



دانشگاه کردستان  
دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی برق

عنوان:

طراحی کنترل کننده‌های کارآمد برای پایداری فرکانس و ولتاژ در ریزشبکه‌ها

پژوهشگر:

فرشید حبیبی تجربه

استاد راهنما:

دکتر حسن بیورانی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

مهرماه ۱۳۹۱



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کردستان  
دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی برق

عنوان:

طراحی کنترل کننده‌های کارآمد برای پایداری فرکانس و ولتاژ در ریزشبکه‌ها

پژوهشگر:

فرشید حبیبی تجره

استاد راهنما:

دکتر حسن بیورانی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

مهرماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه کردستان است.

## \*\*\*تعهدنامه\*\*\*

اینجانب فرشید حبیبی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته برق گرایش قدرت دانشگاه کردستان، دانشکده فنی و مهندسی گروه برق تعهد می‌نمایم که محتوای این پایان‌نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی‌برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

فرشید حبیبی تجربه

۱۳۹۱/۰۷/۱۹



دانشگاه کردستان  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه برق

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

طراحی کنترل کننده‌های کارآمد برای پایداری فرکانس و ولتاژ در ریزشبکه‌ها

پژوهشگر:

فرشید حبیبی تجره

در تاریخ / / ۱۳ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

مرتبۀ علمی

نام و نام خانوادگی

هیات داوران

امضاء

دانشیار

دکتر حسن بیورانی

۱- استاد راهنما

استادیار

دکتر غلامحسین شیسی

۲- استاد داور خارجی

استادبار

دکتر علی حسامی نقشبندی

۳- استاد داور داخلی

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات

مهر و امضاء گروه

تکمیلی دانشکده

این پایان نامه را به

خانواده عزیز و روح مادر مهربانم

تقدیم می‌کنم.



## سپاسگزاری و قدردانی

بدین وسیله لازم می‌دانم، از استاد محترم جناب آقای دکتر حسن بیورانی، که راهنمایی‌های ایشان در مسیر انجام پروژه به حق راه‌گشا بوده است، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. هم‌چنین از دیگر اساتید محترم گروه مهندسی برق دانشگاه کردستان، خصوصاً جناب آقای دکتر علی حسامی نقشبندی که در انجام این پایان‌نامه بنده را یاری و راهنمایی فرمودند، نهایت تشکر را دارم. هم‌چنین بر خود لازم می‌دانم که از دوستان عزیزم، آقایان مهندس پویا باباجیانی و مهندس شورش شکوهی که در بخش‌هایی از این پایان‌نامه با بنده همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی کنم. از خانواده عزیزم، که بزرگ‌ترین حامی و پشتیبان بنده در طول زندگی بوده‌اند، کمال تشکر و امتنان را دارم.

فرشید حبیبی

مهرماه ۱۳۹۱

## چکیده

با رشد چشمگیر مصرف انرژی الکتریکی در سال‌های اخیر، سیستم‌های قدرت مرسوم با مشکلات مختلفی مانند گرمایش جهانی، کمبود سوخت‌های فسیلی، هزینه بالای احداث نیروگاه‌های جدید و غیره روبرو شده‌اند که برای حل این مشکلات، استفاده از منابع تولید پراکنده در چند دهه گذشته مطرح گردیده است. در منابع تولید پراکنده غالباً انرژی اولیه برای تولید برق، منابع انرژی پاک و تجدید پذیر همچون باد، خورشید و انرژی گرمایشی زمین است. هرچند وجود این منابع، با مزایای فراوانی همراه بوده اما افزایش تعداد آن‌ها مشکلات دیگری را نیز برای سیستم قدرت به وجود می‌آورد. به عنوان مثال می‌توان به پیچیده‌تر شدن سیستم توزیع و انتقال، برهم خوردن تقارن شبکه، از مرکزیت خارج شدن تولید و مشکلات ایجاد شده توسط این منابع برای طرح‌های حفاظتی اشاره کرد. به منظور بهره‌برداری بهینه از این منابع، مفهوم جدیدی به نام ریزشبکه در سال ۱۹۹۸ مطرح شد، که یک ریزشبکه را برآیندی از بارها و منابع تولید کوچک در نظر می‌گرفت که می‌تواند به صورت مستقل بارهای خود را از لحاظ الکتریکی و گرمایی تغذیه نماید. اساس طراحی کنترلی در ریزشبکه‌ها بایستی به صورتی باشد که بتوانند بارهای محلی را در هر دو حالت وصل و قطع از شبکه سراسری تغذیه نمایند. پس وجود یکسری کنترل‌کننده‌های محلی و مرکزی بین ریزشبکه و شبکه سراسری الزامی است. در حالت مرسوم این کنترل‌کننده‌ها بر اساس شرایط کار نامی و آرامش سیستم قدرت، برای یک بار در مقادیر مشخصی تنظیم شده و در سیستم قرار می‌گیرند. اما بنا به طبیعت نوسانی منابع انرژی ریزشبکه‌ها و اینرسی پایین این شبکه‌ها، کنترل‌کننده‌های کلاسیک انتگرالی-تناسبی (PI) نمی‌توانند پاسخ مناسب خود را در گستره وسیعی از نقاط کار حفظ کنند. زیرا در این شبکه‌ها، اغتشاشات متداول سیستم‌های قدرت، می‌تواند آرامش و نقطه کار را به راحتی تغییر دهند، پس به روش‌های کنترلی کارآمدتر و هوشمندتر بیش از پیش احتیاج است. بر همین اساس در این پایان‌نامه، پایداری فرکانس و ولتاژ ریزشبکه‌ها با استفاده از روش‌های کنترل مقاوم و کنترل هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. از شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی به همراه الگوریتم ازدحام ذرات<sup>۱</sup> در امر کنترل فرکانس ریزشبکه‌ها، به منظور تنظیم بهنگام کنترل‌کننده‌های کلاسیک کمک گرفته

شده است. همچنین از تئوری‌های کنترل مقاوم همانند تئوری خاریتائف<sup>۲</sup> و مفهوم پایداری حوزه‌ای<sup>۳</sup>، برای تنظیم کنترل‌کننده ولتاژ در ریزشبكة‌ها، استفاده شده است. در هر کدام از این روش‌ها، عملکرد و کارایی مطلوب‌تر روش‌های کنترلی پیشنهادی نسبت به روش‌های رایج، بوسیله شبیه‌سازی حوزه زمان بروی سیستم‌های آزمون جداگانه بررسی شده است.

**کلمات کلیدی:** منابع تولید پراکنده، منابع انرژی تجدیدپذیر، ریزشبكة، کنترل مقاوم، تئوری خاریتائف، کنترل ثانویه فرکانس، کنترل‌کننده هوشمند PI، تنظیم بهنگام، شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی، الگوریتم PSO

---

<sup>1</sup> Particle Swarm Optimization (PSO)

<sup>2</sup> Kharitonov's Theorem

<sup>3</sup> D-Stability

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱: ریزشکبه‌ها	۱
۱-۱- ریزشکبه‌ها	۳
۲-۱- منابع تولید در ریزشکبه‌ها	۶
۱-۲-۱- CHPها	۶
۲-۲-۱- سلول‌های سوختی	۷
۳-۲-۱- سیستم‌های تبدیل انرژی بادی	۹
۱-۳-۲-۱- توربین‌های بادی با سرعت ثابت	۱۰
۲-۳-۲-۱- توربین‌های بادی با سرعت متغیر	۱۱
۴-۲-۱- سلول‌های خورشیدی	۱۱
۵-۲-۱- منابع ذخیره کننده انرژی	۱۳
۳-۱- ساختارهای کنترلی در ریزشکبه‌ها	۱۴
۱-۳-۱- رویکردهای کلی	۱۴
۱-۱-۳-۱- کنترل مرکزی	۱۴
۲-۱-۳-۱- کنترل تک عامله و چند عامله	۱۷
۳-۱-۳-۱- کنترل پراکنده (غیر متمرکز)	۱۸
۲-۳-۱- رویکردهای کنترلی مبتنی بر حالت عملکرد ریزشکبه‌ها	۲۰
۱-۲-۳-۱- روش کنترلی PQ	۲۲
۲-۲-۳-۱- روش کنترلی VSI	۲۳
فصل ۲: کنترل کننده مقاوم ولتاژ بر اساس تئوری خاریتائف	۲۷
۱-۲- معرفی مدل سیستم	۲۸
۲-۲- استراتژی طراحی کنترل کننده	۳۱
۱-۲-۲- ویژگی‌های سیستم حلقه باز	۳۲
۳-۲- تئوری خاریتائف	۳۴
۱-۳-۲- اعمال تئوری خاریتائف به سیستم مورد نظر	۳۶
۲-۳-۲- مفهوم D-Stability	۳۹
۳-۳-۲- چهار ضلعی‌های خاریتائف	۴۰
۴-۲- ساختار کنترلی ارائه شده برای کنترل ولتاژ	۴۱

۴۲	۵-۲- ارزیابی نحوه عملکرد کنترل کننده ولتاژ .....
۴۲	۱-۵-۲- حالت جزیره‌ای .....
۴۵	۲-۵-۲- تغییرات پله‌ای بار .....
۴۷	۳-۵-۲- بازگشت به حالت اتصال به شبکه سراسری .....
۴۹	۶-۲- نتیجه گیری فصل .....
۵۰	۷-۲- مقالات حاصل از فصل ۲ .....
۵۱	فصل ۳: کنترل کننده هوشمند فرکانس بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی .....
۵۳	۱-۳- سیستم آزمون .....
۵۶	۱-۱-۳- نحوه مدل سازی سیستم آزمون .....
۵۷	۲-۳- کنترل بار- فرکانس .....
۵۷	۱-۲-۳- کنترل اولیه .....
۵۸	۲-۲-۳- کنترل ثانویه .....
۵۹	۳-۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی .....
۶۱	۴-۳- روش کنترلی پیشنهادی مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی .....
۶۳	۱-۴-۳- فرآیند یادگیری شبکه عصبی مصنوعی .....
۶۶	۵-۳- نتایج شبیه سازی‌ها .....
۶۶	۱-۵-۳- سناریوی اول (S-1) .....
۶۶	۲-۵-۳- سناریوی دوم (S-2) .....
۷۰	۳-۵-۳- سناریوی سوم (S-3) .....
۷۰	۴-۵-۳- سناریوی چهارم (S-4) .....
۷۳	۶-۳- ارزیابی روش کنترلی پیشنهادی بر اساس یک شاخص کمی .....
۷۴	۷-۳- نتیجه گیری .....
۷۶	۸-۳- مقالات حاصل از فصل ۳ .....
۷۷	فصل ۴: کاربرد کنترل کننده فازی-PI بهینه شده توسط الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)، در پایداری فرکانسی .....
۷۹	۱-۴- ریزشبه آزمون .....
۸۰	۲-۴- طراحی کنترل کننده هوشمند .....
۸۱	۱-۲-۴- منطق فازی .....
۸۲	۲-۲-۴- الگوریتم PSO .....
۸۵	۳-۴- اعمال روش کنترلی پیشنهادی به ریزشبه .....
۸۶	۱-۳-۴- طراحی کنترل کننده فازی-PI .....

۸۹.....	۲-۳-۴- طراحی کنترل کننده فازی-PI بهینه شده توسط الگوریتم PSO
۹۲.....	۴-۴- نتایج شبیه سازی‌ها
۹۲.....	۱-۴-۴- سناریوی اول (S-1)
۹۳.....	۲-۴-۴- سناریوی دوم (S-2)
۹۴.....	۳-۴-۴- سناریوی سوم (S-3)
۹۵.....	۵-۴- تعریف یک شاخص کمی
۹۶.....	۶-۴- نتیجه گیری
۹۷.....	۷-۴- مقالات حاصل از فصل ۴
۹۸.....	فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۹.....	۱-۵- نتیجه گیری
۱۰۰.....	۲-۵- پیشنهادات
۱۰۲.....	مجموعه مقالات حاصل از پایان نامه
۱۰۴.....	مراجع

## فهرست جداول

جدول ۱-۲: مقادیر نامی پارامترهای سیستم.....	۳۲
جدول ۲-۲: مقادیر طراحی شده برای کنترل کننده PI.....	۴۰
جدول ۱-۳: مقادیر پارامترهای استفاده شده در مدل فرکانسی ریزش شبکه.....	۵۵
جدول ۲-۳: مقادیر محاسبه شده برای شاخص عملکرد رابطه (۴-۱۳).....	۷۴
جدول ۱-۴: پارامترهای ریزش شبکه آزمون.....	۷۹
جدول ۲-۴: مقادیر ضرایب کنترلی بر اساس روش زیگلر-نیکولز.....	۸۵
جدول ۳-۴: مجموعه قوانین فازی.....	۸۶
جدول ۴-۴: دامنه تغییرات پارامترهای مهم ریزش شبکه از مقادیر نامی.....	۹۴
جدول ۵-۴: نتایج اندازه گیری شده برای شاخص کمی رابطه (۴-۶).....	۹۶

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: ساختار کلی یک ریزشبه [۱۲]..... ۴
- شکل ۱-۲: دیاگرام کلی یک سلول سوختی..... ۸
- شکل ۱-۳: توربین بادی سه پره..... ۹
- شکل ۱-۴: سلول خورشیدی..... ۱۲
- شکل ۱-۵: چارچوب روش کنترل مرکزی..... ۱۵
- شکل ۱-۶: چارچوب رویکرد کنترلی غیر متمرکز..... ۱۹
- شکل ۱-۷: حضور DG در ریزشبه با واسطه یک اینورتر..... ۲۱
- شکل ۱-۸: چارچوب کنترلی به روش PQ..... ۲۲
- شکل ۱-۹: کنترل اولیه توسط مشخصه افی برای تنظیم فرکانس و ولتاژ..... ۲۳
- شکل ۱-۱۰: افت فرکانسی محدود شده توسط کنترل اولیه..... ۲۴
- شکل ۱-۱۱: چارچوب کنترل ثانویه..... ۲۴
- شکل ۱-۱۲: چارچوب کنترلی به روش VSI..... ۲۵
- شکل ۲-۱: ریزشبه آزمون..... ۲۹
- شکل ۲-۲: پاسخ پله سیستم حلقه باز..... ۳۳
- شکل ۲-۳: دیاگرام بد سیستم حلقه باز..... ۳۳
- شکل ۲-۴: مقادیر مناسب  $K_p$  و  $K_i$  برای هرویتر کردن معادلات (۲-۱۵)..... ۳۸
- شکل ۲-۵: مقادیر بهینه جدا شده از شکل ۲-۴ توسط D-Stability..... ۳۹
- شکل ۲-۶: پاسخ پله سیستم حلقه بسته..... ۴۰
- شکل ۲-۷: حرکت چهار ضلعی‌های خاریتائف بازای  $0 < \omega < 50\text{kHz}$ ، (ب) یک نمای نزدیک حول مبدأ..... ۴۱
- شکل ۲-۸: ساختار کنترلی ارائه شده برای کنترل ولتاژ..... ۴۲
- شکل ۲-۹: ولتاژ PCC قبل از بروز اغتشاش..... ۴۳
- شکل ۲-۱۰: جریان PCC قبل از بروز اغتشاش..... ۴۴
- شکل ۲-۱۱: ولتاژ PCC بعد از رخداد خطا در زمان  $0.2$  ثانیه از شبیه سازی (به صورت بزرگ شده)..... ۴۴
- شکل ۲-۱۲: جریان PCC بعد از جزیره ایی شدن در زمان  $0.2$  ثانیه از شبیه سازی..... ۴۴
- شکل ۲-۱۳: نحوه تغییرات توان اکتیو و راکتیو در ریزشبه قبل و بعد از رخداد خطا..... ۴۵
- شکل ۲-۱۴: تغییرات مؤلفه‌های ولتاژی..... ۴۵
- شکل ۲-۱۵: منحنی تغییرات ولتاژ پس از یک تغییر پله ایی  $200\text{ KW}$  در زمان  $0.3$  ثانیه..... ۴۶
- شکل ۲-۱۶: منحنی تغییرات جریان پس از یک تغییر پله ایی  $200\text{ KW}$  در زمان  $0.3$  ثانیه..... ۴۶
- شکل ۲-۱۷: منحنی تغییرات توان اکتیو و راکتیو پس از یک تغییر پله ایی  $200\text{ KW}$  در زمان  $0.3$  ثانیه..... ۴۷
- شکل ۲-۱۸: نحوه تغییرات مؤلفه‌های افقی و عمودی ولتاژ پس از یک تغییر پله ایی  $200\text{ KW}$  در زمان  $0.3$  ثانیه..... ۴۷
- شکل ۲-۱۹: وضعیت پروفایل ولتاژ بعد از اتصال مجدد به شبکه قدرت..... ۴۸
- شکل ۲-۲۰: وضعیت پروفایل جریان PCC بعد از اتصال مجدد به شبکه قدرت..... ۴۸
- شکل ۲-۲۱: وضعیت توان اکتیو و راکتیو ریزشبه بعد از اتصال مجدد به شبکه قدرت..... ۴۹
- شکل ۲-۲۲: وضعیت پروفایل مؤلفه‌های ولتاژی بعد از اتصال مجدد به شبکه قدرت..... ۴۹
- شکل ۳-۱: سیستم آزمون؛ الف) مدل واقعی ریزشبه، ب) مدل پاسخ فرکانسی ریزشبه..... ۵۴
- شکل ۳-۲: الگوریتم روزانه؛ الف) توربین بادی، ب) پانل خورشیدی..... ۵۵



- شکل ۳-۳: فرکانس سیستم؛ الف) بدون حضور کنترل کننده اولیه؛ ب) در حضور حلقه کنترلی اولیه ..... ۵۸
- شکل ۳-۴: یک ژنراتور سنکرون با حلقه‌های کنترلی اولیه و ثانویه [۲۸] ..... ۵۸
- شکل ۳-۵: یک مدل ریاضی نوعی از نرون‌ها در شبکه‌های عصبی مصنوعی ..... ۶۰
- شکل ۳-۶: روش آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی، الف) با مربی، ب) بدون مربی، ج) تقویتی ..... ۶۱
- شکل ۳-۷: ساختار کنترلی پیشنهادی برای هوشمند سازی یک کنترل کننده کلاسیک ..... ۶۲
- شکل ۳-۸: ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای تنظیم بهنگام یک کنترل کننده PI ..... ۶۲
- شکل ۳-۹: توابع در نظر گرفته شده برای لایه‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی ..... ۶۳
- شکل ۳-۱۰: فلوجارت به روز کردن وزن‌ها در الگوریتم یادگیری پس انتشار [۴۰] ..... ۶۴
- شکل ۳-۱۱: پاسخ واحدهای مختلف ریزشبهه، در حضور نوسانات توان توربین بادی و پانل خورشیدی ..... ۶۷
- شکل ۳-۱۲: پاسخ فرکانسی ریزشبهه بدون مشارکت BESS و FESS؛ الف) نوسانات پله‌ای بار و نوسانات توان خروجی توربین بادی و پانل خورشیدی، ب) پاسخ فرکانسی DEG، ج) فرکانس ریزشبهه ..... ۶۸
- شکل ۳-۱۳: پاسخ فرکانسی ریزشبهه با مشارکت BESS و FESS در مقابل نوسانات شکل ۳-۱۲؛ الف) پاسخ BESS، ب) پاسخ FESS، ج) پاسخ DEG، د) فرکانس ریزشبهه ..... ۶۹
- شکل ۳-۱۴: پاسخ فرکانسی واحدهای مختلف ریزشبهه متعاقب یک نویز سفید؛ الف) نویز سفید اعمالی، ب) پاسخ BESS، ج) پاسخ FESS، د) پاسخ DEG، ه) فرکانس ریزشبهه ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۵: ریزشبهه غیرخطی ..... ۷۲
- شکل ۳-۱۶: پاسخ فرکانسی واحدهای مختلف ریزشبهه غیرخطی متعاقب نویز سفید؛ الف) پاسخ BESS، ب) پاسخ FESS، ج) پاسخ DEG، د) فرکانس ریزشبهه ..... ۷۳
- شکل ۴-۱: ریزشبهه آزمون؛ الف) مدل واقعی، ب) مدل پاسخ فرکانسی ..... ۸۰
- شکل ۴-۲: ساختار کنترل کننده فازی-PI برای کنترل ثانویه فرکانس ..... ۸۶
- شکل ۴-۳: توابع عضویت ورودی سیستم فازی بازای ورودی تغییرات فرکانس ..... ۸۷
- شکل ۴-۴: توابع عضویت ورودی سیستم فازی بازای ورودی تغییرات بار ..... ۸۷
- شکل ۴-۵: توابع عضویت خروجی سیستم فازی برای ثابت تناسبی ..... ۸۸
- شکل ۴-۶: توابع عضویت خروجی سیستم فازی برای ثابت انتگرالی ..... ۸۸
- شکل ۴-۷: ساختار بهینه شده کنترل کننده فازی - PI توسط الگوریتم PSO ..... ۹۰
- شکل ۴-۸: فلوجارت محاسباتی عملکرد الگوریتم PSO به صورت بهنگام ..... ۹۱
- شکل ۴-۹: الف) چندین بار پله ایی تصادفی، ب) پاسخ فرکانسی ریزشبهه ..... ۹۳
- شکل ۴-۱۰: فرکانس ریزشبهه متعاقب رخداد یک بار پله ایی  $p.u. 0.2$  ..... ۹۴
- شکل ۴-۱۱: فرکانس ریزشبهه آزمون، مطابق با تغییرات داده شده در جدول ۴-۴ در سیستم ..... ۹۵

## فصل ۱: ریزش‌بکه‌ها

با رشد چشمگیر مصرف انرژی الکتریکی در سال‌های اخیر، واحدهای تولید مرسوم در سیستم قدرت با مشکلات مختلفی مانند گرمایش جهانی، کمبود سوخت‌های فسیلی، هزینه بالای احداث نیروگاه‌های جدید و غیره روبرو شده‌اند که برای حل این مشکلات، یعنی رفع نگرانی‌های زیست محیطی، افزایش قابلیت اطمینان و عرضه هر چه بیشتر سیستم‌های قدرت در محیط‌های تجاری خصوصی، استفاده از منابع تولید پراکنده (DG<sup>۱</sup>) در دهه‌های گذشته مطرح گردیده است. در منابع تولید پراکنده غالباً انرژی اولیه برای تولید برق، منابع انرژی پاک و تجدید پذیر همچون باد، خورشید و گرمایشی زمین است. منابع تولید پراکنده در قالب توربین‌های بادی، پانل‌های خورشیدی، سلول‌های سوختی و غیره به یاری سیستم‌های قدرت مرسوم، در تغذیه بارهای الکتریکی آمده‌اند [۱، ۲].

هدف از پیدایش منابع تولید پراکنده کم‌کردن میزان وابستگی سیستم‌های قدرت به سوخت‌های فسیلی و در نتیجه انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ایی، کاستن تراکم و تلفات از خطوط انتقال و توزیع و هم‌چنین کاستن یا به تعویق انداختن سرمایه‌گذاری در زمینه احداث خطوط انتقال/توزیع و نیروگاه‌های جدید است. هرچند وجود این منابع، با مزایای فراوانی همراه بوده، اما با مشکلاتی نیز همراه هستند که عملکرد مناسب آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ هزینه اولیه بالای خرید منابع تولید پراکنده، فقدان استانداردهای لازم در زمینه کیفیت توان و کیفیت پروفایل ولتاژ و فرکانس ریزش‌بکه‌ها، خارج شدن تولید از حالت متمرکز و پخش شدن آن در کل سیستم، سخت‌تر شدن طرح‌های کنترلی و حفاظتی و هم‌چنین نگهداری از این منابع از جمله مشکلاتی است که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد [۳، ۴].

افزایش تعداد منابع تولید پراکنده علاوه بر مشکلات فوق، سبب می‌شوند که سیستم‌های قدرت بیش از پیش پیچیده و غیرخطی گردند. به منظور بهره‌برداری بهینه از این منابع و هم‌چنین غلبه بر مشکلات آن‌ها، مفهوم جدیدی به نام ریزش‌بکه<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۸ توسط موسسه CERTS<sup>۳</sup> مطرح شد که یک ریزش‌بکه را برآیندی از بارها و منابع تولید کوچک در نظر می‌گرفت که می‌تواند به صورت

---

<sup>۱</sup> Distributed Generation (DG)

<sup>۲</sup> Microgrid (MG)

<sup>۳</sup> Consortium for Electric Reliability Technology Solution (CERTS)

مستقل بارهای خود را از لحاظ الکتریکی و گرمایی تغذیه نماید [۵، ۶]. در واقع ریزشبکه‌ها، شبکه‌های قدرت کوچکی هستند که بروی منابع تولید پراکنده و تجدید پذیر انرژی متمرکز بوده، تا توان الکتریکی مطمئن، ارزان، کارآمد و سازگار با محیط زیست را به مصرف کنندگان تحویل دهند و در کل امنیت و قابلیت اطمینان شبکه اصلی را ارتقا دهند. ریزشبکه‌ها در مکان‌هایی مانند بلوک‌های اداری، سایت‌های صنعتی، مراکز خرید و محوطه‌های دانشگاهی می‌توانند به کار گرفته شوند [۷].

ریزشبکه‌ها در شرایط عادی به شبکه اصلی قدرت متصل بوده و می‌توانند بخشی از انرژی مورد نیاز خود را از شبکه تأمین کنند و یا در مواردی توان مازاد بر نیاز خود را به شبکه سراسری تحویل دهد. اما طراحی، کنترل و استراتژی‌های عملکرد یک ریزشبکه به گونه ایست که می‌تواند در صورت نیاز، جدا از شبکه قدرت با تأمین حداقل بخشی از بارهای خود به صورت جزیره‌ای و خودگردان، به کار خود ادامه دهد. از آنجایی که یک ریزشبکه توانایی کار به صورت مستقل و جزیره‌ای (جدا از شبکه سراسری) را داراست، برای عملکرد مناسب این شبکه‌ها لازم است که کنترل‌کننده‌های طراحی شده برای این ریزشبکه‌ها هم در حالت جزیره‌ای و هم در حالت متصل به شبکه سراسری توانایی پایدارسازی شبکه را داشته باشند. پایداری یک ریزشبکه که انرژی مورد نیاز بارهای محلی را تأمین می‌کند از اهمیت بسزایی برخوردار است، چرا که علاوه بر موارد ذکر شده در حالت متصل به شبکه بر کیفیت توان سیستم سراسری نیز تأثیرگذار خواهد بود. کیفیت توان تولید شده توسط این سیستم‌ها باید همانند سیستم‌های متصل به شبکه سراسری باشد، چرا که مصرف‌کننده‌های هر دو یعنی سیستم‌های ایزوله شده و سیستم‌های به هم پیوسته همانند یکدیگرند [۸-۱۱].

## ۱-۱- ریزشبکه‌ها

ریزشبکه‌ها از دسته‌ایی از منابع تولید پراکنده و بارهای محلی تشکیل شده‌اند که می‌توانند در هر دو حالت وصل و قطع از شبکه سراسری به تغذیه بارهای محلی ادامه دهند. ساختار کلی یک ریزشبکه در شکل ۱-۱ دیده می‌شود. ریزشبکه و شبکه سراسری در نقطه اتصال مشترک ( $PCC^1$ )

<sup>1</sup> Point of Common Coupling (PCC)