

عنوان پروژه: بهینه سازی سطح نفوذ تولیدات پراکنده در شبکه توزیع

چکیده: امروزه با گسترش شبکه برق و افزایش روزافزون تعداد مشترکین متصل به شبکه، تولید انرژی الکتریکی در محل مصرف به دلیل کاهش هزینه‌های انتقال انرژی در شبکه، مورد توجه قرار گرفته است. تولید پراکنده طبق تعریف عبارت است از تولید برق در محل مصرف یا در نزدیکی آن با استفاده از سیستم‌های تولید برق نسبتاً کوچک که به شبکه توزیع متصل می‌شوند. در چند سال گذشته عوامل زیادی موجب استفاده روزافزون از تولیدات پراکنده شده است. یکی از اولین دلایل استفاده از تولیدات پراکنده، پتانسیل آن برای کاهش تلفات در شبکه انتقال و توزیع می‌باشد. تا کنون روش‌های کاهش تلفات زیادی چون خازن‌گذاری، پیکربندی دوباره شبکه و مدیریت بار در سیستم‌های توزیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بهره‌گیری از تولیدات پراکنده علاوه بر بیشترین کاهش تلفات نسبت به روش‌های مذکور، به بهبود پروفیل ولتاژ، قابلیت اطمینان و امنیت شبکه منجر می‌شود. هدف از این پایان‌نامه ارائه روشی برای حداقل کردن تلفات در سیستم‌های توزیع می‌باشد.

کلمات کلیدی: 1- تولیدات پراکنده 3- جایابی بهینه 4- تلفات حداقل

1-1 بررسی سابقه و اهمیت موضوع

با استفاده روزافزون از انرژی الکتریکی در جوامع امروزی، شبکه‌های قدرت به یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌ها در هر کشوری تبدیل شده است. هدف یک سیستم قدرت تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مشتریان با کمترین قیمت و بالاترین کیفیت می‌باشد. انرژی الکتریکی ابتدا در نیروگاه‌ها تولید شده و سپس به وسیله شبکه انتقال به شبکه توزیع می‌رسد. شبکه توزیع آخرین حلقه سیستم انتقال انرژی الکتریکی است و مهم‌ترین وظیفه، یعنی تغذیه مصرف‌کنندگان را بر عهده دارد. شبکه توزیع بع عنوان اصلی‌ترین جزء سیستم قدرت، بیشترین سرمایه‌گذاری را به خود اختصاص می‌دهد. طبق آمار موجود 40 درصد هزینه‌های شبکه قدرتمربوط به بخش توزیع می‌باشد [1]. این حجم سرمایه‌گذاری و هزینه نشان‌دهنده اهمیت اقتصادی شبکه توزیع است. با توجه به حجم سرمایه‌گذاری در این بخش، طراحی، برنامه‌ریزی، ساخت و بهره‌برداری بهینه از این شبکه حائز اهمیت می‌باشد. تمامی تجهیزات و خطوط شبکه توزیع از هادی‌های الکتریکی ساخته شده است که هنگام عبور جریان از آنها تلفات ایجاد می‌شود. به علت تعدد ادوات و گستردگی شبکه توزیع و همچنین ویژگی‌های دیگری از جمله بارهای تکفاز و سطح ولتاژ پایین، این شبکه بیشترین سهم تلفات را در کل سیستم قدرت دارد [2]. آمارهای موجود نشان می‌دهند که در بسیاری از شبکه‌های برق‌رسانی، بیش از 70 درصد کل تلفات مربوط به شبکه‌های توزیع است. با توجه به تحولات صورت گرفته در بحث مدیریت سیستم قدرت و تجدید ساختار در صنعت برق، بازدهی سیستم قدرت اهمیت بیشتری پیدا کرده است و کاهش تلفات به یکی از اهداف مهم بهره‌برداران طراحان و سرمایه‌گذاران سیستم قدرت تبدیل شده است. در این میان بازدهی شبکه توزیع، به دلیل ارتباط مستقیم با مصرف‌کنندگان و سهم بالای تلفات، مورد توجه قرار گرفته است. در راستای کاهش تلفات در شبکه-

های توزیع و فوق توزیع، نیاز به تولید انرژی الکتریکی در نزدیکی بارهای مصرفی روز به روز در حال افزایش می‌باشد. به همین منظور استفاده از تولیدات پراکنده با رشد چشم‌گیری مواجه شده است. علاوه بر این ورود واحدهای تولید پراکنده به سیستم های توزیع مزایای چون بهبود قابلیت اطمینان، بهبود پروفیل ولتاژ و مزایای زیست محیطی دارد. با توجه به کاربردها و مزایای تولیدات پراکنده، هر روزه به ظرفیت نصب شده آنها در شبکه اضافه می‌گردد. تعیین حد مجاز تولیدات پراکنده در شبکه توزیع از جمله سوالات اساسی می‌باشد که با افزایش نصب تولیدات پراکنده در شبکه مطرح می‌شود.

2-1 تولیدات پراکنده

تولیدات پراکنده به واحدهای کوچکی اطلاق می‌شود که توانایی تولید انرژی الکتریکی در بازه‌ای بین چند کیلووات تا ده‌ها مگاوات را دارند و قادرند در دو حالت مستقل از شبکه الکتریکی و متصل به آن کار کنند. تولیدات پراکنده در اندازه‌هایی کوچکتر از 5 کیلووات تا 25000 کیلو وات آمپر وجود دارند [3, 4]. عمدتاً توربین ژنراتورهای احتراقی برای استفاده‌های سنگین و طولانی مدت طراحی می‌شوند و در اندازه‌هایی از 1000 کیلو وات به بالا وجود دارند. سیستم‌های پیل سوختی بزرگ در ظرفیت‌هایی از 1000 کیلو وات تا 10000 کیلو وات آمپر وجود دارند. تولیدات پراکنده‌ای در این مقیاس معمولاً در ولتاژ توزیع اولیه (مثلاً سطح ولتاژ بین 2 تا 25 کیلو وات فاز به زمین) نصب می‌شوند. برخی از تولیدات پراکنده دائماً در مدار باقی می‌مانند در حالیکه برخی دیگر به عنوان واحدهای کاهش پیک در بازه‌هایی خاص استفاده می‌شوند [5-7]. واحدهای تولید پراکنده کوچک در اندازه‌هایی از 1500 کیلووات تا کمتر از 5 کیلووات وجود دارند. این واحدها برای کاربردهای بسیار پراکنده مانند ژنراتورهای مورد استفاده در خانه‌ها و کارهای تجاری کوچک یا به عنوان واحدهای قابل حمل در کارهای ساختمانی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیل‌های سوختی و میکرو

توربین‌ها می‌توانند در این رنج قرار گیرند [8, 9]. در کاربردهای تولید پراکنده تکنولوژی‌های تولید مختلفی چون توربین‌های گاز، ژنراتورهای دیزل، سلول‌های فتوولتائیک، توربین‌های باد، پیل‌های سوختی، بیوماس و ژنراتورهای آبی کوچک وجود دارد [4, 10]. یکی از معمول‌ترین انواع تولیدات پراکنده، آنهایی هستند که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند. برخی از واحدهای تولید پراکنده‌ای که از موتورهای احتراق سوخت سنتی استفاده می‌کنند، به گونه‌ای طراحی شده‌اند که قادر به عملکرد به صورت سیستم‌های توان و گرمای ترکیبی باشند [6, 11-13]. تولیدات پراکنده‌ای که به سیستم توزیع متصل می‌شوند می‌تواند یک واحد از تکنولوژی-های مذکور و یا چند واحد یکسان و یا ترکیبی از تکنولوژی‌های مختلف باشد.

1-3 فناوری‌های تولید پراکنده

تولیدات پراکنده دارای انواع گوناگونی می‌باشد که از جمله آنها عبارت‌اند از:

- سیستم‌های فتوولتائیک
- سیستم‌های بادی
- پیل‌های سوختی
- میکروتوربین‌ها
- سیستم‌های زیست توده (بیوماس)
- سیستم‌های زمین گرمایی
- سیستم‌های تبدیل انرژی موجی و جزر و مدی به الکتریکی
- سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما

دیزل ژنراتورها

1-3-1-سیستم‌های فتوولتائیک

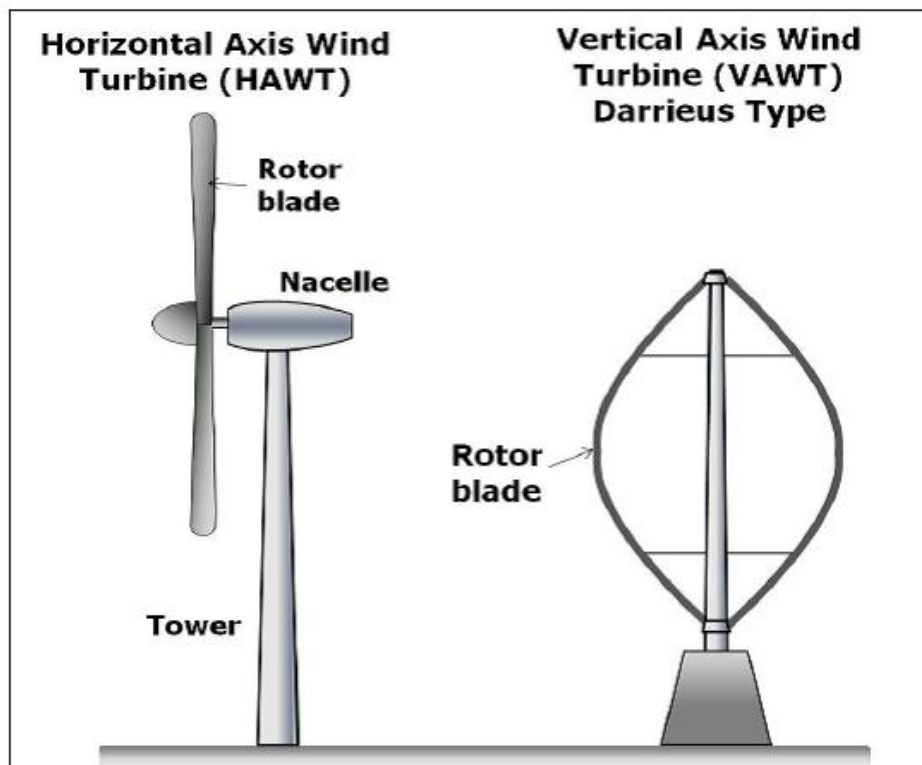
منظور مجموعه‌ای از سلول‌های فتوولتائیک می‌باشند که انرژی تابشی خورشید را به‌طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید. یک سلول فتوولتائیک مشابه پیوندگاه دیودی یک نیمه هادی pn می‌باشد که در لایه فوقانی یک سطح پایه از جنس سیلیسیم قرار گرفته است. یک شبکه فلزی در بالا و یک ساختار ورقه‌ای در پایین، حامل‌های اقلیت را به سوی پایانه‌های خروجی هدایت می‌کند. این حامل‌های اقلیت به وسیله تابش فتون‌هایی با انرژی بیشتر یا مساوی نسبت به انرژی پیوندگاه تولید می‌شوند.

خروجی یک سلول فتوولتائیک دارای ولتاژی کمتر از 1 ولت و توانی در حدود 1 تا 2 وات می‌باشد. ترکیب 30 تا 60 سلول فتوولتائیک با هم یک واحد را تشکیل می‌دهد. برای مثال یک واحد دارای خروجی 40 تا 50 وات در ولتاژ 15 تا 17 ولت می‌باشد. این واحدها با هم روی یک سطح قرار داده می‌شوند و یک گروه و هر چند گروه با هم یک بخش را تشکیل می‌دهند [56, 57]. از مزایای سیستم‌های خورشیدی می‌توان به نداشتن قطعات متحرک، کارکرد بی‌صدا و عملکرد ساده، عمر زیاد با شرط تعمیرات و نگهداری مناسب، نداشتن هزینه سوخت و نداشتن اثرات نامطلوب زیست محیطی اشاره کرد. از معیبات این سیستم‌ها در انجام پایان نامه مهندسی برق می‌توان به نیاز آنها به سطحی وسیع برای قرار دادن پنل‌ها، متغیر بودن خروجی در طول شبانه‌روز و همچنین در فصول مختلف سال و همچنین متاثر بودن خروجی از شرایط جوی و جغرافیایی اشاره کرد. با در نظر گرفتن قابلیت‌های انرژی خورشیدی، کاهش روزافزون ذخایر سوخت‌های فسیلی و آلودگی ناشی از تولید برق به کمک این سوخت‌ها توجه اغلب کشورها در دهه گذشته به سیستم‌های خورشیدی جلب شده است.

1-3-2 سیستم‌های بادی

انرژی باد، انرژی است که از هزاران سال پیش موارد استفاده متعدد داشته و از جمله انرژی‌های متغیر با زمان و مکان است. چگالی توان تولیدی بر حسب وات بر واحد سطح، یک تابع درجه سوم از سرعت باد است. در این صورت با افزایش کوچکی در سرعت باد، افزایش زیادی در انرژی آن رخ خواهد داد. حرکت رانشی باد توسط توربین‌های بادی به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل می‌شود که آن نیز به نوبه خود توسط یک ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. اگرچه طرح‌های مختلفی برای توربین‌های باد موجود می‌باشد، ولی به طور عمده بر اساس جهت چرخش محور به دو دسته محور افقی و محور عمودی تقسیم می‌شوند. در انجام پایان نامه مهندسی برق تعداد پره‌ها، ثابت یا متحرک بودن آنها و کنترل پره‌ها به نوع توربین بستگی دارد. شکل Error!

1-No text of specified style in document. نحوه قرارگیری محور توربین باد را نشان می‌دهد.



شکل Error! No text of specified style in document. 1- شکل نحوه قرارگیری محور توربین باد

از جمله معایب سیستم‌های بادی، نویز صوتی و اثر منفی بر زیبایی محیط می‌باشد. با تاسیس سیستم‌های باد تا حد امکان دور از مراکز مسکونی، این تاثیرات حداقل می‌گردد [56, 57]. در ایران طبق اطلس بادی تهیه شده و بر اساس اطلاعات دریافتی از 60 ایستگاه و در مناطق مختلف آن، میزان ظرفیت اسمی سایت‌ها در حدود 60000 مگاوات می‌باشد. بر پایه پیش‌بینی‌های صورت گرفته میزان انرژی قابل استحصال بادی ایران از لحاظ اقتصادی بالغ بر 18000 مگاوات می‌باشد. تفکیک هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای سیستم‌های انرژی بادی در کشورهای توسعه یافته در سال 2011 بر حسب دلار بر کیلووات به صورت جدول Error! No text of specified style in document. زیر می‌باشد.

جدول 1-Error! No text of specified style in document. جدول هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای سیستم‌های بادی در کشورهای توسعه یافته

در سال 2011 بر حسب دلار بر کیلووات

offshore	خشکی	
3300-5000	1700-2450	هزینه های سرمایه گذاری (USD/kW)
30-50	65-84	سهم هزینه توربین بادی (%)
15-30	9-14	سهم هزینه اتصال به شبکه
15-25	4-16	سهم هزینه ساخت و ساز (%)
8-30	4-10	سهم هزینه های دیگر (%)

1-3-3 پیل های سوختی

پیل سوختی یک سیستم الکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی سوخت را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. در آند پیل سوختی واکنش اکسیداسیون انجام می‌گردد و الکترون تولید شده وارد مدار خارجی شده و سپس به کاتد وارد می‌شود. یون مثبت تولیدی در آند با عبور از غشا (الکترولیت) به قسمت کاتد رفته و در

حضور کاتالیزور با اکسیژن هوا و الکترونی که از مدار خارجی به قسمت کاتد وارد شده، به آب تبدیل می‌گردد.

شکل. **Error! No text of specified style in document.** نحوه عملکرد پیل‌های سوختی را نشان می‌دهد.

دهد.

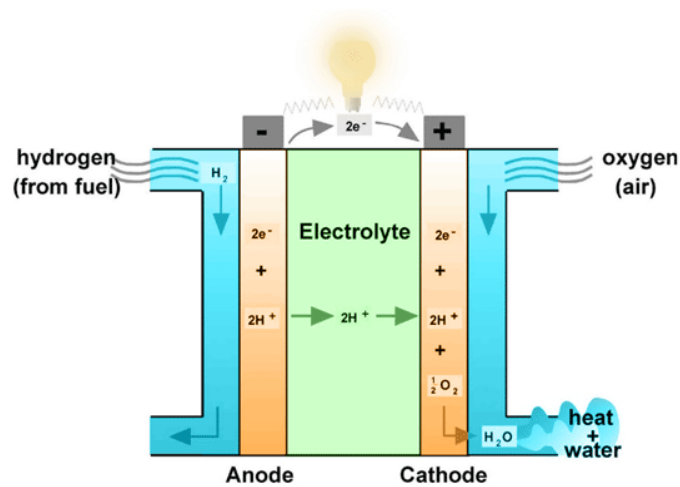


Fig. 2. Schematic of a PEM fuel cell operation. Source: World Fuel Cell Council.

شکل. **Error! No text of specified style in document.** نمونه‌ای از نحوه عملکرد پیل سوختی

طبقه‌بندی پیل‌های سوختی بر اساس نوع الکترولیت آنها می‌باشد که عبارت‌اند از:

- پیل سوختی پلیمری
- پیل سوختی قلیایی
- پیل سوختی اسید فسفریک
- پیل سوختی کربنات مذاب
- پیل سوختی اکسید جامد
- پیل سوختی متانولی

لازم به ذکر است که پیل سوختی متانولی از خانواده پیل سوختی پلیمری می باشد. پیل های سوختی بر اساس دمای عملکرد، دارای دامنه دمایی 80 درجه سانتیگراد (برای پیل سوختی پلیمری) تا 1000 درجه سانتیگراد (برای پیل های سوختی اکسید جامد) می باشد. از مهم ترین مزایای پیل های سوختی عبارت اند از:

- آلودگی ناشی از سوزاندن سوخت های فسیلی را حذف نموده و تنها محصول جانبی آن آب می باشد.
- در صورتیکه هیدروژن مصرفی حاصل از الکترولیز آب باشد، نشر گازهای گلخانه ای به صفر می رسد.
- به علت عدم وجود اجزای متحرک، نگهداری از آنها بسیار ساده می باشد.
- نصب و بهره برداری از پیل های سوختی بسیار ساده و مقرون به صرفه می باشد.
- پیل های سوختی مدولار می باشند، یعنی به راحتی توان تولیدی آنها قابل افزایش می باشد.

در جدول 2-Error! No text of specified style in document. زیر انواع پیل های سوختی با هم مقایسه شده اند.

جدول 2-Error! No text of specified style in document. مقایسه انواع پیل سوختی با هم

دورنمای دستیابی به کاهش قیمت	مرحله تکامل	درجه حرارت کارکرد (سانتیگراد)	یون هدایت دهنده	الکترولیت	نوع پیل سوختی
متوسط تا خوب	عملکرد در آزمایشگاه	700-1000	O^{2-}	$Zr_{0.92}Y_{0.08}O_{1.96}$	پیل سوختی اکسید جامد
چگالی انرژی متوسط به بالا، CO را به عنوان سوخت مصرف می کند					
متوسط	کاربردهای عملی	650	CO_3^-	Li_2CO_3 / K_2CO_3	پیل سوختی کربنات مذاب

چگالی انرژی پایین، عدم ثبات کاتالیست اکسید نیکل، احتیاج به چرخه CO_2					
متوسط	کاربردهای اولیه تجاری	190-210	H^+	H_3PO_4	پیل سوختی اسید فسفریک
چگالی انرژی متوسط، مصرف پلاتین به عنوان کاتالیست، حساس به CO					
خوب	کاربردهای فضایی	60-80	OH^-	KOH	پیل سوختی قلیایی
چگالی انرژی بالا، عدم تحمل CO_2					
خوب	نمونه‌های اولیه	85	$H^+(HO_3^+)$	Nafion	پیل سوختی پلیمری
چگالی انرژی بالا، کاتالیست پلاتین، حساس به CO، احتیاج به مرطوب نگه‌داشتن دائمی غشا					
خوب	نمونه‌های اولیه	60-120	$H^+(H_2O, CH_3OH)$	Nafion	پیل سوختی متانولی
چگالی انرژی متوسط، راندمان پایین، سادگی ساختار، کاهش وزن و حجم، کاتالیست پلاتین					

سیستم‌های پیل سوختی در مقیاس مگاواتی از اسید فسفریک استفاده می‌کنند. سیستم‌های پیل سوختی کربنات

مذاب با بازده 50 تا 55 درصد بسیار مورد توجه قرار گرفته است [56, 57].

4-3-1 میکروتوربین

میکروتوربین‌ها، توربین‌های گازی کوچکی هستند که از گاز و سوخت‌های مایع برای چرخاندن توربینی که یک ژنراتور الکتریکی را به حرکت در می‌آورد، استفاده می‌کنند. تکنولوژی میکروتوربین‌های امروزی نتیجه کار روی توربین‌های گازی صنعت اتومبیل، تجهیزات توان اضطراری و توربوشارژرها می‌باشد. محدوده توان میکروتوربین‌ها از 30 تا 400 کیلووات است. این در حالی است که اندازه توربین‌های گازی متداول از 500 کیلووات تا بیش از 250 مگاوات است. لازم به ذکر است که این واحدهای گازی برای استفاده به عنوان تولید پراکنده مناسب نیستند. میکروتوربین‌ها هم می‌توانند به تنهایی تولید برق نمایند و هم می‌توانند در سیستم‌های ترکیبی تولید همزمان برق و گرما مورد استفاده قرار گیرند. میکروتوربین‌ها از سوخت‌های مصنوعی مانند گاز طبیعی، گاز ترش (دارای ترکیبات سولفوری) و سوخت‌های مایع مانند بنزین، نفت و گازوئیل استفاده می‌کنند. لازم به ذکر است که گاز طبیعی بیشترین استفاده را در میکروتوربین دارد.

1-3-5 سیستم‌های زیست توده (بیوماس)

تعریف اتحادیه اروپا از زیست توده که در راهنمای EC/2001/77 عنوان شده، عبارت است از: "اجزا قابل تجزیه زیستی از محصولات، پسماندها و زائدات کشاورزی (شامل مواد گیاهی و دامی)، جنگلها و صنایع وابسته و همچنین زائدات صنعتی و شهری قابل تجزیه". بر اساس تعریف علمی ارائه شده برای زیست توده در این آیین نامه، زیست توده به سوختهائی اطلاق می‌گردد که از جرم توده فیتوپلانکتونها و جرم توده زئوپلانکتونها ساخته می‌شوند.

امروزه مشخص شده است که سوخت‌های زیستی به دست آمده از پسماندهای جنگل‌ها و محصول‌های کشاورزی جهان می‌تواند سالانه به اندازه ۷۰ میلیارد تن نفت خام انرژی در دسترس بشر قرار دهد که این

میزان ۱۰ برابر مصرف سالانه انرژی در جهان است. همچنین می توان از این سوخت ها بیشتر در تولید گرما بهره برد زیرا می توانند باعث صرفه جویی اقتصادی چشمگیری شوند.

از منابع زیست توده برای تولید برق، گرمایش و حمل و نقل (به کمک سوختهای زیستی مایع) استفاده می شود. رشد تقاضای زیست توده در جهان در خلال سالهای 2002 تا 2009 به طور متوسط در حدود 1.4 درصد و در شکل های جامد، مایع و گاز و برای اهداف مختلف از جمله تامین گرمایش، تولید برق و حمل و نقل بوده است. 86 درصد از کل تقاضای زیست توده جهت رفع نیازهای گرمایشی صنعتی و پخت و پز می باشد و 14 درصد باقی مانده جهت تولید برق و یا تولید همزمان برق- حرارت CHP و حمل و نقل به کار می رود. بر اساس آخرین آمار اعلام شده ظرفیت نیروگاههای نصب شده بایومس و نیز ظرفیت گرمایش این منبع به شرح ذیل می باشد:



شکل 3-Error! No text of specified style in document. ظرفیت نصب شده انواع فناوری‌های تولید پراکنده تا ابتدای سال 2012 بر حسب مگاوات



شکل 4-Error! No text of specified style in document. ظرفیت گرمایش تامین شده از منابع مختلف بر حسب مگاوات

6-3-1 سیستم های زمین گرمایی

این سیستم‌ها از گرمای ذخیره شده در آب و بخار آب داغ که در پوسته زمین در عمق 2000 تا 8000 فوتی زمین وجود دارد، استفاده می‌کنند. درجه حرارت این منابع باید حداقل 250 درجه سانتیگراد باشد. بسته به درجه حرارت و طبیعت مکان، تکنولوژی بخار فوق گرم، بخار مرطوب و یا هر دو تکنولوژی بکار گرفته می‌شود. تکنولوژی بخار فوق گرم نیاز به بویلر ندارد.

1-3-7 منابع زمین گرمایی

1-7-3-1 منابع آب داغ (سیستم های هیدروترمال)

منابع آبی هستند که در زیر زمین داغ می‌شوند و سپس به سطح زمین انتقال پیدا می‌کنند که در میان انواع منابع زمین گرمایی این منابع امروزه دارای بیشترین استفاده هستند. این نوع منابع زمین گرمایی خود به سه گروه ذیر تقسیم می‌شوند:

الف- دسته اول: مخازن دما بالا با دمای بالاتر از 150°C که مناسب برای تولید برق با تکنیکهای معمولی

ب- دسته دوم: مخازن با دمای بین 100 الی 150°C که مناسب برای تولید برق با تکنیکهای پیشرفته تر باینری

ج- دسته سوم: مخازن دما پائین با دمای کمتر از 100°C و مناسب برای کاربردهای مستقیم

1-7-3-2 منابع بخار خشک

منابعی با درجه حرارت بسیار بالا هستند که از آنها بخار خشک و یا آمیزه ای از بخار و آب با درجه حرارت بسیار بالا استحصال می شود که به جهت تولید برق این منابع دارای بهترین شرایط هستند، اما متأسفانه این منابع در مناطق محدودی یافت می شوند .

1-3-7-3 منابع تحت فشار

منابع عظیمی هستند که از آب شور¹ تشکیل یافته اند و از نظر شرایط کلی به درجه اشباع رسیده اند و در لایه های میان صخره های اعماق زمین به صورت محبوس وجود دارند. این منابع عمدتاً حاوی گاز متان محلول هستند و در عمق 3 تا 6 کیلومتری از سطح زمین یافت می شوند و درجه حرارت آنها بین 90 تا 200 درجه سانتیگراد تخمین زده می شوند .

1-3-7-4 تخته سنگ های خشک داغ

تخته سنگ های بسیار عظیمی هستند که در اعماق زمین وجود داشته و درجه حرارت بسیار بالا و فیزیکی سخت دارند. به سیستم های بهره برداری از این منابع سیستم های زمین گرمایی توسعه یافته² و به اختصار EGS گفته می شود. از آنجا که در همه جای کره زمین در اعماق زمین، گرما با شدت های مختلف وجود دارد و تنها محدودیت عدم وجود منابع آب می باشد، لذا با کمک این سیستم می توان رشد قابل توجهی در توسعه انرژی زمین گرمایی ایجاد کرد. سیستم بهره برداری به این صورت می باشد که با حفر چاه های بسیار عمیق (با عمق 4 تا 6 هزار متر) به لایه های داغ زمین دسترسی پیدا کرده، سپس آب با فشار بالا به چاه تزریق

¹ brine

² Enhanced Geothermal Systems

شده که در اثر این فشار هیدرولیکی در سنگ شکافت ایجاد می‌شود. همین کار برای چاه تولید³ نیز انجام می‌شود و بین دو چاه ارتباط برقرار می‌گردد. بدین صورت آب در حین عبور از شکافهای ایجاد شده حرارت را از سنگهای داغ دریافت و از چاه تولید خارج و وارد سیکل نیروگاه می‌شود. درجه حرارت آب حاصل از این منابع بین 135 تا 180 درجه سانتیگراد بوده و در این حالت امکان افزایش بازده نیروگاه تا 15 درصد وجود دارد.

1-3-7-5 مواد مذاب

این منابع که آنها را به نام گدازه ها می‌شناسیم در واقع ایده آل ترین حالت ممکن برای منابع زمین گرمایی بوده که درجه حرارت آن بین 700 تا 2000 درجه سانتیگراد است. با توجه به درجه حرارت بالای این مخازن و محدودیت های فنی موجود، امروزه از این منابع عظیم استفاده نمی‌شود.

هزینه بهره‌برداری از منابع انرژی زمین گرمایی به میزان زیادی به توان تولیدی چاه‌های حفر شده بستگی دارد. بطور کلی توان تولیدی هر چاه از حدود 2 تا 30 مگاوات الکتریکی متغیر است. در تولید برق از انرژی زمین گرمایی معمولاً میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای انجام اکتشافات مربوطه و نصب نیروگاه نسبت به نیروگاه‌های دیگر بالاتر است. اما به دلیل پایین بودن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و عدم نیاز به سوخت در حین بهره‌برداری از نیروگاه، قیمت تمام شده برق در نیروگاه‌های زمین گرمایی با نیروگاه‌های متعارف سوخت فسیلی قابل مقایسه و از انواع دیگر انرژی‌های نو به مراتب ارزان تر است. در هزینه های یک نیروگاه تولید برق زمین گرمایی عوامل متعددی دخالت دارند که می‌توان به مواردی همچون میزان عمق و درجه حرارت منبع،

³ Production Well

نوع منبع (بخار، مایع و یا دوفازی)، خواص شیمیایی آب زمین گرمایی، میزان نفوذ پذیری منابع، میزان ظرفیت نیروگاه، تکنولوژی نیروگاه و دیگر هزینه های غیر مستقیم اشاره کرد. مدت زمان احداث یک نیروگاه زمین گرمایی بدون احتساب زمان مطالعات اکتشافی و حفاری 3 تا 5 سال و عمر مفید یک نیروگاه زمین گرمایی 25 تا 35 سال می باشد. هزینه احداث آن (بدون در نظر گرفتن هزینه حفاری) حدودا 3000 تا 10000 سنت دلار آمریکا بر کیلووات ساعت و هزینه تعمیر و نگهداری متغیر آنها در حدود 0/01 سنت دلار آمریکا بر کیلووات ساعت است. به عنوان مثال اگر بخواهیم هزینه های تولید یک کیلووات برق زمین گرمایی را با هزینه های تولید یک کیلووات برق حاصل از نیروگاههای گازی مقایسه کنیم، قیمت تمام شده برق زمین گرمایی در حدود 2/5 تا 3 برابر برق حاصل از نیروگاه گازی می باشد لیکن چنانچه هزینه مربوط به تامین سوخت و انتقال سوخت از مبدا (گاز) را به هزینه نیروگاههای گازی اضافه نماییم خواهیم دید که قیمت تمام شده برق این دو نیروگاه در دراز مدت برابر خواهد بود.

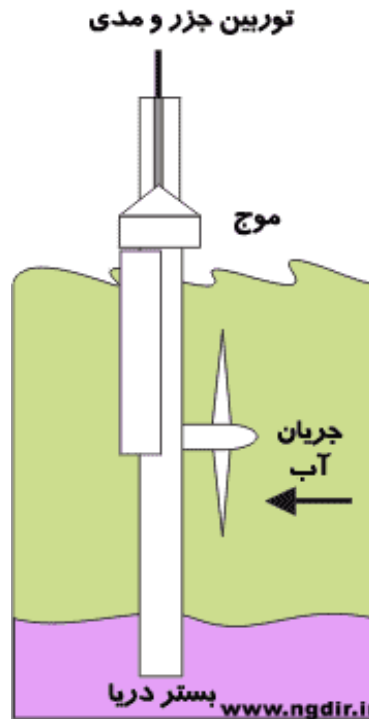
1-3-2 سیستم های تبدیل انرژی موجی و جزر و مدی به الکتریکی

انرژی جزر و مد حاصل از نیروی گرانش ماه است که ناشی از تغییرات دوره ای انرژی پتانسیل آب در یک نقطه از سطح زمین است. نسبت حداکثر خیز جزر و مد به حداقل مقدار آن می تواند برابر 1 تا 3 باشد. در مصب رودخانه ها دامنه جزر و مد می تواند بین 10 تا 15 متر باشد. با نصب توربین در نقاط مناسب امکان تولید برق هم در زمان جزر و هم در زمان مد وجود دارد. یکی از روشهای ساده و قدیمی استفاده از انرژی جزر و مد ایجاد یک حوض تنها است. این تکنیک فقط یک حوض را با مسدود کردن خلیج حاصله از مصب رود یا خلیج اصلی توسط یک سد مورد استفاده قرار می دهد. در طول دوره تناوب، بالا آمدن آب از کانالها

حوض را پر می‌کند. وقتی که سطح آب در حوض بالاتر از سطح آب دریا هست، انرژی پتانسیل آب مسدود شده حوض با گذاشتن از توربین ژنراتور، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. در این طرح تولید حدود ۵ ساعت و ۶ تا ۷ ساعت پرکردن مجدد و توقف زمان می‌برد. این طرح می‌تواند با پمپ دوباره آب به حوض بالادست، اصلاح می‌شود. طرح دیگر استفاده از یک حوض با دو راه است که تولید انرژی بر اثر حرکت آب از طرف دریا به حوض و از طرف حوض به دریا صورت می‌گیرد. با بکار بردن چنین سیستمی انرژی بیشتری نسبت به طرح قبلی تولید می‌شود. در نوع دو آبگیره، تولید می‌تواند در زمان‌های مختلف انجام شود. به این ترتیب که در ساعات پیک عرضه از آبگیر دوم استفاده می‌گردد. استفاده از انرژی حاصل از جزر و مد به محل‌های خاصی نیاز دارد. نیروگاه‌های تولید الکتریسیته در اعماق آب دریاها با استفاده از قدرت جزر و مد می‌توانند کمکی برای مسئله انرژی جامعه بشری باشند. نخستین پروژه از این نمونه با یک سیستم نوین، در حال حاضر مشغول به کار است. پره‌های ۱۱ متری یک توربین زیر آبی، به آرامی و بدون سر و صدا در حال گردش هستند. این توربین‌های تولید انرژی، در عمق ۲۰ متری در فاصله ۲ کیلومتری ساحل «دوون» واقع در جنوب غربی انگلیس کار می‌کنند.



شکل 5-Error! No text of specified style in document. روش استفاده از انرژی جزر و مد به کمک ایجاد یک حوض



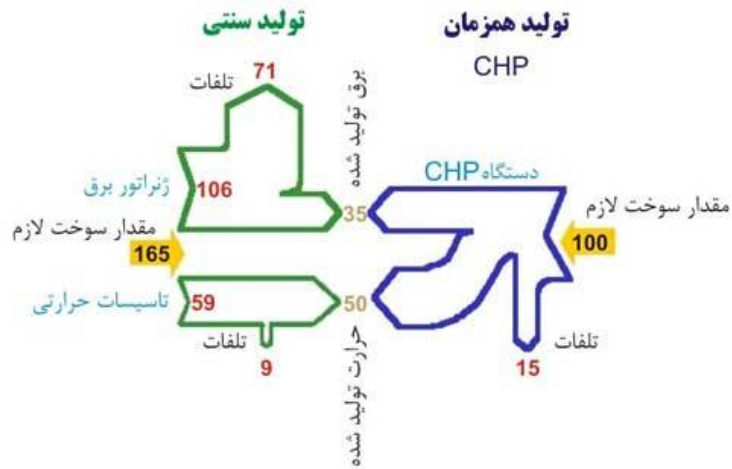
شکل 6- نمونه‌ای از قرارگیری توربین‌های جزر و مدی در بستر دریا برای استفاده از انرژی موجود در جریان آب

1-3-3 سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما

یکی از مهمترین کاربردهای تولید پراکنده است، که عبارت است از تولید همزمان و توأم ترمودینامیکی دو یا چند شکل انرژی از یک منبع ساده اولیه می‌باشد. در مولدهای قدرت امروزی، معمولاً از سوزاندن سوخت‌های فسیلی و گرمای حاصله برای تولید قدرت محوری و سپس تبدیل آن به انرژی الکتریسیته استفاده می‌شود. متداول‌ترین این نوع سیستم‌ها، نیروگاه‌های عظیم برق هستند. در نیروگاه‌های حرارتی که سهم عمده‌ای در تأمین نیاز الکتریسیته جوامع مختلف دارند، به‌طور متوسط تنها یک سوم از انرژی سوخت ورودی، به انرژی مفید الکتریسیته تبدیل می‌شود. در این نوع نیروگاه‌ها، مقدار زیادی انرژی حرارتی از طرق مختلف نظیر کندانسور، دیگ بخار، برج خنک‌کن، پمپ‌ها و سیستم لوله‌کشی موجود در تأسیسات به هدر می‌رود. از این

گذشته، در شبکه‌های انتقال برق نیز حدود ۱۵ درصد از انرژی الکتریسیته تولیدی، تلف می‌شود. اگر تولید برق در محل مصرف صورت بگیرد، این مقدار اتلاف عملاً وجود نخواهد داشت. استفاده هرچه بیشتر از گرمای آزاد شده در حین فرایند سوختن سوخت، باعث افزایش بازده انرژی و کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی اولیه می‌شود.

در مدل‌سازی سیستم تولید همزمان برق و گرما در انجام پایان نامه مهندسی برق، فرض شده است که می‌توان، تلفات ناشی از گازهای داغ خروجی از توربین‌های گازی را به صورت بازیافت حرارت، وارد شبکه تولید همزمان برق و گرما کرد. انتخاب‌های مطرح برای استفاده از بازیافت گرما، استفاده از نیروگاه سیکل ترکیبی معمولی برای تولید برق، استفاده از بویلر بازیافت حرارت برای تولید آبگرم و استفاده از توربین بخار پس‌فشاری برای تولید برق و آبگرم است. بر اساس اطلاعات فنی موجود، بازده توربین گازی پس از نصب سیستم بازیافت گرما، از حدود ۳۴ درصد به بیش از ۷۰ درصد افزایش می‌یابد. مولد قدرت اولیه در سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما، معمولاً موتورهای احتراقی، توربین گازی، میکروتوربین‌ها و پیل سوختی است. کیفیت گرمای خروجی هر یک از این فناوری‌ها، متفاوت بوده و بسته به کاربردهای مختلف و نیاز گرمایشی، می‌توان یکی از آنها را به کار برد. امروزه از نظر هزینه نصب و راه‌اندازی، موتورهای احتراقی دارای پایین‌ترین قیمت و سیستم‌های پیل سوختی با توجه به اینکه هنوز به مرحله تجاری شدن نرسیده‌اند، بالاترین هزینه را دارند.



شکل 7- مقایسه روش تولید برق به کمک سیستم‌های CHP و روش سنتی

1-3-4 دیزل ژنراتورها

دیزل ژنراتور، به ترکیبی از موتور دیزل، ژنراتور و انواع متعلقات فرعی از قبیل شناسی، اتاقک پوشاننده، عایق‌های صدا، سیستم‌های کنترل، قطع کننده‌های اضطراری مدار، سیستم مولد گرما، سیستم استارت اتومات و غیره که به منظور تولید برق استفاده می‌شود، می‌گویند. دیزل ژنراتورها می‌توانند از ۱ تا ۲۰ کیلوولت آمپر برای منازل، فروشگاه‌ها، ادارات کوچک و تا 2000 کیلووات آمپر قابل استفاده برای مجتمع‌های اداری بزرگ و کارخانه‌ها، برق تولید کنند. یک ژنراتور ۲۰۰۰ کیلوولت آمپر را می‌توان درون یک اتاقک ایزوله قابل حمل قرار داد. ژنراتورهای ۵ مگاوات برای ایستگاه‌های کوچک تولید برق استفاده می‌شوند و برای این منظور می‌توان از چندین دستگاه ژنراتور استفاده کرد. دیزل ژنراتورهای کوچک تا ۲۵۰ کیلو ولت آمپر نه تنها برای تولید برق اضطراری بلکه به جهت تامین برق مورد نیاز به صورت مستمر یا در زمان اوج مصرف و یا حتی در زمانی که کمبود ژنراتورهای بزرگتر حس می‌شود استفاده می‌شوند.

1-4 دلایل استفاده از تولیدات پراکنده در شبکه

استفاده از تولیدات پراکنده در شبکه قدرت مزایای بسیاری چه برای سیستم قدرت و چه برای دارندگان آنها به همراه دارد. مزایای نصب تولیدات پراکنده در چهار دسته بهبود قابلیت اطمینان، مزایای اقتصادی، مزایای آلودگی و مزایای کیفیت توان تقسیم می شوند. جدول 3-Error! No text of specified style in document. برخی از این مزایا را بیان می کند [3, 9, 14].

جدول 3-Error! No text of specified style in document. مزایای تولیدات پراکنده

<ul style="list-style-type: none"> • افزایش قابلیت اطمینان و امنیت بارهای مهم • آزادسازی ظرفیت سیستم انتقال • کاهش اثرات حمله‌های سایبری و فیزیکی • افزایش پراکندگی تولید 	مزایای امنیت و قابلیت اطمینان
<ul style="list-style-type: none"> • کاهش هزینه‌های مربوط به تلفات توان • به تاخیر انداختن سرمایه گذاری برای به-روزرسانی سیستمهای تولید انتقال و توزیع • کاهش هزینه‌های عملکرد به دلیل کاهش پیک • کاهش هزینه‌های سوخت ناشی از افزایش بازدهی • کاهش زمین استفاده شده برای تولید 	مزایای اقتصادی
<ul style="list-style-type: none"> • کاهش تلفات خط • کاهش آلودگی 	مزایای آلودگی
<ul style="list-style-type: none"> • بهبود پروفیل ولتاژ 	مزایای کیفیت توان

بهبود قابلیت اطمینان ناشی از توانایی واحدهای تولید پراکنده در تامین بارهای محلی در صورت از کار افتادن سیستم می باشد. این امر با کارکرد جزیره‌ای تولیدات پراکنده امکان‌پذیر می باشد. بخشی مزایای اقتصادی تولیدات پراکنده ناشی از به تاخیر انداختن سرمایه گذاری در زیرساختهای انتقال و توزیع می باشد. از آنجایی که تولیدات پراکنده معمولاً در فاصله نزدیک‌تری از بار نسبت به نیروگاه‌ها قرار دارند، می توانند باعث آزادسازی ظرفیت خطوط و نیز کاهش تلفات شوند. تخمین‌ها نشان از کاهش 15 درصدی تلفات با جایگزینی 30 درصد از تولید کنونی دارد.

1-5 مسائل و مشکلات در مقابل افزایش نفوذ تولیدات پراکنده

علاوه بر مزایای بسیار اتصال تولیدات پراکنده به شبکه و بنابراین افزایش سطح نفوذ آنها، مشکلات تجاری، تنظیمی و فنی بسیاری، نفوذ آنها در شبکه را محدود می کند. مزایای تولیدات پراکنده به شدت به مشخصات آنها و سیستم قدرت وابسته است. علاوه بر این، برخی از مزایای تولیدات پراکنده تنها مختص مالکان آنها می باشند و ممکن است به بهره‌بردار شبکه و یا بقیه مصرف کنندگان شبکه سود نرساند. ورود تولیدات پراکنده به شبکه می تواند به شدت باردهی و قابلیت اطمینان آن را تحت تاثیر قرار دهد. در واقع اگر حداقل استانداردهای کنترل و نصب تولیدات پراکنده در نظر گرفته نشود، ورود تولیدات پراکنده می تواند اثر منفی بر شبکه داشته باشد. مسائل فنی زیادی وجود دارد که هنگام اتصال تولیدات پراکنده به سیستم توزیع باید مد نظر قرار گیرند که از جمله آنها عبارت‌اند از:

- اضافه ولتاژ ماندگار
- اضافه بار خطوط
- کیفیت توان (مثل فلیکر و هارمونیک)

- حفاظت
- پایداری
- تلفات

به غیر از تلفات، دیگر مسائل فنی مذکور را می توان به عنوان مسائل قابلیت اطمینان سیستم دسته بندی کرد.

اضافه ولتاژ ماندگار:

اضافه ولتاژ فاکتوری کلیدی می باشد که ظرفیت تولید پراکنده قابل اتصال به شبکه توزیع را محدود می کند. این موضوع اخیرا توجهات زیادی را به خود جلب کرده و کارهای زیادی به این موضوع پرداخته است [15]- [17]. اتصال تولید پراکنده به سیستم توزیع جریان توان را تحت تاثیر قرار می دهد و باعث افزایش ولتاژ می - شود. ولتاژ سیستم توزیع باید در محدوده استاندارد باشد. بیشتر شدن ولتاژ از حد استاندارد خود می تواند به آسیب دیدگی تجهیزات سیستم و مصرف کنندگان، اشتباه در کار دستگاه های حفاظتی و تلفات اضافه منجر شود [18, 19]. در این پایان نامه منظور از اضافه ولتاژ، اضافه ولتاژ حالت ماندگار می باشد.

اضافه بار خطوط:

در برخی موارد ظرفیت گرمایی کابل ها و یا خطوط هوایی می توانند عامل محدود کننده نفوذ تولیدات پراکنده باشند. این بدان معنا است که گاهی ممکن است تولیدات پراکنده به میزانی توان به شبکه تزریق کننده که قبل از آنکه ولتاژ از حد مجاز خود بگذرد، حد ظرفیت گرمایی تولید بیشتر توان را محدود کند.

کیفیت توان:

دو جنبه کیفیت توان مهم می باشند که عبارت اند از: 1) تغییرات ولتاژ گذرا 2) اعوجاج هارمونیک ولتاژ شبکه.

تولیدات پراکنده‌ای که از طریق اینورترهای الکترونیک قدرت (مثل پیل‌های سوختی، بیشتر توربین‌های باد و سلول‌های خورشیدی) عمدتاً به عنوان منابع اعوجاج شکل موج ولتاژ شناخته شده‌اند [20-22]. بسته به شرایط، نیروگاه‌های تولید پراکنده می‌توانند کیفیت ولتاژ شبکه توزیع را کم یا زیاد کنند.

حفاظت:

حفاظت تجهیزات تولید از خطاهای داخلی، حفاظت شبکه توزیع تحت خطا در مقابل جریان خطای تزریق شده توسط تولیدات پراکنده، حفاظت در مقابل جزیره‌ای شدن (عملکرد جزیره‌ای تولیدات پراکنده در آینده نزدیک با افزایش نفوذ آنها ممکن خواهد شد) و اثرات تولیدات پراکنده بر حفاظت موجود سیستم توزیع تعدادی از جنبه‌های حفاظت تولیدات پراکنده در سیستم توزیع می‌باشند که باید در نظر گرفته شوند.

پایداری:

به طور سنتی، به دلیل غیرفعال بودن شبکه توزیع لازم نیست در طراحی آن مساله پایداری در نظر گرفته شود و به شرطی که شبکه انتقال پایدار باشد، در اکثر موارد شبکه توزیع نیز پایدار باقی می‌ماند. حتی حال نیز در بررسی تولیدات پراکنده تجدیدپذیر به ندرت مساله پایداری در نظر گرفته می‌شود [23-25]. البته این محتمل است که با افزایش نفوذ تولیدات پراکنده مساله پایداری نیز مشکل‌ساز شود و در نظر گرفتن آن هنگام اتصال تولیدات پراکنده به شبکه امری اجتناب‌ناپذیر باشد. مواردی که در مساله پایداری باید در نظر گرفته شوند، شامل پایداری گذرا، پایداری دینامیکی بلند مدت و فروپاشی ولتاژ می‌باشد [26, 27].

تلفات:

تولیدات پراکنده همچنین تلفات فیدر را تحت تاثیر قرار می دهند. می توان تولیدات پراکنده را به گونه ای در فیدر قرار داد که بیشترین کاهش تلفات در فیدر حاصل شود. جایابی واحدهای تولید پراکنده با هدف حداقل کردن تلفات شبیه جایابی بانک های خازنی با هدف کاهش تلفات می باشد. تنها تفاوت در این است که واحدهای تولید پراکنده هم جریان توان حقیقی و هم جریان توان راکتیو را تحت تاثیر قرار می دهند. بیشتر تولیدات پراکنده اینورتری ضریب توانی بین 0.85 پسفاز تا 1 دارند، اما برخی تکنولوژی ها توانایی تزریق توان راکتیو را نیز دارند. در فیدری با تلفات بالا تولید پراکنده با مقداری در حدود 10 تا 20 درصد تقاضا فیدر با جایابی مناسب می تواند به مقدار بسیار زیادی تلفات سیستم را کاهش دهد [14, 28].

1-6 مروری بر کارهای انجام شده

در این بخش به معرفی تحقیقات انجام شده در خصوص حداکثر و مقدار بهینه سطح نفوذ تولیدات پراکنده پرداخته می شود.

مطالعات انجام گرفته در مراجع [19, 29, 30] روش هایی برای تعیین حداکثر نفوذ تولیدات پراکنده با قید محدودیت ولتاژ ارائه کرده اند. در مرجع [31] حداکثر سطح نفوذ تولیدات پراکنده فتوولتائیک در سیستم های توزیع شعاعی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه نشان داده شده که اضافه بار خطوط نیز می تواند عاملی محدود کننده در سطح نفوذ تولیدات پراکنده فتوولتائیک باشد. در مرجع [32] مشکلات پروفیل ولتاژ ناشی از نفوذ تولیدات پراکنده در شبکه های توزیع ولتاژ ضعیف را مورد بررسی قرار داده است. در مرجع [33] نیز حداکثر سطح نفوذ تولیدات پراکنده فتوولتائیک در فیدرهای توزیع معمولی بررسی کرده است. در این مطالعه سناریوهای مختلف از محل قرارگیری تولیدات پراکنده مختلف در نظر گرفته شده است و عوامل

محدود کننده سطح نفوذ اضافه ولتاژ حالت ماندگار و اضافه بار خطوط می باشد. در مرجع [34] محدودیت نفوذ تولیدات پراکنده فتوولتائیک را به صورت موردی مورد مطالعه قرار داده است. مورد مطالعه سفارت ایتالیا در برزیل می باشد. در مرجع [35] حساسیت ولتاژ شبکه های ولتاژ متوسط و ولتاژ ضعیف با سطح نفوذ بالای منابع فتوولتائیک را با در نظر گرفتن پروفیل بار مسکونی و صنعتی مورد بررسی قرار داده است. در مرجع [36] حداکثر سطح نفوذ تولید فتوولتائیکی که از طریق اینورترهای فلای بک فعال در ناحیه ناپیوسته به شبکه متصل شده اند، تخمین زده شده است. مرجع [37] حداکثر سطح نفوذ تولیدات پراکنده را با در نظر گرفتن مشکلات خستگی فیوز در فیدرهای شعاعی توزیع، تعیین می کند. در مرجع [38] از برنامه نویسی چند هدفه به منظور حداکثرسازی نفوذ تولیدات پراکنده در شبکه های توزیع استفاده شده است. در مرجع [39] پیکربندی دوباره شبکه بر حداکثر نفوذ تولیدات پراکنده مورد بررسی قرار گرفته است. مراجع [40, 41] مکان و اندازه بهینه تولیدات پراکنده را با در نظر گرفتن محدودیت های مختلف بدست آورده اند. در مرجع [41] محدودیت های اضافه ولتاژ، سطح مجاز هارمونیک و هماهنگی رله های حفاظتی مد نظر بوده است. در مرجع [40] محدودیت های فنی از جمله محدودیت گرمایی خطوط، ظرفیت ترانسفورمر، پروفیل ولتاژ و سطح اتصال کوتاه در نظر گرفته شده است. مرجع [42] روش پخش بار بهینه جریان متناوب⁴ چند زمانه برای ارزیابی حداکثر ظرفیت تولید پراکنده قابل اتصال به شبکه، زمانی که از استراتژی کنترل مدیریت فعال شبکه استفاده می شود را پیشنهاد کرده است.

حداقل سازی تلفات و از بین بردن اضافه ولتاژ در شبکه ای که مورد نفوذ تولیدات پراکنده واقع شده است، توجه فزاینده ای به خود جلب کرده اند. اگرچه در برخی مطالعات این دو موضوع به صورت جداگانه مورد

⁴ACOPF

بررسی قرار گرفته‌اند، اما اغلب این دو موضوع به صورت یکجا در نظر گرفته شده‌اند. برای این کار کافی است در مساله بهینه‌سازی، تابع هدف را حداقل سازی تلفات در نظر گرفته و محدودیت ولتاژ را به عنوان یک قید به آن اضافه کرد. به طور کلی چهار روش برای حل این مساله پیشنهاد شده است که به ترتیب عبارت‌اند از:

- آنالیز سناریو
- پخش بار
- روش مهندسی
- برنامه‌ریزی فعال شبکه

در ادامه این چهار روش معرفی می‌گردد.

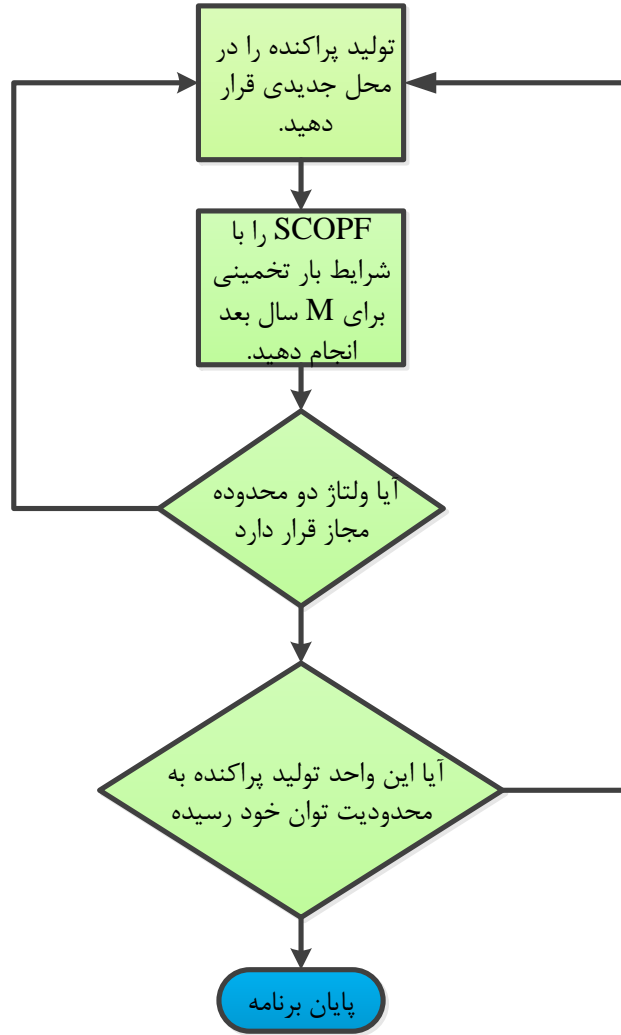
آنالیز سناریو:

در تعداد کمی از مطالعات، سناریوهای خاصی برای یافتن محل بهینه تولیدات پراکنده به گونه‌ای که بازدهی و قابلیت اطمینان سیستم بهبود یابند، مورد بررسی قرار گرفتند. برای مثال دینیک و دوستان [43] محدودیت‌های ولتاژ و ظرفیت نصب تولیدات پراکنده با توجه به سطح اتصال کوتاه سیستم در یک شبکه 33 کیلوولت را در نظر گرفته و نتیجه گرفته که تولید توان راکتیو توسط تولیدات پراکنده می‌تواند باعث افزایش ظرفیت نفوذ تولیدات پراکنده در محدوده عملکرد شبکه می‌شود. کوزادا و دوستان [44] اثر افزایش نفوذ تولیدات پراکنده بر تلفات الکتریکی در شبکه تست IEEE 34 بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تلفات بر حسب نفوذ تولیدات پراکنده دارای منحنی یو-U- شکل می‌باشد. جوپ و دوستان [45] تحلیل تغییر تلفات با اتصال یک واحد خورشیدی در محل خاصی از فیدر را انجام دادند. به جز موارد محدود نتایج این مطالعات تنها محدود به

سناریو خاص آنها می باشد. بسط نتایج حاصل از سناریو خاص و یا حتی تعدادی سناریو به حالات کلی ممکن است به افزایش تلفات و یا حتی کاهش قابلیت اطمینان و لتاژ شبکه منجر شود. دلیل این امر تنوع بسیار زیاد پیکربندی سیستم های توزیع قدرت می باشد.

پخش بار:

یکی از راه های معمول در تحلیل تلفات توان و رفتار ولتاژ سیستم دارای تولیدات پراکنده، شبیه سازی پخش بار توسط نرم افزارهای دارای قابلیت تحلیل چند منبع در سیستم توزیع می باشد [46-48]. شکل **Error! No text of specified style in document.** اصول این روش را نشان می دهد. یکی از محدودیت های اصلی این روش زمان و حجم محاسبات بسیار زیاد به دلیل انجام تکراری پخش بار بهینه محدود به مسائل امنیتی می باشد. هدف از این روش بهینه سازی یافتن محل و ظرفیت تولیدات پراکنده به منظور حداقل کردن تلفات می باشد. محدودیت های فنی مثل ظرفیت گرمایی خطوط و ترانسفورمرها و ولتاژ باسبارها نیز به عنوان قید به مساله اضافه می شود. برای کاهش حجم محاسبات، برخی مطالعات استفاده از ماتریس حساسیت ژاکوبین را برای تخمین حداکثر خروجی تولیدات پراکنده که باعث تخطی از محدودیت ولتاژ نمی شوند، پیشنهاد کرده اند [28, 49, 50].



شکل 8-Error! No text of specified style in document. الگوریتم پخش بار تکراری برای قرار دادن تولیدات پراکنده در شبکه با هدف حداقل سازی تلفات

روش مهندسی:

با نفوذ تولیدات پراکنده می توان تلفات را حداقل کرد و به کمک توسعه تجهیزاتی مثل خازن، کنترل تولیدات پراکنده و پیکربندی دوباره شبکه اضافه ولتاژ را از بین برد. بسیاری از مطالعات این روش های مهندسی در افزایش نفوذ تولیدات پراکنده در شبکه را مورد بررسی قرار داده اند. برای مثال سنیا و دوستان [51] استفاده از الگوریتم ژنتیک برای قرار دادن همزمان چیران سازه های توان رکتیو با تولیدات پراکنده را پیشنهاد داده است.

کاروالهو و دوستان [15] و سالامونسون و دوستان [52] ضریب توان تولیدات پراکنده را برای جلوگیری از افزایش ولتاژ در یک شبکه توزیع ساده محاسبه کرده‌اند. کیپارکیس [53] از یک روش هوشمند با استفاده از تولیدات پراکنده برای کنترل ولتاژ در شبکه توزیع استفاده کرد. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های روش مهندسی این است که نتایج آن وابسته به استفاده از تجهیزات خاصی می‌باشد و در نتیجه بسط دادن آن به موارد کلی سخت می‌باشد.

روش برنامه‌ریزی فعال شبکه:

سیانو و دوستان [54] حداکثر انرژی قابل استحصال از باد در یک دوره زمانی مشخص را ارزیابی کردند. اکوا و دوستان [55] یک روش پخش بار بهینه چند زمانه برای اندازه‌گیری اثر مدیریت فعال شبکه در اتصال منابع تجدیدپذیر با در نظر گرفتن محدودیت ولتاژ پیشنهاد کرده‌اند.

1-7 اهداف پایان‌نامه

با توجه به اهمیت تولیدات پراکنده و استفاده روزافزون آنها در شبکه قدرت، لزوم تعیین حداکثر سطح قابل نفوذ و همچنین ظرفیت و محل بهینه این منابع در انجام پایان‌نامه مهندسی برق روز به روز پررنگ‌تر می‌شود. در این پایان‌نامه دو هدف دنبال می‌شود:

1) مروری بر انواع تولیدات پراکنده و مشکلات و مزایای آنها

2) دانستن حداکثر سطح قابل قبول نفوذ تولیدات پراکنده برای بهره‌بردار شبکه امری بسیار مهم است. اما

لزوماً هدف از قرار دادن تولیدات پراکنده حداکثر کردن سطح نفوذ نمی‌باشد. یکی از مهم‌ترین اهداف

قرارگیری تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع، حداقل‌سازی تلفات توان می‌باشد. هدف اصلی این پایان‌نامه یافتن مکان و ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده از منظر تلفات توان در شبکه‌های توزیع می‌باشد.

8-1 پیکربندی پایان‌نامه

در فصل اول ابتدا به بررسی سابقه و اهمیت موضوع پرداخته شده است. بعد از آن دلایل استفاده از تولیدات پراکنده در شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. سپس به مسائل و مشکلات محدودکننده سطح نفوذ تولیدات پراکنده اشاره شده است. در نهایت نیز مروری بر کارهای انجام شده و اهداف پایان‌نامه آورده شده است.

در فصل دوم ابتدا به معرفی فناوری‌های تولید پراکنده پرداخته شده است و مهم‌ترین آنها را به اختصار توضیح داده شده است. پس از آن تعریفی از سطح نفوذ قابل قبول ارائه شده است. سپس مهم‌ترین اثرات تولیدات پراکنده بر سیستم قدرت مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت نیز توضیحاتی در مورد شبکه‌های توزیع آورده شده است.

در فصل سوم انجام پایان‌نامه مهندسی برق روش تحقیق پایان‌نامه به طور کامل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل چهارم فرمولاسیون مسئله جاییابی و محاسبه ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده به منظور حداقل‌سازی تلفات توان آورده شده است. ابتدا ظرفیت بهینه تولید پراکنده در یک باس‌بار به دست آورده می‌شود. سپس به کمک این رابطه ظرفیت و محل بهینه چند تولید پراکنده در شبکه محاسبه شده است.

نهایتاً در فصل پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مطالعات انجام شده آورده شده است و پیشنهاداتی برای ادامه پژوهش ارائه خواهد شد.