به منظور برآورد قیمت تمام شده اتوبوس هیبرید هیدرولیکی هزینه‌های ثابت و متغیر دوران بهره‌برداری در سال اول تولید به شرح جدول ۳۴ می‌باشد.

جدول ۳۴: هزینه‌های ثابت و متغیر تولید اتوبوس هیبرید هیدرولیکی در سال دوم تولید

ردیف	شرح	هزینه (میلیون ریال)
۱	هزینه مواد اولیه	۴۹۷۸۰/۵۳
۲	هزینه نیروی انسانی	۲۳۹۰/۳۸
۳	هزینه برق مصرفی	۱۸/۷
۴	هزینه گاز مصرفی	۵۰
مجموع		۵۲۲۳۹/۶۱
۵	هزینه‌های پیش‌بینی نشده (٪۵ موارد فوق)	۲۶۱۱/۹۸
مجموع		۵۴۸۵۱/۵۹

باتوجه به این مهم که در سال دوم تولید، ۲۹ دستگاه اتوبوس هیبرید هیدرولیک تولید خواهد شد، با سرشکن کردن این هزینه‌ها در تعداد اتوبوس‌ها، قیمت تمام شده اتوبوس ۱۸۹۱/۴۳ میلیون ریال پیش‌بینی می‌شود.

فاز سوم

مرحله ششم

نهیه پیشنهادیه نمونه سازی





شرکت ملی نفت ایران

«بسمه تعالیٰ»

پرسشنامه پیشنهاد دهنده طرح / پروژه پژوهشی۱- خلاصه اطلاعات طرح / پروژه:

-۱- عنوان کامل به زبان فارسی  
نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیک

-۲- عنوان کامل به زبان انگلیسی

Prototyping of the hydraulic hybrid bus

 خدماتی

 توسعه‌ای

 کاربردی

 بنیادی

-۳-۱ نوع طرح / پروژه:

 تاریخ شروع

 تاریخ خاتمه

 ۱۸

-۴-۱ مدت اجراء (ماه)

(ارقام بر حسب میلیون ریال)

 ۲۳،۹۰۷/۹

-۵-۱ اعتبارات مورد نیاز:

۲- مشخصات مجری طرح / پروژه:

رشته تحصیلی: وحید اصفهانیان

میزان تحصیلات: دکتری

دانشگاه: تهران

گرایش: تبدیل انرژی

تعداد طرحهای در دست اجرا:

تعداد طرحهای خاتمه یافته:

آدرس و تلفن تماس منزل: تهران، خیابان نیاوران، خیابان یاسر، خیابان سوده، کوچه شهید امیدیان، پلاک ۳ - ۲۲۸۰۴۷۹۶

آدرس و تلفن تماس محل کار: تهران، خیابان کارگر شمالی، بالاتر از جلال آل احمد (امیر آباد شمالی)، پردیس دانشکده‌های فنی

دانشگاه تهران، استیتو مهندسی نفت، طبقه چهارم، مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران - ۸۸۰۲۰۷۴۱

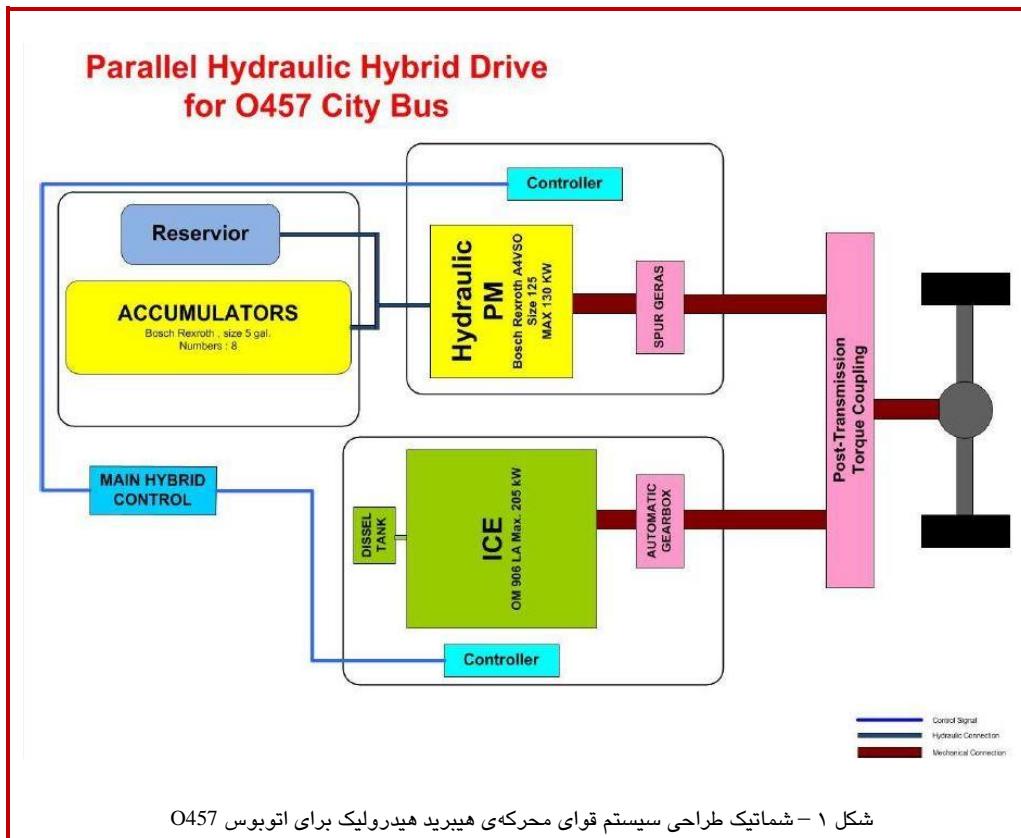
آدرس الکترونیکی: evahid@ut.ac.ir

این قسمت توسط امور / واحد پژوهش و توسعه شرکت / شرکتها تکمیل می شود.

تاریخ تصویب پیشنهاد اولیه:	شماره ثبت تاریخ
.....	
امور / واحد پژوهش و توسعه .....	
نظر کمیته بررسی کننده: با توجه به تصویب پیشنهاد اولیه، طرح تفصیلی:	
تصویب شد <input type="checkbox"/> نیاز به اصلاح دارد (به شرح پیوست) <input type="checkbox"/> تأیید نشد (به شرح پیوست)	
اعتبار مصوب <input type="checkbox"/> مسئول امور / واحد پژوهش و توسعه	تاریخ تصویب <input type="text"/>
امضاء: ..... (ارقام بر حسب هزار ریال / دلار)	

### ۳- مشخصات موضوعی طرح / پروژه:

گزارش حاضر یک پیشنهادی بهمنظور نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیک می‌باشد. نمونه‌سازی براساس طراحی مفهومی انجام شده (شکل ۱) در فازهای سوم و چهارم پروژه " امکان‌سنجی فنی و اقتصادی نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید مکانیکی " انجام می‌گیرد. شبیه‌سازی‌های انجام شده حاکی از کاهش ۳۰ درصدی مصرف سوخت اتوبوس در سیکل رانندگی تهران است. یکی از اهداف این نمونه‌سازی عینیت‌بخشی به مدل شبیه‌سازی شده است تا پروتوتاپ ساخته شده بتواند پایه مناسبی برای نمونه صنعتی قابل تولید در داخل کشور باشد. پیاده‌سازی مدل طراحی شده، ساخت نمونه و انجام تست‌های عملکردی مווید نتایج شبیه‌سازی خواهد بود. همچنین نمونه‌سازی یک اتوبوس هیبرید هیدرولیک دانش فنی این فناوری را در داخل کشور نهادنیه خواهد نمود.



شکل ۱ - شماتیک طراحی سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک برای اتوبوس O457

### ۱-۳- اهداف:

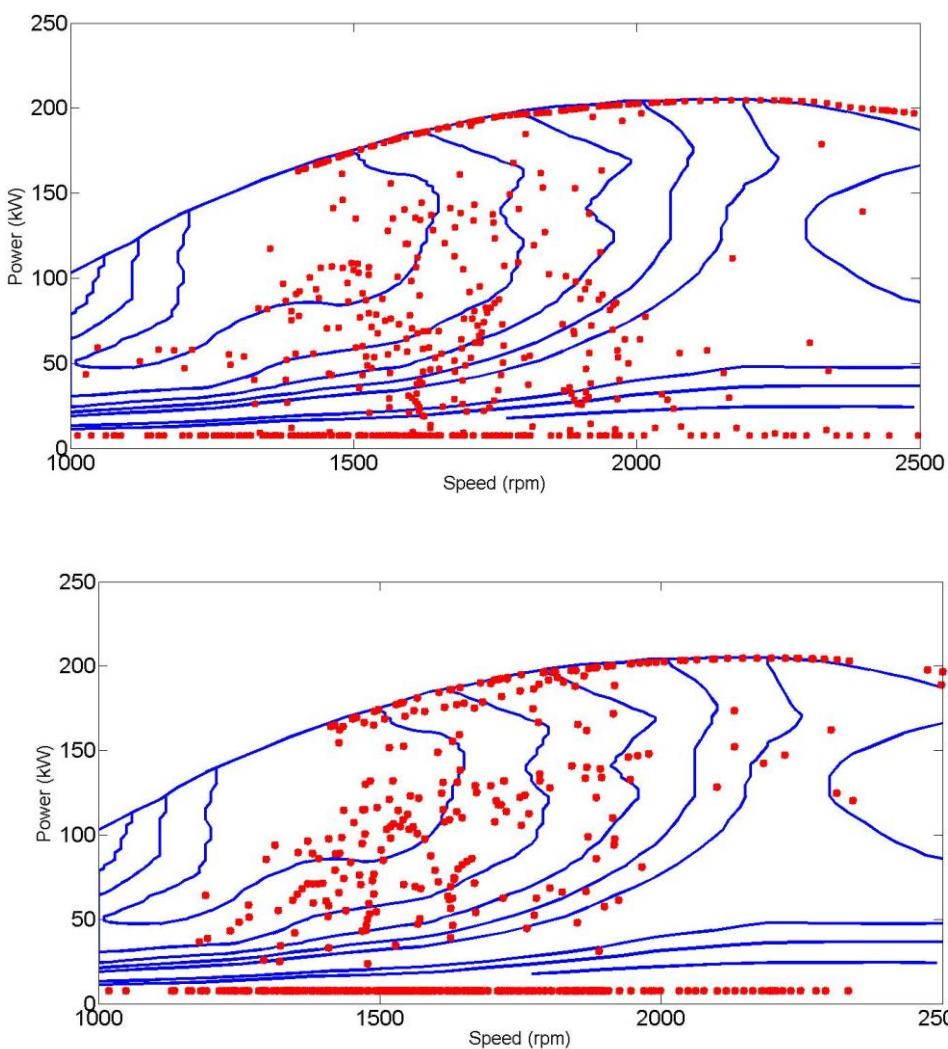
در پروژه‌ی حاضر، هدف تولید یک نمونه برای اتوبوس هیبرید هیدرولیک است. اتوبوس O457 محصول شرکت ایران‌خودرو دیزل به عنوان اتوبوس پایه درنظر گرفته شده است. مشخصات اتوبوس هدف که دارای سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک می‌باشد، به صورت زیر می‌باشد:

- حدود ۳۰٪ کاهش مصرف سوخت (باتوجه به نتایج شبیه‌سازی‌ها)
- به طور میانگین ۴۰٪ کاهش آلاتنگی
- قابلیت بازیابی انرژی ترمزنگیری
- حفظ عملکرد شتاب‌گیری اتوبوس متعارف
- حفظ سرعت ماکزیمم اتوبوس متعارف
- کاهش ناچیز عملکرد شبیه‌سازی نسبت به اتوبوس متعارف
- بدون نیاز به زیر ساختار جدید اجتماعی

- کمتر از نیم تن افزایش وزن خودرو
- هزینه تمام شده کمتر از خودروی هیبرید الکتریکی
- هزینه کمتر تعمیر و نگهداری نسبت به خودروهای احتراقی و هیبرید الکتریکی

کاهش ۳۰ درصدی مصرف سوخت اتوبوس، مقدار قابل ملاحظه‌ای است. این مهم با استفاده از اعمال سه فاکتور اساسی در سیستم هیبرید عملی می‌شود:

- استفاده از یک موتور احتراق داخلی کوچکتر و پیشرفته‌تر که مصرف سوخت ویژه‌ی آن کمتر است.
- تغییر نقاط کاری موتور احتراق داخلی به سمت نقاط با بازدهی عملکرد بالاتر می‌باشد. این تغییر نقاط کارکرد در شبیه‌سازی‌های انجام شده روی اتوبوس هیبرید هیدرولیک مشاهده شده است (شکل ۲).
- بازیابی انرژی ترمی و بکارگیری انرژی ذخیره شده توسط سیستم قوای محرکه‌ی هیدرولیکی، عامل اصلی سوم بشمار می‌رود.



شکل ۲ - مقایسه‌ی نقاط کارکرد موتور احتراق داخلی در اتوبوس‌های متعارف (شکل بالا) و هیبرید (شکل پایین)

۲-۳- ضرورت تحقیق:

آلودگی‌های زیست محیطی و مصرف سوخت‌های فسیلی، دو بحث مهم در عصر جدید بشمار می‌روند. اهمیت این مباحث تا آنچاست که هرساله در مناطق مختلف جهان، کنفرانس‌ها و اجتماعات مختلف به منظور مقابله با افزایش آثار نامطلوب آنها برگزار می‌گردد. در کشور ایران، آمارهایی در مورد میزان آلودگی هوا و مصرف سوخت‌های فسیلی توسط سازمان‌های مسئول به صورت سالیانه اعلام می‌گردد. در جدول ۱ نمونه‌ای از آمار ارائه شده در کتاب اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور آمده است. مشاهده می‌شود که در سال ۱۳۸۸، نزدیک به ۶۰ درصد از مصرف سوخت‌های فسیلی در کشور مربوط به بخش حمل و نقل می‌باشد. میزان تولید آلاتی‌های انسانی در صنعت حمل و نقل نیز به همین صورت است. از این‌رو، انجام تحقیقات به منظور دستیابی به راهکارهای مناسب جهت کاهش مصرف سوخت و تولید آلاتی‌های انسانی در بخش حمل و نقل ضروری به نظر می‌رسد.

جدول ۱ - آمار مصرف سوخت فسیلی در بخش حمل و نقل

سال	حمل و نقل <sup>۱</sup>	مصرف بخش حمل و نقل (درصد)	خانگی	تجاری خدماتی عمومی	صنعتی	کشاورزی	خوراک پتروشیمی	جمع
۱۳۷۸	۱۷۲/۲۲	۴۷/۵۶	۷۲/۹۸	۲۰/۶۲	۵۶/۱۰	۲۵/۴۲	۱۲۹۰	۲۶۲/۳۵
۱۳۷۹	۱۸۵/۴۸	۴۸/۴۰	۷۲/۱۹	۲۶/۴۹	۵۶/۶۲	۲۵/۲۲	۱۶/۱۱	۲۸۳/۲۱
۱۳۸۰	۱۹۲/۷۲	۴۹/۵۱	۷۰/۴۲	۲۶/۶۵	۵۹/۷۶	۲۲/۸۲	۱۵/۸۹	۲۸۹/۲۷
۱۳۸۱	۲۰۶/۹۳	۵۱/۴۵	۷۰/۱۸۲	۲۵/۷۴	۶۱/۱۱	۲۱/۹۲	۱۵/۶۴	۴۰۲/۱۷
۱۳۸۲	۲۱۸/۴۸	۵۲/۸۹	۶۴/۶۷	۲۶/۱۷	۶۴/۶۱	۲۲/۲۶	۱۵/۹۰	۴۱۲/۰۹
۱۳۸۳	۲۲۱/۰۸	۵۴/۹۵	۶۲/۲۵	۲۵/۶۱	۶۱/۴۷	۲۲/۹۲	۱۷/۱۲	۴۲۰/۰۵
۱۳۸۴	۲۴۹/۹۰	۵۶/۸۱	۵۸/۱۵	۲۷/۱۰	۶۱/۷۴	۲۲/۵۵	۱۸/۷۲	۴۲۹/۸۶
۱۳۸۵	۲۶۴/۰۶	۵۸/۲۸	۵۵/۵۹	۲۸/۰۶	۶۲/۲۶	۲۵/۹۲	۱۶/۴۱	۴۵۲/۳۱
۱۳۸۶	۲۵۵/۸۴	۵۶/۷۸	۵۶/۲۳	۲۹/۰۵	۶۶/۴۶	۲۵/۹۴	۱۷/۰۰	۴۵۰/۶۲
۱۳۸۷	۲۶۷/۱۲	۵۶/۱۹	۵۲/۱۹	۲۸/۲۴	۷۴/۵۲	۲۷/۷۸	۱۸/۶۹	۴۶۹/۵۴
۱۳۸۸	۲۸۴/۹۹	۵۹/۸۴	۵۲/۴۵	۲۱/۶۰	۶۵/۷۵	۲۸/۰۵	۲۲/۴۴	۴۷۶/۲۸
متوجه رشد سالیانه (درصد)								
۱۳۷۸-۱۳۸۸	۵/۲۱	۲/۲۵	-۲/۲۲	۵۰/۴۷	۱/۸۰	۵۰/۹۹	۵/۸۲	۲/۷۹

۱- در این بخش مصارف خط لوله و مصارف بنزین و نفت گاز کشتی‌های نیز لحاظ گردیده است.

در سال‌های اخیر به منظور کاهش مصرف سوخت و تولید آلاتی‌های از قبیل استفاده از خودروهای تمام‌الکتریکی به جای خودروهای متعارف، به کارگرفتن انرژی خورشیدی، پیلهای سوختی و ابرخازن‌ها<sup>۱</sup> به عنوان روش‌های جایگزین، پیشنهاد شده است. ولی هرگدام به دلایلی تتواسته‌اند جوابگوی کامل مسأله باشند. در این میان به نظر می‌رسد که خودروهای هیبرید<sup>۲</sup> یکی از راه حل‌های عملی برای کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و کمک به پاکساختن محیط زیست باشند. اگرچه خودروهای هیبرید در مقایسه با خودروهای الکتریکی محض که خودروهای بدون آلودگی محسوب می‌شوند، آلودگی بیشتری تولید می‌کنند ولی از نظر برد حرکتی به مشکلات خودروهای الکتریکی محض دچار نیستند. در میان انواع خودروهای هیبرید تاکنون بیشتر فعالیت‌ها به دلیل آماده‌تر بودن زیرساخت‌ها و پایه‌های فنی مورد نیاز، معطوف به خودروهای هیبرید الکتریکی بوده است. با توجه به بیشافت‌های جدید و مطالعات صورت‌گرفته در حوزه خودروهای هیبرید مکانیکی و تاثیر بسزای این تکنولوژی در کاهش مصرف سوخت خودروها به خصوص خودروهای سنگین، نیاز است تحقیقات جدیدی در راستای استفاده از این تکنولوژی جدید در کشور صورت پذیرد. استفاده از تکنولوژی هیبرید الکتریکی مستلزم استفاده از مجموعه‌های موتور، اینورتر و باتری با قابلیت‌های خاص می‌باشد که تکنولوژی ساخت آنها در جهان بویژه در حوزه خودروهای سنگین، در انحصار چند شرکت خاص قرار دارد. بنابراین در صورت اقدام به تولید این‌بویه اینگونه خودروها، ابتدا می‌بایست علاوه‌بر بدست آوردن تکنولوژی طراحی و ساخت مجموعه‌ی خودرو، در رابطه با بومی‌سازی فناوری ساخت اجزاء الکتریکی مورد نیاز نیز سرمایه گذاری قابل توجهی صورت گیرد. اجزاء اصلی مورد نیاز برای ساخت یک خودروی هیبرید مکانیکی همان‌طور که از نام آن پیداست، مکانیکی می‌باشند و قطعات الکتریکی‌ای به جز قطعات معمول مورد استفاده در خودروهای متعارف نیاز ندارند. درنتیجه ایجاد زیرساخت‌های موردنیاز جهت ساخت و تولید این‌بویه اینگونه خودروها ساده‌تر می‌باشد. در حال حاضر ایجاد

<sup>1</sup> Ultracapacitors

<sup>2</sup> Hybrid Vehicle

توانمندی ساخت و تأمین اکثر اجزای اصلی مورد استفاده در مجموعه‌ی تولید قدرت خودروهای هیبرید مکانیکی در داخل کشور ممکن به نظر می‌رسد.

پس از انجام بررسی‌های مربوط به امکان‌سنجی فنی و اقتصادی ساخت اتوبوس هیبرید مکانیکی، ساخت یک نمونه می‌تواند یک فرایند میانی به منظور تولید انبوه اتوبوس موردنظر باشد. همان‌طورکه بیان شد، سیستم هیبرید هیدرولیک مناسبترین گزینه به منظور تولید انبوه یک اتوبوس با سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید مکانیکی می‌باشد. در جدول ۲، یک مقایسه‌ی اجمالی میان سیستم‌های قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک و الکتریک انجام شده‌است. با انجام نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیک، در زمان و هزینه‌های مالی تولید انبوه اتوبوس به مقدار قابل توجهی صرفه‌جویی خواهد شد.

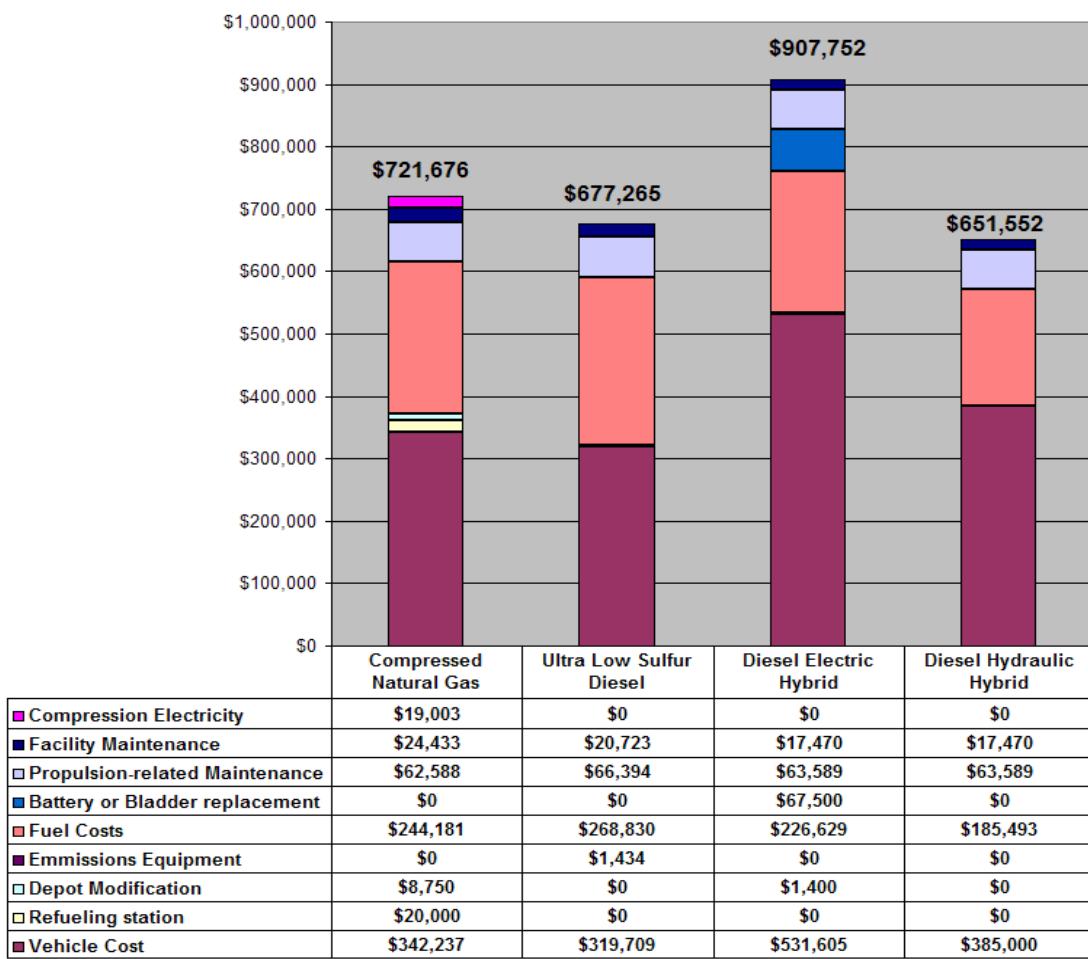
جدول ۲ - مقایسه‌ی عملکرد قوای محرکه‌ی هیبرید الکتریک و هیبرید هیدرولیک

نوع سیستم تولید و انتقال قدرت	هیبرید هیدرولیک	هیبرید الکتریک
افزایش وزن خودرو	-	--
کاهش مصرف سوخت خودرو	+	++
کاهش آلایندگی هوای	+	++
هزینه تولید خودرو	-	--
عملکرد خودرو در شبیب‌پیمایی و شتاب‌گیری	++	+
هزینه تعمیرات و خدمات پس از فروش خودرو	+	--

علاوه بر موارد ذکر شده در جدول ۲، آکومولاتورهای هیدرولیک (منابع ذخیره انرژی در هیبرید هیدرولیک) چگالی توان بالاتری دارند که منجر به بازیابی انرژی ترمی بیشتر مخصوصاً در خودروهای سنگین می‌شود. در مقابل، مقدار چگالی انرژی باتری‌ها (منابع ذخیره انرژی در هیبرید الکتریک) بیشتر است که امکان فعالیت خودرو به صورت هیبرید را در شرایط رانندگی پایدار نیز فراهم می‌آورد. این موضوعی است که در هیبرید هیدرولیک وجود ندارد. ماحصل دو نکته مذکور، بیانگر مزیت هیبرید هیدرولیک نسبت به هیبرید الکتریک در یک اتوبوس شهری با سیکل رانندگی دارای شروع-توقف بسیار می‌باشد.

### ۱-۲-۳ توجیه فنی و اقتصادی طرح

در فاز پنجم از پروژه‌ی حاضر، گزارش مفصلی درخصوص نکات مثبت نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیک از منظر فنی و اقتصادی ارائه شده‌است. بر اساس گزارش به دست آمده از دپارتمان حمل و نقل اداره قدرال ترانزیت ایالات متحده آمریکا، در میان اتوبوس‌های رایج در دنیا، بیشترین هزینه خرید و بهره‌برداری مربوط به اتوبوس هیبرید الکتریکی با ۹۰۷,۷۵۲ دلار و کمترین هزینه مربوط به اتوبوس هیبرید هیدرولیکی با ۶۵۲,۵۵۲ دلار می‌باشد. در مقایسه‌ای که بین انواع مختلف اتوبوس‌های رایج جهان صورت پذیرفته است (شکل ۳)، اتوبوس هیبرید هیدرولیک در مقایسه با نوع گازوئیل‌سوز و CNG سوز نیز قادر هزینه‌های زیرساخت سوخت‌رسانی است که از جمله مزایای بهکارگیری آن می‌باشد.



شکل -۳ مقایسه‌ی هزینه‌ی تولید و ساخت انواع اتوبوس‌های درون شهری

علاوه‌بر این در مقایسه با سه مدل دیگر اتوبوس، هزینه خرید سوخت آن نیز کمتر می‌باشد (نسبت به نوع دیزلی ۴۰ درصد کمتر می‌باشد) و در عین حال از هزینه‌های تعمیرات و نگهداری کمتری نیز برخوردار است. با توجه به موارد فوق اتوبوس‌های هیبرید هیدرولیک به عنوان یکی از موثرترین راهکارهای کاهش آلودگی هوا و کاهش مصرف سوخت در کشور آمریکا مطرح می‌باشد.

### ۲-۲-۳ بررسی صرفه‌جویی ملی براساس میزان پیش‌بینی کاهش آلایندگی و مصرف سوخت

آلودگی محیط زیست بالاخص آلودگی هوا به سه صورت بر روی تولید و بهره‌وری فردی اثرگذار است:

- آلودگی محیط زیست روی سلامت انسان‌ها اثر می‌گذارد و باعث کاهش بهره‌وری نیروی کار می‌گردد چراکه باعث می‌شود نیروی کار به عنوان یک نهاد تولید از مدار تولید خارج شده و سطح تولید کاهش یابد.
- هزینه‌ای که فرد بابت بدست آوردن سلامتی خود می‌پردازد که آن هزینه خود به دو گونه است.
- هزینه‌ای که فرد خود می‌پردازد و هزینه‌ای که دولت در قالب بیمه بابت درمان فرد می‌پردازد.
- درآمدی که فرد بر اثر ترک کار از دست می‌دهد.

علاوه‌بر مسائل فردی که آلودگی هوا موجب آن می‌شود؛ مسائل جمعی این موضوع نیز بایستی درنظر گرفته شوند. با توجه به اینکه در سال ۱۳۸۹ چند روز به علت آلودگی هوا تعطیل شده بود، می‌توان تاثیر قابل توجه این قضیه را بر تولید ناخالص داخلی و کاهش نرخ رشد اقتصادی و درآمد ملی متوجه شد. با توجه به حداقل دستمزد روزانه در سال ۱۳۸۹ که مبلغ ۱۰۱۰۰۰ ریال بوده است، با در نظر گرفتن هر

روز تعطیل بهمناسب آلودگی هوا در شهر تهران و با فرض اینکه ۱ میلیون نفر کارگر روزمزد در تهران وجود دارد بهاء هر روز تعطیل در سال ۱۳۸۹ حداقل ۱۰۱ میلیارد ریال کاهش درآمد حاصل شده است.

تاثیر آلودگی هوا بر اقتصاد ملی نیز قابل توجه است، برآورد تولید ناخالص داخلی به قیمت جاری در سال ۸۹ حدود چهار میلیون، میلیارد ریال است اگر این عدد را تقسیم بر ۲۸۸ روز کاری کنیم، حدود ۱۳,۸۸۸ هزار میلیارد ریال ضرر بهاء هر روز تعطیلی متوجه کشور می‌شود، که سهم تهران از این ضرر ۲۵ درصد است یعنی حدود ۳۴۷۲ میلیارد ریال یا ۳۴۷ میلیارد تومان ضرر و زیان هر روز تعطیلی در تهران است، همچنین با کاهش درآمد افراد حاصل از تعطیلی آلودگی هوا درآمد ملی، سطح بهره‌وری، سطح تولید نیز کاهش می‌یابد که اثر مضاعفی بر کاهش تولید ناخالص داخلی و رشد اقتصادی کشور خواهد داشت.

### ۴-۲-۳ بررسی صرفه‌جویی ملی بر اساس پیش‌بینی میزان کاهش مصرف سوخت

از دیدگاه مصرف سوخت و بحث خروج ارز و هزینه فرصت سرمایه‌گذاری نیز در سال ۱۳۸۷ اتوبوس‌های نفت‌گازسوز کشور حدود ۱,۲۳۸,۰۲۵,۰۰۰ لیتر در سال نفت‌گاز مصرف کرده‌اند. حال باتوجه به قیمت FOB نفت‌گاز که حدوداً ۷۹۵۴ ریال بهاء هر لیتر می‌باشد، حدود ۹۸۴۹ میلیارد ریال هزینه خرید سوخت در سال خواهد شد. بافرض اینکه ۱۰ درصد ناوگان حمل و نقل اتوبوس‌های نفت‌گازسوز هیبرید مکانیکی (هیدرولیکی) شوند که ۳۰ درصد مصرف سوخت پایین‌تری دارد، حدود ۲۹۵ میلیارد ریال صرفه‌جویی در هزینه خرید سوخت سالیانه خواهد شد. همین مقدار صرفه‌جویی می‌تواند به عنوان یارانه جهت تولید اتوبوس هیبرید مکانیکی و ارتقاء زیرساخت‌های این صنعت به کار رود.

موضوع دیگری که لزوم ایجاد تغییر در فناوری‌های متدالو مورد استفاده در صنعت خودرو را گوشزد می‌کند، کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و وجود نوسانات شدید قیمت در بازار نفت و دیگر منابع سوختی می‌باشد. ظرف ۵۰ سال آینده تقریباً ۴ میلیارد نفر به جمعیت ۷ میلیارد نفری کره زمین اضافه خواهد شد. صرف نظر از هرگونه پیشرفت در فناوری‌های جدید و بهبود بهره‌وری در مصارف انرژی، تقاضا برای انرژی رو به افزایش است و این افزایش را هم‌اکنون در کاهش مقدار نفت موجود در ابزارهای کشورهای صنعتی و افزایش قیمت جهانی نفت می‌توان ملاحظه کرد. پیش‌بینی شده است که تعداد کل خودروها در سطح جهان از ۴۰۰ میلیون خودرو در سال ۲۰۰۰ میلادی به حدود ۸۰۰ میلیون خودرو در سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت و از سوی دیگر پیش‌بینی می‌شود که مصرف گاز طبیعی تا سال ۲۰۲۰ به دو برابر افزایش پیدا کند. از طرفی تا ۱۰ سال دیگر به دلیل کاهش منابع زیرزمینی، تولید نفت و گاز کشورهای غیر اوپک رو به کاهش رفته و وابستگی کشورهای غربی به اوپک افزایش خواهد یافت. کشورهای اوپک نیز به واسطه کاهش منابع نفتی در آن زمان قادر به افزایش تولید نخواهند بود و به عبارت دیگر در آینده‌ای نه‌چندان دور، منابع موجود در کره زمین قادر به پاسخگویی نیازهای انرژی جامعه بشری نخواهد بود.

در ایران با توجه با ارزان بودن قیمت انرژی و همچنین فراوانی خودروهایی با عمر بالا که مصرف سوخت بالایی دارند، می‌توان انتظار داشت که افزایش مصرف انرژی در صنعت حمل و نقل بیشتر از مقدار ذکر شده در مورد کشورهای پیشرفت‌هه باشد.

باتوجه به توضیحات فوق چنین می‌توان نتیجه گرفت که با بهکارگیری اتوبوس‌های هیبریدی در ناوگان حمل و نقل درون‌شهری، دولت، جامعه و بنگاه‌ها به عنوان ذینفع مطرح خواهد بود. با کاهش مصرف سوخت نفت‌گاز دولت هزینه کمتری جهت تولید و خرید سوخت صرف خواهد کرد و این سرمایه را می‌تواند جهت رشد و ارتقاء زیرساخت‌های صنایع خودروهای هیبریدی صرف کند، از طرفی با کاهش آلودگی هوا و بالا بردن سطح سلامت جامعه منجر به کاهش هزینه خسارت‌های اجتماعی و هزینه‌های درمانی و افزایش میزان عمر افراد جامعه خواهد شد که به این ترتیب با کاهش هزینه‌های دولت باعث بالارفتن میزان تولید ناخالص داخلی و رشد اقتصادی خواهد شد. بنگاه‌های اقتصادی که در این زمینه به طور مستقیم و غیرمستقیم درگیر خواهد بود نیز سود و سهم خود را از بازار خودرو با کمک و حمایت دولت برداشت خواهد کرد. با ایجاد اشتغال در این زمینه که طیف عظیمی از بنگاه‌ها را تحت پوشش قرار خواهد داد کمک به حل مسئله بیکاری در کشور خواهد کرد. با نظر به این مطلب که صنعت خودروهای هیبریدی از نوع صنایع با فناوری‌های پیشرفت‌هه می‌باشد لذا در این راستا تعداد زیادی متخصص تربیت خواهد شد.

### ۳-۳- فرضیه های تحقیق:

این تحقیق و مراحل مختلف آن بر فرضیات زیر استوار است:

- ادامه سیاست های فعلی در زمینه قیمت گذاری سوخت برای مصرف کننده
- تداوم سیاست های موجود در صنعت خودروی کشور
- امکان تامین تجهیزات مورد نیاز از خارج از کشور
- بررسی بر اساس شرایط ترافیکی فعلی در شهر تهران
- امکان سفر مشاور خارجی به ایران و تیم ایرانی به خارج

### ۴-۳- خلاصه مراحل تحقیق:

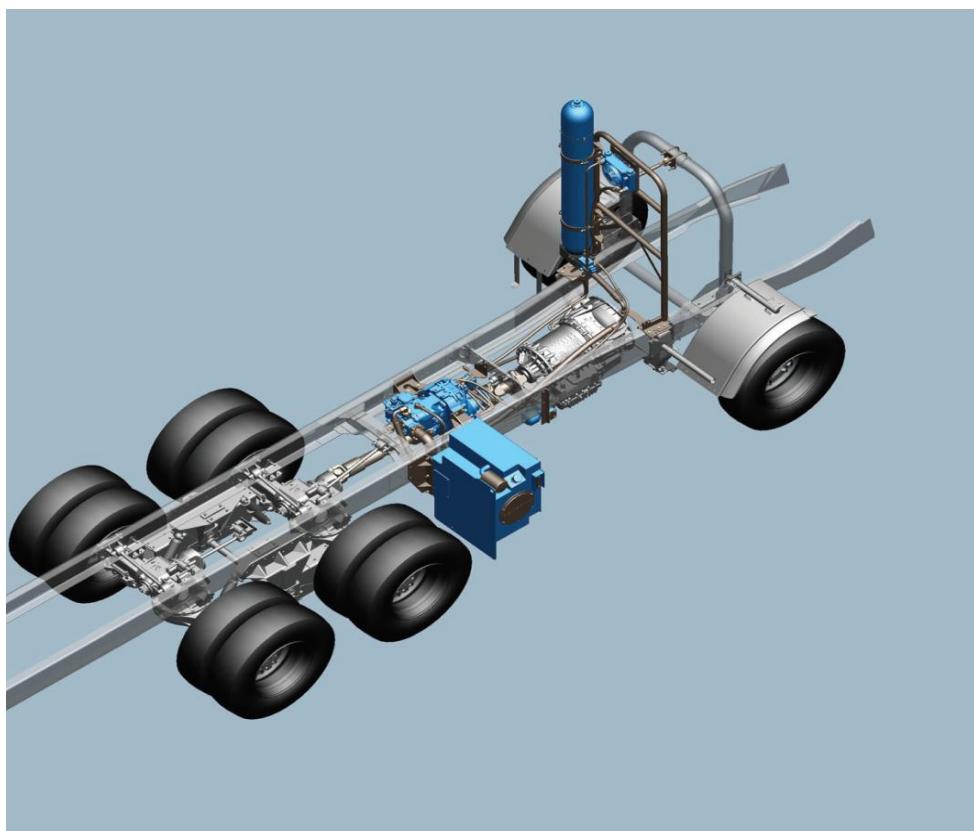
با درنظر گرفتن نمونه سازی انجام شده برای اتوبوس هیبرید الکتریک در مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران، دانش فنی کافی برای تعیین مراحل مختلف فرآیند نمونه سازی یک اتوبوس و همچنین مراحل بحرانی فرآیند وجود دارد. به منظور نمونه سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیک، ۶ مرحله در نظر گرفته شده است. در ابتدا قوای محرکه اتوبوس، سیستم هیدرولیک موردنیاز و همچنین سازه های جدید در سه مرحله جداگانه طراحی خواهند شد. سپس کنترلر سیستم قوای محرکه هیبرید هیدرولیک به همراه مدارات الکترونیکی موردنیاز طراحی می شوند. پس از پایان مراحل طراحی، مرحله ساخت و مونتاژ ادوات مختلف سیستم انجام می گیرد. درنهایت، مرحله راه اندازی و تست مجموعه هیبرید هیدرولیک انجام می شود.

### ۵-۳- کلید واژه ها

اتوبوس، قوای محرکه، هیبرید هیدرولیک، مدارات هیدرولیک، کنترلر، ساخت و مونتاژ، راه اندازی، تست.

### ۶-۳- بررسی سابقه مطالعات و تحقیقات موضوع طرح، همراه با ذکر منابع اساسی و همچنین چگونگی ارتباط آن با تحقیقات قبلی

فعالیت در زمینه‌ی طراحی و ساخت اتوبوس هیبرید هیدرولیک تاریخچه‌ای تقریباً طولانی دارد. اولین بار در سال ۱۹۷۰، شرکت مان<sup>۳</sup> یک نمونه اتوبوس هیبرید هیدرولیک را طراحی و تولید نمود. در طول این مدت، شرکت مان دانش فنی گستردگی را در خصوص سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک جمع‌آوری نموده است. پس از آن فعالیت در زمینه‌ی هیبرید هیدرولیک ادامه یافت. در سال ۱۹۸۷، شرکت میتسوبیشی ژاپن اقدام به طراحی و تولید سیستم ذخیره و بازیابی انرژی ترمزی به منظور نصب روی اتوبوس شهری نمود. سیستم قوای محرکه‌ی ارائه شده دارای چیدمان هیبرید موازی بود. در سال ۲۰۰۲، شرکت فوردموتورز در همکاری با آژانس حمایت از محیط زیست آمریکا، یک سیستم تولید و انتقال قدرت هیبرید هیدرولیک را برای اجرا روی خودروهای SUV طراحی کرد. نتایج تست‌های دینامومتری نشان‌دهنده‌ی کاهش ۶/۲۳ درصدی در مصرف سوخت خودرو بوده است. یکی از کامل‌ترین نمونه‌های قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک ساخته شده، سیستمی است که توسط شرکت بوش-رکسروت<sup>۴</sup> آلمان روی کامیون‌های خدمات شهری اجرا شده است. اساس طراحی این سیستم با نام ترمز بازیاب هیدرولیک<sup>۵</sup>، بازیابی انرژی ترمزی می‌باشد. شرکت بوش-رکسروت در سال ۲۰۰۹، استانداردهای لازم را برای این محصول اخذ و کامیون خدمات شهری هیبرید هیدرولیک را به ناوگان کشورهای آلمان و آمریکا اضافه نمود. شماتیک قوای محرکه‌ی کامیون خدمات شهری هیبرید هیدرولیک محصول شرکت بوش-رکسروت در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ - سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک روی کامیون خدمات شهری محصول شرکت بوش-رکسروت

<sup>3</sup> Man

<sup>4</sup> Bosch Rexroth

<sup>5</sup> Hydraulic Regenerative Braking (HRB)

جدیدترین نمونه‌ی اتوبوس هیبرید هیدرولیک، مربوط به محصول شرکت آلتیر<sup>۶</sup> است. این شرکت در سال ۲۰۱۱، با همکاری شرکت پارکر<sup>۷</sup> یک اتوبوس هیبرید هیدرولیک با چیدمان سری در قوای محرکه را تولید نموده است. اتوبوس محصول شرکت آلتیر در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ - اتوبوس هیبرید هیدرولیک سری محصول شرکت آلتیر

همان‌طورکه ملاحظه شد، سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک در گروه‌های مختلفی از خودروها شامل سواری، اتوبوس و کامیون خدمات شهری کاربرد دارد. علاوه‌بر این موارد، لیفتراک‌هایی با سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک ساخته شده‌اند. هدف در تولید لیفتراک هیبرید هیدرولیک، جدای از کاهش مصرف سوخت، افزایش توان لحظه‌ای لیفتراک است. چنانچه در سیستم هیبرید، از موتور احتراق‌داخلی کوچکتری استفاده نشود می‌توان با اضافه نمودن یک پمپ-موتور هیدرولیک که توان بالایی دارد، توان لحظه‌ای لیفتراک را افزایش داد. در سال‌های اخیر، شرکت بوش-رکسروت در زمینه‌ی تولید لیفتراک‌های هیبرید هیدرولیک تحقیقاتی انجام داده است.

#### -۴- مشخصات مراحل اجرای طرح / پروژه نتایج آن:

##### -۱- تعریف مسئله و بیان سؤالهای اصلی تحقیق:

به منظور نمونه‌سازی یک اتوبوس هیبرید هیدرولیک، ۶ مرحله در نظر گرفته شده است:

- طراحی دقیق قوای محرکه. در این مرحله، براساس طراحی مفهومی انجام شده در فاز چهارم پروژه امکان‌سنجی فنی و اقتصادی اتوبوس هیبرید هیدرولیک، طراحی سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید نهایی می‌گردد. نهایی نمودن طراحی شامل، تعیین جزئیات چیدمان نهایی سیستم، سایزینگ و انتخاب نهایی المان‌های اصلی و همچنین تعیین تمامی المان‌های فرعی موجود در سیستم (ياتاقان‌ها، کلاچ‌ها و ...) به صورت جزئی می‌باشد. طراحی نهایی استراتژی کنترل سیستم هیبرید نیز در این بخش انجام می‌گیرد.

<sup>6</sup> Altair  
<sup>7</sup> Parker

**طراحی سیستم هیدرولیک.** اجرای سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک، نیازمند طراحی کامل یک مدار هیدرولیک است. در این مرحله، تمامی المان‌های هیدرولیک موجود در مدار (فیلترها، شیرها، لوله‌ها و ...) بطور مشخص تعیین می‌گردد. همچنین با توجه به فشار کاری بالای مدار هیدرولیک، معیارهای اینمی نیز در این مرحله تعیین و اعمال می‌گردد.

**طراحی سازه‌ای.** براساس المان‌هایی که به سیستم اضافه شده‌اند، بایستی تغییراتی (هرچند جزئی) در شاسی اتوبوس اعمال گردد. همچنین جانمایی المان‌های هیدرولیک (پمپ- موتور و آکومولاتور) نیازمند طراحی سازه‌هایی مجزا می‌باشد. در این مرحله، سازه‌های موردنبیاز برای جانمایی المان‌های مختلف سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک، طراحی و ابعاد و جنس دقیق آنها تعیین می‌گردد. طراحی‌های انجام شده درخصوص جانمایی المان‌های سیستم در اتوبوس در فاز چهارم پروژه‌ی حاضر، به عنوان طراحی‌های اولیه‌ی این مرحله مدنظر خواهدبود.

**طراحی کنترلی و مکاترونیکی.** سیستم قوای محرکه‌ی هیبرید هیدرولیک شامل دو کنترلر اول با نام کنترلر مرکزی هیبرید وظیفه‌ی اعمال استراتژی کنترل طراحی شده برای سیستم را بر عهده دارد. کنترلر دوم، عملکرد پمپ- موتور هیدرولیکی- ار کنترل می‌نماید. این کنترل عملکرد شامل تعیین حالت کارکرد به صورت پمپی و یا موتوری و همچنین تعیین مقدار جابجایی پمپ- موتور می‌باشد. با تعیین مقدار جابجایی پمپ- موتور، مقدار گشتاور تولیدشده توسط آن مشخص می‌گردد. به منظور استفاده از کنترلرهای فوق، مدارات الکترونیکی موردنبیاز طراحی و روی بردهای مجزا پیاده‌سازی خواهدشد. البته در مورد کنترلر پمپ- موتور، امکان تأمین برد کنترلی از شرکت‌های خارجی تولیدکننده وجود دارد.

**ساخت و مونتاژ.** پس از نهایی شدن طراحی قسمت‌های مختلف سیستم قوای محرکه، مرحله‌ی ساخت و جانمایی المان‌های مختلف انجام می‌گیرد. انجام این مرحله، نیازمند در اختیار داشتن اتوبوس پایه و همچنین همکاری شرکت‌های داخلی درگیر می‌باشد. در پایان این مرحله، یک نمونه از اتوبوس هیبرید هیدرولیک در اختیار خواهدبود.

**راه‌اندازی و تست.** پس از پایان مراحل طراحی و ساخت اتوبوس هیبرید هیدرولیک، بایستی عملکرد قسمت‌های مختلف سیستم قوای محرکه تست شود. بدین‌منظور متناسب با هر المان، مجموعه‌ای از تست‌ها تعیین و اجرا می‌گردد. در پایان بایستی تست‌های استاندارد مربوط به عملکرد یک اتوبوس انجام گیرند. در این مرحله امکان انجام اصلاحات براساس نتایج تست‌های انجام‌گرفته روی اتوبوس وجود دارد.

شماتیک مراحل مختلف نمونه‌سازی اتوبوس هیبرید هیدرولیک در شکل ۶ نشان داده شده است.



#### ۲-۴- روش‌های جمع آوری اطلاعات:

در بخش‌های مختلف این مطالعه به اطلاعاتی از مراجع گوناگون نیاز است که هر یک روش جمع‌آوری خاصی را اقتضا می‌کند. روش‌های اساسی مورد استفاده را می‌توان در عناوین زیر جمع‌بندی نمود:

- مطالعه و جستجو در کتب، مقالات و گزارش‌های فنی
- بررسی نتایج شبیه‌سازی خودرو در سیکل حرکتی تهران
- استعلام از شرکت‌های خودروسازی و قطعه‌سازها
- بازدیدهای فنی از شرکت‌های خودروسازی و قطعه‌سازها
- اخذ مشاوره از شرکت‌های دارای تجربه در داخل و خارج کشور
- استعلام هزینه خدمات فنی، مشاوره و انتقال تکنولوژی از پیمانکاران خارجی

#### ۳-۴- روش‌های تجزیه و تحلیل اطلاعات:

به غیر از بخش‌هایی از گزارش که شامل جمع‌آوری اطلاعات لازم، دسته‌بندی و ارائه آنها می‌باشد، بقیه اطلاعات جمع‌آوری شده در چهار قالب زیر تحلیل و ارائه می‌گردند:

- تست‌های عملکردی
- محاسبات طراحی
- تحلیل مهندسی
- شبیه‌سازی رایانه‌ای خودرو

#### ۴-۴- نتایج تحقیق پاسخگوی کدامیک از نیازهای صنعت نفت می‌باشد؟

- کاهش مصرف سوخت
- وابستگی کمتر به نفت

#### ۵-۴- چه کاربردهای از انجام این تحقیق متصور است؟

- استفاده برای تصمیم‌سازی کلان در صنعت حمل و نقل شهری
- استفاده برای تصمیم‌سازی در صنعت خودرو
- استفاده کاربردی در خودروهای خدمات شهری

#### ۶-۴- علاوه بر شرکت ملی نفت چه مؤسسه‌ای (دولتی و غیر دولتی) می‌توانند از نتایج تحقیق استفاده کنند؟

- وزارت صنایع و معادن
- خودروسازان
- سازمان حفاظت از محیط زیست
- وزارت کشور
- شهرداری
- بخش دانشگاهی

#### ۴- جنبه جدید بودن و نوآوری طرح در چیست؟

جنبه جدید بودن این طرح آن است که این نمونه‌سازی خودروی هیبرید هیدرولیک، اعم از سواری یا سنگین، تاکنون در کشور ما انجام نشده است. اگرچه نمونه تحقیقاتی اتوبوس هیبرید الکتریک در کشور اجرا شده است ولی در صورت اجرایی شدن طرح حاضر کشور ما یکی از پیشگامان تکنولوژی هیبرید هیدرولیک در خاورمیانه و بلکه جهان خواهد بود. ایجاد دانش فنی طراحی و ساخت خودروهای هیبرید مکانیکی را می‌توان نوآوری پژوهش نامید.

**۴-۸- مراحل زمانی برای اجرای طرح/ پروژه و ارسال گزارش پیشرفت کار:**

در جدول ذیل مراحل انجام کار حداقل تا لایه سوم شکسته شده و دلایل توجیهی و آنالیز تعیین قیمت به صورت ضمیمه ارائه شود.

مراحل	عنوان عملیات در هر مرحله	* درصد وزنی (%)	مدت اجرای هر مرحله (هفته)	ساعت درماه	پرسنل اجرایی	هزینه انجام (میلیون ریال)
(۱) طراحی دقیق قوای محركه	نهایی نمودن چیدمان سیستم قوای محركه	۱/۹۶	۲	مدیر: ۲ نفر مشاور: ۱ نفر پژوهشگر: ۴ نفر خدمات: ۲ نفر	مدیر: ۱۰۰ مشاور: ۵۰ پژوهشگر: ۴۰۰ خدمات: ۳۰۰	۷۷۷/۴۵
	انتخاب ساختار نهایی	۴/۹	۵			
	انتخاب خودروی نهایی خودروی پایه	۱/۹۶	۲			
	نهایی نمودن سایزینگ المان‌های اصلی سیستم قوای محركه	۱/۹۶	۲			
	مدل‌سازی دقیق خودرو	۱/۹۶	۲			
	بهینه‌سازی سایز اجزا مختلف	۱/۹۶	۲			
	طراحی جزئیات سیستم قوای محركه	۱/۹۶	۲			
	تعیین منابع خرید قطعات مختلف	۱/۹۶	۲			
خروجی مرحله‌ی اول	مکاتبات با منابع تأمین‌کننده و انجام مراحل لازم برای سفارش خرید تجهیزات	۱/۹۶	۲			
	جانمایی اولیه تجهیزات	۱/۹۶	۲			
	گزارش مرحله‌ی اول + سفارشات خرید قطعات + نقشه ساخت	۱/۹۶	۲			
	انتخاب نهایی آکومولاتور و پمپ-موتور هیدرولیک	۲/۰۲	۳	مدیر: ۲ نفر پژوهشگر: ۵ نفر خدمات: ۲ نفر	مدیر: ۱۰۰ پژوهشگر: ۵۰۰ خدمات: ۳۰۰	۳.۵۴۰/۸۹
	انتخاب پمپ-موتور نهایی با توجه به محدودیت‌های منابع تأمین	۲/۳۷	۵			
(۲) طراحی سیستم هیدرولیک	انتخاب آکومولاتور نهایی با توجه به محدودیت‌های منابع تأمین	۲/۳۷	۵			
	طراحی مدارات هیدرولیک موردنیاز	۲/۳۷	۵			
	جانمایی اولیه مسیر لوله‌ها	۲/۳۷	۵			
	انتخاب سایز لوله‌ها	۲/۳۷	۵			
طراحی ادوات و المان‌های مختلف مدار	انتخاب اتصالات	۲/۳۷	۵			
	طراحی فیلتر و خنک کن روغن	۲/۳۷	۵			
	طراحی شیرهای لازم	۲/۳۷	۵			
	طراحی سیستم شیر اطمینان	۲/۳۷	۵			
شبیه‌سازی عملکردی مجموعه و مدارات هیدرولیک با نرم‌افزار Automation Studio	شبیه‌سازی عملکردی مجموعه و مدارات هیدرولیک با نرم‌افزار Automation Studio	۲/۳۷	۵			
	آماده‌سازی مدل	۲/۳۷	۵			

مراحل	عنوان عملیات در هر مرحله	درصد وزنی (%)	*	مدت اجرای هر مرحله (هفته)	ساعت درماه	پرسنل اجرایی	هزینه انجام (میلیون ریال)
خروجی مرحله‌ی دوم	شیوه‌سازی عملکردی سیستم هیدرولیک	• تحلیل نتایج					
	انجام مراحل نهایی لازم برای سفارش خرید تجهیزات	٠/٦٧٥	١				
	تهیه نقشه‌های ساخت	٠/٦٧٥	١				
	گزارش مرحله‌ی دوم + سفارشات خرید قطعات + نقشه ساخت	١/٣٥	٢				
(۳) طراحی سازه‌ای	جانمایی نهایی المان‌های سیستم قوای محرکه	• جانمایی موتور احتراقی جدید	١	٢	٥٠٠ پژوهشگر: ٣٠٠ خدمات: ٢ نفر	مدیر: ٢ نفر پژوهشگر: ٥ نفر خدمات: ٢ نفر	٧٧٧/٤٥
	جانمایی پمپ-موتور	•	٢/٩٩	٦			
	جانمایی آکومولاتور	•	٧/٩٦	١٦			
	جانمایی ادوات و المان‌های مدار	•	-	٢			
	طراحی و تحلیل سازه‌های موردنیاز برای جانمایی قطعات	• برسی تغییرات سازه موردنیاز بر روی شاسی و بدنه	٢/٩٩				
	طراحی سازه‌های نگهدارنده تجهیزات مختلف	•					
خروجی مرحله‌ی سوم	تحلیل استحکامی سازه‌ها	•					
	آماده‌سازی محل کارگاهی برای اجرای طرح						
(۴) طراحی و کنترلی و مکاترونیک	تدوین نقشه‌های ساخت		١				
	تعیین محل کارگاهی اجرای طرح + نقشه ساخت		-				
	طراحی کنترلر مرکزی هیبرید	• طراحی ساختار کنترلی اتوبوس	١/٩٩	٤	١٠٠ مشاور: ٥٠ پژوهشگر: ٣٠٠ خدمات: ٢ نفر	مدیر: ١ نفر مشاور: ١ نفر پژوهشگر: ٣ نفر خدمات: ٢ نفر	٤,٢٧٧/٤٥
	طراحی ارتباطات میان اجزا	•	٢/٩٨	٨			
خروجی مرحله‌ی سوم	طراحی شماتیک کنترلر مرکزی	•					
	طراحی استراتژی کنترل هیبرید	•					
خروجی مرحله‌ی سوم	تدوین نهایی الگوریتم کنترلر مرکزی	•					
	تست نرم افزاری استراتژی کنترلر	•					
خروجی مرحله‌ی سوم	اجرا و پیاده‌سازی کنترلر مرکزی						

مراحل	عنوان عملیات در هر مرحله	* درصد وزنی (%)	مدت اجرای هر مرحله (هفته)	ساعت درماه	پرسنل اجرایی	هزینه انجام (میلیون ریال)
انجام تست‌های HIL	<ul style="list-style-type: none"> <li>انتخاب پلتفرم پیاده‌سازی کنترلر</li> <li>انتخاب سخت‌افزار جهت پیاده‌سازی کنترلر</li> <li>پیاده‌سازی الگوریتم کنترلر</li> <li>تست نرم افزار در حلقه (SIL)</li> </ul>	۴/۹۸	۱۰			
خرожی مرحله‌ی چهارم	<p>طرابی نقشه‌های سیم‌کشی</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>طرابی شماتیک</li> <li>جانمایی مسیرهای سیم‌کشی</li> <li>تدوین نقشه‌های ساخت</li> </ul> <p>گزارش مرحله‌ی سوم و چهارم + تهیه بردهای الکترونیکی مورد دنیاز</p>	۱	۲			
(۵) ساخت و مونتاژ	<p>تأمین اتوبوس پایه</p> <p>تأمین المان‌های مختلف سیستم قوای محرکه</p> <p>ساخت اجزای تولید و انتقال قدرت به صورت جزئی</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ساخت سازه‌های نگهدارنده</li> <li>اجرای تغییرات شاسی و بدنه</li> <li>ساخت دسته‌سیم‌ها</li> <li>ساخت مدارات هیدرولیک</li> </ul> <p>پیاده‌سازی قسمت‌های مختلف روی اتوبوس</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>نصب تجهیزات</li> <li>اجرای مدارات هیدرولیک</li> <li>نصب دسته سیم‌ها</li> </ul> <p>نمونه اتوبوس هیبرید هیدرولیک</p>	۲/۴	۳	۵	۶/۴	۳۰۹۲/۴۵
خرожی مرحله‌ی پنجم	راهاندازی اولیه ادوات مختلف روی اتوبوس	۵/۶۸	۵	مدیر: ۱۰۰	مدیر: ۲ نفر	۲۰۷۷/۴۵

مراحل	عنوان عملیات در هر مرحله	درصد وزنی (%)	*	ساعت در ماه	پرسنل اجرایی	هزینه انجام (میلیون ریال)
و نتست	<ul style="list-style-type: none"> <li>راهاندازی موتور جدید</li> <li>راهاندازی سیستم هیدرولیک</li> <li>راهاندازی دستی اتوبوس</li> <li>راهاندازی تمام اتوماتیک اتوبوس</li> </ul>				مشاور: ۱ نفر پژوهشگر: ۴ نفر تکنسین: ۴ نفر خدمات: ۲ نفر	مشاور: ۵۰ پژوهشگر: ۴۰۰ تکنسین: ۶۰۰ خدمات: ۳۰۰
خروجی مرحله‌ی ششم	تست عملکردی اتوبوس تست جاده‌ای اتوبوس	۷/۹۶	۷			
	گزارش مرحله‌ی پنجم و ششم + نمونه اتوبوس تست شده + پیشنهادیه تولید انبوه اتوبوس هیبرید هیدرولیک	۲/۴۱	۲			
جمع هزینه فازها	۱۰۰	۷۸	-	-	-	۱۴,۵۴۳/۱۶
بالاسری		-				۲,۹۸۸/۵
مالیات		-				۲,۳۹۰/۸
بیمه		-				۳,۹۸۵/۴
هزینه کل		-				۲۳,۹۰۷/۹

\* لطفاً در این ستون با علامت (x) مراحل ارائه گزارش را تعیین نمایید.

#### ۹-۴- مراحل اجرایی عملیات:

شروع و پایان هر مرحله از عملیات بر حسب ماه															مرحله			
۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	-
																		۱
																		۲
																		۳
																		۴
																		۵
																		۶

۴- مشخصات پرسنل در این پژوهش

نام و نام خانوادگی	نوع مسئولیت در طرح	مدرک تحصیلی	مرتبه علمی	سابقه خدمت در دانشگاه / مرکز تحقیقاتی
وحید اصفهانیان	مدیر پروژه	دکترا	استاد	۲۰
محسن اصفهانیان	مدیر اجرایی	دکترا	استادیار	۱۸
یدالله ذاکری	مشاور	کارشناس ارشد	مربی	۲۷
علی صفائی	پژوهشگر	کارشناس ارشد	-	۴
مسعود مسیح تهرانی	پژوهشگر	کارشناس ارشد	-	۶
آرمان میثمی	پژوهشگر	کارشناس ارشد	-	۱
علی بدیعی	پژوهشگر	کارشناس ارشد	-	۲
محمدجواد نجفیان	پژوهشگر	کارشناس ارشد	-	۴
حسن نهضتی	پژوهشگر	کارشناس	-	۸
شیما بهرامی	پژوهشگر	کارشناس	-	۲
سه راب پاکل	پژوهشگر	کارشناس	-	۲
مهدي صوفی	پژوهشگر	کارشناس	-	۳
امید یعقوبی	پژوهشگر	کارشناس	-	۳
رضا مرادی	نتکسین	کارданی	-	۱
نیما میرخانی	نتکسین	کاردانی	-	۱
حنیف خلف رضایی	نتکسین	کاردانی	-	۱
صابر احمدی	نتکسین	کاردانی	-	۱
منوچهر منصوری	خدمات	کاردانی	-	۱۰
اکرم کشتکار	خدمات	کارشناس	-	۲

ملاحظات:

- ۱- در صورتیکه نتایج طرح در یک از واحدهای تابعه شرکت ملی نفت ایران قابل اجرا می باشد، نام واحد و شرکت ذیربطر را بنویسید.
- ۲- تکمیل این پرسشنامه دلیلی بر تصویب طرح نمی باشد.
- ۳- مجری طرح صحت مندرجات این پرسشنامه را تأیید می نماید.

نام سازمان/ دستگاه اجرایی: مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران  
آدرس: تهران - کارگر شمالی - پردیس شماره ۲ دانشکده فنی دانشگاه تهران - ساختمان انستیتو مهندسی نفت - طبقه چهارم.

تلفن: ۰۲۱ - ۸۸۰۲۰۷۴۱

پست الکترونیکی: evahid@ut.ac.ir

نام و نام خانوادگی مسئول سازمان/ دستگاه اجرایی: وحید اصفهانیان

امضاء:

تاریخ: