به‌کارگیری الگوریتم جستجوی ممنوع در تخصیص بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو

محمد اسماعیل همدانی گلشن[*]، سید علی عارفی فر[**] و قاسم مصلحی[*]

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۳/۷/۲۷- دریافت نسخه نهایی: ۸٤/۱۱/۱۱)

چکیده – به کارگیری تولیدات پراکنده[1] در سیستم توزیع مزایای فنی، اقتصادی و زیست محیطی بسیاری را به دنبال دارد. برای رسیدن به این مزایا، تولیدات پراکنده باید اندازه مناسب داشته باشند و در مکانهای مناسب نصب شوند. باتوجه به نحوه تأثیر تولیدات پراکنده و خازنها بر روی شاخصهای عملکردی سیستم توزیع به نظر می‌رسد با تعیین مکان و اندازه بهینه هر دو نوع تجهیزات به طور همزمان علاوه بر دستیابی به بیشترین مزیت در استفاده از ظرفیت مشخصی از تولیدات پراکنده، ظرفیت خازن مورد نیاز نیز حداقل شود. در این مقاله با تعریف یک مسئله برنامه ریزی ترکیبی جدید شامل برنامه ریزی توأم منابع پراکنده و وسایل کنترل ولتاژ/توان راکتیو، اندازه و مکان بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو مورد نیاز به طور همزمان تعیین می‌شود. در این راستا موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ[2] موجود در سیستم به گونه ای تغییر داده می‌شود که در شرایط بار پیک سیستم توزیع، با تخصیص مجموع ظرفیت مشخصی از تولیدات پراکنده به میزان مناسب و در مکانهای مناسب و همچنین با به کارگیری حداقل ظرفیت منابع توان راکتیو، تلفات سیستم حداقل شود. همانند بسیاری از مسائل دیگر در برنامه ریزی شبکه قدرت، مسئله تعریف شده در این مقاله یک مسئله بهینه سازی پیچیدهٔ غیر خطی شامل متغیرهای گسسته است. بنابراین برای حل مسئله بهینه سازی از الگوریتم جستجوی ممنوع[3] که الگوریتم بسیار مناسبی برای حل این گونه مسائل است، استفاده شده است. نتایج به کار گیری الگوریتم برروی سه شبکه توزیع ۶، ۱۰ و ۳۳ باس ارائه و با نتایج مربوط به روش تحلیلی مشتق مرتبه دوم[4] مقایسه می‌شود.

واژگان کلیدی : سیستم توزیع، تولیدات پراکنده، منابع توان راکتیو، تلفات سیستم، تخصیص بهینه، الگوریتم جستجوی ممنوع، تنظیم کننده ولتاژ

* – استادیار ** – کارشناس ارشد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

Application of Tabu Search to Optimal Placement of Distributed Generation and Reactive Power Sources

M. E. Hamedani Golshan, S. A. Arefifar, and Gh. Moslehi

Department of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology
Department of Industrial Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract: ***Introducing distributed generation into a power system can lead to numerous benefits including technical, economic, environmental, etc. To attain these benefits, distributed generators with proper rating should be installed at suitable locations. Given the similar effects of distributed generators and capacitor banks on operation indices of a distribution system, simultaneous assignment of best locations and sizes to both will not only lead to greatest benefits from distributed generators but also to lower reactive power capacity requirements. In this paper, a new combined planning problem involving distributed generation and Volt/VAr control means planning is formulated and solved in which the quantity of distributed generators and reactive power sources are simultaneously assigned to buses in a distribution system. Also tap positions of voltage regulators are computed such that with a given distributed generation under peak load conditions, power losses and the reactive power capacity required are minimized. Like many other problems in power network planning, the problem formulated here is a nonlinear combinatorial one. Hence, we employ the tabu search algorithm to solve the optimization problem. The results from applying the algorithm to distribution networks with 6, 19, and 33 buses are presented and compared with those obtained from employing the second order method.***

Keywords: ***Distribution system, Distributed generation, Reactive sources, System losses, Optimal placement, Tabu search, Voltage regulator***

فهرست علائم

C	ظرفیت مشخص شده برای منابع پراکنده	P_i	توان تزریقی خالص در باس i ام
$f(z)$	تابع هزینه	P_{Li} و P_{Gi}	تولید و مصرف در باس i ام
$f_1(z)$	مؤلفه اول در تابع هزینه مسئله بهینه سازی	Q_i	توان تزریقی خالص در باس i ام
$f_2(z)$	مؤلفه دوم در تابع هزینه مسئله بهینه سازی	q_i	ظرفیت منبع توان راکتیو در باس i ام
$G_{km} + jB_{km}$	عناصر ماتریس ادمیتانس باس سیستم	step	کمترین ظرفیت تولید منابع پراکنده
l	مجموعه باسهایی که امکان نصب تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو بر روی آنها وجود دارد	Sterm	بردار نشان دهنده تعداد تغییرات مؤلفه‌های جوابها در فرایند جستجو
M	مجموعه جوابهای امکانپذیر	V_k δ_k	فازور ولتاژ باس k ام
Movp	یک حرکت نمونه	V_i^{min} و V_i^{max}	حداقل و حداکثر اندازه ولتاژ مجاز در باس iام
N	تعداد باسهای سیستم	z	بردار متغیرهای کنترلی و متغیرهای حالت
n_i	موقعیت تپ رگولاتور ولتاژ i ام	θ و α	ضرایب وزنی
n_i^{min} و n_i^{max}	حد پایین و بالای رگولاتور ولتاژ i ام		

۱- مقدمه

در سالهای اخیر، استفاده از تولیدات پراکنده مورد توجه شرکتهای برق قرار گرفته است زیرا به کارگیری تولیدات پراکنده مزایای زیست محیطی، اقتصادی و فنی بسیاری همچون افزایش قابلیت اطمینان سیستم، کیفیت توان بهبودیافته، کاهش بار گذاری و تلفات فیدر، آزاد شدن ظرفیت انتقال و

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

توزیع و در نتیجه به تعویق افتادن جایگزینی فیدرها و ترانسفورماتورها و حل مشکل یافتن مکان برای نصب نیروگاههای بزرگ را به دنبال دارد. از طرفی چون سیستمهای توزیع به طور معمول برای کار به صورت شعاعی طراحی می‌شوند، اتصال منابع به سیستم توزیع می‌تواند به طور مطلوب یا نامطلوبی روی جریان توان و شرایط ولتاژ در محل مصرف کننده‌ها و تجهیزات سیستم تأثیر بگذارد که به شرایط سیستم و مشخصات تولیدات پراکنده نصب شده بستگی دارد. بنابراین رسیدن به مزایای بالا در عمل مشکلتر از آن است که اغلب تصور می‌شود. برای رسیدن به این مزایا تولیدات پراکنده باید دارای اندازه مناسب بوده و در مکانهای مناسب نصب شوند. تاکنون کارهای محدودی در زمینه تعیین اندازه و مکان بهینه تولیدات پراکنده انجام شده است [۱-۷]. به طور کلی نقطه ضعف برخی از کارهای انجام شده، تعریف غیر دقیق و ناکافی مسئله است. برخی دیگر، از روشهای غیر مناسب یعنی روشهای تحلیلی و یا روشهای ابتکاری غیر قطعی همچون الگوریتم ژنتیک که عملکرد آنها برای مسائل با ابعاد بزرگ به شدت به جوابهای اولیه تخمین زده شده بستگی دارد، استفاده کرده‌اند. به علاوه در همهٔ کارهای انجام شده مسئله برنامه ریزی تولیدات پراکنده مستقل از مسئله برنامه ریزی کنترل ولتاژ/توان راکتیو حل شده است.

باتوجه به نحوه تأثیر تولیدات پراکنده و وسایل کنترل ولتاژ/توان بر روی شاخصهای عملکردی سیستم توزیع به نظر می‌رسد با تعیین مکان و اندازه بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو به طور همزمان علاوه بر دستیابی به بیشترین مزیت در استفاده از ظرفیت مشخصی از تولیدات پراکنده، ظرفیت منابع توان راکتیو مورد نیاز نیز حداقل شود. در این جا لازم به ذکر است که چون در سیستمهای توزیع نسبت X/R تجهیزات مقدار بزرگی نیست، بر خلاف سیستم انتقال، کنترل جریان توان حقیقی و راکتیو به طور کامل از هم مستقل نیستند و روی شاخصهایی همچون اندازه ولتاژها به طور تقریبا یکسان تاثیر می‌گذارند. به علاوه با توجه به وجود تنظیم کننده‌های ولتاژ (نوع دیگری از وسایل کنترل ولتاژ/توان راکتیو) در برخی از فیدرهای توزیع می‌توان به هنگام حل مسئله یافتن محل و اندازه بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو مورد نیاز، با وارد کردن موقعیت تپ این تجهیزات در متغیرهای کنترلی از ظرفیت منابع پراکنده بهترین استفاده را کرد و با کاهش ظرفیت منابع توان راکتیو مورد نیاز، شاخصهای عملکردی را بهبود داد.

بنابراین، به منظور در نظر گرفتن تأثیر برنامه‌ریزی تولیدات پراکنده بر روی نتایج مسئله برنامه‌ریزی وسایل توان راکتیو و بالعکس به منظور رسیدن به بهترین شاخصهای عملکردی، در این مقاله با تعریف یک مسئله برنامه‌ریزی جدید یعنی برنامه‌ریزی ترکیبی تولیدات پراکنده و وسایل کنترل ولتاژ/توان راکتیو، اندازه و مکان بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو مورد نیاز به طور همزمان تعیین می‌شود. در این راستا موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ موجود در سیستم به گونه‌ای تغییر داده می‌شود که در شرایط بار پیک سیستم توزیع، با تخصیص مجموع ظرفیت مشخصی از تولیدات پراکنده به میزان مناسب و در مکانهای مناسب و همچنین با به کارگیری حداقل ظرفیت منابع توان راکتیو در اندازه و محلهای مناسب، تلفات سیستم حداقل شود. همانند بسیاری از مسائل دیگر در برنامه‌ریزی شبکه قدرت، مسئله تعریف شده در این مقاله یک مسئله بهینه سازی پیچیده غیر خطی با ابعاد بزرگ و متغیرهای گسسته است که تعداد حلهای محلی و تعداد حالتهایی که باید تحلیل شوند متناسب با اندازه سیستم توزیع افزایش می‌یابند به گونه‌ای که روشهای حل کلاسیک قادر به یافتن حل بهینه آن نیستند. بنابراین در این مقاله برای حل مسئله بهینه سازی از یک الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر جستجوی ممنوع که روش بسیار کارآمدی برای حل این گونه مسائل است، استفاده می‌کنیم. در این الگوریتم، با پیاده سازی انواع ساختارهای حافظه توسط روشهای ابتکاری، از امکانات پیشرفته روش جستجوی ممنوع استفاده شده است.

در بخش دوم مقاله، مسئله تخصیص بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو تعریف می‌شود. بخش سوم به معرفی و

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

مرور جنبه‌های اصلی الگوریتم جستجوی ممنوع اختصاص دارد. در بخش چهارم به طور اجمال نحوه به کار گیری الگوریتم جستجوی ممنوع برای حل مسئله بهینه سازی بیان شده و نتایج به کار گیری الگوریتم و مقایسه آنها با روش تحلیلی مشتق مرتبه دوم در بخش پنجم مقاله ارائه می‌شود.

۲- تعریف مسئله بهینه سازی

مسئله کلی تعیین اندازه و مکان بهینه منابع پراکنده را می‌توان برای حداقل کردن مجموع هزینه جایگزینی تجهیزات موجود، ساخت پستها و فیدرهای جدید، نصب منابع پراکنده، افزایش قابلیت اطمینان و کیفیت توان و کاهش تلفات توان و انرژی، تعریف و حل کرد. با این وجود، این مسئله کلی را می‌توان به تعدادی از مسائل کوچکتر تجزیه کرد. در این مقاله مانند مرجع [۱] فرض می‌شود که مجموع ظرفیت تولید مورد نیاز معلوم است. با مطالعات اقتصادی می‌توان تعیین کرد که تأمین چه درصدی از توان مورد نیاز فیدر توسط تولیدات پراکنده باعث حداقل شدن مجموع هزینه‌ها شامل هزینه‌های سرمایه گذاری جدید، هزینه‌های مربوط به جایگزین کردن بخشهای فیدر وترانسفورماتورهای موجود توسط عناصر با قدرت بالاتر و هزینه‌های لازم برای افزایش قابلیت اطمینان فیدر می‌شود. فرض کنید با توجه به رشد بار و لحاظ کردن پارامترهای اقتصادی، مطالعات اقتصادی برای دوره مورد نظر در طراحی صورت گرفته و مشخص شده باشد که در زمان پیک بار لازم است C مگاوات از توان مورد نیاز مصرف کننده‌ها از طریق تولیدات پراکنده تأمین شود. پس از مشخص شدن نتیجه مطالعات اقتصادی، مسئله بعدی این است که مجموع C مگاوات ظرفیت منابع پراکنده به چه اندازه و در چه محلهایی از فیدر توزیع نصب شود. واضح است که مکان و اندازه تولیدات پراکنده روی عملکرد فیدر توزیع تأثیر می‌گذارد. بنابراین، اساس بهینه کردن مکان و اندازه تولیدات پراکنده، به دست آوردن بهترین عملکرد برای فیدر توزیع است. یکی از شاخصهای عملکرد یک فیدر توزیع، مجموع تلفات عناصر تشکیل دهنده آن شامل بخشهای فیدر و ترانسفورماتورهاست. بنابراین تعیین بهترین مکان و اندازه تولیدات پراکنده در یک فیدر توزیع مستلزم حل یک مسئله بهینه سازی است که یکی از توابع هدف آن، مجموع تلفات توان حقیقی روی فیدر توزیع است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$f_1(z) = \sum_{i=1}^{N} P_i \qquad (۱)$$

بردار z نشان دهنده مجهولهای مسئله بهینه سازی شامل متغیرهای کنترلی و متغیرهای حالت (اندازه و زاویه ولتاژ در باسهای مختلف) است. N تعداد باسهای سیستم است و P_i نیز توان خالص تزریقی به باس iام سیستم توزیع را نشان می‌دهد. رابطه بین تولید در باس i (P_{Gi}) و مصرف در آن باس (P_{Li}) با معادله (۲) مشخص می‌شود.

$$P_i = P_{Gi} - P_{Li} \qquad (۲)$$

P_{Gi}ها بخشی از متغیرهای کنترلی مسئله بهینه سازی و یا به عبارتی اندازه مطلوب تولیدات پراکنده‌اند که لازم است در باسهای مختلف فیدر توزیع نصب شوند. نصب منابع توزیع شده روی اندازه ولتاژ باسها تأثیر می‌گذارد. بسته به اندازه و محل این منابع، اندازه ولتاژ برخی از باسها ممکن است افزایش و برخی کاهش یابند. از طرفی از سالها قبل، از طریق نصب مقادیر مناسب خازنها در محلهای مناسب سعی شده است تلفات سیستم توزیع حداقل و پروفیل ولتاژ بهبود داده شود. با توجه به نحوه تأثیر منابع توان حقیقی و راکتیو روی پخش بار، تلفات و پروفیل ولتاژ فیدر، می‌توان با استفاده همزمان از این دو و تعیین همزمان مقادیر و مکان بهینه آنها، اثرات مطلوب تولیدات پراکنده روی شاخصهای عملکردی سیستم را حداکثر و اثرات نامطلوب آن را حداقل کرد. البته تفاوتی که این مسئله با مسئله خازن گذاری معمولی دارد این است که در این حالت ممکن است برای حفظ اندازه ولتاژ برخی از باسها درحدود مورد نظر، علاوه بر خازنها نیاز به استفاده از سلفها به عنوان مصرف کننده‌های توان راکتیو نیز باشد. به واسطه اینکه هزینه سرمایه گذاری منابع توان راکتیو با اندازه آنها متناسب است،

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

مانند مسائل جایابی خازن معمول، به طور مثال مانند آنچه در [۸] انجام شده است، در مسئله فعلی هدف آن است که با استفاده از کمترین مقدار این منابع بهترین شاخصهای عملکردی حاصل شود. بنابراین تابع هدف دوم مجموع ظرفیت منابع توان راکتیوی است که لازم است در باسهای مختلف فیدر توزیع نصب شوند.

$$f_2(z) = \sum_{i \in l} q_i^2 \qquad (۳)$$

l مجموعه باسهایی است که امکان نصب منابع پراکنده و منابع توان راکتیو روی آنها وجود دارد. با توجه به اینکه q_iها به عنوان بخش دیگری از متغیرهای کنترلی می‌توانند مثبت یا منفی باشند (خازن یا سلف)، مجموع مربعات آنها باید حداقل شود. با توجه به مطالب ذکر شده تابع هدف به صورت مجموع وزن داده شده توابع f_1 و f_2 تعریف می‌شود.

$$f(z) = \alpha f_1 + \theta f_2 \qquad (۴)$$

واحد ضرایب α و θ به ترتیب kW / ریال و $(kVAr)^2$ / ریال است. این ضرایب باتوجه به هزینه‌های سرمایه گذاری ساخت نیروگاه برای تأمین تلفات در پیک بار و هزینه‌های مربوط به نصب منابع توان راکتیو تعیین می‌شود و از کشور تا کشور و برای شرکتهای برق مختلف، متفاوت است. با توجه به این که در مسئله بهینه سازی نسبت θ به α اهمیت دارد، α را برابر یک فرض می‌کنیم بنابراین θ اهمیت نسبی دو تابع هدف f_1 و f_2 را نشان می‌دهد.

برخی از فیدرهای توزیع بلند به منظور تنظیم ولتاژ باسهای دور به رگولاتور ولتاژ نیاز دارند. به علاوه به منظور تنظیم ولتاژ باسهای فیدر، ترانسفورماتورهای پست با تپ چنجر زیر بار (LTC) مجهز می‌شوند. هنگام تعیین مکان و اندازه بهینه منابع پراکنده، در فیدر هایی که دارای تنظیم کننده ولتاژ هستند، موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ و LTCها را می‌توان به عنوان متغیرهای کنترلی در نظر گرفت. به این ترتیب عملکرد بهتری از دیدگاه کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ و همچنین نیاز کمتر به منابع توان راکتیو از طریق به کارگیری بهتر ظرفیت تولیدات پراکنده مشخص شده، حاصل می‌شود.

تابع هدف باید در معرض تعدادی قید تساوی و نامساوی حداقل شود. معادلات پخش توان سیستم توزیع بخشی از قیود تساوی را تشکیل می‌دهند که در یک سیستم N باس شامل N معادله مختلط به صورت زیر است:

$$V_k e^{-j\delta_k} \sum_{\substack{m=1 \\ k=1,\ldots,N}}^{N} (G_{km} + jB_{km}).V_m e^{j\delta_m} = P_k - jQ_k \qquad (۵)$$

قید تساوی دیگر مشخص می‌کند که مجموع ظرفیت تولیدات پراکنده باید برابر با C باشد.

$$\sum_{i \in l} P_{Gi} = C \qquad (۶)$$

قیود نامساوی نیز عبارت‌اند از :

الف) مقادیر مجهولات P_{Gi} یعنی ظرفیت تولیدات پراکنده نباید منفی شود به عبارتی $P_{Gi} \geq 0$

ب) اندازه ولتاژ باسهای مختلف باید نزدیک به مقادیر نامی باشند به عبارتی در حدود $V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max}$ قرار گیرند.

ج) موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ (n) باید بین حدود بالا و پایین قرار گیرند به عبارتی $n_i^{min} \leq n_i \leq n_i^{max}$

با توجه به مطالب ذکرشده، بردار z شامل متغیرهای کنترلی یعنی P_{Gi}، q_i و n_iها و همچنین متغیرهای حالت یعنی اندازه و زاویه فاز ولتاژ باسها (V_k, δ_k) است که با حل مسئله بهینه سازی در معرض معادلات پخش بار شبکه به دست می‌آیند.

۳- الگوریتم جستجوی ممنوع (TS)

در بسیاری از موارد که روشهای کلاسیک بهینه سازی در حل مسائل با ابعاد بزرگ عاجز بوده و به زمان حل بسیار زیادی نیاز دارند برای رسیدن به جوابهای خوب در زمان معقول، روشهای ابتکاری همچون الگوریتمهای ژنتیک[۵] (GA)، سرد شدن تدریجی شبیه سازی شده[۶](SA) و جستجوی ممنوع (TS) پیشنهاد شده‌اند. اگر چه روش SA جوابهای بهتری را فراهم می‌کند، اما به علت اینکه به طور محدود از حافظه استفاده

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

می‌کند، به زمان محاسبات زیادی نیاز دارد. از آنجایی که GA یک روش احتمالاتی است، جواب آن به شدت به جوابهای اولیه تخمین زده شده وابسته است و بنابراین برای سیستمهای بزرگ دارای قابلیت اطمینان کمی است. یک مشخصه متمایز TS نسبت به سایر روشهای بهینه سازی، بهره گیری آن از شکلهای انعطاف پذیر حافظه است [۹]. TS بر این اصل بنا می‌شود است که برای حل مسئله به صورت کنترل شده و هوشمند، الگوریتم حل بایستی دو مورد حافظه انعطاف‌پذیر[۷] و جستجوی واکنشی[۸] (آگاهانه) را دارا باشد. خصوصیت حافظه انعطاف‌پذیر در TS امکان پیاده سازی عملیات جستجو در فضای حل به صورت کم هزینه و مؤثر را فراهم می‌کند. تأکید ویژه بر روی جستجوی واکنشی در TS از این فرض منشأ می‌گیرد که انتخاب یک جواب بد ممکن است منجر به جوابی بهتر از یک انتخاب تصادفی خوب شود. به طور کلی ساختار حافظه در TS شامل چهار بعد اساسی تأخر یا تازگی[۹]، کیفیت یا چگونگی[۱۰]، تناوب یا تکرار[۱۱] و تأثیر یا نفوذ[۱۲] است[۱۰]. از آنجایی که ممکن است بعد از چند تکرار متوالی، جواب به دست آمده یکی از نقاط حل در مراحل قبل باشد، جوابهای چند مرحله آخر در حافظه کوتاه مدت (مربوط به تأخر) قرار می‌گیرند که فهرست ممنوع[۱۳] نامیده می‌شود. بهترین جوابی که از هر مرحله از حل به دست می‌آید در این فهرست قرار گرفته و قدیمی ترین جواب از فهرست خارج می‌شود. در روند حل مسئله اگر بهترین جواب در بین همسایگی‌های یک نقطه، در فهرست ممنوع قرار داشت، این جواب قابل قبول نبوده و یکی دیگر از همسایگی‌ها به عنوان بهترین جواب انتخاب می‌شود و با این کار از بازگشت به مسیرهای قبلی جلوگیری شده و با طی مسیرهای جدید فضای بیشتری مورد جستجو قرار می‌گیرد.

بعد کیفیت یا چگونگی (حافظه میان مدت[۱۴])، توانایی تمییز و تشخیص شایستگی جوابهایی را دارد که در طول عملیات جستجو با آنها مواجه می‌شویم. نحوه پیداکردن همسایگی جدید برای حرکت از یک نقطه به نقطه دیگر باید با استراتژی خاصی انجام شود زیرا حرکت تصادفی از یک نقطه به نقطه دیگر ممکن است مسیر حرکت را از رسیدن به یک جواب خوب که در ادامه مسیر قبلی قرار دارد منحرف کند. برای جلوگیری از این امر باید به طریقی شانس انتخاب نقاط خوبی که در ادامه مسیر قبل قرار دارند را به عنوان نقطه بعدی، افزایش داد. برای این منظور حافظه‌ای در نظر گرفته می‌شود که در آن نشانه‌های مشترک جوابهای خوب قبلی قرار داشته و در هر مرحله از حل تجدید می‌شود. با استفاده از این حافظه همسایگی‌های یک نقطه به نحوی انتخاب می‌شوند که بیشترین شباهت با جوابهای خوب مراحل قبل را داشته باشند.

در حافظه مربوط به بعد تناوب و یا تکرار (حافظه بلند مدت[۱۵]) اطلاعاتی ذخیره می‌شود که با استفاده از آن، قوانین انتخاب همسایگی در جهت گسترش عملیات جستجو به فضاهایی که تاکنون به آنها برخورد نشده است، تغییر می‌کنند. پس از آنکه حرکت در یک مسیر انجام شد، الگوریتم TS به جایی خواهد رسید که حرکتهای بعدی تغییر چندانی در اندازه تابع هدف ایجاد نمی کند و نشان دهنده این است که حل مسئله به یک نقطه بهینه محلی منجر شده است. برای خارج شدن از این نقطه و گسترش فضای جستجو به کل فضای مجموعه جوابهای امکانپذیر، پس از رسیدن به چنین نقطه‌ای باید پرشی در فضای مجموعه جواب انجام داد و عملیات جستجو را از نقطه جدیدی متفاوت با نقطه شروع اولیه در مرحله قبلی آغاز کرد. پرشی که انجام می‌شود باید در هر مرحله به نحوی باشد که به نقاط شروع قبلی باز نگردد و کل فضای مجموعه جواب را پوشش دهد. برای این منظور از حافظه‌ای استفاده می‌شود که در آن نشانه‌های پرشهای قبلی و یا نقاط شروع در هر مرحله ذخیره می‌شود و با استفاده از آن شانس انتخاب این نقاط کار به عنوان نقطه شروع در مرحله بعد کاهش داده می‌شود و با این کار جستجو در کل فضای مجموعه جوابهای امکانپذیر ممکن می‌شود.

بعد چهارم که تأثیر یا نفوذ نامیده می‌شود، تأثیر انتخابهای انجام شده در طول عملیات جستجو را نه تنها بر کیفیت جواب بلکه بر ساختار آن و سایر شرایط مسئله

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

بررسی می‌کند و نحوه‌ی پیاده سازی آن مشابه حافظه میان مدت است.

٤- حل مسئله تعریف شده توسط الگوریتم TS

در [۱۱] مسئله مکان یابی بهینه منابع پراکنده و منابع توان راکتیو با استفاده از روش مشتق مرتبه دوم حل شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. روش مشتق مرتبه دوم یکی از مناسبترین روشهای تحلیلی است که علاوه بر ویژگی همگرایی خوب نسبت به برخی روشهای دیگر همچون روش گرادیان مرتبه اول، می‌تواند در کنار برنامه هایی که برای حل معادله‌های غیر خطی از روش نیوتن استفاده می‌کنند، به کار گرفته شود. چون در روشهای تحلیلی، امکان کار با متغیرهای گسسته وجود ندارد ظرفیت منابع توان حقیقی و راکتیو، به صورت متغیرهای پیوسته فرض شدند که با واقعیتهای عملی تطابق ندارد. از دیگر معایب روشهای تحلیلی قرار گرفتن در نقاط بهینه محلی، نیاز به مشتق گیریهای فراوان، مشکلات همگرایی و مشکل تنظیم مقادیر اولیه متغیرها، بخصوص در حالتی است که تعداد متغیرها زیاد است.

در این مقاله مسئله مکان یابی بهینه منابع پراکنده و منابع توان راکتیو، با استفاده از الگوریتم TS حل و نتایج به دست آمده با نتایج مربوط به روش مشتق مرتبه دوم مقایسه می‌شود. اگرچه الگوریتم TS به جوابهای بهتری نسبت به روشهای تحلیلی یا روشهای ابتکاری احتمالاتی منجر می‌شود، قبل از به کار گیری آن لازم است پارامترهای مربوط به الگوریتم همچون طول فهرست ممنوع، تعداد همسایگی‌های درنظر گرفته شده در هر مرحله حل و حداکثر تعداد تکرار مورد نیاز برای هر مسئله خاص و با توجه به ابعاد مسئله تعیین شود. از معایب روش TS، نیاز به تعیین این پارامترها برای هر مسئله خاص و بستگی جواب به دست آمده به پارامترهای الگوریتم و نحوه پیاده سازی جنبه‌های مختلف آن است. اگرچه پارامترهای این روش نسبت به پارامترهای روشهای GA و SA کمتر و نحوه به کارگیری آن ساده تر است. در این بخش به توضیح الگوریتم حل مبتنی بر روش TS و چگونگی پیاده سازی انواع ساختارهای حافظه و تعیین پارامترهای الگوریتم برای مسئله تعریف شده می‌پردازیم. به این منظور، سیستم توزیع ۳۳ باس که اطلاعات آن در [۱۲] داده شده است را در نظر گرفته و در ابتدا فرض می‌کنیم هدف صرفاً مکان یابی منابع پراکنده در این سیستم است. بنابراین هدف از حل این مسئله پیدا کردن بردار $P_G = [P_{G1} ... P_{Gn}]$ است که درایه‌های آن نشان دهنده ظرفیت منابع پراکنده در هر باس سیستم بوده به طوری که تلفات سیستم حداقل شود.

عملیات جستجو از یک جواب امکانپذیر برای مسئله (جوابی که همه قیود تساوی و نامساوی را برقرار می‌کند) شروع می‌شود. این جواب، منابع توان حقیقی را به باسهای مختلف سیستم به گونه ای تخصیص می‌دهد که مجموع ظرفیت این منابع با مقدار از پیش تعیین شده‌ای (به عنوان مثال ۳۵٪ کل توان حقیقی بار)، برابر باشد. از طرفی فرض می‌کنیم ظرفیت منابع پراکنده ضریبی از کوچکترین واحد با مقدار نامی step=۵۰kW (کوچکترین ظرفیت ممکن) باشد و امکان نصب آنها روی همه باسهای سیستم وجود دارد. قدم بعدی، تعریف همسایگی‌های این جواب امکانپذیر است. از آنجا که مجموع درایه‌های بردار P_G برابر مقدار مشخص شده C است، اگر از ظرفیت اختصاص یافته به یک باس کم شود باید به همان مقدار به ظرفیت متناظر با باس دیگر اضافه شود. بنابراین مجموعهٔ M را می‌توان به عنوان مجموعه همسایگی‌های جواب به دست آمده در هر مرحله در نظر گرفت.

$$M = \{P_G \mid P_{Gi}^{new} = P_{Gi}^{old} + step \& \quad P_{Gj}^{new} = P_{Gj}^{old} - step \;\; 1 \le i \ne j \le N\} \qquad (۷)$$

مجموعه M باید شامل جوابهای امکانپذیر مسئله باشد. در قدم بعد برای همه اعضای مجموعه M، پخش بار انجام شده و عضو متناظر با کمترین تلفات، به عنوان جواب مسئله در مرحله فعلی انتخاب می‌شود. در ادامه همسایگی‌های این جواب تعیین و از بین آنها بهترین جواب برای مرحله بعد تعیین می‌شود. این فرایند تکرار تا رسیدن به یک جواب بهینه محلی ادامه می‌یابد.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

جدول ۱- تأثیر تعداد همسایگی‌ها در اندازه تابع هدف برای ۵۰ مرحله تکرار

تعداد همسایگی ها	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
اندازه تابع هدف	۹۴٫۹۷	۹۴٫۱۶	۹۴٫۲۰	۹۴٫۰۸	۹۴٫۰۶	۹۴٫۰۳	۹۴٫۰۲

جدول ۲- تأثیر تعداد تکرارها در اندازه تابع هدف

تعداد تکرارها	۱	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
اندازه تابع هدف	۱۱۸٫۵۷	۱۰۵٫۲۳	۹۸٫۴۴	۹۴٫۰۷	۹۴٫۰۶	۹۴٫۰۴	۹۴٫۰۴	۹۴٫۰۴

جدول ۳- تأثیر طول فهرست ممنوع در اندازه تابع هدف

طول لیست ممنوع	۱	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
اندازه تابع هدف	۹۴٫۱۰	۹۴٫۰۸	۹۴٫۰۸	۹۴٫۰۷	۹۴٫۰۴	۹۴٫۰۰	۹۴٫۰۱

تعداد اعضای مجموعه M بر جواب نهایی مسئله مؤثر است. برای به دست آوردن تعداد مناسب عناصر مجموعه M به عنوان یکی از پارامترهای الگوریتم، تأثیر بعد M در جواب نهایی برای ۵۰ مرحله تکرار در جدول (۱) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که هرچه تعداد همسایگی‌های بیشتری حول یک نقطه در نظر گرفته شود، جواب به دست آمده از کیفیت بالاتری برخوردار است و زمانی که این تعداد به مقدار مشخصی رسید افزایش تعداد همسایگی‌ها تأثیر چندانی در اندازه تابع هدف نخواهد داشت. تعداد مراحل تکرار نیز در بهترین جواب به دست آمده مؤثر است که در جدول (۲) به ازای ۵۰ همسایگی حول هر نقطه نشان داده شده است.

برای جلوگیری از حرکت در مسیرهای حلقوی و بازگشت به جوابهای قبلی، عکس حرکتی که منجر به رسیدن به این جوابها شده است در فهرستی تحت عنوان فهرست ممنوع قرار داده می‌شود و در تکرارهای بعد، از انجام آنها جلوگیری می‌شود. به عنوان مثال اگر حرکتی که باعث رسیدن به بهترین همسایگی شده، به صورت بردار زیر تعریف شده باشد:

$$Movp = [\, 0 \ldots \ \text{step} \ \ldots \ -\text{step} \ \ldots 0 \,] \qquad (۸)$$

آنگاه عدد $\sum_{i=1}^{N} -\,Movp\ (i) * 2^{i}$ که برای هر حرکت یک عدد منحصر به فرد است، برای چند تکرار در این فهرست قرار می‌گیرد. در هر مرحله از حل، حرکتی که برای رسیدن به بهترین همسایگی انجام شده، با تک تک اعضای فهرست ممنوع مقایسه می‌شود و در صورت یکسان بودن، این حرکت حذف و حرکت دیگری انجام می‌شود. طول فهرست ممنوع یکی از پارامترهای الگوریتم است. تأثیر طول این فهرست در اندازه تابع هدف مسئله مورد نظر در جدول (۳) نشان داده شده است. طول فهرست ممنوع با مقدار ۱ به معنی عدم وجود این فهرست در تصمیم گیری برای پیدا کردن بهترین جواب در هر مر حله از حل است. به طوری که مشاهده می‌شود وجود این فهرست در رسیدن به جوابهای بهتر تأثیر زیادی دارد ولی افزایش بیش از حد آن در اندازه تابع هدف تغییری ایجاد نمی کند و موجب افزایش زمان حل مسئله نیز می‌شود.

با توجه به آزمایشهای انجام گرفته، برای حل مسئله مورد نظر تعداد همسایگی‌های هر نقطه، ۵۰، تعداد مراحل تکرار ۱۰۰ و طول فهرست ممنوع را در ادامه برابر با ۲۰ انتخاب شده‌اند.

برای اینکه حرکت در یک مسیر به صورت تصادفی نبوده و همواره به سمت جوابهای بهتر باشد، انتخاب همسایگی‌های یک نقطه باید با استراتژی خاصی انجام شود. به این منظور باید خصوصیت جوابهای خوب به دست آمده در هر مرحله را در پیدا کردن همسایگی‌های جدید تأثیر داد. برای حل این مسئله یک بردار با نام استرم[۱۶] و با طول برابر با تعداد باسهای سیستم

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

جدول ۴- تأثیر زمان پرش در اندازه تابع هدف

تعداد حرکتها	۱	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰
اندازه تابع هدف	۱۰۵٫۰۵	۹٤٫۸۸	۹٤٫۰۲	۹٤٫۰۱	۹۳٫۹۷	۹۳٫۹۷

تعریف شده و در ابتدا همه درایه‌های آن برابر یک فرض می‌شود. در هر مرحله از حل، جواب به دست آمده با جواب مرحله قبل مقایسه می‌شود، هر درایه‌ای از دو بردار جواب که تغییر کرده بود یک واحد به درایه متناظر با آن در بردار استرم اضافه می‌شود و در غیر این صورت ثابت می‌ماند. اطلاعات موجود در بردار استرم نشان دهنده آن است که در باس i ام بهترین جواب در مراحل مختلف به تعداد استرم(i) بار تغییر کرده است و این به نوعی نشان می‌دهد احتمال بهینه بودن مقدار توان تولیدی در باسهایی که توان تولیدی آنها تغییر بیشتری داشته است، کمتر از باسهایی است که توان تولیدی آنها در طی مراحل مختلف تغییر چندانی نکرده است. با استفاده از بردار استرم، همسایگی‌های یک جواب به نحوی تعیین می‌شود که احتمال تغییر توان تولیدی در باسهایی که هنوز به بهترین مقدار نرسیده و تغییرات بیشتری داشته اند، زیادتر باشد. به این ترتیب حرکت در فضای جستجو به گونه‌ای انجام می‌شود که مسیر جستجو به سمت بهترین جواب هدایت شود.

با تکرار عملیات جستجو به جایی خواهیم رسید که حرکتها تغییری در مقدار تابع هدف ایجاد نمی کنند. در چنین شرایطی جواب به دست آمده یک جواب بهینه محلی است. برای اجتناب از ماندن در این جوابها و متوقف شدن عملیات جستجو، از این پس باید در فضای جستجو پرش کرده و عملیات جستجو را از نقطه دیگری که تاکنون بررسی نشده است آغاز کرد. برای جلوگیری از تکراری شدن نقاط شروع عملیات جستجو، در این مسئله مشابه حافظه میان مدت، برداری با طول تعداد باسهای سیستم تعریف شده و با تجدید عناصر آن در طی الگوریتم جستجو، در هر پرش، نقطه شروع جدید به گونه‌ای تعیین می‌شود که احتمال قرار گرفتن آن در نقاطی که تاکنون ملاقات نشده‌اند بیشتر باشد و با این کار عملیات جستجو به کل فضا گسترش می‌یابد. تعداد مراحلی که به ازای آن اندازه تابع هدف تغییر نمی‌کند را می‌توان به عنوان شاخصی برای زمان پرش به نقطه شروع بعدی در نظر گرفت. در جدول (۴) تأثیر تغییر تعداد این مراحل برای پرش به نقطه بعدی ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود هرچه پرش دیرتر انجام شود جواب بهتری در آن منطقه به دست می‌آید. عدد ۲۰ مقدار مناسبی برای این پارامتر است.

برای حل مسائل مختلف و در مورد این مسئله برای سیستمهای مختلف، پارامترهای مختلف روش مانند تعداد همسایگی‌ها، تعداد مراحل تکرار، طول فهرست ممنوع و زمان پرش به نقطه شروع جدید باید با اجرای برنامه جستجو به ازای مقادیر مختلف پارامترها، همانند آنچه که در بالا گفته شد، تعیین شود.

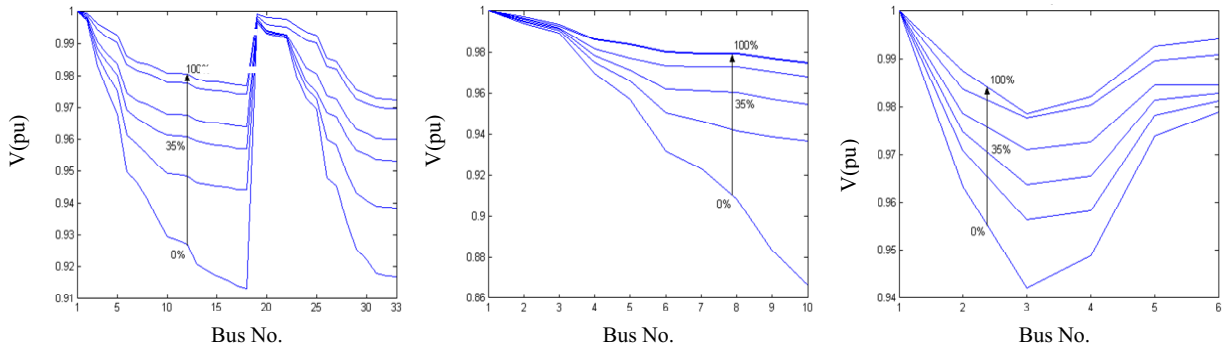
۵ - بررسی نتایج به کارگیری الگوریتم TS و مقایسه با روش مشتق مرتبه دوم

در ادامه نتایج حاصل از به کارگیری الگوریتم TS و روش مشتق مرتبه دوم بر روی سه شبکه ۶، ۱۰ و ۳۳ باس که اطلاعات آنها در [۱۲] موجود است ارائه می‌شود.

۵-۱- تخصیص تولیدات پراکنده

در این حالت فقط مکان یابی بهینه منابع توان حقیقی مورد نظر است. بنابراین تابع هدف فقط شامل تلفات سیستم است. در جدول (۵) و شکل (۱) به ترتیب تأثیر مجموع ظرفیت در نظر گرفته شده برای منابع پراکنده به عنوان درصدی از مجموع بار سیستم، روی تلفات و پروفیل ولتاژ سیستم نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که تأمین بخشی از بار سیستم توسط

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]



شکل ۱- پروفیل ولتاژ سه سیستم توزیع نمونه به ازای ظرفیتهای مختلف منابع پراکنده

جدول ۵ - تلفات سیستم توزیع (بر حسب کیلووات) به ازای ظرفیتهای مختلف منابع پراکنده

مجموع ظرفیت منابع پراکنده / سیستم	٪۱۰۰	٪۸۰	٪۵۰	٪۳۵	٪۲۰	٪۰
۶ باس	۳۸	۵۱	۱۴۱	۲۳۱	۳۶۲	۶۷۱
۱۰ باس	۳٤٫۸	۳۶٫۰۱	۵۶٫۱	۱۱۰٫۹	۲۱۷٫۶	۶۳۲
۳۳ باس	۶۰٫۶۱	۶۲٫۲۱	۷۸٫۳۴	۹۳٫۹۷	۱۲۶٫۲	۲۱۰

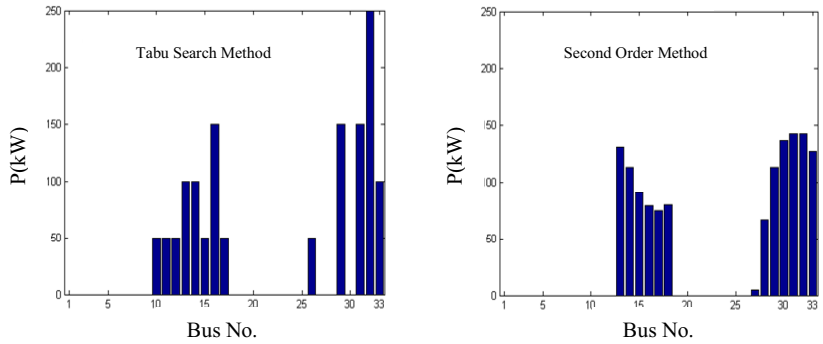
جدول ۶- مقایسه نتایج مربوط به دو روش مشتق مرتبه دوم و TS

عنوان مقایسه	سیستم ۳۳ باس	سیستم ۱۰ باس	سیستم ٦ باس	روش حل
اندازه تابع هدف	۹۶٫۲۱	۱۱۰٫۹	۲۳۴	مشتق مرتبه دوم
(تلفات (kW))	۹۳٫۹۷	۱۱۰٫۸	۲۳۱	جستجوی ممنوع

منابع پراکنده تأثیر مهمی روی تلفات و پروفیل ولتاژ سیستم دارد. به عنوان مثال، در صورتی که ظرفیت منابع پراکنده ۳۵٪ مجموع بار متصل شده باشد، تلفات در سیستمهای ٦، ۱۰ و ۳۳ باس به ترتیب ٦۵، ۸۲ و ۵۵ درصد نسبت به حالت مبنا کاهش می‌یابد. البته به واسطه عدم جبران توان راکتیو بارها، حتی در حالتی که مجموع ظرفیت منابع پراکنده با مجموع بار متصل شده برابر است، شرایط ایدئال شامل پروفیل ولتاژ مسطح و تلفات صفر به دست نمی‌آید.

مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج مربوط به روش مشتق مرتبه دوم [۱۲] نشان می‌دهد که استفاده از روش TS علاوه بر ساده کردن حل مسئله، باعث رسیدن به جوابهای بهتر می‌شود. به عنوان مثال در جدول (۶) با فرض اینکه مجموع ظرفیت تولیدی ۳۵٪ مجموع توان بار نصب شده باشد، نتایج مربوط به دو روش، از نظر اندازه تابع هدف، برای سه سیستم توزیع مقایسه شده‌اند. به طور کلی هر چه ابعاد سیستم و تعداد متغیرها بیشتر شود، استفاده از TS از دیدگاه اجرای مؤثرتر و سریعتر و رسیدن به جوابهای بهتر یک مزیت است. نحوه تخصیص بهینه منابع توزیع شده در سیستم ۳۳ باس (به ازای مجموع ظرفیت منابع پراکنده برابر با ۳۵٪ بار نصب شده) حاصل از به کار گیری دو روش حل مشتق مرتبه دوم و جستجوی ممنوع، در شکل (۲) نشان داده شده است. از این شکل مشاهده می‌شود که نه تنها مجموعه باسهایی که منابع به آنها تخصیص یافته

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]



شکل ۲- نحوه تخصیص بهینه منابع پراکنده در سیستم ۳۳ باس حاصل از به کارگیری دو روش حل متفاوت

جدول ۷- اندازه تابع هدف، تلفات سیستم و مجموع ظرفیت منابع توان راکتیو

سیستم	θ	بسیار بزرگ	۱۰۰	۱۰٫۰	۵٫۰	۱٫۰	۰٫۵	۰٫۰
۶ باس	تلفات(kW)	۲۳۱	۲۳۱	۲۳۱	۲۳۱	۲۰۸	۲۰۰	۱۹۱
	Q(MVAr)	۰	۰	۰	۰	۲	۳	۵,۵
	اندازه تابع هدف	۰٫۰۰۲۳	۰٫۰۰۲۳	۰٫۰۰۲۳	۰٫۰۰۲۳	۰٫۰۰۲۲	۰٫۰۰۲۱	۰٫۰۰۱۹
۱۰ باس	تلفات(kW)	۱۱۰٫۸	۱۱۰٫۸	۱۰۳٫۳۴	۸۸٫۷۸	۸۰٫۴۵	۷۸٫۳۸	۶۷٫۵۴
	Q(MVAr)	۰	۰	۰٫۲۵	۱٫۰	۲٫۲۵	۲٫۴	۳٫۵۰
	اندازه تابع هدف	۰٫۰۰۱۱	۰٫۰۰۱۱	۰٫۰۰۱۱	۰٫۰۰۱۰	۰٫۰۰۰۹	۰٫۰۰۰۸	۰٫۰۰۰۷
۳۳ باس	تلفات(kW)	۹۳٫۹۸	۶۵٫۸۹	۳۵٫۶۵	۳۲٫۹۴	۳۰٫۷۱	۳۰٫۴۹	۳۰٫۱۴
	Q(MVAr)	۰	۰٫۴	۱٫۵	۱٫۷	۲٫۱	۲٫۱۵	۲٫۲۵
	اندازه تابع هدف	۰٫۰۰۰۹۳	۰٫۰۰۰۸۵	۰٫۰۰۰۴۶	۰٫۰۰۰۴۰	۰٫۰۰۰۳۳	۰٫۰۰۰۳۲	۰٫۰۰۰۳۰

است، در دو روش متفاوت است بلکه مقادیر ظرفیت اختصاص یافته به باسهای یکسان در دو روش نیز متفاوت است. به عنوان مثال حداکثر ظرفیت اختصاص یافته در روش مشتق مرتبه دوم از ۱۵۰kW کمتر است ولی در روش TS ظرفیت ۲۵۰kW نیز اختصاص داده شده است.

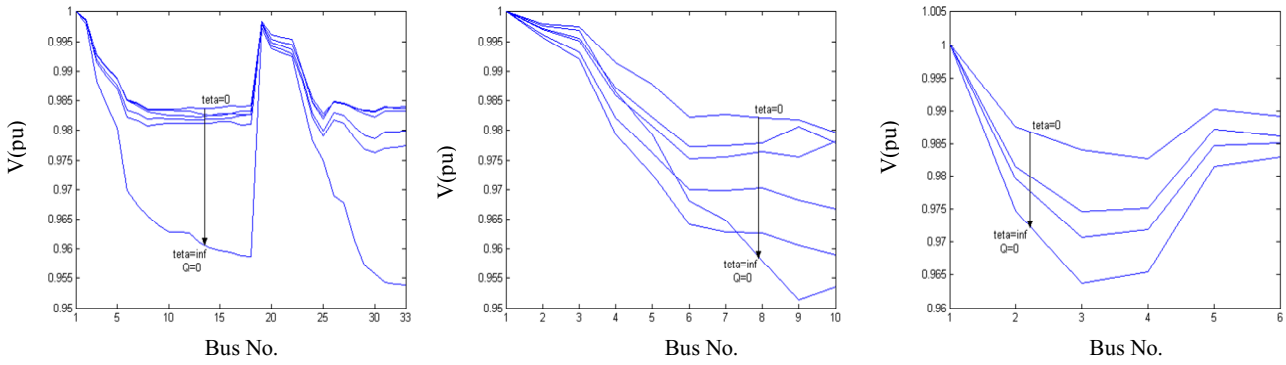
۵-۲- تخصیص همزمان تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو

در این حالت مکان و اندازه بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو به طور همزمان تعیین می‌شود. برخلاف مجموع ظرفیت منابع پراکنده که مقدار ثابت و از پیش تعیین شده‌ای است، در مورد متغیر q نحوه حرکت و پیدا کردن همسایگی‌های یک جواب امکانپذیر به نحوی است که مجموع ظرفیت منابع توان راکتیو اضافه شده به سیستم حداقل مقدار خود را داشته باشد.

برای انجام این کار از یک نقطه شروع اولیه، به عنوان مثال بردار صفر که یک جواب امکانپذیر است، آغاز می‌کنیم. قدم بعدی پیدا کردن همسایگی‌های این نقطه است. برای متغیر q همسایگی‌های هر نقطه با اضافه کردن تصادفی یک واحد خازن و یا راکتور (کوچکترین ظرفیت راکتیو که به عنوان مثال برای سیستم ۳۳ باس kVAr ۵۰ فرض شده است) به یکی از باسهای سیستم، به دست می‌آید. فهرست ممنوع و حافظه‌های کوتاه مدت و بلند مدت برای متغیر q مشابه با متغیر p تعریف می‌شوند.

خلاصه نتایج مربوط به حل مسئله در این حالت برای سه سیستم ۶، ۱۰ و ۳۳ باس با این فرض که مجموع توانهای تولیدی ژنراتورها ثابت و برابر با ۳۵ درصد مجموع بار سیستم در نظر گرفته شود در جدول (۷) آورده شده است. مشاهده می‌شود که اگرچه برای نصب منابع توان راکتیو باید هزینه

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]



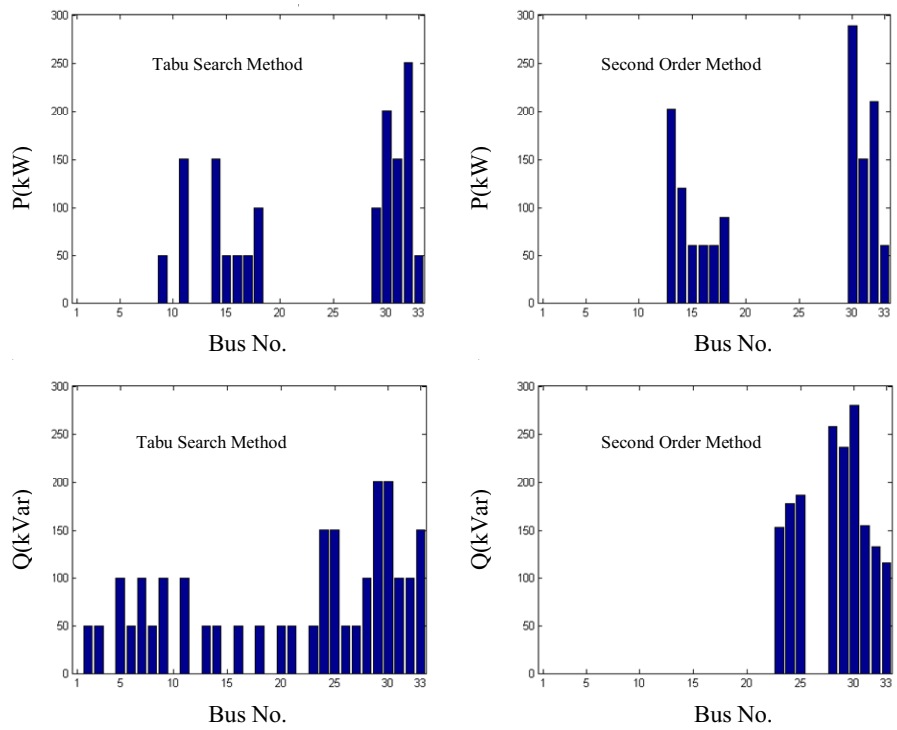
شکل ۳- پروفیل ولتاژ سه سیستم توزیع نمونه به ازای مقادیر مختلف توان راکتیو تخصیص داده شده(θ مختلف)

جدول ۸- -مقایسه نتایج مربوط به دو روش مشتق مرتبه دوم و TS

عنوان مقایسه	روش حل	سیستم ۳۳ باس	سیستم ۱۰ باس	سیستم ٦ باس
تلفات(kW)	مشتق مرتبه دوم	۳۵٫۱۰	۸۱٫۷۱	۲۱۲
	جستجوی ممنوع	۳۰٫۷۱	۸۰٫۴۵	۲۰۸
Q(kVAr)	مشتق مرتبه دوم	۲۱۲۰	۲۲۵۰	۲۱۰۰
	جستجوی ممنوع	۲۱۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰
اندازه تابع هدف	مشتق مرتبه دوم	۰٫۰۰۰۴۹	۰٫۰۰۰۹۱	۰٫۰۰۲۴
	جستجوی ممنوع	۰٫۰۰۰۳۳	۰٫۰۰۰۸۵	۰٫۰۰۲۲

مربوطه پرداخت شود اما به علت کاهش تلفات نسبت به حالتی که منابع راکتیو وجود ندارند در مجموع تابع هدف که مجموع هزینه‌های تلفات و نصب منابع توان راکتیو است، کاهش می‌یابد. به علت اینکه θ ضریب مجموع مربعات توانهای منابع راکتیو است، افزایش آن باعث کاهش ظرفیت منابع راکتیو تخصیص داده شده به باسهای سیستم می‌شود. در هر سیستم توزیع اندازه θ با توجه به نسبت هزینه مربوط به تلفات در بار پیک به هزینه مربوط به نصب منابع توان راکتیو قابل تعیین است. پروفیل ولتاژ سه سیستم در این حالت در شکل (۳) ترسیم شده است. مشاهده می‌شود که با کاهش θ یعنی افزایش ظرفیت منابع توان راکتیو، پروفیل ولتاژ سیستم بهبود بیشتری می‌یابد. در جدول (۸) نتایج مربوط به دو روش مشتق مرتبه دوم و TS از نظر اندازه تابع هدف برای حالت θ=۱ بررسی شده است. مشاهده می‌شود که استفاده از روش TS باعث کاهش بیشتراندازه تابع هدف می‌شود به طوری که برای سیستم ۳۳ باس که مسئله برنامه ریزی دارای ابعاد بزرگی است، تابع هدف در روش TS در حدود ۳۳٪ نسبت به روش مشتق مرتبه دوم کاهش یافته است و این توانایی روش TS را در رسیدن به حلهای بهتر در مسائل با ابعاد بزرگ نشان می‌دهد . نحوه تخصیص تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو در سیستم ۳۳ باس(θ=۱)، به ازای دو روش حل TS و مشتق مرتبه دوم در شکل(۴) نشان داده شده است. همان گونه که قابل انتظار است به علت تأثیر متقابلی که برنامه ریزی منابع پراکنده و منابع توان راکتیو بر روی هم دارند، نحوه تخصیص منابع پراکنده در هر دو روش نسبت به حالتی که فقط برنامه ریزی منابع پراکنده انجام شده (شکل (۲))، تغییر کرده است. به علاوه تفاوت نحوهٔ تخصیص منابع حقیقی و منابع راکتیو در دو روش کاملاً مشخص است.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]



شکل ۴- نحوه تخصیص بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو در سیستم ۳۳ باس به ازای دو روش حل متفاوت

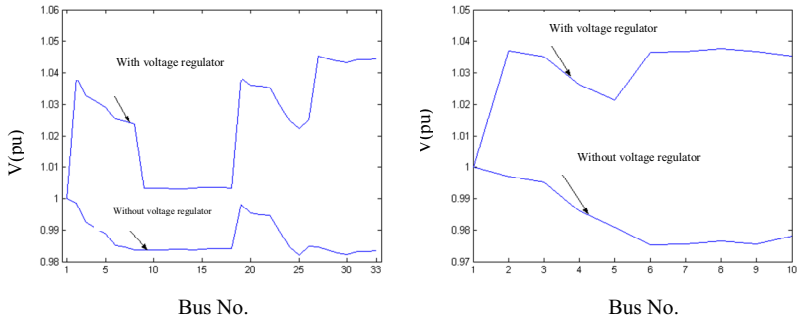
جدول ۹- اندازه تابع هدف، تلفات سیستم و مجموع توانهای منابع توان راکتیو

سیستم / θ		بسیار بزرگ	۱۰۰	۱۰٫۰	۵٫۰	۱٫۰	۰٫۵	۰٫۰
۱۰ باس	تلفات(kW)	۱۰۰٫۶۳	۱۰۰٫۶۳	۹۳٫۳۱	۸۱٫۳۰	۷۳٫۵٤	۷۲٫۲۹	٦۷٫۲٦
	Q(MVAr)	۰	۰	۰٫۲۵	۱٫۰	۲٫۰	۲٫۲۵	٤٫۰
	اندازه تابع هدف	۰٫۰۰۱۰	۰٫۰۰۱۰	۰٫۰۰۰۹۹	۰٫۰۰۰۹٤	۰٫۰۰۰۷۹	۰٫۰۰۰۷٦	۰٫۰۰۰٦۷
۳۳ باس	تلفات(kW)	۸۵٫۱۰	٦۲٫٦۸	۳۳٫۵٤	۳۰٫٦۸	۲۸٫۲۵	۲۸٫۰۳	۲۷٫۸۸
	Q(MVAr)	۰	۰٫۳۵	۱٫٤۵	۱٫٦۵	۲٫۱	۲٫۱۵	۲٫۲۵
	اندازه تابع هدف	۰٫۰۰۰۸۵	۰٫۰۰۰۸۰	۰٫۰۰۰٤۳	۰٫۰۰۰۳۸	۰٫۰۰۰۳۱	۰٫۰۰۰۲۹	۰٫۰۰۰۲۸

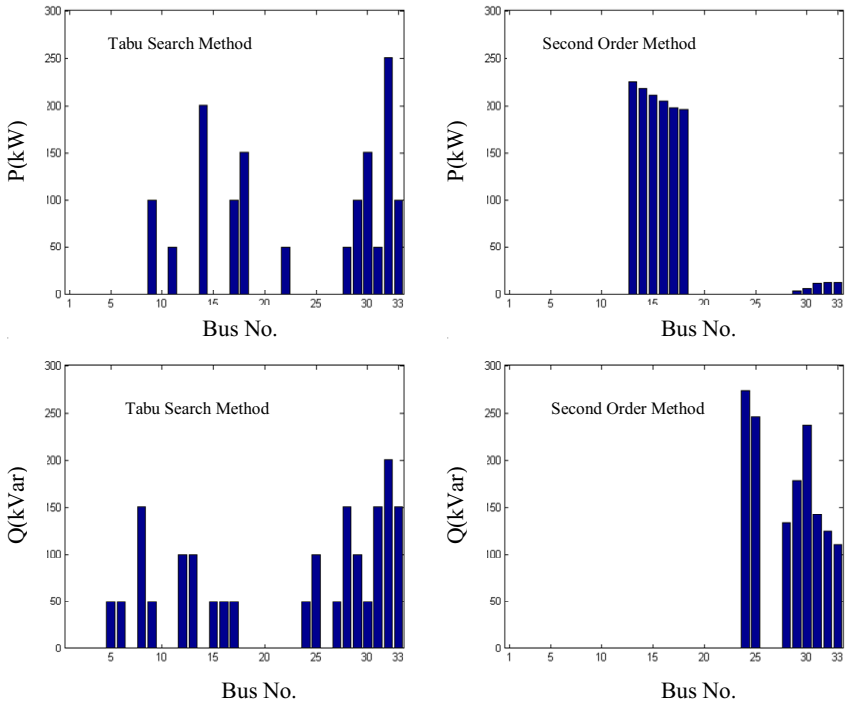
۵-۳- تنظیم تپ رگولاتورهای ولتاژ در فرایند تخصیص همزمان تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو

در این قسمت فرض می‌کنیم موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ همزمان با تعیین محل و اندازه بهینه تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو، تنظیم شود. همسایگی، حرکت، فهرست ممنوع و حافظه های کوتاه مدت و بلند مدت، برای این متغیرهای کنترلی مشابه با متغیرهای p و q تعریف می شوند. با این تفاوت که در مورد موقعیت تپ ها، محدودیت تغییر بین موقعیت حداقل و حداکثر وجود دارد. مقایسه جدولهای (۹) و (۷) برای سیستم ۳۳ باس نشان می‌دهد که تنظیم موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ واقع روی خط (۲-۱) نزدیک به باس (۲)، روی خط (۸-۷) نزدیک به باس (۸) و روی خط (۲۷-۲۶) نزدیک به باس (۲۷) به میزان زیادی باعث کاهش اندازه تابع هدف شده است. تأثیر تنظیم بهینه تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ در حالتی که θ مقدار بزرگتری دارد و به عبارتی از منابع راکتیو کمتری استفاده می‌شود بیشتر است.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]



شکل ۵- مقایسه پروفیل ولتاژ دو سیستم توزیع نمونه در حالت وجود و یا عدم وجود تنظیم کننده‌های ولتاژ



شکل۶- نحوه تخصیص منابع توزیع شده و منابع توان راکتیو در سیستم ۳۳ باس به ازای دو روش حل متفاوت در حالتی که تنظیم کننده‌های ولتاژ لحاظ می‌شوند

به عنوان مثال در حالت θ =۱۰ تلفات و مقدار تابع هدف نسبت به حالتی که رگولاتورهای ولتاژ در مسئله برنامه ریزی در نظر گرفته نمی‌شوند به ترتیب به میزان ٦ و ٦/٥ درصد کاهش می‌یابند. تأثیر در نظر گرفتن موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ به عنوان متغیرهای کنترلی روی پروفیل ولتاژ دو سیستم توزیع نمونه به ازای θ =۱ در شکل (۵) نشان داده شده است. نحوه تخصیص منابع پراکنده و منابع توان راکتیو برای سیستم ۳۳ باس در حالت θ =۱، حاصل از حل مسئله به دو روش جستجوی ممنوع و مشتق مرتبه دوم، در شکل (۶) ترسیم شده است. مجدداً ملاحظه می‌شود که اولاً نتایج تخصیص منابع نسبت به شکل (٤) تفاوت کرده است و ثانیاً تفاوت ملموستری بین نتایج حاصل از دو روش TS و مشتق مرتبه دوم مشاهده می‌شود که این به علت افزایش بیشتر ابعاد مسئله بهینه سازی است. در این حالت، موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ موجود روی سیستم ۳۳ باس با استفاده از روش TS به صورت [۰۲، ۱ ۰،۹۸ ۱،۰٤] به دست می‌آید در حالی که با استفاده از روش مشتق مرتبه دوم به جواب [۰۷، ۱ ۹۷،۰ ۱،۰] می‌رسیم.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]

٦- نتیجه‌گیری

در این مقاله با در نظر گرفتن هزینه مربوط به تلفات در بار پیک سیستم نسبت به هزینه نصب منابع توان راکتیو (ضریب θ) مسئله برنامه ریزی جدیدی برای برنامه ریزی توأم تولیدات پراکنده و منابع توان راکتیو تعریف شد که منجر به پیدا کردن مکانهای بهینه نصب تولیدات پراکنده و همچنین مکانهای بهینه برای نصب حداقل مقدار منابع توان راکتیو شد. نتایج به دست آمده مؤید این مطلب است که نصب صحیح حداقل مقدار منابع توان راکتیو به طور همزمان با مکان یابی تولیدات پراکنده باعث کاهش بیشترتلفات سیستم و بهبود پروفیل ولتاژ سیستم می‌شود.

به علاوه اضافه کردن موقعیت تپ تنظیم کننده‌های ولتاژ به متغیرهای کنترلی مسئله باعث کاهش اندازه تابع هدف و در نتیجه کاهش تلفات و ظرفیت توان راکتیو مورد نیاز سیستم می‌شود.

مشاهده شد که استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع برای حل مسئله بهینه سازی به دلیل امکان کار با متغیرهای گسسته و همچنین قرار نگرفتن در بهینه‌های محلی به جوابهای بهتری نسبت به روش مشتق مرتبه دوم منجر می‌شود. به علاوه این روش مستلزم مشتق گیری‌های طولانی و پیچیده نبوده و با مسئله همگرایی نیز مواجه نیست.

واژه نامه

1. distributed generation
2. voltage regulator
3. tabu search
4. second order method
5. genetic algorithm
6. simulated annealing
7. adaptive memory
8. responsive exploration
9. recency
10. quality
11. frequency
12. influence
13. tabu list
14. intermediate term memory
15. long term memory
16. sterm

مراجع

1. Rau, N. S., and Wan, Y. H., "Optimum Location of Resources in Distributed Planning," *IEEE Trans. Power Systems,* Vol. 9, No. 4, pp. 2014-2020, Nov 1994.
2. Nara, K., and Hayashi, Y. "A Solution Based on Multi-Stage Tabu Search for Nested Combinatorial Optimization Problem," *IEEE SMC '99 Conference Proceedings*, Vol. 3, 551-556, 1999.
3. Brown, R. E., Pan, J., Xiaorning, F., and Koutlev, k., "Siting Distributed Generation to Defer T&D Expansion,". *Proceedings Transmission and Distribution Conference and Exposition IEEE/PES,* pp. 622-627, 2001.
4. Celli, G., and Pilo, F., "Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution Networks," 2nd *Power Industry Computer Applications*, pp. 81-86, 2001.
5. Celli, G., and Pilo, F., "MV Network Planning Under Uncertainties on Distributed Generation Penetration," *Proceedings IEEE-PES Summer Meeting*, pp. 485-490, 2001.
6. Carpinelli, G., and Celli, G., "Distributed Generation Siting and Sizing Under Uncertainty," *Proceedings, IEEE PPT*, Portugal , 2001.
7. Celli, G., Ghiani, E., Mocci, S., and Oilo, F.: "A Multiobjective Evolutionary Algorithm for the Sizing and Siting of Distributed Generation," *IEEE Trans. Power Syst*., Vol. 20, No.2, pp. 750-757, 2005
8. Nara, K., Hayashi, Y., Ikeda, K., and Ashizawa, T., "Application of Tabu Search to Optimal Placement of Distributed Generators," *proceedings IEEE PES,* Winter Meeting, Vol. 2, pp.918-923, 2001.
9. Glover, F., and Laguna, M., "Tabu Search", (Available at www.geocities.com/francorbusetti/laguna.pdf *).*
10. Gallego, R. A., Monticelli, A. J., and Romero, R., "Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Networks", *IEEE Trans. Power Systems,* Vol. 16, No. 4, pp.630-637, Nov 2001.
11. Hamedani Golshan, M. E, and Arefifar, S. A., "Simultaneous Locating and Sizing of Distributed Generation and Reactive Power Sources in a Distribution System," *12th ICEE, Power Proceedings,* pp323-328, May 2004.

۱۲. عارفی فر، س.ع، "تعیین محل و مقدار بهینه تولیدات توزیع شده و منابع توان راکتیو به طور همزمان در سیستم توزیع"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، فروردین ۱۳۸۳.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1385.25.1.2.2]