



زمان بندی بهینه تعمیرات و نگهداری واحدهای شرکت های تولیدی در فضای رقابتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

روزبه اشراق نیا^۱، حسن مدیر شانه چی^۲، حبیب رجبی مشهدی^۳

دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد- ایران

Roozbeh_eshraghnia@yahoo.com

چکیده

در این مقاله از الگوریتم ژنتیک جهت زمان بندی بهینه تعمیرات واحدهای یک شرکت تولیدی در فضای رقابتی استفاده شده است. این زمان بندی با استفاده از یک الگوریتم نو و ابتکاری صورت می‌گیرد. در این الگوریتم پیشنهادی شرکت تولیدی از به صورت مستقل زمان بندی تعمیرات خود را با هدف ماکریزم کردن سود، به کمک تخمین قیمت بسته شدن بازار و محاسبه هزینه‌های بهره برداری و تعمیرات، انجام می‌دهد و سپس نتایج حاصله را به بهره بردار مستقل سیستم تسلیم می‌کند. با این زمان بندی سود نهائی شرکت تولیدی از ماکریزم شده و مقدار آن مشخص می‌شود. بهره بردار مستقل سیستم نیز با توجه به تابع هدف خود، که تراز کردن قابلیت اطمینان در سرتاسر هفته‌های یکسال می‌باشد زمان بندی واحدهای را انجام داده و قیمت بسته شدن بازار را به عنوان معیار مرجع جهت محاسبه سود از دست رفته شرکت تولیدی از در مرحله نقض قیود محاسبه می‌کند. در نهایت بهره بردار مستقل سیستم با توجه به زمان بندی انجام شده توسط شرکت تولیدی از قابلیت اطمینان سیستم و قیود خود را کنترل می‌کند اگر در حد قابل قبول باشد، زمان بندی از دیدگاه شرکت تولیدی از تایید می‌شود ولی اگر غیر از این باشد، بهره بردار مستقل سیستم واحدهای غیر مجاز را شناسایی کرده و از شرکت تولیدی از درخواست زمان بندی مجدد واحدهای غیر مجاز را می‌کند. با انجام زمان بندی مجدد توسط شرکت تولیدی از در راستای برآورده شدن هدف بهره بردار مستقل سیستم، سود شرکت تولیدی از کاهش می‌یابد. پس از تایید زمان بندی مجدد شرکت تولیدی، اختلاف سود حاصل شده در مرحله اول زمان بندی شرکت تولیدی و مرحله آخر، با توجه به معیار مرجع توسط بهره بردار مستقل سیستم محاسبه شده و در انتهای سال از مصرف کننده‌ها دریافت و به شرکت تولیدی از پرداخت می‌شود که مقدار این هزینه با توجه به تعداد کل مصرف کننده‌ها بسیار ناچیز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی : زمان بندی تعمیرات- قیمت بسته شدن بازار- قابلیت اطمینان- الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

در محیط انحصاری، صنعت برق یک انحصار طبیعی می‌باشد که تحت نظارت دولت قرار دارد. بدون استثناء این صنعت بصورت یک انحصار یکپارچه و با ساختار عمودی تحت نظارت فعالیت می‌کند که مالکیت بخش تولید، کلیه تأسیسات انتقال، و توزیع را در اختیار دارد. از این رو در برنامه ریزی تعمیرات، حفظ قابلیت اطمینان و کاهش هزینه کل سیستم بصورت یک پارچه مد نظر می‌باشد. این موضوع در بسیاری از مقالات که در محیط انحصاری زمان بندی تعمیرات را انجام داده اند با توجه به توابع هدف

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد برق

^۲ دانشیار گروه برق

^۳ استادیار گروه برق



انتخابی جهت حل مسئله نمایان است. بنابر این در این محیط تابع هدف و محدودیت ها جهت زمان بندی بهینه تعمیرات و نگهداری واحدها از دیدگاه شرکت های تولیدی و شبکه یکی می باشد^[۱]. این زمان بندی با توجه به معیارهای مختلف که از مهمترین آنها حفظ قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه است، توسط واحد شبکه تعیین می گردد. اما در محیط تجدیدساختار سیستم قدرت به سه بخش اصلی، تولید (GENCOs)^۴، انتقال (TRANSCOs)^۵ و توزیع (DISCOS)^۶ تقسیم می شود. این سه بخش هر کدام مجزا بوده و هر بخش مسئولیت مشخصی جهت حفظ قابلیت اطمینان سیستم بر عهده دارد بنابراین هر بخش مسئول اجرای تعمیرات لازم براساس امکانات موجود زیر نظر بازار می باشد^[۲]. وظیفه همزمان یا سنکرون کردن کلیه فعالیتها در حوزه مربوطه بر عهده بهره بردار مستقل سیستم (ISO)^۷ می باشد. در برنامه ریزی تعمیرات نقش بهره بردار مستقل سیستم هماهنگ کردن زمان تعمیرات واحدهای شرکت های تولیدی می باشد. در این محیط زمان بندی تعمیرات توسط شرکتهای تولیدی انجام می شود و بهره بردار مستقل سیستم نمی تواند به تنهایی و بدون در نظر گرفتن پیشنهادات شرکت های تولیدی، زمان بندی تعمیرات واحد ها را انجام دهد. هر شرکت تولیدی امیدوار است تا تعمیرات آن در زمانی قرار گیرد که میزان حدی قیمت (SMP)^۸ پائین بوده و هزینه تلف شدن سرمایه بعلت تعمیرات (MIL)^۹ نزول کرده باشد^[۳]. از طرفی بهره بردار مستقل سیستم مایل است زمان بندی تعمیرات واحد های شرکت های تولیدی در دوره ها با بار پائین صورت گیرد. بنابر این توابع هدف و محدودیت ها جهت زمان بندی بهینه تعمیرات واحدهای دیدگاه شرکت های تولیدی و بهره بردار مستقل سیستم یکی نبوده و هر کدام توابع مشخصی جهت حفظ منافع خود دارند^[۱]. بنابر این با ایجاد تجدیدساختار در صنعت برق مسئله برنامه ریزی تعمیرات واحدهای تولیدی همانند دیگر مسائل دستخوش تغییراتی شده است که این تغییرات باعث پیچیده تر شدن حل مسئله شده است. در این مقاله به یک روش پیشنهادی جهت زمان بندی عادلانه تعمیرات واحد های شرکت های تولیدی در فضای رقابتی پرداخته می شود. روش ذکر شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر روی یک شرکت تولیدی با ۳۲ واحد پیاده شده و نتایج آن مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

۲- کاربرد الگوریتم ژنتیک در زمان بندی تعمیرات واحدهای شرکت های تولیدی

الگوریتم ژنتیک یکی از روشهای جستجوی تصادفی برای یافتن جوابهای بهینه مسائل میز کامپیوشن-کی مذکور می باشد. انتخاب طبیعی سیستمهای بیولوژیکی همچون باز تولید^{۱۰}، تقطاع^{۱۱}، و جهش^{۱۲} را شبیه سازی می کند. تاییص و خدمت گذاشتگا ژنتیک، کد کردن مجموعه پارامترهای مسئله، چند نقطه ای بودن الگوریتم جستجو و عدم نیاز به اطلاعات در مورد مشتق تابع هدف می باشد. با توجه به این خصوصیات الگوریتم ژنتیک این پتانسیل را دارد که روش جدید و مناسبی برای حل مسئله نیهان زاس ترکیبی با ابعاد بزرگ باشد. اگر نحوه کد کردن و چگونگی برخورد با محدودیت ها مناسب نباشد، جستجو برای جوابهای بهینه نامزد محاسباتی زیادی را به خود اختصاص می دهد. نحوه کد کردن و چگونگی برخورد باتیدو دمح اهمیت حاصلی تلقیح تدریل-حرره مسئله می باشند و بصورت سعی و خطا کارآمدترین روش تعیین می گردد. می توان کد کردن با هر تمارا پر لی تروصیم ماجنا داده ک-

Generating Companies^۴

Transmission Companies^۵

Distribution Companies^۶

Independent System Operator^۷

Spot marginal price^۸

Maintenance Investment Loss^۹

Reproduction^{۱۰}

Crossover^{۱۱}

Mutation^{۱۲}



بعضی از محدودیت های مسئله در ساختار پارامترهای کد شده که کروموزوم خوانده می شود، گنجانده شود. با این کدگذاری فضای جواب که باید توسط الگوریتم جستجو شود، محدودتر شده و در نتیجه زمان تابیساحمه ای ارائه جستجوی بهبود نمی شود.^[۴]

زمان بندی تعمیرات یک مسئله بهینه سازی ترکیبی در سیستم قدرت است و وقتی تعداد واحدهای تولیدی زیادی مدوش شوند روش های بهینه سازی معمول بدست آوردن جواب بهینه در یک زمان مناسب بسیار مشکل است. این بدان دلیل است که ترکیبها را حل تهای در دسترس و تحت تعمیرات واحدها بطور شدیدی افزایش می باید. از نقطه نظر عملی، برای یک برنامه ریز سیستم بولطم نیست که فقط یک جواب بهینه مطلق را بداند زیرا ترجیح می دهد چندین جواب جایگزین زیر بهینه در دسترس داشته باشد تا این شرایط واقعی بهره برداری سیستم مطابقت کند. از این نقطه نظر الگوریتم ژنتیک ابزار مناسبی برای حل مسئله زمان بندی تعمیرات در محیط تجدید ساختار می باشد زیرا حتی اگر تضمینی نباشد که الگوریتم ژنتیک در یک زمان محدود جواب بهینه مطلق را بیابد، در عوض چندین جواب زیر بهینه ارائه خواهد داد.^[۵]

۳- تابع هدف و محدودیت ها از دیدگاه بهره بردار مستقل سیستم و شرکت تولیدی

الف- تابع هدف و محدودیت های بهره بردار مستقل سیستم

زمان بندی تعمیرات باید بدون افزایش سطح ریسک در سیستم صورت گیرد. در طول بازه تعمیرات، ظرفیت واحد در دسترس نمی باشد، بنابر این ظرفیت در دسترس کل سیستم کاهش می باید و با کاهش ظرفیت در دسترس، سطح ریسک سیستم افزایش می باید. این مقدار باید از مقدار برنامه ریزی شده قابل قبول در سیکل بار سالیانه بیشتر شود. بنابراین وظیفه مهم بهره بردار مستقل سیستم، حفظ قابلیت اطمینان سیستم در طول بازه مورد مطالعه می باشد که این هدف با تراز کردن ظرفیت رزرو در طول بازه مورد مطالعه میسر می شود. تابع هدف مربوطه توسط رابطه (۱) بیان می شود.^[۶]

$$\text{Maximize } \min R_t = \sum_{i=1}^N P_{i,\max} - L_t - \sum_{i=1}^N P_{i,\max} x_{ii} \quad (1)$$

که در رابطه (۱)، R_t ظرفیت رزرو در دوره t ، $P_{i,\max}$ ماکزیمم ظرفیت واحد i ، L_t بار در دوره t بر حسب (MW) و x_{ii} متغیر حالت تعمیرات می باشد که اگر برابر با یک باشد بیانگر خروج واحد i در دوره t جهت تعمیرات بوده و اگر برابر با صفر باشد بیانگر عدم خروج واحد i در دوره t جهت تعمیرات می باشد.

مجموعه قیود بهره بردار مستقل سیستم در زمان بندی تعمیرات واحدها بصورت زیر بیان می شود.

۱- ظرفیت رزرو شبکه : این قید بیان کننده مقدار قابل قبول ظرفیت رزرو در کلیه دوره ها می باشد که توسط رابطه (۲) بیان می شود.^[۶]

$$\sum_{i=1}^N P_{i,\max} x_{ii} + L_t + R(t) \leq \sum_{i=1}^N P_{i,\max} (1-x_{ii}) \quad \forall t \quad (2)$$

که در رابطه بالا R مقدار ظرفیت رزرو مورد قبول در کلیه دوره ها می باشد.

۲- دوره تعمیرات واحدهای تولیدی : دوره تعمیرات مشخص کننده تعداد دوره های خروج واحد جهت تعمیرات می باشد که توسط رابطه (۳) بیان می شود. برای افزایش سرعت عملکرد الگوریتم ژنتیک و سادگی کار، این قید در کروموزوم گنجانده می شود.



$$\sum_{t=1}^T x_{it} = D_i \quad \forall i, \forall t \quad (3)$$

که در رابطه بالا، تعداد دوره تعمیرات واحد i می باشد.

- ۳- تعمیرات پی در پی : این قید نشان دهنده پیوسته بودن تعمیرات واحد تولیدی i می باشد. برای افزایش سرعت عملکرد الگوریتم ژنتیک، این قید در کروموزوم گنجانده می شود.

$$x_{it} - x_{i(t-1)} \leq x_{i(t+D_i-1)} \quad \forall i, \forall t \quad (4)$$

- ۴- مازکریم هزینه خرید : بیان کننده بیشترین مقدار هزینه خرید توان از شرکت های تولیدی در طول بازه مورد مطالعه جهت تعمیرات توسط بهره بردار مستقل سیستم می باشد که توسط رابطه (۵) بیان می شود [۳].

$$\sum_{t=1}^T C_t L_t \leq d \quad (5)$$

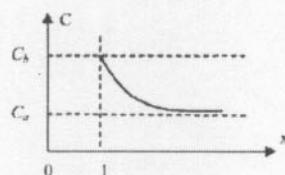
که در رابطه بالا، C_t مقدار حدی قیمت و d بالاترین قیمت خرید توان در کل بازه مورد مطالعه می باشد که برابر با $10^7 \times 1/35 \$/h$ در نظر گرفته شده است.

فرض می کنیم که ارتباط بین پیش بینی مقدار حدی قیمت (C_t) و نسبت عرضه و تقاضا (x_t) بصورت یکتابع نمائی که در شکل (۱) نشان داده شده است باشد. این تابع مطابق رابطه (۷) بیان می شود.

$$x_t = \frac{\sum_{i=1}^N P_{it} (1 - x_{it})}{L_t} \quad \forall t \quad (6)$$

$$C_t(x_t) = C_a + (C_b - C_a) e^{-k(x_t - 1)} \quad (7)$$

که در رابطه (۷)، C_a کمترین هزینه واحد جهت تولید، C_b بیشترین هزینه واحد جهت تولید و k یک مقدار ثابت که توسط بهره بردار مستقل سیستم تعیین می گردد. به ترتیب مقادیر این پارامترها برابر با $25 \$/MWh$ ، $50 \$/MWh$ و 0.5 در نظر گرفته شده است.



شکل (۱) : ارتباط بین پیش بینی مقدار حدی قیمت و نسبت عرضه و تقاضا

جهت زمان بندی تعمیرات از دیدگاه بهره بردار مستقل سیستم نیاز به پیش بینی بار سالیانه می باشد که این پیش بینی توسط بهره بردار مستقل سیستم صورت می گیرد. جدول (۱) پیش بینی بار هفتگی را نشان می دهد که در آن پیک بار برابر با ۲۸۵۰ مگاوات می باشد [۷].



جدول (۱) : پیش بینی بار توسط بهره بردار مستقل سیستم

هفته	در صد پیک بار										
1	86.2	10	73.7	19	87.0	28	81.6	37	78.0	46	90.9
2	90.0	11	71.5	20	88.0	29	80.1	38	69.5	47	94.0
3	87.8	12	72.7	21	85.6	30	88.0	39	72.4	48	89.0
4	83.4	13	70.4	22	81.1	31	72.2	40	72.4	49	94.2
5	88.0	14	75.0	23	90.0	32	77.6	41	74.3	50	97.0
6	84.1	15	72.1	24	88.7	33	80.0	42	74.4	51	100
7	83.2	16	80.0	25	89.6	34	72.9	43	80.0	52	95.5
8	80.6	17	75.4	26	86.1	35	72.6	44	88.1	-	-
9	74.0	18	83.7	27	75.5	36	70.5	45	88.5	-	-

ب-تابع هدف و محدودیت های شرکت تولیدی

همان طور که گفته شد در فضای رقایتی، بهره بردار مستقل سیستم نمی تواند به تنها و بدون در نظر گرفتن منفعت شرکت های تولیدی زمان بندی تعمیرات واحدهای شرکت های تولیدی را انجام دهد بنابر این به یک تابع هدف دیگر از دیدگاه شرکت تولیدی نیاز می باشد تا سود طرفین تأمین گردد. تابع هدف از دیدگاه شرکت تولیدی j در رابطه (۸) تعریف شده است که در آن سود کل شرکت تولیدی با پیش بینی قیمت بسته شدن بازار^{۱۳} در طول دوره ماکریم می شود [۸].

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \prod_{\text{GENCO}_j} = & \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [(MCP_t \times P_{it}) - C(P_{it})] \times (1 - x_{it}) \times HW \\
 & - \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left\{ [FMC_i \times \frac{1000}{8760} \times x_{it} \times P_{i\max}] \right. \\
 & \left. + [VMC_i \times P_{i\max} \times x_{it}] \right\} HW
 \end{aligned} \quad (8)$$

که در رابطه (۸)، T تعداد دوره ها بر حسب هفته ($T=52$)، MCP_t تخمین قیمت بسته شدن بازار توسط شرکت تولیدی j در دوره t ، P_{it} توان تولیدی واحد i در دوره t ، $C(P_{it})$ هزینه تولید واحد i در دوره t ، FMC_i هزینه ثابت تعمیرات واحد i بر حسب VMC_i ، $\$/Kw/YR$ هزینه متغیر واحد i بر حسب $\$/MWh$ و HW تعداد ساعت در یک هفته می باشدند. جهت محاسبه سود نهائی شرکت های تولیدی، تخمین قیمت بسته شدن بازار و هزینه های بهره برداری و تعمیرات مورد نیاز می باشد که باید توسط شرکت های تولیدی تعیین شوند. قابل ذکر است که تخمین دقیق قیمت بسته شدن بازار توسط شرکت تولیدی، نقش به سزانی در انتخاب بهینه زمان بندی تعمیرات شرکت مربوطه دارد. از این رو مطابق جدول (۲) از قیمت فروش انرژی در بازار برق نروژ، جهت ماکریم کردن سود شرکت تولیدی j استفاده شده است [۷]. در جدول (۳) اطلاعات واحدها و هزینه های بهره برداری و تعمیرات واحدها جهت محاسبه سود سالانه شرکت تولیدی j لحاظ شده است [۱].

Market Clearing Price¹³



جدول (۲) : تخمین قیمت بسته شدن بازار

همه	قیمت تسویه بازار	همه	قیمت تسویه بازار	همه	قیمت تسویه بازار	همه	قیمت تسویه بازار
1	36.7	14	28.8	27	29.2	40	25.5
2	39.3	15	25.2	28	34.1	41	27.7
3	37.2	16	33.2	29	33.2	42	27.9
4	35.6	17	29.1	30	38.1	43	33.1
5	37.9	18	35.7	31	25.2	44	38.1
6	35.9	19	37	32	30.9	45	38.2
7	35.4	20	37.8	33	33.1	46	40.3
8	33.5	21	36.4	34	26	47	42.2
9	27.2	22	33.7	35	25.8	48	38.7
10	26.7	23	39.7	36	25	49	42.8
11	25.1	24	38.3	37	31.1	50	45
12	25.9	25	39	38	23.8	51	58
13	24.9	26	36.6	39	25.6	52	43.4

جدول (۳) : اطلاعات واحدهای تولیدی و هزینه های بهره برداری و تعمیرات واحدها

شماره واحدها	ظرفیت واحد ها بر حسب (MW)		تعداد واحدها	تعداد دوره تعمیرات بر حسب هفت	هزینه تعمیرات	
	P _{max}	P _{min}			ثابت بر حسب (\$/kw/YR)	متغیر بر حسب (\$/MWh)
1-5	12	2.4	5	1	10.0	5.0
6-9	20	4.0	4	1	0.3	5.0
10-13	76	15.2	4	3	10.0	0.9
14-19	100	25	6	4	8.5	0.8
20-23	155	54.25	4	5	7.0	0.8
24-29	197	68.95	6	6	5.0	0.7
30	350	140	1	8	4.5	0.7
31-32	400	100	2	8	5.0	0.3

مجموعه قیود شرکت تولیدی Z در زمان بندی تعمیرات واحدها بصورت زیر بیان می شود.

- به جز قیود (۲) و (۳) که در مجموعه قیود بهره بردار مستقل سیستم نیز بیان شده است از یک محدودیت دیگری جهت محاسبه صحیح سود نهائی شرکت تولیدی Z استفاده می شود که به صورت زیر بیان می شود.
- **ماکریم و مینیمم ظرفیت تولید** : این قید بیان کننده محدودیت توان تولیدی واحد ها می باشد که در توزیع اقتصادی بار بین واحدها جهت تعیین سود نهائی شرکت تولیدی Z مدد نظر قرار داده می شود که توسط رابطه (۹) بیان می شود.

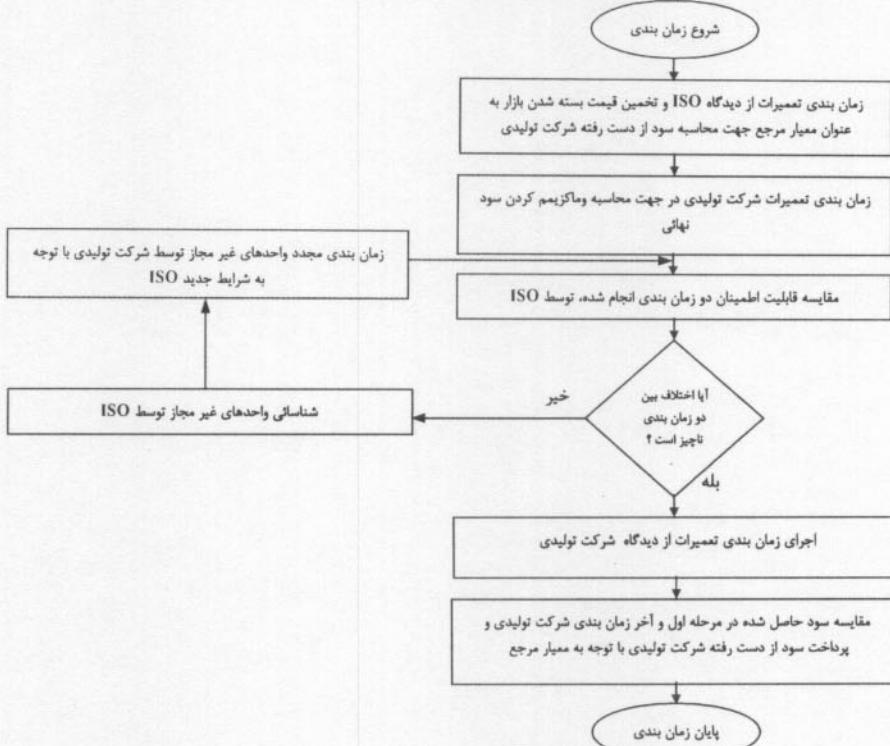
$$(1 - x_{ii}) P_{i\min} \leq P_{ii} \leq (1 - x_{ii}) P_{i\max} \quad \forall i, \forall t \quad (9)$$

باید توجه شود که شروع تعمیرات واحدهای ۱۴ و ۳۲ نمی تواند در دوره ۲۴ صورت گیرد و واحدهای ۶ و ۱۵ نمی توانند در دوره ۱۳ جهت تعمیرات از مدار خارج شوند.

۴- الگوریتم پیشنهادی جهت زمان بندی تعمیرات واحدهای شرکت های تولیدی در فضای رقابتی
در بازار رقابتی تولید کنندگان توان، برق تولیدی خود را در کنار سایر تولید کنندگان به بازار عرضه می کنند، بنابر این رقابتی بین تولیدکنندگان در زمینه کاهش قیمت تمام شده به وجود می آید. بدیهی است که یک برنامه ریزی اقتصادی جهت تعمیرات واحدها نقش به سزاوی در کاهش قیمت برق و در نتیجه افزایش میزان سود دارد. بهره بردار مستقل سیستم، که وظیفه



اصلی آن تضمین امنیت شبکه می‌باشد موظف به بررسی زمان بندی تعمیرات شرکت‌های تولیدی می‌باشد. زمان بندی اولیه تعمیرات توسط شرکت‌های تولیدی انجام می‌شود و بهره بردار مستقل سیستم نمی‌تواند به تنها و بدون در نظر گرفتن پیشنهادات شرکت‌های تولیدی زمان بندی تعمیرات واحدها را انجام دهد [۹].



شکل (۲) : الگوریتم پیشنهادی جهت زمان بندی تعمیرات در محیط رقابتی

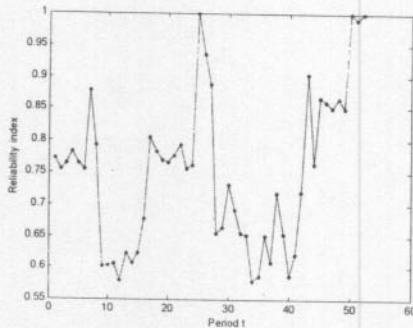
مطابق الگوریتم شکل (۲) در این روش پیشنهادی زمان بندی تعمیرات از دیدگاه شرکت تولیدی انجام می‌گیرد. شرکت تولیدی از به صورت مستقل زمان بندی تعمیرات خود را با هدف ماکزیمم کردن سود، به کمک تخمین قیمت بسته شدن بازار و محاسبه هزینه‌های بهره برداری و تعمیرات، انجام می‌دهد و سپس نتایج حاصله را به بهره بردار مستقل سیستم تسلیم می‌کند. با این زمان بندی سود نهائی شرکت تولیدی از ماکزیمم شده و مقدار آن مشخص می‌شود. بهره بردار مستقل سیستم نیز با توجه به تابع هدف خود، که تراز کردن قابلیت اطمینان در سرتاسر هفتۀ های یکسال می‌باشد زمان بندی واحدها را انجام داده و قیمت بسته شدن بازار را به عنوان معیار مرجع جهت محاسبه سود از دست رفته شرکت تولیدی از در مرحله نقض قیود محاسبه می‌کند. (برای سادگی محاسبات قیمت بسته شدن بازار از دیدگاه شرکت تولیدی از مورد تایید بهره بردار مستقل سیستم قرار گرفته و جهت محاسبه سود از دست رفته شرکت تولیدی از، از این قیمت استفاده می‌کند). در نهایت بهره بردار مستقل سیستم با توجه به زمان بندی انجام شده توسط شرکت تولیدی از قابلیت اطمینان سیستم و قیود خود را کنترل می‌کند اگر در حد قابل قبول باشد، زمان بندی از دیدگاه شرکت تولیدی از تایید می‌شود ولی اگر غیر از این باشد، بهره بردار مستقل سیستم واحدهای غیر مجاز را شناسائی کرده و از شرکت تولیدی از درخواست زمان بندی مجدد واحدهای غیر مجاز را می‌کند [۹]. با انجام زمان بندی مجدد توسط شرکت تولیدی از در راستای برآورده شدن هدف بهره بردار مستقل سیستم، سود شرکت تولیدی از کاهش می‌یابد. پس از



تایید زمان بندی مجدد شرکت تولیدی، اختلاف سود حاصل شده در مرحله اول زمان بندی شرکت تولیدی و مرحله آخر، با توجه به معیار مرجع توسط بهره بردار مستقل سیستم محاسبه شده و در انتهای سال از مصرف کننده ها دریافت و به شرکت تولیدی از پرداخت می شود که مقدار این هزینه با توجه به تعداد کل مصرف کننده ها بسیار ناچیز می باشد. این زمان بندی کاملاً عادلانه بوده و وابسته به شرایط حاکم بر سیستم می باشد.

۵- نتایج زمان بندی تعمیرات با استفاده از الگوریتم پیشنهادی

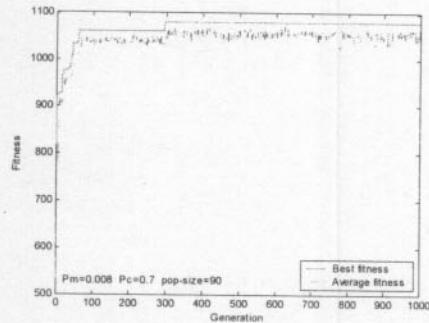
شکل (۳) عملکرد الگوریتم ژنتیک با احتمال برش 0.008 و احتمال جهش 0.007 بعد از 1000 نسل (از دیدگاه بهره بردار مستقل سیستم) را نشان می دهد که تقریباً بعد از 300 نسل به جواب بهینه رسیده است. شکل (۴) قابلیت اطمینان مورد تایید بهره بردار مستقل سیستم در کلیه دوره ها را نشان می دهد. بهره بردار مستقل سیستم مطابق شکل (۵) و جدول (۴)، مایل است زمان بندی تعمیرات واحد های شرکت تولیدی از بصورتی انجام گیرد که اکثر واحدها در دوره ها با بار پائین جهت تعمیرات از مدار خارج شوند تا بتواند قابلیت اطمینان را در کلیه دوره ها تراز کند.



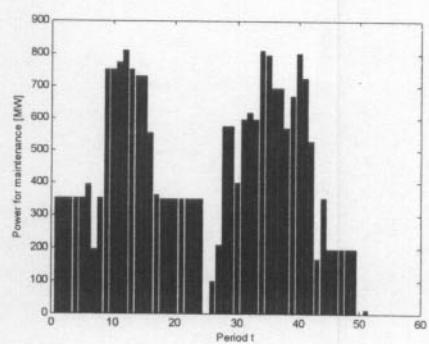
شکل (۴) : قابلیت اطمینان حاصل شده از زمان بندی تعمیرات واحد های تولیدی، از دیدگاه ISO

جدول (۴) : زمان بندی تعمیرات واحدها از دیدگاه بهره بردار مستقل سیستم

شماره واحدها	شروع دوره تعمیرات	شماره واحدها	شروع دوره تعمیرات
21-27	1	25	31
26	6	8	32
23	8	2-14-15	34
31	9	17-28	36
7	11	29	37
16-22	12	10	38
9-11	13	18	39
4-30	17	13-20	40
19	26	3	43
1-6-12	27	24	44
32	28	5	51



شکل (۳) : عملکرد الگوریتم ژنتیک بعد از 1000 نسل از دیدگاه ISO

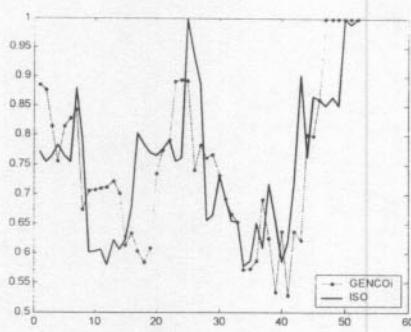


شکل (۵) : زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی از دیدگاه ISO

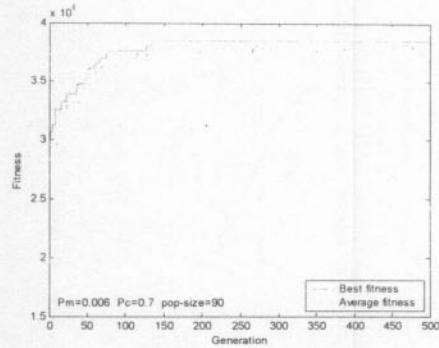
شکل (۶) عملکرد الگوریتم ژنتیک با احتمال برش 0.007 و احتمال جهش 0.006 بعد از 500 نسل (از دیدگاه شرکت تولیدی از پرداخت می دهد که تقریباً بعد از 140 نسل به جواب بهینه رسیده است. شکل (۷) اختلاف قابلیت اطمینان مورد تایید بهره بردار مستقل سیستم با قابلیت اطمینان حاصل شده از زمان بندی اولیه تعمیرات واحدها از دیدگاه شرکت تولیدی از را نشان می دهد. شرکت تولیدی از مطابق شکل (۸) و جدول (۵)، مایل است زمان بندی تعمیرات واحدها در زمانی قرار گیرد که قیمت فروش انرژی



پائین باشد تا هزینه تلف شدن سرمایه به علت تعمیرات نزول کند. با این زمان بندی میزان سود نهائی شرکت تولیدی ز مازکریم شده و برابر با $\$ 38137 \times 10^8$ می شود.



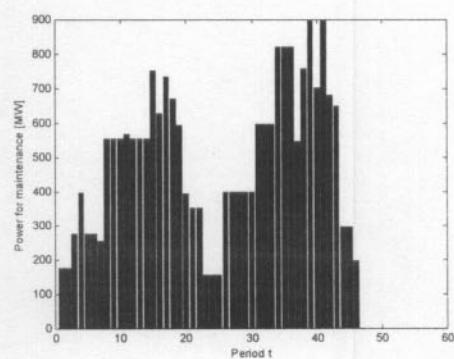
شکل (7) : مقایسه قابلیت اطمینان حاصل شده از زمان بندی تعمیرات واحد های تولیدی، از دیدگاه ISO و شرکت تولیدی ز



شکل (6) : عملکرد الگوریتم ژنتیک بعد از ۵۰۰ نسل از دیدگاه شرکت تولیدی ز

جدول (5) : زمان بندی اولیه تعمیرات واحدها از دیدگاه شرکت تولیدی ز

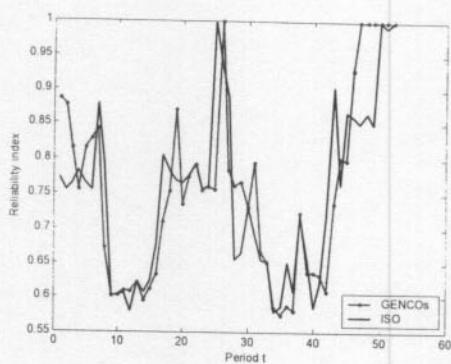
شماره واحدها	شروع دوره تعمیرات	شماره واحدها	شروع دوره تعمیرات
11-15	1	1-2-8-9-25	17
19	3	23	21
6-10-14	4	32	26
21	7	24	31
31	8	13-28-30	34
5	11	3-26	38
20	12	22	39
29	15	27	41
12-16-18	16	4-7-17	42



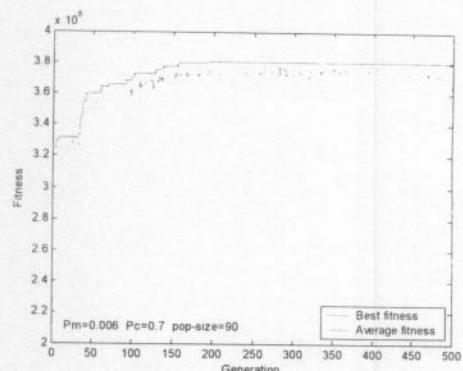
شکل (8) : زمان بندی اولیه تعمیرات واحدهای تولیدی از دیدگاه شرکت تولیدی ز

با توجه به زمان بندی اولیه شرکت تولیدی ز، مطابق شکل (7) قابلیت اطمینان مورد تایید بهره بردار مستقل سیستم در بعضی از دوره ها نقض می شود. بهره بردار مستقل سیستم واحدهای غیر مجاز (واحدهای ۱۷-۲۵-۲۶-۲۹-۳۲) را شناسائی کرده و با ارائه جدول (۴) به شرکت تولیدی ز، در زمان بندی مجدد به آن کمک می کند. شرکت تولیدی ز موظف به زمان بندی مجدد واحدهای غیر مجاز می باشد. این رویه تا زمانی که قابلیت اطمینان حاصل شده از زمان بندی شرکت تولیدی ز در حد تایید بهره بردار مستقل سیستم نباشد ادامه پیدا خواهد کرد. سرانجام پس از چند تکرار قابلیت اطمینان حاصل شده از زمان بندی شرکت تولیدی ز مورد تایید بهره بردار مستقل سیستم قرار می گیرد. شکل (۹) عملکرد الگوریتم ژنتیک با احتمال برش ۰/۰۷ و احتمال ۰/۰۰۶ بعد از ۵۰۰ نسل (از دیدگاه شرکت تولیدی ز) را نشان می دهد که تقریباً بعد از ۲۰۰ نسل به جواب بهینه رسیده است. شکل (۱۰) مقایسه قابلیت اطمینان مورد تایید بهره بردار مستقل سیستم با قابلیت اطمینان حاصل شده از زمان بندی نهائی شرکت تولیدی ز را نشان می دهد که با توجه به آن، زمان بندی نهائی شرکت تولیدی ز مورد تایید بهره بردار مستقل سیستم قرار گرفته است. شکل (۱۱) و جدول (۶)، زمان بندی نهائی شرکت تولیدی ز را نشان می دهد که با این زمان بندی میزان سود

شرکت تولیدی ز به $\$ 10^8 \times 3/8118$ نزول می یابد. در نهایت اختلاف سود حاصل شده در زمان بندی اولیه و نهایی که برابر با 190000\$ می باشد توسط بهره بردار مستقل سیستم به شرکت تولیدی ز پرداخت می شود.



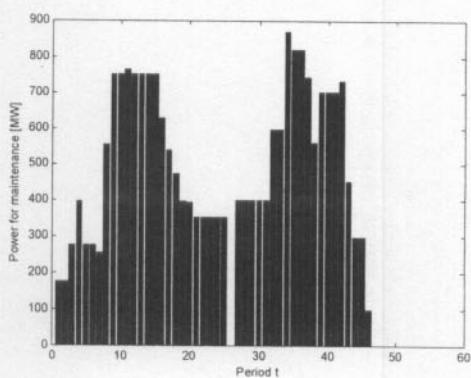
شکل (۱۰) : مقایسه قابلیت اطمینان حاصل شده از زمان بندی تعمیرات واحد های تولیدی، از دیدگاه ISO و شرکت تولیدی ز



شکل (۱۱) : عملکرد الگوریتم ژنتیک بعد از ۵۰۰ نسل از دیدگاه شرکت تولیدی ز

جدول (۶) : زمان بندی نهایی تعمیرات واحدها از دیدگاه شرکت تولیدی ز

شماره واحدها	شروع دوره تعمیرات	شماره واحدها	شروع دوره تعمیرات
11-15	1	26	20
19	3	23	21
6-10-14	4	32	27
21	7	24	32
31	8	13-28	34
29	9	30	35
5	11	3	38
20	12	22	39
25	15	27	40
12-16-18	16	4-7	42
1-2-8-9	17	17	43



شکل (۱۲) : زمان بندی نهایی تعمیرات واحدهای تولیدی از دیدگاه شرکت تولیدی ز

۶- نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و یک روش نو و ابتکاری به بررسی زمان بندی تعمیرات واحدهای یک شرکت تولیدی در فضای رقابتی پرداخته شده است. روش پیشنهادی منصفانه بوده، بطوری که هم منفعت بهره بردار مستقل سیستم و هم منفعت شرکت تولیدی ز در آن مد نظر قرار داده می شود. شرکت تولیدی ز در زمان بندی تعمیرات تا حدی سود خود را ماکزیمم می کند تا قابلیت اطمینان شبکه در سطح قابل قبول بهره بردار مستقل سیستم قرار گیرد، در عوض بهره بردار مستقل سیستم سود از دست رفته شرکت تولیدی ز را محاسبه نموده و در انتهای سال از مصرف کننده ها دریافت و به شرکت تولیدی ز پرداخت می کند که مقدار این هزینه با توجه به تعداد کل مصرف کننده های موجود بسیار ناچیز می باشد.



- مراجع و منابع

- [1] M.Shahidehpour and M.Marwali "Maintenance Scheduling in Restructured Power System", USA -2000
- [2] R.Billinton and A.Abdulwhab,"Short-term Generating unit Maintenance Scheduling in a Deregulated Power System using a Probabilistic Approach",IEEE Proc.-Gener. Trans., vol. 150, No.4, pp.463-468, July 2003.
- [3] W.Peng and Ma Rui and He Renmu,"Research on Multi-Objective Optimum Model of Unit Maintenance Scheduling under the Condition of Electricity Market",IEEE Int. Conf. on Electric Utility Deregulation and Power Technologies, pp.196-199.April 2004.
- [4] M.Negnevitsky & G.Kelareva," Application of Genetic Algorithms for Maintenance Scheduling in Power Systems", IEEE Trans .on PS., vol.9, No.3, PP.447-452, August
- [5] M.Negnevitsky and G. Kelareva "Maintenance Scheduling in Power Systems Using Genetic Algorithm", IEEE, Trans., vol. 18, No.2, pp.187, 2000.
- [6] N.Mohammadi Tabari "Promoting the Optimal Maintenance Schedule of Generating Facilities in Open Systems", IEEE, Trans., vol. 21, No.2, pp.641-645, May 2002
- [7] <http://www.nordpool.com>
- [8] Jin-Ho Kim, j.Bae Park, J.Keun Park," A New-Theoretic Framework for Maintenance Strategy Analysis", IEEE, Trans., vol. 18 , No.2, pp.698-706, May 2003.
- [9] M.Shahidehpour S.M Alomoush M. "Restructued Eectrical Power System Operation Trading and Volatility", USA-2001