

# مکان‌یابی اتوبوسترها (AVRs) و بازآرایی شبکه‌های توزیع شعاعی به طور هم‌زمان و مقاوم با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار

محمودرضا شاکرمی و یاسر محمدی‌پور

سریع و کارآمد می‌باشد. به طور کلی می‌توان الگوریتم‌های حل مسئله بازآرایی را به دو دسته الگوریتم‌های ابتکاری و الگوریتم‌های هوشمند تقسیم‌بندی نمود. در [۶] و [۷] از روش شکل‌دادن تصادفی، در [۸] و [۹] از روش بازکردن کلیدهای متوالی و در [۱۰] و [۱۱] از روش تغییر شاخه که نمونه‌هایی از روش‌های ابتکاری هستند به منظور حل این مسئله استفاده شده است. در [۱۲] و [۱۳] از الگوریتم ژنتیک (GA)، در [۱۴] و [۱۵] از الگوریتم اجتماع ذرات (PSO)، در [۱۶] و [۱۷] از الگوریتم کلونی مورچگان و در [۱۵] و [۱۷] از الگوریتم فازی که از جمله مهم‌ترین الگوریتم‌های هوشمند هستند جهت بازآرایی شبکه توزیع استفاده شده است. در [۱۸] از یک روش ابتکاری برای بازآرایی شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات استفاده شده است. در [۱۹] و [۲۰] به ترتیب از روش‌های ابتکاری تعویض کلید (SEM) و کلیدگشایی ترتیبی (SSOM)<sup>۲</sup> به منظور حل مسئله بازآرایی استفاده گردیده است. در [۲۱] علاوه بر شاخص کاهش تلفات شاخص، تعادل بار نیز به تابع هدف این مسئله افزوده شده است. مسئله بازآرایی با استفاده از یک روش ابتکاری با هدف کاهش تلفات در [۲۲] بررسی شده است. در [۲۳] بازآرایی بهینه سیستم‌های توزیع با هدف افزایش قابلیت اطمینان و کاهش تلفات با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات باینری ارائه شده است. در [۲۴] مکان‌یابی خازن و بازآرایی شبکه توزیع به طور هم‌زمان به منظور کاهش تلفات با استفاده از GA مورد بررسی قرار گرفته است. مرجع [۲۵] تأثیر حضور منابع تولید پراکنده (DG) را بر مسئله بازآرایی مورد بررسی قرار داده است. در [۲۶] مسئله بازآرایی با استفاده از ACA با هدف کاهش تلفات و همچنین کاهش زمان محاسبات مورد بررسی قرار گرفته است. در شبکه‌های توزیع جدید علاوه بر موضوع بازآرایی از اتوبوسترها نیز جهت کنترل ولتاژ و کاهش تلفات استفاده می‌شود. یک اتوبوستر در واقع یک اتوترانسفورماتور با تپ متغیر است که می‌تواند با تغییر مناسب تپ با توجه به شرایط، ولتاژ شبکه را بهبود بخشد. در [۲۷] نحوه مدل‌کردن یک اتوبوستر در شبکه توزیع و محدودیت‌های آن ارائه شده است. در [۲۸] تأثیر اتوبوسترها بر کنترل ولتاژ و همچنین کنترل توان راکتیو در سیستم‌های توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. در [۲۹] مکان‌یابی اتوبوسترها به منظور کاهش تلفات و همچنین بهبود پروفیل ولتاژ با استفاده از GA انجام شده است. در [۳۰] مروری بر مسأله بازآرایی صورت گرفته و جنبه‌های مختلف آن بررسی شده است. در [۳۱] تا [۳۵] نیز مواردی از ترکیب مسأله بازآرایی با مسایلی همچون مکان‌یابی DGها با توابع هدف مختلف گزارش شده است اما در هیچ کدام از این پژوهش‌ها اشاره‌ای به مکان‌یابی تنظیم‌کننده‌های اتوماتیک ولتاژ یا AVRها که به اتوبوستر نیز معروف هستند و مسأله بازآرایی به طور هم‌زمان نشده است.

چکیده: در این تحقیق موضوع جایابی بهینه اتوبوسترها (AVRs) و بازآرایی شبکه‌های توزیع به طور هم‌زمان به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی مطرح شده است. یک تابع هدف جدید شامل شاخص‌های تلفات توان حقیقی (اکتیو)، تلفات توان واکنشی (راکتیو)، پروفیل ولتاژ، قابلیت اطمینان، ظرفیت بارگذاری (MVA) سیستم و پایداری ولتاژ معرفی گردیده است. جهت مقاوم‌نمودن وضعیت کلیدها در موضوع بازآرایی و همچنین مقاوم‌نمودن مکان و تپ اتوبوسترها در مقابل تغییرات بار، سطوح مختلفی از بار به طور هم‌زمان در تابع هدف در نظر گرفته شده است. به همین منظور یک روش جدید برای محاسبه سطوح بار با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار معرفی شده است. همچنین بار نیز به صورت مدل وابسته به ولتاژ در نظر گرفته شده و به همین منظور سناریوهای مختلفی معرفی شده‌اند. برای حل این مسئله از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات عدد صحیح (IPSO) استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی روی سیستم‌های توزیع شعاعی ۳۳ و ۶۹-بسته استاندارد IEEE مؤثر بودن روش ارائه‌شده را نشان می‌دهد.

**کلیدواژه:** بهینه‌سازی اجتماع ذرات عدد صحیح (IPSO)، بازآرایی سیستم توزیع، مکان‌یابی اتوبوستر (AVR)، قابلیت اطمینان، تلفات توان، عدم قطعیت بار.

## ۱- مقدمه

افت ولتاژ، وقفه و تلفات از مهم‌ترین شاخص‌های الکتریکی در شبکه‌های قدرت می‌باشند. در اکثر موارد قطع سرویس‌دهی به مشتریان در سیستم‌های قدرت مربوط به بخش توزیع می‌باشد [۱] تا [۳]. همچنین در این بخش تلفات توان به دلیل بالابودن جریان الکتریکی چشم‌گیر است [۴]. از طرفی در صورت بهره‌برداری نامناسب، در برخی نقاط شبکه ممکن است افت ولتاژ غیر قابل قبول ایجاد گردد. بازآرایی شبکه‌های توزیع یکی از اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین روش‌هایی است که با تغییر ساختار شبکه باعث بهبود شاخص‌های الکتریکی شبکه می‌گردد. بازآرایی سیستم به مفهوم تغییر در وضعیت کلیدهای موجود در شبکه است به گونه‌ای که هدف مورد نظر بهره‌بردار حاصل گردد [۵]. بررسی تمام حالت‌ها جهت بازآرایی تقریباً غیر ممکن می‌باشد زیرا در شبکه‌ای با  $n$  کلید دووضعیتی (باز یا بسته)  $2^n$  حالت (آرایش) مختلف وجود دارد. همچنین هنگام این تغییر آرایش، شرایط و قیدهایی همچون حفظ ساختار شعاعی شبکه، جزیره‌ای‌نشدن بارها و همچنین حفظ ولتاژها و جریان‌های شبکه در محدوده مجاز بایستی برآورده شوند. بنابراین مسئله بازآرایی یک مسئله بهینه‌سازی پیچیده می‌باشد که برای حل آن نیاز به روش‌های

این مقاله در تاریخ ۱۳ فروردین ماه ۱۳۹۵ دریافت و در تاریخ ۳۱ تیر ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

محمودرضا شاکرمی، گروه برق- قدرت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، (email: shakarami.mr@lu.ac.ir).  
یاسر محمدی‌پور، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، (email: mohammadipour.ya@fe.lu.ac.ir)

1. Switch Exchange Method
2. Sequential Switch Opening Method

جدول ۱: اطلاعات قابلیت اطمینان قطعات.

$\lambda_{col}$	$r_m$	$\lambda_m$	$r_{fz}$	$r_{fs}$	$\lambda_{fz}$	$\lambda_{fs}$	قطعه
۰/۰۰۱	۱۶۸	۱	۱۴۴	۱۴۴	۰/۰۵۵۵۵	۰/۰۵۸۸۲	ترانسفرماتور
۰/۰۰۱	۱۲	۰/۴	۲۰	۲۰	۰/۱۴۲۸۵۷	۰/۱	مدار شکن
-	۴	۰/۵	-	۲۴	-	۰/۰۰۴۵	شین
-	۲	۰/۲	۵	۵	۰/۱۳	۰/۱۳	خط توزیع
-	۴	۰/۲۵	۵	۵	۰/۲	۰/۲	کلید

کاتست‌های مینیمم قطعات بین منبع و بار است. به منظور محاسبه کاتست‌های مینیمم از روش ارائه شده در [۳۸] استفاده شده است. در این تحقیق از یک سری مدل‌های قابلیت اطمینان احتمالاتی برای محاسبه قابلیت اطمینان در نقاط بار استفاده شده است [۲۳]. احتمال در دسترس بودن یک قطعه به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۳]

$$P = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{\sum_i \frac{1}{\lambda_i}}{\sum_i \frac{1}{\lambda_i} + \sum_i \frac{1}{\mu_i}} \quad (3)$$

که  $MTTF$ ،  $MTTR$ ،  $\lambda$  و  $\mu$  به ترتیب میانگین زمان خرابی، میانگین زمان بازیابی، نرخ خرابی و نرخ بازیابی قطعه هستند. در جدول ۱ مقادیر  $\lambda$  و  $\mu$  برای قطعات مختلف سیستم توزیع ارائه شده‌اند [۲۳]. احتمال در دسترس نبودن یک قطعه به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۳]

$$Q = 1 - P \quad (4)$$

سیستم توزیع شامل تعداد زیادی از قطعات است که به صورت سری یا موازی به یکدیگر متصل شده‌اند. در حالت سری اگر یکی از قطعات از دسترس خارج شود، ارتباط بین منبع و بار قطع می‌شود اما در حالت موازی زمانی این ارتباط قطع خواهد شد که همه قطعات موازی از دسترس خارج شوند. از آنجایی که در این مقاله سیستم توزیع مورد بحث شعاعی است، پس تنها کاتست‌های مرتبه اول در نظر گرفته می‌شوند. کاتست مرتبه اول بین فیدر و بار با دو قطعه در شکل ۱ نشان داده شده است [۲۳].

شاخص قابلیت اطمینان سیستم بالا به صورت زیر است [۲۳]

$$R_{sys} = \prod_{i=1}^r R_i \quad (5)$$

که در این رابطه  $R_i$  قابلیت اطمینان قطعه  $i$ ام است. برای یک سیستم توزیع با نقاط بار متعدد، مقدار میانگین عدم قابلیت اطمینان به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۳]

$$Q_{sa} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L Q_i \text{ (Load Point)} \quad (6)$$

که در اینجا  $L$  تعداد نقاط بار سیستم توزیع است. به جهت نرمال نمودن این شاخص از رابطه زیر استفاده می‌شود

$$UNR = \frac{Q_{sa}}{Q_{sa}} \quad (7)$$

که در این رابطه  $Q_{sa}$  میانگین عدم قابلیت اطمینان برای سیستم حالت پایه است. رابطه (۷) بیانگر بخشی از تابع هدف این تحقیق است که با کمینه کردن آن، قابلیت اطمینان سیستم توزیع افزایش می‌یابد.

### ۲-۱-۳ شاخص پروفیل ولتاژ

یکی از مزایای حل بهینه مسئله مطرح شده در این تحقیق بهبود پروفیل ولتاژ سیستم است. این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود [۴۰]



شکل ۱: شماتیک گیت NAND.

با توجه به این که در سیستم‌های توزیع واقعی بار همواره در حال تغییر است، در نظر گرفتن عدم قطعیت بار باعث می‌شود که نتایج به دست آمده به حالت واقعی نزدیک‌تر باشند. در [۳۶] تأثیر عدم قطعیت بار در برنامه‌ریزی تولید منابع DG بررسی شده است. در [۳۷] مسئله بازآرایی سیستم توزیع در شرایط بار متغیر با زمان بررسی شده و برای هر بازه زمانی مطرح شده در آن، یک آرایش خاص برای کلیدهای شبکه محاسبه شده است اما در این مرجع عدم قطعیت بار در نظر گرفته نشده است. در [۳۸] بازآرایی سیستم‌های توزیع شعاعی با هدف بهبود قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار بررسی شده است. در این مرجع از یک روش تصادفی مبتنی بر برآورد دونقطه‌ای به منظور بررسی تأثیر عدم قطعیت بار بر نتایج استفاده شده است. در [۳۹] عدم قطعیت بار با استفاده از تجزیه و تحلیل بازه‌ای در مسئله بازآرایی شبکه‌های توزیع در نظر گرفته شده است.

امروزه هم با بازآرایی شبکه‌های توزیع و هم با نصب بهینه اتوبوسترها می‌توان شاخص‌های عملکردی سیستم‌های توزیع را بهبود بخشید. هنگام بازآرایی شبکه‌های توزیع ممکن است مکان بهینه اتوبوسترها تغییر نماید و بنابراین ضروری است این دو موضوع به طور هم‌زمان مورد مطالعه قرار گیرند. نوآوری‌های تحقیق در این مقاله عبارت از مکان‌یابی AVR و بازآرایی شبکه به طور هم‌زمان، در نظر گرفتن عدم قطعیت بار و سطوح مختلف بار برای مقاوم نمودن نتایج، ارائه یک روش جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت بار، تعریف شاخص بهینه‌سازی چندهدفه در بردارنده کمیت‌های الکتریکی و قابلیت اطمینان هستند.

## ۲- بیان مسئله

### ۲-۱-۲ شاخص‌های الکتریکی سیستم

#### ۲-۱-۱-۲ شاخص‌های تلفات توان اکتیو و راکتیو

در این مقاله، شاخص‌های تلفات توان اکتیو و راکتیو سیستم توزیع به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند [۳۴]

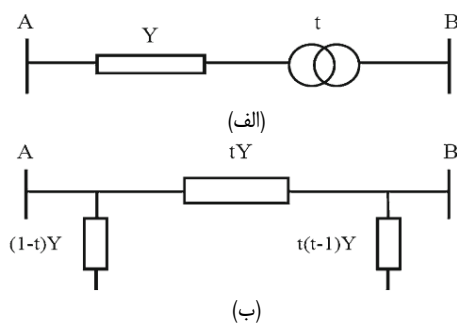
$$ILP = \frac{P_L}{P_L} \quad (1)$$

$$ILQ = \frac{Q_L}{Q_L} \quad (2)$$

که در روابط فوق  $P_L$  و  $Q_L$  به ترتیب تلفات توان اکتیو و راکتیو سیستم توزیع در هر کدام از سناریوهایی است که در ادامه معرفی خواهند شد.  $P_L$  و  $Q_L$  نیز به ترتیب تلفات توان اکتیو و راکتیو در سیستم حالت پایه می‌باشد. روابط (۱) و (۲) بیانگر بخش‌هایی از تابع هدف این تحقیق هستند که هدف از آنها به ترتیب کاهش تلفات اکتیو و راکتیو در سیستم توزیع می‌باشد.

### ۲-۱-۲ شاخص عدم قابلیت اطمینان سیستم

قابلیت اطمینان یک سیستم، احتمال عملکرد رضایت‌بخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص و در مدت زمان معین است. قابلیت اطمینان در سیستم توزیع در واقع امنیت سیستم و تداوم سرویس‌دهی به مشتریان است. اولین گام در محاسبه قابلیت اطمینان نقاط بار، محاسبه



شکل ۲: مدل اتوبوس‌ترا [۲۸].

جدول ۲: انواع مدل بار و مقادیر نمای آنها.

خانگی	تجاری	صنعتی	ثابت	-
۰٫۹۲	۱٫۵۱	۰٫۱۸	۰	$\alpha$
۴٫۰۴	۳٫۴۰	۶٫۰۰	۰	$\beta$

$$IVD = \max_{i=y}^{N_{bus}} \left[ 1 - \frac{|V_i|}{|V_n|} \right] \quad (8)$$

که در این رابطه  $N_{bus}$  تعداد شین‌های سیستم،  $V_i$  ولتاژ شین  $i$  ام و  $V_n$  ولتاژ نامی پریونیت شده است که برابر با ۱ پریونیت فرض می‌شود.

### ۲-۱-۴ شاخص پایداری ولتاژ

شاخص پایداری ولتاژ (VSI) اطلاعات قابل ملاحظه‌ای درباره پایداری ولتاژ سیستم‌های توزیع شعاعی ارائه می‌دهد. این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود [۴۰]

$$VSI(m\gamma) = |V(m\gamma)|^2 - 4\{P(m\gamma)x(jj) - Q(m\gamma)r(jj)\}^2 - 4\{P(m\gamma)r(jj) + Q(m\gamma)x(jj)\}^2 |V(m\gamma)|^2 \quad (9)$$

که  $NB$  تعداد کل شین‌ها،  $jj$  شماره شاخه،  $VSI(m\gamma)$  شاخص ولتاژ پایداری ولتاژ شین  $m\gamma$  ( $m\gamma = 2, 3, \dots, NB$ )،  $r(jj)$  مقاومت شاخه  $jj$ ،  $x(jj)$  راکتانس شاخه  $jj$ ، ولتاژ شین  $m\gamma$ ،  $V(m\gamma)$  ولتاژ شین  $m\gamma$ ،  $P(m\gamma)$  توان اکتیو بار تغذیه شده از طریق شین  $m\gamma$  و  $Q(m\gamma)$  توان راکتیو بار تغذیه شده از طریق شین  $m\gamma$  است. تا زمانی که شاخص پایداری ولتاژ (VSI) برای همه شین‌ها بیش از صفر باشد سیستم در شرایط پایدار کار می‌کند و در غیر این صورت ولتاژ ناپایدار می‌شود.

### ۲-۱-۵ شاخص ظرفیت MVA خط

حد پذیرفتنی جریان خط برای پرهیز از اضافه بار خطوط توسط این شاخص تعیین می‌گردد. این شاخص اطلاعات مهمی درباره سطح جریان شاخه‌ها با توجه به حداکثر ظرفیت هادی‌های خط ارائه می‌دهد. مقدار کمتر از ۱ این شاخص بیانگر مقدار قابل قبول برای جریان خط می‌باشد، در حالی که مقدار بزرگ‌تر از ۱ این شاخص حاکی از تجاوز جریان خط از حد مجاز است. این شاخص با رابطه زیر مشخص می‌شود [۴۰]

$$IC = \max_{i=1}^{Nl} \left( \frac{|S_{ij}|}{|CS_{ij}|} \right) \quad (10)$$

که  $Nl$  تعداد خطوط (شاخه‌های) سیستم،  $|S_{ij}|$  حد ظرفیت MVA خط بین شین‌های  $i$  و  $j$  و  $|CS_{ij}|$  حد ظرفیت MVA خط بین شین‌های  $i$  و  $j$  می‌باشند.

### ۲-۲ تابع هدف نهایی

در این مقاله، تابع چندهدفه زیر که مبتنی بر ضرایب وزنی توابع هدف می‌باشد در نظر گرفته شده است

$$J(x) = \begin{cases} K & \text{if configuration is infeasible} \\ \sum_{i=1}^N j_i(x) & \text{if configuration is feasible} \end{cases} \quad (11)$$

$$j_i(x) = w_1 UNR + w_2 ILP + w_3 ILQ + w_4 IVD + w_5 \frac{1}{VSI} + w_6 IC, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^6 w_i = 1, \quad w_i \in [0, 1]$$

که در آن  $N$  تعداد سطوح بار و  $K$  یک عدد حقیقی بزرگ است.  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$  ضرایب وزنی هستند که به هر یک از بخش‌های تابع هدف نسبت داده می‌شود. درجه اهمیت هر یک از این بخش‌ها با تغییر این اوزان تغییر می‌کند. در این رابطه متغیرهای تصمیم‌گیری به صورت  $x = [x_{SW} \ x_{LAVR} \ x_{TAVR}]$  تعریف شده‌اند و در آن  $x_{SW}$  بردار دربردارنده کلیدهایی است که باید باز باشند،  $x_{LAVR}$  بردار مکان AVRها و  $x_{TAVR}$  اندازه تب AVRها می‌باشند.

که در آن  $N_{SW}$  تعداد شاخه‌ها قابل کلیدزنی در سیستم است. مراحل کلی روش بهینه‌سازی به صورت زیر است:

قدم اول: محاسبه سطوح بار

قدم دوم: انجام پخش بار و محاسبه شاخص‌ها و تابع  $J(x)$  برای همه سطوح بار

قدم سوم: محاسبه تابع هدف  $J(x)$

قدم چهارم: بهینه‌سازی مسئله

### ۲-۳ مدل بار

مدل بار در سیستم‌های توزیع، ارتباط ریاضی بین ولتاژ شین و توان آن را بیان می‌کند. در این مقاله از مدل بار وابسته به ولتاژ استفاده شده که روابط آن به صورت زیر است [۴۱]

$$P_i = P_i V_i^\alpha \quad (13)$$

$$Q_i = Q_i V_i^\beta \quad (14)$$

که در این روابط  $P_i$  و  $Q_i$  توان‌های حقیقی و واکنشی بار متصل به شین  $i$  ام،  $P_i$  و  $Q_i$  نقطه کار حقیقی و واکنشی شین  $i$  ام و  $V_i$  ولتاژ شین  $i$  ام هستند.  $\alpha$  و  $\beta$  نیز به ترتیب نمای توان‌های اکتیو و راکتیو هستند که مقادیر آنها برای مدل‌های بار مختلف در جدول ۲ ارائه شده است [۴۱].

### ۳- مدل اتوبوس‌ترا

اتوبوس‌ترا یا تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ (AVR) در واقع یک اتوترانسفورماتور با تب متغیر است. در این مقاله به منظور بررسی تأثیر اتوبوس‌ترا در سیستم توزیع، مدلی برای آن در نظر گرفته شده که به صورت زیر است [۲۷] و [۲۸].

فرض کنید اتوبوس‌ترا بین شین‌های  $M$  و  $N$  سیستم توزیع متصل شده و به گونه‌ای که در شکل ۲-الف آمده است دارای تب اولیه  $t$  و ادمیتانس  $Y$  می‌باشد [۲۸]. در مدل  $\pi$  این ترانس (شکل ۲-ب) تب اولیه  $t$  در ادمیتانس‌های سری و موازی در نظر گرفته شده است.

هنگامی که تب ترانس از  $t$  به  $\Delta t$  تغییر کند مدل ترانس به گونه‌ای که در شکل ۳-الف نشان داده شده است تغییر می‌کند [۲۸]. با اصلاح

گرفته شده است. در این تحقیق حالت‌های حداکثر (Max) بار شبکه، ضرایبی از این مقدار و حالت پایه ( $P_{mean}$ ) به عنوان سطوح بار مورد استفاده برای محاسبه تابع هدف  $J(x)$  در نظر گرفته شده‌اند. برای محاسبه بار حداکثر شبکه مجموع توان شین‌ها در هر حالت  $Z$  محاسبه و حالتی که در آن این مجموع بیشترین باشد به عنوان  $P_{max}$  در نظر گرفته می‌شود. از این طریق، سیستم توزیع مورد مطالعه تحت شرایط واقعی‌تر تجزیه و تحلیل می‌شود و نتایج شبیه‌سازی‌ها نیز به واقعیت نزدیک‌تر هستند.

### ۵- الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات عدد صحیح

#### ۵-۱ الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات (PSO)

روش PSO یک روش سراسری بهینه‌سازی است که می‌تواند برای حل مسائلی که جواب آنها یک نقطه یا سطح در فضای  $n$  بعدی باشد به کار رود. در اینچنین فضایی فرضیاتی مطرح می‌شود و یک سرعت ابتدایی به ذرات اختصاص داده می‌شود و همچنین کانال‌های ارتباطی بین ذرات در نظر گرفته می‌شود. سپس این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند و نتایج حاصل بر مبنای یک «ملاک شایستگی» پس از هر بازه زمانی محاسبه می‌شود. با گذشت زمان، ذرات به سمت ذراتی که دارای ملاک شایستگی بالاتری هستند و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند شتاب می‌گیرند. مزیت اصلی این روش بر استراتژی‌های بهینه‌سازی دیگر این است که تعداد فراوان ذرات ازدحام‌کننده، باعث انعطاف روش در برابر مشکل پاسخ بهینه محلی می‌گردد. موقعیت  $i$  امین ذره در زمان  $t$  ام را با  $x_i(t)$  و سرعت آن را با  $v_i(t)$  مشخص می‌نمایند. با افزودن سرعت به موقعیت هر ذره می‌توان موقعیت جدیدی برای ذره در نظر گرفت. معادله به روز نمودن موقعیت ذره در معادله زیر آورده شده است

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1), \quad x_i(t) \in [x_{min}, x_{max}] \quad (19)$$

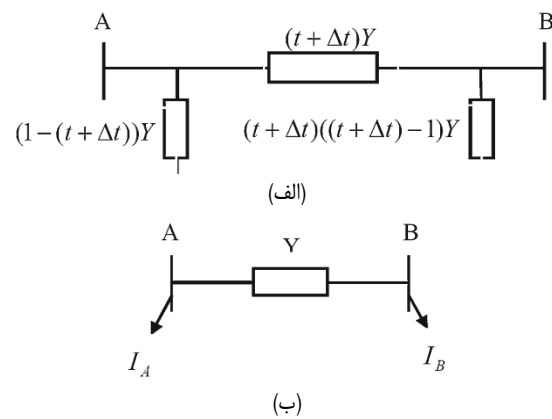
به بهترین تجربه فردی یک ذره یا بهترین موقعیت ملاقات شده توسط ذره  $x_{pbi}$  گفته می‌شود. ذرات می‌توانند از بهترین موقعیت ملاقات شده توسط کل گروه نیز آگاهی داشته باشند که این موقعیت  $x_g$  نامیده می‌شود. هر ذره برای حرکت در فضای جستجو دو مؤلفه را مد نظر دارد: نخست بهترین راه حلی است که یک ذره به تنهایی به دست می‌آورد  $(x_{pbi} - x_i(t))$  و دوم بهترین راه حلی است که توسط کل گروه تشخیص داده می‌شود  $(x_g - x_i(t))$ . محاسبه بردار سرعت در PSO بر اساس این دو مؤلفه به صورت زیر است

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1r_1(x_{pbi} - x_i(t)) + c_2r_2(x_g - x_i(t)) \quad (20)$$

که در آن  $w$  وزن اینرسی است، توسط کاربر انتخاب می‌شود و در این مقاله مقدار آن برابر ۰/۸ در نظر گرفته شده است. ثابت‌های  $C_1$  و  $C_2$  به فاکتورهای یادگیری معروفند و از آنها برای کم و زیاد کردن تأثیر مؤلفه شناختی و اجتماعی در رابطه به روز آوری سرعت استفاده می‌شوند. در این مقاله مقادیر این عدد ۲ فرض شده است.  $r_1$  و  $r_2$  اعدادی تصادفی در بازه صفر و یک می‌باشند و پارامترهای این الگوریتم بر اساس [۴۴] انتخاب شده‌اند.

#### ۵-۲ PSO عدد صحیح (IPSO)

وقتی راه حل‌های عدد صحیح (نه ضرورتاً ۰ یا ۱) نیاز هستند راه حل مطلوب می‌تواند با گردکردن مقادیر مطلوب تا نزدیک‌ترین عدد صحیح تعیین شود. معادلات (۱۹) و (۲۰) که برای یک فضای اعداد حقیقی



شکل ۳: تغییرات تپ اتوبوستر [۲۸].

مدل  $\pi$  ترانس و اضافه کردن جریان‌های تزریقی ساختگی  $I_M$  و  $I_N$  (شکل ۲-ب) نیز می‌توان تغییرات موقعیت تپ ترانس را شبیه‌سازی نمود. روابط زیر به گونه‌ای محاسبه شده‌اند که ولتاژها و جریان‌های شکل ۳ یکسان باشند

$$I_M = (1 - (t + \Delta t)) \times Y \times V_N \quad (15)$$

$$I_N = (1 - (t + \Delta t)) \times Y \times V_M + ((t + \Delta t)^t - 1) \times Y \times V_N \quad (16)$$

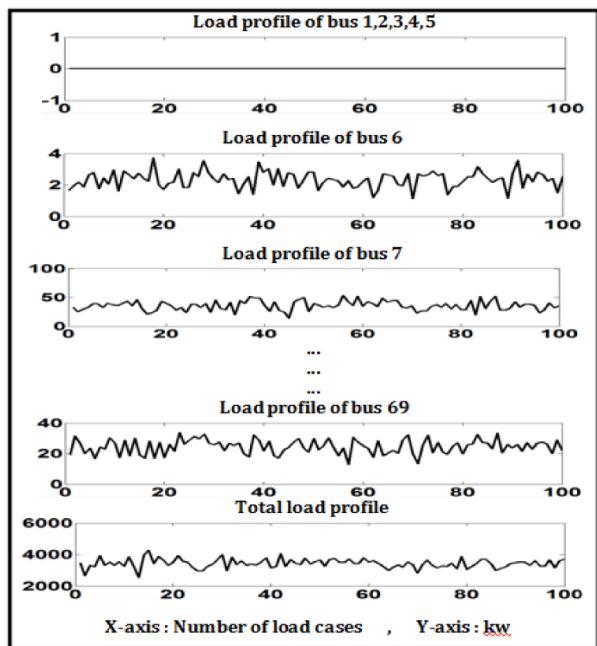
### ۴- محاسبه سطوح بار

در شبکه‌های توزیع، بارها متغیر هستند و بنابراین مدل‌سازی دقیق آنها غیر ممکن است. جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل اطلاعات بارها برای کل شبکه بسیار پرهزینه و تقریباً غیر ممکن است و بنابراین می‌توان از روش‌های ریاضی برای مدل‌نمودن بارها در سیستم‌های توزیع استفاده کرد [۴۲]. به همین دلیل، تغییرات بار می‌تواند با استفاده از سری‌های عددی تولیدشده به صورت تصادفی در یک محدوده مناسب در تحلیل پخش بار در نظر گرفته شود [۴۳]. در این مقاله، معادلات زیر به منظور در نظر گرفتن تغییرات بار برای هر شین بار مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۳۶]

$$P_{load}^i = P_{mean}^i + P_{mean}^i \times \alpha \times random(z) \quad (17)$$

$$P_{load}^{total} = \sum_{i=1}^{N_{bus}} P_{load}^i \quad (18)$$

که در اینجا  $P_{load}^i$  بار تولیدشده تصادفی برای شین  $i$  ام،  $P_{mean}^i$  مقدار بار پایه شبکه توزیع برای شین  $i$  ام و  $P_{load}^{total}$  نیز مجموع بار همه شین‌های سیستم در هر حالت بار هستند.  $N_{bus}$  تعداد شین‌ها و  $\alpha$  نیز ضریب انحراف است که برای محاسبه پروفیل بار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۰]. تابع random یک بردار تصادفی با طول  $Z$  که همان تعداد حالت‌های بار است تولید می‌کند. این تابع، اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه  $-1$  و  $+1$  تولید می‌کند. روش پیشنهادی برای محاسبه سطوح بار با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار در ادامه معرفی شده است. پروفیل بار برای هر شین بار سیستم مورد مطالعه با استفاده از (۱۷) و (۱۸) محاسبه می‌شود. این پروفیل بار شامل  $Z$  حالت بار می‌باشد که در هر کدام از این حالات بار، مقداری تصادفی به عنوان بار به هر شین نسبت داده می‌شود. به این صورت عدم قطعیت بار شبکه در شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته می‌شود. به منظور مقاوم‌نمودن وضعیت کلیدها در موضوع بازآرایی و همچنین مقاوم‌نمودن مکان و تپ اتوبوسترها در برابر تغییرات بار شبکه،  $N$  سطح بار مختلف به صورت هم‌زمان در تابع هدف در نظر



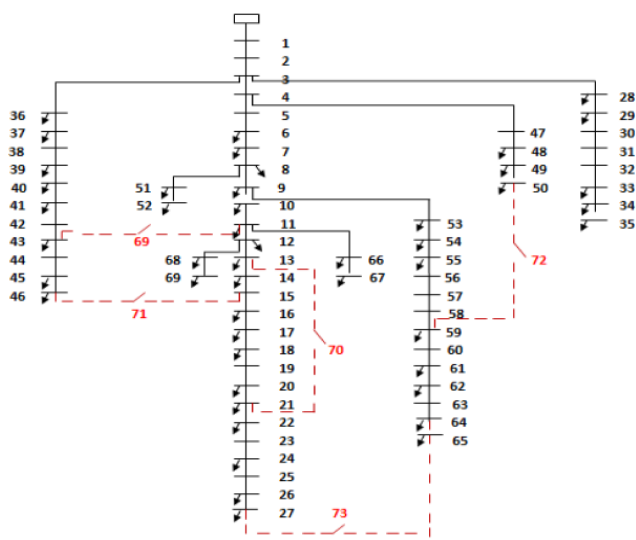
شکل ۵: پروفیل بار شین های سیستم توزیع ۶۹ شینه.

جدول ۴: سطوح بار انتخاب شده از پروفیل بار مجموع.

حالت بار	مقدار (kw)	Max	سطح بار
۱۵	۴۲۷۴٫۴	Max	سطح بار ۱
۴۲	۴۰۶۰٫۵	Max * ۰٫۹۵	سطح بار ۲
۳۲	۳۸۴۱٫۸۳	Max * ۰٫۹	سطح بار ۳
۶۱	۳۶۳۰٫۳۷	Max * ۰٫۸۵	سطح بار ۴
$P_{mean}$	۳۰۸۲	بار پایه	سطح بار ۵

تولید می شود که در هر کدام از این حالت ها، مقدار بار هر کدام از شین های سیستم مشخص است و از مجموع این حالات بار، پروفیل بار مجموع محاسبه می شود. در اینجا پنج سطح بار از پروفیل بار مجموع برای محاسبه تابع هدف انتخاب شده است ( $N = 5$ ) که در جدول ۴ ارائه شده اند. این جدول نشان می دهد که پروفیل بار مجموع شبکه در حالت بار ۱۵ بیشینه (Max) می گردد. سطوح بار ۲، ۳ و ۴ نیز به ترتیب ۰٫۹۵، ۰٫۹ و ۰٫۸۵ این مقدار بیشینه در نظر گرفته شده اند. از آنجایی که این حالت های بار به صورت گسسته هستند نزدیک ترین حالت های بار به این مقادیر در بین این ۱۰۰ حالت بار به ترتیب حالت های ۴۲، ۳۲ و ۶۱ انتخاب شده اند. سطح بار ۵ نیز همان مقدار بار پایه سیستم توزیع در نظر گرفته شده است.

**سناریوی ۱:** در جدول ۵ نتایج شبیه سازی این سناریو ارائه شده است. در این جدول تلفات توان اکتیو، تلفات توان راکتیو، میانگین ولتاژ شین ها، میانگین نرخ عدم قابلیت اطمینان سیستم، شاخص پایداری ولتاژ و شاخص ظرفیت بارگذاری خطوط در ۵ مدل بار مختلف مشخص شده اند. به عنوان مثال در مدل بار مختلط، تلفات توان اکتیو و راکتیو به ترتیب برابر ۱۶۲٫۵۴۴۲ کیلووات و ۷۵٫۳۷۳۷ کیلووات خواهد بود و در این حالت میانگین ولتاژ شین های سیستم نیز ۰٫۹۷۶۷ پرئوئیت است. در این سناریو میانگین نرخ عدم قابلیت اطمینان سیستم در همه مدل های بار تقریباً یکسان و برابر با ۰٫۰۱۷۶۱ محاسبه شده است. این موضوع نشان می دهد که مدل بار تأثیری بر شاخص قابلیت اطمینان اجزای سیستم ندارد. در این مدل بار، شین ۶۵ با مقدار شاخص پایداری ولتاژ ۰٫۷۲۵۹ به عنوان ضعیف ترین شین سیستم از نظر پایداری ولتاژ معرفی شده است.



شکل ۴: دیاگرام تک خطی سیستم توزیع ۶۹ شینه IEEE.

جدول ۳: مقادیر ضرایب وزن های توابع هدف.

$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$k$
۰٫۱۵	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۱۰۰۰

توسعه یافته اند برای تعیین موقعیت جدید برای هر ذره به کار می رود. وقتی  $x_i(t) \in \mathbb{R}^n$  تعیین می شود مقدارش در  $d$  امین بعد تا نزدیک ترین مقدار عدد صحیح گرد می شود

$$x_{id}(t) = [x_{id}(t)], \quad d: 1 \rightarrow n \quad (21)$$

$$x_{id}(t) \in R \text{ and } x_{id}(t) \in Z$$

جزئیات این روش در [۴۴] ارائه شده است.

## ۶- نتایج شبیه سازی

روش ارائه شده در این مقاله بر روی سیستم های توزیع شعاعی ۶۹ و ۳۳ شینه استاندارد IEEE پیاده سازی شده و در جدول ۳ ضرایب وزنی توابع هدف استفاده شده برای سناریوهای مختلف آمده است.

### ۶-۱ سیستم توزیع ۶۹ شینه استاندارد IEEE

دیاگرام تک خطی این سیستم در شکل ۴ و اطلاعات این سیستم در [۲۳] ارائه شده اند. به منظور اثبات مؤثر بودن روش پیشنهادی، پنج سناریوی زیر مورد مطالعه قرار گرفته اند:

سناریوی ۱: حالت پایه (سیستم بدون بازآرایی و بدون نصب AVR)

سناریوی ۲: نصب بهینه دو دستگاه AVR بدون انجام بازآرایی

سناریوی ۳: بازآرایی بهینه سیستم توزیع بدون نصب AVR

سناریوی ۴: ابتدا بازآرایی بهینه سیستم و سپس نصب بهینه دو دستگاه AVR

سناریوی ۵: بازآرایی بهینه سیستم توزیع و نصب دو دستگاه AVR به طور هم زمان

در این مقاله همچنین نتایج شبیه سازی ها برای ۵ مدل بار مختلف (ثابت، صنعتی، تجاری، خانگی و مختلط) بررسی شده اند و اطلاعات مربوط به مدل بار مختلط در [۴۱] داده شده است. در شکل ۵ پروفیل بار برای هر شین بار سیستم توزیع آمده و در این تحقیق  $\alpha$  برابر ۱۰٪ و  $z$  برابر ۱۰۰ انتخاب شده است. با توجه به این شکل مشخص است که با استفاده از روشی که در بخش ۴ بیان شد، ۱۰۰ حالت بار برای هر شین

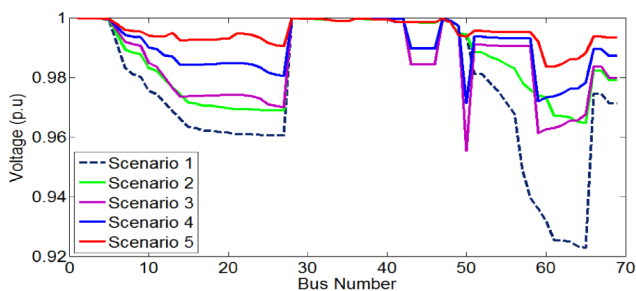
جدول ۵: نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف در بار پایه برای سیستم توزیع ۶۹ شینه.

مختلط	خانگی	تجاری	صنعتی	ثابت	شاخص	-
۱۶۲,۵۴۴۲	۱۶۷,۱۷۳۷	۱۶۲,۱۱۹۸	۱۷۳,۴۱۷۷	۲۲۴,۹۳۸۹	تلفات توان حقیقی (kw)	سناریوی ۱
۷۵,۳۷۳۷	۷۷,۳۷۷۵	۷۵,۱۹۰۴	۸۰,۰۵۶۵	۱۰۲,۱۳۷۴	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۷۶۷	۰,۹۷۶۴	۰,۹۷۶۸	۰,۹۷۵۹	۰,۹۷۳۴	میانگین ولتاژ شین‌ها	
۰,۰۰۱۷۶۱	۰,۰۰۱۷۶۱	۰,۰۰۱۷۶۱	۰,۰۰۱۷۶۱	۰,۰۰۱۷۶۱	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
-	-	-	-	-	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	
-	-	-	-	-	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۶۵)۰,۷۲۵۹	(۶۵)۰,۶۸۳۳	(۶۵)۰,۸۷۴۲	(۶۵)۰,۷۱۳۸	(۶۵)۰,۶۸۳۳	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۸۷۴۹	۰,۸۸۲۲	۰,۸۸۹۹	۰,۸۸۹۹	۰,۹۶۸۱	مقدار شاخص IC	
۰,۸۱۸۰	۰,۸۲۶۵	۰,۸۱۶۹	۰,۸۳۷۲	۰,۹۲۶۹	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	
۱۰۶,۲۴۶۰	۱۰۱,۷۱۴۴	۱۰۸,۳۷۶۵	۸۹,۸۷۶۷	۱۲۱,۲۳۳۷	تلفات توان حقیقی (kw)	سناریوی ۲
۵۰,۳۹۵۴	۴۸,۵۴۰۷	۵۱,۳۳۱۳	۴۳,۴۸۳۶	۵۶,۸۳۳۲	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۸۵۷	۰,۹۸۵۸	۰,۹۸۵۶	۰,۹۸۶۴	۰,۹۸۵۶	میانگین ولتاژ شین‌ها	
۰,۰۰۱۷۸۲	۰,۰۰۱۷۸۲	۰,۰۰۱۷۸۲	۰,۰۰۱۷۸۲	۰,۰۰۱۷۸۲	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
۳۴,۶۳٪	۳۹,۱۵٪	۳۳,۶۷٪	۴۸,۱۷٪	۴۶,۱٪	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	
۳۳,۱۳٪	۳۷,۲۶٪	۳۱,۷۴٪	۴۵,۶۸٪	۴۴,۳۵٪	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۶۵)۰,۸۶۶۴	(۶۵)۰,۸۷۳۴	(۶۵)۰,۸۶۸۸	(۶۵)۰,۸۷۹۰	(۶۵)۰,۸۷۳۵	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۷۰۳۱	۰,۶۶۹۹	۰,۷۰۸۱	۰,۶۷۳۸	۰,۷۲۳۳	مقدار شاخص IC	
۰,۶۸۳۵	۰,۶۸۶۸	۰,۶۸۹۵	۰,۶۴۴۵	۰,۷۲۰۰	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	
۳۴,۵۸۸۷	۳۴,۸۷۹۱	۳۵,۴۰۷۹	۳۵,۴۴۶۱	۴۰,۴۰۱۲	تلفات توان حقیقی (kw)	سناریوی ۳
۱۶,۸۴۳۵	۱۶,۹۷۸۴	۱۷,۲۴۶۰	۱۷,۲۷۲۰	۱۹,۵۱۰۶	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۸۵۶	۰,۹۸۵۶	۰,۹۸۵۶	۰,۹۸۵۵	۰,۹۸۴۷	میانگین ولتاژ شین‌ها	
۰,۰۰۱۳۶۷	۰,۰۰۱۳۶۷	۰,۰۰۱۳۶۷	۰,۰۰۱۳۶۷	۰,۰۰۱۳۶۷	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
۷۸,۷۲٪	۷۹,۱۳٪	۷۸,۱۵٪	۷۹,۵۶٪	۸۲,۰۳٪	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	
۷۷,۶۵٪	۷۸,۰۵٪	۷۷,۰۶٪	۷۸,۴۲٪	۸۰,۸۹٪	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۵۰)۰,۸۳۳۹	(۵۰)۰,۸۱۹۴	(۵۰)۰,۸۳۱۱	(۵۰)۰,۸۲۹۳	(۵۰)۰,۸۱۹۴	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۴۴۰۱	۰,۴۴۱۱	۰,۴۴۴۸	۰,۴۴۴۸	۰,۴۵۹۹	مقدار شاخص IC	
۰,۴۰۳۶	۰,۴۰۵۰	۰,۴۰۷۹	۰,۴۰۷۹	۰,۴۲۹۹	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	
۲۹,۲۲۷۷	۲۶,۱۹۹۰	۲۷,۳۲۴۴	۲۷,۳۲۴۴	۲۷,۶۵۳۰	تلفات توان حقیقی (kw)	سناریوی ۴
۱۸,۹۲۹۵	۱۳,۶۵۴۵	۱۳,۸۳۱۴	۱۳,۸۳۱۴	۱۴,۰۹۵۸	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۹۰۶	۰,۹۸۹۸	۰,۹۹۰۱	۰,۹۹۰۱	۰,۹۹۰۱	میانگین ولتاژ شین‌ها	
۰,۰۰۱۳۹۲	۰,۰۰۱۳۹۲	۰,۰۰۱۳۹۲	۰,۰۰۱۳۹۲	۰,۰۰۱۳۹۲	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
۸۲,۰۱٪	۸۴,۳۲٪	۸۳,۱۴٪	۸۴,۴۷٪	۸۷,۷۰٪	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	
۷۴,۸۸٪	۸۲,۳۵٪	۸۱,۶۰٪	۸۲,۷۲٪	۸۶,۱۹٪	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۵۰)۰,۸۹۱۰	(۵۰)۰,۸۸۴۳	(۵۰)۰,۸۹۳۴	(۵۰)۰,۸۹۳۴	(۵۰)۰,۸۸۴۶	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۳۹۴۶	۰,۳۹۳۷	۰,۴۲۳۵	۰,۴۲۳۵	۰,۴۲۴۶	مقدار شاخص IC	
۰,۳۶۳۳	۰,۳۸۴۵	۰,۳۸۴۹	۰,۳۸۴۹	۰,۳۸۵۳	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	
۲۴,۳۳۳۶	۲۱,۶۱۴۶	۲۱,۱۲۰۳	۲۵,۴۶۷۴	۲۴,۹۰۸۵	تلفات توان حقیقی (kw)	سناریوی ۵
۱۲,۴۷۰۱	۱۰,۷۲۹۰	۱۰,۴۱۸۱	۱۱,۹۷۹۲	۱۱,۴۶۴۴	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۹۵۳	۰,۹۹۳۰	۰,۹۹۶۷	۰,۹۹۴۸	۰,۹۹۷۹	میانگین ولتاژ شین‌ها	
۰,۰۰۱۴۸	۰,۰۰۱۴۸	۰,۰۰۱۴۸	۰,۰۰۱۴۸	۰,۰۰۱۴۸	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
۸۵,۰۲٪	۸۷,۰۷٪	۸۶,۹۷٪	۸۵,۳۱٪	۸۸,۹۲٪	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	
۸۳,۴۵٪	۸۶,۱۳٪	۸۶,۱۴٪	۸۵,۰۳٪	۸۸,۷۷٪	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۵۰)۰,۹۳۶۳	(۵۰)۰,۹۵۷۲	(۵۰)۰,۹۴۶۳	(۵۰)۰,۹۲۸۱	(۵۰)۰,۹۵۷۲	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۴۶۵۴	۰,۴۰۵۱	۰,۴۳۹۶	۰,۴۲۴۸	۰,۴۳۶۵	مقدار شاخص IC	
۰,۳۹۵۶	۰,۳۷۷۰	۰,۳۶۱۳	۰,۳۸۲۵	۰,۳۸۴۵	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	

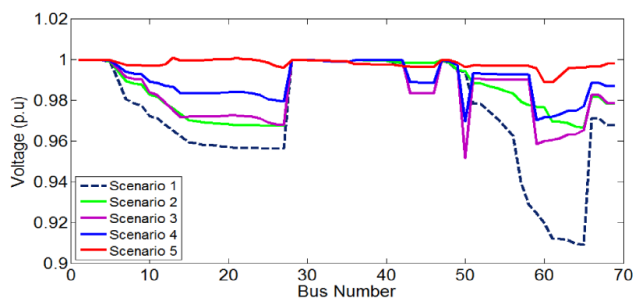
پایه تحت عنوان سناریوی ۱ در مدل‌های بار مختلف در شکل‌های ۶ تا ۱۰ نشان داده شده است.

سناریوی ۲: در این تحقیق محدوده تپ اتوبوستر، ۱/۰۵-۰/۹۷ و گام

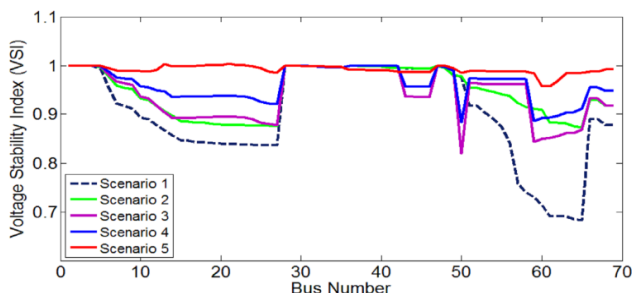
همچنین با توجه به این جدول مشخص است که شاخص ظرفیت بارگذاری خط برابر ۰/۸۷۴۹ و میانگین بارگذاری بر روی خطوط شبکه برابر ۰/۸۱۸۰ مگاوات‌آمپر تعیین شده است. پروفیل ولتاژ سیستم حالت



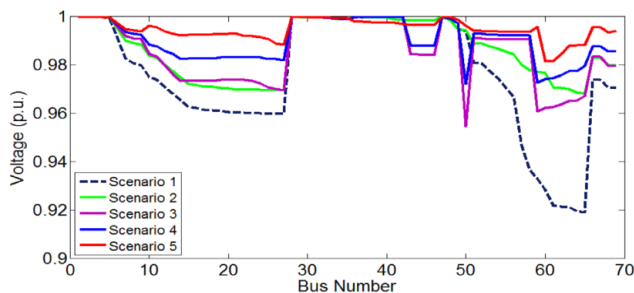
شکل ۱۰: پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۶۹ ششینه در مدل بار مختلط.



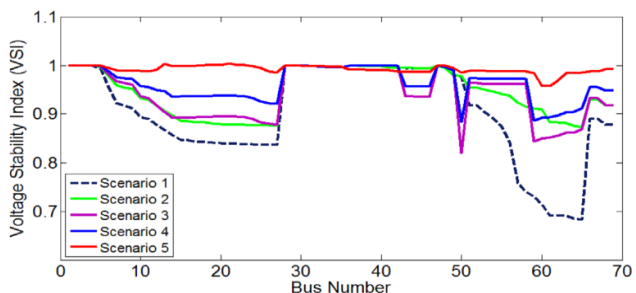
شکل ۶: پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۶۹ ششینه در مدل بار ثابت.



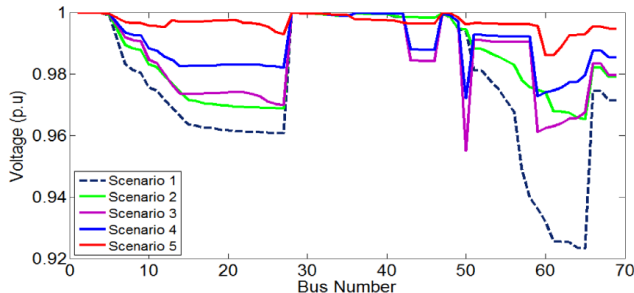
شکل ۱۱: شاخص VSI سیستم توزیع ۶۹ ششینه در مدل بار ثابت.



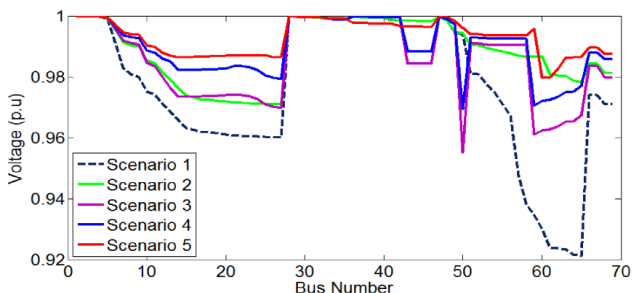
شکل ۷: پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۶۹ ششینه در مدل بار صنعتی.



شکل ۱۲: شاخص IC سیستم توزیع ۶۹ ششینه در مدل بار ثابت.



شکل ۸: پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۶۹ ششینه در مدل بار تجاری.



شکل ۹: پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۶۹ ششینه در مدل بار خانگی.

مشخص است که نصب اتوبوسترها در سیستم توزیع نمونه، سبب کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ سیستم توزیع می‌گردد. به عنوان مثال در حالتی که همه بارها ثابت فرض شوند با نصب اتوبوستر در شبکه، تلفات توان اکتیو و راکتیو نسبت به سیستم حالت پایه به ترتیب ۴۶/۱۰٪ و ۴۴/۳۵٪ کاهش می‌یابند. در این حالت میانگین ولتاژ شین‌های سیستم توزیع نیز از ۰/۹۷۳۴ پرینویت در سیستم حالت پایه به ۰/۹۸۵۶ پرینویت افزایش می‌یابد که این موضوع همان گونه که در شکل ۶ نیز قابل مشاهده می‌باشد بیانگر بهبود پروفیل ولتاژ سیستم توزیع است. با توجه به اطلاعات این جدول مشخص است که در سایر مدل‌های بار نیز نصب اتوبوستر تأثیر چشم‌گیری بر بهبود عملکرد سیستم دارد. همان طور که مشخص است میانگین نرخ عدم اطمینان سیستم در این سناریو نسبت به سیستم حالت پایه به میزان ناچیزی افزایش یافته که قابل چشم‌پوشی می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که نصب اتوبوستر در سیستم تأثیر چندانی بر بهبود قابلیت اطمینان اجزای سیستم ندارد. نتایج شبیه‌سازی شاخص‌های پایداری ولتاژ و ظرفیت بارگذاری خطوط سیستم مورد بحث نیز در جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشند. با توجه به این نتایج مشخص است که نصب اتوبوستر در سیستم در همه مدل‌های بار سبب بهبود چشم‌گیر شاخص پایداری ولتاژ و در نتیجه افزایش حاشیه پایداری سیستم شده و این موضوع در شکل ۱۱ نیز به وضوح قابل مشاهده است. با توجه به این جدول و شکل ۱۲ مشخص است که این سناریو سبب کاهش توان عبوری از خطوط نسبت به حالت پایه می‌گردد و در نتیجه باعث بهبود شاخص ظرفیت بارگذاری خطوط می‌شود.

هر تپ ۰/۱۰۰۱ در نظر گرفته شده است. تعداد ذرات الگوریتم IPSO در این سناریو برابر ۵۰ ذره و حداکثر تکرار الگوریتم ۲۰۰ مرتبه انتخاب شده است. در جدول ۶ مکان و تپ بهینه محاسبه شده برای دو اتوبوستر در همه مدل‌های بار ارائه شده است. با توجه به این نتایج مشخص است که بهینه‌ترین مکان برای نصب دو دستگاه اتوبوستر در همه مدل‌های بار، شاخه‌های ۵۸ و ۵۹ سیستم توزیع می‌باشند. با توجه به پروفیل ولتاژ این سیستم در حالت پایه مشخص است که افت ولتاژ شدیدی در شین‌های ۵۸ به بعد رخ داده و این موضوع صحت عملکرد الگوریتم را در تشخیص مکان مناسب برای نصب اتوبوسترها نشان می‌دهد. همچنین با توجه به این جدول مشخص است که مدل بار بر روی تپ بهینه اتوبوسترها تأثیرگذار است. نتایج شبیه‌سازی این سناریو در مدل‌های بار مختلف نیز در جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به اطلاعات این جدول

جدول ۶: کلیدهای باز، مکان و تپ بهینه اتوبوسترها در حالت مقاوم برای سیستم توزیع ۶۹کشیته.

		کلیدهای باز	مکان و تپ AVR اول	مکان و تپ AVR دوم		
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۰۰	۵۹	۰,۹۹۵۰
ثابت	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۱۱	۱,۰۰۰۰	۱۲	۰,۹۹۶۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۱۹	۱,۹۹۹۰	۶۴	۱,۰۰۱۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۰۰	۵۹	۰,۹۹۶۰
صنعتی	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۲۴	۱,۰۰۱۰	۲۵	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۹	۰,۹۹۳۰	۶۵	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۰۰	۵۹	۰,۹۹۶۰
تجاری	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۲۴	۱,۰۰۱۰	۲۵	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۱۱	۰,۰۰۱۰	۱۲	۰,۹۹۶۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۰۰	۵۹	۰,۹۹۶۰
خانگی	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۱۹	۱,۰۰۱۰	۴۹	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۲۴	۱,۰۰۱۰	۲۵	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۱۰	۵۹	۰,۹۹۶۰
مختلط	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۱۱	۱,۰۰۱۰	۱۲	۰,۹۹۶۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۴۹ و ۵۸ و ۷۱	۱۹	۱,۰۰۲۰	۴۸	۱,۰۰۰۰

اطمینان سیستم توزیع می‌گردد. با توجه به این جدول مشخص است که بازآرایی بهینه سیستم توزیع بر بهبود شاخص پایداری ولتاژ تأثیرگذار است. به طور مثال در مدل بار تجاری، شاخص پایداری ولتاژ شبکه از ۰,۷۲۶۷ به ۰,۸۳۱۱ رسیده و این یعنی حاشیه پایداری سیستم افزایش یافته است. همچنین شاخص ظرفیت بارگذاری سیستم از ۰,۸۷۴۲ در سیستم حالت پایه به ۰,۴۴۴۸ در این سناریو رسیده که این نشان می‌دهد بازآرایی شبکه باعث کاهش ظرفیت مورد استفاده خطوط و در نتیجه کاهش استرس بارگذاری می‌گردد.

**سناریوی ۴:** در این سناریو ابتدا بازآرایی بهینه سیستم توزیع، انجام و سپس به طور جداگانه مکان و تپ بهینه دو اتوبوستر (AVR) محاسبه می‌شود. در این حالت بازآرایی سیستم مشابه سناریوی ۳ می‌باشد. در جدول ۶ نتایج مکان‌یابی بهینه دو دستگاه اتوبوستر (AVR) بر روی سیستم بازآرایی شده ارائه گردیده است. بر اساس این نتایج مشخص است که مدل بار بر روی مکان و تپ بهینه اتوبوسترها تأثیرگذار است زیرا در مدل‌های بار مختلف، مکان و تپ اتوبوستر تغییر می‌کند. نتایج شبیه‌سازی این سناریو در جدول ۵ بیان شده‌اند. با توجه به نتایج این جدول مشخص است که نصب اتوبوستر بر روی سیستم بازآرایی شده سبب کاهش بیشتر تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ سیستم توزیع می‌شود. به عنوان مثال در حالتی که همه بارها خانگی باشند، تلفات توان اکتیو و راکتیو نسبت به سیستم حالت پایه به ترتیب ۸۴/۳۲٪ و ۸۲/۳۵٪ کاهش می‌یابد. در این حالت میانگین ولتاژ شین‌های سیستم توزیع نیز همان گونه که در شکل ۹ قابل مشاهده است افزایش یافته و به ۰,۹۸۹۸ پربونیت می‌رسد. همچنین

**سناریوی ۳:** برای دستیابی به ساختار بهینه شبکه توزیع مورد بحث، ۱۸ کلید در شبکه قرار داده شده است. شاخه‌های ۷۳، ۴۵، ۴۹، ۵۸، ۵۹، ۶۴، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۲۰، ۲۲، ۲۶ و ۴۲ شاخه‌هایی هستند که در سناریوهای ۳، ۴ و ۵ به عنوان کلید در نظر گرفته شده‌اند. در آرایش اولیه که برای IPSO در نظر گرفته می‌شود، کلیدهای ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۲۰، ۲۲، ۲۶، ۴۲، ۴۵، ۴۹، ۵۸، ۵۹، ۶۴ بسته و کلیدهای ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲ و ۷۳ باز هستند یعنی ساختار شبکه اصلی به عنوان آرایش اولیه انتخاب شده است. در این سناریو الگوریتم IPSO به صورت زیر تنظیم شده است: تعداد ذرات = ۱۶۰، ذره، حداکثر تکرار = ۲۰۰، تعداد پارامترهای مجهول = ۵ و دامنه هر کدام از آنها = ۱۸ شاخه می‌باشد. پاسخ به دست آمده نشان می‌دهد که در بهینه‌ترین حالت بایستی کلیدهای ۱۳، ۴۲، ۴۹، ۵۸ و ۷۱ باز و سایر کلیدها بسته باشند.

در جدول ۵ نتایج شبیه‌سازی این سناریو ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول مشخص است که بازآرایی بهینه سیستم توزیع در همه مدل‌های بار سبب بهبود شاخص‌های مطرح شده در این تحقیق می‌گردد. به عنوان مثال در مدل بار تجاری، تلفات توان حقیقی و واکنشی نسبت به سیستم حالت پایه به ترتیب ۷۸/۱۵٪ و ۷۷/۰۶٪ کاهش یافته است. در این حالت میانگین ولتاژ شین‌های سیستم نیز افزایش یافته و به ۰,۹۸۵۶ پربونیت می‌رسد که این موضوع در شکل ۸ نیز به وضوح قابل مشاهده است. میانگین نرخ عدم قابلیت اطمینان سیستم از ۰,۰۰۱۷۶۱ در سیستم حالت پایه به ۰,۰۰۱۳۶۷ در این سناریو کاهش یافته و این موضوع نشان می‌دهد که بازآرایی بهینه سیستم توزیع سبب بهبود چشم‌گیر قابلیت



جدول ۷: کلیدهای باز، مکان و تپ بهینه اتوبوس‌تراها برای سطح بار  $P_{mean}$  در سیستم توزیع ۶۹ شینه (حالت غیر مقاوم).

		کلیدهای باز	مکان و تپ AVR اول	مکان و تپ AVR دوم		
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۱۰	۵۹	۰,۹۹۵۰
ثابت	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۱۹	۱,۰۰۱۰	۲۴	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۵۸	۰,۹۹۸۰	۵۹	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۱۰	۵۹	۰,۹۹۶۰
صنعتی	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۱۱	۰,۹۹۸۰	۶۵	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۶	۰,۹۹۹۰	۹	۰,۹۹۸۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۱۰	۵۹	۰,۹۹۶۰
تجاری	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۱۹	۱,۰۰۱۰	۴۲	۱,۰۰۰۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۵۸	۰,۹۹۸۰	۵۹	۰,۹۹۹۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۱۰	۵۹	۰,۹۹۶۰
خانگی	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۱۱	۰,۹۹۷۰	۴۲	۱,۰۰۰۰
	سناریوی ۵	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۲۹	۱,۰۰۰۰	۴۴	۱,۰۰۰۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۵۸	۱,۰۰۱۰	۵۹	۰,۹۹۶۰
مختلط	سناریوی ۳	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۱۳ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۱۹	۱,۰۰۱۰	۴۸	۱,۰۰۱۰
	سناریوی ۵	۲۰ و ۴۲ و ۵۸ و ۷۱ و ۷۲	۱۱	۱,۰۰۰۰	۱۲	۰,۹۹۷۰

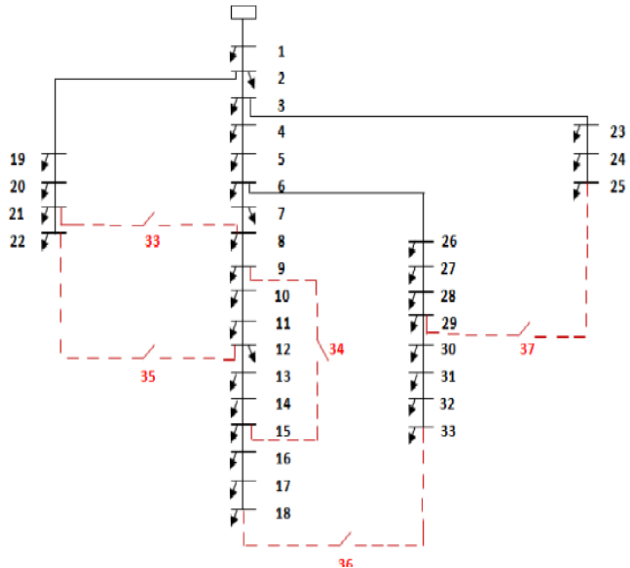
مشخص است که نصب اتوبوس‌ترا بر روی سیستم بازآرایی شده سبب بهبود قابل ملاحظه شاخص پایداری ولتاژ می‌شود. این سناریو همچنین سبب کاهش بیشتر توان عبوری از خطوط نسبت به سناریوهای ۲ و ۳ می‌گردد. سناریوی ۵: در جدول ۶ وضعیت کلیدها در موضوع بازآرایی و همچنین مکان و تپ بهینه دو دستگاه اتوبوس‌ترا که به صورت هم‌زمان محاسبه شده‌اند مشخص گردیده است. با توجه به نتایج این جدول مشخص است در حالتی که این دو موضوع یعنی بازآرایی سیستم توزیع و مکان‌یابی اتوبوس‌تراها به طور هم‌زمان بهینه شوند، نسبت به سناریوی ۴ که به طور جداگانه بررسی شده‌اند، هم‌آرایش سیستم توزیع و هم مکان و تپ بهینه اتوبوس‌تراها تغییر می‌کند. این جدول همچنین نشان می‌دهد که مدل بار نیز بر آرایش کلیدها و همچنین مکان و تپ بهینه اتوبوس‌تراها تأثیرگذار است. در جدول ۵ نتایج شبیه‌سازی این سناریو ارائه شده است.

مشخص است که این دو موضوع یعنی بازآرایی سیستم توزیع و مکان‌یابی اتوبوس‌تراها به طور هم‌زمان بهینه شوند، نسبت به سناریوی ۴ که به طور جداگانه بررسی شده‌اند، هم‌آرایش سیستم توزیع و هم مکان و تپ بهینه اتوبوس‌تراها تغییر می‌کند. این جدول همچنین نشان می‌دهد که مدل بار نیز بر آرایش کلیدها و همچنین مکان و تپ بهینه اتوبوس‌تراها تأثیرگذار است. در جدول ۵ نتایج شبیه‌سازی این سناریو ارائه شده است. به طور مثال در بار مختلط، تلفات توان اکتیو و راکتیو نسبت به سیستم حالت پایه به ترتیب ۸۵/۰۲٪ و ۸۳/۴۵٪ کاهش می‌یابند که این مقادیر در سناریوی ۴ به ترتیب ۸۲/۰۱٪ و ۷۴/۸۸٪ می‌باشند و این موضوع خود بیانگر عملکرد بهتر روش مطرح‌شده در این تحقیق است. در این حالت میانگین ولتاژ شین‌های سیستم توزیع نیز افزایش یافته و به ۰,۹۹۵۳ پریونیت می‌رسد که این میزان در سناریوی ۴، ۰,۹۹۰۶ پریونیت است. این مقادیر نشان می‌دهند که بهینه‌سازی هم‌زمان این دو مسئله بر روی پروفیل ولتاژ سیستم نیز اثر چشم‌گیری دارد. در سایر مدل‌های بار نیز عملکرد بهتر این سناریو نسبت به سایر سناریوها به وضوح قابل مشاهده است. این سناریو تأثیر چشم‌گیرتری در بهبود شاخص پایداری ولتاژ

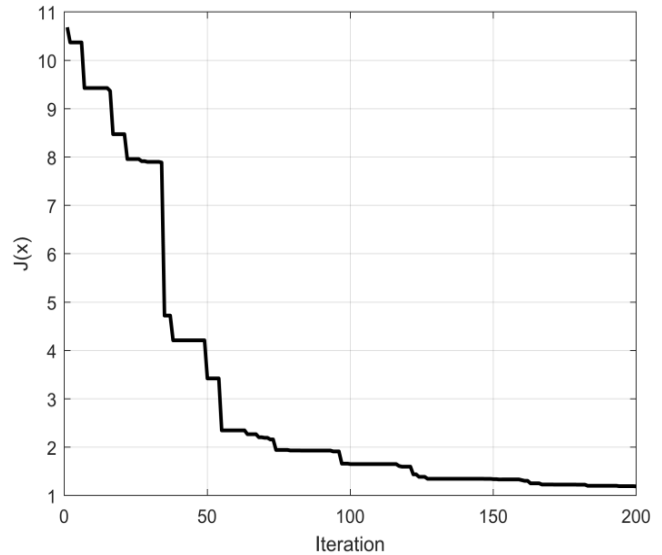
مشخص است که نصب اتوبوس‌ترا بر روی سیستم بازآرایی شده سبب بهبود قابل ملاحظه شاخص پایداری ولتاژ می‌شود. این سناریو همچنین سبب کاهش بیشتر توان عبوری از خطوط نسبت به سناریوهای ۲ و ۳ می‌گردد. سناریوی ۵: در جدول ۶ وضعیت کلیدها در موضوع بازآرایی و همچنین مکان و تپ بهینه دو دستگاه اتوبوس‌ترا که به صورت هم‌زمان محاسبه شده‌اند مشخص گردیده است. با توجه به نتایج این جدول مشخص است در حالتی که این دو موضوع یعنی بازآرایی سیستم توزیع و مکان‌یابی اتوبوس‌تراها به طور هم‌زمان بهینه شوند، نسبت به سناریوی ۴ که به طور جداگانه بررسی شده‌اند، هم‌آرایش سیستم توزیع و هم مکان و تپ بهینه اتوبوس‌تراها تغییر می‌کند. این جدول همچنین نشان می‌دهد که مدل بار نیز بر آرایش کلیدها و همچنین مکان و تپ بهینه اتوبوس‌تراها تأثیرگذار است. در جدول ۵ نتایج شبیه‌سازی این سناریو ارائه شده است.

با توجه به مقادیر میانگین ظرفیت بارگذاری خط مشخص است که سناریوی ۵ بهترین عملکرد را بین همه سناریوها در کاهش استرس خطوط سیستم توزیع دارد. به عنوان مثال مقدار میانگین بارگذاری خطوط در سناریوهای ۱ تا ۵ برای مدل بار تجاری ۰,۸۱۶۹، ۰,۶۸۹۵، ۰,۴۰۷۹، ۰,۳۸۴۹ و ۰,۳۶۱۳ و برابر ترتیب به می‌باشد که این خود بیانگر عملکرد بهتر این رویکرد نسبت به بقیه سناریوها است. جهت نشان‌دادن مقاوم‌بودن نتایج در مقابل تغییرات بار، نتایج شبیه‌سازی با حالتی که فقط سطح بار پایه در تابع هدف منظور شده باشد مقایسه شده‌اند. نتایج برای فقط سطح بار پایه در جدول ۷ نشان داده شده‌اند. مقایسه نتایج این جدول با نتایج جدول ۶ (حالت مقاوم) نشان می‌دهد که در نظر گرفتن سطوح بار مختلف باعث تغییر وضعیت برخی از کلیدها و مکان و تپ اتوبوس‌تراها می‌شود.

جهت نشان‌دادن اثر روش پیشنهادی روی شاخص‌های مطرح‌شده، نتایج برای سطح بار حداکثر (Max) در دو حالت مقاوم و غیر مقاوم در جدول ۸ با همدیگر مقایسه شده‌اند. این جدول نشان می‌دهد که شاخص‌های مطرح‌شده در حالت مقاوم وضعیت مناسب‌تری دارند.



شکل ۱۴: دیاگرام تک خطی سیستم توزیع ۳۳ شینه IEEE.



شکل ۱۳: نمودار همگرایی IPSO در بهترین جواب از بین ۳۰ بار اجرا برای سناریوی ۵ در سیستم ۶۹ شینه.

جدول ۸: شاخص‌های مطرح شده در سناریوی ۵ در دو حالت مقاوم و غیر مقاوم برای سطح بار حداکثر (MAX).

		تلفات توان واقعی	تلفات توان واکنشی	میانگین ولتاژ شین‌ها	قابلیت اطمینان	IC شاخص	کمترین میزان شاخص VSI
حالت مقاوم	ثابت	۳۴,۲۲۸۷	۱۵,۱۴۵۴	۰.۹۹۴۱	۰.۰۰۱۴۸	۰.۵۳۰۶	۰.۹۵۳۶
	صنعتی	۳۳,۶۰۰۳	۱۵,۲۶۵۶	۰.۹۹۲۹	۰.۰۰۱۴۸	۰.۵۴۶۶	۰.۹۲۵۰
	تجاری	۲۹,۲۸۷۳	۱۳,۴۶۸۵	۰.۹۹۴۲	۰.۰۰۱۴۸	۰.۵۵۵۹	۰.۹۴۳۲
	خانگی	۳۰,۴۲۵۵	۱۴,۳۳۰۱	۰.۹۹۳۳	۰.۰۰۱۴۸	۰.۵۵۴۱	۰.۹۱۸۶
	مختلط	۳۰,۵۸۷۶	۱۵,۱۲۷۶	۰.۹۹۳۹	۰.۰۰۱۴۸	۰.۵۵۳۴	۰.۹۵۵۴
حالت پایه (غیر مقاوم)	ثابت	۴۰,۲۳۳۷	۱۹,۱۵۸۴	۰.۹۹۱۱	۰.۰۰۱۴۲	۰.۵۷۹۹	۰.۹۰۴۸
	صنعتی	۳۸,۶۵۹۸	۱۸,۲۶۶۴	۰.۹۹۱۹	۰.۰۰۱۴۲	۰.۵۸۷۱	۰.۹۱۱۴
	تجاری	۳۳,۲۱۸۲	۱۶,۲۲۱۳	۰.۹۹۲۸	۰.۰۰۱۴۲	۰.۵۹۰۳	۰.۹۰۳۸
	خانگی	۳۴,۲۱۵۲	۱۷,۱۲۸۱	۰.۹۹۲۷	۰.۰۰۱۴۲	۰.۵۶۴۷	۰.۹۰۲۸
	مختلط	۳۱,۵۹۲۳	۱۷,۸۰۲۵	۰.۹۹۲۱	۰.۰۰۱۳۷	۰.۵۵۲۲	۰.۹۱۳۷

جدول ۹: سطوح بار انتخاب شده از پروفیل بار مجموع.

حالت بار	مقدار (kw)	حالت بار
سطح بار ۱	Max ۲۷۸۷,۹	۹۰
سطح بار ۲	Max * ۰,۹۵ ۳۵۹۸,۵	۲۴
سطح بار ۳	Max * ۰,۹ ۳۴۰۹,۱	۶۵
سطح بار ۴	Max * ۰,۸۵ ۳۳۱۹,۱	۹۴
سطح بار ۵	بار پایه ۳۷۱۵	$P_{mean}$

نمودار همگرایی الگوریتم IPSO برای سناریوی ۵ و برای سیستم ۶۹ شینه در بهترین جواب پس از ۳۰ بار اجرا در شکل ۱۳ آمده است.

### ۶-۲ سیستم توزیع ۳۳ شینه استاندارد IEEE

دیاگرام تک خطی این سیستم در شکل ۱۴ نشان داده شده و اطلاعات این سیستم از [۴۱] گرفته شده‌اند. به منظور اثبات مؤثر بودن روش پیشنهادی، همان پنج سناریوی قبل نیز بر روی این سیستم مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در شکل ۱۵ پروفیل بار برای هر شین بار سیستم توزیع ۳۳ شینه با استفاده از روش پیشنهادی و با در نظر گرفتن  $\alpha$  برابر ۱۰ درصد و  $Z$  برابر ۱۰۰ نشان داده شده و در این سیستم نیز  $N = 5$  انتخاب گردیده است. سطوح بار انتخاب شده برای شبیه‌سازی این سیستم در جدول ۹

ارائه شده و در جدول ۱۰ نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف در مدل‌های بار ثابت، صنعتی، تجاری، خانگی و مختلط ارائه شده‌اند.

منحنی پروفیل ولتاژ، منحنی شاخص پایداری ولتاژ و همچنین منحنی شاخص ظرفیت بارگذاری خط برای مدل بار ثابت در همه سناریوها به ترتیب در شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ نشان داده شده‌اند. در این سیستم توزیع نیز همانند سیستم مورد مطالعه قبل، در سناریوی ۱ سیستم حالت پایه مورد بررسی قرار گرفته است. در سناریوی ۲ مکان و تپ بهینه دو دستگاه اتوبوسر بر روی سیستم حالت پایه محاسبه گردیده که نتایج آن در جدول ۱۱ نشان داده شده‌اند. با توجه به این جدول مشخص است که مدل بار بر نتایج تأثیرگذار است. جدول ۱۰ نشان می‌دهد که نصب اتوبوسر در شبکه توزیع سبب بهبود شاخص‌های تعریف شده در این تحقیق می‌شود. برای دستیابی به ساختار بهینه شبکه توزیع در سناریوی ۳، ۱۶ کلید در شبکه قرار داده شده است. شاخه‌های ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۷، ۲۴، ۲۸، ۲۹، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۳۷ شاخه‌هایی هستند که در سناریوهای

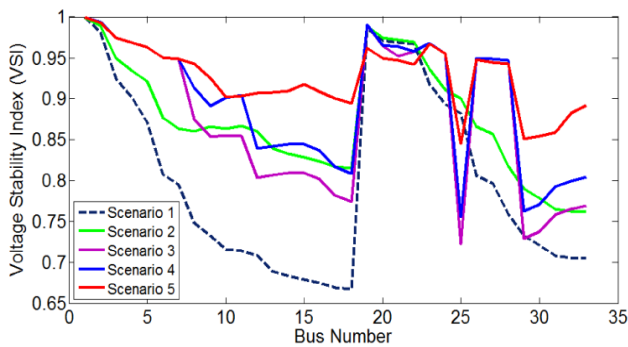
۳، ۴ و ۵ به عنوان کلید در نظر گرفته شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در بهینه‌ترین حالت بایستی کلیدهای ۷، ۱۱، ۲۴، ۲۸ و ۳۵ باز و سایر کلیدها بسته باشند. جدول ۱۰ نشان می‌دهد که بازآرایی بهینه سیستم توزیع تأثیر چشم‌گیری بر عملکرد سیستم دارد. نتایج شبیه‌سازی دو سناریوی ۴ و ۵ نیز در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۰: نتایج شبیه سازی سناریوهای مختلف در بار پایه برای سیستم توزیع ۳۳ شینه.

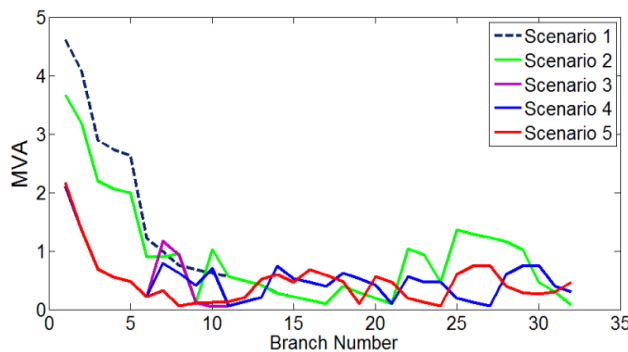
مختلط	خانگی	تجاری	صنعتی	ثابت	شاخص	-
۱۶۶,۳۸۹۷	۱۶۶,۱۴۶۶	۱۵۹,۶۳۷۲	۱۷۴,۵۶۰۹	۲۱۰,۸۳۰۱	تلفات توان حقیقی (kw)	سناریوی ۱
۱۱۲,۶۲۴۴	۱۱۲,۴۶۸۹	۱۰۷,۹۱۱۴	۱۱۸,۴۲۳۵	۱۴۳,۰۹۴۱	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۵۱۸	۰,۹۵۱۸	۰,۹۵۲۷	۰,۹۵۰۹	۰,۹۴۵۴	میانگین ولتاژ شین ها	
۰,۰۰۰۹۵۱	۰,۰۰۰۹۵۱	۰,۰۰۰۹۵۱	۰,۰۰۰۹۵۱	۰,۰۰۰۹۵۱	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
-	-	-	-	-	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	
-	-	-	-	-	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۱۸)۰,۷۰۲۹	(۱۸)۰,۷۰۳۱	(۱۸)۰,۷۰۹۲	(۱۸)۰,۶۹۶۶	(۱۸)۰,۶۶۷۶	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۸۳۷۳	۰,۸۳۶۵	۰,۸۲۲۶	۰,۸۵۳۸	۰,۹۱۳۱	مقدار شاخص IC	
۰,۹۴۳۴	۰,۹۴۷۵	۰,۹۲۹۴	۰,۹۶۶۱	۱,۰۵۸۲	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	
۱۱۳,۸۲۹۸	۱۱۷,۶۸۶۷	۱۲۵,۰۸۱۳	۱۱۰,۳۴۶۶	۱۴۵,۹۶۹۸	تلفات توان حقیقی (kw)	
۷۶,۹۸۴۲	۷۹,۸۱۸۲	۸۶,۶۸۰۹	۷۴,۷۱۴۰	۹۹,۹۰۳۱	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۶۸۹	۰,۹۶۸۹	۰,۹۷۳۱	۰,۹۶۹۵	۰,۹۶۶۶	میانگین ولتاژ شین ها	
۰,۰۰۰۹۶۳	۰,۰۰۰۹۶۳	۰,۰۰۰۹۶۳	۰,۰۰۰۹۶۳	۰,۰۰۰۹۶۳	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
۳۱,۵۸٪	۲۹,۱۶٪	۲۱,۶۴٪	۳۶,۷۸٪	۳۰,۷۶٪	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	سناریوی ۲
۳۱,۶۴٪	۲۹,۰۳٪	۱۹,۶۷٪	۳۶,۹۰٪	۳۰,۱۸٪	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۳۳)۰,۷۸۷۷	(۳۳)۰,۷۸۴۳	(۳۳)۰,۷۹۷۱	(۳۳)۰,۷۸۷۹	(۳۳)۰,۷۶۱۹	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۶۷۲۹	۰,۶۸۰۶	۰,۶۵۳۰	۰,۶۶۹۱	۰,۷۲۵۷	مقدار شاخص IC	
۰,۸۳۷۲	۰,۸۳۶۶	۰,۸۶۹۸	۰,۸۱۴۲	۰,۹۲۶۱	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	
۵۵,۰۸۴۹	۵۴,۴۲۹۱	۵۲,۳۳۰۱	۵۷,۲۷۶۸	۶۰,۸۴۶۰	تلفات توان حقیقی (kw)	
۴۷,۷۶۰۸	۴۷,۱۰۵۱	۴۵,۱۷۵۱	۴۹,۷۲۳۱	۵۳,۱۵۸۳	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۶۹۱	۰,۹۶۹۳	۰,۹۶۹۸	۰,۹۶۸۸	۰,۹۶۷۰	میانگین ولتاژ شین ها	
۰,۰۰۰۷۵	۰,۰۰۰۷۵	۰,۰۰۰۷۵	۰,۰۰۰۷۵	۰,۰۰۰۷۵	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
۶۶,۸۹٪	۶۷,۲۴٪	۶۷,۲۱٪	۶۷,۱۸٪	۷۱,۱۳٪	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	سناریوی ۳
۵۷,۵۹٪	۵۸,۱۱٪	۵۸,۱۳٪	۵۸,۰۱٪	۶۲,۸۵٪	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۲۵)۰,۷۴۴۳	(۲۵)۰,۷۴۴۷	(۲۵)۰,۷۴۹۰	(۲۵)۰,۷۴۱۱	(۲۵)۰,۷۲۲۸	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۴۱۰۷	۰,۴۱۱۳	۰,۴۰۹۱	۰,۴۱۳۸	۰,۴۱۷۴	مقدار شاخص IC	
۰,۴۹۷۸	۰,۴۹۵۴	۰,۴۸۸۴	۰,۵۰۵۸	۰,۵۱۹۹	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	
۴۴,۸۰۵۵	۴۲,۴۰۰۶	۴۱,۸۱۱۳	۴۲,۶۸۹۳	۴۹,۶۱۸۵	تلفات توان حقیقی (kw)	
۳۸,۰۶۰۹	۳۵,۵۴۷۵	۳۵,۰۲۰۹	۳۵,۷۸۲۴	۴۲,۱۵۴۶	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۷۱۶	۰,۹۷۴۳	۰,۹۷۴۶	۰,۹۷۴۲	۰,۹۷۲۴	میانگین ولتاژ شین ها	
۰,۰۰۰۷۷	۰,۰۰۰۷۷	۰,۰۰۰۷۷	۰,۰۰۰۷۷	۰,۰۰۰۷۷	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
۷۳,۰۷٪	۷۴,۴۸٪	۷۳,۸۰٪	۷۵,۵۴٪	۷۶,۴۶٪	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	سناریوی ۴
۶۶,۲۰٪	۶۸,۳۹٪	۶۷,۵۴٪	۶۹,۷۸٪	۷۰,۵۴٪	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۲۵)۰,۷۶۴۰	(۲۵)۰,۷۷۶۹	(۲۵)۰,۷۷۹۱	(۲۵)۰,۷۷۶۲	(۲۵)۰,۷۵۶۲	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۴۱۰۳	۰,۴۱۰۸	۰,۴۰۸۹	۰,۴۱۲۶	۰,۴۱۷۱	مقدار شاخص IC	
۰,۴۷۴۷	۰,۴۹۳۷	۰,۴۸۰۴	۰,۴۹۵۹	۰,۵۱۸۴	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	
۲۹,۴۶۰۵	۳۰,۴۱۵۴	۲۹,۷۵۲۳	۳۱,۷۵۴۳	۳۲,۵۶۶۰	تلفات توان حقیقی (kw)	
۲۴,۳۳۳۸	۲۵,۱۷۶۸	۲۵,۵۶۰۵	۲۶,۲۳۶۱	۲۶,۹۷۲۰	تلفات توان واکنشی (kvar)	
۰,۹۸۱۵	۰,۹۸۱۵	۰,۹۸۱۶	۰,۹۸۱۴	۰,۹۸۰۹	میانگین ولتاژ شین ها	
۰,۰۰۰۶۹	۰,۰۰۰۶۹	۰,۰۰۰۶۹	۰,۰۰۰۶۹	۰,۰۰۰۶۹	نرخ عدم قابلیت اطمینان	
۸۲,۲۹٪	۸۱,۶۹٪	۸۱,۳۶٪	۸۱,۸۰٪	۸۴,۵۵٪	درصد کاهش تلفات توان حقیقی	سناریوی ۵
۷۸,۳۹٪	۷۷,۶۱٪	۷۶,۳۱٪	۷۷,۸۴٪	۸۱,۱۵٪	درصد کاهش تلفات توان واکنشی	
(۲۵)۰,۸۵۲۷	(۲۵)۰,۸۵۲۶	(۲۵)۰,۸۴۵۹	(۲۵)۰,۸۵۱۸	(۲۵)۰,۸۴۵۷	کمترین مقدار شاخص VSI در شین	
۰,۴۲۳۲	۰,۴۲۴۰	۰,۴۱۱۹	۰,۴۲۶۸	۰,۴۲۹۸	مقدار شاخص IC	
۰,۴۵۲۹	۰,۴۵۹۴	۰,۴۵۳۲	۰,۴۶۷۶	۰,۴۷۳۹	مقدار بارگذاری خطوط (MVA)	

همزمان این دو موضوع نسبت به حالتی که این دو به طور مجزا در نظر گرفته شوند، در بهبود شاخص های مد نظر مؤثرتر است. در این جدول، نتایج شبیه سازی شاخص های پایداری ولتاژ و ظرفیت بارگذاری خطوط نیز

با توجه به جدول ۱۱ مشخص است که هم آرایش سیستم توزیع و هم مکان و تپ بهینه اتوبوسترها در سناریوی ۵ نسبت به سناریوی ۴ تغییر می کنند. با توجه به نتایج جدول ۱۰ مشخص است که بهینه سازی



شکل ۱۷: شاخص VSI سیستم توزیع ۳۳ شینه در مدل بار ثابت.

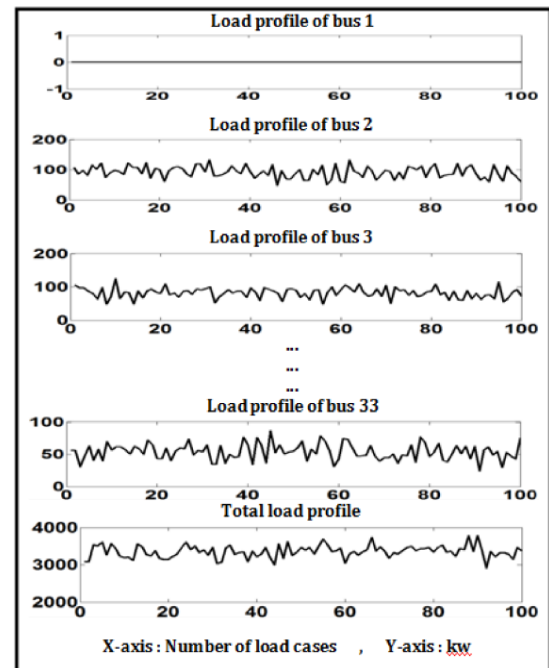


شکل ۱۸: شاخص IC سیستم توزیع ۳۳ شینه در مدل بار ثابت.

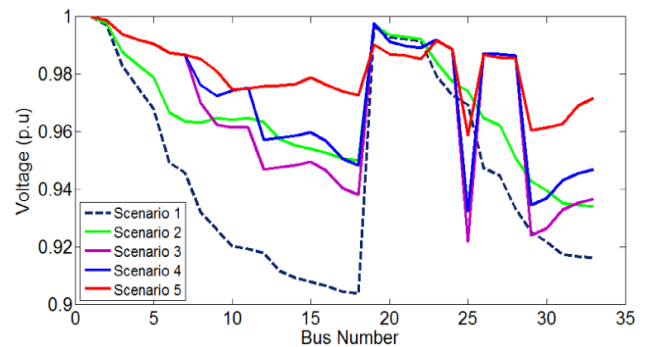
نظر گرفته شوند نسبت به حالتی که این دو موضوع به طور مجزا بهینه شوند، اثر مطلوب تری بر روی همه شاخص‌های مطرح شده دارد. در نظر گرفتن عدم قطعیت بار و همچنین مدل بار اثر چشم‌گیری بر روی آرایش بهینه کلیدها در موضوع بازآرایی و همچنین مکان و تپ بهینه اتوبوسترها دارد. همچنین نتایج نشان داد که اثر تغییرات بار روی نتایج در حالتی که متغیرها به صورت مقاوم بهینه شوند کمتر است.

## مراجع

- [1] Power System Outage Task Force, *Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations*, Canada, Apr. 2004.
- [2] R. Billinton and R. N. Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2nd Ed. New York: Plenum, 1996.
- [3] H. L. Willis, *Power Distribution Planning Reference Book*, 2nd Ed. New York: Marcel Dekkar, 2004.
- [4] J. B. Bunch and R. D. Miller, "Distribution system integrated voltage and reactive power control," *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 101, no. 2, pp. 284-289, Feb. 1984.
- [5] M. A. Kashem, "A novel method for loss reduction in distribution network," *IEEE Trans. on Power Del.*, vol. 1, no. 1, pp 4-7, Apr. 2000.
- [6] A. C. Gallardo, L. G. Santander, and J. E. Pezao, "Greedy reconfiguration algorithms for medium voltage distribution networks," *IEEE Trans. on Power Del.*, vol. 24, no. 1, pp. 328-337, Jan. 2009.
- [7] J. S. Savier and D. Das, "Loss allocation to consumers before and after reconfiguration of radial distribution networks," *Electric Power and Energy Sys.*, vol. 33, no. 3, pp. 540-549, Mar. 2011.
- [8] L. Oloveria, et al., "Optimal reconfiguration and capacitor allocation in radial distribution systems for energy losses minimization," *Electric Power and Energy Sys.*, vol. 32, no. 8, pp. 840-848, Oct. 2010.
- [9] S. P. Singh, G. S. Raju, and G. K. Roa, "A heuristic method for feeder reconfiguration and service restoration in distribution networks," *Electric Power and Energy Sys.*, vol. 31, no. 7, pp. 309-314, Sept. 2009.
- [10] J. Zhua, et al., "A rule based comprehensive approach for reconfiguration of electrical distribution network," *Electric Power Systems Research*, vol. 79, no. 2, pp. 311-315, Feb. 2009.



شکل ۱۵: پروفیل بار شین‌های سیستم توزیع ۳۳ شینه.



شکل ۱۶: پروفیل ولتاژ سیستم توزیع ۳۳ شینه در مدل بار ثابت.

ارائه شده است. با توجه به این جدول و شکل‌های ۱۷ و ۱۸ مشخص است که هم بازآرایی سیستم توزیع و هم نصب اتوبوستر می‌تواند تأثیر مطلوبی بر بهبود این شاخص‌ها داشته باشند. بیشترین تأثیر بر روی این شاخص در همه مدل‌های بار مربوط به سناریوی ۵ می‌باشد که این موضوع نشان‌دهنده عملکرد بهتر روش پیشنهادی در این مقاله نسبت به سایر سناریوهای مطرح شده است.

## ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، موضوع مکان‌یابی بهینه اتوبوسترها (AVRS) و بازآرایی شبکه‌های توزیع شعاعی نیروی برق به طور هم‌زمان به منظور بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، پروفیل ولتاژ، پایداری ولتاژ، ظرفیت بارگذاری (MVA) خطوط، تلفات توان اکتیو و تلفات توان راکتیو با در نظر گرفتن مدل بار و همچنین عدم قطعیت بار در نظر گرفته شده است. به منظور مقاوم‌نمودن نتایج شبیه‌سازی‌ها در مقابل تغییرات بار شبکه توزیع، سطوح بار مختلفی به طور هم‌زمان در تابع هدف معرفی شده در نظر گرفته شده است. یک روش جدید برای انتخاب سطوح بار با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار معرفی گردیده است. روش پیشنهادی بر روی دو شبکه توزیع نیروی برق شعاعی ۳۳ و ۶۹ شینه استاندارد IEEE پیاده‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در حالتی که دو موضوع بازآرایی شبکه‌های توزیع و تعیین مکان و تپ بهینه اتوبوسترها به طور هم‌زمان در

جدول ۱۱: کلیدهای باز، مکان و تپ بهینه اتوبسترها در حالت مقاوم برای سیستم توزیع ۳۳ شینه.

		کلیدهای باز	مکان و تپ AVR اول	مکان و تپ AVR دوم		
		-	-	-	-	-
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۹	۱۰	۱۰	۰.۹۹۹۰
ثابت	سناریوی ۳	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۹	۱۰	۱۰	۰.۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۷ و ۹ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۱۴	۱۰	۱۵	۰.۹۹۷۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۱۰	۱۰	۱۱	۰.۹۹۷۰
صنعتی	سناریوی ۳	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۹	۱۰	۱۰	۰.۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۷ و ۹ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۱۳	۰.۹۹۹۰	۱۵	۰.۹۹۶۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۹	۱۰	۱۰	۰.۹۹۸۰
تجاری	سناریوی ۳	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۹	۱۰	۱۰	۰.۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۲	۰.۰۰۷۰	۱۳	۱.۰۰۲۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۱۰	۱۰	۱۱	۰.۹۹۷۰
خانگی	سناریوی ۳	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۹	۱۰	۱۰	۰.۹۹۹۰
	سناریوی ۵	۷ و ۹ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۱۴	۱۰	۱۵	۰.۹۹۷۰
	سناریوی ۱	-	-	-	-	-
	سناریوی ۲	-	۱۰	۱۰	۱۱	۰.۹۹۷۰
مختلط	سناریوی ۳	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	-	-	-	-
	سناریوی ۴	۷ و ۱۱ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۱۴	۱۰	۱۵	۰.۹۹۷۰
	سناریوی ۵	۷ و ۹ و ۲۴ و ۲۸ و ۳۵	۱۴	۱۰	۱۵	۰.۹۹۷۰

[20] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction," *IEEE Trans. on Power Del.*, vol. 4, no. 2, pp. 1492-1498, Apr. 1989.

[21] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 2, pp. 1401-1407, Apr. 1989.

[22] S. K. Goswami and S. K. Basu, "A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization," *IEEE Trans., Power. Del.*, vol. 7, no. 3, pp. 1484-1491, Jul. 1992.

[23] B. Amanulla, S. Chakrabarti, and S. N. Singh, "Reconfiguration of power distribution systems considering reliability and power loss," *IEEE Trans. on Power Del.*, vol. 27, no. 2, pp. 918-926, Apr. 2012.

[24] V. Farahani, B. Vahidi, and H. A. Abyaneh, "Reconfiguration and capacitor placement simultaneously for energy loss reduction based on an improved reconfiguration method," *IEEE Trans. on Power Sys.*, vol. 27, no. 2, pp. 587-595, May 2012.

[25] R. Srinivasa Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, "Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation," *IEEE Trans. on Power Sys.*, vol. 28, no. 1, pp. 317-325, Feb. 2013.

[26] F. Scenna, D. Anaut, L. Passoni, and G. Meschino, "Reconfiguration of electrical networks by an ant colony optimization algorithm," *IEEE Latin American Trans.*, vol. 11, no. 1, pp. 538-544, Feb. 2013.

[27] M. Hoseini, H. Hosseinpour, and B. Bastae, "A new multi objective optimization approach in distribution systems," *Optim Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 181-199, Jan. 2014.

[28] T. Niknam, A. M. Ranjbar, and A. R. Shirani, "An approach to Volt Var control in distribution networks with distributed generation," *Scientia Iranica*, vol. 12, no. 1, pp. 34-42, Jan. 2005.

[29] J. E. Mendoza, et al., "Multiobjective location of automatic voltage regulators in a radial distribution network using a micro genetic algorithm," *IEEE Trans. on Power Sys.*, vol. 22, no. 1, pp. 404-412, Feb. 2007.

[11] G. K. V. Raju and P. R. Bijwe, "An efficient algorithm for minimum loss reconfiguration of distribution system based on sensitivity and heuristics," *IEEE Trans. on Power Sys.*, vol. 23, no. 3, pp. 1280-1287, Aug. 2008.

[12] H. Braz and B. Souza, "Distribution network reconfiguration using genetic algorithms with sequential encoding: subtractive and additive approaches," *IEEE Trans. on Power Sys.*, vol. 26, no. 2, pp. 582-593, May 2011.

[13] N. Gupta, A. Swarnkar, K. R. Niazi, and R. C. Bansal, "Multi objective reconfiguration of distribution systems using adaptive genetic algorithm in fuzzy framework," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 4, no. 12, pp. 1288-1298, Dec. 2010.

[14] W. Wu and M. Tsai, "Application of enhanced integer coded particle swarm optimization for distribution system feeder reconfiguration," *IEEE Trans. on Power Sys.*, vol. 26, no. 3, pp. 1591-1599, Aug. 2011.

[15] T. Niknam, E. Azadfarsani, and M. Jabbari, "A new hybrid evolutionary algorithm based on new fuzzy adaptive PSO and NM algorithms for distribution feeder reconfiguration," *Energy Conversion and Management*, vol. 54, no. 1, pp. 7-16, Feb. 2012.

[16] A. Swarnkar, N. Gupta, and K. R. Niazi, "Adapted ant colony optimization for efficient reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for loss minimization," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 1, no. 3, pp. 129-137, Feb. 2011.

[17] A. Saffar, R. Hooshmand, and A. Khodabakhshian, "A new fuzzy optimal reconfiguration of distribution systems for loss reduction and load balancing using ant colony searchbased algorithm," *Applied Soft Computing*, vol. 11, no. 5, pp. 4021-4028, Jul. 2011.

[18] A. Merlin and G. Back, "Search for minimum-loss operational spanning tree configuration for an urban power distribution system," in *Proc. Fifth Power System Conf., PSCC'75*, pp. 1-18, Cambridge, U.K., Sept. 1975.

[19] C. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, and S. S. H. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *IEEE Trans. on Power Del.*, vol. 3, no. 3, pp. 1217-1223, Jul. 1988.

- [40] N. Mohandas, R. Balamurugan, and L. Lakshminarasimman, "Optimal location and sizing of real power DG units to improve the voltage stability in the distribution system using ABC algorithm united with chaos," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 66, no. 1, pp. 41-52, Mar. 2015.
- [41] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and K. Y. Lee, "Determining PV penetration for distribution systems with time-varying load models," *IEEE Trans. on Power Sys.*, vol. 29, no. 6, pp. 3048-3057, Nov. 2014.
- [42] M. R. Haghifam and O. P. Malik, "Genetic algorithm-based approach for fixed and switchable capacitor placement in distribution systems with uncertainty and time varying loads," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 1, no. 2, pp. 244-252, Mar. 2007.
- [43] L. Min and P. Zhang, "A probabilistic load flow with consideration of network topology uncertainties," in *Proc. of the Int. Conf. on Intelligent System Applications to Power Systems*, 5 pp., Nov. 2007.
- [44] Y. Del Valle, et al., "Particle swarm optimization: basic concepts, variants and applications in power systems," *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, vol. 12, no. 2, pp. 171-195, Apr. 2008.
- [30] S. Mishra, D. Das, and S. Paul, "A comprehensive review on power distribution network reconfiguration," *Energy Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 227-284, May 2017.
- [31] P. Pavani and S. N. Singh, "Reliability evaluation of distribution system with network reconfiguration and distributed generations," *Sustainable Power Systems: Modelling, Simulation and Analysis*, vol. 1, no. 1, pp. 61-87, Jan. 2017.
- [32] M. H. Hemmatpour, et al., "Optimum islanded microgrid reconfiguration based on maximization of system loadability and minimization of power losses," *International J. of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 78, no. 1 pp. 343-355, Jun. 2016.
- [33] M. R. Narimani, et al., "Enhanced gravitational search algorithm for multi-objective distribution feeder reconfiguration considering reliability, loss and operational cost," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 8, no. 1, pp. 55-69, Jan. 2014.
- [34] A. M. Imran, et al., "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks," *International J. of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 63, no. 1, pp. 461-472, Dec. 2014.
- [35] H. Bagheri Tolabi, et al., "Novel hybrid fuzzy-intelligent water drops approach for optimal feeder multi objective reconfiguration by considering multiple-distributed generation," *J. of Operation and Automation in Power Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 91-102, Summer and Autumn 2014.
- [36] F. Ugranli and E. Karatepe, "Multiple-distributed generation planning under load uncertainty and different penetration levels," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 46, no. 1, pp. 132-144, Mar. 2013.
- [37] A. Ebrahimi Milani and M. R. Haghifam, "An evolutionary approach for optimal time interval determination in distribution network reconfiguration under variable load," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 57, no. 1, pp. 68-77, Jan. 2013.
- [38] A. Kavousi-Fard and T. Niknam, "Optimal distribution feeder reconfiguration for reliability improvement considering uncertainty," *IEEE on Trans. Power Del.*, vol. 29, no. 3, pp. 1344-1353, Jun. 2014.
- [39] C. H. N. de Resende Barbosa, M. H. Soares Mendes, and J. A. de Vasconcelos, "Robust feeder reconfiguration in radial distribution networks," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 54, no. 1, pp. 619-630, Jan 2014.

**محمودرضا شاکرمی** تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق قدرت در سال ۱۳۷۵ از دانشگاه شهید چمران اهواز اخذ نمود. تحصیلات خود در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری را در رشته مهندسی برق قدرت از دانشگاه علم و صنعت ایران به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۹ به پایان رسانید. ایشان هم اکنون دانشیار دانشگاه لرستان است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: دینامیک سیستم‌های قدرت و پایداری آنها، ادوات FACTS، سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی و کیفیت توان در سیستم‌های قدرت.

**یاسر محمدی پور** در سال ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی مهندسی برق الکترونیک خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد و در سال ۱۳۹۴ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت خود را از دانشگاه لرستان دریافت نمود. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی، منابع انرژی تجدیدپذیر و الگوریتم‌های مربوط به بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع می‌باشد.