

برنامه‌ریزی توسعه تولید انرژی الکتریکی و جاییابی نیروگاه بر پایه الگوریتم ژنتیک ارتقایافته و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی

عادل محسنی^{۱*}، مهرداد عابدی^۲، گنورک قره‌پتیان^۳

^۱ کارشناس ارشد نظارت بر توسعه، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت بر امنیت شبکه، شرکت مدیریت شبکه برق ایران، تهران، ایران

mohseni@igmc.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

abedi@aut.ac.ir

^۳ استاد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

grptian@aut.ac.ir

دریافت مقاله: ۹۱/۷/۲۳ اصلاح مقاله: ۹۲/۲/۱۰

پذیرش مقاله: ۹۲/۸/۱۱

چکیده: این مقاله روشی نوین برای حل مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید انرژی الکتریکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبودیافته ارائه می‌کند. برنامه‌ریزی توسعه تولید، یک مسئله بهینه‌سازی دینامیکی غیرخطی ابعاد بزرگ با رفتار تصادفی و قیود فراوان است. برنامه‌ریزان سیستم تلاش می‌کنند با استفاده از روش‌های مختلف، ضمن پاسخ‌گویی به قیود و کاهش هزینه، آرایش بهینه تولید در هر سال از دوره مطالعه را مشخص کنند. این مقاله برای حل مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید از جدول خروج ظرفیت، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و برخی روش‌های ابتکاری برای ارتقای عملکرد الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی توسعه تولید، الگوریتم ژنتیک، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی.

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی توسعه تولید انرژی الکتریکی یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های متولیان شبکه برق است و باید به سؤالات حیاتی زیر در طول افق برنامه‌ریزی بلندمدت پاسخ گوید [۲۱].

کی بسازیم؟

با چه ظرفیتی بسازیم؟

از چه نوع تکنولوژی بسازیم؟

کجا بسازیم؟

برنامه‌ریزی توسعه تولید یک مسئله بهینه‌سازی دینامیکی غیرخطی ابعاد بزرگ با رفتار تصادفی و قیود فراوان است و هدف آن بهینه‌کردن مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های ثابت و متغیر بهره‌برداری واحدهای نیروگاهی در دوره برنامه‌ریزی می‌باشد [۳-۵].

به دلیل بزرگ بودن ابعاد مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید، معمولاً آن را به دو مسئله مجزا تقسیم می‌کنند. در مسئله اول که به مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید در شبکه تک‌شینه معروف است، از تعیین مکان احداث نیروگاه‌ها صرف نظر می‌شود و تنها نوع نیروگاه‌ها، زمان ورود و ظرفیت آن‌ها تعیین می‌گردد. مسئله دوم معمولاً به این صورت مطرح می‌شود که فرض می‌شود مسئله اول حل شده است و با در نظر گرفتن عواملی همچون توزیع جغرافیایی بار، محدودیت‌های محیطی و سوخت‌رسانی، ساختار شبکه انتقال و قیود مربوط، بحث جایابی نیروگاه‌ها دنبال می‌شود [۶ و ۷].

برای حل مسئله مذکور، روش‌های متفاوتی مانند روش‌های کلاسیک، الگوریتم‌های ژنتیک، جست‌وجوی منطقه ممنوعه، مورچگان، پرندگان، استعماری و غیره استفاده شده است [۷ و ۸]. روش‌های کلاسیک قابلیت یافتن بهینه واقعی را دارند؛ اما در مسائلی که ماهیت گسسته و غیرخطی دارند، استفاده از روش کلاسیک با محدودیت‌هایی روبه‌روست و تبدیل مسئله غیرخطی به خطی با افزایش قیود و محدودیت‌هایی همراه خواهد بود.

در روش پیشنهاد شده ابتدا نوع، تعداد و سال ورود ظرفیت جدید تعیین شده و سپس در بخش بعد با توجه به پاسخ به دست آمده در بخش اول و فرض بر کفایت شبکه انتقال، مسئله جایابی بررسی شده است. در این مقاله از شبیه‌سازی احتمالی با روش تشکیل جدول احتمال خروج واحدها با ظرفیت مشخص^۱ استفاده شده است. این مفهوم بیانگر آن است که هر واحد نیروگاهی با احتمال p ممکن است در مدار باشد و متقابلاً با احتمال q ممکن است از مدار خارج شود ($p+q=1$)؛ لذا احتمال تأمین نشدن بار حتی در شرایطی که ظرفیت نیروگاه‌های

نصب شده بیشتر از پیک بار باشد، وجود دارد. بدیهی است که با افزایش ظرفیت تولید، احتمال تأمین نشدن بار کاهش خواهد یافت؛ ولی به صفر نخواهد رسید؛ زیرا هر واحد نیروگاهی یک احتمال خروج از مدار هر چند کوچک خواهد داشت؛ لذا احتمال خروج تعداد زیادی از واحدها به گونه‌ای که منجر به تأمین نشدن بار گردد، همواره وجود خواهد داشت [۹]. از این مفهوم بیان شده برای در نظر گرفتن احتمال تأمین نشدن بار، تأمین نشدن مورد انتظاری و مقدار انرژی تأمین شده استفاده می‌شود.

برای انجام مراحل بهینه‌سازی از الگوریتم ژنتیک به همراه روش‌های ابتکاری در بهینه‌کردن الگوریتم و سوق دادن آن به سمت بهترین جواب استفاده شده است.

همچنین به منظور اعمال نظر افراد خبره در چگونگی انتخاب و اولویت‌بندی واحدها از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ استفاده شده است [۱۰].

۲. مدل‌سازی ریاضی مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید

به منظور حل مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید، تابع هدف که برابر مجموع ارزش حال همه هزینه‌ها می‌باشد، به صورت زیر تعریف شده است [۱، ۲، ۱۱ و ۱۲].

$$Min(f) = \sum_{t=1}^T \left(a \times [I(u_t) - S(u_t)] + b \times [O(x_t) + Fc(x_t)] + c \times ENSc(x_t) + d \times \sum_{n=1}^N [w_n \times Pol_n(x_t)] \right) \quad (1)$$

که در آن، هریک از مؤلفه‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

ضرایب وزنی برای تعیین ارزش هریک از مؤلفه‌های تابع هدف	a, b, c, d
تعداد کل نیروگاه‌ها (جدید الاحداث و قدیمی)	N
تعداد سال‌های دوره مطالعه	T
مجموع هزینه احداث واحدهای جدید در سال t	$I(u_t)$
مجموع ارزش اسقاطی واحدهای جدید در انتهای دوره مطالعه	$S(u_t)$
مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر بهره‌برداری سیستم در سال t	$O(x_t)$
مجموع هزینه سوخت مصرف شده سیستم در سال t	$Fc(x_t)$
هزینه انرژی تأمین نشده یا هزینه خاموشی سیستم در سال t	$ENSc(x_t)$
مجموع آلودگی تولید شده توسط نیروگاه P در سال t	$Pol_n(x_t)$
بردار واحدهای جدید که در سال t ام دوره مطالعه وارد می‌شود.	u_t
بردار ظرفیت تجمعی تا سال t	x_t

۱.۲. هزینه ساخت نیروگاه

هزینه ساخت نیروگاه شامل مجموع هزینه احداث واحدهای جدید در سال t است که از رابطه زیر به دست می آید.

$$I(u_t) = \sum_{j=1}^N [(1+i_r)^{-(t_j-ct_j-1)} \times MWP_j \times n_j \times IC_j] \quad (2)$$

پارامترهای بیان شده در رابطه (۲) به صورت زیر تعریف می شوند:

i_r	نرخ بهره در سال t ام دوره مطالعه
t_j	فاصله زمانی بین سال t ام مطالعه و سال مبنای محاسبات
ct_j	مدت زمان ساخت نیروگاه پیشنهادی نوع j
N	تعداد انواع نیروگاههای پیشنهادی (نوع تکنولوژی)
MWP_j	حداکثر ظرفیت نیروگاه پیشنهادی نوع j (MW)
n_j	تعداد واحدهای نیروگاه پیشنهادی نوع j که در سال t وارد مدار می شود.
IC_j	هزینه سرمایه گذاری نیروگاه پیشنهادی نوع j ($\$.MW^{-1}$)

یادآوری می شود که در رابطه مذکور، کل هزینه سرمایه گذاری نیروگاه جدید در ابتدای سال ساخت نیروگاه هزینه می گردد.

۲.۲. هزینه بهره برداری

هزینه بهره برداری سیستم در سال t شامل هزینه بهره برداری ثابت و متغیر برای همه واحدهای قدیمی و تازه ساخته شده است [۲]. در محاسبه هزینه بهره برداری فرض شده است که هزینه در وسط سال پرداخت می شود.

$$x_t = x_{t-1} + u_t \quad (3)$$

$$O(x_t) = (1+i_r)^{-(t_j-1+0.5)} \times \sum_{j=1}^P [En_j \times Voc_j + MWP_j \times n_j \times Foc_j \times 12] \quad (4)$$

در رابطه (۴) پارامترهای جدید به صورت زیر تعریف می شود:

P	تعداد کل نیروگاههای موجود در شبکه در سال t
En_i	مقدار انرژی تولیدشده توسط نیروگاه j در سال t که برابر مجموع انرژی تولیدشده توسط واحدهای این نیروگاه (n_i) است.
Voc_j	هزینه بهره برداری متغیر نیروگاه j ام در سال ($t \$.MW^{-1}$)
Foc_j	هزینه بهره برداری ثابت نیروگاه j ام در سال ($\$.KW-mon^{-1}$)

۳.۲. هزینه سوخت واحدها

هزینه سوخت واحدها براساس مقدار انرژی تولیدی توسط هر واحد و

نوع سوخت استفاده شده توسط آن واحد محاسبه می شود. الگوریتم پیشنهادی قابلیت در نظر گرفتن دو نوع سوخت متفاوت برای هر نیروگاه را دارد. فرض شده است که هزینه سوخت واحدها نیز در وسط سال پرداخت می گردد. در محاسبه مقدار سوخت مصرفی باید در نظر داشت که راندمان نیروگاه در بار نامی، بیشتر از راندمان نیروگاه در بار پایه است؛ از این رو، برای محاسبه مقدار سوخت مصرفی نیروگاه از یک نرخ حرارتی معادل استفاده شده است.

$$Fc(x_t) = (1+i_r)^{-(t-1+0.5)} \times \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^2 [a_{jk} \times En_j \times HRe_{jk} / fc_{jk}] \quad (5)$$

a_{jk}	درصدی از کل انرژی تولیدی توسط نیروگاه j که از سوخت k ام تولید شده است.
HRe_{jk}	نرخ حرارتی معادل سوخت نوع k ام در نیروگاه نوع j ام ($Kcal.Kwh^{-1}$)
fc_{jk}	قیمت سوخت نوع k ام در نیروگاه نوع j ام ($Cent.million kCal^{-1}$)

۴.۲. هزینه انرژی تأمین نشده توسط واحدها

در الگوریتم ارائه شده، قیمت انرژی تأمین نشده ثابت فرض شده و برای هر سال از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$ENSc(x_t) = (1+i_r)^{-(t-1+0.5)} \times ENS_t \times ENSC_t \quad (6)$$

در این رابطه، ENS_t مقدار انرژی تأمین نشده و $ENSC_t$ هزینه یک MWh خاموشی در سال t است.

۵.۲. محاسبه ارزش اسقاطی

در الگوریتم پیشنهادی، مبلغی به عنوان ارزش اسقاطی نیروگاه در انتهای دوره مطالعه محاسبه و از هزینهها کسر می شود.

۶.۲. محاسبه میزان آلودگی

$$Pol_p(x_t) = \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 [p_{jk} \times a_k \times En_p \times HRe_{pk} / Hvp_{pk}] \quad (7)$$

در این رابطه، p_{jk} درصد آلودگی نوع j تولیدشده از وزن سوخت نوع k و Hvp_{pk} ارزش حرارتی سوخت k ام از نیروگاه p است.

۳. قیود مسئله

برای حل مسئله برنامه ریزی توسعه تولید، مجموعه ای از قیود طرح می شود که وجود برخی از آنها الزامی است و برخی از آنها نیز با توجه به شرایط بهره برداری و محدودیت های موجود مسئله قابل طرح

سیستم (شامل نیروگاه‌های موجود و نیروگاه‌های جدید) با خصوصیات بار سیستم ترکیب و مقدار پارامترهای درخواستی محاسبه می‌شود.

مراحل انجام الگوریتم به صورت زیر است:

- تعیین ترتیب و نحوه بارگیری واحدها (با استفاده از روش AHP):
- محاسبه $LOLP$ ، ENS هر آرایش تولید؛
- محاسبه انرژی تأمین شده توسط هر واحد در هر آرایش؛
- محاسبه هزینه‌های بهره‌برداری هر یک از آرایش‌ها؛
- محاسبه تابع هدف؛
- انتخاب بهترین ترکیب؛
- شبیه‌سازی جایابی نیروگاه.

۱.۴. منحنی بار

در یک شبکه قدرت مقدار بار به صورت لحظه‌ای تغییر می‌کند. به منظور انجام مطالعات درازمدت، باید منحنی بار را به منحنی تداوم بار (LDC) تبدیل کرد.

از منحنی تداوم بار برای انجام محاسبات قابلیت اطمینان و تعیین انرژی تولیدی توسط هر یک از واحدهای نیروگاهی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه هر سال، یک پریود فرض شده است، برای هر سال می‌توان یک منحنی تداوم بار معرفی کرد.

۵. ساختار الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده

برای بهینه‌سازی مسئله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. مفاهیم ژنتیک در [۱۲، ۱۳ و ۱۴] بیان شده است. در ساختار پیشنهادی سعی شده است با ارائه روش‌های ابتکاری و بهبود هدفمند عملکرد عملگرهای ژنتیک و اصلاح کروموزوم‌ها با استفاده از روش حذف و توسعه براساس اولویت انتخاب واحدها، ضمن ایجاد امکان برای اثرگذاری افراد خبره در روند انتخاب ترکیب بهینه، عملکرد الگوریتم نیز بهبود یابد.

۱.۵. طراحی روش کدگذاری مناسب (ساختار مناسب کروموزوم)

همان‌طور که بیان شد، مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید به صورت دینامیکی و در یک دوره مطالعه مشخص با دوره‌های زمانی مشخص باید حل شود؛ از این رو، ساختار کروموزوم باید طوری انتخاب شود که ترکیب نیروگاه‌های جدید که در هر دوره زمانی وارد شبکه می‌شوند، مشخص و امکان چک کردن قیود مسئله بر روی آن‌ها به بهترین حالت ممکن باشد. همچنین این ساختار باید هدفمند باشد و از حجم محاسبات اضافی بکاهد؛ از این رو، با بررسی‌های انجام شده، ساختار شکل (۱) به عنوان ساختار پیشنهادی کروموزوم ارائه می‌شود.

می‌باشند. [۱، ۱۱ و ۱۲] در ادامه به قیودی که در الگوریتم پیشنهادی از آن استفاده شده، اشاره می‌شود.

یادآوری می‌شود که مجموعه قیود باید در هر یک از سال‌های دوره مطالعه حاکم باشد.

۱.۳. حد مجاز انتخاب واحدها

حداکثر تعداد واحدهای احداث پذیر از انواع نیروگاه‌ها در سال t ام از طول دوره مطالعه، اولین قیدی است که در الگوریتم بررسی می‌شود:

(۸)

$$0 \leq n_{jt} \leq n_{jt}^{Max}$$

در هر دوره زمانی از مدت مطالعه، تعداد واحدهای جدید احداث شده از نیروگاه نوع j ام (n_{jt}) باید کوچک‌تر یا مساوی تعداد واحدهای کانیددا از نیروگاه نوع j در سال t باشد.

۲.۳. حد رزرو شبکه

در هر دوره زمانی، ظرفیت نصب شده در شبکه باید بین مقدار Max و Min مجاز قرار داشته باشد؛ به عبارت دیگر، بیشترین و کمترین مقدار رزرو شبکه باید مشخص باشد. در صورتی که حداکثر بار شبکه در سال t برابر D_{pt} باشد و حداقل مقدار رزرو برابر a_t و حداکثر مقدار آن برابر b_t انتخاب شود، مجموع ظرفیت نصب شده سیستم (Ca_{it}) در سال t باید در رابطه زیر صدق کند:

$$(1 + a_t) D_{pt} \leq Ca_{it} \leq (1 + b_t) D_{pt} \quad (9)$$

۳.۳. قابلیت اطمینان LOLE

برای سنجش کفایت سیستم برای تأمین بار شبکه، از معیار $LOLE$ استفاده شده است.

$$LOLE_t \leq Cr_t \quad (10)$$

که Cr_t حد بحرانی $LOLE$ در سال t است.

۴. شبیه‌سازی مسئله

برای محاسبه پارامترهایی که در بخش‌های قبل بیان شد و حل مسئله بهینه‌سازی و انتخاب بهترین ترکیب پیشنهادی، مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید باید در هر پریود از دوره مطالعه شبیه‌سازی شود. از شبیه‌سازی مسئله، پارامترهایی همچون $LOLE$ ، مقدار انرژی تولید شده توسط هر واحد، مقدار سوخت مصرف شده، میزان آلودگی تولید شده توسط هر واحد و $EENS$ محاسبه می‌شود.

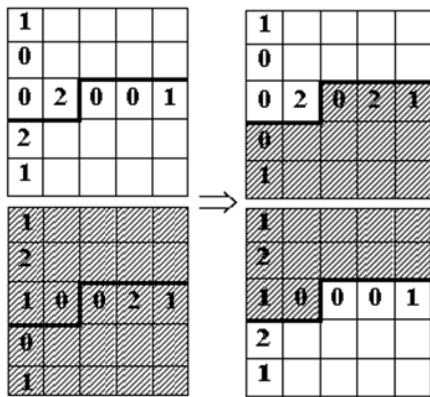
در الگوریتم پیشنهادی، جدول احتمال خروج ظرفیت مربوط به

$$f' = \alpha f + \beta \Rightarrow f' = \frac{f(i) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \quad (12)$$

f_{\max} و f_{\min} کمترین و بیشترین مقدار برازندگی در یکبار ارزیابی جمعیت است.

پس از محاسبه مقدار برازندگی جدید، کروموزوم‌هایی که بیشترین مقدار برازندگی را دارند، باید انتخاب شوند. روش‌های متفاوتی برای انتخاب وجود دارد [۱۴]. در این مقاله، عمل انتخاب با استفاده از روش چرخ رولت^۱ انجام می‌شود. کروموزوم‌های انتخاب‌شده برای اعمال عملگرهای ژنتیک بر روی آن‌ها وارد مرحله بعد می‌شوند.

۳.۵. عملگر تقاطع



شکل (۲): عملگر تقاطع

همان‌طور که بیان شد، هریک از کروموزوم‌ها باید بتواند قیود موجود را ارضا کند؛ اما در صورت انجام عمل تقاطع، احتمال اینکه کروموزوم‌های جدید در قیود صدق نکنند، بسیار زیاد است [۱۵]؛ از این‌رو، سه راه برای جایگزینی کروموزوم‌های نامناسب جدید ایجادشده از عملگر تقاطع وجود دارد:

۱. کروموزوم‌های جدید جایگزین کروموزوم موجود گردد (این روند در مراحل انتهایی، موجب کندشدن یا ناهمگرایی الگوریتم می‌شود).
 ۲. دو کروموزوم به صورت تصادفی از بین جمعیت انتخاب و جایگزین کروموزوم‌های موجود گردد (این عمل ممکن است موجب همگرایی زودرس بشود).
 ۳. کروموزوم‌ها بعد از عمل تقاطع اصلاح شوند تا قیود بتواند در آن‌ها صدق کنند.
- در الگوریتم پیشنهادی، هریک از این سه راه شایسته انتخاب است.

با توجه به شکل (۱)، هر ستون از ماتریس پیش‌گفته به یک نوع نیروگاه و هر سطر از این ماتریس به یک دوره زمانی (مثلاً یک سال) از دوره مطالعه (مثلاً ده‌ساله) اختصاص دارد؛ برای مثال با توجه شکل، سطر ۲ بیان می‌کند که در سال دوم دوره مطالعه، ۳ واحد از نیروگاه نوع سوم، ۱ واحد از نوع پنجم و ۱ واحد از نوع nام باید به شبکه اضافه شود تا قیود برآورده شود.

			1				
0	0	3	0	1			1
		0					
			1				
			0				

شکل (۱): ساختار کروموزوم پیشنهادی

همچنین ستون سوم بیان می‌کند که در سال اول یک واحد، در سال دوم ۳ واحد و در سال $T-1$ ام ۱ واحد از نیروگاه نوع ۳ باید به شبکه متصل شود. شایان ذکر است که هریک از سطرهای ماتریس مذکور باید همه قیود را ارضا کند. همچنین مجموع اعداد هر ستون که با مجموع واحدهای نیروگاه نوع n متصل شده به شبکه در سال‌های دوره مطالعه برابر است، باید کوچک‌تر یا مساوی حداکثر تعداد واحدهای پیشنهادشده آن نیروگاه باشد. در ساختار پیشنهادی، از روش کدگذاری دسیمال استفاده شده است [۱۳].

۲.۵. ارزیابی و انتخاب کروموزوم

برای ارزیابی هر کروموزوم، ابتدا تابع هدف رابطه (۱) محاسبه می‌شود، سپس مقدار برازندگی به صورت زیر تعریف می‌گردد [۹، ۱۲]:

$$f = \frac{\alpha}{j + \beta} \quad (11)$$

α و β یک مقدار ثابت

j مقدار تابع هدف

یک کروموزوم خاص ممکن است در طول مراحل اولیه بر دیگر کروموزوم‌ها تسلط یابد و موجب همگرایی زودرس جمعیت شود. برای جلوگیری از این مشکل، از یک تکنیک سنجش خطی استفاده شده است. این تکنیک برای نگهداری شرایط ناسازگار مناسب در میان رشته‌ها استفاده می‌شود.

تعیین شد. در این بخش، با استفاده از مدل پخش بار متناوب شبکه، مکان هر یک از نیروگاه‌ها تعیین می‌شود.

تابع هدف برای جایابی نیروگاه به صورت زیر تعریف شده است:

$$Min(Z) = \left(\begin{array}{l} e \sum \omega_i (V_i - V_{ref}) + f \sum \omega_j \frac{S_j}{S_{jmax}} \\ + g \times Std (loading_j) + h \left(\sum \frac{Cost_{is}}{Cost_{max}} \right) \end{array} \right) \quad (13)$$

در این رابطه، پارامترهای استفاده شده به صورت زیر تعریف

می‌شود:

e, f, g, h	ضریب وزنی برای تعیین اولویت هریک از گزینه‌های تابع هدف‌اند.
w_i	ضریب وزنی برای تعیین اولویت هر شین
w_j	ضریب وزنی برای تعیین اولویت بارگیری خطوط
V_i	ولتاژ شین‌های شبکه
V_{ref}	ولتاژ مرجع شبکه
S_j	توان عبوری از هریک از خطوط شبکه
S_{jmax}	حداکثر ظرفیت توان عبوری از خط j از شبکه
$Std (loading)$	انحراف معیار بارگیری همه خطوط شبکه
$Cost$	هزینه‌های جانبی احداث نیروگاه در شین i در سال t

برای محاسبه تابع هدف از معیارهای بارگیری خطوط، انحراف معیار بارگیری خطوط، ولتاژ شین‌های شبکه و هزینه احداث نیروگاه در شین‌های شبکه استفاده شده است.

مؤلفه اول تابع هدف به منظور هدایت ولتاژ شین‌های شبکه به سمت ولتاژ مبنا قرار داده شده است. هرچه ولتاژ شین‌های شبکه به ولتاژ مبنا نزدیک‌تر باشد، مقدار این مؤلفه کمترین مقدار ممکن را خواهد داشت.

به منظور جلوگیری از افزایش بارگیری خطوط و اعمال شرط تعادل بار و تولید منطقه‌ای، از مؤلفه‌های دوم و سوم تابع هدف استفاده شده است. هرچه انحراف معیار بارگیری خطوط کمتر باشد، بیانگر نزدیکی بارگیری خطوط به یک مقدار خاص است و هرچه انحراف معیار بیشتر باشد، بیانگر این نکته است که در برخی نواحی، افزایش تولید و در برخی نواحی، کاهش تولید وجود دارد. آخرین مؤلفه تابع هدف، مقدار نرمال هزینه‌های جانبی احداث نیروگاه در هر شین است.

برای هر شین، قیمت در نظر گرفته شده، معادل مجموع قیمت خرید زمین، انتقال تجهیزات و فراهم کردن امکان انتقال سوخت به آن نقطه یا هزینه احداث خطوط جدید از آن شین به شین‌های دیگر است. بدیهی است که کاهش هزینه نیز یکی از اصلی‌ترین اهداف برنامه‌ریزی تولید است. مؤلفه مذکور توسط فرد خبره سیستم در ماتریس قیود جایابی وارد می‌شود.

۴.۵. روش اصلاح کروموزوم‌ها

در اصلاح کروموزوم‌ها از روش حذف و توسعه متوالی استفاده شده است تا به محدوده مجاز بازگردانده شوند. در این روش، اولویت‌بندی واحدها نقش مهمی در حذف و توسعه واحدها ایفا می‌کند. اولویت‌بندی واحدها می‌تواند توسط کاربر انجام شود یا از روش *AHP* استفاده گردد. مراحل اصلاح کروموزوم به شرح زیر انجام می‌شود:

۱. اولین قیدی که بررسی می‌شود، حد مجاز رزرو شبکه در هر سال از دوره مطالعه است. در صورتی که در یکی از سال‌های دوره مطالعه، ظرفیت نصب‌شده بیشتر از حد مجاز باشد، باید از ترکیب مربوط به این سال، واحد یا واحدهایی حذف گردد تا مقدار ظرفیت نصب‌شده به حد مجاز برگردد. برای این منظور، واحدی حذف می‌گردد که با توجه به اولویت‌بندی انجام‌شده، کمترین امتیاز را آورده باشد. خاطر نشان می‌گردد در صورتی که تعداد واحدهای دارای کمترین اولویت موجود در شبکه در سال مذکور برابر صفر باشد، حذف واحد از اولویت بعدی انجام می‌شود. این عمل تا جایی انجام می‌شود که مقدار ظرفیت نصب‌شده به حد مجاز برگردد.

۲. قید بعدی که بررسی می‌شود، قید حد مجاز انتخاب واحدهاست. ممکن است بر اثر عمل تقاطع، مجموع واحدهای یک نیروگاه (مجموع اعداد هر ستون از ماتریس کروموزوم) که به شبکه متصل شده است، بیشتر از تعداد واحدهای پیشنهاد آن نیروگاه گردد. برای اصلاح این مشکل، واحدهای اضافه این نوع نیروگاه از ترکیبات مربوط به دوره‌های زمانی مختلف که دارای بیشترین مقدار رزرو یا بیشترین مقدار قابلیت اطمینان هستند، حذف می‌شوند. باید دقت شود که تعداد واحدهای این نیروگاه در ترکیبی که بیشترین حد رزرو یا قابلیت اطمینان را دارد، از صفر بیشتر باشد. در غیر این صورت، ترکیب مناسب دیگری باید برای این منظور انتخاب شود. این عمل تا جایی انجام می‌شود که در ترکیب هر کروموزوم، مجموع واحدهای نیروگاهی، بیشتر از تعداد واحدهای کاندیداشده آن نیروگاه نگردد.

۳. قید بعدی، قید قابلیت اطمینان است. از آنجاکه تغییر در ترکیب نیروگاه‌های هر سال بر روی پارامترهای قابلیت اطمینان سال‌های دیگر نیز تأثیر دارد، ممکن است حذف واحدهای اضافی بیان‌شده در سطرهای بالا، موجب کاهش قابلیت اطمینان یا کاهش مقدار رزرو شبکه در سال‌های بعدی شود؛ از این رو در این مرحله، با اضافه کردن واحدهای دارای اولویت بیشتر یا حذف واحدهای دارای اولویت کمتر، ضمن بهبود شرایط هر ترکیب، تغییرات مدنظر افراد خبره نیز در ترکیبات اعمال می‌شود.

۶. شبیه‌سازی جایابی نیروگاه

در بخش اول، تعداد و نوع و سال ورود نیروگاه‌های جدید به شبکه

۱.۶. قیود مسئله جایابی

۱.۱.۶. محدودیت احداث نیروگاه در هر شین

با توجه به شرایط محیطی و فنی و اقتصادی، ممکن است امکان احداث یک نوع نیروگاه در یک شین وجود نداشته باشد؛ از این رو، باید این محدودیت در جایابی نیروگاه اعمال شود.

برای اعمال این محدودیت از ماتریسی که سطرهای آن بیانگر شین‌های شبکه و ستون‌های آن نشان‌دهنده نیروگاه‌های کاندیدا می‌باشد، استفاده شده است.

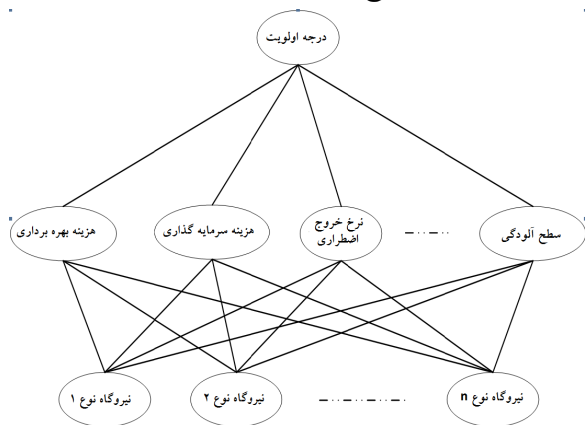
در صورتی که قابلیت احداث نیروگاه نوع n در شین m وجود داشته باشد، آرایه مربوط (a_{nm}) برابر هزینه جانبی نرمال‌شده احداث نیروگاه در آن شین و در صورتی که این امکان وجود نداشته باشد، آرایه مذکور برابر صفر قرار داده خواهد شد. هزینه جانبی (قیمت احداث نیروگاه) در شین m برابر قیمت زمین، هزینه انتقال سوخت یا هزینه احداث خطوط جدید بین این شین و شین‌های دیگر است؛ برای مثال، با توجه به ماتریس شکل (۳) فرض شده است که قیمت احداث نیروگاه در همه شین‌ها برابر باشد. با توجه به شکل، نیروگاه نوع ۲ در شین ۲ و ۳ احداث می‌شود؛ اما در شین ۱ و ۴ قابلیت احداث ندارد.

$$1 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

شکل (۳): ماتریس قیود جایابی

۷. روش اولویت‌بندی واحدها

برای اولویت‌بندی واحدها از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است [۱۶ و ۱۰]. سلسله‌مراتب در بررسی اولویت نیروگاه‌ها و مؤلفه‌های تابع هدف، به صورت شکل (۴) تعریف شده است. با توجه به شکل (۴)، n نوع نیروگاه وجود دارد که با استفاده از m معیار مقایسه می‌شود. تعیین اولویت معیارها و یافتن ضرایب وزنی آن‌ها مقادیر A ، B و C را خواهد داد. با تعیین مقدار اولویت معیارها و اولویت‌بندی هر واحد نسبت به واحد دیگر در هریک از معیارهای مقایسه و ترکیب این دو مقدار باهم، می‌توان اولویت واحدها را به دست آورد. چگونگی به دست آوردن ضرایب وزنی آن‌ها در شکل‌های (۵) و (۶) تشریح شده است.



شکل (۴): گزینه‌ها و معیارها در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی توسعه تولید

فرض کنید قرار است ۳ نیروگاه با ۴ اولویت بررسی شود. ضرایب وزنی هر یک از معیارها نسبت به دیگری با استفاده از ماتریس موجود در شکل (۵) نشان داده شده است. با استفاده از روش بیان‌شده در [۱۰]، ضرایب وزنی هریک از معیارها (مؤلفه‌های تابع هدف) به دست می‌آید.

جرایم ایجاد آلودگی	هزینه انرژی تأمین نشده	هزینه بهره‌برداری	هزینه سرمایه‌گذاری	
c	b	a	1	هزینه سرمایه‌گذاری
e	d	1	1/a	هزینه بهره‌برداری
f	1	1/d	1/b	هزینه انرژی تأمین نشده
1	1/f	1/e	1/c	جرایم ایجاد آلودگی

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix}$$

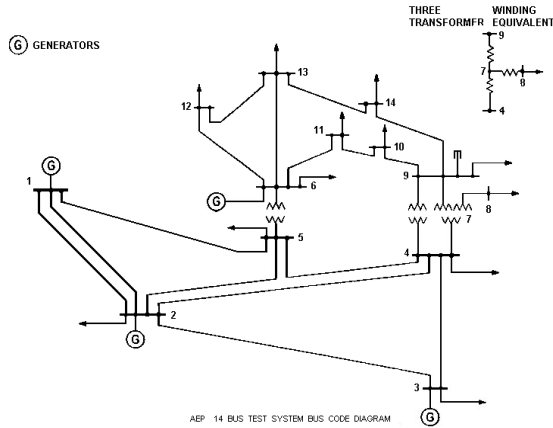
شکل (۵): تعیین ضرایب وزنی مؤلفه‌های تابع هزینه

۲.۱.۶. احداث یک نوع نیروگاه در هر شین

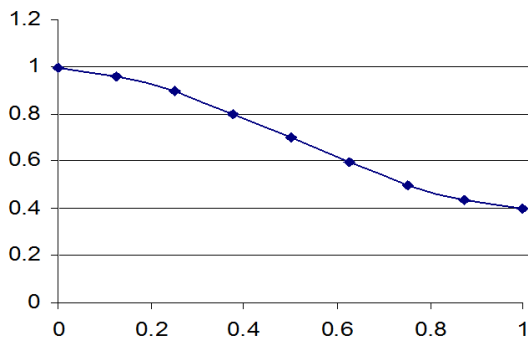
در صورت احداث یک نوع نیروگاه در یک شین، نیروگاه نوع دیگری در آن شین احداث نخواهد شد. برای اعمال این شرط در مراحل بعد، همه آرایه‌های مربوط به ستون نیروگاه مذکور صفر قرار داده می‌شود؛ ولی آرایه مربوط به نیروگاه و شین مربوط، برای مراحل بعد همچنان یک باقی می‌ماند و ماتریس قیود اصلاح می‌شود.

همچنین هزینه جانبی احداث نیروگاه در شین مذکور، برای مراحل بعدی صفر در نظر گرفته خواهد شد.

مراحل این بهینه‌سازی نیز توسط الگوریتم ژنتیک انجام شده است. این مراحل برای هر سال انجام می‌شود و ماتریس‌های مربوط در هر سال اصلاح می‌گردند. عمل جایابی تا جایی ادامه می‌یابد که محل احداث همه واحدهای مشخص شده در قسمت اول برنامه تعیین گردد. در پایان برنامه، دو ماتریس شامل تعداد، نوع، ظرفیت، سال ورود و مکان احداث نیروگاه در خروجی نشان داده می‌شود.



شکل (۷): شبکه نمونه



شکل (۸): منحنی تداوم بار شبکه

جدول (۱): مشخصات نیروگاه‌های موجود در شبکه

نوع نیروگاه	سیکل ترکیبی	توربین گازی	حرارتی	حرارتی
محل احداث	۳	۵	۶	۱
حداکثر ظرفیت عملی (MW)	۲۵	۵۰	۵۰	۲۵
ظرفیت پایه (MW)	۱۰	۳۰	۳۰	۰
تعداد واحد	۳	۲	۲	۲
نرخ خروج اضطراری %	۱۵	۶	۷/۳	۸/۹
هزینه متغیر بهره‌برداری (\$MWh ⁻¹)	۵	۱/۶	۱/۶	۲
هزینه ثابت بهره‌برداری (\$kW-mon ⁻¹)	۲/۱	۸/۳۵	۴/۵۷	۱/۹۱
سال ساخت نیروگاه	۱۳۶۰	۱۳۷۵	۱۳۶۸	۱۳۸۵
عمر نیروگاه	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
تعداد سوخت مصرفی	۱	۱	۱	۱
نرخ حرارتی در سوخت اول (kCal.kWh ⁻¹)	۲۰۴۸	۳۳۰۰	۲۴۵۰	۲۹۰۰
نرخ حرارتی افزایشی متوسط (kCal.kWh ⁻¹)	۲۰۴۸	۳۳۰۰	۲۱۵۰	۲۵۵۰

در شکل (۵)، a درجه اهمیت هزینه سرمایه‌گذاری به هزینه بهره‌برداری، b درجه اهمیت هزینه سرمایه‌گذاری به هزینه انرژی تأمین‌نشده و... است. ضرایب وزنی هر یک از نیروگاه‌ها نیز به صورت شکل (۶) به دست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ a_{12}^{-1} & 1 & a_{23} \\ a_{13}^{-1} & a_{23}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} w_{1a} \\ w_{2a} \\ w_{3a} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{12} & b_{13} \\ b_{12}^{-1} & 1 & b_{23} \\ b_{13}^{-1} & b_{23}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} w_{1b} \\ w_{2b} \\ w_{3b} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & c_{12} & c_{13} \\ c_{12}^{-1} & 1 & c_{23} \\ c_{13}^{-1} & c_{23}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} w_{1c} \\ w_{2c} \\ w_{3c} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & d_{12} & d_{13} \\ d_{12}^{-1} & 1 & d_{23} \\ d_{13}^{-1} & d_{23}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} w_{1d} \\ w_{2d} \\ w_{3d} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} w_{1a} & w_{1b} & w_{1c} & w_{1d} \\ w_{2a} & w_{2b} & w_{2c} & w_{2d} \\ w_{3a} & w_{3b} & w_{3c} & w_{3d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix}$$

شکل (۶): روش به دست آوردن ضرایب وزنی نیروگاه‌ها

در شکل بالا، a_{ij} درجه اهمیت نیروگاه i به نیروگاه j در معیار هزینه سرمایه‌گذاری، b_{ij} درجه اهمیت نیروگاه i به نیروگاه j در معیار هزینه بهره‌برداری، c_{ij} درجه اهمیت نیروگاه i به نیروگاه j در معیار هزینه انرژی تأمین‌نشده و d_{ij} درجه اهمیت نیروگاه i به نیروگاه j در معیار تولید آلودگی است. w_1 ، w_2 و w_3 ضرایب وزنی ۳ نیروگاه نسبت به یکدیگرند. ضرایب وزنی بخش جایابی نیز به همین ترتیب به دست می‌آید.

۸. توسعه یک شبکه نمونه

برای نشان دادن قابلیت‌های روش ارائه‌شده در این مقاله، در این بخش یک مورد مطالعاتی بررسی می‌شود. برای شبیه‌سازی مسئله، از شبکه ۱۴ شین اصلاح‌شده IEEE استفاده شده است [۱۷].

نوع نیروگاه	سیکل ترکیبی	توربین گازی	سیکل ترکیبی	گازی	گازی	هسته‌ای	حرارتی
(kCal.kWh ⁻¹)							
ارزش حرارتی سوخت نوع اول (kCal.kg ⁻¹)	۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۸۰۰	۲۶۰۰	۲۷۰۰	۲۳۴۰	۲۲۰۰
قیمت سوخت نوع اول (c.million kCal ⁻¹)	۱۲۶۶	۴۲۰	۸۳۳	۴۹۵			
میزان آلودگی نوع ۱ در سوخت اول (٪ از وزن سوخت)	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵
میزان آلودگی نوع ۲ در سوخت اول (٪ از وزن سوخت)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
درصد انرژی تولید شده توسط سوخت دوم (٪)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
نرخ حرارتی در سوخت دوم (kCal.kWh ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
نرخ حرارتی افزایشی متوسط (kCal.kWh ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
ارزش حرارتی سوخت دوم (kCal.kg ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
قیمت سوخت نوع دوم (c.million kCal ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
میزان آلودگی نوع ۱ در سوخت دوم (٪ از وزن سوخت)	-	-	-	-	-	-	-
میزان آلودگی نوع ۲ در سوخت دوم (٪ از وزن سوخت)	-	-	-	-	-	-	-

نوع نیروگاه	سیکل ترکیبی	توربین گازی	سیکل ترکیبی	گازی	گازی	هسته‌ای	حرارتی
(kCal.kWh ⁻¹)							
ارزش حرارتی سوخت نوع اول (kCal.kg ⁻¹)	۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۸۰۰	۲۶۰۰	۲۷۰۰	۲۳۴۰	۲۲۰۰
قیمت سوخت نوع اول (c.million kCal ⁻¹)	۱۲۶۶	۴۲۰	۸۳۳	۴۹۵			
میزان آلودگی نوع ۱ در سوخت اول (٪ از وزن سوخت)	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵
میزان آلودگی نوع ۲ در سوخت اول (٪ از وزن سوخت)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
درصد انرژی تولید شده توسط سوخت دوم (٪)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
نرخ حرارتی در سوخت دوم (kCal.kWh ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
نرخ حرارتی افزایشی متوسط (kCal.kWh ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
ارزش حرارتی سوخت دوم (kCal.kg ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
قیمت سوخت نوع دوم (c.million kCal ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
میزان آلودگی نوع ۱ در سوخت دوم (٪ از وزن سوخت)	-	-	-	-	-	-	-
میزان آلودگی نوع ۲ در سوخت دوم (٪ از وزن سوخت)	-	-	-	-	-	-	-

جدول (۳): اطلاعات ماتریس فیود جایابی

حرارتی	سیکل ترکیبی	گازی	گازی	هسته‌ای	شین
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۱	۰
۴	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۱	۱	۱	۱	۱
۶	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۱	۱	۱	۱	۱
۸	۱	۱	۱	۱	۱
۹	۱	۱	۱	۱	۱
۱۰	۱	۱	۱	۱	۱
۱۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۲	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱
۱۴	۰	۰	۰	۰	۰

جدول (۲): مشخصات نیروگاه‌های کانیدیا

نوع نیروگاه	سیکل ترکیبی	گازی	گازی	هسته‌ای	ظرفیت عملی (MW)
ظرفیت عملی (MW)	۲۵	۵۰	۵۰	۱۰۰	۲۵
ظرفیت پایه (MW)	۰	۰	۳۰	۸۰	۱۵
تعداد واحد	۴	۴	۴	۳	۱۰
نرخ خروج اضطراری ٪	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۸
هزینه متغیر بهره‌برداری (\$/MWh ⁻¹)	۴	۵/۹	۶/۱	۰/۵	۵
هزینه ثابت بهره‌برداری (\$/kW-mon ⁻¹)	۲/۱	۲/۷	۲/۷	۲/۵	۲/۹۲
هزینه ساخت نیروگاه (\$/MW ⁻¹)	۷۹۵	۱۴۸۵	۱۳۶۱	۲۴۳۳	۱۲۳۸
عمر نیروگاه	۲۵	۲۵	۲۵	۵۰	۲۰
مدت ساخت نیروگاه	۲	۱	۲	۲	۱
تعداد سوخت مصرفی	۱	۱	۱	۱	۱
نرخ حرارتی در سوخت اول	۱۹۵۰	۳۱۰۰	۳۰۰۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰

فرضیات مسئله:

- فرض شده است که امکان احداث نیروگاه در شین‌های ۲، ۴، ۶ و ۱۴ وجود ندارد و در شین ۳ فقط امکان احداث نیروگاه سیکل ترکیبی وجود دارد.
- قیمت احداث نیروگاه در همه شین‌ها برابر فرض شده است.
- حداقل رزرو ۱۰ و حداکثر آن ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است.
- مقدار $LOLE$ بحرانی ۰/۱ و نرخ بهره ۵ درصد فرض شده است.
- سال شروع مطالعه ۱۳۹۳، سال مبنای محاسبات ۱۳۹۱ و دوره مطالعه ۵ سال در نظر گرفته شده است.
- اولویت انتخاب به ترتیب با نیروگاه هسته‌ای، حرارتی، سیکل ترکیبی و گازی در نظر گرفته شده است.
- تعداد جمعیت اولیه در بخش اول ۲۰۰، تعداد نسل (تکرار) ۲۰۰، احتمال تقاطع ۰/۶ و احتمال جهش ۰/۰۵ و برای بخش جابجایی تعداد جمعیت اولیه ۱۲۰، تعداد نسل (تکرار) ۶۰ احتمال تقاطع ۰/۷ و احتمال جهش ۰/۱ انتخاب شده است. از تکنیک نخبه‌گرایی نیز در این الگوریتم استفاده شده است.
- عمر واحدهای موجود و دوره ساخت واحدهای جدید در فرایند برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده است.

۱.۸. بررسی عملکرد الگوریتم اصلاح

حالت اول: در صورتی که ضرایب وزنی مؤلفه‌های هزینه‌ای رابطه (۱) برابر ۱ و عملگر تقاطع از نوع اول (جایگزینی) انتخاب شود، ترکیب بهینه تولید به صورت جدول (۴) خواهد بود.

جدول (۴): تعداد واحدهای اضافه‌شده هریک از نیروگاه‌های کاندیدا

سال	هسته‌ای	گازی	گازی	سیکل ترکیبی	حرارتی
اول	۲	-	-	۲	-
دوم	-	-	-	۲	-
سوم	۱	-	۱	-	-
چهارم	-	-	۱	-	-
پنجم	-	۱	-	-	-

حالت دوم: در صورتی که ضرایب وزنی مؤلفه‌های هزینه‌ای رابطه (۱) برابر ۱ و عملگر تقاطع نوع دوم (روش اصلاح) انتخاب شود، ترکیب بهینه تولید در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): تعداد واحدهای اضافه‌شده هریک از نیروگاه‌های کاندیدا در هر سال از مطالعه در حالتی که تقاطع نوع دوم انتخاب شود.

سال	هسته‌ای	گازی	گازی	سیکل ترکیبی	حرارتی
اول	۲	-	-	۱	-
دوم	۱	-	-	-	-
سوم	-	-	-	۲	۲
چهارم	-	-	-	۱	۱
پنجم	-	-	۱	-	۱

مزایای استفاده از روش اصلاح کروموزوم:

۱. همان‌طور که از جدول (۵) پیداست، در روش اصلاح کروموزوم، واحدهایی که دارای اولویت بالاتر هستند، در اولویت انتخاب قرار می‌گیرند؛ اما در روش جایگزینی، این امر صادق نیست.
۲. تغییر در تعداد جمعیت و تعداد نسل، تأثیر مستقیم در پاسخ ارائه‌شده توسط روش جایگزینی کردن کروموزوم دارد؛ اما این تأثیر در روش اصلاح، بسیار ناچیز است.

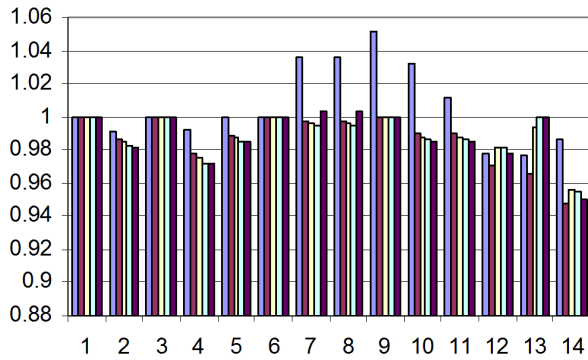
۲.۸. بررسی تأثیر هریک از مؤلفه‌های تابع هدف بر روی جابجایی

در این بخش، با تغییر ضرایب وزنی مربوط به شین یا خطی که همچنان در وضعیت بحرانی قرار دارد، شبکه را به حالت مطلوب می‌رسانیم. به این منظور، ترکیب تولید مشخص شده در جدول (۵) به عنوان نتیجه بخش اول مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید در نظر گرفته می‌شود. ضریب وزنی همه مؤلفه‌ها تابع هدف جابجایی برابر ۱ در نظر گرفته شده است. در این حالت، وضعیت جابجایی نیروگاه‌ها به صورت جدول (۶) و وضعیت ولتاژ شین‌ها و بارگیری خطوط در شکل (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

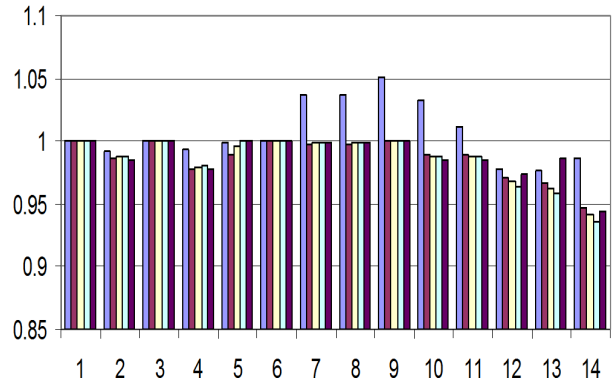
جدول (۶): محل احداث واحدهای اضافه‌شده

در حالت ضرایب وزنی برابر

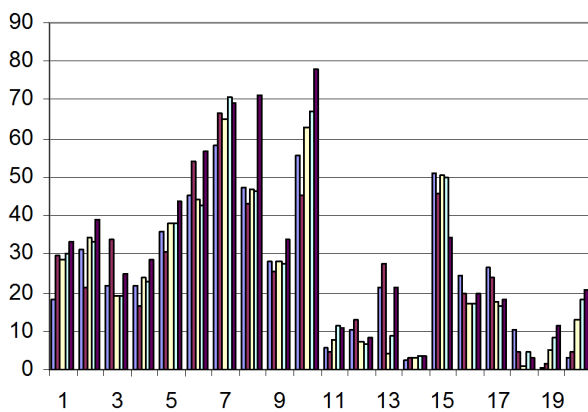
سال	هسته‌ای	گازی	گازی	سیکل ترکیبی	حرارتی
اول	شین ۹	-	-	شین ۳	-
دوم	شین ۱	-	-	-	-
سوم	-	-	-	شین ۳	شین ۵
چهارم	-	-	-	شین ۳	شین ۵
پنجم	-	-	شین ۱۳	-	شین ۵



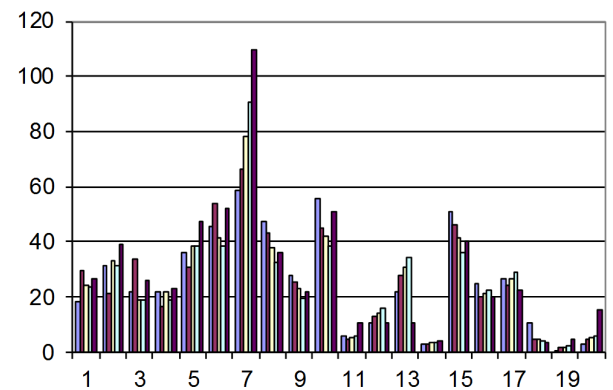
شکل (۱۱): وضعیت ولتاژ شین‌های شبکه در دوره مطالعه پس از اصلاح ضرایب وزنی (بر مبنای واحد)



شکل (۹): وضعیت ولتاژ شین‌های شبکه (بر مبنای واحد)



شکل (۱۲): وضعیت بارگیری خطوط شبکه در دوره مطالعه پس از اصلاح ضرایب وزنی (درصد)



شکل (۱۰): وضعیت بارگیری خطوط (درصد)

۹. نتیجه‌گیری

این مقاله با هدف تدوین ساختاری مناسب و انعطاف‌پذیر به منظور انجام مطالعات برنامه‌ریزی شبکه تدوین شده است. به دلیل گستردگی مسئله برنامه‌ریزی توسعه شبکه، برنامه‌ریزی توسعه تولید به همراه مکان‌یابی نیروگاه‌های پیشنهادی به عنوان هدف اصلی این مقاله انتخاب شد.

همچنین در مطالعات گذشته، فقط روابط ریاضی ملاک تصمیم‌گیری قرار می‌گرفت؛ اما در این مقاله، علاوه بر روابط ریاضی، مسائل دیگری نیز در تصمیم‌گیری‌های این‌چنینی نقش دارند؛ برای مثال، نیروگاه نوع X به دلیل برخی عوامل مانند شرایط محیطی، مدت زمان نصب یا نوع خاصی از تکنولوژی، در اولویت برتری نسبت به دیگر نیروگاه‌ها قرار دارد. همچنین شین Y به دلیل وجود صنایع استراتژیک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ از این رو، علاوه بر روابط ریاضی حاکم بر مسئله، نظر افراد خبره نیز به فرایند برنامه‌ریزی کمک می‌کند. این اعمال

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، وضعیت ولتاژ شین ۱۴ و بارگیری خط شماره ۷ (شین ۴ به شین ۵) در وضع مطلوبی قرار ندارد. رفع این مشکل، در اجرای دیگری از برنامه، ضرایب وزنی شین ۱۴ و خط ۷ را افزایش می‌دهیم تا برنامه با پیشنهاد مکان جدید برای نیروگاه‌ها، این مشکل را رفع کند. نتایج حاصل از افزایش درجه اهمیت خط ۷ و شین ۱۴ در جدول (۷) و شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است.

مشاهده می‌شود که وضعیت ولتاژ و بارگذاری خطوط، بدون افزایش در هزینه، بهبود یافته است.

جدول (۷): محل احداث واحدهای جدید پس از اصلاح ضرایب وزنی

سال	هسته‌ای	گازی	گازی	سیکل ترکیبی	حرارتی
اول	شین ۹	-	-	شین ۳	-
دوم	شین ۱	-	-	-	-
سوم	-	-	-	شین ۳	شین ۱۳
چهارم	-	-	-	شین ۳	شین ۱۳
پنجم	-	-	شین ۷	-	شین ۱۳

به صورت هدفمند جست‌وجو می‌کند و وابستگی پاسخ به تعداد جمعیت یا نسل را کاهش می‌دهد.

نظر با استفاده از روش AHP به روابط ریاضی تبدیل و در فرایند حل مسئله در نظر گرفته می‌شود.

روش اصلاح کروموزوم به‌کارگرفته‌شده در این مسئله، ضمن هدایت جمعیت‌های هر نسل به سمت بهینه مطلوب نظر، فضای پاسخ را

مراجع

- [1] "Introduction to the WASP IV Model, User's Manual", International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, Nov. 2001.
- [2] Wang, X., McDonald, J. R. "Modern Power System Planning". London, U.K.: McGraw-Hill, pp. 208-229, 1994.
- [3] Kannan, S., Slochanal, S.M.R, Padhy, N.P., "Application and comparison of metaheuristic techniques to generation expansion planning problem", IEEE Trans. Power Syst., 20, (1), pp. 466-475, 2005.
- [4] Kannan, S., Baskar, S., McCally, J.D, Murugan, P., "Application of NSGA-II algorithm to generation expansion planning", IEEE Trans. Power Syst., 24, (1), pp. 454-461, 2009.
- [5] Alizadeh, B., Jadid, S., "Reliability constrained coordination of generation and transmission expansion planning in power systems using mixed integer programming", IET Gener. Transm. Distrib, vol. 5, Iss. 9, pp. 960-984, 2011.
- [6] Xia, Q., Song, Y. H. Kang, Xiang, C. N. "Novel Model and Algorithms for Generation Unit Location Optimization", IEEE Trans. On Power System, Vol. 12, No. 4, PP. 1584-1590, Nov. 1997.
- [7] حسینی، سید هادی، مطالعات برنامه‌ریزی توسعه مرکب نیروگاه‌ها و شبکه انتقال توان الکتریکی، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، بهار ۱۳۸۴.
- [8] Zhu, J., Chow, M.-Y., "A review of emerging techniques on generation expansion planning", IEEE Trans. Power System., vol. 12, No. 4, pp. 1722-1728, Nov. 1997.
- [9] Billinton, R., Allan, R. N., "Reliability Evaluation of Power System", Second edition, published by Plenum Press, New York and London, 1994.
- [10] قدسی‌پور، سید حسن، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، چاپ چهارم، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۴.
- [11] Park, J.-B., Park, Y.-M., Won, J.-R. Lee, K. Y. "An improved genetic algorithm for generation expansion planning", IEEE Trans. Power Syst., vol. 15, No. 3, pp. 916-922, Aug. 2000.
- [12] Firmo, H.T., Legey, L. F. L. "Generation Expansion Planning: An Iterative Genetic Algorithm Approach", IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 17, No. 3, Aug. 2002.
- [13] McCall, J., "Genetic algorithms for modeling and optimization", Elsevier, Journal of Computational and Applied Mathematics 184, pp. 205-222, 2005.
- [14] Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989.
- [15] Mohseni, A., Abedi, M., Modaghegh, H., "A new approaches to solve GEP problem Based on GA and AHP method" ICMSAO09, Sharjah, U.A.E, 2009.
- [16] Ghofrani, Abedi, Z., M. Gharehpetian, G. B., "Weighing Factor Selection for Contingency Ranking Associated With Voltage Security in Power Systems Using AHP Method", ICEE 2007, Tehran, Iran, 2007.
- [17] <http://www.pserc.cornell.edu>