مدل‌سازی رفتار تکنولوژی‌های مختلف نیروگاهی در برنامه‌ریزی تعمیرات به کمک نظریه‌ی بازی‌ها در محیط تجدیدساختاریافته

بهناز دیبایی[1]، کارشناسی ارشد، محمدحسین جاویدی دشت بیاض[2]، استاد

۱- دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد- ایران
behnaz.dibaee@gmail.com
۲- دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد - مشهد- ایران
h-javidi@um.ac.com

چکیده: گسترش خصوصی‌سازی نیروگاه‌ها موجب تحول بنیادین در ساختار اقتصادی صنعت برق و رقابتی شدن فضای تبادل توان شده است. بدین‌ترتیب، جنبه‌های مختلف برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم قدرت نیز با چالش‌های متعددی مواجه گشته است. یکی از این چالش‌ها، چگونگی برنامه‌ریزی تعمیراتِ واحدهای نیروگاهی است. در فضای سنتی، چنین تصمیم‌هایی به شکل مرکزی و توسط دیسپاچینگ گرفته می‌شد. اما در محیط‌های تجدیدساختاریافته، با کم‌رنگ‌تر شدن نقش دیسپاچینگ، نیروگاه‌ها نیز در فرآیند تصمیم‌گیری تعمیرات نقش پیدا می‌کنند. از یک سو دیسپاچینگ نگران پایایی و قابلیت اطمینان سیستم قدرت جهت تأمین پیوسته‌ی برق مصرف‌کنندگان است و از سوی دیگر نیروگاه‌های خصوصی به دنبال حداکثرسازی سود خود هستند. بنابراین در محیط‌های تجدیدساختاریافته بر خلاف محیط‌های سنتی، برنامه‌ریزی تعمیرات نیروگاه‌ها قابل بیان به فرم یک مسأله‌ی بهینه‌سازی ساده نیست و به ابزاری نیاز داریم که به خوبی رفتار متقابل عوامل ذینفع را مدل کند. با توجه به این توضیحات، می‌توان از تئوری بازی‌ها جهت مدل‌سازی مسأله استفاده کرد. در این مقاله ابتدا مسأله به شکل یک بازی تعریف می‌شود. سپس با حل این بازی، تعدادی نقطه‌ی تعادل بدست می‌آید که با تحلیل آن‌ها، رفتار تکنولوژی‌های مختلف نیروگاهی پیش‌بینی می‌گردد. در نهایت نیز از میان نقاط تعادل مختلف، به کمک شاخص رفاه اجتماعی، برنامه‌ی نهایی تعمیرات تعیین می‌شود.

واژه های کلیدی: برنامه‌ریزی تعمیرات، تئوری بازی‌ها، تجدیدساختار سیستم‌های قدرت.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۵/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۵/۰۴/۱۹

نام نویسنده‌ی مسئول : دکتر محمد حسین جاویدی دشت بیاض

نشانی نویسنده‌ی مسئول : مشهد-میدان آزادی-گروه برق دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۱- مقدمه

حفظ دسترس‌پذیری[1] واحدهای نیروگاهی در سطحی قابل قبول، عملکرد مطمئن سیستم قدرت را به همراه دارد[۱]. تعمیرات پیشگیرانه[2] در واحدهای نیروگاهی، از اقداماتی است که در راستای افزایش دسترس‌پذیری واحدها اجرا می‌شود و علاوه بر بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، افزایش طول عمر واحدها و کاهش هزینه‌های ناشی از خرابی را در پی دارد. تعمیرات زمانی[3] یا دوره‌ای[4] رایج‌ترین نوع تعمیرات پیشگیرانه در سیستم قدرت است. اساس این نوع تعمیرات، بر این فرض استوار است که می‌توان رفتار خرابی[5] یک وسیله را به کمک منحنی‌های نرخ خرابی پیش‌بینی کرد. تصمیم‌گیری در خصوص زمان مناسب تعمیرات دوره‌ای، بر مبنای تحلیل زمان خرابی[6] صورت می‌گیرد[۲]. لذا، پس از طی زمانِ معینی از کارکرد یک واحد نیروگاهی، اجرای تعمیرات پیشگیرانه در یک بازه‌ی زمانی مجاز ضرورت پیدا می‌کند. مدت زمان مورد نیاز تعمیرات نیز، بسته به ظرفیت تولیدی و نوع تکنولوژی واحد نیروگاهی متفاوت است. از طرف دیگر، باید در نظر داشت که در هنگام اجرای تعمیرات، قابلیت اطمینان سیستم کاهش می‌یابد.

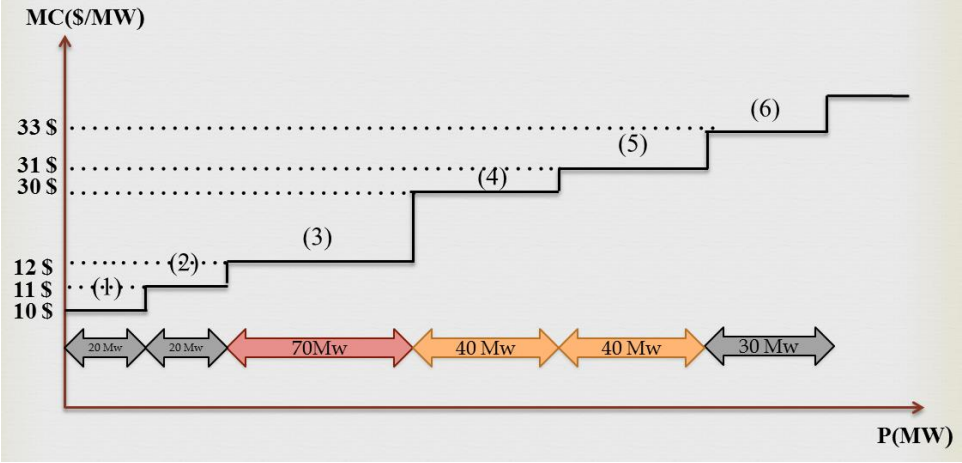
در محیط‌های سنتی، هدف اصلی دیسپاچینگ، ایجاد تعادل بین سطح قابلیت اطمینان و هزینه‌ها تعریف می‌شود[۳]. با گسترش تجدیدساختار در صنعت برق و ایجاد فضای رقابتی، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری کوتاه‌مدت و بلندمدت سیستم قدرت دچار تحول شده است. در محیط‌های تجدیدساختاریافته، برنامه‌ریزی تعمیرات واحدهای نیروگاهی به عنوان یکی از مسائل مهم در برنامه‌ریزی میان‌مدت سیستم قدرت، مورد بازنگری قرار گرفته است[۴-۷]. در چنین محیط‌هایی، واحدها تمایل دارند تعمیرات خود را به فصلی از سال که قیمت برق در آن کم است منتقل کنند؛ اما تعمیر هم‌زمان واحدها، به علت افزایش قیمت برق و کاهش قابلیت اطمینان سیستم، می‌تواند سود واحدهای تولیدی و بهره‌بردار سیستم را به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. در عمل، برنامه‌ریزی تعمیرات نیروگاه‌ها به صورت یک بازی استراتژیک قابل بیان است که در آن تعدادی عامل با قابلیت تصمیم‌گیری و منافع متعارض، به دنبال حداکثر ساختن سود خود هستند[۸]. باید توجه داشت که فرآیند تصمیم‌گیری در محیط سنتی به صورت مرکزی صورت می‌گیرد، لذا در این محیط‌ها، برنامه‌ریزی تعمیرات نیروگاه‌ها قابل بیان به فرم یک مسأله‌ی بهینه‌سازی ساده است که حل آن به کمک روش‌های مختلف از جمله برنامه‌ریزی خطی، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی، SA[7]، TS[8]، PSO، تصمیم‌گیری مارکوف، الگوریتم مورچگان و لاگرانژ امکان‌پذیر است[۱]. با توجه به گسترش روزافزون تجدیدساختار در صنعت برق، به نظر می‌رسد مطالعه‌ی برنامه‌ریزی تعمیرات نیروگاه‌ها به عنوان یک بازی بین واحدهای نیروگاهی و دیسپاچینگ، دقیق‌تر باشد. بدین جهت تعدادی از مقالات، برنامه‌ریزی تعمیرات نیروگاه‌ها را از دیدگاه نظریه‌ی بازی‌ها بررسی کرده‌اند[۹-۱۶]. هدف اصلی این مقاله، تعیین رفتار تکنولوژی‌های مختلف نیروگاهی در مسأله‌ی تعمیرات و در یک محیط تجدیدساختاریافته است. بدین جهت فرض می‌شود تعمیرات دوره‌ای تعدادی واحدِ نیروگاهیِ مستقل، باید در سال معینی انجام گیرد. با در نظر گرفتن یک بازی بین این واحدها، نقاط تعادل نش بر اساس سود ناشی از فروش انرژی در طول سال بدست می‌آید. با تحلیل این نقاط تعادل، رفتار تکنولوژی‌های مختلف نیروگاهی پیش‌بینی می‌گردد. در نهایت نیز از میان نقاط تعادل مختلف، به کمک شاخص رفاه اجتماعی برنامه‌ی نهایی تعمیرات تعیین می‌شود.

۲- فرضیات مسأله

پیش‌تر اشاره شد که تعمیراتِ واحدهای نیروگاهی، باید در یک بازه‌ی مجاز اجرا شود؛ بدین شکل که مثلاً یک واحد خاص، باید طی یک سال آینده تعمیرات اساسی خود را انجام داده باشد. اگرچه مدت زمان مورد نیاز جهت تعمیرات، بسته به ظرفیت تولید و نوع تکنولوژی واحد نیروگاهی متفاوت است، در این مقاله طول دوره‌ی انواع تعمیرات یکسان و برابر سه ماه (یکی از فصل های سال) در نظر گرفته شده است. همچنین تعداد واحدهای نیازمند به تعمیر، شش واحد و طول دوره‌ی برنامه‌ریزی، یک سال (معادل چهار فصل) فرض شده است. ظرفیت تولید، قیمت حدی واحدها و تقاضای متوسط مربوط به واحدهای نیازمند به تعمیر در هر فصل نیز، مطابق جداول ۱ و۲ در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است که مقادیر معرفی شده در جدول ۲، بار متناظر با واحدهای نیروگاهی نیازمند به تعمیر است و بار متناظر با سایر واحدهای نیروگاهیِ شبکه، که قرار نیست تعمیر شوند، از مقدار بار کل شبکه کم شده است. ظرفیت واحدهای نیروگاهی به گونه‌ای انتخاب شده است که فناوری‌های مختلف نیروگاهی از لحاظ ظرفیت و قیمت پوشش داده شوند. منحنی عرضه‌ی واحدهای نیازمند به تعمیرات، در حالتی که همه‌ی واحدها در مدار باشند در شکل ۱ نمایش داده شده است.

جدول (۱): ظرفیت تولیدی و قیمت حدی واحدهای نیروگاهی نیازمند به تعمیر در شبکه

قیمت حدی ($/MW)	ظرفیت تولیدی (MW)	شماره‌ی واحد
۱۰	۲۰	۱
۱۱	۲۰	۲
۱۲	۷۰	۳



شکل(۱): منحنی عرضه‌ی واحدهای نیروگاهی نیازمند تعمیر مطابق جدول ۱

۳۰	۴۰	۴
۳۱	۴۰	۵
۳۳	۳۰	۶

جدول (۲): کل تقاضای مربوط به واحدهای نیازمند به تعمیر (MW) در فصل‌های مختلف

کل تقاضای مربوط به واحدهای نیازمند به تعمیر (MW)	فصل	شماره‌ی فصل
۱۵۰	بهار	۱
۱۸۰	تابستان	۲
۱۰۰	پاییز	۳
۹۰	زمستان	۴

اگر بار متوسط روزانه در هر فصل به عنوان تقاضا در نظر گرفته شود و فرض شود که فرآیند حداکثرسازی رفاه اجتماعی به خوبی صورت می‌گیرد، قیمت بازار یکنواخت نتیجه‌ی تلاقی منحنی‌های عرضه (قیمت‌های حدی صعودی واحدهای تولیدی) و تقاضا (تقاضای متوسط روزانه) خواهد بود. باید توجه داشت که قیمت تسویه‌ی بازار در اثر عدم حضور واحدهای تحت تعمیر در شبکه تغییر می‌کند؛ لذا برای حالات مختلف برنامه‌ی تعمیرات واحدها، قیمت تسویه‌ی متفاوتی وجود دارد. در واقع قیمت تسویه در هر فصل، تنها ناشی از تصمیم واحدها برای انجام تعمیرات یا تولید در آن فصل در نظر گرفته می‌شود.

۳- محاسبه‌ی پاداش بازیگران

در قسمت قبل بیان شد که مالک هر واحد نیروگاهی، به عنوان یک بازیگر شرکت کننده در بازی، باید استراتژی تعمیرات خود را مشخص کند؛ به این معنا که باید تصمیم بگیرد تعمیرات خود را در چه فصلی از سال انجام دهد. اولین قدم در حل مسأله، این است که پاداش هر یک از بازیگران به ازای هر مجموعه از استراتژی‌ها محاسبه شود. لازمه‌ی این کار نیز، تعیین قیمت تسویه‌ی بازار بر اساس تقاضا و ظرفیت باقی‌مانده‌ی تولید، مربوط به واحدهای نیروگاهی نیازمند به تعمیر در شبکه است. با داشتن قیمت بازار برای هر چهار فصل، پاداش هر بازیگر به ازای هر مجموعه از استراتژی‌ها به راحتی طبق رابطه‌ی ۱ قابل محاسبه است.

$$\pi_i = \sum_{k=1,k\neq n_i}^{4} q_{i,k} \times \left(P_k - MC_i\right) \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی ۱، π_i سود بازیگرِ i ام، ناشی از فروش انرژی در کل سال است که به عنوان پاداش او در نظر گرفته شده است. در این رابطه، $q_{i,k}$، P_k و MC_i به ترتیب بیانگر تولید واحد i ام بر حسب مگاوات ساعت، قیمت تسویه‌ی بازار در فصل k ام بر حسب دلار بر مگاوات ساعت و قیمت حدی متوسط واحد i ام است؛ همچنین n_i بیانگر فصلی است که واحد i به علت تعمیرات، تولید توان نداشته است.

با توجه به این‌که اگر به مقادیرِ مختلف پاداشِ هر بازیگر که ناشی از انتخاب استراتژی‌های مختلف توسط او باشد و با فرض ثابت بودن استراتژی سایر بازیگران مقدار ثابتی افزوده و یا از آن کاسته شود، تاثیری در تصمیم بازیگر و نتیجتاً در پاسخ نهایی بازی نخواهد داشت؛ با علم به این که هزینه‌ی حدی متوسط واحدها با یکدیگر تفاوت دارد، در این مقاله در محاسبه‌ی پاداش تنها درآمد واحدها لحاظ می‌شود.

۴- نقاط تعادل نش

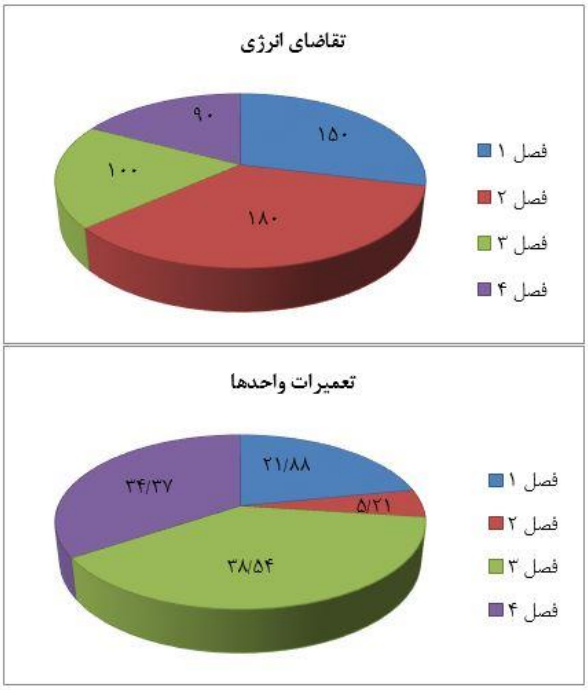
در یک بازی غیرهمکارانه، مجموعه‌ای از استراتژی‌ها که در آن هیچ بازیگری نتواند با تغییر یک‌جانبه‌ی استراتژی خود سود بیشتری بدست آورد، تعادل نش نامیده می‌شود[۱۷]. با توجه به این تعریف، پس از محاسبه‌ی سودِ همه‌ی بازیگرانِ دخیل در مسأله و به ازای تمام استراتژی‌های موجود، نقاط تعادل نش خالص بدست می‌آید. جزئیات این نقاط در جدول ۳ آمده است. ستون آخر این جدول، مجموع پاداش‌های بازیگران در نقطه‌ی تعادل نش مربوطه است. با توجه به نقاط تعادل نمایش داده شده در جدول ۳، می‌توان نتیجه گرفت

واحدهای ارزان‌تر (سه واحد اول) در فصل تابستان که بار مصرفی زیاد است، تعمیر نمی‌شوند.

جدول(۳): مشخصات نقاط تعادل نش موجود در بازی تعمیرات بین ۶ واحد تولیدی با تکنولوژی‌های مختلف

نقاط نش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	مجموع پاداش بازیگران
۱	۴	۴	۳	۴	۱	۱	۱۵۹۷۰
۲	۳	۱	۴	۳	۳	۱	۱۶۳۲۰
۳	۱	۳	۴	۳	۳	۱	۱۶۳۲۰
۴	۳	۱	۴	۳	۴	۱	۱۶۳۲۰
۵	۱	۳	۴	۳	۴	۱	۱۶۳۲۰
۶	۴	۴	۳	۴	۱	۲	۱۵۹۷۰
۷	۳	۱	۴	۳	۳	۲	۱۶۳۲۰
۸	۱	۳	۴	۳	۳	۲	۱۶۳۲۰
۹	۳	۱	۴	۳	۴	۲	۱۶۳۰۰
۱۰	۱	۳	۴	۳	۴	۲	۱۶۳۰۰
۱۱	۴	۴	۳	۳	۱	۳	۱۵۹۷۰
۱۲	۳	۱	۴	۳	۴	۳	۱۶۳۰۰
۱۳	۱	۳	۴	۳	۴	۳	۱۶۳۰۰
۱۴	۴	۴	۳	۴	۱	۴	۱۵۹۷۰
۱۵	۳	۱	۴	۳	۳	۴	۱۶۳۲۰
۱۶	۱	۳	۴	۳	۳	۴	۱۶۳۲۰

علاوه بر این، با مقایسه‌ی میزان تعمیرات و تقاضای بار در هر فصل در نمودار ۱، یک همبستگی قوی بین مصرف بیشتر و تعمیرات کمتر مشاهده می‌شود؛ لذا در بازی بین واحدهای تولیدی با وجود این‌که قابلیت اطمینان شبکه در نظر گرفته نمی‌شود و واحدها تنها به سود خود فکر می‌کنند، قیود قابلیت اطمینان شبکه به شکل ضمنی دیده می‌شود. اما با این وجود لازم است شاخص قابلیت اطمینان شبکه از دید بهره‌بردار مستقل شبکه، در تک‌تک نقاط تعادل بدست آمده بررسی شود.



نمودار(۱): مقایسه‌ی تقاضای انرژی و میزان تعمیرات در هر فصل

۵- محاسبه‌ی شاخص رزرو در هر یک از نقاط تعادل

در گام بعد لازم است نقاط تعادل بدست آمده از لحاظ شاخص‌های قابلیت اطمینان بررسی شوند. بدین جهت بهره‌بردار می‌تواند از شاخص‌هایی چون احتمال از دست دادن بار[۱] و امید ریاضی انرژی از دست رفته[۳] استفاده کند. در این مقاله، شاخص حد رزرو ظرفیت[۴] که مطابق رابطه‌ی ۲ توصیف می‌شود، به کار گرفته شده است .

$$R_{season} = \frac{c_t - RC_{season} - L_{season}}{c_t} \qquad (۲)$$

در این رابطه، R شاخص رزرو سیستم، C_t مجموع ظرفیت واحدهای نیروگاهیِ نیازمند به تعمیر، RC_{season} مجموع ظرفیت واحدهای در حال تعمیر در فصل مورد نظر و L_{season} بار مربوط به آن فصل است.

جدول(۴): بررسی شاخص رزروِ نقاطِ تعادل نش در فصل‌های مختلف

نقاط نش	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱	۰	۲۲,۲۲	۵۰	۵۵,۵۶
۲	۱۳,۳۳	۲۲,۲۲	۲۰	۶۶,۶۷
۳	۱۳,۳۳	۲۲,۲۲	۲۰	۶۶,۶۷
۴	۱۳,۳۳	۲۲,۲۲	۶۰	۲۲,۲۲
۵	۱۳,۳۳	۲۲,۲۲	۶۰	۲۲,۲۲
۶	۲۰	۵,۵۶	۵۰	۵۵,۵۶
۷	۳۳,۳۳	۵,۵۶	۲۰	۶۶,۶۷
۸	۳۳,۳۳	۵,۵۶	۲۰	۶۶,۶۷
۹	۳۳,۳۳	۵,۵۶	۶۰	۲۲,۲۲

۱۰	۳۳/۳۳	۵/۵۶	۶۰	۲۲/۲۲
۱۱	۲۰	۲۲/۲۲	۲۰	۵۵/۵۶
۱۲	۳۳/۳۳	۲۲/۲۲	۳۰	۲۲/۲۲
۱۳	۳۳/۳۳	۲۲/۲۲	۳۰	۲۲/۲۲
۱۴	۲۰	۲۲/۲۲	۵۰	۲۲/۲۲
۱۵	۳۳/۳۳	۲۲/۲۲	۲۰	۳۳/۳۳
۱۶	۰/۳۳۳۳	۲۲/۲۲	۲۰	۳۳/۳۳

جدول (۵): شاخص رزرو در فصل بحرانی و پاداش کل بازیگران

نقاط نش	شاخص رزرو در فصل بحرانی	پاداش کل بازیگران
۱	۰	۱۵۹۷۰
۲	۱۳/۳۳	۱۶۳۲۰
۳	۱۳/۳۳	۱۶۳۲۰
۴	۱۳/۳۳	۱۶۳۰۰
۵	۱۳/۳۳	۱۶۳۰۰
۶	۵/۵۶	۱۵۹۷۰
۷	۵/۵۶	۱۶۳۲۰
۸	۵/۵۶	۱۶۳۲۰
۹	۵/۵۶	۱۶۳۰۰
۱۰	۵/۵۶	۱۶۳۰۰
۱۱	۲۰	۱۵۹۷۰
۱۲	۲۲/۲۲	۱۶۳۰۰
۱۳	۲۲/۲۲	۱۶۳۰۰
۱۴	۲۰	۱۵۹۷۰
۱۵	۲۰	۱۶۳۲۰
۱۶	۲۰	۱۶۳۲۰

شاخص رزرو در فصل‌های مختلف سال، محاسبه شده و در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای یک نقطه‌ی تعادل نش، شاخص رزرو در برخی از فصل‌ها مقدار مناسبی دارد ولی در برخی دیگر بسیار پایین است. در هر نقطه‌ی تعادل، فصلی که پایین‌ترین شاخص رزرو را دارد، در ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان توسط بهره‌بردار مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به این موضوع، در جدول ۵ بحرانی‌ترین فصل از نظر شاخص رزرو جهت ارزیابی نهایی نقاط تعادل در نظر گرفته شده است.

۶- تحلیل رفتار تکنولوژی‌های مختلف نیروگاهی

۴ نقطه‌ی تعادل خاص مطرح شده در قسمت ۵ به ترتیب برای واحدهای ارزان و گران در جدول‌های ۶-الف و ۶-ب نمایش داده شده است. با توجه به این اطلاعات مشاهده می‌شود که:

هیچ واحدی در فصل تابستان که تقاضا زیاد است تعمیرات ندارد.

واحد ۳ که واحدی ارزان قیمت و با ظرفیت بالا می‌باشد، فقط در فصل زمستان که بار شبکه کم است تعمیر می‌شود.

واحد ۴ که واحدی با قیمت و ظرفیت متوسط می‌باشد، فقط در فصل پاییز که میزان مصرف برق متوسط است، تعمیرات انجام می‌دهد.

جدول (۶-الف): نقاط تعادل نش قابل قبول و اطلاعات مربوط به واحدهای ارزان (ظرفیت، قیمت و پاداش متناظر با نقطه‌ی تعادل)

	واحد۱		واحد۲		واحد۳	
ظرفیت	۲۰		۲۰		۷۰	
قیمت حدی	۱۰		۱۱		۱۲	
۱۲	۳	۱۹۰۰	۱	۱۹۰۰	۴	۶۵۱۰
۱۳	۱	۱۹۰۰	۳	۱۹۰۰	۴	۶۵۱۰
۱۵	۳	۱۸۶۰	۱	۱۹۰۰	۴	۶۶۵۰
۱۶	۱	۱۹۰۰	۳	۱۸۶۰	۴	۶۶۵۰

جدول (۶-ب): نقاط تعادل نش قابل قبول و اطلاعات مربوط به واحدهای گران (ظرفیت، قیمت و پاداش متناظر با نقطه‌ی نش)

	واحد۴		واحد۵		واحد۶	
ظرفیت	۴۰		۴۰		۳۰	
قیمت حدی	۳۰		۳۱		۳۳	
۱۲	۳	۳۸۰۰	۴	۱۸۶۰	۳	۳۳۰
۱۳	۳	۳۸۰۰	۴	۱۸۶۰	۳	۳۳۰
۱۵	۳	۳۷۲۰	۳	۱۸۶۰	۴	۳۳۰
۱۶	۳	۳۷۲۰	۳	۱۸۶۰	۴	۳۳۰

۷-انتخاب برنامه‌ی تعمیرات بر اساس بیشترین رفاه اجتماعی توسط بهره‌بردار مستقل سیستم

اگرچه نیروگاه‌ها در محیط‌های تجدیدساختاریافته در بسیاری از موارد به شکل مستقل درباره‌ی امور مربوط به واحدهای خود تصمیم‌گیری می‌کنند، لازم است بهره‌بردار مستقل در مواردی جهت حفظ پایایی فنی و اقتصادی سیستم وارد عمل شود. یکی از این موارد، برنامه‌ریزی تعمیرات است. در این مسأله، بهره‌بردار باید با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان سیستم از یک طرف و سود نیروگاه‌ها از طرف دیگر، برنامه‌ریزی تعمیرات را به روش‌های مختلف کنترل کند. این روش‌ها با توجه به قوانین بازار برق مربوطه، می‌تواند شامل طیف گسترده‌ای از اقدامات باشد. یک سر این طیف، ابلاغ زمان تعمیرات واحدها به صورت اجباری است. در بازارهای بالغ‌تر، بهره‌بردار می‌تواند به کمک برنامه‌های تشویقی و تنبیهی، یعنی در نظر گرفتن پاداش و جریمه، برنامه‌ریزی تعمیرات نیروگاه‌ها را تا حدودی تحت تأثیر قرار دهد. در این میان اساسی‌ترین سوالی که ایجاد می‌شود این است که بهره‌بردار، باید کدام نقطه‌ی تعادل را به عنوان هدف کنترلی خود در نظر گیرد.

در بخش ۵، مشاهده شد که هر یک از نقاط تعادل بدست آمده، تأمین کننده‌ی سطح مشخصی از قابلیت اطمینان و میزان معینی سود برای هر یک از واحدهای نیروگاهی است. بهره‌بردار باید برنامه‌ی تعمیرات مد نظر خود را بر اساس مصالحه‌ای بین قابلیت اطمینان سیستم و مجموع سود تولیدکنندگان تعیین کند. شاید استفاده از شاخص رفاه اجتماعیِ انتظاری[۵] با در نظر گرفتن احتمال از دست رفتن بار در هر برنامه‌ی تعمیرات و همچنین ارزش انرژی از دست رفته بتواند به عنوان اساس این مصالحه به کار رود.

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله مسأله‌ی برنامه‌ریزی تعمیرات پیشگیرانه‌ی تعدادی واحد نیروگاهی، در یک محیط تجدیدساختاریافته به کمک نظریه‌ی بازی‌ها حل شد. بر اساس جواب‌های مسأله (نقاط تعادل بدست آمده)، رفتار واحدهای نیروگاهی در فضای مورد بحث پیش‌بینی شد. مطابق نتایج شبیه‌سازی، در فصل تابستان که تقاضا زیاد است هیچ واحدی تعمیر نمی‌شود. واحدهای ارزان قیمت و با ظرفیت بالا، در فصل زمستان که تقاضا کم است و واحدهای با قیمت و ظرفیت متوسط، در فصل پاییز که میزان مصرف برق متوسط است، تعمیر می‌شوند. با پیاده‌سازی این الگوریتم بر روی سیستم‌های نمونه‌ی دیگر، مشاهده شد که واحدهای بسیار گران‌قیمت و با ظرفیت کم، می‌توانند در فصل تابستان نیز تعمیر شوند..

۹- مراجع

[1] Abiri-Jahromi, A., Fotuhi-Firuzabad, M., Parvania, M., "*Optimized Midterm Preventive Maintenance Outage Scheduling of Thermal Generating Units*", IEEE Trans. on Power Syst., Vol. 27, No. 3, August 2012.

[2] Rosmaini, A., Kamaruddin, Sh., "*An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application*", Computers & Industrial Engineering,Vol. 63, Issue 1, pp. 135-149, Aug. 2012.

[3] Feng, Ch., Wang, X., "*A Competitive Mechanism of Unit Maintenance Scheduling in a Deregulated Environment*", IEEE Trans. on Power Syst., Vol. 25, No. 1, pp. 351 – 359, Feb. 2010.

[4] Manbachi, M., Mahdloo, F., Haghifam, M. R., "*A New Solution for Maintenance Scheduling in Deregulated Environment Applying Genetic Algorithm and Monte-Carlo Simulation*", IEEE 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2010.

[5] Fotouhi Ghazvini, M. A., Canizes, B., Vale, Z., Morais, H., "*Stochastic short-term maintenance scheduling of GENCOs in an oligopolistic electricity market*", Appl. Energy, Vol. 101, pp. 667–677, 2013.

[6] Min, C.G., Kim, M.K., Park, J.K., Yoon, Y.T., "*Game-theory-based generation maintenance scheduling in electricity markets*", Energy, Vol. 55, pp. 310:318, 2013.

[7] Wang, Y., Kirschen, D. S., Zhong, H., Xia, Q., Kang, Ch., "*Coordination of Generation Maintenance Scheduling in Electricity Markets*", IEEE Trans. Power Syst., Vol. PP, no.99, pp.1-10, 2015.

[8] Latify, M. A., Seifi, H., Rajabi Mashhadi, H., "*A strength Pareto evolutionary algorithm-based conflict assessment framework of electricity market participants' objectives in generation maintenance scheduling*", European Trans. on Elec. Power, 2012.

[9] Kim, J. H., Park, J. B., Park, J. K., Kim, B.H., "*A New Game-Theoretic Framework for Maintenance Strategy Analysis*", IEEE Trans. on Power Syst., Vol. 18, No. 2, pp.698-706, May 2003.

[10] Kim, J. H., Park, J. K., "*A New Game-Theoretic Approach To Maintenance Scheduling Problems In Competitive Electricity Markets*", Power Engineering Society Summer Meeting IEEE, Vol. 3, pp. 1510-1515, 2002.

[11] Kim, J. H., Park, J. B., Park, J. K., Chun, Y. H., "*Generating unit maintenance scheduling under competitive market environments*", Electrical Power and Energy Systems 27, pp. 189–194, 2005.

[12] Chattopadhyay, D., "*A Game Theoretic Model for Strategic Maintenance and Dispatch Decisions*", IEEE Trans. on Power Syst., Vol. 19, Issue. 4, pp. 2014–2021, 2004.

[13] Shahidehpour M. et all, "*Maintenance Scheduling in Restructured Power Systems*." Kluwer Academic,Publisher: Norwell, 2000.

[14] Conejo, A.J.; Garcia-Bertrand, R.; Diaz-Salazar, M., "*Generation Maintenance Scheduling in Restructured Power Systems*", IEEE Trans. on Power Syst., Vol. 20, Issue 2, pp. 984-992, 2005.

[15] Barot, H. Bhattacharya, K., "*Security Coordinated Maintenance Scheduling in Deregulation Based on GenCo Contribution to Unserved Energy*", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 23, Issue 4, pp: 1871-1882, 2008.

[16] Fetanat, A., Shafipour, Gh., Yavandhasani, M., Ghanatir, F., "*Optimizing Maintenance Scheduling of Generating Units in Electric Power Systems using Quantum-inspired Evolutionary Algorithm based 0-1 Integer Programming*", European Journal of Scientific Research, pp. 220-231, 2011.

[17] Osborne, M. J., *An Introduction to Game Theory*, 1st edition, Oxford, Oxford University Press, 2003.

زیرنویس‌ها:

[۱] availability
[۲] preventive maintenance
[۳] Time Based Maintenance (TBM)
[۴] periodic-based maintenance
[۵] failure
[۶] failure time
[۷] Simulated Annealing
[۸] Tabu Search
[۹] Particle Swarm Optimization
[۱۰] social welfare
[۱۱] uniform
[۱۲] Loss Of Load Probability(LOLP)
[۱۳] Expected Energy Not Supplied(EENS)
[۱۴] capacity reserve margin
[۱۵] expected social welfare