

طراحی نرم افزار تعیین زمان بندی بهینه تعمیرات پیشگیرانه ی واحدهای نیروگاهی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی بازار برق و بورس انرژی

مرتضی شعبانزاده

پژوهشکده توزیع برق، گروه بهره برداری از سیستم های قدرت

پژوهشگاه نیرو

تهران، ایران

mshabanzadeh@nri.ac.ir

سید پیمان موسوی مبارکه، لادن خرسند

گروه اقتصاد و انرژی

پژوهشگاه نیرو

تهران، ایران

۱. مقدمه

در طی سالیان اخیر، برنامه ریزی و بهره برداری سیستم های قدرت تحولات قابل توجهی را تجربه کرده اند و نگرش های سنتی نسبت به اجرای آن ها تغییر بسزایی پیدا کرده است. تحولات عمده صورت گرفته از قبیل تجدید ساختار و حرکت به سمت معرفی رویکردهای رقابت محور در صنعت برق و همچنین هوشمندسازی شبکه قدرت، نقش موثری را در این راستا ایفا کرده اند. در این میان، زمان بندی نگهداشت (نگهداری و تعمیرات) تجهیزات نیز به عنوان یکی از مسایل مهم برنامه ریزی میان مدت سیستم های قدرت، از این تغییر مستثنی نبوده است.

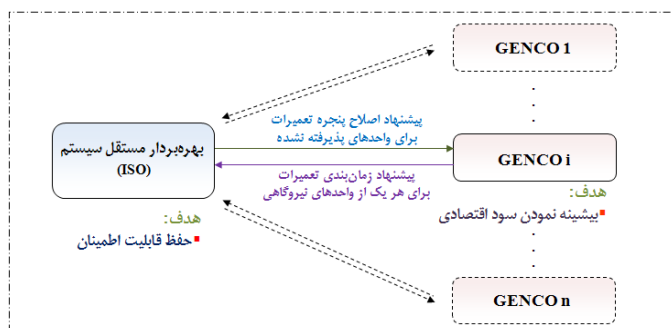
خروج پیشگیرانه واحدهای نیروگاهی و تجهیزات شبکه انتقال به منظور انجام برنامه نگهداشت آن ها، همواره به عنوان امری اجتناب ناپذیر در سیستم های قدرت مطرح بوده است. در سیستم های قدرت تجدید ساختار یافته، اجرای بازارهای مختلف برق (بازار روزفروش انرژی، خدمات جانبی، بورس انرژی و قراردادهای دوجانبه) در مقاطع زمانی متفاوت و با هدف تامین اقتصادی انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان، سبب شده تا مبحث خروج واحدهای نیروگاهی و خطوط انتقال در این بازه های زمانی مورد توجه

چکیده — در فضای رقابتی بازارهای برق، تهیه و توسعه ابزارهای تصمیم گیری منعطف و چندکاره برای شرکت های مدیریت تولید برق (GENCOs)، از اهمیت بسزایی برخوردار است. با توجه به اینکه تعیین زمان بندی مناسب و موثر خروج پیشگیرانه واحدهای نیروگاهی با هدف انجام تعمیرات دوره ای می تواند فارغ از کاهش ریسک های مالی، منافع اقتصادی قابل توجهی را برای مالک نیروگاه به همراه داشته باشد لذا تهیه و توسعه نرم افزارهای برنامه ریزی تعمیرات به ویژه در بخش تولید امری اجتناب ناپذیر خواهد بود. این مقاله با معرفی نرم افزار بومی برنامه ریزی پیشگیرانه خروج واحدهای نیروگاهی، به ارائه راهکار مناسبی در تعیین دوره های زمانی بهینه خروج واحدهای تحت مالکیت یک شرکت مدیریت تولید برق خصوصی می پردازد. این نرم افزار، از نگاه مالک نیروگاه و بر مبنای شمارش ساعات کارکرد واحدها، زمان بندی بهینه تعمیرات را در یک افق برنامه ریزی میان مدت تعیین می کند. در انتها، عملکرد نرم افزار طراحی شده در یک مطالعه موردی ارزیابی می شود.

واژه های کلیدی — برنامه ریزی پیشگیرانه تعمیرات؛ زمان بندی خروج واحدها؛ نرم افزار تعمیرات دوره ای؛ بازار برق؛ بورس انرژی.

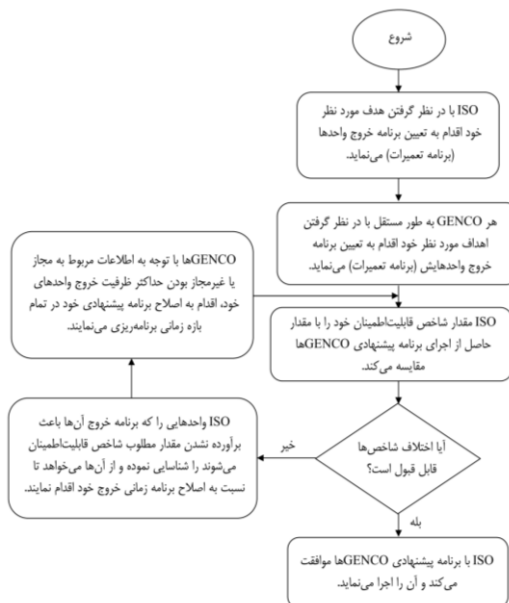
۲.۲. سازوکار مبتنی بر بازار برق

با تجدید ساختار سیستم های قدرت، برنامه ریزی واحدهای نیروگاهی مشخصه های جدید به خود گرفته و کاملاً متفاوت با سازوکار متمرکز و سنتی خود شده است [۵]. در ساختار جدید، برنامه ریزی تعمیرات واحدها دیگر تنها توسط بهره بردار سیستم (ISO) تعیین نمی شود و عمدتاً تصمیمات مالکین نیروگاه (GENCOها) نقش بسزایی در چیدمان آرایش نهایی برنامه تعمیرات واحدها خواهد داشت (شکل ۲).



شکل ۲: سازوکار برنامه ریزی تعمیرات در محیط تجدید ساختار یافته [۱]

مطابق شکل ۳، در سازوکار جدید، GENCOها سعی می کنند تا مطابق با شرایط بهره برداری واحدهای نیروگاهی خود، قیمت بازار برق و همچنین سایر عوامل اقتصادی دخیل در تعاملات تجاری شان، برنامه خروج واحدهای تحت پوشش خود را تعیین و اعلام نمایند. هدف آنها از ارائه برنامه تعمیرات این است که عمر واحدهای تولیدی خود را تا حد مطلوب حفظ نموده و سود حاصل از برق تولیدی آنها نیز تا حد امکان بیشینه باشد [۶].



شکل ۳: فرآیند تثبیت برنامه زمان بندی تعمیرات در سازوکار مبتنی بر بازار

بیشتری قرار گیرد تا علاوه بر تولید و انتقال مطمئن انرژی الکتریکی بتوان از بروز تغییرات ناگهانی قیمت برق در هنگام وقوع خروج های احتمالی و تبعات مالی آن برای بازیگران بازار نیز اجتناب نمود [۷].

در این مقاله، سعی شده است تا ضمن بیان اهمیت فنی و اقتصادی تعیین زمان بندی بهینه خروج واحدهای نیروگاهی (بابت اجرای برنامه های تعمیرات دوره ای)، با معرفی نرم افزار بومی برنامه ریزی تعمیرات از نگاه مالک نیروگاه، بر ضرورت تجهیز شدن شرکت های مدیریت تولید برق ایران در سال های نه چندان دور به ابزارهای تصمیم گیری تجاری تاکید شود.

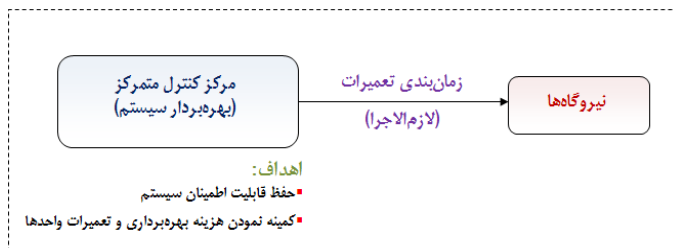
۲. ادبیات موضوع برنامه ریزی تعمیرات و

اصالت کار

۲.۱. سازوکار سنتی

در سال های گذشته، برنامه ریزی تعمیرات به صورت تجربی و بر مبنای روش های ابتکاری و سعی و خطا انجام می شد [۲]. کمینه سازی متوسط کل هزینه های تولید و تعمیرات واحدها [۳] و همچنین ریسک خاموشی [۴] دو هدف عمده ای است که در سیستم های قدرت با ساختار یکپارچه عمودی (سنتی) مورد توجه قرار می گیرند.

در این ساختار، هدف اصلی بهره بردار سیستم (مرکز کنترل)، حفظ قابلیت اطمینان سیستم در کل هفته های سال و همچنین کمینه نمودن هزینه های بهره برداری و تعمیرات تمامی واحدهای نیروگاهی تحت پوشش خود است و بر این اساس، برنامه های تعمیراتی به صورت متمرکز و قطعی (غیراحتمالاتی) تعیین شده و به صورت لازم الاجرا به نیروگاه ها ابلاغ می شوند (شکل ۱).



شکل ۱: سازوکار برنامه ریزی تعمیرات در سیستم های سنتی قدرت [۱]

با این وجود، بدیهی است که روش های ابتکاری و متمرکز هرگز نمی توانند در سیستم های قدرت مدرن دستیابی به یک جواب امکان پذیر و عملی و در عین حال، اقتصادی را تضمین کنند.

بلوک های زمانی غیرپیک و پیک، سبب می شود که نه تنها دقت پیش بینی تا حد قابل ملاحظه ای افزایش پیدا کند بلکه با کاهش چشم گیر متغیرهای تصمیم گیری مسئله همراه شده و لذا سرعت محاسباتی نرم افزار به میزان بسیار خوبی افزایش پیدا کند.



شکل ۴: سود اقتصادی (تفاضل درآمدها و هزینه ها) شرکت مدیریت تولید [۶]

$$\text{Profit} = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NU} \sum_{w=1}^{NW} \sum_{sw=1}^{NS} \sum_{sd=1}^{ND} [\lambda_{w,sw,sd}^{\text{Market}} P_{ij,w,sw,sd}^{\text{Market}} + \lambda_{w,sw,sd}^{PX} P_{ij,w,sw,sd}^{PX}] - \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NU} \sum_{w=1}^{NW} \sum_{sw=1}^{NS} \sum_{sd=1}^{ND} [(A_{ij} v_{ij,w,sw,sd} + MC_{ij} P_{ij,w,sw,sd}) + C_{ij,w,sw,sd}^{\text{start-up}}] - \beta_0 \times \Gamma_0 - \sum_{w=1}^{NW} \sum_{sw=1}^{NS} \sum_{sd=1}^{ND} \zeta_{iw,sw,sd}^0 \quad (1)$$

در این رابطه داریم:

i : شماره نیروگاه های متعلق به GENCO (عددی بین ۱ تا NG).

j : شماره واحد نیروگاهی (عددی بین ۱ تا NU).

w : شماره هفته (بین ۱ تا ۵۲).

sw : بلوک زمانی زیرمجموعه ای یک هفته (شامل: روزهای عادی هفته، پنجشنبه و جمعه)

sd : بلوک زمانی زیرمجموعه ای روز (شامل: ساعات غیرپیک و پیک)

$\lambda_{w,sw,sd}^{\text{Market}}$: پیش بینی قیمت بازار روزفروش برق در هفته w ، زیر هفته sw ،

و بلوک ساعتی sd (بر حسب واحد پول بر مگاوات ساعت).

بدیهی است که اگر هر یک از طرفین تنها سعی در منظور نمودن دیدگاه های خود در برنامه ریزی داشته باشند، این روند به جواب بهینه ای سوق پیدا نخواهد کرد. از این رو، در طراحی نرم افزارهای تصمیم گیری، توجه به قابلیت اطمینان سیستم از سوی GENCO ها و همچنین منافع اقتصادی تولیدکنندگان از سوی ISO در امر برنامه ریزی تعمیرات باید مورد توجه قرار گیرد.

پیچیدگی مربوط به مفاهیم برنامه ریزی که حاصل طبیعت مسئله در ترکیب اهداف مختلف دو بازیگر مهم بازار برق (ISO و GENCO ها) است منتج به این حقیقت می شود که برنامه ریزی تعمیرات همچنان یک موضوع تحقیقاتی پویا در حوزه بهینه سازی سیستم قدرت و یک نیاز عملی در صنعت برق کشور ما محسوب می شود. در این مقاله، تنها به معرفی ویژگی های نرم افزار طراحی شده تعیین زمان بندی بهینه تعمیرات از نگاه مالک نیروگاه پرداخته خواهد شد و ابزار (نرم افزار) ارزیابی برنامه های ارسالی شرکت های مدیریت تولید برق که مورد نیاز ISO (شرکت مدیریت شبکه برق ایران) می باشد به عنوان کار پژوهشی آتی، پیشنهاد می گردد.

۳. مدل ریاضی برنامه ریزی تعمیرات مبتنی بر تعداد ساعات کارکرد واحدهای نیروگاهی

۳.۱. تابع هدف

مهم ترین هدف مالکین واحدهای نیروگاهی از مشارکت در بازار روزفروش برق و بورس انرژی، کسب بیشترین سود اقتصادی از تعاملات انرژی می باشد. بدین منظور، عمدتاً تابع هدف از دو مولفه اصلی درآمد و هزینه تشکیل می شود (شکل ۴). در مدل پیشنهادی این مقاله، مولفه درآمدی شامل درآمد/هزینه حاصل از فروش/خرید انرژی در بازار برق و بورس انرژی می باشد در حالی که مولفه هزینه از مجموع هزینه های تولید (هزینه ثابت و متغیر بهره برداری) و هزینه های راه اندازی واحدها تشکیل شده است. مدل ریاضی تابع هدف مسئله در رابطه (۱) آمده است که دو مولفه آخر آن مربوط به پیاده سازی روش بهینه سازی استوار می باشد [۹-۷] که به منظور بررسی تاثیر عدم قطعیت های قیمت های پیش بینی شده ی بازار روزفروش برق بر برنامه خروج واحدها و سود نهایی تولیدکننده برق لحاظ شده است.

در مدل برنامه ریزی تعمیرات پیشنهادی، تفکیک افق زمانی سال به ۵۲ هفته و هر هفته به سه بازه زمانی مهم یعنی روزهای کاری (از شنبه تا چهارشنبه)، روز پنجشنبه و روز جمعه و در نهایت تقسیم هر روز به دو

تعمیرات قرار گرفته است یا خیر، دستور لازم را به اجرا یا عدم اجرای برنامه خروج واحدها می دهد. لازم به ذکر است که عملکرد شمارنده ساعات کارکرد واحدها به طور ضمنی در برنامه نویسی الگوریتم محاسباتی نرم افزار (محیط C#)، پیاده سازی شده است.

ث) نشانگر نوع و زمان شروع تعمیرات:

$$SX_{ij,w,n} \geq X_{ij,w,n} - X_{ij,(w-1),n} \quad \forall i, j, w, n \quad (6)$$

ج) اعمال محدودیت خروج یکبار در سال هر نوع تعمیر به طور مجازی:

$$\sum_{w=1}^{NW} SX_{ij,w,n} \leq 1 \quad \forall i, j, n \quad (7)$$

چ) اعمال هزینه راه اندازی واحدهای نیروگاهی:

$$\begin{aligned} C_{ij,w,sw,sd}^{start-up} &\geq C_{ij}^{SU} \times [v_{ij,w,sw,sd} - v_{ij}^{initial}] \\ &\forall i, j, \forall w | w = 1, \forall sw | sw = 'Weekdays', \forall sd | sd = 'Offpeak' \\ C_{ij,w,sw,sd}^{start-up} &\geq C_{ij}^{SU} \times [v_{ij,w,sw,sd} - v_{ij,(w-1),Friday,Peak}] \\ &\forall i, j, \forall w | w \neq 1, \forall sw | sw = 'Weekdays', \forall sd | sd = 'Offpeak' \\ C_{ij,w,sw,sd}^{start-up} &\geq C_{ij}^{SU} \times [v_{ij,w,sw,sd} - v_{ij,w,(sw-1),Peak}] \\ &\forall i, j, w, \forall sw | sw \neq 'Weekdays', \forall sd | sd = 'Offpeak' \\ C_{ij,w,sw,sd}^{start-up} &\geq C_{ij}^{SU} \times [v_{ij,w,sw,sd} - v_{ij,w,sw,Offpeak}] \\ &\forall i, j, w, sw, \forall sd | sd = 'Peak' \end{aligned} \quad (8)$$

ح) عدم خروج همزمان دو نوع تعمیر برای یک واحد نیروگاهی مشخص:

$$\sum_{n=1}^{NN} X_{ij,w,n} \leq 1 \quad \forall i, j, w \quad (9)$$

خ) حداکثر تعداد خروج همزمان واحدهای یک شرکت تولیدکننده برق:

$$\sum_{j=1}^{NG} X_{ij,w,n} \leq N_{max} \quad \forall i, w, n \quad (10)$$

د) اعمال محدودیت های بهینه سازی استوار [۹-۷] به منظور مواجهه با عدم قطعیت ها:

$$\beta_0 + \zeta_{w,sw,sd}^0 \geq \Delta \lambda_{ij,w,sw,sd} \times y_{w,sw,sd} \quad \forall i, j, w, sw, sd \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NU} P_{w,sw,sd}^{Market} \leq y_{w,sw,sd} \quad \forall i, j, w, sw, sd \quad (12)$$

در این روابط، $\Delta \lambda_{ij,w,sw,sd}$ بیانگر خطا یا انحراف قیمت واقعی نسبت به مقدار پیش بینی شده را نشان می دهد که توسط کاربر و بر اساس برآوردهای وی از دقت پیش بینی ها به نرم افزار داده می شود. همچنین $y_{w,sw,sd}$ یک متغیر کمکی است که تنها برای خطی سازی مدل نهایی مسئله به کار گرفته شده است [۹-۷].

$P_{ij,w,sw,sd}^{Market}$: توان مبادله شده در بازار روزفروش برق در هفته w ، زیر هفته sd ، و بلوک ساعتی sd (بر حسب مگاوات).

$\lambda_{w,sw,sd}^{PX}$: پیش بینی قیمت بورس انرژی در هفته w ، زیر هفته sd ، و بلوک ساعتی sd (بر حسب واحد پول بر مگاوات ساعت).

$P_{ij,w,sw,sd}^{Market}$: توان مبادله شده در بورس انرژی در هفته w ، زیر هفته sd ، و بلوک ساعتی sd (بر حسب مگاوات).

A_{ij} : هزینه ثابت تولید واحد نیروگاهی j تحت مالکیت شرکت i (بر حسب واحد پول بر ساعت).

MC_{ij} : هزینه حاشیه ای (AVC) تولید واحد نیروگاهی j تحت مالکیت شرکت i (بر حسب واحد پول بر مگاوات ساعت).

$v_{ij,w,sw,sd}$: متغیر باینری نشان دهنده وضعیت روشن/خاموش بودن واحد نیروگاهی j تحت مالکیت شرکت i در هفته w ، زیر هفته sd ، و بلوک ساعتی sd .

$P_{ij,w,sw,sd}$: کل توان تولیدی واحد نیروگاهی j تحت مالکیت شرکت i (بر حسب مگاوات).

$C_{ij,w,sw,sd}^{start-up}$: متغیر پیوسته و مثبت نشان دهنده هزینه راه اندازی واحد.

β_0 : متغیر دوگان در مسئله اولیه که عدم قطعیت ها در آن لحاظ نشده است.

Γ_0 : پارامتر کنترلی به منظور برقراری مصالحه بین سود شرکت و ریسک حاصل از عدم قطعیت های قیمت بازار.

$\zeta_{w,sw,sd}^0$: متغیر دوگان در مسئله اولیه (که عدم قطعیت ها در آن لحاظ نشده است) در هفته w ، زیر هفته sd ، و بلوک ساعتی sd .

۳.۲. قیود فنی و اقتصادی

الف) سهم مشارکت تولید واحد نیروگاهی در بازار برق و بورس انرژی:

$$P_{ij,w,sw,sd} = P_{ij,w,sw,sd}^{Market} + P_{ij,w,sw,sd}^{PX} \quad \forall i, j, w, sw, sd \quad (2)$$

ب) محدودیت فنی تولید واحدهای نیروگاهی:

$$v_{ij,w,sw,sd} P_{ij}^{\min} \leq P_{ij,w,sw,sd} \leq P_{ij}^{\max} v_{ij,w,sw,sd} \quad \forall i, j, w, sw, sd \quad (3)$$

پ) عدم روشن شدن واحد در مواقع خروج بابت تعمیرات:

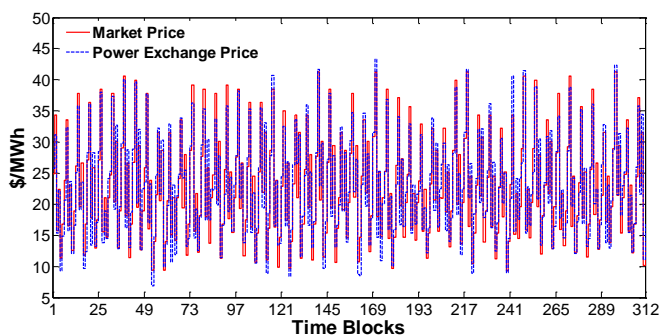
$$v_{ij,w,sw,sd} + X_{ij,w,n} \leq 1 \quad \forall i, j, w, sw, sd, n \quad (4)$$

ت) اجبار به عدم خروج در مواقعی که شمارنده به زمان بحرانی خود نرسیده باشد:

$$X_{ij,w,n} \leq \tau_{ij,w,n}^{\text{Potential_Start}} \quad \forall i, j, w, n \quad (5)$$

در این رابطه، $\tau_{ij,w,n}^{\text{Potential_Start}}$ متغیر تصمیم گیر مسئله است که با توجه به مقدار شمارنده ساعات بهره برداری واحد و اینکه در بازه مجاز برای انجام

در این مطالعه، دو نوع تعمیرات دوره‌ای تحت عنوان تعمیرات ۴۰۰۰ ساعته (نوع ۱) و ۸۰۰۰ ساعته (نوع ۲) در نظر گرفته شده است و فرض شده که برای اتمام عملیات تعمیرات نوع ۱ و تعمیرات نوع ۲ به ترتیب ۲ هفته و ۴ هفته نیاز است. در شکل ۵ مقادیر پیش‌بینی قیمت بازار برق و بورس انرژی برای دو بلوک زمانی غیرپیک و پیک نشان داده شده‌اند. نحوه درج اطلاعات ورودی این نرم افزار در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵: پیش‌بینی قیمت بازار برق و بورس انرژی برای افق یکسال آینده

با اجرای الگوریتم بهینه‌سازی نرم افزار برنامه‌ریزی تعمیرات، برنامه بهینه خروج واحدهای نیروگاهی این شرکت مطابق الگوی شکل ۷ پیشنهاد می‌گردد. همان طور که مشاهده می‌شود در افق برنامه‌ریزی یکساله (۵۲ هفته)، واحدهای مورد نظر با توجه به شرایط بهره‌برداری و ساعت کارکرد اولیه خود برای انجام برنامه تعمیرات دوره‌ای ۴۰۰۰ ساعته و ۸۰۰۰ ساعته به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده‌اند که ضمن برآورده نمودن محدودیت‌های فنی مورد نظر (همچون حفظ فاصله زمانی برنامه‌های خروج، عدم همزمانی تعمیرات بیش از دو واحد برای یک نوع تعمیر، حفظ مدت زمان مورد نظر تعمیرات و غیره)، سود مالی شرکت را نیز در جریان تعاملات تجاری خود در بازار برق و بورس انرژی بیشینه نمایند.

همان طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، فاصله تعمیرات نوع اول و نوع دوم یک واحد مشخص، هرگز کمتر از ۲۳ هفته (معادل حدود ۴۰۰۰ ساعت) نیست و این بدین معنی است که هر واحد پس از اتمام تعمیرات نوع اول خود حداقل بایستی ۴۰۰۰ ساعت بهره‌برداری شود تا برای خروج بابت تعمیرات نوع دوم (۸۰۰۰ ساعته) آماده گردد.

همچنین به دلیل احتمال کمبود نفرا ت تکنسین متخصص و تجهیزات انبار نیروگاه، فرض بر این گذاشته شده است که حداکثر دو واحد نیروگاهی مجاز به انجام تعمیرات از یک نوع می‌باشند (قید ۱۰). لذا همان طور که در برنامه خروج پیشنهادی شکل ۷ مشاهده می‌شود، تعمیرات دوره‌ای واحدهای ۶ و ۷ هر دو در یک هفته اشتراک داشته و واحدهای ۴ و ۱۰ نیز

در نهایت، لازم به ذکر است که مدل پیشنهادی ارائه شده قابل استفاده برای انواع واحدهای نیروگاهی مانند گازی، آبی، بخار و سیکل ترکیبی می‌باشد. واحدهای بخار و سیکل ترکیبی به دلیل اینکه جزو واحدهای بار پایه محسوب می‌شوند لذا با تقریب خوبی می‌توان پی برد که شمارنده ساعت کارکرد آن‌ها در چه ماه و هفته‌ای از سال به سقف مجاز خود خواهد رسید و عملاً می‌توان پی برد که برنامه تعمیرات این نوع واحدها در چه تاریخی محقق خواهد شد. این واقعیت سبب می‌شود که الگوریتم محاسباتی نرم افزار، پنجره تعمیرات واحدهای بار پایه را بسیار ساده‌تر از واحدهای گازی (واحدهای پیک) محاسبه نموده و پیشنهاد لازم را به کاربر (بهره‌بردار نیروگاه) جهت آماده‌سازی و اعلام خروج بابت تعمیرات ارائه نماید.

اگرچه نرم افزار توسعه یافته حاضر با تاکید بر تعیین برنامه تعمیرات واحدهای گازی طراحی شده است اما تمامی موضوعات فوق‌الذکر نیز در توسعه آن دیده شده است و لذا با توجه به اینکه کاربر نوع واحد را چگونه معرفی کرده باشد، الگوریتم محاسباتی بر اساس آن اقدام به تعیین برنامه بهینه خروج واحد در طول سال نموده و در نهایت فهرست پیشنهادی برنامه تعمیرات واحدهای نیروگاهی مورد نظر را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. شرح جزئیات عملکرد نرم افزار در مراجع [۱۱-۱۰] به طور کامل و دقیق آمده است.

۴. مطالعه عددی

به منظور تحلیل رفتار مدل پیشنهادی برنامه‌ریزی تعمیرات و الگوریتم حل آن در نرم افزار حاضر، فرض می‌شود که شرکت مدیریت تولید برق در این مدل مطالعاتی، مالک یازده واحد نیروگاهی با مشخصات فنی و اقتصادی ارائه شده در جدول ۱ می‌باشد [۱۰].

جدول ۱: اطلاعات فنی و اقتصادی واحدهای نیروگاهی مورد مطالعه

شمارنده اولیه (h)	C _{startup} (\$)	MC _{ij} (\$/MWh)	a _{ij} (\$/h)	P _{max} (MW)	P _{min} (MW)	واحد
760	270	13.32	81.13	76	15.2	G1
3900	400	18	217.89	100	25	G2
1550	1200	10.69	142.73	155	54.3	G3
1970	1800	23	259.13	197	68.9	G4
3500	4500	10.86	177.05	350	140	G5
0	7000	7.50	211.91	400	100	G6
150	8000	12.1	180	500	140	G7
2500	3500	12.4	140	250	75	G8
1800	1500	12.7	40	180	40	G9
1200	700	19.1	219.33	120	45	G10
970	1700	24	269.13	197	70	G11

طراحی نرم افزار تعیین زمان بندی بهینه تعمیرات پیشگیرانه واحدهای نیروگاهی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی بازار برق و بورس انرژی
سی و یکمین کنفرانس بین المللی برق - ۱۳۹۵ تهران، ایران

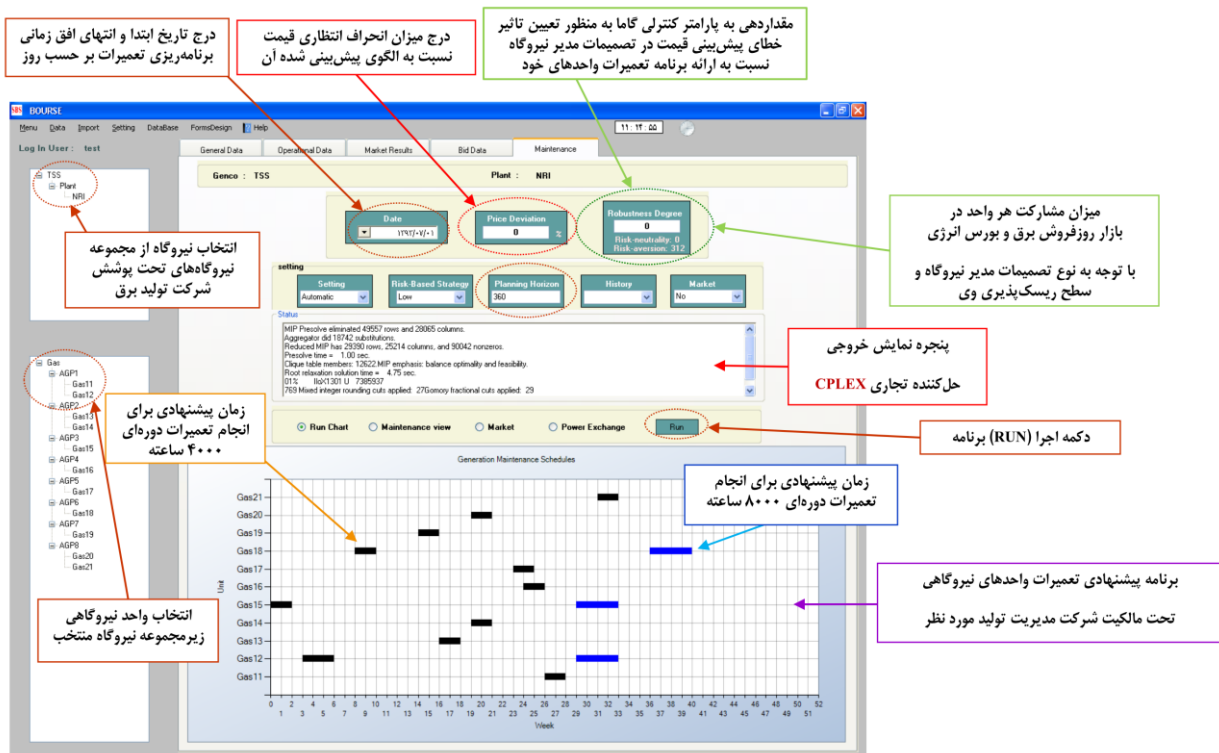
مشخصات فنی واحدهای تحت پوشش شرکت مدیریت تولید برق مورد نظر

درج شرایط اولیه واحد از لحاظ تعداد ساعت بهره برداری تا ابتدای افق برنامه ریزی

معرفی نوع تعمیرات دوره‌ای مرسوم برای واحدهای نیروگاهی سیستم قدرت ایران

درج مدت زمان مورد نیاز تعمیرات دوره‌ای

شکل ۶: نحوه درج اطلاعات فنی و اقتصادی هر واحد نیروگاهی در نرم افزار مدیریت تولید برق



شکل ۷: تعیین برنامه بهینه خروج واحدهای نیروگاهی با در نظر گرفتن انواع مختلف تعمیرات دوره‌ای

نتیجه‌گیری

در این مقاله، ضمن معرفی نرم‌افزار بومی تعیین زمان‌بندی بهینه برنامه خروج بابت تعمیرات دوره‌ای انواع واحدهای نیروگاهی، به بررسی جزئیات مدل تصمیم‌گیری و قابلیت‌های بارز محاسبات کامپیوتری آن پرداخته شد. از مهمترین ویژگی این نرم‌افزار، تعیین خودکار پنجره تعمیرات و انتخاب زمان‌بندی بهینه خروج انواع واحدهای نیروگاهی بر اساس تعداد ساعات کارکرد (بهره‌برداری) آن‌ها می‌باشد که نسبت به نرم‌افزارهای مشابه خود در دنیا، قابلیتی کاملاً انحصاری و بی‌نظیر دارد.

منابع

- [۱] م. شعبانزاده، «بررسی هدفمند ساختار فنی برنامه‌ریزی خروج تعمیرات و نگهداری واحدهای نیروگاهی در برنامه‌ریزی مدیریت تولید»، گروه پژوهشی اقتصاد و مدیریت برق، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو، اسفند ۱۳۹۲.
- [2] X. Wang, J. R. McDonald, "Modern power system planning," McGraw-Hill Companies, 1994.
- [3] M. Shahidepour, M. Marwali, "Maintenance scheduling in restructured power systems," vol. 562: Kluwer Academic Pub, 2000.
- [4] E. Reihani, M. Oloomi Buygi, M. Banejad, "Generation maintenance scheduling using hybrid evolutionary approach," International Conference on Electrical Engineering (ICEE), Okinawa, Japan, 2008.
- [5] A. J. Conejo, R. García-Bertrand, and M. Díaz-Salazar, "Generation maintenance scheduling in restructured power systems," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, pp. 984-992, 2005.
- [۶] م. شعبانزاده، م. فرهادخانی، «بررسی ساختارهای به کار گرفته شده در اقتصاد-انرژی‌های مطرح برای برنامه‌ریزی خروج تعمیرات واحدهای تولید و تعامل آن با تصمیم‌گیری‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت مطرح در برنامه‌ریزی تولید نیروگاه‌ها»، گروه پژوهشی اقتصاد و مدیریت برق، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو، خرداد ۱۳۹۳.
- [7] M. Shabanzadeh and M. Dehbashian, "Robust decision making tool for optimal RES-ESS mix of a smart grid-independent research center," Smart Grid Conference, Tehran, Iran, 2014.
- [8] M. Shabanzadeh, M. Fattahi, "Generation maintenance scheduling via robust optimization," 23rd Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE 2015), Sharif University of Technology, Tehran, Iran, May 2015.
- [9] M. Shabanzadeh, M.-K. Sheikh-El-Eslami, and M.-R. Haghifam, "The design of a risk-hedging tool for virtual power plants via robust optimization approach," Applied Energy, vol. 155, pp. 766-777, 2015.
- [۱۰] م. شعبانزاده، م. فتاحی، «طراحی مدل کلی و یکپارچه‌ی برنامه‌ریزی مدیریت تولید با در نظر گرفتن برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات واحدهای تولید و سایر تصمیمات کوتاه‌مدت و بلندمدت مبتنی بر ملزومات فنی و اقتصادی حضور در بازار برق ایران»، گروه پژوهشی اقتصاد و مدیریت برق، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو، بهمن ۱۳۹۳.
- [۱۱] م. شعبانزاده، پ. موسوی، ل. خرسند، «انتخاب محیط نرم‌افزاری مناسب، طراحی واسط کاربری و تدوین نرم‌افزار برنامه‌ریزی مدیریت تولید مبتنی بر ملاحظات فنی و اقتصادی بازار برق ایران»، گروه پژوهشی اقتصاد و مدیریت برق، پژوهشکده انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه نیرو، خرداد ۱۳۹۴.

هر دو همزمان برای تعمیرات انتخاب شده‌اند. این در حالی است که واحدهای ۲ و ۱۱ اگرچه هر دو در هفته‌های ۳۲ و ۳۳ برای تعمیرات از مدار خارج شده‌اند اما با توجه به اینکه نوع تعمیرات واحد ۲، ۸۰۰۰ ساعته می‌باشد لذا در این حالت همچنان محدودیت خروج همزمان حداکثر دو واحد نیروگاهی برای یک نوع تعمیرات خاص نقض نشده است.

سود سالیانه شرکت مدیریت تولید برق مورد مطالعه به ازای سطوح مختلف ریسک‌گریزی در **جدول ۲** نشان داده است. همان طور که مشاهده می‌شود، مقدار سود شرکت به ازای انتخاب پارامتر کنترل نایقینی (گاما) برابر با صفر که متناظر با تصمیمات قطعی و فارغ از عدم قطعیت‌های قیمت برق در بازار روزفروش است، در بیشترین سطح خود (یعنی ۷/۳۸۵ میلیون دلار) قرار دارد. تصمیم‌گیری در این سطح اگرچه در صورت وقوع همان نتایج پیش‌بینی شده، بیشترین سود را برای شرکت مدیریت تولید برق مورد نظر به همراه دارد اما باید توجه داشت که این نوع تصمیم‌گیری در معرض بیشترین ریسک نیز وجود دارد و چنانچه پیش‌بینی‌ها درست واقع نشود ممکن است به نتایجی با سود کمتر و یا ضررده نیز منتهی گردد. با افزایش مقدار پارامتر کنترلی گاما حل مسئله به سمت ارائه پاسخ‌های محافظه‌کارانه‌تر سوق پیدا می‌کند. این بدین معنی است که مدیر شرکت با انتخاب بیشترین سطح ریسک‌گریزی خود (یعنی گاما برابر با مقدار ۳۱۲) گرچه ممکن است با کاهش سودی در حدود ۴۲۹،۴۷۲ دلار مواجه شود اما در مقابل، در برابر وقوع نایقینی‌های قیمت بازار، خود را به راحتی مصون می‌نماید.

جدول ۲: مقایسه سود سالیانه شرکت به ازای سطوح مختلف ریسک

تابع هدف: سود سالیانه شرکت (دلار)	پارامتر کنترلی گاما
7,385,937.79	0
7,199,736.17	24
6,998,108.82	72
6,970,302.99	144
6,970,300.09	216
6,959,143.31	288
6,956,465.48	312

این نرم‌افزار در محیط برنامه‌نویسی C# طراحی و توسعه داده شده است و هسته محاسباتی آن مجهز به الگوریتم بهینه‌سازی حل‌کننده تجاری CPLEX می‌باشد. فرآیند حل کامپیوتری این مسئله، به ازای مقادیر قطعی قیمت بازار برق و بورس انرژی به میزان ۱/۸۷۳ دقیقه به طول می‌انجامد که برای چنین مورد مطالعاتی که یک شرکت تولید برق دارای یازده واحد نیروگاهی باشد، زمان بسیار مطلوبی محسوب می‌شود.