بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی**

**دانشکدهٔ مهندسی مکانیک**

**پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**

**موضوع:**

# بهینه‌سازی نسبت‌دنده‌های جعبه‌دنده‌های دستی و اتوماتیک

**استاد راهنما:**

**دکتر امیرحسین شامخی**

**نگارش:**

**عباس بیدگلی**

**تابستان ۱۳۹۱**

**تقدیم به:**

**پدر و مادرم**

که امروز و فردای فرزندان دغدغه پیوسته خاطرشان است،

**باشد بپذیرند.**

# تشکر و قدردانی

خداوند متعال را شاکرم که مرا در تمام لحظات سخت با الطاف بی دریغ خویش یاری نمود.
از زحمات استاد عزیز و ارجمندم جناب آقای دکتر امیرحسین شامخی که از حمایت و راهنمایی‌های خالصانه‌ی ایشان در انجام این پایان‌نامه بهره‌مند شدم، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم و موفقیّت روزافزون را برای ایشان صمیمانه از خداوند متعال خواستارم. بر خود لازم می‌دانم از خانواده‌ی عزیزم بخصوص خواهرم و خانم وفایی صفت که بستری مناسب جهت رویارویی با مشکلات گوناگون برایم فراهم نمودند، تشکر کنم.
امید است انجام این پایان‌نامه گامی مثبت در جهت طراحی و بهینه‌سازی جعبه‌دنده‌های دستی و اتوماتیک در داخل کشور عزیزمان باشد.

# چکیده

هدف از انجام این پایان‌نامه توسعه نرم‌افزاری جهت طراحی و بهینه‌سازی نسبت دنده در جعبه‌دنده‌های دستی و اتوماتیک است که با استفاده از اطلاعات موتور و خودرو بتوان نسبت دنده‌ی مناسب را از آن استخراج نمود.

در ابتدا با توجه به پارامترهای محیطی و عملکردی خودرو در جعبه‌دنده‌ی دستی از دو روش تصاعدی و هندسی به محاسبه‌ی نسبت دنده‌های خودروی مورد نظر می‌پردازیم.

برای بهینه‌سازی در جعبه‌دنده‌ی دستی معیار را این موضوع قرار دادیم که هر چقدر سطوح بین منحنی‌های نیروی کششی موجود در دنده‌های مختلف و نیروی کششی مورد نیاز بهتر پوشش داده شود، یعنی مجموع این سطوح کمتر باشد، به حالت ایده‌آل نزدیک‌تریم و بنابراین اتلاف توان کمتر است و بنابراین در این بهینه‌سازی بررسی می‌کنیم که چند درصد از روش هندسی و چند درصد از روش تصاعدی استفاده کنیم تا مجموع سطوح پوشش داده نشده برای دنده‌های مختلف حداقل شود.

برای بهینه‌سازی نسبت دنده‌های جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک از دو معیار بهینه‌سازی استفاده می‌نماییم. در معیار اول هدف نزدیکی نسبت سرعت‌های واقعی به نسبت سرعت‌های مطلوب است و در واقع معیار بهینه‌سازی کمینه کردن یک تابع هدف است که به کمک شبکه‌ی عصبی مدل‌سازی سیستم و با توجه به قیود و محدودیت‌های موجود به کمک الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی را انجام می‌دهیم و با مقایسه با مراجع، صحت بهینه‌سازی را بررسی می‌نماییم تا دقت بالای عملیات انجام شده را تایید کنیم. در معیار دوم هم هدف همان کمینه کردن مساحت موجود بین نیروی کششی موجود در دنده‌های مختلف و نیروی کششی مورد نیاز است.

در فصل سوم به محاسبات مربوط به بیشترین سرعت خودرو، بیشینه و کمینه‌ی نسبت دنده کل، عملکرد شیب‌روی و شتاب‌گیری خواهیم پرداخت و نمودارهای عملکردی خودرو از قبیل نمودارهای گشتاور، نیرو و توان سر چرخ در دنده‌های مختلف و همچنین نمودارهای تاثیر پارامترهای مختلف همچون تاثیر ضریب مقاومت هوا و شعاع دینامیکی چرخ بر سرعت و نیروی وارد بر خودرو، کمینه و بیشینه‌ی سرعت در دنده‌های مختلف و ... را ارائه خواهیم کرد.

سپس به بحث و بررسی نسبت دنده‌های دیفرانسیل در خودروهای چرخ جلو، چرخ عقب و چهار چرخ محرک می‌پردازیم و فواید و معایب مربوط به آنها و روش‌های انتخاب و طراحی نسبت دنده‌های دیفرانسیل در خودرو را بیان می‌کنیم.

در پایان نیز تاثیرگذاری پارامترهای ارتفاع مرکز ثقل و مرکز ثقل طولی و عرضی را در شرایط مختلف با در نظر گرفتن ضرایب اصطکاک چرخ‌های جلو و عقب و مقاومت هوا در شیب‌روی و شتاب‌گیری بررسی کرده و نتایج را بیان می‌کنیم.

# فهرست مطالب

**فصل اول:مقدمه** ..... ۱

۱-۱) انتقال قدرت ..... ۲

۱-۲) انواع جعبه‌دنده‌ها ..... ۲

۱-۳) سیستم‌های کنترل کننده ..... ٤

۱-۴) اجزای جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک ..... ٥

۱-۵) نقش تعداد نسبت دنده‌ها در عملکرد جعبه‌دنده ..... ۹

**فصل دوم: بهینه‌سازی نسبت دنده‌ها و محاسبه‌ی تعداد دندانه‌ها** ..... ۱۱

۲-۱) نسبت دنده در جعبه‌دنده‌های دستی ..... ۱۲

۲-۲) بهینه‌سازی نسبت دنده‌ی جعبه‌دنده‌ی دستی بر اساس معیار می‌نیمم توان اتلافی ..... ۱٥

۲-۳) بهینه‌سازی نسبت دنده‌ی جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک با معیار کمترین اختلاف با نسبت سرعت‌های مطلوب ..... ۱۹

۲-۳-۱) فرمولاسیون و بهینه‌سازی برای مجموعه چرخ‌دنده‌ی سیمپسون ..... ۲۱

۲-۳-۲) فرمولاسیون و بهینه‌سازی برای مجموعه دنده‌های THM۴۴۰ ..... ۳۳

۲-۳-۳)بهینه‌سازی نسبت دنده برای انواع دیگر مجموعه چرخ‌دنده‌های اتوماتیک ..... ۳۹

۲-۴) بهینه‌سازی نسبت دنده‌ی جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک بر اساس معیار می‌نیمم توان اتلافی ..... ٤۰

**فصل سوم: عملکرد جعبه‌دنده و خودرو** ..... ٤۲

۳-۱) روابط عملکردی خودرو و جعبه‌دنده ..... ٤۳

۳-۱-۱) مقاومت چرخ ..... ٤۳

۳-۱-۲) مقاومت گرانشی ناشی از شیب جاده ..... ٤۳

۳-۱-۳) مقاومت هوا ..... ٤٤

۳-۱-۴) مقاومت شتابگیری ..... ٤٤

۳-۱-۵) نیروی رانشی چرخ‌ها ..... ٤٤

۳-۱-۶) بازده سیستم انتقال قدرت ..... ٤٦

۳-۱-۷) نسبت‌های تبدیل و انتقال قدرت ..... ٤٦

۳-۱-۸) مصرف سوخت ..... ٤٩
۳-۲) نمودارهای عملکرد خودرو و جعبه‌دنده ..... ٥٠
**فصل چهارم: دیفرانسیل و اثر مرکز جرم خودرو در عملکرد خودرو** ..... ٦٢
۴-۱) آرایش سیستم انتقال قدرت در خودرو ..... ٦٣
۴-۱-۱) خودروهای محرک جلو ..... ٦٤
۴-۱-۲) خودروهای محرک عقب ..... ٦٥
۴-۱-۳) خودروهای چهار چرخ محرک ..... ٦٦
۴-۲) قالب‌ها و طراحی‌های سیستم انتقال قدرت ..... ٦٧
۴-۲-۱) قالب (ساختار) سیستم انتقال قدرت ..... ٦٨
۴-۲-۲ ) طراحی سیستم انتقال قدرت ..... ٦٨
۴-۳) ساختار اصلی جعبه‌دنده ..... ٦٩
۴-۴) تعویض دنده ..... ٦٩
۴-۴-۱) تعویض دنده با وقفه در توان ..... ٦٩
۴-۴-۲ ) تعویض دنده بدون وقفه در توان (در جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک) ..... ٧٠
۴-۵) دیفرانسیل‌ها و قفل‌های دیفرانسیل ..... ٧١
۴-۵-۱) نسبت دنده در محرک نهایی ..... ٧١
۴-۵-۲ ) روش‌های به دست آوردن نسبت دنده‌ی دیفرانسیل ..... ٧٢
۴-۶) شتاب‌گیری و شتاب‌روی خودرو ..... ٧٤
**فصل پنجم: نتیجه گیری** ..... ٨٢
نوآوری‌های این پایان نامه ..... ٨٣
پیشنهادات برای تحقیقات آتی ..... ٨٤
پیوست‌ها ..... ٨٥
**منابع و مراجع** ..... ٩٢

# فصل اول:

# مقدمه

## ۱-۱) انتقال قدرت:

به فرآیند رساندن دور و گشتاور خروجی موتور به چرخ‌ها در خودرو، انتقال قدرت می‌گویند. سیستم انتقال قدرت، وظیفه‌ی انتقال قدرت از موتور به چرخ‌های محرک و تغییر مقدار گشتاور را بر عهده دارد. اجزای سیستم انتقال قدرت عبارتند از:

• سیستم کلاچ: کلاچ یک وسیله‌ی انتقال نیرو به صورت قطع و وصل از موتور به جعبه دنده (گیربکس) است.

• جعبه‌دنده: وظیفه‌ی جعبه‌دنده تبدیل دور و گشتاور است. جعبه دنده وظیفه دارد که گشتاور (قدرت) و دور موتور را تغییر داده و به دلخواه راننده و نیاز جاده و خیابان دور را کم و قدرت را زیاد یا برعکس دور را زیاد و قدرت را کم کند. در مواقعی نیاز است تا از قدرت بیشتری جهت حرکت خودرو استفاده شود و همین‌طور نیاز می‌شود که پس از حرکت، خودرو سرعت بیشتری داشته و به حرکت خود ادامه دهد.

• میل‌کاردان: وظیفه‌ی میل‌کاردان انتقال گشتاور پیچشی جعبه‌دنده به دیفرانسیل است. میل‌کاردان در خودروهای محرک جلو به کار نمی‌رود. میل‌کاردان نیروی پیچشی زیادی تحمل می‌کند.

• دیفرانسیل: دستگاهی است که نیروی حاصله از موتور را موقعی که وسیله نقلیه به طور مستقیم و در سطح صاف حرکت می‌کند، به طور مساوی بین چرخ های عقب تقسیم می‌کند، ولی موقع دور زدن و یا چپ و راست رفتن و هنگام گردش‌ها یا در دست‌انداز نیروی موتور را به نسبت احتیاج بین چرخ‌های عقب تقسیم می‌نماید.

• پلوس(محور محرک): عضو ساده ای است که توسط اتصال هزار خاری با دیفرانسیل در گیر شده و توسط یک شفت نسبتا بلند، نیرو را به چرخ انتقال می‌دهد.

## ۱-۲) انواع جعبه‌دنده‌ها:

در یک دسته‌بندی کلی جعبه‌دنده را دو نوع در نظر می‌گیرند: جعبه‌دنده‌ی دستی و جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک.
خودروهای دارای جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک، فاقد پدال کلاچ بوده و نیاز به تعویض دنده‌ی دستی ندارد. با قراردادن دنده در حالت درایو[۱]، همه چیز به صورت خودکار عمل می‌نماید.

---

۱- Drive

سیستم انتقال قدرت دستی در حالت انتقال مستقیم بازدهی در حدود ۹۸٪ دارد، ولی در دنده‌های با نسبت انتقال پایین‌تر بازده به حدود ۹۰٪ می‌رسد. چون بیشترین زمان استفاده از خودرو، جعبه‌دنده در حالت انتقال مستقیم قدرت است. با توجه به هزینه‌ی اولیه‌ی به نسبت کمتر این سیستم جعبه‌دنده، هنوز از آنها در اکثر خودروها استفاده می‌شود. از سیستم انتقال قدرت اتوماتیک بیشتر در خودروهای گرانقیمت و کلاس‌های بالاتر استفاده می‌شود، چرا که با توجه به عملکرد ساده‌تر آن برای راننده، هزینه‌ی ساخت آن نیز بیشتر است. علاوه بر دو نوع فوق، امروزه استفاده از نسل جدیدی از سیستم انتقال قدرت به نام سیستم انتقال قدرت پیوسته‌ی متغیر نیز مورد توجه طراحان خودرو قرار گرفته است.

البته شایان ذکر است که امروزه جعبه‌دنده‌ی دیگری نیز در دنیا عرضه می‌شود که با نام‌های جعبه‌دنده‌ی نیمه‌خودکار، جعبه‌دنده‌ی دستی بدون کلاچ و جعبه‌دنده‌ی دستی عمل‌کننده به صورت اتوماتیک نیز نامیده می‌شود.

در دنیای خودروهای مسابقه‌ای جعبه‌دنده‌های نیمه‌خودکار همچون جعبه‌دنده‌های دستی بخش اصلی خودروهای مسابقه‌ای را تشکیل می‌دهد. اما در دنیای تولید وسایل نقلیه‌ی شهری استفاده از این جعبه‌دنده که دارای طراحی خاص و یک فناوری نسبتاً جدیدی می‌باشد، به تازگی مرسوم شده است.

این سیستم وظیفه‌ی دو جعبه‌دنده‌ی دستی را همزمان انجام می‌دهد. در جعبه‌دنده‌های دستی وقتی راننده می‌خواهد یک دنده را تعویض کند، باید ابتدا جریان نیرو از موتور به جعبه‌دنده را قطع کند که این کار توسط کلاچ انجام می‌شود، یعنی پدال کلاچ را تا انتها فشار دهد و سپس راننده از دسته دنده برای انتخاب دنده‌ی جدید استفاده کند. در این مرحله دندانه‌های یک چرخ‌دنده در حال حرکت با دندانه‌های چرخ‌دنده‌ی دیگر درگیر می‌شود. از یک وسیله به نام همسان‌ساز برای جلوگیری از سایش دنده‌ها قبل از اینکه درگیر شوند استفاده می‌شود. حال یک دنده‌ی جدید تعویض شده و راننده پدال کلاچ را رها می‌کند که دوباره بین موتور و جعبه‌دنده و از جعبه‌دنده به چرخ‌دنده‌ها جریان توان برقرار می‌شود. بنابراین در جعبه‌دنده‌ی دستی معمولی جریان نیرو از موتور به چرخ‌ها پیوسته نیست(نیروی تحویلی به شفت قطع و مجدداً وصل می‌شود).

به طور کلی تفاوت جعبه‌دنده‌های دستی و اتوماتیک را از چند منظر می‌توان بررسی کرد:

الف: جعبه‌دنده‌های مکانیکی دستی، تحت تاثیر نیروی دست و با فرمان راننده عمل تعویض دنده را انجام می‌دهند ولی در انتقال قدرت اتوماتیک، عمل تعویض دنده به شرایط کاری و دور خروجی از جعبه‌دنده و میزان باز بودن دریچه‌ی گاز بستگی دارد.

ب: در جعبه‌دنده‌های اتوماتیک عمل تعویض دنده بدون استفاده از سیستم کلاچ مکانیکی انجام می‌گیرد.

ج: در جعبه‌دنده‌های اتوماتیک علاوه بر شرایط اتوماتیک، امکان استفاده از شرایط جعبه‌دنده معمولی و انتقال دور به صورت دستی نیز با درگیر کردن کلید انجام‌پذیر است.

د: تفاوت اساسی بین جعبه‌دنده‌های اتوماتیک و دستی این است که جعبه‌دنده‌ی دستی با درگیر و آزاد کردن مجموعه دنده‌های مختلف به شفت خروجی، نسبت انتقال دورهای متفاوت را می‌دهد. در حالی که جعبه‌دنده اتوماتیک با همان مجموعه از دنده‌ها همه نسبت انتقال دورهای متفاوت را می‌دهد. مجموعه دنده‌های سیاره‌ای وسیله‌ای است که این کارها را در جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک مقدور می‌سازد.

یکی از بزرگترین مزیت‌های جعبه‌دنده‌های اتوماتیک این است که به طور خودکار دنده‌ها را تعویض نموده و وظایف راننده را کاهش می‌دهد و در نتیجه او مجبور نخواهد بود که در تعویض دنده‌ها مهارت خاص رانندگی را دارا باشد و متناسب با مقاومت مسیر که بستگی به وزن، سرعت و موقعیت خودرو دارد، به طور خودکار در مواقع لزوم تعویض دنده‌ها انجام می‌گردد. در جعبه‌دنده‌های معمولی بر اثر سرعت بیش از حد معمول و یا عدم ایجاد هماهنگی بین سرعت چرخ‌دنده‌ها هنگام درگیر شدن توسط یک راننده‌ی غیر ماهر باعث استهلاک سریع قطعات خواهد شد. در صورتی که در جعبه‌دنده‌های اتوماتیک راننده به یک اهرم تغییر وضعیت دنده‌ها و پدال گاز احتیاج دارد. [۲]

## ۱-۳) سیستم های کنترل کننده :

جعبه‌دنده‌های اتوماتیک دارای سیستم‌های کنترل کننده‌ای می‌باشند که اولا جعبه‌دنده را با موتور مربوط می‌سازد، بدین ترتیب که هر گونه تغییرات دور و گشتاور موتور را دقیقا به جعبه‌دنده منتقل می‌نمایند و باعث تعویض دنده‌ها می‌شوند. ثانیا ارتباط راننده با جعبه‌دنده را به وسیله‌ی اهرم تغییر وضعیت به طور دستی برقرار می‌سازد که هر کدام به نوبه‌ی خود دارای وظایفی می‌باشد:

سیستم کنترل دستی:

ارتباط راننده به جعبه‌دنده را برقرار می‌سازد و تغییر وضعیت اهرم تعویض دنده‌ها را به وسیله‌ی اتصالات آن به سوپاپ دستی واقع در بدنه سوپاپ سیستم کنترل هیدرولیکی منتقل می‌نماید.

سیستم کنترل دریچه گاز:

این سیستم، گشتاور موتور را احساس می‌کند و شامل مجموعه‌ی سوپاپ تعدیل فشار در بدنه‌ی سوپاپ سیستم کنترل هیدرولیکی می‌باشد و این سیستم اثر گشتاور ورودی را یا به وسیله‌ی اهرم‌های اتصال به

طور مکانیکی از پدال گاز به جعبه‌دنده و یا به وسیله‌ی یک اثر خلایی از زیر دریچه‌ی گاز کاربراتور به یک واحد کنترل‌کننده خلایی در بدنه‌ی جعبه‌دنده دریافت می‌کند. اگر در تعویض خودکار دنده‌ها اشکالی پیش بیاید، علاوه بر موارد فوق ارتباط‌دهنده‌ی دیگری برای جعبه‌دنده ضروری است و بدین منظور یک سیستم گاورنر پیش‌بینی شده است تا تغییرات سرعت جاده‌ای خودرو را به جعبه‌دنده منتقل نماید.

سیستم کنترل گاورنر:

این سیستم تغییرات سرعت خودرو را از دور خروجی جعبه‌دنده احساس می‌کند و مانند سیستم کنترل دریچه گاز اثر فشار هیدرولیکی را به بدنه‌ی سوپاپ سیستم کنترل هیدرولیکی می‌فرستد. این سیستم مجهز به مجموعه‌ی سوپاپ تنظیم فشار با وزنه‌های گریز از مرکز است. سیستم کنترل دستی کنترل دریچه گاز و کنترل گاورنر قسمت‌هایی از سیستم کنترل هیدرولیکی است.

سیستم کنترل هیدرولیکی:

این سیستم شامل یک پمپ هیدرولیک و سوپاپ تعدیل فشار برای تکمیل و پر کردن روغن مورد نیاز مبدل گشتاور با تجهیزات مربوطه و ارسال روغن به بدنه‌ی سوپاپ جهت تقسیم نمودن به مدارات راه‌انداز کلاچ و باند (نوار ترمز) است.

## ۱-۴) اجزای جعبه‌دنده اتوماتیک و نسبت انتقال دور:

وقتی جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک را باز کرده و به داخل آن نگاه می‌کنیم، تعداد زیادی از اجزای مختلف را در فضای نسبتاً کوچکی می‌بینیم. از جمله چیزهایی که می‌بینیم:

- مجموعه مبتکرانه‌ی دنده‌های سیاره‌ای
- مجموعه‌ای از باندها که اجزای مختلف مجموعه دنده‌ها را قفل می‌کند.
- مجموعه‌ای متشکل از سه صفحه کلاچ تر که قسمت‌های دیگر از مجموعه دنده‌ها را قفل می‌کند.
- یک سیستم هیدرولیک که کلاچ‌ها و باندها را کنترل می‌کند.
- یک پمپ دنده‌ای بزرگ که روغن را در اطراف جعبه‌دنده به حرکت در می‌آورد.

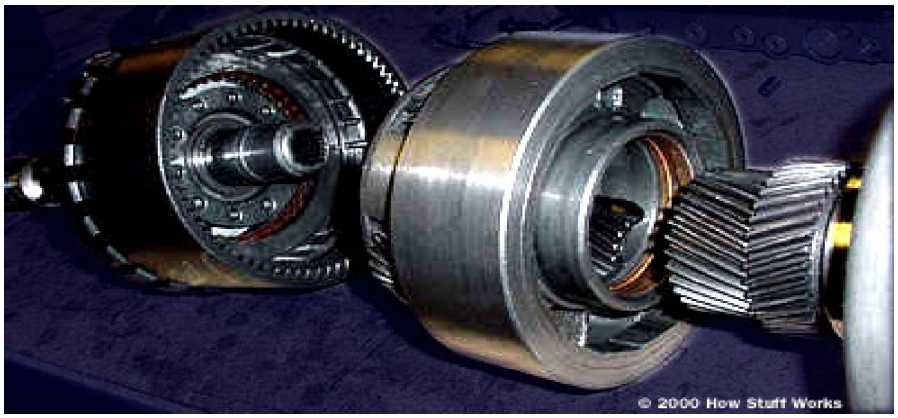
مجموعه دنده‌های سیاره‌ای قلب جعبه‌دنده‌های اتوماتیک است. این قسمت، همه‌ی نسبت‌های انتقال دور که در یک جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک قابل تولید است را به وجود می‌آورد. همه‌ی قسمت‌های دیگر که در آنجا هستند به مجموعه دنده‌های سیاره‌ای کمک می‌کنند که این کارها را انجام دهد.

دنده‌ها اساسی‌ترین قطعاتی هستند که در جعبه‌دنده‌های اتوماتیک به کار می‌روند. اساس کار جعبه‌دنده‌ها چه از نوع معمولی و چه از نوع اتوماتیک بر استفاده از دنده استوار است.

همانطور که در شکل (۱-۱) می‌بینیم، مجموعه دنده‌های سیاره‌ای متشکل از سه قسمت اصلی است:

- دنده خورشیدی
- دنده‌های سیاره‌ای و حامل دنده‌های سیاره‌ای
- دنده رینگی

هر یک از این سه قسمت می‌توانند ورودی، خروجی یا می‌توانند ثابت نگه داشته شوند. انتخاب هر قطعه نقشی را بازی می‌کند که نسبت انتقال دور برای مجموعه دنده‌ها را تعیین می‌کند. همچنین با قفل شدن دو قسمت از سه قسمت (دنده خورشیدی، دنده رینگی و حامل سیاره‌ای) در یک‌دیگر، تمام قسمت‌ها قفل خواهد شد.




شکل(۱-۱): اجزای مجموعه خورشیدی از چپ به راست دنده رینگی، حامل سیاره‌ای و دو مجموعه دنده خورشیدی

مجموعه چرخ‌دنده‌های خورشیدی یا سیاره‌ای، قادرند تا حول محور خودشان بچرخند و همزمان اطراف دنده خورشیدی دوران کنند و دارای مزایای زیر هستند:

- تمام اعضای خورشیدی روی یک محور مشترک قرار دارند.
- در این مجموعه‌ها به دلیل درگیری ثابت دنده‌ها، امکان سر و صدا و شکستن دنده‌ها به حداقل می‌رسد.
- دنده‌های خورشیدی گشتاور بیشتری را می‌توانند منتقل کنند.

جعبه‌دنده‌های اتوماتیک که در خودروهای امروزی به کار می‌روند، می‌توانند یک یا چند خورشیدی داشته باشند. در جعبه‌دنده‌های مختلف، خورشیدی دنده مستقیم، خورشیدی دنده عقب و گاهی خورشیدی‌های ۳،۲،۱ و عقب دیده می‌شود.

یک مجموعه خورشیدی می‌تواند هر یک از ۵ وظیفه‌ی زیر را انجام دهد:

الف- افزایش سرعت یا کاهش گشتاور (اورداریو)

ب- کاهش سرعت یا افزایش گشتاور (آندردرایو)

ج- انتقال مستقیم (یک به یک)

د- معکوس کردن جهت چرخش

ه- خلاص کردن

وقتی دو چرخ‌دنده با هم درگیر می‌شوند، در جهت مخالف یک‌دیگر گردش می‌کنند. برای این که دو چرخ-دنده در یک جهت بچرخند باید چرخ دنده سومی به نام چرخ دنده هرزگرد بین آنها قرار گیرد، این چرخ دنده کاری انجام نمی‌دهد و تنها جهت دور را عکس می‌کند.

با استفاده از یک چرخ‌دنده‌ی کوچک خارجی که درون یک چرخ‌دنده‌ی بزرگ داخلی قرار می‌گیرد، می‌توان دو چرخ دنده دیگر را به گردش هم جهت واداشت، با قرار دادن چرخ‌دنده‌ی دیگری در وسط و درگیر کردن آن با چرخ‌دنده‌ی خارجی، یک دست چرخ‌دنده‌ی سیاره‌ای یا خورشیدی ایجاد می‌شود[۳].

**طرز کار مجوعه خورشیدی:**

اگر یک عضو از مجموعه خورشیدی ثابت شود و عضو دیگر بچرخد، حاصل کار افزایش سرعت، کاهش گشتاور و یا کاهش سرعت و حرکت معکوس خواهد بود. نتیجه‌ی کار بستگی به این دارد که کدام عضو ثابت بماند و یا کدام عضو بچرخد. در این رابطه موارد زیر را بررسی می‌کنیم.

۱- افزایش سرعت ۱: اگر خورشیدی ثابت بماند و قفسه بچرخد، نتیجه افزایش سرعت خواهد بود.

۲- افزایش سرعت ۲: اگر رینگی ثابت شود و قفسه بچرخد، در نتیجه خورشیدی سریع‌تر از قفسه می‌چرخد و حاصل افزایش سرعت است.

۳- کاهش سرعت: اگر چرخ‌دنده‌ی رینگی بچرخد و خورشیدی ثابت باشد، قفسه آهسته‌تر می‌گردد. این حالت دنده دو است.

۴- دنده عقب: اگر قفسه ثابت باشد و خورشیدی بچرخد، هرزگردها هرز می‌گردند و رینگی را در جهت عکس می‌چرخاند.

۵- انتقال مستقیم: اگر دو عضو به هم قفل شوند و یا با سرعت مساوی بچرخند، مجموعه چرخ‌دنده‌های خورشیدی به صورت یک واحد عمل می‌کنند و نسبت دور ۱ می‌شود.

۶- خلاص: وقتی هیچ کلاچی درگیر نباشد و هیچ بست و یا قفل‌کننده‌ای درگیر نباشد و هیچ باری بر موتور وارد نشود.

**دنده‌های جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک:**

الف) دنده یک:

در دنده یک، دنده خورشیدی کوچک در جهت عقربه‌های ساعت به وسیله‌ی توربین مبدل گشتاور چرخانده می‌شود. حامل سیاره‌ای در خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد، اما توسط کلاچ یک طرفه که فقط می‌تواند در جهت عقربه‌های ساعت بچرخد نگه داشته می‌شود و دنده رینگی شفت خروجی را می‌چرخاند.

مجموعه سیاره‌ای اول با مجموعه سیاره‌ای دوم درگیر شده و مجموعه دوم دنده رینگی را می‌چرخاند. این ترکیب جهت را در حالت عکس عوض می‌نماید.

ب) دنده دو:

جعبه‌دنده، بعضی از بخشها را برای به دست آوردن نسبت مورد نیاز برای دنده دو هماهنگ می‌سازد و شبیه دو مجموعه دنده سیاره‌ای عمل می‌کند که با یک حامل سیاره‌ای مشترک به یکدیگر متصل شده‌اند.

در این مرحله حامل سیاره‌ای، دنده خورشیدی بزرگ را به عنوان دنده رینگی به کار گرفته و در واقع این مرحله شامل دنده خورشیدی کوچکتر، حامل سیاره‌ای و دنده رینگی (دنده خورشیدی بزرگتر) است.

دنده خورشیدی کوچکتر ورودی، دنده رینگی ثابت بوده و توسط باندها نگه داشته شده و حامل سیاره‌ای خروجی می‌باشد. در این مرحله دنده خورشیدی به عنوان ورودی، حامل سیاره‌ای به عنوان خروجی و دنده رینگی ثابت است.

در مرحله دوم، حامل سیاره‌ای به عنوان ورودی برای مجموعه سیاره‌ای دوم عمل می‌نماید. دنده خورشیدی بزرگ که ثابت نگه داشته شده، به عنوان خورشیدی عمل نموده و دنده رینگی به عنوان خروجی عمل می‌کند.

برای کاهش دور دنده دو، مرحله‌ی اول را در مرحله‌ی دوم ضرب نموده تا نسبت دور کاهشی به دست آید.

ج) دنده سه:

بیشتر جعبه‌دنده‌های اتوماتیک در دنده سه، نسبت انتقال دور ۱ دارند. برای ایجاد نسبت دور خروجی ۱ باید دو بخش از سه بخش مجموعه دنده‌های سیاره‌ای قفل شوند. این ترتیب قرار گرفتن دنده‌ها ساده‌تر است. با درگیرشدن کلاچ، دنده خورشیدی و توربین، قفل می‌شوند.

در صورت چرخش دو دنده خورشیدی در یک جهت، حامل سیاره‌ای قفل می‌شود و دنده رینگی را با سیاره-ای قفل می‌نماید و سبب می‌شود مانند یک شی واحد بچرخد و نسبت ۱ تولید کند.

د) اوردرایو:

اوردرایو یعنی شفت خروجی سریعتر از شفت ورودی می‌چرخد که باعث افزایش سرعت می‌شود. به منظور افزایش بازده، بعضی خودروها مکانیزم قفل مبدل گشتاور دارند، زیرا خروجی موتور مستقیماً وارد جعبه‌دنده می‌شود.

در این جعبه‌دنده موقعی که از اوردرایو استفاده می‌شود، شفتی که به پوسته‌ی مبدل گشتاور (که به فلایویل موتور پیچ شده) متصل شده، به وسیله‌ی کلاچ به حامل سیاره‌ای وصل می‌شود. دنده خورشیدی کوچک آزادانه و خلاص می‌چرخد و دنده خورشیدی بزرگ توسط باندهای اوردرایو نگه داشته می‌شود. چیزی به توربین متصل نبوده و تنها ورودی از پوسته‌ی مبدل گشتاور است. در این مرحله حامل سیاره‌ای ورودی، دنده خورشیدی ثابت و دنده رینگی خروجی است.

ه) دنده عقب:

دنده عقب بسیار شبیه به دنده یک است، با این تفاوت که به جای دنده خورشیدی کوچک که توسط توربین مبدل گشتاور رانده می‌شود، دنده خورشیدی بزرگ به حرکت درمی‌آید و دنده خورشیدی کوچک در جهت مخالف، خلاص چرخیده و حامل سیاره‌ای توسط باندهای دنده عقب نگه داشته می‌شود.

بنابراین نسبت انتقال دور در دنده عقب، کمی کمتر از حالت دنده یک در این جعبه‌دنده است.

**انواع چرخ‌دنده‌های خورشیدی:**

در جعبه‌دنده‌های امروزی از دو نوع مجموعه چرخ‌دنده‌ی خورشیدی استفاده می‌شود:

مجموعه چرخ‌دنده‌ی سیاره‌ای سیمپسون: این مجموعه چرخ‌دنده، دو دست سیاره‌ای جداگانه دارد. هر یک از خورشیدی‌ها به صورت جداگانه با رینگی و قفسه درگیر است.

مجموعه چرخ‌دنده‌ی سیاره‌ای راوینیو: این مجموعه چرخ‌دنده، یک چرخ‌دنده‌ی رینگی و دو دست هرزگرد دارد و دارای دو خورشیدی جلو و عقب می‌باشد. این مجموعه را خورشیدی مرکب می‌گویند.

## ۱-۵) نقش تعداد نسبت دنده‌ها در عملکرد جعبه‌دنده:

اغلب خودروهای دهه‌ی پنجاه دارای جعبه‌دنده‌ی سه سرعته یا سه دنده بودند که دنده یک آنها نیز غیر سنکرونیزه بود، یعنی برای اینکه بتوان خودرو را در دنده یک قرار داد می‌بایست آن را کاملاً متوقف می‌کردند. سیر تکاملی در طراحی و ساخت خودروها منجر به تولید جعبه‌دنده‌های چهارسرعته یا چهار دنده در دهه‌ی شصت میلادی شد که باز هم دنده یک آنها غیر سنکرونیزه بود. امروزه پیشرفت در زمینه‌ی جعبه دنده به حدی رسیده که در بعضی خودروها دیگر تعداد ضرایب دنده در جعبه‌دنده نامحدود است. پیشرفت‌های انجام شده در زمینه‌ی جعبه‌دنده به همین مورد خاتمه پیدا نکرده و نمونه‌های دیگری نیز وجود دارند که از جمله جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک هفت سرعته در «مرسدس بنز ۵۰۰ SL» و جعبه‌دنده‌ی شش دنده اتوماتیک در «ب ام و» را می‌توان نام برد. در کنار مواردی که ذکر آنها آمد، می‌توان به جعبه‌دنده‌ی شش دنده دستی در «مینی کوپه اس» و «مزدای میاتا» نیز اشاره نمود. حال این سؤال پیش می‌آید که واقعاً ما به عنوان راننده چند دنده در جعبه‌دنده را می‌خواهیم؟ بعضی از افراد تصور می‌کنند که در نظر گرفتن بیش از چهار دنده در یک جعبه-دنده‌ی اتوماتیک بیشتر جنبه‌ی بازاریابی و جلب مشتری دارد و استدلال این افراد این است که وجود چهار دنده در جعبه‌دنده قابلیت‌های لازم را ایجاد می‌کند. اما گروه دیگری بر این باورند که وجود دنده‌های بیشتر در جعبه‌دنده منافع زیادی را در زمینه‌های شتاب بهتر، میزان مواد آلاینده‌ی خروجی کمتر و مصرف سوخت پایین‌تر برای خودرو و دارنده‌ی آن به ارمغان می‌آورد. وجود ضرایب بیشتر در جعبه‌دنده باعث تقسیم یکنواخت‌تر آنها در حد فاصل بین بالاترین و پایین‌ترین دنده می‌شود[۴].

فصل دوم:

# بهینه‌سازی نسبت دنده‌ها و محاسبه‌ی تعداد دندانه‌ها

در فصل اول کلیاتی در مورد جعبه‌دنده‌های دستی و اتوماتیک ارائه و ساختار و طرز کار آنها تا حدودی مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل ابتدا به شرح روش‌های محاسبه‌ی نسبت دنده در جعبه‌دنده‌ی دستی می-پردازیم و دو روش هندسی و تصاعدی را بررسی می‌نماییم و سپس به بهینه‌سازی نسبت دنده در این جعبه-دنده‌ها خواهیم پرداخت. سپس نحوه‌ی محاسبه‌ی نسبت دنده در جعبه‌دنده‌ی اتوماتیک را شرح می‌دهیم. در خاتمه با توجه به معادلات و محدودیت‌های مربوط به آنها با توجه به معیارهای بهینه‌سازی به بررسی نحوه‌ی بهینه‌سازی خواهیم پرداخت.

برای بهینه‌سازی معیارها و روش‌های متعددی وجود دارد که ما از دو معیار مختلف استفاده می‌کنیم.

در معیار اول که هدف رسیدن به نسبت سرعت‌های مطلوب است و برای جعبه‌دنده‌های اتوماتیک استفاده خواهیم کرد، از روش شبکه‌ی عصبی و الگوریتم ژنتیک استفاده خواهیم کرد و نتایج آن را مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد. با استفاده از محیط نرم‌افزار متلب و استفاده از روش شبکه‌ی عصبی سیستم مورد نظر را مدل‌سازی می‌کنیم و نتایج این مدل‌سازی‌ها را به صورت نمودارهایی خواهیم دید که این نمودارها گواهی برای دقت شبکه‌ی عصبی استفاده شده می‌باشد. سپس با استفاده از نرم‌افزار متلب و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک مقادیر بهینه‌ی نسبت سرعت و نسبت دنده به دست می‌آید. خواهیم دید که چندین دسته از این نسبت دنده‌های بهینه به دست می‌آید و ما به کمک الگوریتم ژنتیک دیگری بهینه‌ترین نسبت دنده را می‌یابیم و تعداد دندانه‌های هر چرخ‌دنده با استفاده از آن محاسبه می‌شود. روش محاسبات و مدل-سازی ارائه شده، روش بسیار دقیق و مفیدی است و نتایج به‌دست آمده با کمترین مقدار خطا و بسیار دقیق و بهینه به‌دست می‌آید.

در معیار دوم هدف مینیمم کردن توان اتلافی است که به کمک برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب برای جعبه دنده‌های دستی و اتوماتیک بهینه‌ترین نسبت دنده‌ها را به دست می‌آوریم.

در انتهای فصل به بررسی مقادیر به‌دست آمده می‌پردازیم و نتایج را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم.

## ۲-۱) نسبت دنده در جعبه‌دنده‌های دستی:

معمولا نسبت دنده در جعبه‌دنده‌های دستی از دو روش هندسی یا تصاعدی به‌دست می‌آید که این دو روش را در ذیل مورد بررسی قرار می‌دهیم:

### الف)روش هندسی:

در این روش نسبت دنده‌ی $\varphi$، بین هر یک از دنده‌ها همواره دارای مقدار ثئوری یکسانی است.