

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی برق - قدرت

## پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق - گرایش قدرت

عنوان:

استفاده از روش المان محدود جهت تحلیل و  
طراحی گیربکس مغناطیسی با عملکرد ارتقاء یافته

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا محمدی

استاد مشاور:

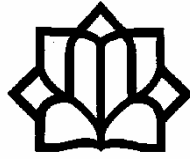
دکتر آرش کیومرثی

توسط:

محمدحسن عسکری

شهریور ماه ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی برق - قدرت

## پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق - گرایش قدرت

عنوان:

استفاده از روش المان محدود جهت تحلیل و  
طراحی گیربکس مغناطیسی با عملکرد ارتقاء یافته

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا محمدی

استاد مشاور:

دکتر آرش کیومرثی

توسط:

محمدحسن عسکری

شهریور ماه ۱۳۹۲



دانشگاه کاشان  
دانشکده مهندسی

بسمه تعالی

تاریخ:  
شماره:  
پوسته:

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صور جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی: محمد حسن عسکری	شماره دانشجویی: ۹۰۱۲۵۱۶۰۱۷
رشته: مهندسی برق- قدرت	دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر
عنوان پایان نامه:	
استفاده از روش المان محدود جهت تحلیل و طراحی گیربکس مغناطیسی با عملکرد ارتقاء یافته	
تعداد واحد پایان نامه: ۶ واحد	تاریخ دفاع: ۱۳۹۴/۶/۳۱

این پایان نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارائه می گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۱۳۹۴/۶/۳۱ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹- و درجه ۵/۵ به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر حمید رضا محمدی	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر آرش کیومرثی	دانشیار	
۳- استاد داور داخل دانشگاه	دکتر سید عباس طاهر	دانشیار	
۴- استاد داور داخل دانشگاه	دکتر پاک گلچی	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر سید عباس طاهر	دانشیار	

دکتر محمدرضا منصور نیا  
مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه کاشان

آدرس: کاشان، بلوار قطب راندی

کدپستی: ۵۱۱۶۷-۸۷۳۱۷

تلفن: ۵۵۵۲۳۰-۵۵۵۲۳۰ و رنکار: ۵۵۵۲۳۰

http://www.kashanu.ac.ir

تقدیم بہ

پیشگاہ حضرت ولی عصر (عج)

پاسکزاری:

از استاد بزرگوار، جناب آقای دکتر حمید رضا محمدی، نهایت سپاس و قدردانی را می‌نمایم، چرا که باره‌مانی‌های ارزشمندشان، همچون چراغی قاط تاریک و مبهم را برای من روشن ساخته و می‌موند این راه را آسان‌تر نمودند.

از جناب آقای دکتر آرش کیومرثی که تجارب گرانماییشان را در اختیار اینجانب قرار داده و مشاوره‌های بنده در تهیه این پایان‌نامه را تقبل کردند، کمال قدردانی را دارم.  
از جناب آقای دکتر عباس طاهر و جناب آقای دکتر بابک کنجی بخاطر قبول زحمت داوران این پایان‌نامه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از خانواده خود، به خصوص پدر و مادر بزرگوار و همسر عزیزم که همواره مشوق من بودند و در این مدت همکاری لازم را مبذول داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

## چکیده:

جعبه‌دنده‌ها کاربردهای گسترده‌ای به منظور انتقال گشتاور و تنظیم سرعت در صنایع مختلف دارند. با پیدایش آهن‌رباهای قوی مفهوم انتقال گشتاور بواسطه‌ی اتصال دنده‌ها از طریق برهم‌کنش میدان‌های مغناطیسی ایجاد شده توسط آهن‌ربای دائم مطرح شد. به این نوع جعبه‌دنده‌ها، جعبه‌دنده‌های مغناطیسی گفته می‌شود.

جعبه‌دنده‌های مغناطیسی نسل اول شباهت بسیاری به جعبه‌دنده‌های مکانیکی داشتند و حاوی آهن‌ربای دائمی بودند که بر روی دو شفت به صورت جداگانه نصب می‌شدند. چگالی گشتاور انتقالی توسط این نسل از جعبه‌دنده‌ها کم بود. به دلیل چگالی گشتاور کم و بازده پایین این نوع جعبه‌دنده‌ها مورد توجه قرار نگرفتند. نسل دوم جعبه‌دنده‌های مغناطیسی جعبه‌دنده‌های هم‌محور بودند. در این نسل برای انتقال گشتاور، تمام آهن‌رباهای جعبه‌دنده به طور همزمان مورد استفاده قرار می‌گرفتند و به همین دلیل در مقایسه با جعبه‌دنده‌های مکانیکی دارای مزایای خاصی بودند. حداقل میزان نویز، حفظ و نگهداری ساده، قابلیت اطمینان بالا، حفاظت اضافه بار به صورت طبیعی و جدا بودن شفت ورودی از شفت خروجی از مزایای جعبه‌دنده‌های مغناطیسی نسل دوم هستند.

هدف از این پایان‌نامه ارائه‌ی مدل جدیدی از جعبه‌دنده‌های مغناطیسی با قابلیت دارا بودن نسبت دور متغیر می‌باشد. از اینرو ابتدا به معرفی جعبه‌دنده‌های مغناطیسی و اصول بنیادی آنها پرداخته شده است. مدل پیشنهادی برای اولین بار ارائه و به روش مدار معادل مغناطیسی تحلیل و همچنین به روش اجزاء محدود در نرم‌افزار ANSYS شبیه‌سازی شده است. نتایج حاصل از هر دو روش صحت طراحی را اثبات می‌نماید.

کلمات کلیدی: جعبه‌دنده مغناطیسی - نسبت دور متغیر - آهن‌ربای دائم - روش

اجزاء محدود

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- کلیات
۵	۲-۱- مرور کارهای گذشته
۱۲	۳-۱- اهداف تحقیق
۱۳	فصل دوم: مفاهیم و اصول عملکرد جعبه‌دنده‌های مغناطیسی
۱۳	۱-۲- اصول عملکرد جعبه‌دنده مغناطیسی نسل اول
۲۰	۲-۲- اصول عملکرد جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل دوم
۲۰	۱-۲-۲- مبنا و اصول بنیادی عملکرد
۲۴	۲-۲-۲- نحوه عملکرد
۲۵	۳-۲-۲- تحلیل رفتار یک جزء از جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی
۲۷	۴-۲-۲- مدل پیشرفته‌تر از جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل دوم
۲۷	۱-۲-۴-۱- انواع آهن‌ربای دائم
۳۲	۲-۲-۴-۲- آخرین مدل جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل دوم
۳۷	۳-۲- اصول عملکرد جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل سوم
۴۰	فصل سوم: طراحی جعبه‌دنده مغناطیسی با نسبت دور متغیر
۴۰	۱-۳- مقدمه
۴۱	۲-۳- ایده و طرح جدید پیشنهادی



۴۹	<b>فصل چهارم: نتایج شبیه‌سازی</b>
۴۹	۴-۱- آشنایی با روش اجزاء محدود
۵۲	۴-۲- انتخاب نوع المان در تحلیل به روش اجزاء محدود
۵۳	۴-۳- مراحل انجام تحلیل و نتایج شبیه‌سازی
۵۴	۴-۳-۱- تحلیل به روش مدار معادل مغناطیسی
۵۸	۴-۳-۲- تحلیل به روش اجزاء محدود
۷۸	<b>فصل پنجم: نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات</b>
۷۸	۵-۱- نتیجه‌گیری
۷۹	۵-۲- پیشنهاد جهت ادامه کار
۸۰	<b>مراجع و منابع</b>
۸۴	ضمائم
۸۴	ضمیمه‌ی الف: ابعاد دقیق جعبه‌دنده مغناطیسی طراحی شده
۸۵	ضمیمه‌ی ب: مشخصات آهن‌ربا و آهن هسته‌ی استاتور و روتور
۸۶	ضمیمه‌ی ج: قسمت‌های از کدهای نوشته شده برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی جعبه‌دنده مغناطیسی

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۶۹	جدول (۱-۴): تحلیل هارمونیکی منحنی‌های گشتاور
۷۷	جدول (۲-۴): مقایسه نتایج چند نقطه از جعبه‌دنده با روش مدار معادل مغناطیسی و اجزاء محدود

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل (۱-۱): انواع جعبه‌دنده‌های مکانیکی؛ الف: چرخ دنده‌دار ب: دنده‌ی داخلی ج: میله دندانه‌دار د: دنده‌ی سیاره‌ای
۸	شکل (۲-۱): مدل‌های اولیه از جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی الف: چرخ دنده‌دار ب: دنده‌ی حلقه-ی داخلی ج: میله‌ی دندانه‌دار د: دنده‌ی خورشیدی
۹	شکل (۳-۱): اتصال مغناطیسی هم‌محور الف: نمای بالایی ب: نمای کناری
۱۱	شکل (۴-۱): جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی هم‌محور با آهن‌رباهای دایره‌ای بر روی لبه‌ی هر دو روتور
۱۲	شکل (۵-۱): جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی هم‌محور با آهن‌رباهای مستطیلی بر روی روتور داخلی
۱۴	شکل (۱-۲): نمونه‌ی پیشرفته از جعبه‌دنده‌ی مکانیکی
۱۵	شکل (۲-۲): جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل اول
۱۶	شکل (۳-۲): نحوه‌ی عملکرد جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل اول
۱۷	شکل (۴-۲): نحوه‌ی اتصال اصلی جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل اول
۱۸	شکل (۵-۲): مدل جدید جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل اول با قابلیت‌های مختلف
۱۹	شکل (۶-۲): کاربرد جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل اول در صنعت
۲۱	شکل (۷-۲): سیستم ساده شده‌ای از جعبه‌دنده
۲۳	شکل (۸-۲): ساختار چهار قطب برای سه جزء
۲۳	شکل (۹-۲): ساختار دو قطب تک جزء با جزئیات بیشتر

- شکل (۲-۱۰): جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی هم محور با آهن‌رباهای دایره‌ای بر روی لبه‌ی هر دو روتور
- شکل (۲-۱۱): یکی از ساختارهای جعبه‌دنده‌ی مغناطیسی نسل سوم
- شکل (۳-۱): خطوط شار بدون اثر روتور داخلی ناشی از سیم‌پیچ
- شکل (۳-۲): خطوط شار بدون اثر روتور داخلی ناشی از آهن‌ربا
- شکل (۴-۱): نمای کلی المان *plane53*
- شکل (۴-۲): مدار معادل استخراج شده از جعبه‌دنده مغناطیسی
- شکل (۴-۳): مدار معادل ساده شده
- شکل (۴-۴): مدل ایجاد شده بعد از تخصیص مواد
- شکل (۴-۵): مدل پیشنهادی بعد از شبکه بندی
- شکل (۴-۶): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $0^\circ$
- شکل (۴-۷): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $3^\circ$
- شکل (۴-۸): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $6^\circ$
- شکل (۴-۹): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $9^\circ$
- شکل (۴-۱۰): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $12^\circ$
- شکل (۴-۱۱): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $15^\circ$
- شکل (۴-۱۲): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $18^\circ$
- شکل (۴-۱۳): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $21^\circ$
- شکل (۴-۱۴): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $24^\circ$
- شکل (۴-۱۵): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $27^\circ$
- شکل (۴-۱۶): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $30^\circ$
- شکل (۴-۱۷): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $33^\circ$
- شکل (۴-۱۸): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $36^\circ$
- شکل (۴-۱۹): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $39^\circ$
- شکل (۴-۲۰): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $42^\circ$
- شکل (۴-۲۱): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $45^\circ$
- شکل (۴-۲۲): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $48^\circ$

- شکل (۴-۲۳): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $51^\circ$  ۶۷
- شکل (۴-۲۴): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $54^\circ$  ۶۷
- شکل (۴-۲۵): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $57^\circ$  ۶۷
- شکل (۴-۲۶): خطوط شار با دوران لایه داخلی در موقعیت  $60^\circ$  ۶۸
- شکل (۴-۲۷): گشتاور برای لایه میانی و لایه درونی با نسبت دور  $3/67$  ۷۰
- شکل (۴-۲۸): گشتاور برای لایه میانی و لایه درونی با نسبت دور  $1/22$  ۷۰
- شکل (۴-۲۹): گشتاور برای لایه میانی و لایه درونی با نسبت دور  $0/73$  ۷۱
- شکل (۴-۳۰): آرایشی از مدل پیشنهادی ۷۱
- شکل (۴-۳۱): چگالی شار زیر قطب ۷۲
- شکل (۴-۳۲): جهت عبور شار در لایه میانی در موقعیت  $0^\circ$  ۷۳
- شکل (۴-۳۳): جهت عبور شار در لایه میانی در موقعیت  $8/5^\circ$  ۷۳
- شکل (۴-۳۴): جهت عبور شار در لایه میانی در موقعیت  $17/5^\circ$  ۷۴
- شکل (۴-۳۵): جهت عبور شار در لایه میانی در موقعیت  $26^\circ$  ۷۴
- شکل (۴-۳۶): جهت عبور شار در لایه میانی در موقعیت  $34/5^\circ$  ۷۵
- شکل (۴-۳۷): جهت عبور شار در لایه میانی در موقعیت  $43^\circ$  ۷۵
- شکل (۴-۳۸): جهت عبور شار در لایه میانی در موقعیت  $51/5^\circ$  ۷۶
- شکل (۴-۳۹): جهت عبور شار در لایه میانی در موقعیت  $60^\circ$  ۷۶
- شکل (۴-۴۰): چگالی شار بدست آمده از روش اجزاء محدود ۷۷

## فهرست علائم اختصاری

$N_1$	تعداد دندانهای چرخ دنده‌ی اول
$N_2$	تعداد دندانهای چرخ دنده‌ی دوم
$R_1$	شعاع چرخ دنده‌ی اول
$R_2$	شعاع چرخ دنده‌ی دوم
$\omega_1$	سرعت چرخ دنده‌ی اول
$\omega_2$	سرعت چرخ دنده‌ی دوم
$v_2$	سرعت خطی چرخ دنده‌ی دوم
$\omega_r$	سرعت چرخش چرخ دنده‌ی حلقه‌ای
$\omega_c$	سرعت چرخش چرخ دنده‌ی حمل کننده
$\omega_s$	سرعت چرخش چرخ دنده‌ی خورشیدی
$R_r$	شعاع دنده‌ی حلقه‌ای
$R_s$	شعاع دنده‌ی خورشیدی
$k$	نسبت شعاع دنده‌ی حلقه‌ای به شعاع دنده‌ی خورشیدی
$T_L$	گشتاور بار
$T_i$	گشتاور ورودی
$F_A$	نیرو در نقطه‌ی A
$F_B$	نیرو در نقطه‌ی B
$F_C$	نیرو در نقطه‌ی C
$F_D$	نیرو در نقطه‌ی D
$R_i$	شعاع چرخ دنده‌ی داخلی
$R_o$	شعاع چرخ دنده‌ی خارجی
$N_i$	تعداد دندانان در لایه‌ی داخلی
$N_o$	تعداد دندانان در لایه‌ی خارجی
$n_c$	تعداد سیم پیچ

$\mu_0$	ضریب نفوذپذیری هوا
$L_{ax}$	طول محوری هر جزء
$g_i$	فاصله هوایی داخلی
$t_i$	عرض دندانهای داخلی
$R_i$	شعاع لایه‌ی داخلی
$\theta_i$	مقدار جابجایی لایه‌ی داخلی تا موقعیت همراستایی
$g_o$	فاصله هوایی خارجی
$t_o$	عرض دندانهای خارجی
$R_o$	شعاع لایه‌ی خارجی
$\theta_o$	مقدار جابجایی لایه‌ی خارجی تا موقعیت همراستایی
$S$	رلوکتانس
$i$	جریان
$N_t$	تعداد دور کل
$\alpha_o$	جابجایی پریونیت شده اعضای المان خارجی
$\alpha_i$	جابجایی پریونیت شده اعضای المان داخلی
$B_r$	مولفه‌ی شعاعی چگالی شار
$b_{rm}$	ضریب فوریه‌ی مولفه‌ی شعاعی
$p$	تعداد جفت قطب داخلی
$m$	اعداد حسابی
$\Omega_r$	سرعت دورانی روتور
$\lambda_{r0}$	ضرایب فوریه وابسته به مولفه‌ی شعاعی
$\lambda_{rj}$	ضرایب فوریه وابسته به مولفه‌ی شعاعی
$n_s$	تعداد قطعات ماده‌ی فرومغناطیس در لایه‌ی میانی
$B_\theta$	مولفه‌ی زاویه‌ای چگالی شار
$b_{\theta m}$	ضریب فوریه‌ی مولفه‌ی زاویه‌ای
$\lambda_{\theta 0}$	ضرایب فوریه وابسته به مولفه‌ی زاویه‌ای
$\lambda_{\theta j}$	ضرایب فوریه وابسته به مولفه‌ی زاویه‌ای
$p_{m,k}$	تعداد جفت قطب لایه‌ی خارجی

$\Omega_{m,k}$	سرعت دورانی لایه‌ی خارجی
$G_r$	نسبت دور گیربکس
$R_1$	مقاومت مغناطیسی مربوط به قطعه‌ی فرومغناطیس
$L_1$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به قطعه‌ی فرومغناطیس
$A_1$	سطح مقطع مقاومت مغناطیسی مربوط به قطعه‌ی فرومغناطیس
$R_2$	مقاومت مغناطیسی مربوط به قطعه‌ی فرومغناطیس با سطح مقطع متفاوت
$L_2$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به قطعه‌ی فرومغناطیس با سطح مقطع متفاوت
$A_2$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به قطعه‌ی فرومغناطیس با سطح مقطع متفاوت
$R_3$	مقاومت مغناطیسی مربوط به لایه‌ی میانی از جنس آهن
$L_3$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به لایه‌ی میانی از جنس آهن
$A_3$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به لایه‌ی میانی از جنس آهن
$R_4$	مقاومت مغناطیسی مربوط به دندانه‌ی لایه‌ی خارجی از جنس فرومغناطیس
$L_4$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به دندانه‌ی لایه‌ی خارجی از جنس فرومغناطیس
$A_4$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به دندانه‌ی لایه‌ی خارجی از جنس فرومغناطیس
$R_5$	مقاومت مغناطیسی مربوط به دندانه‌ی لایه‌ی خارجی از جنس فرومغناطیس با سطح مقطع متفاوت
$L_5$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به دندانه‌ی لایه‌ی خارجی از جنس فرومغناطیس با سطح مقطع متفاوت
$A_5$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به دندانه‌ی لایه‌ی خارجی از جنس فرومغناطیس با سطح مقطع متفاوت
$R_6$	مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس
$L_6$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس



$A_6$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس
$R_7$	مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس با طول متفاوت
$L_7$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس با طول متفاوت
$A_7$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس با طول متفاوت
$R_8$	مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس با طول متفاوت
$L_8$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس با طول متفاوت
$A_8$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به یوغ در لایه خارجی از جنس فرومغناطیس با طول متفاوت
$R_{g1}$	مقاومت مغناطیسی مربوط به فاصله‌ی هوایی داخلی
$L_{g1}$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به فاصله‌ی هوایی داخلی
$A_{g1}$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به فاصله‌ی هوایی داخلی
$R_{g2}$	مقاومت مغناطیسی مربوط به فاصله‌ی هوایی خارجی
$L_{g2}$	طول مقاومت مغناطیسی مربوط به فاصله‌ی هوایی خارجی
$A_{g2}$	ناحیه عبور شار مقاومت مغناطیسی مربوط به فاصله‌ی هوایی خارجی
$F$	نیروی محرکه مغناطیسی ناشی از آهن ربای دائم
$R_{eq1}$	مقاومت معادل لایه‌ی میانی
$R_{eq2}$	مقاومت معادل لایه‌ی خارجی
$R_{tot}$	مقاومت معادل کل مدار

$\varphi$	شار عبوری از فاصله هوایی
$B_{g1}$	چگالی شار فاصله هوایی داخلی
$B_6$	چگالی شار در یوغ لایه‌ی خارجی
$G$	گاوس
$0e$	اورستد

## مقدمه

### ۱-۱- کلیات

در این پایان‌نامه ارائه‌ی مدل جدید از جعبه‌دنده‌ی الکترومغناطیسی مورد توجه قرار گرفته است. لذا در ابتدا لازم است برای فهم بهتر مساله مقدمه‌ی مختصری در رابطه با جعبه‌دنده‌های مکانیکی و بدنبال آن جعبه‌دنده‌های مغناطیسی بیان شود. همان‌طور که می‌دانید جعبه‌دنده‌های مکانیکی در صنعت به منظور تطبیق سرعت منبع و بار به‌طور مثال موتور اتومبیل مورد استفاده قرار می‌گیرند. از اینرو جعبه‌دنده‌ی مکانیکی را می‌توان نماد صنایع مدرن دانست. بر این اساس جعبه‌دنده‌های مکانیکی به منظور انتقال گشتاور یا نیرو و همچنین تغییر در سرعت و جهت چرخش مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر جعبه‌دنده از تعدادی چرخ‌دنده که با یکدیگر درگیر می‌باشند تشکیل شده است. در شکل (۱-۱) چهار نوع از

جعبه‌دنده‌های مکانیکی نشان داده شده است. تمام این جعبه‌دنده‌ها شامل چندین قسمت متحرک می‌باشند که بوسیله‌ی دندانه‌هایی که در لبه‌های خود دارند با یکدیگر در اتصال هستند. چگالی گشتاور یکی از معیارهای مهم برای ارزیابی عملکرد جعبه‌دنده‌ی مکانیکی است. این معیار که از نسبت حداکثر گشتاور تولیدی بر اندازه‌ی حجم بدست می‌آید ظرفیت انتقال گشتاور را نشان می‌دهد. مهندسان مکانیک برای افزایش چگالی گشتاور بر روی طرح‌های مختلفی از جمله بهبود شکل دندانه‌های فلزی و انتخاب فلزات مخصوص با استحکام بالا تمرکز کرده‌اند.

با توجه به نحوه‌ی چیدمان و شکل دنده‌ها نحوه‌ی حرکت آنها نیز متفاوت است. برای چرخ دنده‌ی نشان داده شده در شکل (۱-۱-الف) سرعت چرخش دو صفحه در رابطه‌ی (۱-۱) نشان داده شده است.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1-1)$$

در اینجا  $R_2, R_1, N_2, N_1$  نشان‌دهنده‌ی تعداد دندانه‌ها و شعاع دو صفحه می‌باشند و همانگونه که از جهت  $\omega_1$  و  $\omega_2$  مشخص است دو صفحه در یک جهت می‌چرخند (چپگرد). برای دنده‌ی داخلی نشان داده شده در شکل (۱-۱-ب) سرعت چرخش دو صفحه از رابطه‌ی (۲-۱) محاسبه می‌شود.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{N_2}{N_1} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2-1)$$

در این حالت دو صفحه در جهت خلاف یکدیگر می‌چرخند. میله‌ی دنده‌دار و چرخ دنده‌ی کوچک نشان داده شده در شکل (۱-۱-ج) به منظور تبدیل حرکت چرخشی به حرکت