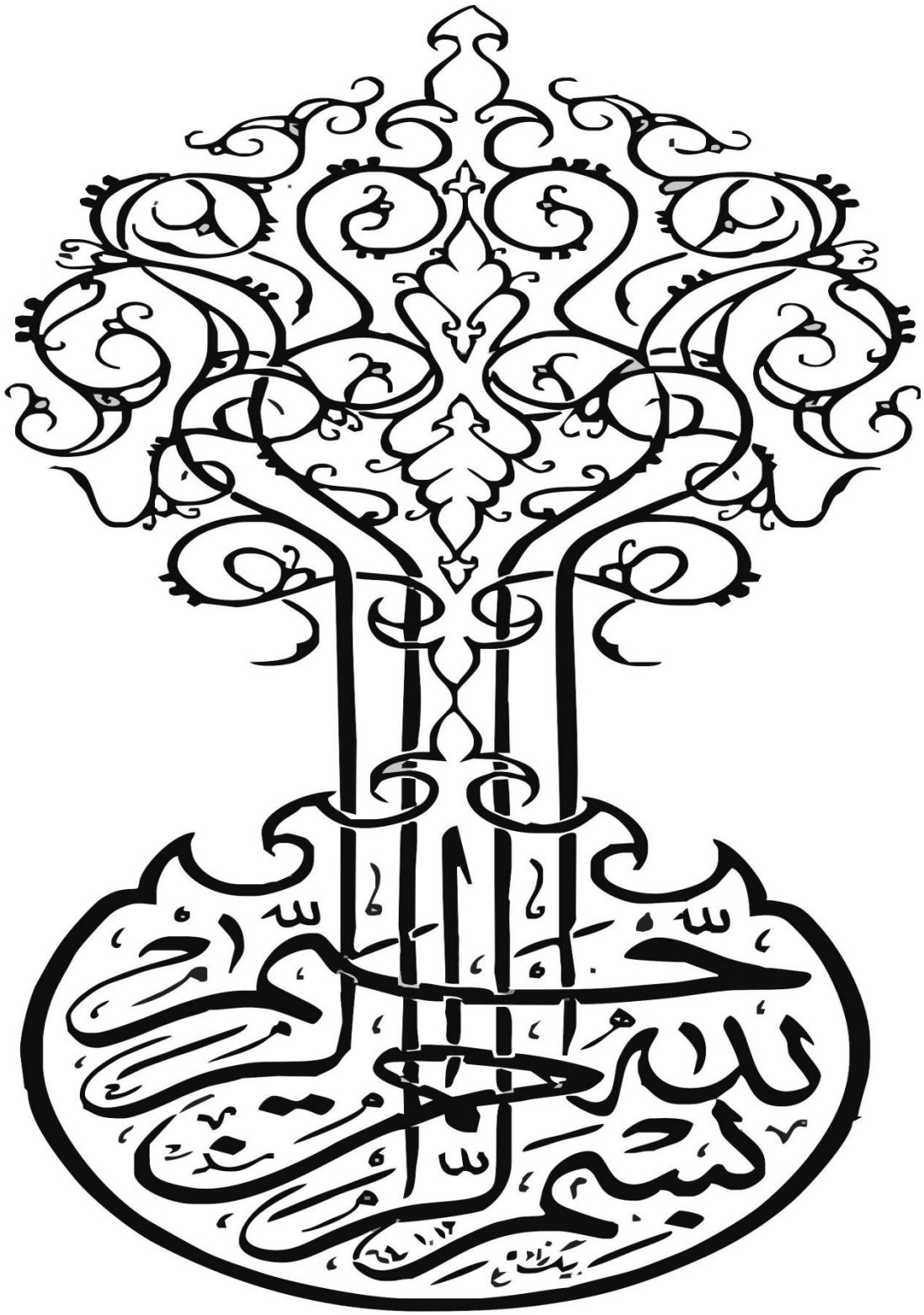

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

بهینه‌سازی هزینه‌های بهره‌برداری از ریزشبکه‌های مستقل با مدیریت توان راکتیو

دانشجو:

محمد حاجی بابایی

استاد راهنما:

آقای دکتر محمود عبادیان

استاد مشاور:

خانم دکتر مریم رمضانی

تابستان ۱۳۹۳

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان‌نامه)

یک نسخه اصل فرم مربوطه

تقدیم به پدرم

که به من درس زندگی آموخت و به حق بهترین آموزگاران زندگانی من است

تقدیم به مادرم

که مهربانیش از جهان فزون تر و دعای خیرش همیشه همراه من بوده است

تشکر و قدردانی

در این مجال شایسته است از زحمات اساتید محترم جناب آقای دکتر محمود عبادیان و سرکار خانم دکتر مریم رمضانی بابت راهنمایی‌ها و مشاوره‌های ارزشمندشان سپاس‌گذاری کنم چراکه بدون یاری ایشان امکان انجام این پایان‌نامه بسیار دشوار به نظر می‌رسید. همچنین بر خود لازم می دانم از پشتیبانی و حمایت‌های همیشگی خانواده‌ام نیز تشکر و قدردانی کنم.

محمد حاجی بابایی

شهریور ۹۳

چکیده

ریزشبکه‌ها سیستم‌های هستند که از ادغام واحدهای تولید پراکنده (DG)، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی (ESS) و بارهای قابل‌کنترل در شبکه‌های ولتاژ ضعیف و فشار متوسط به وجود می‌آیند و می‌تواند در هر دو حالت متصل به شبکه و یا به‌صورت مستقل بهره‌برداری شوند. ریزشبکه‌ها مزایای زیادی ازجمله بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان، کاهش تلفات، منفعت‌های اقتصادی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی را در پی دارند، اما دستیابی به این مزایا تنها زمانی ممکن است که یک سیستم مدیریت کارآمد برای بهره‌برداری ریزشبکه‌ها وجود داشته باشد. مدیریت توان راکتیو یکی از ابعاد مهم مسئله مدیریت بهره‌برداری ریزشبکه‌ها است که کمتر به آن پرداخته شده است. اهمیت مدیریت توان راکتیو در ریزشبکه‌های مستقل بیشتر از ریزشبکه‌های متصل به شبکه است، به این دلیل که نیازمندی‌های توان راکتیو مصرف‌کنندگان در حالت مستقل بایستی تنها توسط منابع ریزشبکه تأمین شود. با توجه به حضور واسط‌های الکترونیک قدرتی در ریزشبکه‌های مستقل، مدیریت توان راکتیو در این سیستم‌ها، شرایط متفاوت‌تری نسبت به شبکه‌های سنتی دارد. هدف در این پایان‌نامه، به دست آوردن یک برنامه‌ریزی بهینه برای تولید توان اکتیو و راکتیو منابع ریزشبکه و تأمین مطمئن و با کیفیت بارهای مهم و حساس در ریزشبکه است، به‌نحوی‌که کمترین هزینه‌های بهره‌برداری را در پی داشته باشد. برای دستیابی به هدف ذکرشده، یک طرح بهره‌برداری دو لایه شامل لایه برنامه‌ریزی و لایه پخش‌بار ارائه شده است. در لایه برنامه ریزی با توجه به قیود مسئله یک طرح بهره‌برداری پیشنهاد می‌شود؛ این بخش توسط الگوریتم های تکاملی انجام می شود. در لایه پخش‌بار، محاسبات توزیع توان اکتیو و راکتیو توسط معادلاتی صورت می‌گیرد که برای ریزشبکه‌های مستقل مناسب باشند. درنهایت، تابع هدف برای طرح پیشنهادی محاسبه و بهترین نتایج به عنوان پاسخ در نظر گرفته می‌شود. این طرح پیشنهادی، علاوه بر تولید بهینه توان اکتیو، نیازمندی‌های توان راکتیو مصرف‌کنندگان را برآورده می‌کند و از کاهش کیفیت توان در ریزشبکه جلوگیری می‌کند. از مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی بر روی سیستم ۱۴ شینه با نتایج مقالات دیگر می‌توان به مناسب بودن روش پیشنهادی پی برد.

کلیدواژه‌ها: توان راکتیو، ریزشبکه، کیفیت توان، پخش‌بار، هزینه‌های بهره‌برداری.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علائم و نشانه‌ها ..... ه

فهرست جدول‌ها ..... و

فهرست شکل‌ها ..... ز

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- چالش شبکه‌های سنتی ۱

۱-۳- تولیدات پراکنده و شبکه‌های مدرن ۲

۱-۴- مروری بر کارهای انجام‌شده ۳

۱-۵- اهداف پایان‌نامه ۴

۱-۶- ساختار پایان‌نامه ۵

فصل ۲- ریزشبکه ۶

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- تولید پراکنده ۶

۲-۳- شبکه‌های هوشمند ۷

۲-۴- ریزشبکه ۹

۲-۴-۱- تعریف ریزشبکه ۹

۲-۴-۲- گذشته و آینده ریزشبکه ۱۱

۲-۴-۲-۱- ظرفیت ریزشبکه در دنیا ۱۲

۲-۴-۲-۲- آینده روشن ریزشبکه ۱۳

۲-۴-۳- کاربردهای ریزشبکه ۱۳

۲-۴-۳-۱- تجاری/صنعتی ۱۴

۲-۴-۳-۲- ریزشبکه برای محیط‌های عمومی ۱۴

۲-۴-۳-۳- سازمانی/ دانشگاهی ۱۴

۲-۴-۳-۴- سیستم خارج از شبکه ۱۴

۲-۴-۳-۵- ریزشبکه‌های نظامی ۱۴

۲-۴-۴- منابع در ریزشبکه ۱۵
۲-۴-۴-۱- پیل‌سوختی ۱۶
۲-۴-۴-۲- میکروتوربین ۱۶
۲-۴-۴-۳- توربین‌های بادی ۱۸
۲-۴-۴-۴- سیستم‌های فتوولتائیک ۱۹
۲-۴-۴-۵- سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی ۲۰
۲-۴-۵- انواع ریزشبکه ۲۱
۲-۴-۵-۱- ازلحاظ نوع بهره‌برداری ۲۱
۲-۴-۵-۲- از دید ولتاژ بهره‌برداری ۲۲
۲-۴-۶- مزایای ریزشبکه‌ها ۲۴
۲-۴-۶-۱- اقتصاد ۲۴
۲-۴-۶-۲- بهبود کیفیت توان و قابلیت توان ۲۵
۲-۴-۶-۳- کمک به محیط‌زیست ۲۵
۲-۴-۶-۴- کاهش تلفات ۲۵
۲-۴-۶-۵- انعطاف‌پذیری ۲۵
۲-۴-۷- چالش‌های پیش روی ریزشبکه‌ها ۲۵
۲-۴-۸- مدیریت، فاکتور کلیدی ریزشبکه ۲۶
۲-۴-۹- ساختار کنترلی ریزشبکه ۲۶
۲-۴-۹-۱- کنترل‌کننده‌های محلی ۲۸
۲-۴-۹-۲- کنترل‌کننده مرکزی ریزشبکه ۲۸
۲-۴-۹-۳- سیستم مدیریت توزیع ۲۹
۲-۵- بهینه‌سازی هزینه‌ها در ریزشبکه ۳۰
۲-۶- مدیریت توان راکتیو ۳۱
۲-۶-۱- شارش توان در منابع تولید پراکنده ۳۲
۲-۷- هدف: بهینه‌سازی هزینه‌های ریزشبکه مستقل با مدیریت توان راکتیو ۳۴
۲-۸- نتیجه‌گیری ۳۵
فصل ۳- پخش‌بار در ریزشبکه‌های مستقل ۳۶
۳-۱- مقدمه ۳۶
۳-۲- پخش‌بار در شبکه‌های سنتی ۳۷
۳-۲-۱- معادلات پخش‌بار ۳۸
۳-۲-۲- روش حل معادلات پخش‌بار ۳۸

۳-۳- تفاوت پخش‌بار در شبکه‌های سنتی و ریزشبکه‌ها ۳۹
۳-۴- مدل‌سازی ریزشبکه ۴۱
۳-۴-۱- مدل فیدر ۴۱
۳-۴-۲- مدل بار ۴۲
۳-۴-۳- مدل DG ۴۳
۳-۵- پخش‌بار در ریزشبکه ۴۷
۳-۶- نتیجه‌گیری ۵۰
فصل ۴- بهینه‌سازی هزینه‌ها در ریزشبکه مستقل ۵۱
۴-۱- مقدمه ۵۱
۴-۲- فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی هزینه‌های ریزشبکه ۵۲
۴-۲-۱- تابع هزینه ۵۲
۴-۲-۲- قید و محدودیت‌های مسئله ۵۳
۴-۲-۲-۱- قید تعادل توان ۵۳
۴-۲-۲-۲- محدودیت توان تولیدی ۵۳
۴-۲-۲-۳- محدودیت افزایشی و کاهشی واحدها ۵۳
۴-۲-۲-۴- محدودیت توان‌های خط ۵۴
۴-۲-۲-۵- محدودیت ولتاژ شین‌ها ۵۴
۴-۲-۲-۶- محدودیت فرکانس سیستم ۵۴
۴-۲-۲-۷- ذخیره چرخان ۵۵
۴-۲-۲-۸- محدودیت‌های تأمین توان حرارتی ۵۵
۴-۲-۲-۹- سیستم‌های ذخیره‌ساز ۵۶
۴-۳- بهینه‌سازی و الگوریتم‌های هوشمند ۵۷
۴-۳-۱- بهینه‌سازی ازدحام ذرات ۵۷
۴-۳-۲- الگوریتم رقابت استعماری ۵۹
۴-۳-۲-۱- تشکیل امپراطوری‌های اولیه ۶۰
۴-۳-۲-۲- حرکت مستعمره‌ها به سمت استعمارگر (سیاست جذب) ۶۱
۴-۳-۲-۳- جابجایی استعمارگر و مستعمره ۶۲
۴-۳-۲-۴- قدرت کل یک امپراطوری ۶۲
۴-۳-۲-۵- رقابت استعماری ۶۲
۴-۳-۲-۶- سقوط امپراطوری‌های ضعیف ۶۳
۴-۳-۳- الگوریتم بهینه‌سازی فاخته ۶۳

۴-۴- روش پیشنهادی ۶۵
۴-۵- نتیجه‌گیری ۷۰
فصل ۵- مطالعات عددی ۷۱
۵-۱- مقدمه ۷۱
۵-۲- اعتبار سنجی روش پخش‌بار ۷۱
۵-۳- سیستم ۱۴ شینه شعاعی ۷۲
۵-۳-۱- سناریوی اول: سطح بار کم ۷۴
۵-۳-۲- سناریوی دوم: سطح بار متوسط ۷۷
۵-۳-۳- سناریوی سوم: سطح بار زیاد ۷۹
۵-۳-۳-۱- حالت پایه ۸۰
۵-۳-۳-۲- حالت دوم: اضافه کردن خازن به ریزشبکه ۸۲
۵-۳-۳-۳- حالت سوم: انجام بارزدایی ۸۳
۵-۴- نتیجه گیری ۸۵
فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۷
۶-۱- نتیجه‌گیری ۸۷
۶-۲- پیشنهادها ۸۹
ضمیمه الف- اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی سیستم‌های تست ۹۰
فهرست مراجع ۹۲
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۹۶
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۹۹

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
اندازه ولتاژ شین i	$\|V_i\|$
زاویه فاز ولتاژ شین i	δ
اندازه ادمیتانس بین خطوط i و j برای فاز a	$\|$
زاویه فاز ادمیتانس بین خطوط i و j برای فاز a	δ
نمای توانی قدرت اکتیو برای بارهای استاتیک	α
نمای توانی قدرت راکتیو برای بارهای استاتیک	β
تغییرات فرکانس زاویه‌ای	Δ
فرکانس زاویه‌ای مرجع	ω
ولتاژ مرجع	V
بهره افتی استاتیک توان اکتیو	n
بهره افتی استاتیک توان راکتیو	n
بازده شارژ	η
بازده دشارژ	η
تعداد گام‌های زمانی برنامه‌ریزی	θ
تعداد منابع ریزشبکه	θ
تعداد ذخیره‌سازها	θ
تعداد بارها	θ
تغییر وضعیت واحد از خاموش به روشن و برعکس	U
تعداد واحدهای CHP	θ
گام زمانی	Δ

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۲-۱: مقایسه ای بین شبکه‌های هوشمند و شبکه‌های سنتی..... ۸

جدول۲-۲: مبدل‌های الکترونیک قدرت موردنیاز برای منابع تولید پراکنده..... ۳۲

جدول۵-۱: مقایسه نتایج روش پخش‌بار ارائه شده با روش‌های دیگر..... ۷۲

جدول۵-۲: مقایسه هزینه‌ها و توان‌های تولیدی در سطح بار کم..... ۷۴

جدول۵-۳: وضعیت اندازه و زاویه ولتاژ شین‌ها برای بهترین نتیجه در سطح بار کم..... ۷۵

جدول۵-۴: مقایسه هزینه‌ها و توان‌های تولیدی در سطح بار متوسط..... ۷۷

جدول۵-۵: وضعیت اندازه و زاویه ولتاژ شین‌ها برای بهترین نتیجه در سطح بار متوسط..... ۷۸

جدول۵-۶: مقایسه هزینه‌ها و توان‌های تولیدی در سطح بار زیاد برای حالت پایه..... ۸۰

جدول۵-۷: وضعیت اندازه و زاویه ولتاژ شین‌ها در سطح بار زیاد برای حالت پایه..... ۸۱

جدول۵-۸: وضعیت اندازه و زاویه ولتاژ شین‌ها در سطح بار زیاد با خازن گذاری..... ۸۲

جدول۵-۹: وضعیت اندازه و زاویه ولتاژ شین‌ها در سطح بار زیاد با انجام بارزدایی..... ۸۴

جدول الف-۱: اطلاعات سیستم تست ۶ شینه..... ۹۰

جدول الف-۲: اطلاعات مربوط به هزینه و محدودیت های تولید سیستم ۱۴ شینه..... ۹۰

جدول الف-۳: اطلاعات خطوط سیستم تست ۱۴ شینه..... ۹۱

جدول الف-۴: تقاضای توان اکتیو و راکتیو شین‌های سیستم تست ۱۴ شینه..... ۹۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱: شبکه‌های سنتی و شارش یک‌طرفه توان..... ۲
شکل۲-۱: شبکه‌های هوشمند- چشم‌اندازی برای آینده..... ۸
شکل۲-۲: ریزشبکه..... ۱۰
شکل۲-۳: ظرفیت ریزشبکه‌ها بر حسب منطقه جغرافیایی در سال ۲۰۱۲..... ۱۲
شکل۲-۴: ظرفیت ریزشبکه‌ها بر حسب منطقه جغرافیایی در سال ۲۰۱۳..... ۱۳
شکل۲-۵: نحوه تقسیم ظرفیت ریزشبکه برای کاربردهای مختلف در پایان سال ۲۰۱۲..... ۱۵
شکل۲-۶: اجزای یک میکروتوربین رکوپراتور دار مبتنی بر سیستمCHP..... ۱۷
شکل۲-۷: نمایی از پروژه ۷۱۰ کیلوواتی خواف..... ۱۹
شکل۲-۸: ریزشبکه با سطح ولتاژ متوسط MV..... ۲۳
شکل۲-۹: ریزشبکه DC-AC..... ۲۴
شکل۲-۱۰: ساختار سلسله مراتبی ریزشبکه..... ۲۸
شکل۲-۱۱: شکل و طریقه عملکرد یک مبدل منبع ولتاژی..... ۳۳
شکل۳-۱: مدل فیدر سه فاز برای ریزشبکه..... ۴۲
شکل۳-۲: مدل حالت ماندگار DG در مد افتی..... ۴۴
شکل۳-۳: رابطه مشخصه های افتی و توان تولیدی برای دو DG..... ۴۵
شکل۴-۱: نمایش عملکرد قید نرخ افزایشی..... ۵۴
شکل۴-۲: فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات(PSO)..... ۵۹
شکل۴-۳: شمای کلی الگوریتم رقابت استعماری..... ۶۱
شکل۴-۴: فلوچارت الگوریتم فاخته..... ۶۵
شکل۴-۵: ساختار طرح پیشنهادی برای بهره‌برداری ریزشبکه مستقل..... ۶۶
شکل۴-۶: فلوچارت کلی روش پیشنهادی..... ۶۹
شکل۵-۱: دیاگرام تک خطی سیستم ۶ شینه..... ۷۱
شکل۵-۲: دیاگرام تک خطی ریزشبکه ۱۴ شینه شعاعی..... ۷۳
شکل۵-۳: میزان تولید توان اکتیو منابع ریزشبکه با سه روش پیشنهادی در سطح بار کم..... ۷۶
شکل۵-۴: میزان تولید توان راکتیو منابع ریزشبکه با سه روش پیشنهادی در سطح بار کم..... ۷۶

شکل۵-۵: میزان تولید توان اکتیو منابع ریزشبکه با سه روش پیشنهادی در سطح بار متوسط..... ۷۹
شکل۵-۶: میزان تولید توان راکتیو منابع ریزشبکه با سه روش پیشنهادی در سطح بار متوسط..... ۷۹
شکل۵-۷: میزان تولید توان اکتیو و راکتیو منابع ریزشبکه در سطح بار زیاد برای حالت پایه..... ۸۱
شکل۵-۸: میزان تولید توان اکتیو و راکتیو منابع ریزشبکه در سطح بار زیاد با خازن گذاری..... ۸۳
شکل۵-۹: میزان تولید توان اکتیو و راکتیو منابع ریزشبکه در سطح بار زیاد با انجام بارزدایی..... ۸۵

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

شبکه‌های برق پایه و اساس چند زیرساخت حیاتی یک کشور ازجمله سیستم بهداشت عمومی، حمل‌ونقل و سیستم‌های مخابراتی را شکل می‌دهد. شبکه‌های برق حاضر با فن‌آوری‌های قرن گذشته اجرا شده‌اند و در قرن ۲۱ با چالش‌های بزرگ و جدی مواجه هستند که ازجمله می‌توان به افزایش دائمی تقاضا و نیاز به فراهم کردن یک روش پایدار و مناسب برای پاسخ‌گویی به تقاضای توان رو به رشد، افزایش نیاز به انعطاف‌پذیری در برابر فجایع انسانی و طبیعی، توانایی دفاع در برابر حملات اینترنتی، افزایش تقاضا برای قدرت قابل‌اعتماد و مطمئن و همچنین نیاز به ادغام با فن‌آوری‌های تولید انرژی تجدید پذیر و ذخیره‌سازی اشاره کرد. علاوه بر این، انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط نیروگاه‌ها و سایر فعالیت‌های بشر، محیط‌زیست را به خطر انداخته است و نگرانی‌ها برای تغییر آب‌وهوا، جهان را به سمت تغییرات عمده در الگوهای تولید و مصرف الکتریسیته رهنمون کرده است[۱].

موسسه تحقیقات برق آمریکا[1] (EPRI) اولویت‌های صنعت برق جهان را در نیمه نخست قرن بیست‌ویک بر سه موضوع زیر متمرکز می‌کند:

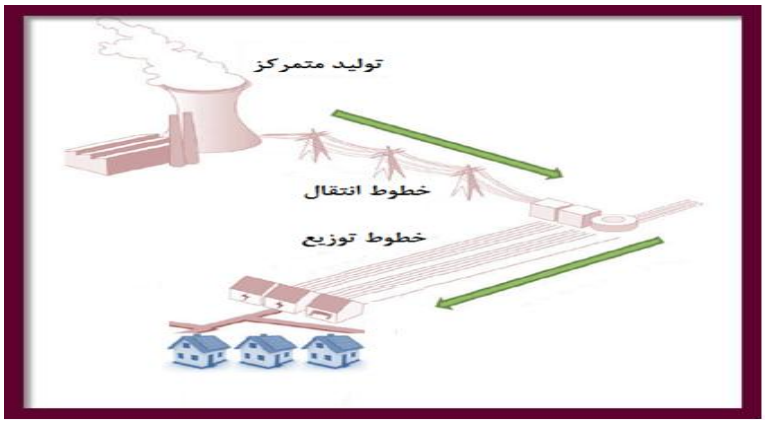
- تولید و توزیع برق باکیفیت برای پاسخ به نیازهای جامعه دیجیتال
- ترکیب بهینه سبد روش‌های تولید انرژی با بهره‌گیری از انرژی‌های پاک
- برق برای همه، با مصرف سرانه حداقل هزار کیلووات ساعت تا سال ۲۰۵۰

۱–۲– چالش شبکه‌های سنتی

ساختار سنتی شبکه‌های برق همواره بر مبنای عدم وجود منابع فعال تولید انرژی الکتریکی در شبکه‌های توزیع استوار بوده است. در این ساختار، توان الکتریکی در سمت نیروگاه‌های بزرگ تولید شده و توسط خطوط انتقال و فوق توزیع به نزدیکی شهرها و شهرک‌ها منتقل می‌شود. پست‌های توزیع برق، توان را به شبکه‌های توزیع تزریق کرده و شبکه‌های توزیع توان را به مصرف‌کنندگان می‌رسانند. این شبکه‌ها به‌صورت یک‌طرفه بهره‌برداری می‌شوند، به‌طوری‌که جهت عبور توان در آن‌ها همواره از سمت تولیدکنندگان به سمت مصرف‌کنندگان است. نظارت در سطح توزیع شبکه‌های برق به علت گستردگی

[1] Electric Power Research Institute

شبکه و نقاط زیاد اندازه‌گیری، توجیه اقتصادی نداشته و به همین دلیل همواره بخش توزیع محل چالشی برای دسترسی به اطلاعات دقیق شبکه در بهره‌برداری سیستم بوده است.



شکل ۱-۱: شبکه‌های سنتی و شارش یک‌طرفه توان.

در سال‌های اخیر تغییر رویکرد از شبکه‌های سنتی به شبکه‌های مدرن به دلایلی از قبیل افزایش تقاضای انرژی الکتریکی، امکان حضور بخش خصوصی در تولید و عرضه انرژی الکتریکی، مقرون‌به‌صرفه نبودن توسعه ظرفیت شبکه، توسعه برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا، گسترش تولیدات پراکنده و مسائل زیست‌محیطی ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۳-تولیدات پراکنده و شبکه‌های مدرن

استفاده از مولدهای کوچک (تولیدات پراکنده[1]) برای تولید برق بعد از ایجاد نیروگاه‌های بزرگ رنگ باخت، اما پیشرفت فناوری‌های جدید تولید برق در مقیاس کوچک، ایجاد تجدید ساختار در صنعت برق و مسائل زیست‌محیطی، باعث مطرح شدن مجدد این مولدها در صنعت برق شده است. ادغام آن‌ها به سیستم‌های توزیع ماهیت شعاعی شارش توان از طریق فیدر توزیع را مختل می‌کند و سبب می‌شود تا شارش توان یک جهت و تنها از سوی تولیدکننده‌های متمرکز به سمت مصرف‌کننده‌ها نباشد؛ بنابراین یک ساختار دقیق کنترلی و مدیریتی برای آسان کردن ادغام منابع تولید پراکنده و مدیریت پویای بار در سیستم قدرت نیاز است.

یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین سیستم‌های ایجاد شده برای استفاده صحیح از تولید پراکنده، مفهوم ریزشبکه[2] و شبکه هوشمند[3] است. با ظهور شبکه‌های مدرن، مسئله مدیریت ریزشبکه‌ها اهمیت ویژه‌ای

[1] Distributed Generation
[2] Micro Grid
[3] Smart Grid

پیدا کرده است. توسعه یک سیستم محاسباتی کارآمد برای بهره‌برداری ریزشبکه‌ها تبدیل به موضوع مهمی شده است که در جلسات جامعه انرژی و توان IEEE در سال ۲۰۱۲ در سن دیگو مورد بحث قرار گرفته است [۲] و [۳].

۱-۴-مروری بر کارهای انجام‌شده

در سال‌های اخیر کارهای بسیاری در زمینه ریزشبکه و به‌خصوص مدیریت در ریزشبکه‌ها انجام شده است. در این قسمت، برخی از کارهایی انجام شده در این زمینه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بهینه‌سازی هزینه‌ها و به حداقل رساندن مصرف سوخت برای پاسخگویی به تقاضای انرژی محلی در [۴] انجام شده است؛ در این مرجع برای ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی جریمه‌هایی نیز در نظر گرفته شده است. در مرجع [۵] یک روش برنامه‌ریزی دینامیکی برای ریزشبکه با هر دو نوع تقاضای الکتریکی و حرارتی، با هدف به حداکثر رساندن سود بررسی شده است. مرجع [۶] یک روش کنترل هماهنگ چندلایه‌ای[1] را که متشکل از دو لایه برنامه‌ریزی و لایه پخش‌بار است را برای مدیریت انرژی ریزشبکه ارائه می‌دهد. لایه برنامه‌ریزی یک طرح از بهره‌برداری اقتصادی بر اساس داده‌های پیش‌بینی ارائه می‌دهد، درحالی‌که لایه پخش‌بار، کنترل توان اکتیو و راکتیو واحدها را به‌صورت بلادرنگ بر عهده دارد.

در مرجع [۷] مدیریت انرژی هوشمندی برای ریزشبکه با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی و بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر برنامه‌نویسی خطی، ارائه شده است. هدف از این طرح چندهدفه مدیریت انرژی هوشمند، به حداقل رساندن هزینه بهره‌برداری و اثرات زیست‌محیطی ریزشبکه است. استراتژی مدیریت انرژی باد، سیستم‌های فتوولتائیک و ذخیره‌سازی در ریزشبکه، در طول بهره‌برداری مستقل ریزشبکه، در مرجع [۸] ارائه شده است. در مرجع [۹] به شارش توان در یک ریزشبکه AC-DC پرداخته شده است که در آن محاسبات مربوط به پخش‌بار بهینه برای بهره‌برداری اقتصادی و مطمئن از ریزشبکه AC-DC صورت گرفته است. ازجمله مقالاتی که محاسبات توان راکتیو نیز در آن‌ها مدنظر قرار گرفته است می‌توان به [۱۰] و [۱۱] اشاره کرد که در آن‌ها پخش‌بار[2] به‌صورت سنتی (روش نیوتن رافسون) انجام شده است و بر کنترل پارامترهای رابط‌های الکترونیک قدرتی[3] تأکید شده است. در این مراجع یک DG به‌عنوان شین بی‌نهایت[4] انتخاب شده و باقی شین‌ها به‌صورت PQ و یا PV بهره‌برداری می‌شوند.

[1] Multi-Layer Coordinated Control Approach
[2] Load Flow
[3] Power Electronic Interface
[4] Slack

مرجع [۱۲] یک ساختار مناسب را برای مطالعه پخش‌بار در یک ریزشبکه که شامل منابع انرژی تولید پراکنده با مبدل‌های اینورتری است، ارائه نموده است. این ساختار بر روی یک نرم‌افزار سیستم قدرت تجاری با در نظر گرفتن سیاست‌های بازاری ریزشبکه اجرا شده است. در مرجع [۱۳] برنامه‌ریزی برای ریزشبکه‌ای با تولید همزمان برق و حرارت[1] انجام شده است که در آن، انتخاب مکان و اندازه مناسب برای واحدهای تولیدی ریزشبکه محاسبه شده و همچنین میزان تولید بهینه هر واحد مشخص شده است. بهینه‌سازی در آن، توسط الگوریتم تکامل تفاضلی صورت گرفته است. یک استراتژی مدیریت انرژی برای اختصاص توان اکتیو و راکتیو و اطمینان از همکاری بین واحدهای کنترل‌پذیر به‌منظور دستیابی به عملکرد پایدار و اقتصادی در [۱۴] بررسی شده است. در [۱۵] یک مسئله پخش‌بار بهینه برای مدیریت انرژی بر اساس داده‌های لحظه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. یک راه‌حل جامع برای پخش‌بار بهینه در حضور واحدهای ذخیره‌ساز در مرجع [۱۶] ارائه شده است که محدودیت‌های سیستم ذخیره‌ساز، محدودیت‌های ولتاژ و توان نیز در آن در نظر گرفته شده است.

در مرجع [۱۷] یک الگوریتم جامع برای پخش‌بار ریزشبکه‌های مستقل با بار متعادل و نامتعادل در حالت ماندگار ارائه شده است. در این مرجع تعدادی از واحدهای تولید پراکنده با روش کنترل افتی کنترل شده و فرکانس حالت پایدار سیستم به‌عنوان یک متغیر پخش‌بار در نظر گرفته شده است. روش کنترل افتی روشی است که در آن با افزایش توان اکتیو و راکتیو منبع مقدار فرکانس و ولتاژ منبع کاهش می‌یابد. به‌منظور بهبود کنترل توان و اشتراک‌گذاری دقیق بین منابع، مرجع [۱۸] یک استراتژی کنترل برای تخمین خطای به اشتراک‌گذاری توان راکتیو واحدهای DG و بهبود عملکرد این سیستم‌ها را پیشنهاد می‌کند. مرجع [۱۹] و [۲۰] یک استراتژی کنترلی برای تقسیم توان راکتیو بین منابع در یک ریزشبکه جزیره‌ای را ارائه کرده‌اند. در مرجع [۲۱] یک روش جدید برای مدل‌سازی و کنترل توان راکتیو در ریزشبکه، با بهره‌گیری از توربین‌های بادی با ژنراتور القایی دو سو تغذیه[2] (DFIG) ارائه شده است. استراتژی کنترل توان راکتیو در آن، به‌صورت محلی به جبران توان راکتیو در حالت بهره‌برداری جزیره‌ای می‌پردازد.

۱–۵–اهداف پایان‌نامه

هرچند که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه ریزشبکه‌ها و شبکه‌های هوشمند صورت گرفته است، اما کمتر به مقوله اهمیت توان راکتیو در سیستم مدیریت ریزشبکه در حالت جزیره‌ای

[1] Combined Heat and Power Generation
[2] Doubly-Fed Induction Generators

پرداخته شده است. از جمله پژوهش‌های که به مسئله توان راکتیو در ریزشبکه پرداخته‌اند و هزینه یکی از اهداف آن‌ها بوده است، می توان به [۶]، [۱۳] و [۱۹] اشاره کرد. البته در پژوهش های ذکر شده به وضعیت خاص ریزشبکه‌های مستقل توجه‌ای نشده است. مسئله توان راکتیو در ریزشبکه مستقل با توجه به عدم حضور شبکه بالادست اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، چراکه نیاز توان راکتیو مصرف‌کننده‌ها بایستی توسط منابع ریزشبکه برآورده شود. از طرفی دیگر یکی از شاخص‌های مهم ریزشبکه‌ها منفعت‌های اقتصادی است که این شبکه‌ها در پی دارند. یک برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری ریزشبکه زمانی کارا و سودمند خواهد بود که منافع اقتصادی در آن در نظر گرفته شده باشد.

با توجه به مطالب ذکرشده هدف اصلی در این پایان‌نامه به دست آوردن یک برنامه بهینه تولید برای واحدهای یک ریزشبکه مستقل است که در آن نیازمندی‌های توان راکتیو نیز در نظر گرفته شده باشد و همچنین کمترین هزینه‌های اقتصادی را نیز در پی داشته باشد. در برنامه بهینه تولید علاوه بر در نظر گرفتن محدودیت‌های توان، ولتاژ و فرکانس، به مسئله‌های تولید همزمان برق و حرارت نیز پرداخته می‌شود. در نهایت روش پیشنهادی، روشی مناسب برای مدیریت ریزشبکه‌ها در حالت مستقل خواهد بود.

۱-۶- ساختار پایان‌نامه

ساختار ادامه پایان‌نامه به شرح زیر است:

نخست در فصل دوم به معرفی تولیدات پراکنده و شبکه‌های مدرن پرداخته، سپس ریزشبکه و انواع آن شرح داده می‌شود. همچنین منابع تولیدی در ریزشبکه‌ها و ساختارهای کنترلی مرسوم برای مدیریت ریزشبکه‌ها نیز در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل سوم یک روش پخش‌بار مناسب برای ریزشبکه‌های مستقل مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل چهارم به تعیین تابع هدف[1] و قیدهای موجود در مسئله مدیریت ریزشبکه مستقل پرداخته و همچنین روش‌های فرااکتشافی[2] مورداستفاده را شرح می‌دهد. همچنین در این فصل روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی هزینه‌های ریزشبکه مستقل ارائه می‌شود. در فصل پنجم روش پیشنهادی بر روی سیستم‌های تست اعمال شده و نتایج مطالعات عددی ارائه می‌شود. در فصل ششم، به نتیجه‌گیری کلی از این پایان‌نامه و ارائه پیشنهادهایی برای پایان‌نامه‌های آینده در این زمینه پرداخته می‌شود.

[1] Objective Function

[2] Meta-Heuristic Method

فصل ۲–ریزشبکه

۲–۱– مقدمه

در سال‌های اخیر جهان شاهد افزایش روزافزون جمعیت و به تبع آن افزایش تقاضای انرژی الکتریکی بوده است. همچنین مسائل زیست‌محیطی و آلودگی‌های ناشی از نیروگاه‌های برق یکی از چالش‌های اساسی در عصر حاضر است. اخیراً تولیدات پراکنده به‌عنوان یک راه‌کار مناسب برای مقابله با این مشکلات معرفی شده است، چراکه تولیدات پراکنده در نزدیکی بار نصب شده و نیاز به احداث خطوط جدید را از بین می‌برند و مشکل افزایش تقاضای انرژی را تا حدودی مرتفع می‌کنند. همچنین به دلیل آنکه تولیدات پراکنده قابلیت استفاده از منابع پاک و تجدید پذیر مانند انرژی خورشید و باد را دارند، به‌عنوان ساختارهای دوست‌دار محیط‌زیست نیز شناخته می‌شوند.

با رشد سریع تولیدات پراکنده در سیستم‌های قدرت، نیاز به مدیریت این منابع بیش‌ازپیش احساس می‌شود. شبکه‌های هوشمند و ریزشبکه‌ها به‌عنوان پاسخی برای این نیاز معرفی شدند. در این فصل ابتدا تولیدات پراکنده و شبکه‌های هوشمند معرفی می‌شوند. سپس ریزشبکه تعریف، و آینده و مزایای ریزشبکه‌ها بررسی خواهند شد. پس از آن، اجزای یک ریزشبکه، انواع و ساختار کنترلی آن بررسی خواهد شد. در نهایت شارش توان راکتیو در ریزشبکه به‌طور مختصر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲–۲–تولید پراکنده

منابع تولید پراکنده (DG) یا منابع انرژی توزیع‌شده[1] (DER) را می‌توان به‌عنوان منابع تولید توان الکتریکی که به شبکه‌های فوق توزیع، توزیع و یا به مصرف‌کننده‌های محلی متصل می‌شوند، تعریف کرد. ظرفیت تولید این منابع در مقایسه با سایر منابع متداول تولید انرژی الکتریکی، بسیار کوچک‌تر (نوعاً کوچک‌تر از ۱۰ تا ۳۰ مگاوات) و فن‌آوری بکار رفته در تولید توان آن‌ها نیز متفاوت و بسیار متنوع است. منابع انرژی تجدید پذیر ازجمله این منابع هستند. آن‌ها در مجاورت مصرف‌کننده‌ها نصب می‌شوند و به‌صورت مجزا یا موازی با شبکه‌های الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند[۲۲].

[1] Distributed Energy Resources