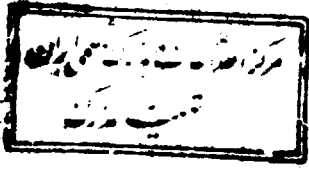


۲۷۵۰۱



**دانشگاه علم و صنعت ایران**  
**دانشکده مهندسی برق**

**کاهش تلفات در سیستمهای توزیع**  
**با جایابی بهینه خازن به روش منطق فازی**

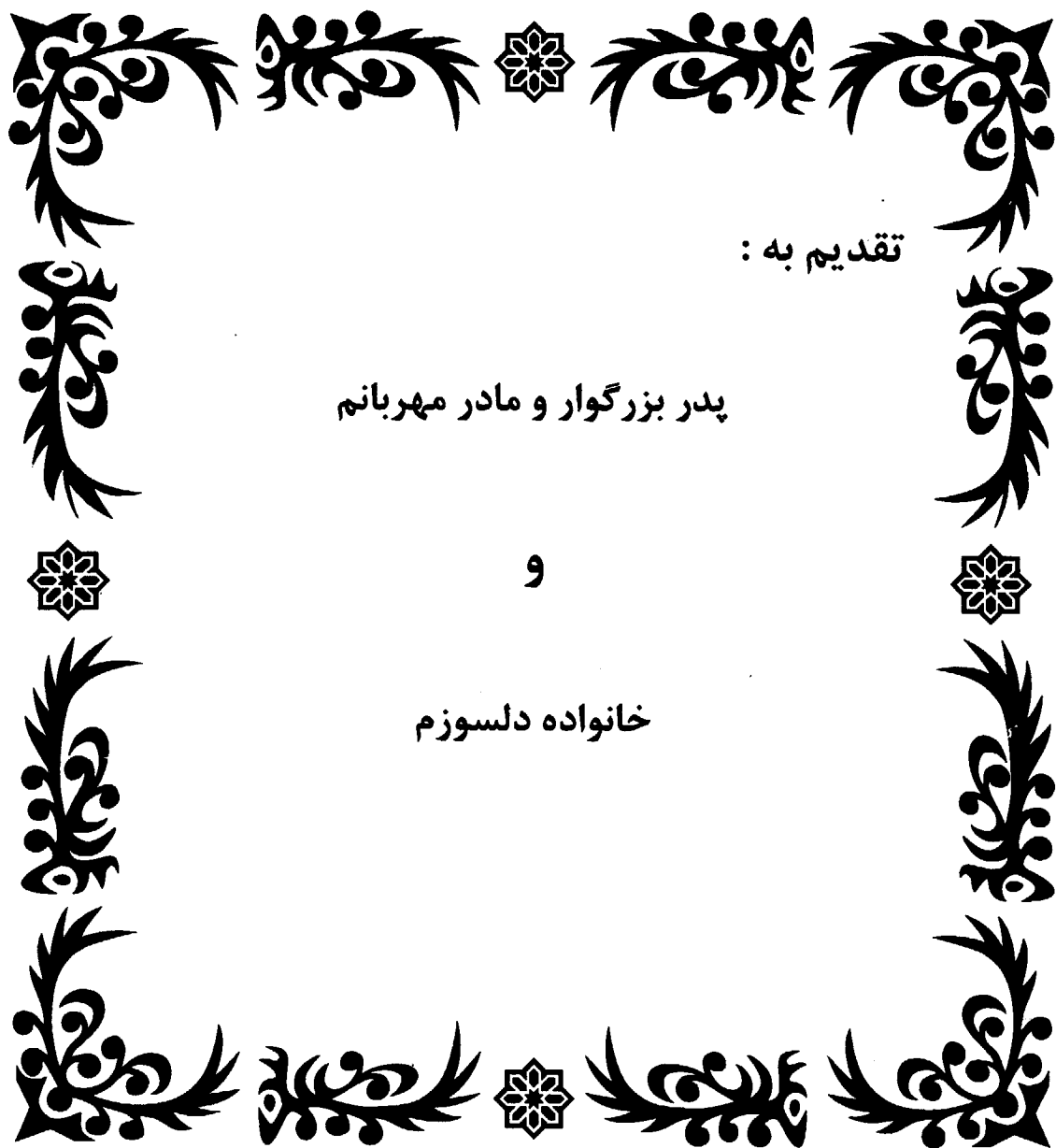
۱۴۸۶۹

**ابوالفضل سلامی**

**پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**  
**در رشته مهندسی برق**

**استاد راهنما: دکتر شهرام جدید**

**بهار ۱۳۷۸**



تقدیم به :

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

و

خانواده دلسوزم

## چکیده

کاهش تلفات در سیستم‌های قدرت به جهت مسائل اقتصادی از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین منظور باید با استفاده از روشهای گوناگون تلفات در سیستم قدرت کاهش یابد. کم کردن تلفات الکتریکی خطوط توزیع انرژی شعاعی بوسیله خازنهای موازی یکی از روشهای مورد استفاده است. در این زمینه کارهای گوناگونی ارائه شده است که هر کدام از روشها دارای مزایا و معایبی هستند. در این پروژه روشی مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی برای جایابی بهینه خازنها در شبکه‌های توزیع ارائه می‌گردد. روش ارائه شده از فازی‌سازی تابع هدف و متغیرهای لازم با توجه به اطلاعات کاربر در بهینه‌سازی استفاده می‌کند. روش بهینه‌سازی بر اساس برنامه‌ریزی پویا در محیط فازی است که در هر تکرار الگوریتم، جوابی بهینه برای یک واحد خازنی بدست می‌آید. بهینه‌سازی به صورتی انجام می‌پذیرد که قیدهای موجود در مسئله رعایت شود. با در نظر گرفتن پارامترها به صورت فازی جواب نهایی به سیستم‌های واقعی نزدیکتر می‌شود. برای محدودسازی فضای حل مسئله می‌توان از روشهای مختلف بررسی حساسیت بهره گرفت. برای محاسبه تابع هدف از روش پخش‌باری که قابل اجرا بر روی شبکه‌های توزیع است، بهره گرفته می‌شود. روش استفاده شده بر روی شبکه نمونه انتخابی با ۳۴ گره اجرا گردید و مشاهده شد در مقایسه با سایر روشها نتایج بهتری بدست می‌آید.

## تقدیر و تشکر:

ضمن سپاس بیکران خدای متعال، از استاد محترم جناب آقای دکتر شهرام جدید که با راهنمایی‌های گرانبقدر خود مرا در انجام این پایان نامه یاری فرمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از اعضای محترم هیئت داوری آقایان دکتر حقی فام، دکتر غلامی، دکتر کلانتری و دکتر واحدی کمال تشکر را دارم.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
	<b>فصل اول</b>
۵	بررسی روشهای گوناگون جایابی بهینه‌خازن در شبکه های توزیع
۶	۱-۱- جایابی خازن بر روی فیدر توزیع شعاعی بدون شاخه فرعی
۷	۱-۱-۱ مدل ریاضی مسئله
۹	۱-۱-۲ حل مسئله به صورت عددی
۱۵	۱-۲- بررسی روشهای غیرخطی
۱۶	۱-۲-۱ روش حل براساس سطوح برابر
۲۰	۱-۳- روشهای مبتنی بر جستجو وابتکاری
۲۱	۱-۳-۱ روش مشابه سازی
۲۴	۱-۳-۲ روش جستجوی تابو
۲۷	۱-۳-۳ روش جستجوی ابتکاری
۳۰	۱-۴- بررسی روشهای ارائه شده به صورت آماری
۳۰	۱-۴-۱ تقسیم بندی زمانی
۳۱	۱-۴-۲ تقسیم بندی مبتنی برنوع روشهای ارائه شده
۳۲	۱-۴-۳ تقسیم بندی مبتنی بر درنظر گرفتن مسئله رگولاتورهای ولتاژ
۳۲	۱-۴-۴ تقسیم بندی مبتنی بردرنظرگرفتن مسئله عدم تعادل شبکه توزیع
۳۳	۱-۴-۵ تقسیم بندی مبتنی بردرنظرگرفتن مسئله هارمونیکها
۳۵	جمع بندی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
------	-------

### فصل دوم

۳۷	..... پیاده سازی پخش بار در شبکه های توزیع برای خازن گذاری
۳۸	..... ۲-۱ پخش بار بر اساس محاسبه تلفات شبکه
۴۰	..... ۲-۱-۱ روش پخش بار شبکه توزیع شعاعی
۴۳	..... ۲-۲ پخش بار به روش حل مستقیم
۴۴	..... ۲-۲-۱ روش پخش بار شبکه های شعاعی با حل مستقیم
۴۶	..... ۲-۳ ارائه نتایج حاصل از پیاده سازی روشهای پخش بار
۵۵	..... جمع بندی

### فصل سوم

۵۷	..... اجرای بررسی حساسیت برای استفاده در جایی بهینه خازنها
۵۸	..... ۳-۱ اجرای بررسی حساسیت با محاسبه تغییرات تلفات توان حقیقی به توان راکتیو
۶۱	..... ۳-۲ اجرای بررسی حساسیت بر اساس محاسبه شاخه ای با بیشترین تلفات
۶۳	..... ۳-۳ بررسی حساسیت با خازن گذاری مقدار پایه
۶۸	..... جمع بندی

### فصل چهارم

۷۱	..... جایابی بهینه خازن در شبکه توزیع با استفاده از تئوری فازی
۷۲	..... ۴-۱ علل استفاده از منطق فازی
۷۳	..... ۴-۲ مدل ریاضی برای انتخاب بهینه
۷۶	..... ۴-۳ برنامه ریزی پویا

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷۸	۴-۳-۱ مزایا و محدودیتهای برنامه‌ریزی پویا .....
۷۸	۴-۴ مدل‌سازی مسئله برنامه‌ریزی پویا .....
۷۹	۴-۵ فرمول بندی برنامه‌ریزی پویا کلاسیک .....
۸۰	۴-۵-۱ فرمول بندی برنامه‌ریزی پویا کلاسیک .....
۸۲	۴-۶ اجرا و بررسی نتایج روش برنامه‌ریزی پویا کلاسیک .....
۸۳	۴-۶-۱ بررسی نتایج براساس جبران‌سازی کامل در هر مرحله .....
۸۳	۴-۶-۲ بررسی نتایج جبران‌سازی مناسب با بانک خازنی پایه در هر مرحله .....
۸۸	۴-۷ تصمیم‌گیری در محیط فازی .....
۸۹	۴-۸ برنامه‌ریزی پویای فازی .....
۹۰	۴-۹ جایابی بهینه خازنها در سیستم‌های توزیع با استفاده از تئوری فازی .....
۹۱	۴-۱۰ فازی سازی مسئله .....
۹۱	۴-۱۰-۱ فازی سازی تابع هدف .....
۹۳	۴-۱۰-۲ فازی سازی بار .....
۹۵	۴-۱۰-۳ فازی سازی ولتاژ مرجع .....
۹۵	۴-۱۰-۴ فرمول بندی مسئله به صورت فازی .....
۹۶	۴-۱۱ الگوریتم حل مسئله با برنامه‌ریزی پویای فازی .....
۹۸	۴-۱۲ اجرا و بررسی نتایج روش حل برنامه‌ریزی پویای فازی .....
۹۸	۴-۱۲-۱ پیاده سازی روش حل برنامه‌ریزی پویای فازی .....
۱۰۱	۴-۱۲-۲ نتایج روش حل برنامه‌ریزی پویای فازی .....
۱۰۶	جمع بندی .....



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
<b>فصل پنجم</b>	
۱۰۹	نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۰۹	۵-۱ نتیجه گیری.....
۱۱۳	۵-۲ پیشنهادات.....
<b>پیوستها</b>	
۱۱۵	۱ محاسبات تغییرات تلفات توان حقیقی نسبت به تغییرات توان راکتیو.....
۱۱۷	۲ روش ارائه شده جایابی خازن براساس بیشترین تلفات شاخه.....
۱۱۸	۳ تئوری مجموعه‌های فازی.....
۱۲۵	۴ راهنمای کاربر.....
۱۳۳	<b>مراجع</b> .....

## فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۱۳	شکل (۱-۱) - منوی اجرای برنامه و ذخیره پارامترها.....
۱۴	شکل (۱-۲) - منوی نتایج خروجی.....
۲۰	شکل (۱-۳) - فلوجارت ارائه شده برای روش حل تحلیلی.....
۲۳	شکل (۱-۴) - فلوجارت حل جایابی بهینه خازن با روش مشابه سازی.....
۲۶	شکل (۱-۵) - فلوجارت حل جایابی بهینه خازن با روش جستجوی تابو.....
۲۹	شکل (۱-۶) - فلوجارت حل جایابی بهینه خازن با روش ابتکاری.....
۳۰	شکل (۱-۷) - نمودار تعداد مقالات در هر دوره زمانی.....
۳۱	شکل (۱-۸) - نمودار تعداد مقالات در هر سری و در هر دوره زمانی.....
۳۲	شکل (۱-۹) - نمودار تعداد مقالات با بررسی ولتاژ در هر دوره زمانی.....
۳۳	شکل (۱-۱۰) - نمودار تعداد مقالات با بررسی شبکه سه فاز در هر دوره زمانی.....
۳۳	شکل (۱-۱۱) - نمودار تعداد مقالات با در نظر گرفتن هارمونیکها در هر دوره زمانی.....
۳۴	شکل (۱-۱۲) - نمودار تعداد مقالات Grainger در هر دوره زمانی.....
۳۹	شکل (۲-۱) - نمایش شماره گذاری روش مبتنی بر محاسبه تلفات شبکه.....
۴۲	شکل (۲-۲) - فلوجارت پخش بار سیستم توزیع بر اساس تلفات شبکه.....
۴۵	شکل (۲-۳) - فلوجارت پخش بار سیستم توزیع به روش حل مستقیم.....
۴۷	شکل (۲-۴) - دیاگرام تک خطی شبکه توزیع نمونه انتخابی.....
۵۹	شکل (۳-۱) - دیاگرام تک خطی سیستم توزیع با ۳۴ باس.....
۷۴	شکل (۴-۱) - منحنی توالی بار.....

## فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۸۱	شکل (۴-۲) - منحنی هزینه خازنها.....
۸۲	شکل (۴-۳) - منحنی هزینه خازنها با برآزش منحنی .....
۸۷	شکل (۴-۴) - بهبود پروفیل ولتاژ بر اثر خازن گذاری.. ..
۹۲	شکل (۴-۵) - تابع عضویت هدف در ضرایب وزنی متفاوت.....
۹۴	شکل (۴-۶) - تابع عضویت دوزنقه‌ای توان حقیقی .....
۹۷	شکل (۴-۷) - فلوجارت الگوریتم حل مسئله جایابی خازن مبتنی بر برنامه‌ریزی پویای فازی.....
۹۸	شکل (۴-۸) - منوی اصلی نرم‌افزار.....
۹۹	شکل (۴-۹) - تابع عضویت دوزنقه‌ای توان اکتیو در گره ۳۳ .....
۱۰۰	شکل (۴-۱۰) - تابع عضویت دوزنقه‌ای توان راکتیو در گره ۳۳ .....
۱۰۰	شکل (۴-۱۱) - تابع عضویت دوزنقه‌ای ولتاژ پست اصلی.....
۱۰۳	شکل (۴-۱۲) - مقایسه حداقل هزینه روشهای بدست آمده .....

## فهرست جدولها

صفحه	عنوان
۱۲	جدول (۱-۱) - شبکه شعاعی برای اجرای روش پیشنهادی.....
۱۳	جدول (۱-۲) - محاسبه هزینه با چند مقدار دیگر نزدیک به جواب تعیین شده.....
۴۳	جدول (۲-۱) - مزایا و معایب برنامه پخش بار مبتنی بر محاسبه تلفات شبکه.....
۴۶	جدول (۲-۲) - مزایا و معایب برنامه پخش بار سیستم توزیع براساس حل مستقیم.....
۴۸	جدول (۲-۳) - اطلاعات شبکه نمونه انتخابی برای اجرای برنامه‌های پخش بار سیستم توزیع.....
۵۰	جدول (۲-۴) - ولتاژ و جریان با پخش بار مبتنی بر محاسبه تلفات شبکه.....
۵۱	جدول (۲-۵) - توانهای جاری و تلفات خطوط با پخش بار.. تلفات شبکه.....
۵۲	جدول (۲-۶) - ولتاژ و جریان با پخش بار به روش حل مستقیم.....
۵۳	جدول (۲-۷) - توانهای جاری و تلفات خطوط با پخش بار به روش حل مستقیم.....
۵۴	جدول (۲-۸) - مقایسه بین اندازه ولتاژهای بدست آمده از اجرا روشها با مرجع.....
۶۰	جدول (۳-۱) - مشخصات شبکه نمونه انتخابی.....
۶۱	جدول (۳-۲) - ترتیب حساسترین گره‌ها، برای خازن گذاری.....
۶۳	جدول (۳-۳) - ترتیب گره‌های انتخابی برای خازن گذاری در مرحله اول.....
۶۵	جدول (۳-۴) - اجرای بررسی حساسیت با مقدار پایه ۱۵۰ (کیلووار).....
۶۶	جدول (۳-۵) - اجرای بررسی حساسیت با مقدار پایه ۱۵۰ (کیلووار).....
۶۷	جدول (۳-۶) - اجرای بررسی حساسیت با مقدار پایه ۱۵۰ (کیلووار).....

## فهرست جدولها

صفحه	عنوان
۸۳	جدول (۴-۱) - نتایج جایابی بهینه با جبران‌سازی کامل .....
۸۴	جدول (۴-۲) - نتایج جایابی بهینه با بانک خازنی پایه در هر مرحله .....
۸۵	جدول (۴-۳) - نتایج جایابی بهینه با حداکثر ۲ بانک خازنی پایه در هر مرحله .....
۸۶	جدول (۴-۴) - نتایج کلید زنی برای خروج خازن‌ها .....
۱۰۱	جدول (۴-۵) - نتایج برنامه ریزی پویای فازی بر روی شبکه نمونه انتخابی .....
۱۰۲	جدول (۴-۶) - نتایج مقایسه برنامه ریزی پویای فازی و کلاسیک .....
۱۰۲	جدول (۴-۷) - نتایج مقایسه برنامه ریزی پویای فازی و مراجع دیگر .....
۱۰۳	جدول (۴-۸) - نتایج مرجع [۱۷] بر روی شبکه نمونه انتخابی .....
۱۰۳	جدول (۴-۹) - نتایج مرجع [۱۰] بر روی شبکه نمونه انتخابی .....
۱۰۵	جدول (۴-۱۰) - نتایج مقایسه بر اساس تغییرات ضریب وزنی تابع هدف .....
۱۰۵	جدول (۴-۱۱) - نتایج مقایسه بر اساس تغییرات درضرایب فازی سازی .....
۱۰۶	جدول (۴-۱۲) - نتایج برنامه ریزی پویای فازی با تغییر ضرایب فازی سازی .....
۱۱۰	جدول (۵-۱) - مقایسه روشها .....

## مقدمه

با توجه به رشد روزافزون شبکه‌های قدرت به دلیل بهم پیوستگی مناطق همجوار و گستردگی شبکه‌های توزیع بررسی شبکه‌ها را به منظورهای مختلف کنترل و ... با اشکال جدی روبرو کرده است. با توجه به این مسئله در این پروژه سعی در ارائه راهکارهای مناسبی برای عملکرد بهینه در مسائل گوناگون در شبکه‌های توزیع شده است.

طبق آمارهای رسمی وزارت نیرو حدود دوسوم از کل تلفات سیستم قدرت به بخش توزیع مربوط می‌شود، با توجه به این موضوع لزوم بهینه‌سازی در این بخش از طریق برنامه‌ریزیهای گوناگون بسیار ضروری بنظر می‌رسد.

جایابی و تعیین ظرفیت بهینه خازنهای موازی بمنظور کاهش تلفات توان و انرژی و بهبود پروفیل ولتاژ یکی از مسائل مرسوم در طراحی و کنترل سیستم‌های قدرت است که تابحال تحقیقات وسیعی بر روی آنها صورت گرفته و روشهای گوناگونی در طی سالیان متمادی ارائه شده است.

اغلب اجزاء سیستم قدرت توان راکتیو مصرف می کنند، همچنین اکثر بارهای الکتریکی موجود در شبکه های قدرت دارای مصرف توان راکتیو هستند بنابراین توان راکتیو مصرفی باید از محل مناسبی تأمین گردد. اگر به راحتی قادر به انتقال توان راکتیو نباشیم بایستی در محلی که مورد نیاز است آنرا تولید کنیم که در یک شبکه جبران سازی موازی به صورت خازنهای موازی در سیستم توزیع و راکتورهای موازی در سیستم انتقال مشاهده می شود. استفاده از خازنهای موازی پروفیل ولتاژ را بهبود بخشیده و تلفات سیستم را کاهش می دهد. خازنها با کاهش انتقال توان راکتیو خط از محل پست اصلی تا محل نصب خازن جریان خطوط را کاهش داده و در نتیجه تلفات را در مسیر جریان کاهش می دهند. اصول اولیه عملیات جایابی بهینه که در شبکه های خاص اجرا شده است در مرجع [۱] در حالات گوناگون بررسی شده است.

با مطالعه کارهای ارائه شده ملاحظه می شود بیشتر کارهای اولیه با توجه به ملاحظات غیر واقعی (توزیع بار یکنواخت، اندازه فیدریکنواخت، بارهای ثابت) هستند که در نتیجه فاقد جواب بهینه هستند. اما در مورد روشهای دیگری نیز که در دنباله این تحقیقات ارائه شده است، با توجه به اینکه حالتی عمومی تر را شامل می شوند اما دارای حل تحلیلی هستند که معمولاً دارای محاسبات پیچیده و گاهی اوقات برای ساده سازی مساله همراه با ملاحظات غیر حقیقی هستند.

با توجه به این موضوعات امروزه در حل مسائل گوناگون از جمله مسائل بهینه سازی که کاربرد زیادی در سیستم های قدرت دارند سعی می شود از روشهای ابتکاری و هوشمند برای حل اینگونه مسائل استفاده گردد. اخیراً محققین به فکر ایجاد یک ائتلاف مناسب از تکنیکهای ابتکاری و هوشمند در کنار روشهای متداول برای حل بعضی مسائل افتاده اند. این عمل به منظور تقویت و بهبود مدل های شدیداً ریاضی و روشهای عددی صورت می گیرد. بعلاوه کارایی محاسبات نیز با انجام این عمل حفظ می شود. تئوری مجموعه های فازی بگونه ای هستند که چهارچوب خوبی برای این تکامل به شمار می آیند. با توجه به عدم قطعیتی که در کارهای گوناگون وجود دارد منطق فازی در اینگونه کارها کارایی مناسبی دارد و می تواند جوابهای بهتری را نسبت به حالت کلاسیک ارائه نماید. از مهمترین مسائلی که در