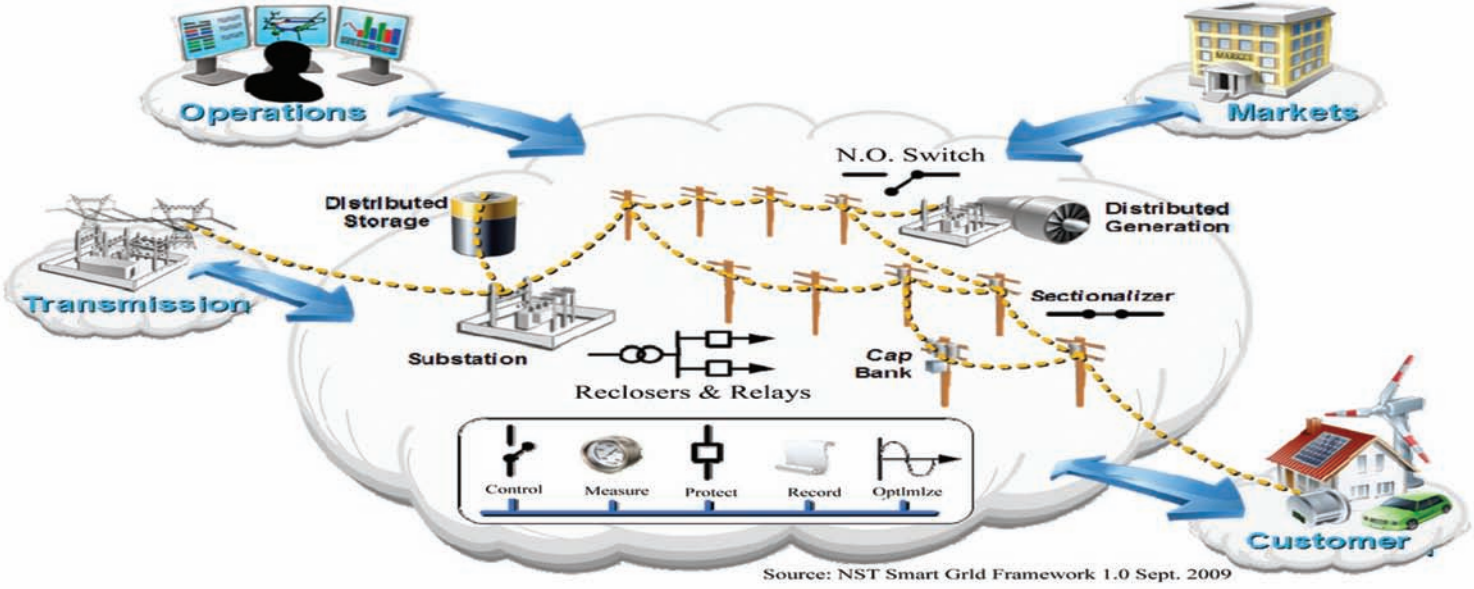


کنترل فرکانس شبکه‌های توزیع جزیره‌ای متصل به تولیدات پراکنده با استفاده از کاهش بار براساس فرکانس

مظاهر کریمی/ استادیار گروه مهندسی برق/ دانشکده علوم پایه و فنی مهندسی/ دانشگاه گنبدکاووس/ m.karimi@gonbad.ac.ir

عمیدالدین شهریاری/ گروه مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب/ تهران– ایران/ shahriariamid@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، کنترل فرکانس شبکه‌های توزیع برق که توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شوند در حالت جزیره‌ای بررسی و تحلیل شده‌است. یک شبکه توزیع تغذیه شده توسط منابع تولید پراکنده، در صورتی‌که بتواند در هر دو حالت اتصال به شبکه و یا در حالت جزیره‌ای به فعالیت خود ادامه دهد، توانسته که قابلیت اطمینان و کیفیت توان را برای مشتریان حفظ نماید. در این صورت از منابع تولید پراکنده بیشترین استفاده جهت تامین و تغذیه بارهای شبکه توزیع، حتی در حالت جزیره‌ای امکان‌پذیر می‌شود. بنابراین، جهت عملکرد شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای باید از پایداری فرکانس و ولتاژ شبکه، با در نظر گرفتن این نکته که ولتاژ و فرکانس در بازه مطلوب خود قرار دارند، اطمینان حاصل گردد. در حالت عملکرد جزیره‌ای با توجه کوچک بودن ثابت اینرسی شبکه توزیع، فرکانس شبکه بسیار حساس می‌باشد. در این خصوص، پایداری فرکانس یکی از مهمترین چالش‌های پیش‌رو می‌باشد. بنابراین در این مقاله، یک کنترل‌کننده جدید جهت کاهش بار برای شبکه‌های توزیع در حالت جزیره‌ای متصل به تولیدات پراکنده براساس روش‌های مبتنی بر پاسخ و رخداد پیشنهاد گردیده تا بتواند با محاسبه سریع اختلاف توان اکتیو بین تولید و مصرف در شبکه، اولویت‌بندی بارها و کاهش بار در یک مرحله براساس اولویت‌بندی، فرکانس شبکه را که توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شود در بازه قابل قبولی حفظ نماید. بدین جهت، درستی عملکرد کنترل‌کننده پیشنهادی برای یک شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای بررسی شده و پایداری قابل قبولی برای ولتاژ و فرکانس شبکه بدست آمده‌است.

کلمات کلیدی: تولیدات پراکنده، شبکه‌های توزیع جزیره‌ای، کنترل فرکانس، نرخ تغییرات فرکانس نسبت به زمان.

Power system frequency control of an islanded distribution network connected to distributed generation based on under-frequency load shedding

Mazaher Karimi/Department of Electrical Engineering, Faculty of Basic Sciences and Engineering, Gonbad Kavous University/ m.karimi@gonbad.ac.ir

Amidaddin Shariari/ Department of Electrical Engineering, Islamic Azad university, South-Tehran Branch, Tehran,Iran/ shahriariamid@yahoo.com

ABSTRACT

In this article; an islanded distribution network, which is connected with Distributed Generation (DG), is investigated. A distribution network that be able of operating in both grid connected or islanded condition, will improve reliability and power quality of the customers. In this case, the DG will be maximized to supply and feed the distribution network loads, even in islanded mode. Therefore, for the operation of the islanded distribution network, the frequency and voltage of the network should be kept within their optimal range. During the islanding mode voltage and frequency are very sensitive in distribution network connected with DG and the system frequency is determined by the power balance in the islanded system. This research adopt an Under Frequency Load Shedding (UFLS) scheme in response based and event based methods to improve the system stability and security by enhancing the frequency and voltage response of the system on occurrence of contingency in distribution network. Proposed method is performed based on frequency and Rate of Change of Frequency (RoCoF) for islanded distribution network. Developed UFLS scheme provide a fast decision to prevent the frequency decline in the system. Hence, after calculating the amount of load

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]

needed to be shed; this method will shed the required load in one-step to find a better response. The proposed method functionality has been investigated and an acceptable stability for the voltage and frequency of the network has been obtained.

Keywords: Distributed generation, Islanded distribution network, Frequency control, Rate of change of frequency

۱- مقدمه

امروزه نفوذ نسبی انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه‌های برق قدرت در حال افزایش است. به‌عنوان مثال اتحادیه اروپا، با توجه به سیاست لحاظ شده در استفاده از انرژی‌های نو، در نظر دارد تا سال ۲۰۳۰ به‌طور تقریبی ۲۰٪ از انرژی توسط انرژی‌های نو تولید و در شبکه تزریق شوند[۱]. این نشان می‌دهد که فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر برای گسترش و تجاری شدن در سراسر جهان با عزمی راسخ در حال پیگیری و توسعه می‌باشد. استفاده از منابع تجدیدپذیر در سراسر جهان جهت فرایند تولید برق است که از آلودگی‌ها و تولید گازهای گلخانه‌ای مبراست یا به اصطلاح پاک و سبز می‌باشد. این مهم‌ترین جنبه برای به حداقل رساندن اثرات فناوری به محیط‌زیست است و بر این اساس، با استفاده از منابع انرژی طبیعی موجود در قالب تولیدات پراکنده[۱]، قادر به تامین برق ارزان‌تر با پایداری و قابلیت اطمینان بالاتری برای مشتریان خواهیم بود[۲, ۳]. در سال‌های اخیر با توجه به گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مباحث زیادی در بین پژوهشگرها مطرح گردیده و همگی در جهت افزایش قابلیت استفاده از این نوع انرژی در شبکه‌های برق، تحقیقات و مطالعات زیادی را انجام داده‌اند. براساس همین پژوهش‌ها، هر چند استفاده و بکارگیری از انرژی‌های تجدیدپذیر مزایای بسیاری را به ارمغان می‌آورد با این حال، پیاده‌سازی آن در یک شبکه سبب شده که شبکه و پیکربندی شبکه نیازمند تغییراتی شود. این تغییرات شامل تغییر در شبکه کنترل و تنظیمات حفاظتی نیز می‌شود. چنین چالشی برای تنظیم دوباره شبکه‌های معمولی، زمانی‌که توسط انرژی‌های تجدیدپذیر و در قالب تولید پراکنده تغذیه می‌شوند، مورد توجه قرار گرفته‌است.

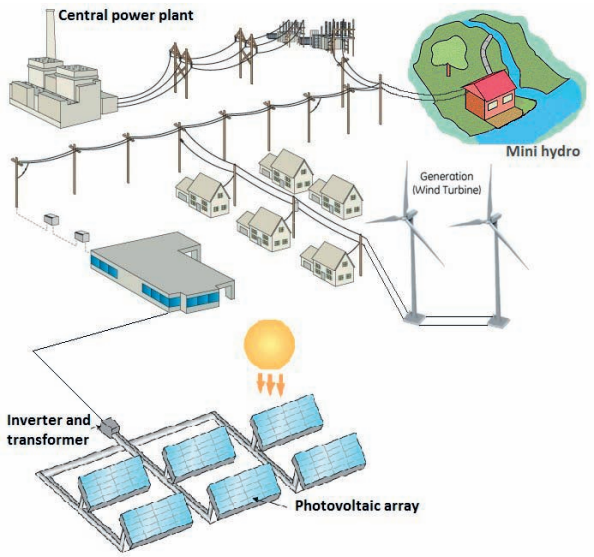
به‌طور کلی، تولید پراکنده می‌تواند هر نوعی از تولید برق الکتریکی باشد که به‌طور معمول در یک شبکه توزیع با ظرفیت کمتر از ۱۰ مگاوات نصب می‌شود و می‌تواند براساس انواع فنآوری‌های مختلف مانند توربین بادی، آرایه فتوولتاییک، سیستم‌های ترکیبی برق و حرارت[۲]، سلول‌های سوختی، موتورهای دیزلی و گاز طبیعی معمولی و فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی باشد[۴]. تزریق انرژی برق در شبکه‌های توزیع با توجه به گسترش و پیشرفت فناوری استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌طور معمول از این نوع بوده و در این راستا مسایل فنی و پژوهش‌های زیادی قابل انجام و بررسی می‌باشند. یکی از این موارد که می‌توان به آن اشاره داشت مربوط به زمانی است که تولیدات پراکنده در شبکه توزیع متصل باشند و به‌صورت اتفاقی شبکه توزیع از شبکه سراسری برق جدا شود و در اصطلاح به‌صورت جزیره‌ای به‌کار خود ادامه دهد. یک شبکه جزیره‌ای[۳] می‌تواند شامل بسیاری از ژنراتورها و بسیاری از بارها باشد و این جزیره‌سازی می‌تواند دارای مزیت‌های قابل‌توجهی از قبیل بهبود قابلیت اطمینان، کاهش خاموشی و کاهش خسارت باشد، اگر تقاضا و نسبت بارها با دقت تخمین زده شوند[۵].

شبکه توزیع باید قابلیت کارآیی در هر دو حالت اتصال یا قطع از شبکه اصلی را در صورتی‌که توسط تولید پراکنده تغذیه می‌شود داشته باشد. در حالت جزیره‌ای، شبکه توزیع و یا ابزارهای کنترلی و حفاظتی نصب شده در این شبکه باید بتواند پایداری، قابلیت اطمینان و کیفیت قدرت شبکه را حفظ و اطمینان حاصل شود که ولتاژ و فرکانس مشتریان در محدوده قابل قبول حفظ می‌شود. در حالت جزیره‌ای با توجه به اینرسی پایین شبکه، فرکانس بسیار حساس می‌باشد و فرکانس شبکه توسط تعادل توان اکتیو بین تولید و بار در شبکه تعیین می‌شود. یکی دیگر از جنبه‌های مهم که در زمان جزیره‌سازی باید در نظر گرفته شود، اثر اختلالاتی مانند از دست دادن تولید یا اضافه بار است. اگر اختلاف بین تقاضای بار و تولید انرژی ناسازگار باشد، فرکانس و ولتاژ شبکه تغییر می‌کند[۶]. در این پژوهش، یک کنترل‌کننده پیشنهاد شده‌است، تا بتواند فرکانس شبکه توزیع را در حالت جزیره‌ای با استفاده از روش کاهش بار براساس فرکانس مدیریت نماید.

۲- پیکربندی شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی متصل به تولیدات پراکنده

پیکربندی شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی متصل به تولیدات پراکنده را می‌توان به دو دسته اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود [۷]:

۲-۱- حالت موازی که تولیدات پراکنده به‌طور عمده به‌صورت موازی با دیگر منابع تولید در شبکه عمل می‌کنند و شبکه به شین بی‌نهایت متصل است. هنگامی‌که منابع تولید پراکنده به شبکه متصل شده‌اند و در حالت موازی کار می‌کند، می‌توان بیان کرد که تولیدات پراکنده به بخشی از شبکه اصلی تبدیل می‌شوند که در شکل (۱) نشان داده شده‌است. از این‌رو، شبکه باید به‌عنوان یک شبکه یکپارچه محافظت و کنترل شود.



شکل ۱: شبکه توزیع متصل به منابع تولید پراکنده در حالت موازی

با داشتن انواع مختلف تولیدات پراکنده همانند شکل (۱)، مقداری از کل تقاضای بار را می‌توان توسط آنها تغذیه نمود و کمبود توان اکتیو و راکتیو شبکه توزیع را توسط نیروگاه‌های متمرکز جبران نمود.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]

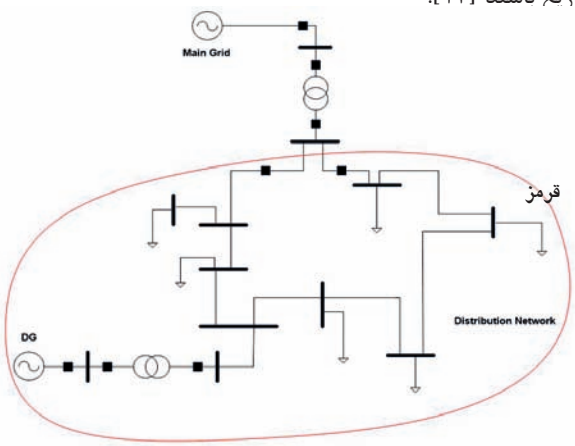
۲-۲- حالت جزیره‌ای که منابع تولید پراکنده طوری پیکربندی شده‌اند که مستقل از شبکه می‌باشند و شبکه متصل به آنها فقط توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌گردد.

با توجه به استاندارد IEEE [۸, ۹]، حالت جزیره‌ای منوط به حالتی است که بخشی از شبکه برق قدرت توسط منابع تولید پراکنده تغذیه شوند و در شبکه بیان شده، تولیدکننده و مصرف‌کننده به همراه کنترل‌کننده‌های مورد نیاز ولتاژ و فرکانس وجود داشته باشد[۱۰]. در این حالت لازم است که حفاظت شبکه در اثر اتصال کوتاه و صاعقه نیز لحاظ شود و به عبارتی شبکه جزیره‌ای حالت کوچک شده‌ای از شبکه برق قدرت می‌باشد.

این حالت معمولا به علت اختلال در شبکه‌های قدرت مانند خطای اتصال کوتاه، قطع خط و قطع برق ژنراتورها، ممکن است اتفاق بیافتد و در جاهایی که شبکه توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شود یک حالت جزیره‌ای مستقل می‌تواند به‌وجود آید و بارها می‌توانند توسط این منابع تغذیه گردند[۱۱]. در شکل(۲)، ناحیه‌ی جزیره‌ای یک شبکه را که شبکه توزیع توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شود به نمایش گذاشته شده و حالت جزیره‌ای توسط دایره‌ای قرمز رنگ مشخص شده‌است.

هنگامی‌که شبکه توزیع به‌صورت اتفاقی از شبکه اصلی جدا می‌شود و منابع تولید پراکنده همچنان برای شبکه تولید توان می‌نمایند، این وضعیت به‌عنوان حالت جزیره‌ای غیرعمدی شناخته می‌شود. حالت جزیره‌ای غیرعمدی پایدار نیست، زیرا این‌گونه شبکه‌ها ابزار کنترل ولتاژ و فرکانس را در طی شرایط جزیره‌ای ندارند و کنترل‌کننده‌ای در این شبکه‌ها طراحی نشده‌است. برعکس، حالت عمدی جزیره‌ای پایدار است و این می‌تواند ثبات و قابلیت اطمینان شبکه را بهبود بخشد. حالت عمدی جزیره‌ای به طور هدفمند قادراست تا ولتاژ و فرکانس شبکه جزیره‌ای را کنترل نماید و مانع از وقوع قطعی در کل شبکه جزیره‌ای گردد. با این حال، موارد حفاظتی و مدیریتی شبکه باید در نظر گرفته شوند، تا تولیدات پراکنده بتوانند به‌طور مداوم شبکه را تغذیه نمایند.

عملکرد شبکه در حالت عمدی جزیره‌ای دشوارتر از حالت موازی است که شبکه به شین بی‌نهایت متصل بوده و به این حالت عملکرد جزیره‌ای[۴] گفته می‌شود. در حالت عملکرد جزیره‌ای باید اطمینان حاصل شود که ولتاژ و فرکانس بین محدوده‌های قابل قبول مطابق با منحنی تقاضا نگهداری می‌شود. عدم تعادل توان اکتیو و راکتیو مابین تولید و مصرف یک کار چالش برانگیز در شبکه جزیره‌ای است. تولیدات پراکنده در این حالت باید قادر به تامین نیاز بار برای شبکه توزیع باشند [۱۲].



شکل ۲: شبکه توزیع متصل به تولید پراکنده در ناحیه‌ی جزیره‌ای

۳- کنترل فرکانس و روش کاهش بار براساس فرکانس

وقتی که تولید در شبکه قدرت نتواند به افزایش تقاضای بار پاسخ دهد، به‌منظور حفظ ثبات شبکه، کاهش بار به‌عنوان آخرین راهکار پیشنهاد می شود. این امرکه جهت کنترل فرکانس در شبکه‌های برق مورد بحث قرار می‌گیرد و در صورت کاهش فرکانس برخی از بارهای موجود در شبکه را کاهش می‌دهد با عنوان روش کاهش بار براساس فرکانس[۵] مطرح می‌شود. این کاهش بار زمانی در دستور کار قرار می‌گیرد که تمام اقدامات کنترلی قادر به حفظ امنیت و پایداری در شبکه نباشند و به‌عنوان یک راه حل نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق، کنترل فرکانس با توجه به فراگیری استفاده از انرژی‌های نو و منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، که در برخی موارد می‌توانند به‌صورت جزیره‌ای نیز به عملکرد خود ادامه دهند مورد بحث قرار گرفته‌است. این شبکه‌های توزیع گاهی در مناطق دورافتاده شکل گرفته‌اند و به‌صورت جزیره‌ای نیاز برق مشتریان را به توسط منابع تولید پراکنده تامین می‌نمایند.

۳-۱-تعادل بار و پایداری فرکانس

شبکه برق که متشکل از ژنراتورها و بارهای مختلفی است، باید توانایی آن را داشته باشد که در زمان تغییر تقاضای بار، فرکانس و ولتاژ شبکه را در سطح مطلوب و تعریف شده با استانداردهای مربوطه نگه دارد. در عمل شبکه قدرت هرگز در حالت تعادل باقی نمی‌ماند، اگر کنترل‌کننده‌هایی وجود نداشته باشند، زیرا تقاضا به طور مداوم از طرف مشتری تغییر می‌نماید و به‌طور معمول افزایش یا کاهش بار خواهیم داشت. این افزایش یا کاهش بار منجر به برهم زدن پایداری فرکانسی در شبکه خواهد شد[۱۳].

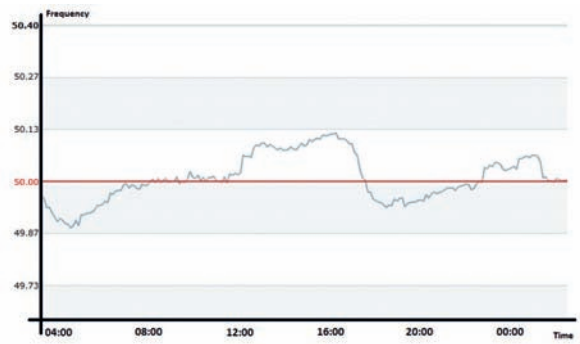
از این رو، تغییر در فرکانس شبکه نشان‌دهنده عدم تعادل توان اکتیو مابین تولید و مصرف‌کنندگان در یک لحظه خاص است. به‌عنوان مثال، شکل (۳) اطلاعات واقعی فرکانس شبکه را برای ۶۰ دقیقه در انگلستان نشان می‌دهد.

به طور کلی، کنترل‌کننده‌های شبکه قدرت تلاش می‌کنند تا فرکانس شبکه را در باندهای باریک ثابت نگه دارند، زیرا:

۱- بسیاری از موتورهای الکتریکی در سرعت ثابت در شبکه قدرت عمل می‌کنند و بسیاری از برنامه‌های کاربردی مشتری نیاز به سرعت ثابت دارند. سرعت موتور به‌طور مستقیم با فرکانس شبکه متناسب است.

۲- برخی از اعمال الکتریکی مانند برنامه‌های الکترونیکی از فرکانس اصلی به‌عنوان پایه‌ای برای زمان‌بندی فرآیندهای مختلف استفاده می‌نمایند.

۳- ترانسفورماتورها به‌عنوان یک تجهیزات حساس در شبکه قدرت



شکل ۳: فرکانس واقعی شبکه که در انگلستان ثبت شده‌است

(/www.nationalgrid.com/uk)

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]

کار می‌کنند و نسبت به تغییرات فرکانس و ولتاژ حساس هستند و این تغییرات تاثیر چشمگیری در تلفات و عمر آنها خواهد داشت.

۴-عملکرد ژنراتورها در نیروگاه‌ها بستگی به عملکرد صحیح تجهیزات کمکی دارند و این بخش کمکی حساسیت زیادی به تغییرات سرعت ژنراتور اصلی دارد بدین‌گونه که کاهش فرکانس ناشی از سرعت چرخش کم ژنراتورها باعث کاهش خروجی این تجهیزات می‌شود و به‌طور مستقیم این کاهش بر روی ژنراتور اصلی تاثیر می‌گذارد.

پس به‌منظور کنترل فرکانس در محدوده قابل قبول، سرعت ژنراتور باید کنترل شود، زیرا به‌طور مستقیم به فرکانس شبکه وابسته‌است. اگر بار به‌طور ناگهانی در شبکه افزایش یابد، تقاضای انرژی اضافی در ابتدا توسط نیروی چرخشی موتور تولید می‌شود و باعث کاهش سرعت چرخش آن می‌گردد. کاهش سرعت روتور در ژنراتور باعث کاهش نسبی فرکانس می‌شود. برای نگهداری فرکانس در بازه قابل قبول، گاورنر مجبور به تغییر دریچه توربین خواهد بود تا توان مکانیکی توربین را افزایش دهد و ژنراتور بتواند توان الکتریکی بیشتری برای پاسخ به افزایش بار در شبکه ایجاد نماید. ناگفته نماند که این کنترل فرکانس یا چرخش در ژنراتور تا حدود زیادی کند بوده و برای شبکه‌های جزیره‌ای که اینرسی آنها کم می‌باشد به تنهایی پاسخگو نخواهد بود و نمی‌تواند جلوی کاهش فرکانس را در زمان مناسب بگیرد.

۳-۲-معادله چرخش شبکه قدرت

قدرت مکانیکی مورد نیاز ژنراتور توسط توربین تولید می‌شود و به شفت ژنراتور منتقل می‌شود. ژنراتور قدرت مکانیکی را به قدرت الکتریکی تبدیل می‌نماید. T_{mech} در توربین از قدرت آب یا بخار ایجاد شده‌است و T_{elec} به‌عنوان یک نتیجه از اتصال بار است. هر اختلافی بین آنها می‌تواند سرعت چرخش روتور را در ژنراتورها افزایش دهد و به همین دلیل تغییر سرعت یا فرکانس را در شبکه قدرت خواهیم داشت[۱۴].

معادله نوسانات نشان دهنده رابطه بین انحراف گشتاور و تغییر شتاب زاویه‌ای براساس معادله زیر بیان گردیده‌است[۱۵, ۱۶]:

$$T_{mech} - T_{elec} = J\frac{\partial\omega}{\partial t} \quad (۱)$$

در معادله نوسان (۱)، ω سرعت زاویه‌ای است و J ممان اینرسی ژنراتور و توربین است.

گشتاور مکانیکی و الکتریکی ضرب در سرعت زاویه‌ای، ω_m، نشان دهنده توان مکانیکی و الکتریکی خواهد بود و براساس این تعریف خواهیم داشت، ($P_{elec} = \omega_m * T_{elec}$ و $P_{mech} = \omega_m * T_{mech}$) که با جایگزینی در معادله (۱) خواهیم داشت:

$$P_{mech} - P_{elec} = J\omega_m\frac{\partial\omega}{\partial t} \quad (۲)$$

از معادله (۲)، واضح است که فرکانس شبکه وابسته به تعادل بین P_{mech} و P_{elec} است. معادله (۲) را می‌توان در شرایط ثابت براساس اینرسی یا لختی شبکه تعریف کرد که به‌طور معمول به‌صورت ثابت در شبکه تعریف می‌شود و با H نمایش داده می‌شود. ثابت H در رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$H = \frac{1}{2} * \frac{J*\omega_m^2}{S_{base}} \quad (۳)$$

در این معادله، H اینرسی شبکه است که به‌صورت مقداری ثابت و همان‌طور که در معادله (۳) بیان شده قابل محاسبه می‌باشد. اگر P تعداد قطب‌ها در ژنراتور باشد، سرعت مکانیکی با سرعت الکتریکی در معادله (۴) مرتبط است و ω در واقع همان سرعت سنکرون می‌باشد.

$$\omega = \frac{p}{2} * \omega_m \quad (۴)$$

در حالی‌که، ω_m در حالت پایدار تغییر نمی‌کند ، H را می‌توان با سرعت سنکرون یا همان ω بررسی کرد. پس از جایگزینی (۳) و (۴) در معادله (۲) خواهیم داشت:

$$\frac{2H}{\omega} * S_{base} * \frac{\partial\omega}{\partial t} = P_{mech} - P_{elec} \quad (۵)$$

در این معادله S_{base} توان پایه شبکه می‌باشد و سپس، معادله (۵) را بر ثابت S_{base} تقسیم می‌نماییم:

$$\frac{2H}{\omega} * \frac{\partial\omega}{\partial t} = \frac{P_{mech}}{S_{base}} - \frac{P_{elec}}{S_{base}} \quad (۶)$$

بر این اساس توان الکتریکی تولیدی توسط ژنراتور، P_{elec}، و توان مکانیکی ایجاد شده توسط توربین، P_{mech}، می‌توانند به‌صورت پریونیت بیان گردند. این توان‌ها در رابطه (۷) بیان شده‌اند.

$$P_{m(pu)} - P_{e(pu)} = \frac{2H}{\omega} * \frac{\partial\omega}{\partial t} \quad (۷)$$

در این معادله $P_m(pu)$ و $P_e(pu)$ به ترتیب توان الکتریکی و توان مکانیکی به‌صورت پریونیت هستند و H اینرسی شبکه به‌صورت مقداری ثابت براساس توان پایه می‌باشد.

۳-۳-کاهش بار براساس معادله چرخش در شبکه‌های قدرت

روش کاهش بار، براساس معادله چرخش (۸)، در شبکه قدرت در شرایط بحرانی می‌تواند استفاده شود. این معادله که جهت محاسبه اختلاف بین توان اکتیو تولیدی و مصرفی می‌باشد، در واقع وابسته به اینرسی شبکه قدرت و اندازه تغییر فرکانس در واحد زمان است. این معادله در واقع به‌صورت تقریبی مقدار اختلاف توان را نشان می‌دهد.

$$\Delta P = \frac{2*\sum_{i=1}^{N} H_i}{f_n} * \frac{df_c}{d_t} \quad (۸)$$

در معادله(۸)، H، اینرسی ژنراتور بر حسب ثانیه، P_e و P_m به ترتیب توان الکتریکی تولیدی توسط ژنراتور و توان مکانیکی ایجاد شده توسط توربین هستند، f_n فرکانس اسمی شبکه و f_c فرکانس واقعی شبکه می‌باشند. جهت محاسبه توان مورد نیاز برای کاهش بار باید اطمینان حاصل شود که فرکانس شبکه به محدوده استاندارد مورد نظر و در بازه خود می‌تواند برگردد.

براساس یک جمع‌بندی کلی، کاهش بار در شبکه نیاز به بررسی موارد زیر نیز دارد [۱۷]:

۱- برآورد میزان اختلاف بین توان تولیدی و مصرفی

۲- برآورد محل ایجاد و دلیل آن

۳- ایجاد هماهنگی بین رله‌های حفاظتی و سیستم کنترل فرکانس و کاهش بار در شبکه.

باید در نظر گرفت که پس از محاسبه میزان اختلاف توان تولیدی و مصرفی، کاهش بار باید براساس مقدار تخمینی و اولویت بارها اعمال گردد و فرکانس شبکه باید به‌طور دایم نمونه‌برداری و بررسی شود تا در صورت بهبود یافتن فرکانس از کاهش بار بیشتر جلوگیری شود.

۴- پیشنهاد یک کنترل‌کننده جدید جهت پایداری فرکانس شبکه‌های توزیع متصل به تولیدات پراکنده در حالت جزیره‌ای

روش کاهش بار براساس فرکانس همان‌طورکه بیان شد یک عملیات اضطراری می‌باشد که می‌تواند مانع از فروپاشی شبکه و در نتیجه کاهش اختلالات و نوسانات فرکانس و ولتاژ در شبکه شود. از آنجایی‌که اینرسی شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای بسیار کوچکتر از زمانی خواهد بود که شبکه به شین بی‌نهایت متصل است، فرکانس

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]

شبکــه توزیع در حالــت جزیره‌ای بسیار حساس اســت. بنابراین یک اختلال کوچک می‌توانــد تغییرات فرکانسی زیادی را در شبکه ایجاد نماید.

جهــت تثبیت فرکانــس یک شبکه توزیــع، در حالــت جزیره‌ای که اینرســی پایینی دارد، یک کنترل‌کننده جدید پیشنهاد شده تا بتواند بــا محاسبه سریع اختلاف توان اکتیو بیــن تولید و مصرف در شبکه، اولویت‌بندی بارها و کاهش بــار در یک مرحله براساس اولویت‌بندی، فرکانس شبکه را که توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شود در بازه قابــل قبولی حفظ نماید و بتواند مانع از فروپاشی شبکه در زمان‌های قطــع ژنراتور یا افزایش ناگهانی بار شــود. در این کنترل‌کننده، روش کاهــش بار مبتنی بر پاسخ[6]، براســاس اطلاعات فرکانس و نرخ تغییر فرکانس[7] پیشنهــاد گردیده‌است. این مقادیر به‌عنــوان مقدار ورودی برای تعیین میزان اختلاف بین توان اکتیو تولیدی و مصرفی استفاده می‌شوند.

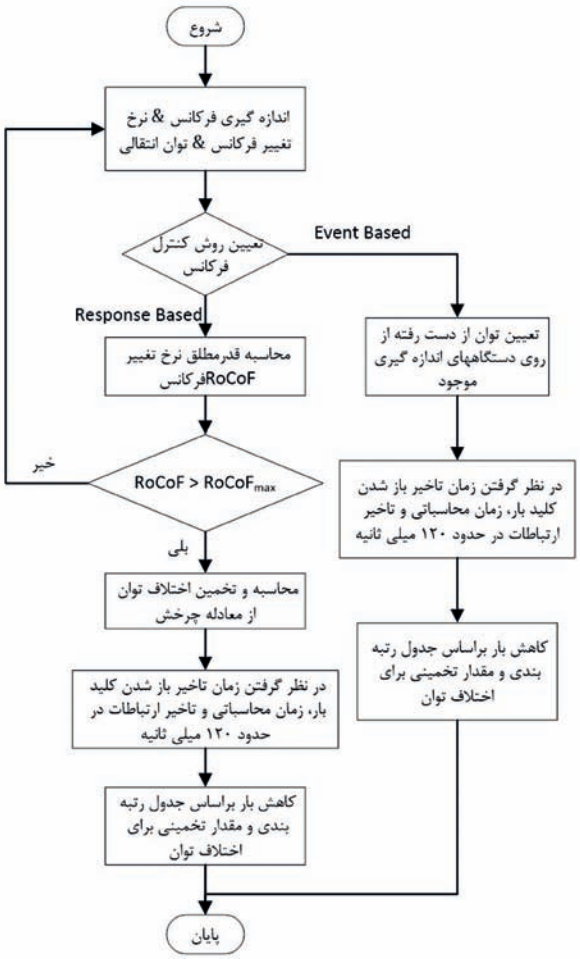
این ورودی‌ها جهــت محاسبه در معادله (۸) بکارگیری شده و نتیجه حاصــل از آن بــرای استفاده در روش کاهش بــار مبتنی بر پاسخ در شبکــه استفاده می‌شود. کنترل‌کننده پیشنهادی با قابلیت قطع بارها براســاس اولویت مشخص شــده توسط کاربــر در نرم‌افزار PSCAD/ EMTDC طراحــی گردیــد. در واقع مــاژول پیشنهــادی دارای یک الگوریتــم محاسباتــی و تصمیم‌گیری می‌باشد کــه در شکل (۴) به نمایش درآمده‌است. در ابتدا فرکانس شبکه محاسبه شده و نرخ تغییر فرکانس نیــز به‌عنوان ورودی در الگوریتــم محاسبه می‌گردد. سپس قدرمطلق و اندازه نرخ تغییر فرکانس بدست می‌آید.

بعــد از محاسبه قدرمطلق نرخ تغییر فرکانــس، این مقدار با مقدار از پیــش تعیین شده مقایسه می‌شود و اگر از مقدار از پیش تعیین شده بــزرگ تر باشد به‌عنوان یک اتفاق درنظــر گرفته می‌شود و الگوریتم وارد مرحلــه بعدی می‌شــود. در غیر این صــورت الگوریتم در همین مرحلــه منتظر خواهد ماند. در صــورت وقوع هرگونه اتفاقی در شبکه ناشی از اختلاف تــوان بین بار مصرفی و توان تولیدی، که به اختصار اتفاق نامیده خواهد شد، با توجه به مقدار نرخ تغییر فرکانس و معادله چرخــش شبکه کــه در بخش قبل تشریح شــد، الگوریتم پیشنهادی مقــدار اختلاف توان مصرفی و تولیــدی را محاسبه و تخمین می‌زند. سپــس بارهای با اولویت کمتر را بــه ترتیب قطع می‌نماید تا مجموع بارهای کاسته شده از مقــدار پیش‌بینی شده اختلاف توان تولیدی و مصرفی تقریبا برابر گردند و فرکانس شبکه بهبود یابد. زمان مورد نیاز جهت قطع بارهــا و زمان انجام عملیات محاسباتی در این الگوریتم و براساس واقعیت موجود به اندازه ۶۰ میلی ثانیه لحاظ گردیده‌است تا پاسخ شبکه به واقعیت نزدیک‌تر شود.

در الگوریتــم مربوطــه، حالتی نیز پیش‌بینــی شده‌است تا در صورت وجود تجهیزات اندازه‌گیری در مکان‌های خاص که امکان اندازه‌گیری اتفاق مربوطه و اندازه دقیق اختلاف بین توان تولیدی و مصرفی امکان اندازه‌گیری داشت این الگوریتم بتواند مقدار دقیق را جهت کاهش بار لحاظ نماید. از این حالت به‌عنوان حالت مبتنی بر رخداد[8] در الگوریتم پیشنهادی یاد شده‌اســت. قابل ذکر است که زمان‌های تاخیر در این بخش از الگوریتم نیز لحاظ گردیده‌اند.

۵- شبکه مورد مطالعه

شبکــه مورد مطالعه جهت تست و بررســی، در شکل (۵) نشان داده شده‌است. این شبکه یک شبکه واقعی در کشور مالزی بوده که شامل ۲۲ باس‌بار با ۲ ژنراتور واحد آبی کوچک است و باس‌بارها را می‌توان بــا ۱۶ کلید قطع قــدرت کنترل کرد. هر دو ژنراتور واحد آبی کوچک



شکل ۴: الگوریتم پیشنهادی جهت ماژول کاهش بار (UFLS)

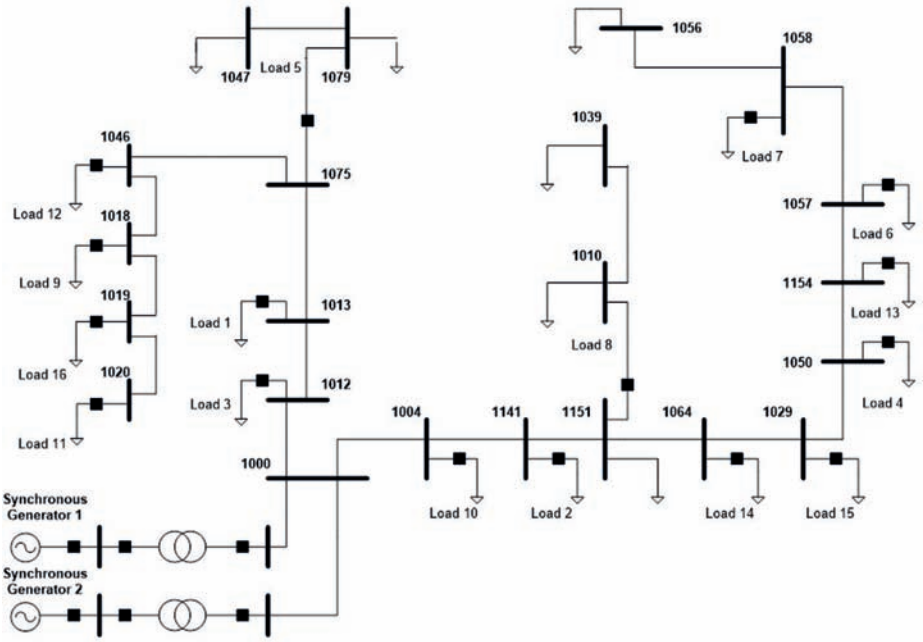
در باس‌بــار اصلی متصل می‌شوند و توان مــورد نیاز و مصرفی شبکه توزیــع را تامین می‌کننــد. ژنراتورهای واحد آبــی کوچک با توجه به اینرســی پایین جهت مدل‌سازی در این شبکه در نظر گرفته شده‌اند. دیاگــرام تک خطی این شبکه مورد آزمایش، در شکل (۵) نشان داده شده‌اســت. تمام خطوط با مدل π یا مدل خط متوسط شبیه‌سازی و مدل‌سازی شده‌اند. در واقع طول خطوط بیش از ۶ کیلومتر نیست، اما زمانــی که جریان شارژ خط افزایش می‌یابد، ظرفیت شانت باید مورد توجــه قرار گیرد زیرا تمامی خطوط در این شبکه، به‌صورت کابل‌های زیرزمینی می‌باشند.

جدول (۱)، مقدار بار و نوع آن را به تفکیک برای توان اکتیو و راکتیو مصرفی به‌صورت جداگانه در هــر باس‌بار نشان می‌دهد. در الگوریتم پیشنهادی، بارها بر اساس اولویت‌بنــدی آنها رتبه‌بندی می‌شوند. در ایــن روش، بار با رتبــه پایین‌تر در ابتدا قطع می‌شود و بارهای با رتبه بالاتر دیرتر و در صورت نیاز قطع می‌شوند.

۶- نتایج بدست آمده

مطالعــات و نتایــج مربوط به مــاژول پیشنهادی بــرای کنترل‌کننده فرکانــس براســاس کاهش بار کــه تشریح شد، در ایــن قسمت ارایه می‌گردنــد. براساس مدل شبیه‌سازی شده شبکــه توزیع، شکل (۵)، سناریوهــای مختلفی بررسی شده‌اند و نتایج ناشــی از این سناریوها در ایــن بخــش آورده شده‌اند. بــرای بررسی و مطالعــه طرح کاهش بــار و کنترل فرکانس پیشنهادی، یک شبکــه توزیع که توسط منابع

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]



شکل ۵: شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای متصل به DG

تولیـد پراکنده آبی کوچک تغذیه می‌شود، جهت شبیه‌سازی استفاده شده‌اسـت. این شبکه توزیع در واقع بـه شبکه انتقال برق نیز متصل بـوده و در این بررسی فرض بر آن‌است که از شبکه برق ایزوله گشته و به‌صـورت جزیره‌ای به کار خود ادامه دهـد. در این راستا، پایداری فرکانس شبکـه در چند سناریوی مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار خواهد گرفت. سناریوهای مورد بررسی در جدول (۲) بیان گردیده‌اند.

جدول ۱: انواع و مقادیر بار، براساس رتبه‌بندی لحاظ شده

Row	Bus number	P (MW)	Q (MVAR)	Consumption type
۱	۱۰۱۳	۰.۰۴۵۶	۰.۰۲۸۲	Residential
۲	۱۱۴۱	۰.۰۵۳۱	۰.۰۳۳	Residential
۳	۱۰۱۲	۰.۰۵۳۱	۰.۰۳۳	Residential
۴	۱۰۵۰	۰.۰۶۳	۰.۰۳۸۴	Residential
۵	۱۰۴۷-۱۰۷۹	۰.۱۱۷۲۱	۰.۰۷۲۸۱	Residential
۶	۱۰۵۷	۰.۱۲۶	۰.۰۷۶۸	Residential
۷	۱۰۵۸	۰.۱۳۲	۰.۰۸۱۹	Residential
۸	۱۰۱۰-۱۰۳۹	۰.۱۵۰۰۹	۰.۰۹۳۳	Residential
۹	۱۰۱۸	۰.۱۱۶۱۹	۰.۰۷۲	Shopping centre
۱۰	۱۰۰۴	۰.۱۴۱۵۱	۰.۰۸۷۶	College
۱۱	۱۰۲۰	۰.۱۸۴۵	۰.۱۱۴۳۹	Shopping centre
۱۲	۱۰۴۶	۰.۱۷۰۱	۰.۱۰۵۳	Factory
۱۳	۱۱۵۴	۰.۱۳۹۸	۰.۰۸۴۹	Shopping centre
۱۴	۱۰۶۴	۰.۰۹۳۲۰۱	۰.۰۵۷۸۰۱	Gas station
۱۵	۱۰۲۹	۰.۲۳۱۳	۰.۱۴۳۱	Factory
۱۶	۱۰۱۹	۰.۱۰۶۷۱	۰.۰۶۶۰۹	Polyclinic
۱۷	۱۱۵۱	۰.۱۰۷۱۹۹	۰.۰۶۶۳۹	Vital
۱۸	۱۰۵۶	۰.۳۵۲۵۹	۰.۲۱۸۷	Vital
۱۹	۱۰۰۰	۰	۰	Main bus

جدول ۲: سناریوهای بررسی شده در شبکه شبیه سازی شده

شماره سناریو	سناریوهای مطرح شده
سناریوی ۱	قطع ناگهانی تولیدکننده کوچک آبی شماره ۲
سناریوی ۲	افزایش ناگهانی بار در ۲ مرحله متوالی

در واقـع ۲ سناریوی مطـرح شده در این بخش، بـه بررسی بدترین شرایـط احتمالی ممکـن در این شبکـه توزیع می‌پردازنـد. زیرا در سناریـوی نخست، شبکه تقریبا ۵۰٪ تولید خود را از دست می‌دهد و سناریوی دوم به افزایش متوالی و ناگهانی بار در دو مرحله می‌پردازد کـه ایـن خود می‌تواند شوک زیـادی را به شبکـه وارد نماید. هر دو رویـداد می‌توانند بـه کاهش ولتاژ و فرکانـس در شبکه منجر شوند؛ و روش پیشنهادی کاهش بـار برای بازیابی فرکانس و ولتاژ باید قادر باشد تا بار مطلوب شبکه را کاهش دهد.

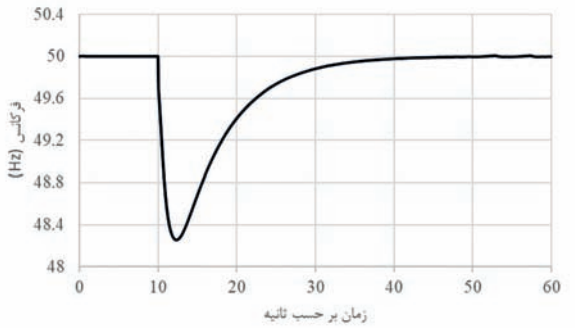
۶-۱-سناریو نخست: قطع ناگهانی تولید کننده شماره ۲

در این سناریو، از دست دادن یک ژنراتور یک اختلال بزرگ در شبکه توزیـع ایجـاد می‌نماید و همان‌طور که مشخـص است، شبکه حدود ۵۰٪ از تولید خود را از دست می‌دهد. این اختلال (قطع یک ژنراتور) در زمـان t=10 s شبیه‌سازی شده‌است. بـا توجه به طرح پیشنهادی، مـاژول کنترل فرکانس و کاهش بـار برخی از بارها را به‌منظور تعادل ولتاژ و فرکانس از شبکه قطع می‌نماید. در این سناریو فرکانس شبکه که توسط ماژول محاسبـه فرکانس شبکه بدست آمده‌است در شکل (۶) به نمایش گذاشته شده‌است.

منحنـی فرکانس در شکـل (۶) برای قبل و بعـد از اختلال که قطع ناگهانـی ژنراتور بوده ارایـه شده‌است. در این سناریـو، فرکانس بعد از آنکـه ژنراتور از مدار خـارج شده تا مقـدار ۴۸,۱۷۵ هرتز کاهش می‌آیـد و پس از حدود ۳۰ ثانیه به ۵۰ هرتـز برمی‌گردد. شایان ذکر اسـت که در این حالت ماژول کنتـرل فرکانس پیشنهادی تعدادی از بارها را جهت حفظ و پایـداری فرکانس کاهش داده‌است. با توجه به آنکـه کمترین مقدار فرکانس بـرای قطع ژنراتورهای شبکه در ماژول

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]

محاسبه فرکانس شبکه ۴۷,۵ هرتز برای زمان ۳ ثانیه مشخص شده، در این سناریو که کاهش تولیدی برابر ۵۰% شبیه‌سازی شده، کنترل‌کننده فرکانس و ماژول کنترل‌کننده پیشنهادی توانسته‌است تا فرکانس شبکه را در بازه مورد نظر حفظ نماید و مانع از فروپاشی فرکانسی و خاموشی در شبکه گردد.



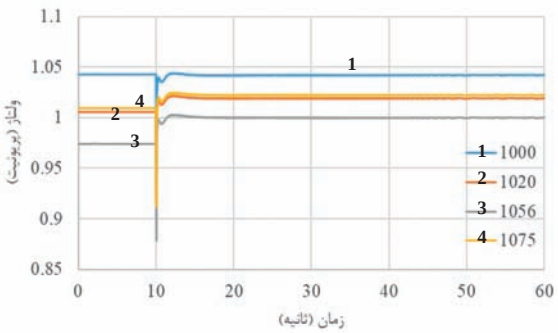
شکل ۶: فرکانس شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای برای سناریوی اول

در شکل(۷)، بارهایی که توسط ماژول پیشنهادی کاهش بار از شبکه قطع شده‌اند به نمایش گذاشته شده‌است. در این راستا و برای حفظ پایداری شبکه بارهای با اولویت پایین‌تر انتخاب گردیده‌اند و براین اساس بارهای با اولویت ۱ الی ۱۰ از شبکه جدا شده‌اند.

ماژول کنترل‌کننده فرکانس، با کاهش بار شبکه، میزان تولید و مصرف را در تعادل نگه می‌دارد تا امکان ادامه برق‌رسانی برای دیگر بارهای شبکه با اولویت بالاتر امکان‌پذیر گردد. بارهایی را که پس از قطع ژنراتور ۲ در این سناریو به توسط ماژول کنترل‌کننده فرکانس قطع می‌شوند در جدول (۳) لیست شده‌اند.

همان طورکه پیش‌تر بیان شد، پایداری ولتاژ نیز یکی از موارد بسیار مهم می‌باشد که باید مورد توجه قرار گیرد. در همین راستا، هر چند که بررسی پایداری ولتاژ در قالب این تحقیق در نظر گرفته نشده‌است، ولی پروفایل ولتاژ چند باس‌بار بررسی شده‌است. شکل (۸)پروفایل ولتاژ باس‌های ۱۰۰۰، ۱۰۲۰، ۱۰۵۶ و ۱۰۷۵ را به‌صورت پریونیت به نمایش گذاشته شده‌است.

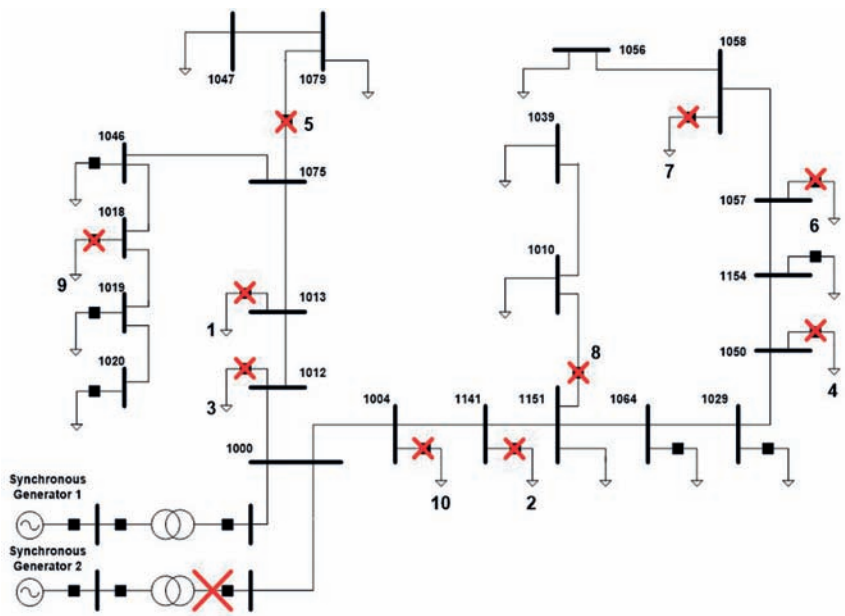
در این سناریو، هر دو ژنراتور ۲,۶۱۶ مگاوات را به شبکه توزیع عرضه می‌کنند؛ هنگامی‌که یک ژنراتور قطع می‌شود، توان تولیدی در شبکه توزیع برابر با ۱,۴۶۱ مگاوات می‌شود و این شبکه در واقع ۱,۳۰۸ مگاوات تولید را از دست می‌دهد. ماژول کنترل‌کننده فرکانس، با ایجاد کاهش باری مطلوب، بارهای با اولویت پایین را به مقدار ۱,۱۷۳ مگاوات قطع نموده‌است.



شکل ۸: پروفایل ولتاژ قبل و بعد از قطع ناگهانی ژنراتور

جدول ۳: بارهای قطع شده از شبکه در سناریوی اول

توان حقیقی (MW)	شماره باس بار	اولویت بار
۰.۰۴۵۶	۱۰۱۳	۱
۰.۰۵۳۱	۱۱۴۱	۲
۰.۰۵۳۱	۱۰۱۲	۳
۰.۰۶۳	۱۰۵۰	۴
۰.۱۱۷۲۱	۱۰۴۷-۱۰۷۹	۵
۰.۱۲۶	۱۰۵۷	۶
۰.۱۳۲	۱۰۵۸	۷
۰.۱۵۰۰۹	۱۰۱۰-۱۰۳۹	۸
۰.۱۱۶۱۹	۱۰۱۸	۹
۰.۱۴۱۵۱	۱۰۰۴	۱۰



شکل ۷: کاهش بار در شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای برای سناریوی اول

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]

در ایـــن روش پیشنهادی، بـــا توجه به عدم تعادل زیـــاد بین تولید و مصرف بعد از قطـــع ژنراتور شماره ۲ همان‌طور که بیان شد به مقدار ۵۰٪ تولیـــد کل، شاهد ثبات ولتـــاژ و فرکانس شبکه هستیم و ماژول کنترل‌کننـــده توانسته با دقت مورد قبولی پایداری ولتاژ و فرکانس را به همراه بیـــاورد. یکی از مزایای این ماژول آن است که کنترل‌کننده پیشنهـــادی، قابلیت اطمینان را در حالت جزیـــره‌ای برای این شبکه توزیـــع افزایـــش داده و امکان برق‌رسانی به بارهای بـــا اولویت زیاد را حتی در شرایط وخیم فراهم آورده‌است.

۶-۲-سناریو دوم: افزایش ناگهانی بار در ۲ مرحله متوالی

در ایـــن سناریو، افزایش ناگهانی بار در دو مرحله متوالی مورد بررسی و مطالعـــه قرار گرفته است. افزایش ناگهانی بـــار در زمان ۱۰ ثانیه و ۵۰ ثانیـــه به‌ترتیب در باس شمـــاره ۱۰۰۰ اعمال می‌شود. پیکربندی شبکه توزیع برای این سناریوی پیشنهادی در شکل(۹) به نمایش در آمده‌اســـت. ماژول کنترل‌کننده فرکانس در این سناریو نیز باید بتواند مقـــدار عدم‌تعادل توان را تخمین زده و سپس نسبت به کاهش بار در شبکه اقدام نماید.

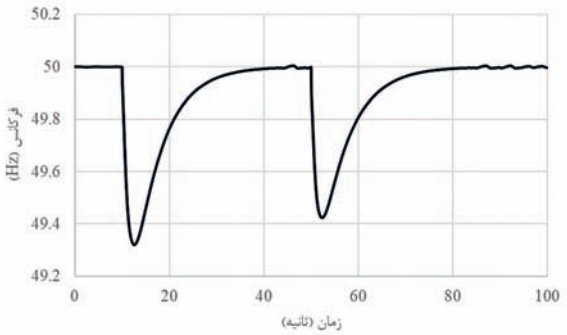
در ایـــن سناریو، نخستیـــن افزایش بار برابر بـــا ۰٫۳۶ مگاوات در ۱۰ ثانیـــه اعمال می‌شـــود و بار بعدی برابر با ۰٫۵۱ مگـــاوات در ۵۰ ثانیه بـــه شبکه توزیع متصل می‌شود. شکـــل (۱۰) منحنی فرکانس شبکه را در خصوص سناریوی دوم بعد از افزایش متوالی بار در شبکه نشان می‌دهد.

ولتاژ برخی از باس‌های شبکه نیز در شکل (۱۱) به نمایش درآمده‌اند و همان‌گونـــه که مشاهده می‌شود، ولتاژ در محدوده قابل قبول بوده و پایـــداری ولتاژ را بعد از وجود اختلال در شبکه شاهد هستیم. در این سناریو نیز، ولتاژ باس‌های شبکه در بازه قابل قبول قرار گرفته‌است.

در ایـــن سناریـــو، ماژول کنترل‌کننـــده فرکانس پیشنهـــادی، پس از افزایـــش ناگهانـــی نخستین بار، بـــا توجه به افت فرکانـــس در شبکه، بارهـــای ۱، ۲، ۳ و ۴ را قطع می‌نماید. این کاهش بار در اختلال دوم (افزایـــش ناگهانی بـــار دوم) نیز برای بارهای ۵، ۶ و ۷ اتفاق می‌افتد و نکتـــه جالب توجه در ماژول پیشنهادی ایـــن می‌باشد، که این ماژول در واقـــع تشخیص می‌دهد کـــدام بارها از شبکه قطع شده‌اند و آنها را برای کاهش بار انتخاب نمی‌کند. در این خصوص، ماژول کنترل‌کننده فرکانس، بارهای بـــا رتبه پایین را اگر قطع نباشند ابتدا از شبکه جدا می‌نماید و سپس به سراغ بارهای با اولویت بالاتر می‌رود.

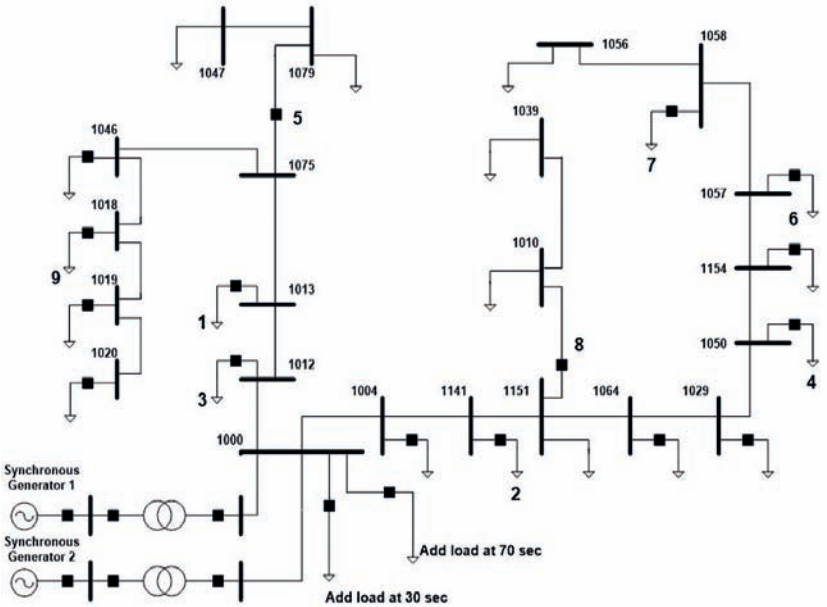
شکـــل (۱۲) کاهش بـــار در شبکه توزیـــع در حالت جزیـــره‌ای برای سناریـــوی دوم را به نمایش گذاشته اســـت. در این شکل بارهایی که در هر دو اختلال از شبکه جدا می‌شوند به نمایش گذاشته شده‌اند.

در ایـــن حالـــت نیز، مـــاژول کنترل‌کننـــده فرکانس، نبـــود تعادل بار در شبکـــه را تخمین می‌زنـــد و نسبت به کاهش بـــار در شبکه اقدام می‌نمایـــد. نتیجه همان‌طورکـــه در منحنی فرکانس در شکل (۱۳) به نمایـــش درآمده مشاهده می‌شود و به‌راحتی می‌توان نتیجه گرفت که پاسخ فرکانس همانند حالت نخست است که هر دو بار در باس شماره ۱۰۰۰ بـــه شبکه متصل شدنـــد. در واقع این بررســـی نشان می‌دهد کـــه پاسخ مـــاژول کنترل‌کننده فرکانس به مکان اتصـــال ناگهانی بار بستگی نداشته‌است و این موضوع با توجه به آنکه شبکه‌های توزیع در محـــدوده کوچک جغرافیایی قرار دارند مربوط می‌باشد. در این حالت نیز بارهای با اولویت ۱، ۲، ۳ و ۴ در مرحله اتصال ناگهانی بار نخست قطـــع می‌شوند و کاهش بار در اختلال دوم (افزایش ناگهانی بار دوم) نیز برای بارهای ۵، ۶ و ۷ اتفاق می‌افتد.



شکل ۱۰: منحنی فرکانس شبکه در سناریوی دوم

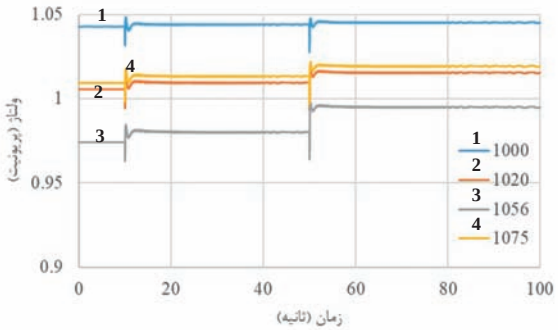
جهت بررسی بیشتر عملکرد ماژول کنترل‌کننده فرکانس، دو اختلال ذکـــر شده در این سناریـــو در باس‌های دیگری نیز مـــورد آزمایش و بررسی قرار گرفته‌اند. باس‌های ۱۰۵۸ و ۱۰۷۵ برای افزایش ناگهانی



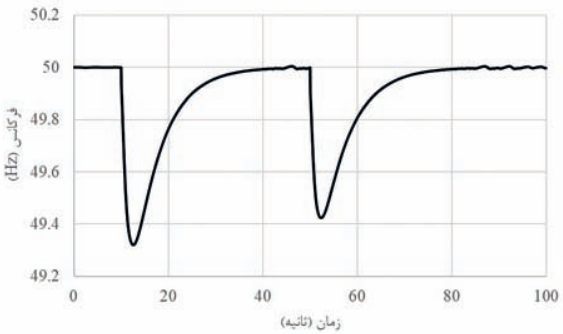
شکل ۹: پیکربندی شبکه توزیع برای سناریوی دوم

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]

بـــار در دو مرحله انتخاب شده‌اند و بترتیب ۰٫۳۶ و ۰٫۵۱ مگاوات بار، هماننـــد حالت نخســـت به‌طور ناگهانی به شبکـــه متصل شده‌اند. این آزمایـــش در خصوص بررسی ماژول کنترل فرکانس و اینکه پاسخ آن به مکان افزایش بار وابستگی دارد یا نه در نظر گرفته شده‌است. پاسخ فرکانس شبکه در شکل (۱۳) به نمایش درآمده‌است.



شکل ۱۱: منحنی ولتاژ در سناریوی دوم



شکل ۱۳: پاسخ فرکانس برای افزایش ناگهانی بار در باس‌های متفاوت

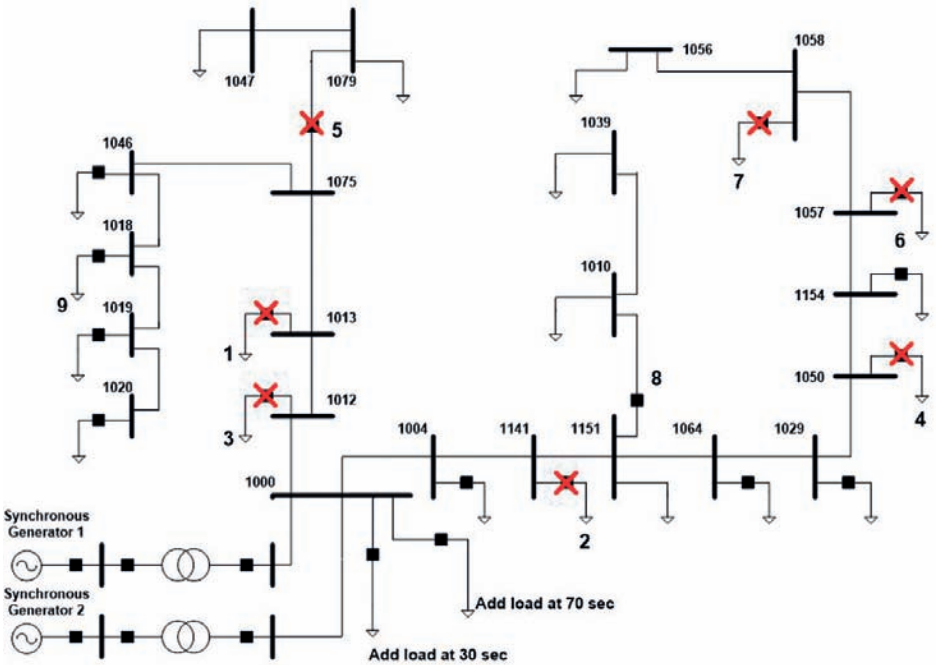
۷- نتیجه‌گیری

از تست‌هـــای پیشنهادی و بررسی شده می‌تـــوان چنین نتیجه‌گیری نمـــود که، ماژول کنترل‌کننـــده فرکانس توانسته تا بـــار مطلوب را با توجه به مقدار عدم تعـــادل مابین توان اکتیو تولیدی و مصرفی را در یـــک شبکه توزیع با اینرسی پاییـــن، در یک مرحله کاهش دهد و در این خصوص پایداری لازم را برای ولتاژ و فرکانس شبکه ایجاد نماید. ایـــن مهم در شبکه توزیع در حالـــت جزیره‌ای که معمولا در محدوده کوچک جغرافیایی قرار گرفته در واقع بدون وابستگی به محل افزایش بار انجام می‌پذیرد.

نکته مثبت دیگر در مـــاژول و طرح پیشنهادی، کاهش بارها براساس اولویـــت آنها اســـت. کنترل‌کننده پیشنهـــادی توانسته‌است تا بارها را بترتیب از اولویت کمتـــر از شبکه قطع نماید و در صورتی که بارهای با اولویت کمتر از شبکه قطع باشند از بارهای با اولویت بالاتر استفاده نماید. در این راستا، بارها با توجه به اهمیت آنها دسته‌بندی می‌شوند. در واقع بارهای با اولویت بالاتر به‌عنوان گزینه‌های نهایی برای کاهش بـــار خواهند بود و این مسئلـــه در خصوص کاهش بار در شبکه بسیار مهم بـــوده و نیازمند طراحی ویژه می‌باشد. به‌عنوان مثال، مکان‌هایی همچون بیمارستان‌ها و مکان‌های نظامی دارای اولویت بسیار بالاتری نسبـــت به مکان‌هـــای مسکونی می‌باشند و برق‌رسانـــی به آنها در هر شرایطی باید تداوم یابد.

مـــاژول کنترل فرکانس، برای بهبود ثبات و امنیت در شبکه پیشنهاد داده شده‌اســـت و تصمیمات خود را در خصوص کاهش بار با توجه به نرخ افزایش یا کاهش فرکانس اتخاذ می‌نماید. بنابراین از نرخ فرکانس و فرکانـــس شبکـــه در هنگام وقـــوع احتمالی عدم تعـــادل در تولید و مصـــرف در شبکه استفاده می‌نماید تـــا بتواند کاهش بار را پیش‌بینی نمایـــد. همانطور که در نتایج مشاهده شده‌است، ماژول پیشنهادی در خصـــوص ایجاد پایداری فرکانس و ولتـــاژ در شبکه بسیار موفق عمل نموده‌اســـت و توانستـــه این مهم را با استفـــاده از روش‌های مبتنی بر پاسخ و رخداد به انجام رساند.

در واقع کنترل‌کننـــده فرکانس از یک طرح تطبیقی و هوشمند برای



شکل ۱۲: کاهش بار در شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای برای سناریوی دوم

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]

کاهش بـــار در شبکه استفاده می‌نماید تا پایـــداری فرکانس شبکه را تضمین نماید. در این روش از معادله چرخش یا معادله نوسان قدرت استفاده شده‌است و سپس با استفاده از ماژول پیشنهادی یک تصمیم سریع برای جلوگیری از کاهش بیش از اندازه فرکانس در شبکه اتخاذ می‌کند. همانطور که در نتایج به آن اشاره شد، کنترل‌کننده فرکانس پیشنهـــادی، طرح کاهش بار را بدون در نظر گرفتن مکان افزایش بار محاسبه می‌کند.

پی‌نوشت‌ها

1Distributed Generation
2 Combined Heat and Power
3 Islanding Network
4 Islanding Operation
5 Under Frequency Load Shedding
6 Response Based
7 Rate of Change of Frequency
8 Event Based

مراجع

[1] I. Dafnomilis et al., "Review of solid and liquid biofuel demand and supply in Northwest Europe towards 2030–A comparison of national and regional projections," vol. 78, pp. 31-45, 2017.
[2] K. L. Anaya and M. G. J. E. P. Pollitt, "Integrating distributed generation: Regulation and trends in three leading countries," vol. 85, pp. 475-486, 2015.
[3] T. Amraee, M. G. Darebaghi, A. Soroudi, and A. J. I. T. o. P. S. Keane, "Probabilistic under frequency load shedding considering RoCoF relays of distributed generators," vol. 33, no. 4, pp. 3587-3598, 2018.
[4] P. P. Barker and R. W. De Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems," in Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, 2000, vol. 3, pp. 1645-1656: IEEE.
[5] R. Walling and N. Miller, "Distributed generation islanding-implications on power system dynamic performance," in power engineering society summer meeting, 2002 IEEE, 2002, vol. 1, pp. 92-96: IEEE.
[6] X. Lu, X. Yu, J. Lai, J. M. Guerrero, and H. J. I. T. o. I. I. Zhou, "Distributed secondary voltage and frequency control for islanded microgrids with uncertain communication links," vol. 13, no. 2, pp. 448-460, 2017.
[7] A.-M. Borbely and J. F. Kreider, Distributed generation: the power paradigm for the new millennium. CRC press, 2001.
[8] A. T. Elsayed, A. A. Mohamed, and O. A. J. E. P. S. R. Mohammed, "DC microgrids and distribution systems: An overview," vol. 119, pp. 407-417, 2015.
[9] T. Basso and R. J. G.-I. DeBlasio, "IEEE smart grid series of standards IEEE 2030 (interoperability) and IEEE 1547 (interconnection) status," vol. 2030, pp. 5-8, 2011.
[10] IEEE, IEEE recommended practice for utility interface of photovoltaic (PV) systems. IEEE, 2000.
[11] H. M. Dola and B. H. Chowdhury, "Intentional islanding and adaptive load shedding to avoid cascading outages," in Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, 2006, p. 8 pp.: IEEE.
[12] Y. Lu, X. Yi, J. a. Wu, and X. Lin, "An intelligent islanding technique considering load balance for distribution system with DGs," in Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, 2006, p. 5 pp.: IEEE.
[13] P. Mahat, Z. Chen, and B. J. I. T. o. P. D. Bak-Jensen, "Underfrequency load shedding for an islanded distribution system with distributed generators," vol. 25, no. 2, pp. 911-918, 2010.
[14] I. P. S. R. C. J. I. S. C, "IEEE Guide for the Application of Protective Relays Used for Abnormal Frequency Load Shedding and Restoration," vol. 37, 2007.
[15] H. Saadat, Power system analysis. WCB/McGraw-Hill Singapore, 1999.
[16] P. Kundur, "Power system stability and control. McGrawHill, London, 1994. PikeResearch. Worldwide revenue from microgrid swill reach $17.3 billion by 2017," Technical report, PikeResearcch, 2012. URL http://www. pikeresearch. com/newsroom/worldwiderevenuefrom-microgrids-will-reach-17-3-billionby-2017.
[17] S. Hirodontis, H. Li, and P. Crossley, "Load shedding in a distribution network," in Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN'09. International Conference on, 2009, pp. 1-6: IEEE.

❊❊❊

ادامه از صفحه۲۸

Technology, vol. 7, no. 1-5, p. 19, 2017.
[7] B. a. Antal and A. a. Hajdu, "An ensemble-based system for automatic screening of diabetic retinopathy," Knowledge-Based Systems, Elsevier, vol. 60, pp. 20-27, April 2014.
[8] B. v. G. M. Niemeijer, Michael J. Cree, "Retinopathy online challenge: Automatic detection of Microaneurysms in digital color Fundus photographs," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 29, pp. 185-195, Jan. 2010.
[9] S. S. Rahim, C. Jayne, V. Palade, and J. Shuttleworth, "Automatic detection of microaneurysms in colour fundus images for diabetic retinopathy screening," Neural Comput. and Applications, June 2015.
[10] L. G. L. Giancardo, F. Meriaudeaub, T. P. Karnowskic, Y. L. G. Kenneth W. Tobin, J. C. EdwardChaumd, "Exudate-based diabetic macular edema detection in fundus images using publicly available datasets," Medical Image Analysis, vol. 16, pp. 216–226, Jan. 2012.
[11] N. Tajbakhsh, S. R. Gurudu, and J. Liang, "A comprehensive computer-aided polyp detection system for colonoscopy videos," in Inf. Process. in Med. Imag., New York: Springer, 2015, pp. 327–338.
[12] R. Zhang, Y. Zheng, T. Mak, R. Yu, S. Wong, J. Lau and C. Poon, "Automatic detection and classification of colorectal polyps by transferring low-level CNN features from nonmedical domain," IEEE J. Biomed. Health Inform., vol. 21, no. 1, pp. 41-47, 2017.
[13] N. Tajbakhsh, "Computer-aided pulmonary embolism detection using a novel vessel-aligned multi-planar image representation and convolutional neural networks," in Proc. MICCAI, 2015.
[14] D. C. Cireşan, A. Giusti, L. M. Gambardella and J. Schmidhuber, "Mitosis detection in breast cancer histology images with deep neural networks," in Proc. MICCAI, 2013, pp. 411–418.
[15] H. Roth et al., "A new 2.5D representation for lymph node detection using random sets of deep convolutional neural network observations," in Proc. MICCAI, P. Goll, N. Hata, C. Barillot, J. Hornegger, and R. Howe, Eds., 2014, vol. 8673, LNCS, pp. 520–527.
[16] H. Shin, H. Roth, M. Gao, L. Lu, Z. Xu, I. Nogues, J. Yao, D. "Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning," IEEE Trans. on Med. Imag., vol. 35, no. 5, pp. 1285-1298, 2016.
[17] Y. Zheng, D. Liu, B. Georgescu, H. Nguyen and D. Comaniciu, "3d deep learning for efficient and robust landmark detection in volumetric data," in Proc. MICCAI, 2015, pp. 565–572.
[18] H. Roth, L. Lu, N. Lay, A. Harrison, A. Farag, A. Sohn and R. Summers, "Spatial aggregation of holistically-nested convolutional neural networks for automated pancreas localization and segmentation," Med. Image Anal., vol. 45, pp. 94-107, 2018.
[19] D. Vo "Semantic image segmentation using fully convolutional neural networks with multi-scale images and multi-scale dilated convolutions," Multimedia Tools and appl., vol, 77, pp. 1-19, 2018.
[20] W. Zhang et al., "Deep convolutional neural networks for multi-modality isointense infant brain image segmentation," NeuroImage, vol. 108, pp. 214–224, 2015.
[21] D. C. Ciresan, A. Giusti, L. M. Gambardella, and J. Schmidhuber, "Deep neural networks segment neuronal membranes in electron microscopy images," in Advances in Neural Inf. Process. Syst., F. Pereira, C. Burges, L. Bottou, and K. Weinberger, Eds. Red Hook, NY: Curran, 2012, vol. 25, pp. 2843–2851.
[22] A. Prasoon, K. Petersen, C. Igel, F. Lauze and E. Dam "Deep feature learning for knee cartilage segmentation using a triplanar convolutional neural network," in Proc. MICCAI, 2013, pp. 246–253.
[23] J. Y. Shin, N. Tajbakhsh, R. T. Hurst, C. B. Kendall and J. Liang, "Automating carotid intima-media thickness video interpretation with convolutional neural networks," in Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., Las Vegas, NV, 2016.
[24] D. H. Hubel and T. N. Wiesel, "Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex," J. Physiol, vol. 195, pp. 215–24, Jun. 1968.
[25] K. Fukushima, "Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position," Biological Cybernetics, vol. 36, no. 4, pp. 193–202, 1980.
[26] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," Conf. Neural Inf. Processing Syst. (NIPS), 2012.
[27] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient based learning applied to document recognition," Proc. IEEE, vol. 86, pp. 2278–2324, ۱۹۹۸.
[28] [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/ 1207.0580. Accessed: Nov. 10, 2016.
[29] N. Tajbakhsh et al., " Convolutional neural networks for medical image analysis: fine tuning or full training?," IEEE Trans. Med. Imag., vol. 35, no. 5, pp. 1299–1312, May. 2016.
[30] A. Krizhevsky, "Learning multiple layers of features from tiny images," in Master's Thesis. Dept. of Comp. Science, University of Toronto, 2009.
[31] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, and L. Fei-Fei, "Imagenet: A large-scale hierarchical image database," in IEEE CVPR, 2009.

❊❊❊

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-22]