

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

# روش ساده و کاربردی برای ارزیابی احتمالاتی و لتاژ در شبکه‌های توزیع شعاعی

مقداد تورانداز کناری، محمدصادق سپاسیان، مهرداد ستایش نظر

پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور

دانشگاه شهید بهشتی

تهران-ایران

[m.tourandaz@sbu.ac.ir](mailto:m.tourandaz@sbu.ac.ir)

امر به نوبه خود لزوم توجه بیش از پیش به مطالعات بهره‌برداری شبکه توزیع و ارزیابی و تحلیل ولتاژ آن را روشن میکند. در راستای این مباحث، در این مقاله با استفاده از مدل‌های احتمالاتی بار و تولید مساله تعیین ولتاژ شینه‌های توزیع حل شده و مقادیر میانگین، انحراف معیار و واریانس پروفیل ولتاژ در شینه‌های شبکه تعیین میشوند. در این شرایط وضعیت شبکه توزیع از دید پارامترهای ولتاژی ارزیابی گردیده و احتمال تخطی از شرایط ولتاژی شینها مشخص میگردد. مزیت اصلی روش احتمالاتی، توانایی ترکیب شدت و احتمال رخداد ریسک است [1]. البته لازمه استفاده از این روش، در اختیار داشتن تخمین احتمالاتی بارها در دوره‌های مطالعات با توجه به امکانات در دسترس است.

همانطور که ذکر شد لزوم توسعه روشهای احتمالاتی ارزیابی شبکه توزیع، استفاد از مدل‌های احتمالاتی برای بارهای تاثیرگذار بر شبکه و تحلیل اثر آنها بر بهره‌برداری شبکه خصوصاً ولتاژ را بیش از پیش اهمیت بخشیده است. با این حال، به دلیل نسبت بالای مقاومت به راکتانس در سیستمهای توزیع، روشهای متداول پخش بار برای محاسبه ولتاژ شینه‌های شبکه‌های توزیع شعاعی مناسب نیستند.

برای ارزیابی شبکه یکی از فاکتورهای مورد نیاز، استفاده از مدل‌های بار موجود است. بصورت کلی مدلسازی بار به دو صورت احتمالاتی و قطعی قابل انجام است که در رویکرد احتمالاتی، یک تابع توزیع احتمالاتی که می‌تواند اطلاعات بار، شرایط محیطی و عدم قطعیتها را مدل کند در اختیار خواهد بود. این تابع میتواند عوامل تاثیرگذار و عدم قطعیتهای بار را به عنوان متغیرهای تصادفی مدل کند. بنابراین مدل رفتاری بار بر اساس

چکیده — در این مقاله، روشی ساده و کاربردی برای ارزیابی احتمالاتی ولتاژ در شینه‌های توزیع ارائه شده است. مدل پیشنهادی بدون نیاز به حل پخش بار احتمالاتی و استفاده از روشهای تحلیلی نظیر کانولوشن (Convolution) و کامولنت (Cumulant) که دارای پیچیدگیها و دشواریهای زیادی هستند قادر به محاسبه مقادیر احتمالاتی ولتاژ است. در نتیجه، روش ارائه شده، به روشهای عددی حل پخش بار احتمالاتی نظیر شبیهسازی مونت کارلو (که دارای بار محاسباتی بالا هستند) نیز نیازی ندارد. این روش با استفاده از محاسبه مقادیر مورد انتظار و واریانس بارهای هر شین با توجه به نوع توزیع احتمال آنها قادر است با کمک ضرایب حساسیت و استفاده از روابط ساده مداری مقادیر ولتاژ شینها را بصورت احتمالاتی استخراج کند. در ادامه مقاله، مدل پیشنهادی بر روی سیستم توزیع شعاعی نمونه، تست شده و نتایج مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. از مزایای روش پیشنهادی می‌توان به سادگی فرمولاسیون، بار محاسباتی بسیار کم و کاربردی بودن آن اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی — بار احتمالاتی؛ شبکه توزیع شعاعی؛ ولتاژ.

## ۱. مقدمه

همزمان با توسعه شبکه‌های توزیع، مسائلی چون تغییر ساختار بارها، موجب افزایش اهمیت مساله بهره‌برداری شبکه‌های توزیع شده است. این

مطالعات احتمالاتی روند تصادفی را برای تعریف بارگذاری شبکه توزیع استفاده میکنند و چگالی احتمال پارامترهای مربوط به بهره‌برداری شبکه را حاصل میکنند.

روش پیشنهادی این مقاله قادر است بهره‌برداری سیستم را در شرایط تغییرات بار، تغییرات تزریق تولیدات پراکنده، بازآرایی شبکه و دیگر روال - های تصادفی در سیستم مورد تحلیل قرار دهد. این روش، با ملاحظه تمامی عدم قطعیتها در سیستم در دوره زمانی بهره‌برداری، تصویر کاملی از پروفیل ولتاژ نیز ارائه میدهد.

سایر بخشهای مقاله بهصورت زیر دستهبندی شدهاند:

در بخش ۲، ساختار پیشنهادی مساله بیان گردیده است و روابط لازم برای رسیدن به مدل مناسب برای حصول ولتاژ بیان شدهاند. در بخش ۳، مدل پیشنهادی، بر روی یک سیستم توزیع نمونه اجرا شده است و نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتهاند. برخی نتایجی که از مقاله قابل استخراج هستند نیز در بخش ۴ عنوان شدهاند.

## ۲. ساختار مساله و استخراج روابط

با توجه به مقدمه ذکر شده در بخش قبل، اهداف این مقاله عبارتند از:

- ۱- تعیین مقادیر مورد انتظار<sup>۱</sup> و انحراف استاندارد انواع توزیع احتمال در شینها
  - ۲- تعیین حساسیت شار خطوط نسبت به تغییرات بار یا تولید در شین - ها
  - ۳- استخراج فرمولاسیون نحوه تعیین مقادیر احتمالاتی ولتاژ شینها در شبکه توزیع شعاعی
  - ۴- تعیین مقادیر مورد انتظار و انحراف استاندارد ولتاژ شینها به ازای انواع توزیع احتمال توان در شینها بوسیله پیاده سازی مدل پیشنهادی بر روی سیستم تست نمونه
- در ادامه هر یک از این اهداف، شرح داده شده و فرمولاسیون مربوطه برای رسیدن به هر هدف استخراج خواهد شد.

اطلاعات آماری، یک مدل بار احتمالاتی خواهد بود. تحقیقات نشان میدهند که بارهای با ساختار تصادفی بر عواملی چون ولتاژ فیدرها، بارگذاری و عمر ترانسهای توزیع، بارگذاری خطوط و کابلها، تلفات انرژی و توان، عدم تعادل، اعوجاج هارمونیک و کیفیت توان تاثیرگذار هستند [۲]. بنابراین استفاده از مدل احتمالاتی برای رفتار شینهای دارای چنین بارهایی طوریکه بتواند رهیافتی برای تحلیل شبکه ارائه دهد امری ضروری است. علاوه بر این، استفاده از مدلهای احتمالاتی برای نشان دادن کامل رفتار سیستمهای توزیع موجود و به منظور ارزیابی اثرات تولیدات پراکنده جدید در شبکه - های فعال امری ضروری است.

مطالعات مرتبط با این زمینه پژوهشی، اغلب از پخش بار احتمالاتی<sup>۱</sup> برای ارزیابی ولتاژ استفاده کردهاند. پخش بار احتمالاتی نخستین بار در سال ۱۹۷۳ توسط Borkowska برای ارزیابی عدم قطعیت شار خطوط پیشنهاد شد [۳]. این روش در سالهای بعد برای بهره‌برداری عادی سیستم، ارزیابی قابلیت اطمینان و برنامه‌ریزی کوتاهمدت و بلندمدت شبکه توسعه یافت [۴]-[۶].

یک پخش بار قطعی استاندارد، عدم قطعیتهای سیستم شامل پیکربندی شبکه، تغییرات بار و تولیدات پراکنده، نرخ خروج تجهیزات و دیگر عدم قطعیتها را در نظر نمیگیرد [۷]. از دیگر سو، پخش بار احتمالاتی، مقادیر تولید و بار را قطعی فرض نمیکند بلکه آنها را با یک تابع توزیع احتمال مشخص در نظر میگیرد [۷]. هر پارامتری مانند بار میتواند توسط یک متغیر تصادفی با یک توزیع احتمالاتی معین (که براساس اطلاعات ثبت شده از گذشته، آنالیز آماری یا ارزیابی مهندسی ایجاد میشود) بیان شود [۸].

در کل مقالات با دو رویکرد برنامه‌ریزی و بهره‌برداری به مسئله ولتاژ در شبکههای توزیع نگرستاندهاند. در هر دو رویکرد، روشهای ارزیابی به دو صورت قطعی و یا احتمالاتی مورد بررسی قرار گرفتهاند. روشهای قطعی خود به دو دسته، مطالعات تصویر منفرد<sup>۲</sup> و مطالعات چند-دوره‌های<sup>۳</sup> قابل تقسیم هستند. در روش تصویر منفرد، مکان و مقادیر ثابت برای بارهای شبکه توزیع در نظر گرفته میشود. سپس الگوریتم پخش بار برای تعیین حالات تجهیزات و پارامترهای بهره‌برداری شبکه به ازای پیکربندی معینی اجرا میشود [۹]. در مطالعات چند دوره‌های با فرض اینکه مکان بار و مدت در مدار بودن آن ثابت است شبیهسازهای روزانه اجرا میشوند و پروفیل بار روزانه برای بارهای سیستم استفاده میشوند [۱۰]. از سوی دیگر،

<sup>1</sup> Probabilistic Load Flow (PLF)

<sup>2</sup> Single Snapshot

<sup>3</sup> Multi-Period Studies

<sup>4</sup> Expected Value

## ۲.۱. تعیین مقادیر مورد انتظار و انحراف استاندارد

$q$ : نرخ خروج هر واحد

$R$ : توان نامی هر واحد

$\sigma^2$ : واریانس

ج- شینه‌های دارای توزیع گسسته:

$$\mu = \sum_{i=1}^m x_i p_i, \sigma^2 = \sum_{i=1}^m (x_i - \mu)^2 p_i \quad (2)$$

$m$ : تعداد مقادیر گسسته

$x_i$ :  $i$  امین مقدار گسسته که دارای احتمال وقوع  $p_i$  است.

## ۲.۲. تعیین حساسیت شار خطوط نسبت به تغییرات

## بار یا تولید در شینه‌ها

برای تعیین ولتاژ احتمالاتی شینه‌ها با توجه به فرمولاسیونی که در بخش ۲.۳ بیان خواهد شد نیاز به تعیین حساسیت شار خطوط نسبت به تغییرات بار وجود دارد. محاسبه این ضرایب تنها نیاز به داده‌های شبکه دارند و به اطلاعات شینه‌ها نیاز ندارند. دلیل این امر آن است که این ضرایب تغییر در شار توان در هر خط را با توجه به تغییر مشخصی در توان هر شین نشان می‌دهند. به دیگر بیان، مطابق رابطه زیر، ضرایب حساسیت نشان می‌دهند تغییرات داده‌های گرهی چگونه بر شار خطوط در هر خط تاثیر می‌گذارد [۱۲]:

$$a_{li} = \frac{\Delta f_l}{\Delta P_i} \quad (3)$$

$l$ : شماره خط

$i$ : شماره شین

$\Delta f_l$ : تغییر در توان انتقالی از خط (تغییر در توان انتقالی از خط  $l$  در اثر

تغییر  $\Delta P_i$  در تولید شین  $i$ )

$\Delta P_i$ : تغییر در تولید (یا مصرف) شین  $i$

$a_{li}$ : حساسیت توان انتقالی از خط  $l$  نسبت به تغییر تولید شین  $i$

نحوه بدست آوردن ماتریس حساسیت در یک سیستم قدرت خارج از بحث این مقاله است و در مرجع بیان شده است. اما در یک سیستم توزیع، ماتریس حساسیت به روش ساده‌تری قابل حصول است:

ماتریس حساسیت در واقع رابطه بین توان خطوط و توان شینه‌ها است:

برای اجرای مدل پیشنهادی، ابتدا توابع چگالی احتمال شینه‌ها باید تعریف شوند. انواع توابع احتمال مرسوم برای مدلسازی توان بار و تولید در شینه‌های شبکه توزیع عبارتند از [۱۱]:

الف- شینه‌های دارای توزیع نرمال<sup>۱</sup>: بطور کلی شینه‌های باری که

واریانس بزرگی ندارند با توزیع نرمال قابل بیان هستند. این توزیع با مقدار مورد انتظار و یک واریانس که نشان‌دهنده خطای پیشبینی بار است نشان داده می‌شود. در عمل، پیشبینی مقدار مورد انتظار بار و تعیین انحراف استاندارد توسط تجربه مهندسی در پیشبینی خطا صورت می‌گیرد.

ب- شینه‌های دارای توزیع دو جمله‌ای<sup>۲</sup>: در شینه‌های تولید، تابع

چگالی توسط یک توزیع دو جمله‌ای قابل بیان است. در این شرایط توان خروجی و نرخ خروج اضطراری مشخص می‌شود.

ج- شینه‌های دارای توزیع گسسته<sup>۳</sup>: زمانی که بار دارای واریانس زیاد

است یا واحدهای تولیدی در یک شین یکسان نیستند، اطلاعات شینه‌ها توسط مجموع‌های از مقادیر گسسته بیان می‌شود که هر مقدار دارای یک احتمال وقوع است.

د- شینه‌های دارای مقدار قطعی<sup>۴</sup>: زمانی که بارها مقدار دقیق یا ثابتی

دارند، بار شین می‌تواند توسط یک مقدار مشخص با احتمال وقوع یک بیان شود.

نحوه محاسبه مقدار میانگین و انحراف معیار برای هر یک از توزیع

احتمالهای ذکر شده در شین‌ها بصورت زیر است:

الف- شینه‌های دارای توزیع نرمال: در این شینه‌ها، مقادیر  $\mu, \sigma$  (به

ترتیب انحراف معیار و مقدار مورد انتظار یا مقدار میانگین) مشخص هستند.

ب- شینه‌های دارای توزیع دو جمله‌ای:

$$\mu = n(1-q)R, \sigma^2 = nq(1-q)R^2 \quad (1)$$

$n$ : تعداد واحدهای همانند

- 1 normal
- 2 binomial
- 3 discrete
- 4 one point deterministic

$$P_B = A.P_W \quad (۴)$$

$$\Delta V_{i-j} = \frac{P_{i-j}R_{i-j} + Q_{i-j}X_{i-j}}{V_{ref}} + j \frac{P_{i-j}X_{i-j} - Q_{i-j}R_{i-j}}{V_{ref}} \quad (۵)$$

$$\Rightarrow \Delta V_{i-j} \approx \frac{P_{i-j}R_{i-j} + Q_{i-j}X_{i-j}}{V_{ref}}$$

$\Delta V_{i-j}$ : افت ولتاژ خط  $i-j$

$P_{i-j}$  و  $Q_{i-j}$ : توان اکتیو و راکتیو خط  $i-j$

$R_{i-j}$  و  $X_{i-j}$ : مقاومت و راکتانس خط  $i-j$

$V_{ref}$ : ولتاژ شین مرجع (شین تغذیه)

همانطور که ذکر شد در بخش نهایی رابطه (۵)، از مولفه موهومی ولتاژ بدلیل کوچک بودن صرف نظر شده است.

میزان افت ولتاژ شین  $k$  برابر مجموع افت ولتاژهای خطوط بالادست آن است:

$$\Delta V_k = \sum_{i-j \subset k} \Delta V_{i-j} \quad (۶)$$

$i-j \subset k$ : خطوط  $i-j$  که بالادست شین  $k$  هستند

برای تعیین اینکه آیا خط  $i-j$  بالادست شین  $k$  است یا خیر باید از ماتریس حساسیت استفاده کرد. در واقع اگر خط  $i-j$  را خط  $l$  بنامیم، با کمک ضرایب حساسیت خواهیم داشت:

$$\Delta V_k = \sum_{l=1}^b \Delta V_l a_{lk} \quad (۷)$$

$b$ : تعداد خطوط شبکه

با توجه به احتمالاتی بودن ورودیها بهتر است ولتاژ برحسب ورودیها بیان شود. با ترکیب روابط بیان شده در این بخش و با توجه به توان عبوری از خطوط بالادست که خود وابسته به توان شینها و ماتریس ضرایب حساسیت است خواهیم داشت:

$$\mu_{\Delta V_k} = \frac{1}{V_{ref}} \sum_{i=1}^n [\mu_{P_i} \sum_{l=1}^b (a_{li} a_{lk} R_l) + \mu_{Q_i} \sum_{l=1}^b (a_{li} a_{lk} X_l)] \quad (۸)$$

$i$ : شماره شین

$A$ : ماتریس حساسیت

$P_B$ : بردار توان شاخه ها (خطوط)

$P_W$ : بردار توان شین ها

در واقع در شبکه توزیع تعداد سطر ماتریس حساسیت برابر تعداد

خطوط و تعداد ستونها برابر تعداد شینهاست. روش ساده برای محاسبه این

ماتریس در شبکه توزیع بدین صورت است: عنصر  $a_{li}$  از ماتریس  $A$  برابر یک است اگر خط  $l$  شین  $i$  را تغذیه کند (یعنی خط، بالادست شین باشد) و در غیراینصورت برابر صفر است.

### ۲.۳. فرمولاسیون تعیین مقادیر احتمالاتی ولتاژ شین-

#### ها در شبکه توزیع شعاعی

هدف از این بخش، معرفی یک روش ساده، موثر و کاربردی در تعیین

مقادیر احتمالاتی ولتاژ شینها در شبکه توزیع است. برخی فرضها در

تحقق اهداف مساله یاریگر خواهند بود که عبارتند از:

الف- توازن توان توسط شین مرجع (شین تغذیه) صورت میگیرد و

تلفات در سیستم قابل صرفنظر هستند. به بیان دیگر توازن توان تابعی از

مجموع توانهای ورودی و خروجی است و به توان ورودی و خروجی در شینهای خاص بستگی ندارد.

ب- بارها نسبت به هم متغیرهای مستقل هستند

با فرض مستقل بودن متغیرها میتوان مقادیر مورد انتظار و انحراف

استاندارد شار خطوط را بدست آورد. برای این منظور، در ابتدا مطابق

مطالب بیان شده در بخش ۲.۱ تمام اطلاعات بار شینهای ورودی به مقادیر

مورد انتظار و واریانسشان تبدیل میشوند. اطلاعات ورودی شبکه، توان

اکتیو و راکتیو بارها (بصورت احتمالاتی) و راکتانس و مقاومت خطوط و

ولتاژ شین تغذیه (بصورت قطعی) هستند.

برای محاسبه ولتاژ شینهای توزیع بصورت احتمالاتی پایه روش بر

اساس محاسبه افت ولتاژ فیدرها و صرفنظر کردن از قسمت موهومی ولتاژ

بدلیل کوچک بودن آن در سیستم توزیع است. افت ولتاژ هر بخش فیدر

توزیع (هر خط) بصورت زیر قابل محاسبه است [۱۳]:

n: تعداد شین شبکه

$\mu_{P_i}$ : مقدار مورد انتظار توان اکتیو بار شین i

$\mu_{Q_i}$ : مقدار مورد انتظار توان راکتیو بار شین i

$\mu_{\Delta V_k}$ : مقدار افت ولتاژ مورد انتظار شین k

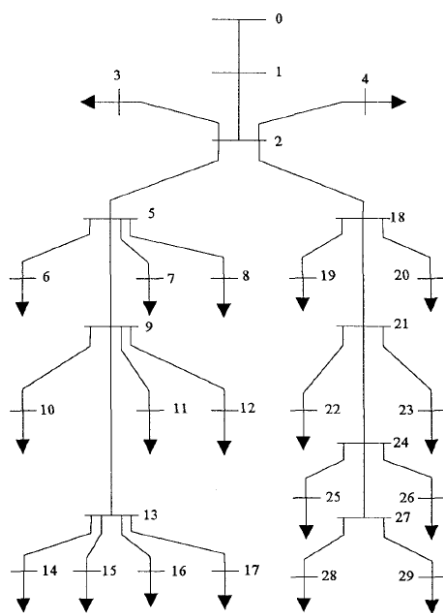
چون مقادیر توانها مقادیر مورد انتظار هستند، مقدار  $\Delta V_k$  مقدار مورد انتظار افت ولتاژ شین k است. حال میتوان با استفاده از رابطه زیر مقدار مورد انتظار ولتاژ هر شین را بدست آورد:

$$\mu_{V_k} = \mu_{V_{ref}} - \mu_{\Delta V_k} \quad (9)$$

برای محاسبه مقدار انحراف معیار افت ولتاژ هر شین نیز داریم:

$$\sigma_{\Delta V_k} = \sqrt{\frac{1}{V_{ref}^2} \sum_{i=1}^n [\sigma_{P_i}^2 \sum_{l=1}^b (a_{il}^2 a_{lk}^2 R_l^2) + \sigma_{Q_i}^2 \sum_{l=1}^b (a_{il}^2 a_{lk}^2 X_l^2)]} \quad (10)$$

بر اساس تئوری حد مرکزی تابع چگالی احتمال ولتاژ خروجی تابع نرمال فرض میشود. البته این فرض همیشه صادق نیست.



شکل ۱: سیستم توزیع نمونه

جدول ۱: مقادیر احتمالاتی بدست آمده برای ولتاژ شینها

مقدار انحراف معیار ولتاژ	مقدار مورد انتظار ولتاژ	شماره شین	مقدار انحراف معیار ولتاژ	مقدار مورد انتظار ولتاژ	شماره شین
۲/۶۷۱۸	۰/۹۳۰۳	۱۵	۰	۱/۰۵۰۰	۰
۲/۶۷۱۸	۰/۹۲۹۴	۱۶	۲/۵۹۰۰	۰/۹۴۲۱	۱
۲/۶۷۱۸	۰/۹۳۰۰	۱۷	۲/۶۰۱۵	۰/۹۴۰۹	۲
۲/۶۵۰۷	۰/۹۳۸۷	۱۸	۲/۶۰۱۷	۰/۹۳۹۷	۳
۲/۶۵۰۷	۰/۹۳۸۵	۱۹	۲/۶۰۱۷	۰/۹۳۹۵	۴
۲/۶۵۰۷	۰/۹۳۷۳	۲۰	۲/۶۰۱۵	۰/۹۳۳۷	۵
۲/۶۹۹۷	۰/۹۳۷۱	۲۱	۲/۶۲۳۲	۰/۹۳۳۰	۶
۲/۶۹۹۷	۰/۹۳۶۹	۲۲	۲/۶۲۳۲	۰/۹۳۳۰	۷
۲/۶۹۹۷	۰/۹۳۶۳	۲۳	۲/۶۲۳۲	۰/۹۳۱۹	۸
۲/۸۳۶۰	۰/۹۳۶۳	۲۴	۲/۶۲۹۶	۰/۹۳۱۶	۹
۲/۸۳۶۲	۰/۹۳۵۶	۲۵	۲/۶۵۳۷	۰/۹۳۰۹	۱۰
۲/۸۳۷۱	۰/۹۳۵۶	۲۶	۲/۶۵۳۷	۰/۹۳۰۵	۱۱
۲/۸۷۲۲	۰/۹۳۵۹	۲۷	۲/۶۵۳۷	۰/۹۳۱۰	۱۲
۲/۸۰۸۶	۰/۹۳۴۵	۲۸	۲/۶۶۰۶	۰/۹۳۰۹	۱۳
۲/۸۲۳۷	۰/۹۳۵۵	۲۹	۲/۶۷۱۸	۰/۹۳۰۳	۱۴

### ۳. پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی سیستم

#### نمونه

در این بخش روش پیشنهادی برای محاسبه مقادیر میانگین و انحراف معیار ولتاژ شینها در شبکه توزیع شعاعی در نرمافزار MATLAB کدنویسی شده و بر روی یک سیستم نمونه تست شده است. سیستم مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به این سیستم در مرجع [۱۴] آمده است.

سیستم دارای ۳۰ شین است که بار در ۲۰ شین متصل است. بار در همه ۲۰ شین دارای توزیع نرمال است که دارای مقدار مورد انتظار ۰/۱۶ و ۰/۰۸ پریونیت به ترتیب برای توانهای اکتیو و راکتیو میباشد. مقدار انحراف معیار بارها ۱۰ درصد و ولتاژ شین تغذیه (شین ۰) برابر ۱/۰۵ پریونیت در نظر گرفته شده است. در واقع ورودیهای مساله مقادیر احتمالاتی توانهای شینها، امپدانس خطوط، ولتاژ نقطه تغذیه است. خروجیهای مساله یعنی مقادیر مورد انتظار و انحراف معیار ولتاژ شینها در جدول ۱ آمده‌اند.

- [8] C. L. Su, "Stochastic evaluation of voltages in distribution networks with distributed generation using detailed distribution operation models," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 2, pp. 786-795, May 2010.
- [9] T. Pollok, T. Dederichs, T. Smolka, and et al., "Technical assessment of dispersed electric vehicles in medium voltage distribution networks," *20th Int. Conf. on Electricity Distribution*, Prague, Czech Republic, Jun. 2009, pp. 1-4.
- [10] P. Fernández, T. G. S. Román, R. C. Cossent, C. M. Domingo, and P. Friás, "Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 1, pp. 206-213, 2011.
- [11] R. N. Allan, B. Borkowska, and C. H. Grigg, "Probabilistic analysis of power flows," *Proc. Inst. Elect. Eng. 121*, pp. 1551-1556, 1974.
- [12] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, *Power Generation Operation and Control*. New York: Wiley, 1996.
- [13] A. Dimitrovski and R. Ackovski, "Probabilistic load flow in radial distribution networks," *Proc. IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conf.*, Los Angeles, California, September 1996, pp. 102-107.
- [14] S. Rajagopalan, "A New Computational Algorithm for Load Flow Study of Radial Distribution System," *Comput. And Elect. Engng.*, Vol. 5, 1978, pp. 225-230.

بطور طبیعی شینه‌های دورتر از نقطه تغذیه، دارای افت ولتاژ بالاتر و در نتیجه ولتاژ احتمالی پایتتر هستند. مقادیر مورد انتظار ولتاژ در واقع میانگین احتمالات مختلف در حصول ولتاژ است و واقعیت‌ترین عدد ممکن برای ارزیابی ولتاژ شینه‌هاست. با توجه به مقادیر نسبتاً کم انحراف معیار (و در نتیجه واریانس) ولتاژ شینه‌ها، مقادیر  $\mu$  بدست آمده برای ولتاژ با توجه به ساختار تصادفی مساله، احتمالات مناسبی برای استفاده در مطالعات برنامه ریزی و بهره‌برداری شبکه هستند. از مزایای روش پیشنهادی اجرا شده، می‌توان به سادگی فرمولاسیون ریاضی، بار محاسباتی بسیار کم و کاربردی بودن روش اشاره کرد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

هدف از این مقاله، ارائه یک روش ساده و کارا برای بدست آوردن ولتاژ شینه‌های شبکه توزیع شعاعی بوده است. الگوریتم گام به گام تحقق این امر، شامل نحوه محاسبه مقادیر مورد انتظار و واریانس شینه‌های بار به ازای توابع چگالی احتمال مختلف، نحوه تولید ماتریس ضرایب حساسیت و ارائه روابط مربوطه برای محاسبه ولتاژ شبکه بوده است. برای نشان دادن کارایی مساله، روش پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB برنامه‌نویسی شده و بر روی یک سیستم توزیع شعاعی نمونه تست گردید و خروجی‌های مساله مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به روابط پیشنهاد شده و نتایج حاصل از بررسی موردی، سادگی و کارایی روش پیشنهادی نشان داده شد.

#### منابع

- [1] A. B. Rodrigues, R. B. Prada, and M. D. G. da Silva, "Voltage stability probabilistic assessment in composite systems: modeling unsolvability and controllability loss," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 3, Aug. 2010.
- [2] P. Papadopoulos, S. Skarvelis-Kazakos, I. Grau, L. M. Cipcigan, and N. Jenkins, "Electric vehicles' impact on British distribution networks," *IET Electr. Syst. Transp.*, vol. 2, no. 3, pp. 91-102, 2012.
- [3] B. Borkowska, "Probabilistic load flow," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, no. 3, pp. 752-759, 1973.
- [4] R. Allan, A. L. da Silva, and R. Burchett, "Evaluation methods and accuracy in probabilistic load flow solutions," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, no. 5, pp. 2539-2546, 1981.
- [5] A. L. da Silva and V. Arienti, "Probabilistic load flow by a multilinear simulation algorithm," *Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., and Distrib.*, vol. 137, no. 4, pp. 276-282, 1990.
- [6] C. Grigg et al., "The IEEE reliability test system-1996. A report prepared by the reliability test system task force of the application of probability methods subcommittee," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 14, no. 3, pp. 1010-1020, Aug. 1999.
- [7] P. Chen, Z. Chen, and B. Bak-Jensen, "Probabilistic load flow: A review," *Third Conf. on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Tech.*, Apr. 2008, pp. 1586-1591.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

تازه ترین  
بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

PROPOSAL  
پروپوزال

تازه ترین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

ISI  
Scopus

تازه ترین  
آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو