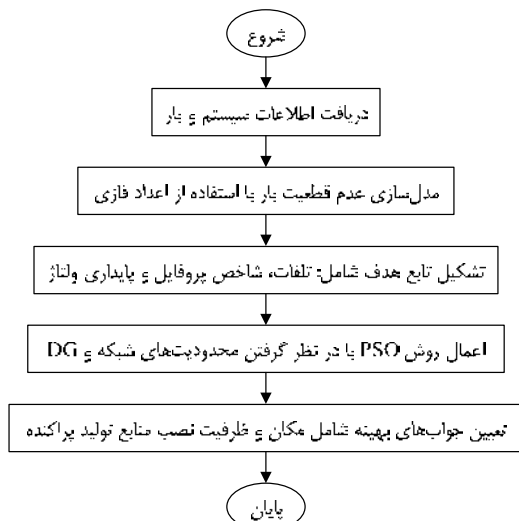


# تعیین مکان بهینه نصب منابع تولید پراکنده با اطلاعات غیر قطعی

حسین گودرزی و محمودرضا حقی فام



شکل ۱: فلوچارت عملکرد روش پیشنهادی.

توزیع می‌باشد. عدم قطعیت بار و محدوده مطلوب ولتاژ با استفاده از تئوری اطلاعات فازی مدل شده است و همچنین تابع هدف شامل کاهش تلفات، بهبود شاخص پروفایل و پایداری ولتاژ بوده و قیود مرتبط با آن، قیود ولتاژ و توان عبوری از خط می‌باشد که روش بهینه‌سازی PSO انتخاب شده است.

## ۲- روش پیشنهادی

در فلوچارت شکل ۱ مراحل روش پیشنهادی در این مقاله نشان داده شده است. در این روش ابتدا اطلاعات سیستم و اطلاعات بار دریافت شده، سپس عدم قطعیت بار با استفاده از اعداد فازی مدل می‌شود و اطلاعات به دست آمده برای تشکیل تابع هدف (تلفات و شاخص پروفایل و پایداری ولتاژ) استفاده می‌شود و روش PSO برای یافتن جواب بهینه اجرا می‌گردد.

### ۲-۱ تابع هدف مسئله

در تعیین مکان و ظرفیت DG، آنچه در این مقاله مد نظر قرار گرفته است بهبود عملکرد فنی شبکه می‌باشد. برای این منظور بایستی سه پارامتر فنی شبکه که شامل تلفات، تنظیم ولتاژ و افزایش پایداری شبکه توزیع بهبود یابد. لذا تابع هدف مطابق (۱) به صورت یک تابع چندهدفه معرفی می‌گردد و با استفاده از روش max-min سه تابع هدف به صورت زیر ارائه شده است

$$\lambda = \max(\min\{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}) \quad (1)$$

که توابع  $f_1$ ،  $f_2$  و  $f_3$  نیز به ترتیب زیر تعریف می‌شوند

$$f_1 = \{P_{loss}(P_{d1}, P_{d2}, \dots, P_{dnDG})\} \quad (2)$$

که  $P_{loss}$  بیانگر تلفات توان حقیقی و  $P_{di}$  میزان توان منبع تولید پراکنده در باس  $i$  می‌باشد.

چکیده: در این مقاله هدف تعیین مکان بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع می‌باشد. عدم قطعیت بار و محدوده مطلوب ولتاژ با استفاده از تئوری اطلاعات فازی مدل شده است. همچنین تابع هدف شامل کاهش تلفات، بهبود شاخص پروفایل و پایداری ولتاژ بوده و قیود مرتبط با آن، قیود ولتاژ و توان عبوری از خط می‌باشد. تغییرات بار در سه بازه زمانی (حداکثر، حداقل و متوسط) نشان داده شده و برای بهینه‌سازی تابع هدف از روش PSO و برای انتخاب جواب از روش max-min استفاده شده است. نتایج اجرای مدل و روش پیشنهادی در ۵ سناریو بر روی سیستم ۳۳ باسه IEEE ارائه گردیده است.

کلید واژه: جابجایی منابع تولید پراکنده، عدم قطعیت بار، تلفات، پروفایل ولتاژ، پایداری ولتاژ.

## ۱- مقدمه

شبکه‌های توزیع معمولاً شعاعی بوده و تغذیه بارها در یک جهت انجام می‌گیرد. در این شبکه به خاطر ساختار شعاعی و در صورت طولانی بودن آن، شاهد افزایش تلفات، کاهش دامنه ولتاژ و در مواردی که شبکه دارای بار حداکثر موتوری باشد، می‌تواند ناپایداری ولتاژ نیز در آن رخ دهد. یکی از روش‌های مؤثر برای اصلاح عملکرد شبکه‌های توزیع از دیدگاه فنی، استفاده از منابع تولید پراکنده می‌باشد. در حالت کلی مزایای استفاده از تولید پراکنده را می‌توان به دو دسته فنی و اقتصادی دسته‌بندی کرد [۱].

مزایای فنی تولید پراکنده عبارتند از کاهش تلفات خطوط، بهبود پروفایل ولتاژ، کاهش انتشار آلودگی‌های محیطی، افزایش بازه انرژی، بهبود کیفیت توان، بهبود قابلیت اطمینان و امنیت شبکه و مزایای اقتصادی به کارگیری منابع تولید پراکنده نیز عبارتند از سرمایه‌گذاری‌های متفاوت برای بهبود امکانات، کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهره‌برداری، تولید بهینه، کاهش هزینه‌های ذخیره انرژی و افزایش امنیت بارهای حساس. نکته مهم در به کارگیری منابع تولید پراکنده تعیین محل مناسب برای نصب آنها می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهند که انتخاب نامناسب محل و ظرفیت (DG)، می‌تواند سبب بروز تلفات بیشتری در شبکه نسبت به حالت قبل از نصب (DG) گردد [۲] و [۳].

جدول ۱ نشان‌دهنده تحقیقات منتشرشده در سال‌های اخیر در زمینه روش‌های مختلف تعیین مکان و ظرفیت نصب DG در سیستم‌های توزیع است که در آن برای مقایسه، اجزای تابع هدف، روش بهینه‌سازی به کار رفته، مدل بار و نیز مدل DG نشان داده شده است [۴] تا [۲۶]. در شماره ۲۴ جدول، مشخصات روش پیشنهادی این مقاله آمده است.

در مقاله حاضر هدف تعیین مکان بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه

این مقاله در تاریخ ۲۱ تیر ماه ۱۳۹۰ دریافت و در تاریخ ۲ آبان ماه ۱۳۹۱ بازنگری شد.

حسین گودرزی، شرکت مادر تخصصی تولید و توسعه انرژی اتمی ایران، تهران، (email: hs.goodarzi@gmail.com)

محمودرضا حقی فام، بخش مهندسی، دانشکده مهندسی فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، (email: haghifam@modares.ac.ir)

جدول ۱: روش‌های مختلف تعیین مکان و ظرفیت نصب DG در شبکه توزیع.

شماره	نویسنده	تابع هدف	روش حل	مدل بار	مدل DG	سال انتشار
۱	WILLI [۴]	مینیمم کردن تلفات	عددی قانون ۳/۲	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۰۰
۲	Griffin [۵]	مینیمم کردن تلفات	GA	افزایشی	منبع توان ثابت	۲۰۰۰
۳	Teng et al. [۶]	مینیمم کردن تلفات و هزینه مصرف‌کننده	GA	سطح بار متوسط	منبع توان ثابت	۲۰۰۲
۴	Raj [۷]	مینیمم کردن تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ	PSO & LOAD FLOW	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۰۹
۵	Hassan [۸]	ماکسیمم سود DG و مینیمم کردن هزینه‌های تلفات	GA	یکنواخت	PV	۲۰۰۵
۶	KIM [۹]	مینیمم کردن تلفات	GA-FUZZY	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۰۲
۷	Golshan [۱۰]	مینیمم کردن هزینه‌های تلفات توان	تابو	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۰۸
۸	Haghifam [۱۱]	مینیمم کردن هزینه‌های سرمایه‌گذاری	ACO	متغیر با زمان	منبع توان ثابت	۲۰۰۸
۹	Singh [۱۲]	مینیمم کردن هزینه‌ها	GA	وابسته به ولتاژ	منبع توان ثابت	۲۰۰۹
۱۰	Kumar [۱۳]	مینیمم کردن تلفات	روش عددی	وابسته به ولتاژ و فرکانس	منبع توان ثابت	۲۰۰۸
۱۱	Jabr [۱۴]	مینیمم کردن تلفات و ماکسیمم کردن ظرفیت DG	روش عددی	یکنواخت	CHP	۲۰۰۹
۱۲	Glokar [۱۵]	مینیمم کردن تلفات	GA	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۰۹
۱۳	Hawary [۱۶]	مینیمم کردن تلفات	زنبر عسل	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۰۹
۱۴	Haghifam [۱۷]	مینیمم کردن تلفات و هزینه	FUZZY-GA	عدم قطعیت و متغیر با زمان	منبع توان ثابت	۲۰۰۸
۱۵	Moeini [۱۸]	مینیمم کردن هزینه	GA توسعه یافته	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۱۰
۱۶	Hung [۱۹]	مینیمم کردن تلفات	روش عددی	یکنواخت	منبع توان متغیر	۲۰۱۰
۱۷	Mouti [۲۰]	مینیمم کردن تلفات	مورچگان	یکنواخت	منبع توان متغیر	۲۰۱۰
۱۸	Ameli [۲۱]	مینیمم کردن تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ	FUZZY	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۱۰
۱۹	Arief [۲۲]	مینیمم کردن تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ	پخش بار	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۱۰
۲۰	Akorede [۲۳]	مینیمم کردن هزینه سرمایه‌گذاری	GA-FUZZY	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۱۱
۲۱	Weiwei [۲۴]	مینیمم کردن هزینه	GA	متغیر با زمان	منبع توان ثابت	۲۰۱۱
۲۲	Yousefia [۲۵]	بهبود شاخص قابلیت اطمینان	مونت کارلو	یکنواخت	منبع توان ثابت	۲۰۱۱
۲۳	Khalesi [۲۶]	مینیمم کردن تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ و قابلیت اطمینان	برنامه‌ریزی دینامیکی	متغیر با زمان	منبع توان ثابت	۲۰۱۱
۲۴	روش ارائه شده در این مقاله	مینیمم کردن تلفات و بهبود شاخص پروفایل و پایداری ولتاژ	PSO-FUZZY	عدم قطعیت و متغیر با زمان	منبع توان ثابت	-

تغذیه شده در گره ۲،  $Q_r$  مجموع توان راکتیو بار تغذیه شده در گره ۲ و  $R_i$  و  $X_i$  به ترتیب مقاومت و راکتانس شاخه ۱ است.

با توجه به (۴)، (۵)، (۶) حاصل شده است

$$SI(n_r) = |V_r|^2 - \varphi(P_r R_i + Q_r X_i) |V_r| - \varphi(P_r R_i + Q_r X_i) \quad (۶)$$

که SI شاخص پایداری ولتاژ در گره ۲ می‌باشد. برای عملکرد پایدار شبکه توزیع باید  $SI(n_r) > 0$ ،  $n_r = ۲, ۳, \dots, N_n$  باشد.

گره‌های دارای کمترین شاخص پایداری ولتاژ، در صورت بروز خطا و یا عدم تعادل تقاضا و تولید، مستعد ناپایداری شدن شبکه است. از این رو، از این شاخص برای شناسایی باس‌های ضعیف در شبکه استفاده شده است

$$f_r' = \min(SI(n_i)) \quad , \quad i = ۲, ۳, \dots, N_n \quad (۷)$$

$$f_r = \frac{1}{f_r'} \quad (۸)$$

چون سه تابع هدف دارای یک واحد نیستند، به صورت زیر نرمالیزه می‌شوند

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & , f_i \leq f_i^{\min} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & , f_i^{\min} \leq f_i \leq f_i^{\max} \\ 0 & , f_i^{\max} \leq f_i \end{cases} \quad (۹)$$

،  $i = ۱, ۲, ۳$

$f_r$  مربوط به شاخص انحراف ولتاژ می‌باشد که به صورت زیر معرفی شده است

$$f_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_n} (V_i - V_{rated})^2}{N_n}} \quad (۳)$$

که  $V_{rated}$  مربوط به ولتاژ نامی باس بوده که برابر یک پرونیت فرض شده است.  $V_i$  بیانگر ولتاژ باس  $i$ ام بوده و  $N_n$  تعداد باس‌های شبکه است.

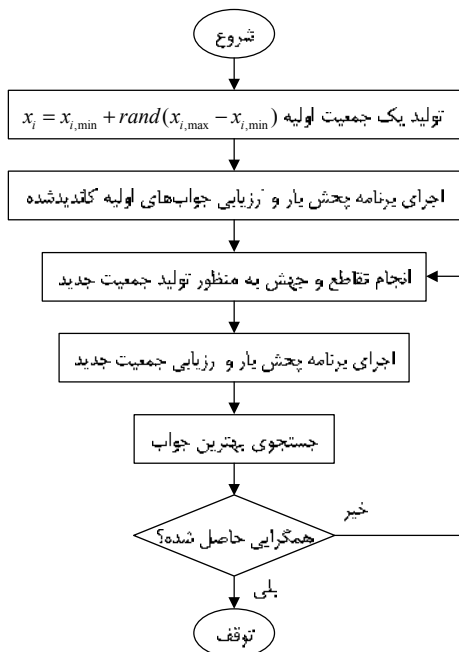
تابع  $f_r$  مربوط به شاخص پایداری ولتاژ در سیستم‌های توزیع است. این شاخص توسط M. Charkravorty و همکارانش برای ارزیابی تمام گره‌های شبکه توزیع ارائه گردیده است و معادلات لازم برای ارزیابی این شاخص توسط اطلاعات حاصل از پخش بار به دست می‌آید.

در شکل ۲ سیستم ساده دوباسه نمایش داده شده که بر اساس آن، (۴) و (۵) استخراج شده است

$$I_i = \frac{V_1 - V_i}{R_i + jX_i} \quad (۴)$$

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (۵)$$

که در این روابط  $n_i$  گره فرستنده،  $n_r$  گره دریافت‌کننده،  $I_i$  جریان شاخه ۱،  $V_1$  و  $V_r$  به ترتیب ولتاژ گره ۱ و ۲،  $P_r$  مجموع توان حقیقی بار



شکل ۴: الگوریتم تعیین اندازه و ظرفیت نصب DG.

### ۲-۳ مدل سازی عدم قطعیت بار

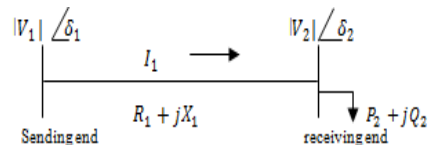
#### ۲-۳-۱ مدل فازی نقاط بار

با توجه به تعداد زیاد نقاط بار در سیستم‌های توزیع، نصب تجهیزات اندازه‌گیری در تمامی این نقاط از دیدگاه اقتصادی مقرون به صرفه نیست، از این رو معمولاً میزان بار در نقاط مصرف با به کارگیری روش‌های تخمین بار تعیین می‌شود که همواره با عدم قطعیت همراه است. از سوی دیگر با توجه به همین نقص اطلاعاتی، پیش‌بینی مصرف آبی سیستم نیز به طور دقیق میسر نبوده و با عدم قطعیت توأم می‌باشد. یکی از روش‌های سنتی در مدل‌سازی عدم قطعیت در مطالعات، استفاده از تئوری احتمالات است هر چند به علت فقدان سابقه اطلاعاتی، بسیاری از عدم قطعیت‌ها را نمی‌توان استفاده از این تئوری به صورت کارآمد مدل نمود. در سال‌های اخیر تئوری مجموعه‌های فازی در مسئله‌سازی ریاضی عدم قطعیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از خواص مهم تئوری فازی، سهولت در انجام محاسبات در مقایسه با روش‌های احتمالی است که کاربرد عملی این تئوری را جذاب و گسترده ساخته است.

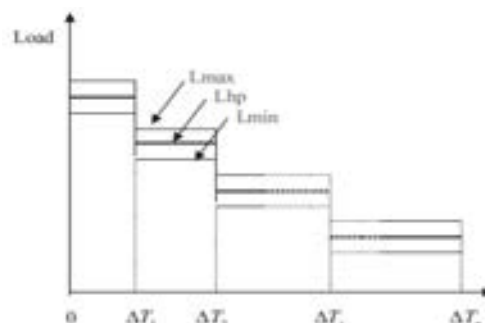
در این مقاله عدم قطعیت در بار سیستم توزیع با استفاده از اعداد فازی مدل‌سازی شده است. توان مصرفی در هر یک از نقاط بار به صورت یک عدد فازی مثلثی مانند شکل ۵ توصیف گردیده است. هر عدد فازی مثلثی دارای سه پارامتر  $(P_L, P_M, P_R)$  است و نشان می‌دهد که میزان بار مورد انتظار حوالی  $P_M$  بوده ولی از  $P_L$  کمتر و از  $P_R$  بیشتر نخواهد بود. اگر توان تخمین زده شده در یک نقطه بار برابر  $P_0$  با حداکثر خطای  $e_r, e_l$  باشد، پارامترهای عدد فازی متناظر با آن نقطه بار را می‌توان با استفاده از (۱۱) به دست آورد

$$\begin{cases} P_L = P_0(1 - e_l) \\ P_M = P_0 \\ P_R = P_0(1 + e_r) \end{cases} \quad (11)$$

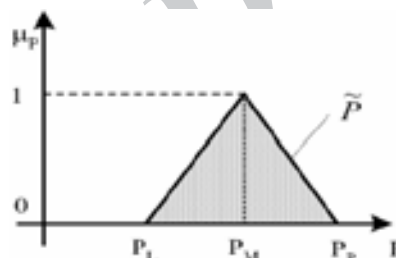
بنابراین تابع عضویت مثلثی بار را می‌توان به صورت تابع ریاضی مانند (۱۲) تعریف نمود [۱۷]



شکل ۲: شاخه‌ای از شبکه توزیع.



شکل ۳: نمایش منحنی LDC و بار فازی.



شکل ۵: نمایش گرافیکی بار به صورت یک عدد فازی مثلثی.

که  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  به ترتیب توابع فازی سه تابع هدف  $f_1, f_2, f_3$  و  $f_i^{min}$  و  $f_i^{max}$  به ترتیب کران پایین و بالا برای هر یک از توابع هدف هستند.

با توجه به شکل ۳ در صورتی که مطالعات برای ۶ ماه در نظر گرفته شده باشد، (۲) ماه در بازه متوسط و ۳ ماه در بازه حداقل و یک ماه در بازه حداکثر) هر یک از توابع هدفها مطابق با (۱۰) محاسبه شده است

$$f_i^{tot} = \frac{2f_i^{average} + 3f_i^{offpeak} + f_i^{peak}}{6} \quad (10)$$

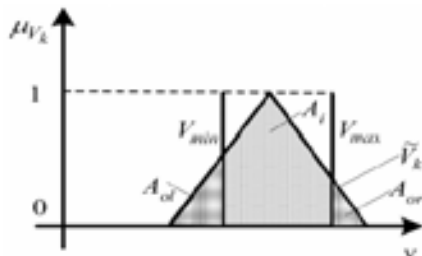
که  $f_i^{average}$  مقدار هر یک از توابع هدف در بازه متوسط،  $f_i^{offpeak}$  مقدار هر یک از توابع هدف در بازه حداقل،  $f_i^{peak}$  مقدار هر یک از توابع هدف در بازه حداکثر و  $f_i^{tot}$  مقدار هر یک از توابع هدف در بازه ۶ ماه (کل) است.

### ۲-۲ بهینه‌سازی با اهداف چندگانه به منظور مکان‌یابی

#### منابع تولید پراکنده به روش PSO

مانند سایر الگوریتم‌های تکاملی، روش PSO جستجو را توسط جمعیتی از ذرات مستقل انجام می‌دهد. هر ذره نشان‌دهنده یک جواب کاندید شده برای مسئله می‌باشد.

در روش PSO ذرات موقعیت خود را به وسیله حرکت در فضای جستجوی چندبعدی تغییر می‌دهند تا زمانی که موقعیت آنها نسبتاً بدون تغییر باقی بماند یا به محدودیت محاسباتی نرسد (شکل ۴). برخلاف روش ژنتیک و دیگر الگوریتم‌های تکاملی، روش PSO دارای یک انعطاف‌پذیری برای برقراری تعادل بین جواب‌های محلی و جواب‌های اصلی مسئله در شناسایی فضای جستجو است. این ویژگی منحصر به فرد PSO مانع از همگرایی نابهنگام شده و توانایی جستجو را افزایش می‌دهد.



شکل ۷: نمایش گرافیکی ولتاژ یک گره به صورت عدد فازی مثلثی.

می‌شود. در این مقاله از پخش بار مبتنی بر روش جاروب رفت و برگشت استفاده شده است، با توجه به این که در این مطالعه اطلاعات بار در نقاط مصرف به صورت اعداد فازی مثلثی می‌باشند. در طی انجام محاسبات، متغیرها در قالب اعداد فازی با پارامترهای حقیقی یا موهومی بوده و عملگرهای ریاضی به صورت فازی روی آنها اجرا می‌شوند.

### ۲-۴-۱ پخش بار فازی شبکه توزیع

به طور کلی مراحل انجام محاسبات پخش بار فازی با حضور واحدهای DG به صورت زیر می‌باشد و کلیه متغیرهای فازی در روابط ریاضی با علامت (~) مشخص شده‌اند. در شکل ۶ فلوجارت پخش بار فازی پیشنهادی نشان داده شده است که در آن NN تعداد گره‌های شبکه،  $\tilde{P}_{Li}$  و  $\tilde{Q}_{Li}$  به ترتیب توان اکتیو و راکتیو فازی در گره  $i$ ،  $P_{DGi}$  و  $Q_{DGi}$  به ترتیب توان راکتیو و راکتیو تولیدی DG در گره  $i$ ،  $\tilde{I}_{j,k}$  جریان عبوری از سکشن  $(j,k)$ ، SL مجموعه سکشن‌های متصل به گره  $(i,j)$  متصلند و  $Z_{ij}$  امپدانس سکشن  $(i,j)$  که بین دو گره  $i$  و  $j$  است.

با توجه به این که بهره‌برداری از واحدهای DG در حالت تنظیم ولتاژ موجب ایجاد تداخل در عملکرد دیگر ادوات کنترل ولتاژ شبکه شده و افزایش جریان تحریک و ایجاد تنش‌های حرارتی در ژنراتورها را به دنبال دارد، اغلب واحدهای DG در حالت کنترل ضریب قدرت بهره‌برداری می‌شوند. از این رو در مطالعات این مقاله منابع تولید پراکنده به صورت باس PQ با ضریب قدرت ثابت در محاسبات پخش بار مدل‌سازی شده‌اند.

### ۲-۴-۲ مدل‌سازی قیود افت ولتاژ و بارگذاری تجهیزات

با مدل‌سازی بار به صورت اعداد فازی، کل مدل شبکه به حوزه فازی منتقل می‌گردد و از این رو بارگذاری تجهیزات و ولتاژ گره‌ها نیز اعداد فازی خواهند بود. در شکل ۷ ولتاژ در گره  $k$  به صورت یک عدد فازی مثلثی  $\tilde{V}_k$  نمایش داده شده است. در این شکل حدود مجاز بالا و پایین ولتاژ نیز به ترتیب به صورت اعداد قطعی  $V_{min}$  و  $V_{max}$  نشان داده شده‌اند [۱۷].

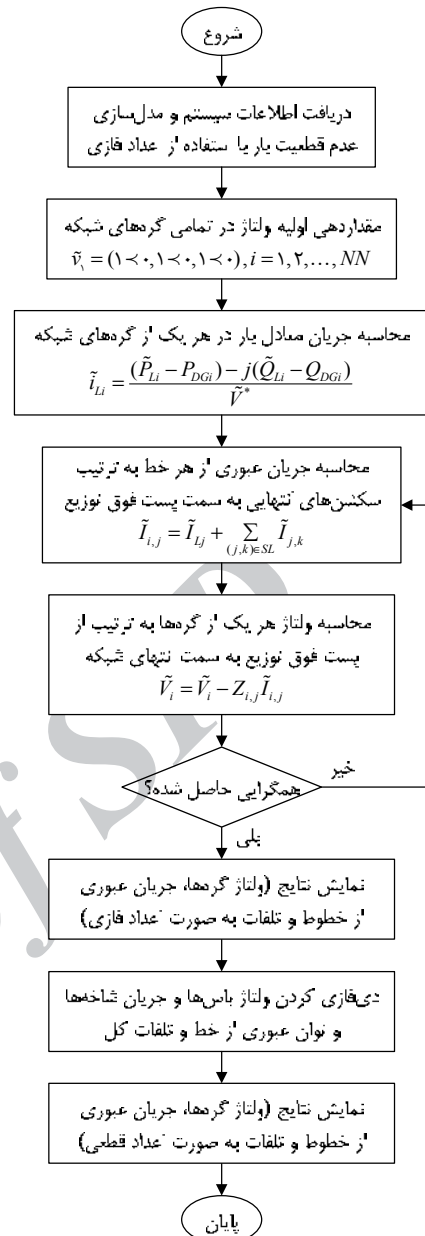
قید ولتاژ در حوزه فازی به صورت زیر تعریف می‌شود

$$V_{min} \leq \tilde{V}_k \leq V_{max} \quad (13)$$

رابطه (۱۳) فازی است و یک پاسخ قطعی مشخص با رعایت یا عدم رعایت آن وجود ندارد، اما می‌توان عدم رعایت این محدودیت را با یک درجه امکان‌پذیری به صورت زیر تعیین نمود

$$S_{V_k} = \frac{A_{ol} + A_{or}}{A_i + A_{ol} + A_{or}} \times 100 [\%] \quad (14)$$

که در آن  $A_i$  مساحت زیر تابع عضویت ولتاژ در بازه بین حدود بالا و پایین ولتاژ است.  $A_{ol}$  و  $A_{or}$  نیز به ترتیب مساحت‌های زیر تابع عضویت ولتاژ کمتر از  $V_{min}$  و بیشتر از  $V_{max}$  هستند. اساساً قید فازی به این مفهوم است که با درجه امکان‌پذیری  $S_{V_k}$  قید ولتاژ در گره  $k$  نقض



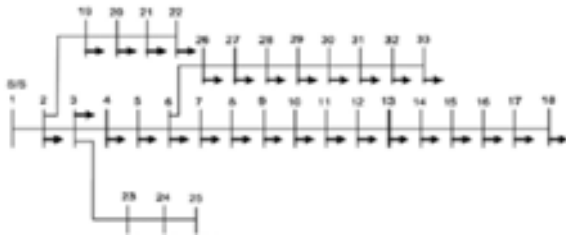
شکل ۶: نمایش فلوجارت پخش بار پیشنهادی.

$$\alpha_p = \begin{cases} \cdot & , P \leq P_L \text{ or } P \geq P_R \\ \frac{P - P_L}{P_M - P_L} & , P_L \leq P \leq P_M \\ \frac{P_R - P}{P_R - P_M} & , P_M \leq P \leq P_R \end{cases} \quad (12)$$

با توجه به قابلیت بالای اعداد فازی مثلثی در توصیف بارهای غیر قطعی، این روش در بسیاری از مسایل مرتبط با سیستم‌های توزیع مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۲-۴-۳ پخش بار فازی سیستم‌های توزیع

بخشی از حجم محاسبات جابجایی واحدهای DG به پخش بار شبکه مربوط می‌شود. در سیستم‌های توزیع با توجه به ساختار شعاعی و مقادیر مقاومت و راکتانس خطوط، به کارگیری روش‌های مرسوم پخش بار همچون نیوتن-رافسن به راحتی ممکن نیست. از این رو معمولاً از روش‌های حل مستقیم برای حل معادلات پخش بار این سیستم‌ها استفاده



شکل ۱۰: شبکه ۳۳ باس مورد مطالعه.

معین و نهایتاً استفاده در تابع هدف پیشنهاد می‌شود. مقادیر فازی پس از تبدیل شدن به مقادیر معین اجزای مختلف تابع هدف مرتبط با هر swarm را تشکیل داده و نهایتاً برای تشکیل نسل بعد توابع هدف مربوط به هر swarm با یکدیگر مقایسه می‌گردند. یعنی مقایسه مقادیر در حالت معین صورت گرفته است که البته می‌توان قبل از تبدیل این مقادیر به مدل معین، تابع هدف را به صورت فازی تشکیل داده و نهایتاً با استفاده از تابع رتبه‌بندی Removal مقایسه بین توابع هدف فازی را صورت داد.

### ۳- مطالعات عددی

در این بخش، بهینه‌سازی PSO بر روی شبکه ۳۳ باسه، با هدف مینیمم کردن تلفات و بهبود پروفایل و شاخص پایداری ولتاژ روی نوع اول DG (نوع تولید توان اکتیو) انجام شده است. در شکل ۱۰، شبکه ۳۳ باس مورد مطالعه نمایش داده شده است. نتایج در ۵ سناریو ارائه شده است.

#### ۳-۱- تعیین پارامترهای الگوریتم PSO

تعداد جمعیت در PSO برابر با ۱۰۰ انتخاب شده است. تعداد تکرارها نیز ۳۰ فرض شده است. تغییرات تابع وزن مطابق با (۱۸) محاسبه شده است [۲۷]

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{iter_{\max}} \times iter_i \quad (18)$$

که در آن  $\omega_{\max}$  و  $\omega_{\min}$  به ترتیب ۰/۹ و ۰/۴ می‌باشند.  $iter_{\max}$  نیز ۳۰ و  $iter_i$  اندیس تکرار جاری برنامه می‌باشد.

#### ۳-۲- نتایج مطالعات عددی

##### ۳-۲-۱- مقدمه

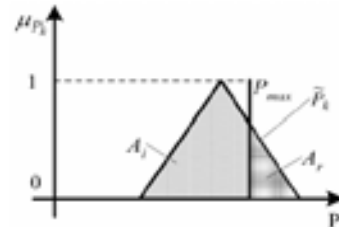
این قسمت شامل ۵ سناریو می‌باشد که در (۱۱)  $e_1 = 0.15$  و  $e_2 = 0.1$  فرض شده است.

##### ۳-۲-۲- سناریوی ۱

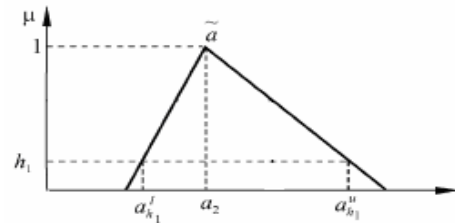
هدف از این شبیه‌سازی، جایابی سه دستگاه منبع تولید پراکنده با ظرفیت‌های مختلف است که نتایج حاصل از حالت‌های مختلف (حالت‌های ۱ تا ۵) در جدول ۲ نشان داده شده است. ظرفیت منابع تولید پراکنده در حالت ۱ تا ۵، بین ۰/۴ و ۰/۸۵ مگاوات در نظر گرفته شده است. با توجه به جدول ۲، آمده به عنوان مثال در حالت ۱، ظرفیت DGها برابر ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷ تعیین شده که به ترتیب روی باس‌های شماره ۸، ۱۵ و ۳۱ قرار گرفته است.

با توجه به اطلاعات مربوط به بار سیستم ۳۳ باسه، نتیجه حاصل از مقایسه حالت‌های ۱ تا ۵ بیان‌کننده بیشترین بار اکتیو در شاخه‌ای است که بین باس شماره ۶ و ۱۸ قرار گرفته است، بنابراین دو DG از سه DG روی این شاخه قرار می‌گیرد.

همچنین در همین شاخه باس شماره ۸ و ۱۱ نسبت به سایر باس‌های این شاخه دارای بیشترین بار اکتیو است، بنابراین یکی از دو



شکل ۸: نمایش گرافیکی بارگذاری خطوط به صورت عدد فازی مثلثی [۱۷].



شکل ۹: نمایش متغیر فازی.

خواهد شد. همان گونه که ملاحظه می‌شود با تغییر در پارامترهای عمده فازی  $\bar{V}_k$  نسبت میان مساحت‌های  $(A_i + A_{ol} + A_{or})$ ،  $(A_i + A_{ol} + A_{or})$  تغییر کرده و در نتیجه درجه امکان‌پذیری مذکور نیز تغییر خواهد کرد. پس از اجرای پخش بار فازی برای یک حالت خاص در سیستم، توان عبوری از خطوط شبکه به صورت عدد فازی به دست می‌آیند. در شکل ۸ این توان عبوری به همراه حد مجاز بارگذاری ( $P_{\max}$ ) که یک عدد قطعی است برای یک خط  $k$  نمایش داده شده است.

قید بارگذاری در حوزه فازی به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\bar{P} \leq P_{\max} \quad (15)$$

همانند آنچه که برای قید ولتاژ مطرح شد، عدم رعایت محدودیت بارگذاری را نیز می‌توان با یک درجه امکان‌پذیری به صورت زیر تعیین نمود

$$S_{P_k} = \frac{A_r}{A_l + A_r} \times 100 [\%] \quad (16)$$

که در آن  $A_l$  و  $A_r$  به ترتیب مساحت‌های زیر تابع عضویت توان عبوری در سمت راست و چپ حد بارگذاری  $P_{\max}$  هستند.

به طور کلی هر چه قدر مقادیر  $S_{P_k}$  و  $S_{V_k}$  بیشتر باشد، ریسک عبور ولتاژ از حدود مجاز در گره  $k$  و وقوع اضافه بار در تجهیزات، بیشتر خواهد بود. با احداث DG و بهره‌برداری از آن، میزان بارگذاری تجهیزات و ولتاژ گره‌های شبکه تغییر خواهد کرد.

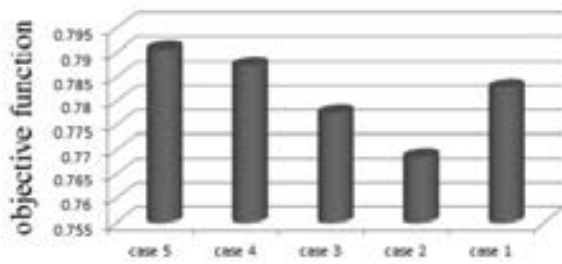
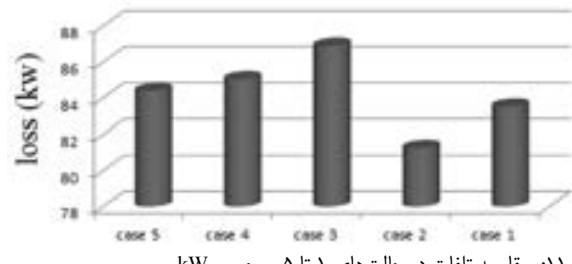
#### ۲-۵- دی فازی کردن اعداد فازی

با توجه به این که بار درخواستی شبکه به صورت فازی مثلثی مدل‌سازی شده است، بنابراین با اجرای برنامه پخش بار فازی، نتایجی مانند توان اکتیو و راکتیو عبوری از خطوط، ولتاژ شین‌ها و تلفات توان اکتیو و راکتیو نیز به صورت فازی مثلثی محاسبه شده است. برای به دست آوردن مقدار تابع هدف لازم است این مقادیر ابتدا از حالت فازی به حالت معین تبدیل شوند. تابع رتبه‌بندی Removal، برای تبدیل مقادیر فازی به مقادیر معین به کار می‌رود. برای مثال در شکل ۹، Removal مقدار فازی  $\bar{a}$  برای  $\alpha_{cut} = h_1$  به صورت زیر تعریف شده است

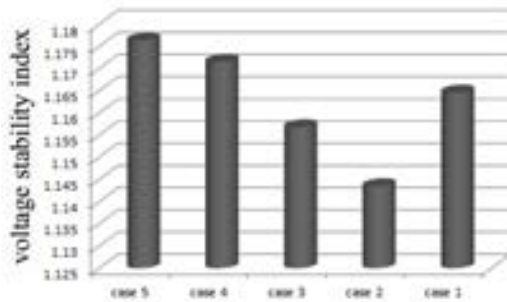
$$R_{h_1} = \frac{a_{h_1}^l + 2a_r + a_{h_1}^u}{4} \quad (17)$$

هر چند در مراجع تابع رتبه‌بندی، برای مقایسه دو مقدار فازی پیشنهاد شده است ولی در این مقاله این تابع جهت تبدیل متغیر فازی به متغیر

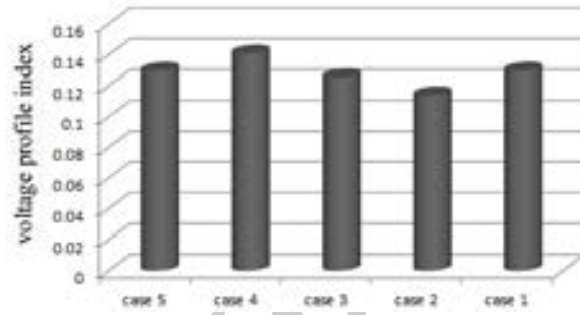


شکل ۱۳: مقایسه تابع هدف  $f$  در حالت‌های ۱ تا ۵.

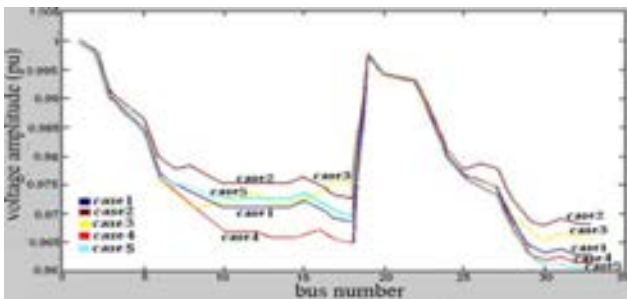
شکل ۱۱: مقایسه تلفات در حالت‌های ۱ تا ۵ بر حسب kW.



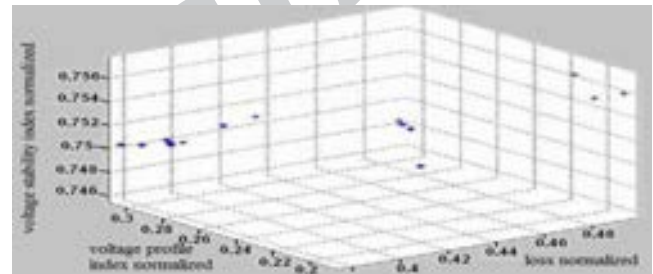
شکل ۱۴: مقایسه شاخص پایداری ولتاژ در حالت‌های ۱ تا ۵.



شکل ۱۲: مقایسه شاخص پروفایل ولتاژ در حالت‌های ۱ تا ۵.



شکل ۱۶: مقایسه پروفایل ولتاژ با اضافه کردن DGهای مختلف (در حالت‌های ۱ تا ۵).



شکل ۱۵: فضای بهینه‌سازی برای مکان‌یابی منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن تابع هدف با روش PSO.

جدول ۲: مقایسه تابع هدف و مکان نصب DG در حالت‌های ۱ تا ۵.

	Case ۱	Case ۲	Case ۳	Case ۴	Case ۵
ظرفیت DG (Mw)	۰.۷, ۶.۵	۸.۶, ۶.۶	۸۵.۵, ۰.۴	۰.۷, ۵.۵	۶.۶, ۶.۶
شماره bus	۳۱, ۱۵۸	۳۱, ۸, ۱۵	۳۱, ۱۶, ۱۱	۳۱, ۸, ۱۶	۷, ۱۶, ۳۱
P <sub>Loss</sub> (KW) تلفات	۸۳, ۵	۸۱, ۲۵۶۳	۸۶, ۸۹۸	۸۵, ۰۲۷۵	۸۴, ۳۷۱۹
شاخص پروفایل ولتاژ	۰, ۱۲۹	۰, ۱۱۳۹	۰, ۱۲۵۳	۰, ۱۴۰۷	۰, ۱۲۹۵
شاخص پایداری ولتاژ	۱, ۱۶۴۶	۱, ۱۴۳۵	۱, ۱۵۸۸	۱, ۱۷۱۵	۱, ۱۷۶۳
F (کل)	۰, ۷۸۲۸	۰, ۷۶۶۶	۰, ۷۷۷۵	۰, ۷۸۷۴	۰, ۷۹۰۶

داده شده (همان طور که پیش از این اشاره شد) و مشاهده می‌شود که شاخص پروفایل ولتاژ در حالت دوم نسبت به سایر حالات بهبود بیشتری یافته است.

### ۳-۲-۳ سناریوی ۲

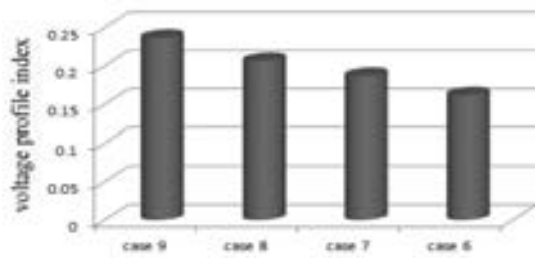
هدف از این شبیه‌سازی، جایابی سه دستگاه منابع تولید پراکنده با ظرفیت‌های کمتر نسبت به سناریوی ۱ می‌باشد که نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. ظرفیت منابع تولید پراکنده در حالات ۶ تا ۹ بین ۰,۲ تا ۰,۵ مگاوات در نظر گرفته شده است. در هر حالت ظرفیت ۳ دستگاه DG با هم برابر است.

طبق جدول ۳ مشاهده می‌شود که ظرفیت توان تولیدی توسط DGهای نصب‌شده به علت کم‌بودن نسبت به سناریوی ۱، توسط بارهای نزدیک مکان نصب‌شده مصرف می‌شود و توانی در خط برای تغذیه بار روی باس‌های دورتر باقی نمی‌ماند. در این سناریو به علت آن

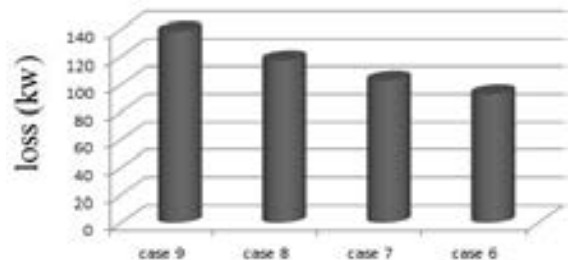
نصب‌شده در این شاخه باید در نزدیکی این دو باس باشد. DG نصب‌شده دیگر روی باس شماره ۱۵ یا ۱۶ این شاخه و DG سوم روی باس شماره ۳۱ قرار گرفته است.

با قرارگیری DGها در باس‌های ذکرشده، تلفات ( $f_1$ ) کاهش پیدا کرده و شاخص پروفایل ( $f_2$ ) و پایداری ولتاژ ( $f_3$ ) بهبود یافته است. بهترین حالت از بین حالات بررسی‌شده، حالت ۲ با ظرفیت ۰,۸ و ۰,۶ و ۰,۶ مگاوات است که به ترتیب روی باس‌های شماره ۳۱، ۸ و ۱۵ قرار می‌گیرد، زیرا دارای تلفات کمتر، شاخص پروفایل و پایداری ولتاژ بیشتر نسبت به سایر حالات است. در نمودارهای شکل ۱۱ تا ۱۴ مقایسه نتایج این جدول نشان داده شده است.

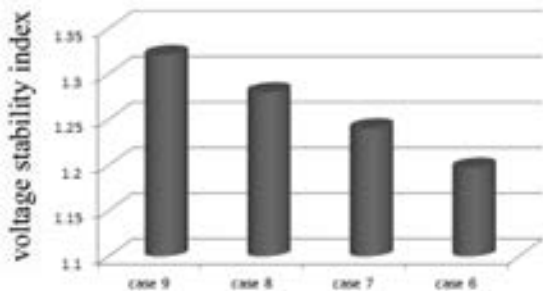
در شکل ۱۵ فضای بهینه‌سازی برای مکان‌یابی منابع تولید پراکنده در نظر گرفتن تابع هدف با روش PSO نشان داده شده است که شامل سه محور تلفات، شاخص پروفایل و پایداری ولتاژ است. همچنین در شکل ۱۶، ولتاژ روی باس‌های ۱ تا ۳۳ با حضور DG برای حالات ۱ تا ۵ نشان



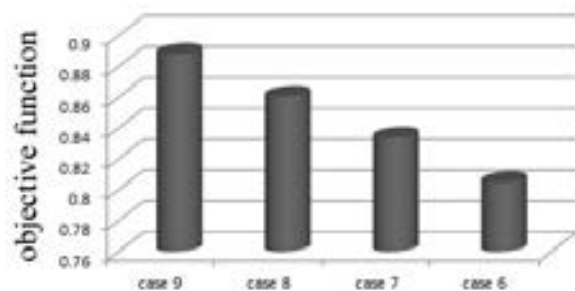
شکل ۱۹: مقایسه شاخص پروفایل ولتاژ در حالت‌های ۶ تا ۹.



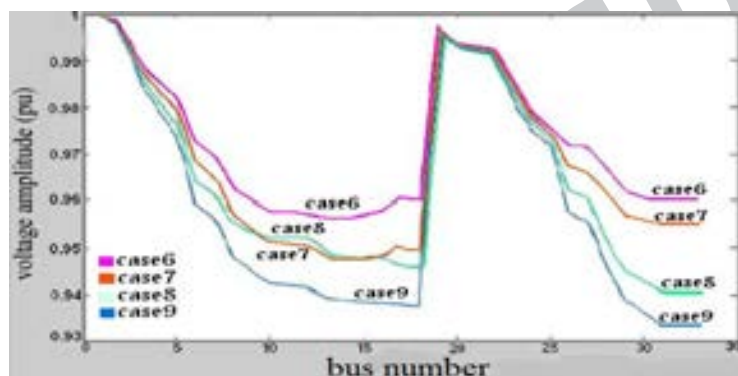
شکل ۱۷: مقایسه تلفات در حالت‌های ۶ تا ۹ بر حسب kW.



شکل ۲۰: مقایسه شاخص پایداری ولتاژ در حالت‌های ۶ تا ۹.



شکل ۱۸: مقایسه تابع هدف در حالت‌های ۶ تا ۹.



شکل ۲۱: مقایسه پروفایل ولتاژ با اضافه کردن DGهای مختلف (در حالت‌های ۶ تا ۹).

جدول ۳: مقایسه تابع هدف و مکان نصب DG در حالت‌های ۶ تا ۹.

	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
ظرفیت DG (Mw)	.۵, .۵, .۵	.۴, .۴, .۴	.۳, .۳, .۳	.۲, .۲, .۲
شماره bus	۲۸, ۱۷, ۳۲	۳۲, ۱۷, ۳۰	۱۲, ۱۶, ۳۲	۳۳, ۱۴, ۱۷
P <sub>Loss</sub> (KW)	۹۲,۹۶۳۵	۱۰۳,۰۶۰۶	۱۱۷,۲۶۰۲	۱۳۸,۴۷۴۵
شاخص پروفایل ولتاژ	۰,۱۶۱۴	۰,۱۸۶۷	۰,۲۰۶۲	۰,۲۳۶۵
شاخص پایداری ولتاژ	۱,۱۹۷۷	۱,۲۴۰۸	۱,۲۸۰۳	۱,۳۳۱۳
F (کل)	۰,۸۰۴۹	۰,۸۳۳۸	۰,۸۶۰۵	۰,۸۸۸

در حالت ۱۱، ۱۲ و ۱۳ به ترتیب ۱، ۲ و ۳ دستگاه DG وارد شبکه کرده و جایابی شده است. ظرفیت هر دستگاه DG در هر حالت ۰/۶ مگاوات در نظر گرفته شده که نتایج در جدول ۴ آمده است. با توجه به آنچه که در شکل‌های ۲۲ تا ۲۴ نمایش داده شده، مشاهده می‌شود که در حالت ۱۳ که دارای بیشترین تعداد DG است، تلفات کاهش و شاخص پروفایل و پایداری ولتاژ بیشترین بهبود را یافته است.

### ۳-۲-۵ سناریوی ۴

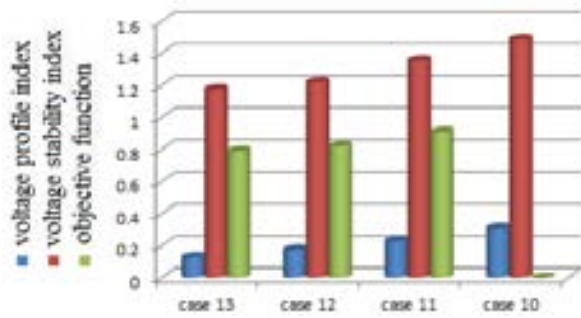
هدف از این شبیه‌سازی، جایابی سه دستگاه منابع تولید پراکنده یک بار در نظر گرفتن قطعیت بار (حالت ۱۴) و بار دیگر با در نظر گرفتن عدم قطعیت (حالت ۱۵) می‌باشد. ظرفیت منابع تولید پراکنده در هر حالت و هر دستگاه ۰/۹ مگاوات در نظر گرفته شده که نتایج حاصل در جدول ۵

که DG نصب‌شده در هر باسی می‌تواند قرار گیرد، بنابراین تلفات کل نسبت به سناریوی ۱ کاهش کمتری داشته است. این در حالی است که در سناریوی ۱ به علت ظرفیت‌های بالاتر مقداری از توان تولیدی DG صرف تراکم خطوط شده است و شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ بیانگر مقایسه نتایج این جدول است.

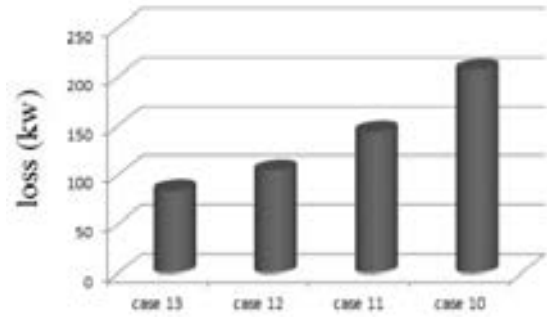
در شکل ۲۱ (که بیانگر مقایسه پروفایل ولتاژ با اضافه کردن DG در حالت‌های ۶ تا ۹ است) مشاهده می‌شود که پروفایل ولتاژ در حالت ۶ نسبت به سایر حالات این سناریو، بهبود بیشتری یافته است.

### ۳-۲-۴ سناریوی ۳

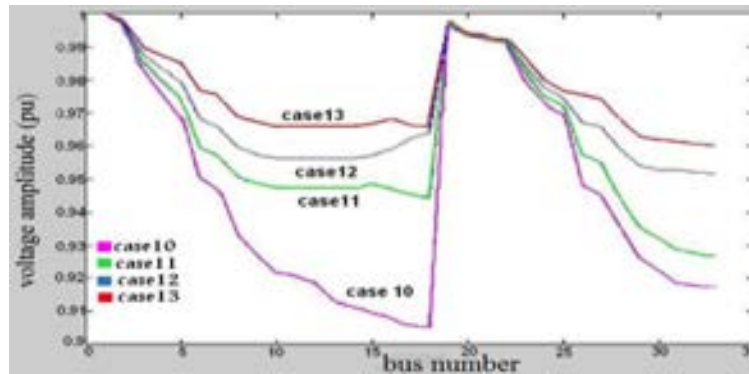
هدف از این شبیه‌سازی، اضافه کردن و جایابی منابع تولید پراکنده می‌باشد بدین صورت که در حالت ۱۰ شبکه را بدون DG فرض کرده و



شکل ۲۳: مقایسه تابع هدف و شاخص پروفایل و پایداری در حالت‌های ۱۰ تا ۱۳.



شکل ۲۲: مقایسه تلفات در حالت‌های ۱۰ تا ۱۳ بر حسب kW.



شکل ۲۴: مقایسه پروفایل ولتاژ با اضافه کردن DGهای مختلف (در حالت‌های ۱۰ تا ۱۳).

جدول ۴: مقایسه تابع هدف و مکان نصب DG در حالت‌های ۱۰ تا ۱۳.

	Case ۱۰	Case ۱۱	Case ۱۲	Case ۱۳
ظرفیت DG (Mw)	۰,۰	۰,۶,۰	۰,۶,۰,۶,۰	۰,۶,۰,۶,۰,۶
شماره bus	-	۱۴	۳۱,۱۸	۷,۱۶,۳۱
P <sub>Loss</sub> (KW) تلفات	۲۰۷,۴۰۹۱	۱۴۴,۱۹۸۱	۱۰۵,۲۹۳۵	۸۴,۳۷۱۹
شاخص پروفایل ولتاژ	۰,۳۰۹۷	۰,۲۲۸۸	۰,۱۷۵۵	۰,۱۲۹۵
شاخص پایداری ولتاژ	۱,۴۸۸۲	۱,۳۵۵۲	۱,۲۱۹۸	۱,۱۷۶۳
F (کل)	-	۰,۹۱۰۸	۰,۸۲	۰,۷۹۰۶

جدول ۵: نمایش توابع هدف در حالت ۵.

Case ۵	تلفات (kW)	شاخص پروفایل ولتاژ	شاخص پایداری ولتاژ
$f_1$	۸۳,۷۲۷	۰,۱۴۳۸	۱,۱۷۹۶
$f_2$	۱۰۷,۸۱۸۱	۰,۱۰۳۲	۱,۱۷۹۵
$f_3$	۸۵,۵۹۶۸	۰,۱۳۵۷	۱,۱۵۸۰
$f_4, f_5$	۸۵,۰۶۵۸	۰,۱۲۷۸	۱,۱۷۷۲
$f_6, f_7$	۸۵,۵۹۶۸	۰,۱۳۵۸	۱,۱۵۸۰
$f_8, f_9$	۸۶,۴۵۷۰	۰,۱۳۵۲	۱,۱۵۸۱
$f_{tot}$	۸۴,۳۷۱۹	۰,۱۲۹۵	۱,۱۷۶۳

جدول ۵: مقایسه تابع هدف و مکان نصب DG در حالت‌های ۱۴ و ۱۵.

	Case ۱۴	Case ۱۵
ظرفیت DG (Mw)	۰,۹,۰,۹,۰,۹	۰,۹,۰,۹,۰,۹
شماره bus	۱۳,۱۷,۳۱	۶,۱۵,۳۰
P <sub>Loss</sub> (KW) تلفات	۸۱,۰۵۱۲	۸۳,۱۰۳۷
شاخص پروفایل ولتاژ	۰,۰۷	۰,۰۷۰۹
شاخص پایداری ولتاژ	۱,۰۹۱۷	۱,۱۰۹۲
F (کل)	۰,۷۳۳۸	۰,۷۴۵۵

آمده است.

مکان‌یابی بیشتری است. یعنی در حالت ۱۵ جایابی DG (شماره باس) محدودتر است و در نتیجه تابع هدف در حالت ۱۴ دارای تلفات کمتر و شاخص پروفایل و پایداری ولتاژ بیشتر است.

### ۳-۲-۶ سناریوی ۵

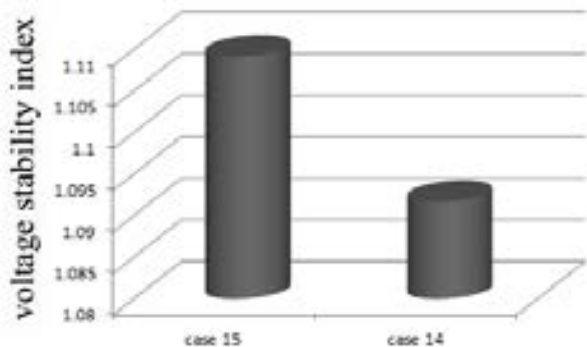
هدف از این قسمت، شبیه‌سازی سه منبع تولید پراکنده مانند حالت ۵ می‌باشد که نتایج حاصل از آن در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. ظرفیت منبع تولید پراکنده هر سه دستگاه ۰,۶ مگاوات در نظر گرفته شده است.

با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌شود که در حالت  $f_1$  تلفات نسبت به بقیه کاهش بیشتری یافته است و در حالت  $f_7$  شاخص پروفایل ولتاژ و در

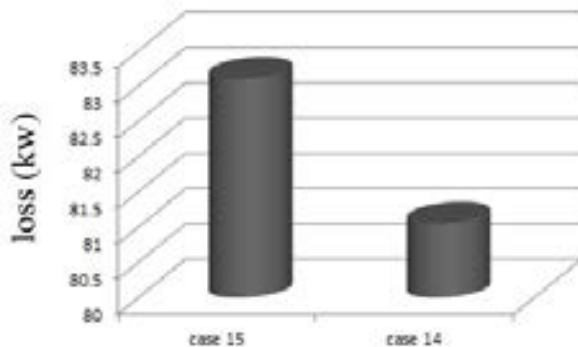
با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که در حالت ۱۴، بار به صورت مقداری قطعی فرض شده است. سه دستگاه DG روی باس‌های شماره ۷، ۱۳ و ۳۱ قرار گرفته شده و دو دستگاه DG روی شاخه‌ای که بین باس شماره ۶ و ۱۸ می‌باشد، قرار دارد و برای این که تابع هدف بهینه شود، DG سوم روی باس شماره ۳۱ قرار گرفته است. در حالت ۱۵ که بار دارای عدم قطعیت است تقریباً مشابه حالت ۱۴ است با این تفاوت که سه دستگاه DG روی باس شماره ۶، ۱۵ و ۳۰ قرار گرفته است.

با توجه به شکل‌های ۲۴ تا ۲۸ و جدول ۵ مشاهده می‌شود در حالت ۱۴، بار مقداری قطعی نسبت به حالت ۱۵ (عدم قطعیت) دارد و عمل بهینه‌سازی به دلیل قیود ولتاژ و توان عبوری از خط، دارای آزادی

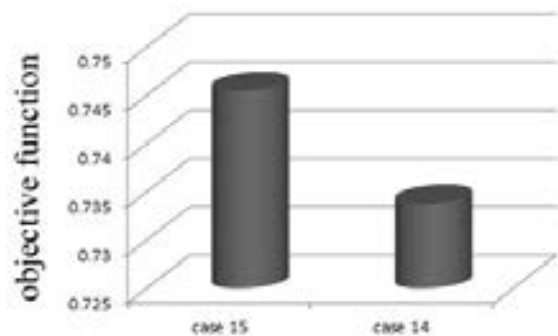




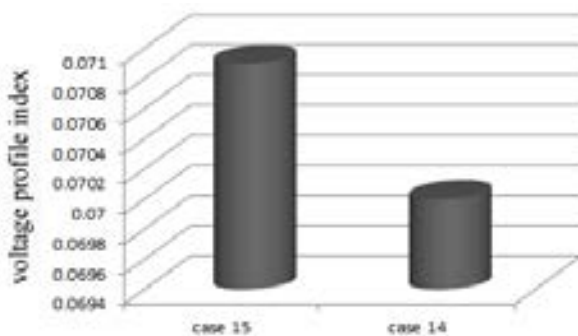
شکل ۲۷: مقایسه شاخص پایداری ولتاژ در حالت‌های ۱۴ و ۱۵.



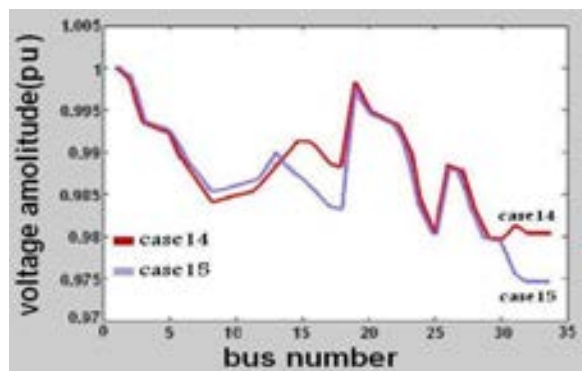
شکل ۲۵: مقایسه تلفات در حالت‌های ۱۴ و ۱۵ بر حسب kW.



شکل ۲۸: مقایسه تابع هدف در حالت‌های ۱۴ و ۱۵.



شکل ۲۶: مقایسه شاخص پروفایل ولتاژ در حالت‌های ۱۴ و ۱۵.



شکل ۲۹: مقایسه پروفایل ولتاژ با اضافه کردن DGهای مختلف (در حالت‌های ۱۴ و ۱۵).

جدول ۷: نمایش مکان نصب DG برای توابع هدف مختلف در حالت ۵.

Case ۵	مکان سه دستگاه DG (شماره باس)
$f_1$	۳۱،۷،۱۴
$f_2$	۱۶،۱۸،۳۲
$f_3$	۳۱،۱۶،۲۸
$f_1, f_2$	۳۲،۸،۱۶
$f_1, f_3$	۳۱،۱۶،۲۸
$f_2, f_3$	۳۲،۱۶،۲۸
$f_{tot}$	۷،۱۶،۳۱

خطا و یا عدم تعادل تقاضا و تولید است، از این رو منابع تولید پراکنده از دید شاخص پایداری روی این باس‌ها قرار می‌گیرد. شکل‌های ۳۰ تا ۳۳ بیانگر مقایسه نتایج این جداول است. با توجه به شکل‌های ۳۱ تا ۳۳ می‌توان دریافت که در حالت ۵ که تابع هدف  $f_{tot}$  است، به طور موازنه هر سه تابع هدف بهینه می‌شود.

#### ۴- نتیجه گیری

نصب و بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع اگر مبتنی بر بهینه‌سازی انجام گیرد، می‌تواند منافع فنی و اقتصادی قابل توجهی را برای شرکت‌های توزیع به همراه داشته باشد. با توجه به فاکتورهای فراوان در مکان‌یابی بهینه واحدهای DG، حل این مسئله با پیچیدگی‌های خاصی توأم گردیده است. از سوی دیگر وجود عدم قطعیت در اطلاعات بار که امری اجتناب‌ناپذیر است، پیچیدگی و حل مسئله را دو چندان ساخته است. در این مقاله تعیین مکان بهینه واحدهای تولید پراکنده تحت مدیریت و مالکیت شرکت توزیع در سیستم توزیع در قالب یک مدل چندهدفه ریاضی به صورت توابع هدف (تلفات، شاخص پروفایل ولتاژ) و پایداری ولتاژ ارائه شده است.

حالت  $f_3$  شاخص پایداری ولتاژ بهبود بیشتری یافته است، سپس تابع هدف به صورت دوجه دو ( $f_1, f_2, f_3$ ) در نظر گرفته شده و برنامه اجرا شده است.

طبق جدول ۷ اگر مسئله را از دید تلفات ( $f_1$ ) حل کنیم مشاهده شده که دو دستگاه از سه DG روی شاخه ۶ تا ۱۸ قرار گرفته زیرا در این شاخه بیشترین بار اکتیو قرار دارد و معمولاً دستگاه‌ها در نزدیکی باسی قرار می‌گیرند که بیشترین بار را داشته باشد.

اگر مسئله را از دید شاخص پروفایل ولتاژ ( $f_2$ ) حل کنیم با توجه به منحنی پروفایل ولتاژ در حالت ۱۰ (حالت بدون DG) از شکل ۲۹ مشاهده شده که افت دامنه ولتاژ در باس‌های شماره ۱۶، ۱۷ و ۱۸ بیشترین مقدار را دارا است لذا دو تا از این باس‌ها کاندید قرار گرفتن دو دستگاه DG است و دستگاه دیگر روی یکی از باس شماره ۳۲ یا ۳۳ قرار گرفته است. زیرا افت ولتاژ در این قسمت هم زیاد بوده معمولاً از دید شاخص پروفایل ولتاژ منابع تولید پراکنده در انتهای هر شاخه قرار می‌گیرد زیرا افت ولتاژ زیاد می‌باشد.

اگر مسئله را از دید شاخص پایداری ولتاژ ( $f_3$ ) حل کنیم با توجه به (۵) مشاهده شده است که شاخص پایداری ولتاژ در باس‌های شماره ۱۶، ۲۸ و ۳۱ دارای کمترین مقدار است و چون گره‌هایی که دارای کمترین شاخص پایداری ولتاژ باشد، مستعد برای ناپایداری شبکه در صورت بروز

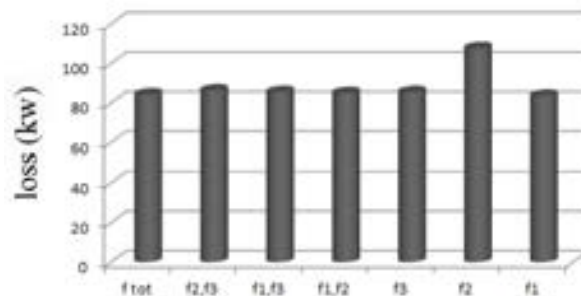
همچنین در این مقاله تأثیر ظرفیت‌های مختلف DG با یکدیگر مقایسه شد و همان گونه که در جداول و نمودارها آمده است، مشاهده شد که ظرفیت‌های سنگین‌تر تا آنجا که قیود حاکم بر شبکه را به هم نزنند، تأثیر بهتری بر روی تابع هدف ارائه شده در مسئله دارد.

## سپاس‌گزاری

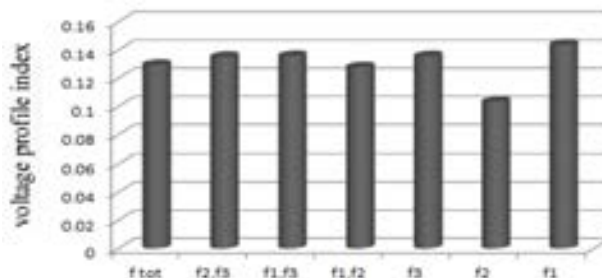
مؤلف اول این مقاله وظیفه خود می‌داند که از جناب آقای دکتر محمد احمدیان و نیز جناب آقایان مهندس سیروس شیرزادی و مهندس پیمان طورافشان به خاطر همراهی و کمک بی دریغ ایشان که نقش بسزایی در بهبود این مقاله ایفاء کرده است سپاس‌گزاری نماید.

## مراجع

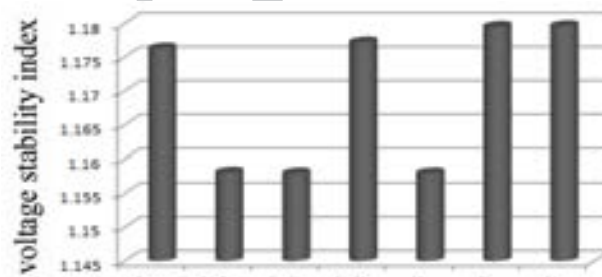
- [1] W. El-Khattam, Y. G. Hegazy, and M. M. A. Salama, "An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 8, pp. 1158-1165, May 2005.
- [2] T. Griffin, K. Tomsovic, D. Secrest, and A. Law, "Placement of dispersed generation systems for reduced losses," in *Proc. of IEEE 33rd Annu. Hawaii Int. Conf. on Systems Sciences*, 9 pp. 4-7 Jan. 2000.
- [3] V. H. Mendez Quezada, J. R. Abbad, and T. G. San Roman, "Assessment of energy distribution losses for increasing penetration of distributed generation," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 533-540, May 2006.
- [4] H. L. Willis, "Analytical methods and rules of thumb for modeling DG-distribution interaction," in *Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, vol. 3, pp. 143-1644, 16-20 Jul. 2000.
- [5] T. Griffin, K. Tomasovic, D. Secrest, and A. Law, "Placement of dispersed generation systems for reduced losses," in *Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int. Conf. on System Sciences*, 9 pp., Jan. 2000.
- [6] J. H. Teng, T. S. Luor, and Y. H. Liu, "Strategic distributed generator placements for service reliability improvements," in *Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting Conf.*, vol. 2, pp. 545-548, Jul. 2002.
- [7] P. Ajay-D-Vimal Raj, S. Senthilkumar, J. Raja, and T. G. Palanivelu, "Optimization of distributed generation capacity for line loss reduction and voltage profile improvement using PSO," *Journal of Electrical Engineering, Elekrika*, vol. 10, no. 2, pp. 41-48, 2008.
- [8] E. Haesen and M. Espinoza, "Optimal placement and sizing of distributed generator units using genetic optimization algorithms," *Electrical Power Quality and Utilization J.*, vol. 11, no. 1, pp. 97-104, 2005.
- [9] K. H. Kim and Y. J. Lee, "Dispersed generator placement using fuzzy-GA in distribution systems," in *Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, vol. 3, pp. 1148-1153, Chicago, IL, US, Jul. 2002.
- [10] M. E. H. Golshan and S. A. Arefifar, "Optimal allocation of distributed generation and reactive sources considering tap positions of voltage regulators as control variables," *European Trans. on Electrical Power*, vol. 17, no. 3, pp. 219-239, May/June 2007.
- [11] H. Falaghi and M. R. Haghifam, "ACO based algorithm for distributed generation sources allocation and sizing in distribution networks," in *Proc. IEEE Power Tech*, pp. 555-560, Jul. 2007.
- [12] D. Singh, D. Singh, and K. S. Verma, "Multiobjective optimization for DG planning with load models," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 24, no. 1, pp. 427-436, Feb. 2009.
- [13] R. Kumar Singh and S. K. Goswami, "Optimal allocation of distributed generation in distribution network with voltage and frequency dependent loads," in *Proc. IEEE Region 10 and the Third Int Conf. on Industrial and Information Systems*, 5 pp., Kharagpur, India, 8-10 Dec. 2008.
- [14] R. A. Jabr and B. C. Pal, "Ordinal optimization approach for locating and sizing of distributed generation," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 3, no. 8, pp. 713-723, Jan. 2009.
- [15] M. Mashhour, M. A. Golkar, and S. M. MoghaddasTafreshi, "Optimal sizing and siting of distributed generation in radial distribution network: comparison of unidirectional and bidirectional power flow scenario," in *Proc. IEEE Bucharest Power Tech Conf.*, 8 pp., 28 Jun.-2. Jul. 2009.
- [16] F. S. Abu-Moutiad and M. E. El-Hawary, "Modified artificial bee colony algorithm for optimal distributed generation sizing and



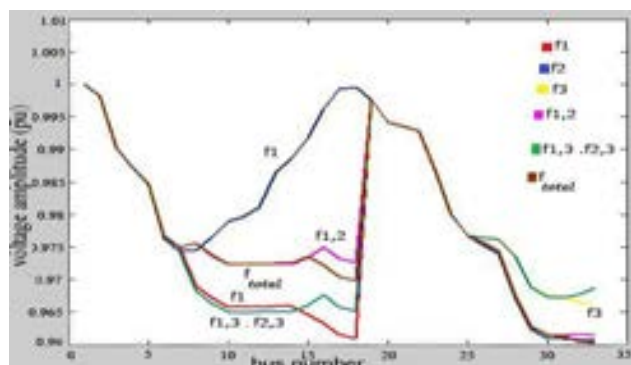
شکل ۳۰: مقایسه تلفات برای هر یک از توابع هدف در حالت ۵.



شکل ۳۱: مقایسه شاخص پروفایل ولتاژ برای هر یک از توابع هدف در حالت ۵.



شکل ۳۲: مقایسه شاخص پایداری ولتاژ برای هر یک از توابع هدف در حالت ۵.



شکل ۳۳: مقایسه پروفایل ولتاژ با اضافه کردن DG در حالت ۵ با در نظر گرفتن تابع هدف‌های مختلف.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که تنها با در نظر گرفتن تابع هدف تلفات، منابع تولید پراکنده بر روی شاخه‌هایی که بیشترین بار را دارند و همچنین در نزدیکی باس‌هایی که دارای بار زیادتری هستند، قرار می‌گیرند و نیز تنها با در نظر گرفتن فقط تابع هدف شاخص پروفایل ولتاژ، معمولاً DGها در قسمت انتهایی شاخه‌ها قرار می‌گیرند زیرا افت ولتاژ در این باس‌ها بیشتر است. همچنین برای حالتی که تنها تابع هدف، شاخص پایداری ولتاژ است، گره‌هایی که دارای کمترین شاخص پایداری ولتاژ باشند، برای ناپایداری شبکه در صورت بروز خطا و یا عدم تعادل تقاضا و تولید مستعدتر است، از این رو منابع تولید پراکنده از دید شاخص پایداری روی این باس‌ها قرار می‌گیرد.

- Pacific Power and Energy Engineering Conf., APPEEC'11*, 5 pp., 25-28 Mar. 2011.
- [25] R. Yousefian and H. Monsef, "DG-allocation based on reliability indices by means of Monte Carlo simulation and AHP," in *Proc. 10th Int. Conf. on Environment and Electrical Engineering, EEEIC'11*, 4 pp., May 2011.
- [26] N. Khalesi, N. Rezaei, and M. R. Haghifam, "DG allocation with application of dynamic programming for loss reduction and reliability improvement," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 288-295, Feb. 2011.
- [27] Y. Li, D. Yao, and W. Chen, "Adaptive particle swarm optimizer for beam angle selection in radiotherapy planning," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Mechatronics & Automation*, vol. 1, pp. 421-425, 29 Jul. -1 Aug 2005.
- allocation in distribution systems," in *Proc. IEEE Electrical Power & Energy Conf.*, 9 pp., 22-23 Oct. 2009.
- [17] M. R. Haghifam, H. Falaghi, and O. P. Malik, "Risk-based distributed generation placement," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 2, no. 2, pp. 252-260, Mar. 2008.
- [18] A. Moeini, H. Yassami, M. Owlady, and M. H. Sadeghi, "Disco planner flexible DG allocation in MV distribution networks using multi-objective optimization procedures," in *Proc. 12th Int. Conf. on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM'10*, pp. 240-245, May 2010.
- [19] D. Quoc Hung, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 25, no. 3, pp. 814-820, Sep. 2010.
- [20] F. S. Abu-Mouti and M. E. El-Hawary, "A priority-ordered constrained search technique for optimal distributed generation allocation in radial distribution feeder systems," in *Proc. 23rd Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering, CCECE'10*, 7 pp., May 2010.
- [21] M. T. Ameli, V. Shokri, and S. Shokri, "Using fuzzy logic & full search for distributed generation allocation to reduce losses and improve voltage profile," in *Proc. Int. Conf. on Computer Information Systems and Industrial Management Applications, CISIM'10*, 626-630, 8-10 Oct. 2010.
- [22] A. Arief, M. B. Nappu, M. Gallagher, Z. Yang Dong, and J. Zhao, "Comparison of CPF and modal analysis methods in determining effective DG locations," in *Proc. IPEC Conf.*, pp. 555-560, 27-29 Oct. 2010.
- [23] M. F. Akorede, H. Hizam, I. Aris, and M. Z. A. AbKadir, "Effective method for optimal allocation of distributed generation units in meshed electric power systems," *Generation, Transmission, and Distribution, IET*, vol. 5, no. 2, pp. 276-287, Feb. 2011.
- [24] C. Weiwei, W. Yafeng, and L. Wenxia, "Optimal allocation of switches in DG enhanced distribution systems," in *Proc. Asia-*
- حسین گودرزی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی ارشد رشته برق قدرت در سال‌های ۱۳۹۰ از دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب به پایان رسانده است. مدتی به عنوان مدرس در دانشگاه آزاد واحد بروجرد مشغول بوده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: سیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده، شبکه‌های توزیع، محاسبات نرم و کاربردهای آن در سیستم‌های قدرت، کیفیت توان، طراحی و بهره برداری از شبکه‌های توزیع، ماشین الکتریکی، بازار برق.
- محمودرضا حقی‌فام تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی برق در سال ۱۳۶۶ از دانشگاه تبریز، در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۶۹ از دانشگاه تهران و در مقطع دکتری در سال ۱۳۷۴ از دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده است و هم‌اکنون استاد دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: سیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده، شبکه‌های توزیع، قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت، محاسبات نرم و کاربردهای آن در سیستم‌های قدرت، کیفیت توان، طراحی و بهره برداری از شبکه‌های توزیع.

Archive of SID