باسمه تعالی

ارائه یک روش سه مرحله ای برای حل مسأله در مدار قرار گرفتن نیروگاهها

استاد راهنما:

ارائه دهنده:

چکیده: حل مساله در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها یکی از مسائل پیچیده در سیستم های قدرت قدرت می باشد که حل دقیق آن می تواند با استفاده از شمارش کامل همه ترکیب های ممکن واحد های تولیدی محاسبه شود. در مدار قرار گرفتن نیروگاهها به صورت یک مساله بهینه سازی غیر خطی و با ابعاد بزرگ فرمل بندی می شود. هدف از حل این مساله بنامه ریزی کردن بهینه ی واحد های تولیدی می باشد تا هزینه عملکرد کل با رعایت تمامی قیود مساله حدقل شود. در مقاله پیش رو، راه حلی برای حل مساله در مدار قرار گرفتن نیروگاهها با استفاده از یک روش پیشنهادی سه مرحله ای ارائه شده است. این روش که از روند ساده ای در رسیدن به پاسخ مطلوب در مدت زمان منطقی برخوردار است، ابتدا بااستفاده از تعدادی قواعد منطقی وضعیت اولیه واحد ها تعیین شده و در گام دوم به مقدار دهی اقتصادی واحد های روشن از طریق یک الگوریتم هیبرید سری هوش مصنوعی متشکل از الگوریتم پرندگان ***PSO*** و ***NM*** پرداخته می شود. با اینکه پاسخ حاصل از دو مرحله مذکور هزینه قابل قبولی د ارد، در مرحله سوم، از یک فرایند پیشنهادی موسوم به بهبود پاسخ استفاده شده و پاسخ حاصل از دو مرحله قبلی به میزان مطلوبی اصلاح می شود . خروجی حاصل از روش پیشنهادی که بر روی سه مساله مبنا اجرا شده است، حاوی پاسخی است که با سایر روشهای ارائه شده در سالهای اخیر قابل مقایسه می باشد .

مقدمه: بسیاری از پدیده هایی که در اطراف ما رخ می دهند، دارای ماهیتی دوره ای و متناوب می باشند. به همیندلیل رفتار و اعمال بشر نیز غالبا دوره ای می باشد و لذا اغلب خدماتی که جمعیت زیادی را سرویس می دهند در عمل به این حالت دوره ای برخورد می کنند. در این بین سیستم قدرت نیز استثنا نبوده و دوره ای بودن رفتار بشر در یک سیستم قدرت می باشد. اندازه بار عموما در طی روز و اوایل شب که بارهای صنعتی فعال و چراغ ها روشن است در حد بالا و در اواخر شب و صبح زود که اغلب مردم خواب هستند، در حد پایین می باشد. اما این موضوع چه مسئله ای را جهت بهره برداری یک سیستم قدرت ایجاد می کند؟ چرا به اندازه کافی وارد مدار نکنیم که بتوانند حداکثر بار سیستم را تامین نمایند و آن ها را هم چنان فعال نگاه داریم؟ چه ترکیبی از واحد های موجود، اقتصادی ترین ترکیب برای تامین بار است؟ توجه به مسئله برنامه ریزی ترتیب اقتصادی ورود و خروج واحد های حرارتیی نه تنها سبب کاهش هزینه های تولید خواهد شد بلکه به بهره برداری صحیح از شبکه یا ورود و خروج به موقع واحد ها منجر می شود که این کار مانع از افسردگی سریع تجهیزات شده و در دارز مدت صرفه جویی اقتصادی قابل ملاحظه ای به همراه خواهد داشت [۱].

مسئله در مدار قرار گرفتن نیرو گهها در صنعت قدرت یک مسئله مشکل بهینه سازی می باشد که پتانسیل کافی برای صرفه جویی میلیون ها دلار در سال را دارا می باشد و علاوه بر این به بهره برداری صحیح ازشبکه با ورود و خروج به موقع واحد ها منجر می شود که این کار مانع از فرسودگی سریع تجهیزات می گردد. مقصود اصلی مساله در مدار قرار گرفتن نیرو گاهها حداقل کردن هزینه بهره برداری کل سیستم با هدف تعیین وضعیت واحد های انرژی الکتریکی با در نشر گرفتن همه قیودی است که سطح مشخص امنیت را تامین می کنند. مسئله برنامه ریزی ترتیب اقتصادیورود و خروج واحد های حرارتی در اصل یک مسئله بهینه سازی است که با حداقل یا حداکثرکردن آن توابع، همراه با در نظر گرفتن قیود موجود در مسئله، می توان پاسخ بهینه را بدست آورد [۱-۳].

این مسئله اولین بار در سال ۱۹۶۶ توسط آقای لووری و با استفاده از برنامه ریزی پویا (دینامیک) مطرح شد. به صورت بنیادی دقیق ترین روش برای حل این مساله روش یکایک شماری است. بدین ترتیب که با آزمایش تمامی ترکیبات ممکن واحد ها در بازه زمانی مورد مطالعه، تعداد کل ترکیبات ممکن خواهد بود که حل این مسئله با توجه به سرعت

پروسسورهای امروزیغیر ممکن می باشد. بنابراین لزوم اعمال یک الگوریتم مناسب ضروری به نظر می رسد. حل مساله در مدار قرار گرفتن نیروگاهها، با هدف ، تعیین وضعیت واحد های تولید انرژی الکتریکی موجود در یک شبکه قدرت می باشد. (۰) و (۱) به معنای واحد های روشن و خاموش هستند . در ضمن حل این مساله، مقدار دهی واحد های روشن تحت عنوان پخش اقتصادی بار نیز صورت می گیرد.

روشهای استفاده شده برای حل مسأله در مدار قرار گرفتن نیروگاهها را می توان به سه دسته کلاسیک، هوشمند و ترکیبی تقسیم بندی نمود . از روش های دسته اول می توان به روش یکایک شماری، لیست حق تقدم ، برنامه دینامیکی و روش لاگرانژ اشاره کرد[۴]. این روش ها به لحاظ همگرایی عددی و نیز کیفیت پاسخ مقبولیت بالایی ندارند [۵]. رایج ترین روشهای هوشمند مورد استفاده برای حل مسأله در مدار قر ار گرفتن نیروگاهها عبارت است از: ، جستجوی تابو [۷] الگوریتمهای ژنتیک [۸-۱۰]، الگوریتم بهینه سازی ذرات[۱۱] و جستجوی کلونی مورجه ها [۱۲-۱۳]. این روشها از توانمندی بالایی در ارضا قیود غیر خطی و ایجاد پاسخ های با کیفیت برخوردارند. اما در صورت افزایش ابعاد مساله، مشکلات زمانی و کیفیت پاسخ بروز می کنند[۵]. در استفاده از روشهای ترکیبی مانند شبکه عصبی سعی در تقلیل مشکلات هر دو طیف از روش های کلاسیک و هوشمند می شود[۴].

دراین مقاله نیز با ارائه روشی سه مرحله ای که متشکل از تعدادی قواعد منطقی و نیز استفاده از یک الگوریتم هیبرید سری هوشمند متشکل از الگوریتم پرندگان[۱۴] PSO و NM [۱۵] است، تعدادی از مسایل مبنا و متداول در زمینه در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها حل شده و نتایج آن با طیف وسیعی از سایر روش ها مورد مقایسه قرار گرفته است . در بخش دوم به فرمولبندی مساله و معرفی قیود مساله پرداخته شده است. بخش سوم نیز حاوی توضیحات و اشکال مربوطه به مراحل سه گانه روش پیشنهادی می باشد. نتایج شبیه سازی ها و مقایسه مقادیر بدست آمده، از مباحث مطرح شده در بخش چهارم است . در انتها نیز در ضمن پرداختن به نتیجه گیری کلی توصیه هایی در جهت تکمیل روش پیشنهادی در آینده ارائه شده است.

۲) فرمولبندی مسئله

هدف از حل مساله در مدار قرار گرفتن نیروگاهها به حداقل رساندن هزینه های پروسه تامین انرژی الکتریکی برای یک شبکه انرژی در یک افق زمانی مشخص می باشد[۱۶]. رابطه (۱) تابع هزینه ای را ارایه می دهد که در آن هزینه های مربوط به سوخت مصرفی N واحد به همراه هزینه روشن شدن واحد های خاموشی که وارد مدار می شوند، در یک ساعت معین مد نظر می باشد.

$$Cost_N = \sum_{i=1}^{N} \begin{bmatrix} FC_i(P_{ih}) + \\ STC_i(1-U_{i(h-1)}) \end{bmatrix} U_{ih} \qquad (۱)$$

هزینه نهایی در کل افق زمانی تعیین شده (H) می باشد که معمولا برابر یک روز یا همان است ۲۴ ساعت است. هزینه نهایی در رابطه (۲) آمده است.

$$Cost_{NH} = \sum_{h=1}^{H} \sum_{i=1}^{N} \left[\begin{matrix} FC_i(P_{ih}) + \\ STC_i(1 - U_{i(h-1)}) \end{matrix} \right] U_{ih} \quad (۲)$$

در حین حداقل کردن تابع هزینه تعریف شده در رابطه (۲) طبیعتا بایستی تعدادی از قیود سیستمی نیز براورده شوند . عمده این قیدها به قرار زیر می باشند:

۱) قید تامین کننده تعادل توان

$$\sum_{i=1}^{N} P_{ih} U_{ih} = D_h \quad (۳)$$

۲) قید ذخیره چرخان

$$\sum_{i=1}^{N} P_{i(\max)} U_{ih} \geq D_h + R_h \quad (۴)$$

۳) قید محدودیت های ژنراتور

$$P_{i(\min)} \leq P_{ih} \leq P_{i(\max)} \quad (۵)$$

۴) قید حداقل زمان خاموشی واحد ها

$$X_i^{off}(t) \geq MD_i \quad (۶)$$

۵) قید حداقل زمان روشنی واحد ها

$$X_i^{on}(t) \geq MU_i \quad (۷)$$

۶) قید وضعیت اولیه واحدها: این بدان معناست که در شروع برنامه ریزی برای هر سیستم، بایستی شرایط آغازین واحدها را مد نظر داشت.

علامات بکار رفته در بالا به قرار زیر است:

- Cost NH : مجموع هزینه های N واحد ژنراتور در H ساعت کاری.
- FCi (Pih): هزینه سوخت واحد i در ساعت h به هنگام تولید توان Phi.

هزینه سوخت را معمولا همانند رابطه (۸) با تابعی سهمی شکل با متغییر توان مصرفی بیان می کنند. $\boldsymbol{\gamma i}$، $\boldsymbol{\beta i}$ ، $\boldsymbol{\alpha i}$ ضرایب این چند جمله ای می باشند.

$$FC_i(P_{ih}) = \gamma_i P_{ih}^2 + \beta_i P_{ih} + \alpha_i \quad (۸)$$

- STCi: هزینه روشن واحدi.

هزینه روشن کردن ژنراتورها را می توان با یک تابع نمایی همانند آنچه که در رابطه (۹) دیده می شود مدل کرد. که در آن TSih و BSih : بترتیب هزینه روشن نمودن ژنراتور و بویلر، MSih: هزینه های ثابت روشن کردن، T_{ih}^{off} : تعداد ساعتهای خاموش و ASih: ضریب خاموشی سرد بویلر می باشد.

$$STC_{ih} = TS_{ih} + (1 - e^{\left(\frac{-T_{ih}^{off}}{AS_{ih}}\right)})BS_{ih} + MS_{ih} \qquad (۹)$$

البته گاها نیز برای مدل تابع هزینه روشن کردن واحدها (ژنراتور) از یک تابع چند ضابطه ای استفاده می شود. رابطه (۱۰) نمونه ای از این تابع می‌باشد. Cs_hrs میزان ساعاتی است که پس از سپری شدن آن (بعد از گذشت حداقل زمان خاموشی) هزینه لازم برای روشن کردن مجدد واحد برابر با ، Csc می باشد. در غیر اینصورت هزینه مذکور برابر Hsc است.

$$STC_i = \begin{cases} \text{Hsc} & X_i^{off} \le MD_i + \text{Cs_hrs} \\ \text{Csc} & X_i^{off} > MD_i + \text{Cs_hrs} \end{cases} \qquad (۱۰)$$

- Uih: وضعیت واحد i در ساعت h (۰ یا۱).
- N: تعداد ژنراتورها.
- H: تعداد ساعتها.
- Dh: بار مصرفی در ساعتh.
- Rh: میزان ذخیره چرخان (معمولا برابر ۱۰٪ بار مصرفی)

تفاوت بین کل ظرفیت توان تولیدی بالقوه سیستم و مجموع توان مصرفی بار را ذخیره چرخان می نامند. وجود ذخیره چرخان در سیستم برای جلوگیری از نوسانات شدید سیستم قدرت در صورت از دست رفتن یک یا چند واحد تولیدی الزامی می‌باشد. معمولا ذخیره چرخان را یا به صورت درصدی از حداکثر بار پیش بینی شده یا قابلیت تأمین کمبود توان در صورت از دست رفتن پربارترین واحد در زمان مشخص، در نظر می گیرند. به غیر از استفاده از ذخیره چرخان، می‌توان از ذخیره های دیگر غیر فعال مانند واحدهای دیزلی، توربینهای گازی و نیروگاههای تلمبه ذخیره ای نیز برای رفع افت توان در سیستم بهره گرفت[۴].

- Pi (min): حد پایین تولید توان در زنراتور i.
- Pi (max): حد بالای تولید توان در ژنراتور i.
- MUi: حداقل زمان روشنی ژنراتور i.
- MDi: حداقل زمان خاموشی ژنراتورi.
- $X_i^{on}(t)$: مدت زمانی که در آن واحد i ام بطور پیوسته روشن می باشد.

- $X_i^{off}(t)$: مدت زمانی که در آن واحد i ام بطور پیوسته خاموش می باشد.

۳) بررسی روش پیشنهادی

در این مقاله واحد نحوه تعیین اولیه وضعیت هـا مطـابق چنـد قاعده مشخص انجام می گیرد. با اینحال مقدار دهی اقتصـادی واحدها از روش هوش مصنوعی که ترکیب سری دو الگوریتم پرندگانPSO و NM که اولی جستجوی کلی و دومی جستجوی محلی را انجام می دهد، تشکیل شده است. . با توجه به نتایج بدست آمده، جدول ابتدایی تعیین وضـعیت واحـدها در کسری از ثانیه انجام می پذیرد . البته کار در اینجا متوقف نشده و با اعمال فرایندی منطقی دیگری موسوم به بهبود پاسخ روی جدول بدست آمده از این مرحلـه در صـدد کـاهش هـر چـه بیشتر هزینه نهایی هستیم. فرایند بهبود پاسخ معرفی شـده، بـه لحاظ عملکرد از جهاتی شبیه به روشهای جستجوی محلی در روشهای هوش مصنوعی می باشد. مزیتی که روش بهبود پاسخ نسبت به روش های مذکور دارد داشتن دسـتورالعمل سـاده تـر است و تنها بر روی یک جدول (پاسخ) اجـرا میشـود نـه بـر روی جمعیتی از پاسخ ها. شکل ۱ تصویری از مراحل مختلف روش پیشنهادی را نمایش می دهد.

شکل ۱: مراحل سه گانه حل مسئله به روش پیشنهادی

مرحله اول: تولید جدول وضعیت واحدها

استراتژی تعیین وضعیت اولیه واحدها در هـر سـاعت از روز، مبنی بر اینست که، واحدهای موجود بایستی با اتخاذ اولویـت از پیش تعیین شده ای تا رسیدن به حداقل ذخیره چرخان مورد نظر وارد مدار شوند. این اولویت به گونه ای

تعیین میشود که در آن واحدهای بزود با ظرفیت بالا زودتر از سایر واحد ها وارد مدار شوند. البته با با توجه به قیود (۴ و ۵) مبنی بر رعایت حداقل ساعات روشن/خاموش ماندن هر واحد نیروگاهی پس از هر روشنی/خاموشی، گاها ممکن است بدلیل آماده نبودن برخی واحدها، اولویت به بزرگترین واحد بعدی داده شود. عمده دلایل اتخاذ چنین اولویتی برای تامین انرژی مورد نیاز در هر ساعت از روز بشرح زیر می باشد.

۱. با روشن کردن واحدهای با ظرفیت بالا بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز در آن ساعت را تامین میکنیم، سپس برای تامین مابقی انرژی مورد نیاز استفاده از واحدهای با ظرفیت پایین (بدلیل ارائه بازه های کوچکتر انرژی)،جهت ایجاد تطابق هرچه بیشتر مابین انرژی تولیدی و مصرفی کارامدتر است.
۲. با توجه به اینکه واحدهای با ظرفیت بیشتر عمدتا هرینه راه اندازی بسیار بالاتری نسبت به واحدهای کوچکتر دارند، لذا به صرفه است تا حد امکان از روشن و خاموش کردن مکرر آنها خود داری شود و با یکبار روشن کردن آنها در ابتدا، از آنها بعنوان تامین کننده انرژی پایه مورد نیاز در ساعات آتی نیز بهره بگیریم .
۳. طبیعتا حداقل ساعاتی که یک واحد بزرگ بایستی در وضعیت روشن / خاموش بماند به مراتب بیشتر از ساعات مربوط به واحدهای کوچکتر است. لذا دسترسی مداوم به آنها غیر ممکن بوده وگزینه مناسبی برای استفاده جهت جبران تغییرات ساعتی در بار مورد تقاضا نیستند.

از آنجاییکه در برخی از مسایل واحدهایی با ظرفیت مشابه وجود دارد، لذا در این مواقع برای اولویت دهی به واحد ها نیاز به تعریف کامل تری می باشد. در این مواقع به سایر ویژگیها و وجوه تمایز واحدها در تعیین اولویت به کار گیری شان نیز باید توجه داشت. بعنوان مثال می توان میزان ساعات روشنی یا خاموشی واحدها و یا هر دو را بطور همزمان دخالت داد. عموما موارد مذکور از روند کاهشی مشابهی برخوردارند. در رابطه (۱۱) نمونه ای از بردار اولویت ارائه شده است که در آن واحدهای متناظر با اعداد بزرگتر از اولویت بالایی در انتخاب برخوردارند.

$$\text{Priority Vector} = P_{(\max),vec} / \max(P_{(\max),vec}) + MD_{vec} / \max(MD_{vec}) \quad (11)$$

که در آن اندیس vec بیانگر بردار حاوی مقادیر مربوطه تمامی واحدهای تولید انرژی است. نحوه پیاده سازی مفاهیم فوق در قالب شبه برنامه ای در شکل ۲ آمده است. اعدادی که در این شبه برنامه مشاهده می شود، مختص مساله با ۱۰ واحد نیروگاهی می باشد که در آن ذخیره ٪۱۰چرخان لحاظ شده است. در اینجا لازم به ذکر است که واحدهایی که در ساعات کاهش بار خاموش می شوند بایستی تا پیک بار موجود در ساعات آینده در دسترس باشند و الا با توجه به قید (۶) نباید خاموش شوند.چون ممکن است تامین انرژی در پیک بعدی بار ممکن نباشد. درشکل۳-الف جدولی از وضعیت واحدها در قالب یک ماتریس ۲۴×۱۰ آمده است.

```
%h: Hour counter from 1 to Hours.
%Hours: Equals to 24 that shows time horizon in one day.
%I_hours: Is the same Initial status vector. It'll change hourly with units new status.
%MU: Min Up time vector.
%MD: Min Down time vector.
%D: Demand vector.
for h=1:Hours

  Commit all units with (0<I_hours<MU)

  while sum(Capacity of committed units)<1.1*D(h)
    Commit units with (I_hours>MU) one by one according to Priority Vector
  end

  while sum(Capacity of committed units)<1.1*D(h)
    Commit units with (I_hours<=-MD) one by one according to Priority Vector
  end

  for all unchanged units so far, do as below according to reverse order of  Priority Vector
    if I_hours(unit)>=MU(unit)

      if sum(Capacity of committed units)>=1.1*D(h) && (20-h>MD(unit) || 20-h<0) *
        set the unit off
      else
        set the unit on
      end

    elseif I_hours(unit)<=-MU(unit)

      if sum(Capacity of committed units)>=1.1*D(h)
        set the unit off
      else
        set the unit on
      end

    elseif I_hours(unit)<0

      set the unit off

    end% if I_hours
  end% for all unchanged units

end% for h
```

(*) در خلال روند کاهش بار که واحدها یکی یکی از مدار خارج می‌شوند باید توجه داشت که در صورت در دسترس نبودن واحدهای مذکور در بیشینه بار در ساعات آینده (در در اینجا ساعت ۲۰)، آنها را بالاجبار روشن نگاه می‌داریم.

شکل ۲: شبه برنامه مربوط به تعیین وضعیت اولیه واحد ها

مرحله دوم: روش تعیین مقدار واحدها

برای مقدار دهی واحـدها پـس از تعیـین وضـعیت آنهـا از یـک وضعیت واحدها بـرای ۱۰ واحـد. ب) شـبه برنامـه مربـوط بـه الگوریتم هیبرید سری بکار رفته در تعیین مقدار واحدها. الگوریتم هیبرید سری متشکل از دو الگوریتم PSO و NM استفاده می شود. . شبه برنامه ای که در شرح چکـونگی ایـن الگـوریتم در شکل ۳-ب آمده است، فرایندی را نمایش می دهـد کـه در آن در هر ساعت از روز، برنامه تا رسیدن به خطا از مرتبه هـزارم بـرای تولید انرژی مورد تقاضا اجرا می شود.

```
% a & b are tow constant.

while (Production-Demand)>0.001

   for i=1:a
      DO PSO
   end
   check stop criterion
   for j=1:b
      DO NM
   end
```

(ب)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
5	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
14	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
15	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
16	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
18	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
20	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
21	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
22	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
23	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
24	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

(الف)

شکل۳: خروجی حاصل از برنامه تعیین اولیه در استفاده از این برنامه جهت مقدار دهی واحدها ذکر مواردی که در مقاله پیش رو نیز از آن بهره گرفته شده لازم است.

۱. از آنجایی که الگوریتم های هوش مصنوعی از مقادیر تصادفی متعددی در ساختار خود بهره می برند لذا طبیعی است‌که دریک بار اجرای برنامه به پاسخ کاملا بهینه نرسند. در شبیه سازی های انجام شده در این مقاله، الگوریتم با حداقل چهار بار بهبود پاسخ از سقف ۶ بار اجرای آن، متوقف می شود.

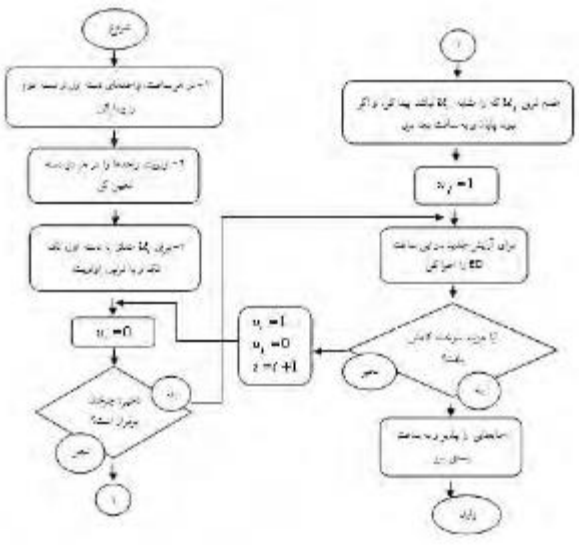
۲. برای افزایش سرعت اجرای برنامه، وجود یک پاسخ حساب شده حدسی در بین جمعیت اولیه الگوریتم های هوش مصنوعی که بطور کاملا تصادفی ایجاد می است شوند بسیار موثر. اصولا به علت ذخیره چرخان ناچیز (۵٪ - ۱۰٪) مفروض در هر ساعت، طبیعی است که واحدهای روشن با میزان توان نزدیک به حداکثر ظرفیت خود کار کنند. انتخاب این پاسخ می تواند بگونه ای باشد که برای همه واحدهای روشن در یک ساعت بخصوص، حداکثر میزان ظرفیتشان اختصاص یابد و یا اینکه نیمی از واحدهای روشن (واحدهای بزرگتر) مقدار حداکثر به خود گرفته و نیم دیگر که واحدهای کوچک ترند مقدار حداقلی به خود بگیرند. طرق دیگر ایجاد چنین پاسخ اولیه ای در بحث بهبود پاسخ اشاره می شود.

۳. در حین اجرای برنامه امکان همگرایی سریع و نامطلوب جمعیت پاسخها به یک مقدار مشخص وجود دارد. در این صورت ادامه برنامه به معنای اتلاف زمان خواهد بود. برای مقابله با این امر، مابین دو الگوریتم، همگرایی جمعیت بررسی می شود. بطوریکه اگر همه جمعیت هزینه برابری بخود گرفتند الگوریتم متوقف شود.

۴. استفاده از جمعیت متفاوت، یکی دیگر از پیشنهادهایی که در کاهش زمان اجرای الگوریتم موثر است. بدین ترتیب می توان در هر ساعتی جمعیتی متناسب با تعداد واحدهای روشن آن ساعت اختیار کرد. چرا که زمانبر ترین بخش هر مسئله هوش مصنوعی، ارزیابی تابع هزینه می باشد. رابطه (۱۲) نحوه کند تولید چنین جمعیتی را پیشنهاد می کند.

$$N_{population,h} = \alpha + \varepsilon(n.c.u)_h \quad (۱۲)$$

- N population,h: جمعیت مورد نظر در ساعت h.
- α: عددی صحیح و ثابت متعلق به بازه (۲۰-۴۰).
- ε: عددی ثابت متعلق به مجموعه {۱،۲}.
- (n.c.h)h: تعداد واحدهای روشن در ساعت h.



شکل ۴: فلوچارت چگونگی انجام مراحل بهبود پاسخ در یک مشخص.

مرحله سوم: روش بهبود پاسخ

هرچند کـه آرایـش ایجـاد شـده در بخـش هـای قبـل بـدلیل برخورداری از روند منطقـی پاسـخ قابـل ملاحظـه ای بدسـت می دهد، اما با انجام برخـی تغییـرات پیشـنهادی در وضـعیت برخی واحد های خاص می توان به آرایشهایی با هزینـه نهـایی کمتر رسید. از قیود(۴و۵) معلوم است که کـوچکترین تغییـر می تواند کل آرایش قبلی را بهم بزند، (مثلا در صورت تغییر وضعیت واحد روشن از سطر ۱۰ و ستون ۳، (در صورتی که مجاز باشد) باعث به هم ریختن آرایش ساعت بعدی در همان ستون خواهد شد و به همین ترتیب ساعات بعدتر نیز بایستی تغییر کنند که شکل کلی جدول کاملا عوض می شود.) لذا با ارضاع قیود (۴و۵) در صدد اتخاذ روشی معین و کاملا غیر تصادفی هستیم که بدون ایجاد تغییر کلی در شکل پاسخ اولیه آن بهبود را بهبود بخشد. این تغییرات در هر ساعتی که ایجاد می شوند، ساعات بعدی را متاثر می کند.

۱. سطر به سطر هر یک از واحدهایی را که با تامین شرایط فوق الذکر قابلیت خاموشی دارند تعیین می کنیم.
۲. سپس در همان سطر واحدهای خاموشی را که می توان با حفظ شرایط مذکور به جای واحد های بند اول روشن کرد تعیین می کنیم.
۳. حال دو دسته واحد داریم که دسته اول روشن و دسته دوم خاموشند (این ها در حقیقت برخی موقعیت های فعال (۱) و مجاز هستند که قابلیت جابجایی با برخی موقعیت های غیر فعال(۰) و مجاز در همان سطر را دارند). در ادامه قرار است در هر ساعت (سطر) از جدول برنامه وضعیت واحدها، تا رسیدن به اولین کاهش هزینه، واحدهای دسته اول را با دسته دوم تک به تک جابجا و آرایش جدید را با الگوریتم هیبرید توضیح داده شده ارزیابی کنیم. در صورت بهبود هزینه نسبت به حالت اولیه، جابجایی مذکور پذیرفته می شود.

هر دو دسته از واحدهای مذکور بنا بر اولویتی نـامزد پـذیرش جابجایی می باشند. این اولویت بندی در راستای هدف کاهش زمان در رسیدن به پاسخ مطلوب انجام می شود. اولویت بندی بر این اساس استوار است که در واحدهای مربـوط بـه دسـته اول، واحدی که در آن مقدار α (هزینه ثابت روشن بودن واحد)بیشتر از مابقی واحد ها است، نامزد شـروع جابجـایی مـی باشـد و واحـدهای بعـدی نیـز بـه همـین ترتیـب بـرای واحدهای دسته دوم بردار هزینه ای کـه در رابطـه (۱۳) آمـده است می تواند پیشنهادی برای اولویت بنـدی واحـدها باشـد. بطوریکه واحدهای با هزینه کمتر تعیین شده از ایـن بـردار در اولویت قرار دارند.

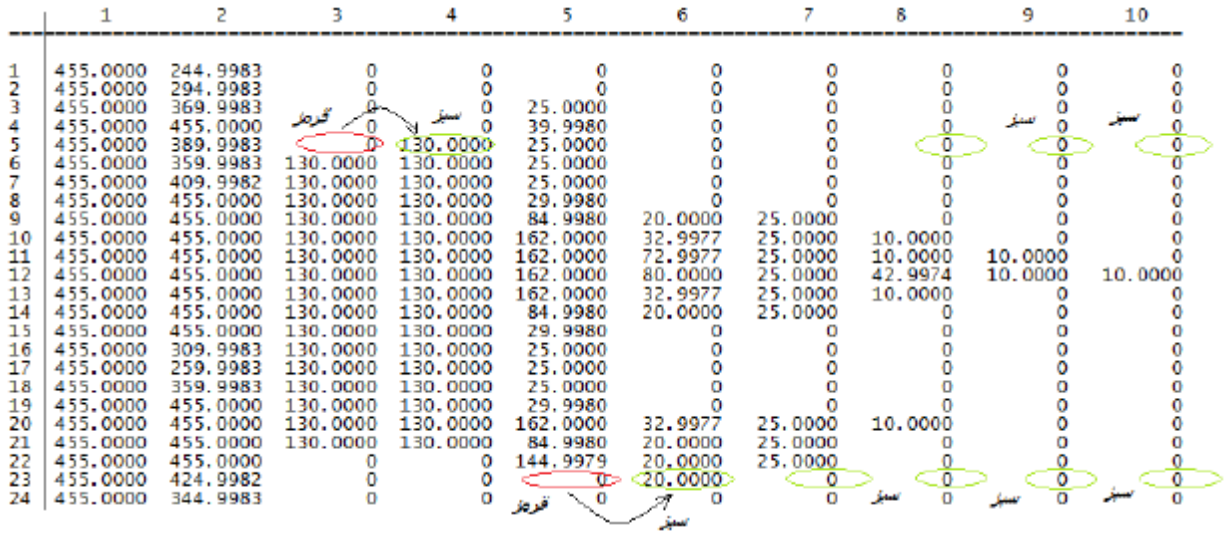
$$\text{بردار هزینه} = \text{تفاوت هزینه روشن شدن واحد در وضعیت جدید و قدیم} + (\alpha)\ \text{هزینه ثابت واحد} \qquad (۱۳)$$

شکل ۴ مفاهیم فوق را در قالب گرافی بصورت مرحله به مرحله نمایش می دهد. در این مرحله برای اعمال نکته ۲ مرحله دوم که در بالا ذکر شد کمی متفاوت تر عمل می شود. بطوریکه می توان برای هر ساعتی از مقدار بدست آمده ED مرحله دوم استفاده کرد. با این تفاوت که برای واحد جابجا شده از مقدار قبلی اش استفاده شود.

شکل ۵ نحوه عملکرد فرایند بهبود را بر روی آرایش مقدار دهی شده حاصل از دو مرحله قبل را نشان می دهد. در این شکل حلقه های قرمز بیانگر واحدهای دسته اول و حلقه های سبز بیانگر واحدهای دسته دوم می باشد. فلش های رسم شده نیز بیانگر نحوه جابجایی واحدها می باشد.

۴) نتایج شبیه سازی

در این بخش با حل سه مسئله مبنـای پـر کـاربرد در مقـالات علمی سالهای اخیر، جامعیت و کارایی روش پیشنهادی مـورد آزمایش و مقایسه قرارگرفته می شود.



شکل ۵: اعمال روش بهبود پاسخ بر روی جدول بدست آمده از مراحل اول و دوم.

مورد ۱: در این مورد سیستمی با ۴ واحد تولیدی برای شبیه سازی در نظر گرفته شده است که اطلاعات بار درخواستی مربوط به این سیستم در جدول ۱ آمده است. افق زمانی باشد مربوط به این مساله ۸ ساعت می باشد. اطلاعات مربوط به است واحدها نیز در جدول ۲ درج شده. سطر آخر این جدول وضعیت اولیه واحد نشان می دهد که در آن اعداد مثبت و منفی به ترتیب بیانگر میزان ساعات روشنی و خاموشی واحدها می باشند. پاسخ های روش پیشنهادی در قبل و بعد از بهبود پاسخ در جدول۳ درج شده و قابل مقایسه باسایرروش ها می باشد. مقدار هزینه های موجود در جدول نتایج بهترین، متوسط و بدترین مقادیر را از هزینه ها در ۱۰ بار اجرای برنامه به نمایش می گذارد. تساوی هزینه ها در قبل و بعد از بهبود بیانگر آن است که الگوریتم بهبود ارائه شده در این مسئله خاص قادر به یافتن حالت جدید برای کاهش هزینه نبوده است. روشهایی که نسبت به روش پیشنهادی پرهزینه ترند با اعداد خوابیده و بهترین پاسخ جدول باعدد پر رنگ نمایش داده می شوند. به روش پیشنهادی PSO-LR نزدیک تر بوده و تنها ۴ دلار از آن بیشتر است. اما نکته مهم دیگر اینکه مقدار متوسط روش پیشنهادی به بهترین پاسخ این روش بسیار نزدیک می باشد و این حکایت از مقاوم بودن روش پیشنهادی در برابر اجراهای متعدد دارد. بحث مربوط به مقاوم بودن پاسخ در برابر اجراهای متعدد از آن جهت حائز اهمیت است که در اکثر موارد عملی زمان مهم بوده و تکرار نا مطلوب است. و نیز از آنجاییکه روشهای هوش مصنوعی امکان گیر کردن در می نیمم های محلی را دارند، اطمینان از اینکه روش مورد استفاده از قابلیت اطمینان بالایی در رسیدن به پاسخ بهینه برخوردار است، امتیاز ویژه ای خصوصا از لحاظ اقتصادی محسوب می شود.

مورد ۲: در این مورد سیستمی با ابعاد ۱۰ واحد تولیدی مورد بررسی قرار می گیرد. اطلاعات مربوط به بار مصرفی روزانه است در جدول ۴ آمده. جدول ۵ نیز داده های مربوط به واحدهای موجود در این سیستم را نمایش می دهد. در اینجا دو حالت متفاوت و در عین حال متداول از این سیستم را شبیه سازی کرده و به مقایسه نتایج

پرداختـه مـی شـود. در حالت الف) ذخیـره چرخـان ٪۵ و در حالـت ب) ذخیـره چرخان ٪۱۰ مفروض است. جداول ۶ و ۷ به ترتیـب مربـوط به حالات (الف) و (ب) شامل بهترین، بـدترین و نیـز مقـدار متوسط هزینه های گزارش شده در روش های مختلـف اسـت. همانطور که مشـاهده مـی شـود، روش پیشـنهادی در حالـت (الف) در هر سه مورد پایین ترین هزینـه را نسـبت بـه سـایر روشـها بدسـت مـی دهـد. همچنـین در حالـت (ب) روش پیشنهادی از توافق نسبی نسـبت بـه مقـادیر گـزارش شـده در سایر مراجع برخوردار است. این روال در بین بدترین‌پاسخ ها نیز همچنان برقرار است. مقدار متوسط روش پیشـنهادی هـم بعد از دو مورد CR-GA و GA در مکان سوم قـرار دارد. هـر چند که متاسفانه این دو مرجع هـیچ اشـاره ای بـه بهتـرین و بدترین مقدار خود نکرده اند تا بتوان مقایسه کـاملی را انجـام داد. در دو جدول مذکور طبق روال مشاهده می شود که مقدار متوسط روش پیشنهادی، به بهترین و بدترین میزان خود بسیار نزدیک بوده و این امر همچنـان تاییدیسـت بـر مقـاوم بـودن روش پیشنهادی در برابر اجراهای متعدد . در انتها نیز جدول ۸ عملکرد زمانی روش پیشنهادی را در حل مسائل مذکور نشان می دهد. مقادیر بدست آمده از میانگین ۱۰ بار اجـرای برنامـه، بیانگر منطقی بودن زمان حل مساله در مسائلی با ابعاد متوسط و پایین می باشـد. رایانـه بکـار رفتـه در حـل مسـائل مـذکور، سامانه ایست بـا پردازنـده Intel Core 2 Duo بسـامد ۲ گیگـا هرتزو حافظه ۲ گیگا بایت.

جدول ۱: میزان بار درخواستی در هر یک از ساعات در سیستم ۴ واحدی.

ساعت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
با (MW)	۴۵۰	۵۳۰	۶۰۰	۵۴۰	۴۰۰	۲۸۰	۲۹۰	۵۰۰

جدول۲: داده های مربوط به واحد های تولید انرژی در سیستم ۴ واحدی.

واحد ↓	$P_{(max)}$ (MW)	$P_{(min)}$ (MW)	α $(\$/h)$	β $(\$/MWh)$	γ $(\$/MW^2h)$	MD (h)	MD (h)	Hsc $(\$)$	Csc $(\$)$	Cs hrs (h)	Initial Status (h)
۱	۳۰۰	۷۵	۶۴۸/۷۴	۱۶/۸۳	۰/۰۰۲۱	۵	۴	۵۰۰	۱۱۰۰	۵	۸
۲	۲۵۰	۶۰	۵۸۵/۶۲	۱۶/۹۵	۰/۰۰۴۲	۵	۳	۱۷۰	۴۰۰	۵	۸
۳	۸۰	۲۵	۲۱۳/۰۰	۲۰/۷۴	۰/۰۰۱۸	۴	۲	۱۵۰	۳۵۰	۴	-۵
۴	۶۰	۲۰	۲۵۲/۰۰	۲۳/۶۰	۰/۰۰۳۴	۱	۱	۰	۰/۰۲	۰	-۶

جدول ۳:جدول نتایج مربوط به سیستم ۴ واحدی. (ق.ب) و (ب.ب) بترتیب به قبل و بعد از بهبود اشاره داشته و علامت (-)یعنی گزارش نشده است.

روش		بهترین (دلار)	متوسط (دلار)	بدترین (دلار)
[۶]LR		۷۵۲۳۲	–	–
[۶]PSO-LR		۷۴۸۰۸	–	–
روش پیشنهادی	ق. ب	۷۴۸۱۲	۷۴۸۷۷	۷۵۱۶۶
	ب. ب	۷۴۸۱۲	۷۴۸۷۷	۷۵۱۶۶

جدول ۴: میزان بار درخواستی در هر یک از ساعات در سیستم ۱واحدی.

ساعت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
بار (MW)	۷۰۰	۷۵۰	۸۵۰	۹۵۰	۱۰۰۰	۱۱۰۰	۱۱۵۰	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۴۰۰	۱۴۵۰	۱۵۰۰
ساعت	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
بار (MW)	۱۴۰۰	۱۳۰۰	۱۲۰۰	۱۰۵۰	۱۰۰۰	۱۱۰۰	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۳۰۰	۱۱۰۰	۹۰۰	۸۰۰

جدول ۵: داده های مربوط به واحدهای تولید انرژی در سیستم های ۱۰واحدی.

واحد ↓	$P_{(max)}$ (MW)	$P_{(min)}$ (MW)	α $(\$/h)$	β $(\$/MWh)$	γ $(\$/MW^2h)$	MD (h)	MD (h)	Hsc $(\$)$	Csc $(\$)$	Cs hrs (h)	Initial Status (h)
۱	۴۵۵	۱۵۰	۱۰۰۰	۱۶/۱۹	۰/۰۰۰۴۸	۸	۸	۴۵۰۰	۹۰۰۰	۵	۸
۲	۴۵۵	۱۵۰	۹۷۰	۱۷/۲۶	۰/۰۰۰۳۱	۸	۸	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰	۵	۸
۳	۱۳۰	۲۰	۷۰۰	۱۶/۶۰	۰/۰۰۲	۵	۵	۵۵۰	۱۱۰۰	۴	-۵
۴	۱۳۰	۲۰	۶۸۰	۱۶/۵۰	۰/۰۰۲۱۱	۵	۵	۵۶۰	۱۱۲۰	۴	-۵
۵	۱۶۲	۲۵	۴۵۰	۱۹/۷۰	۰/۰۰۳۹۸	۶	۶	۹۰۰	۱۸۰۰	۴	-۶
۶	۸۰	۲۰	۳۷۰	۲۲/۲۶	۰/۰۰۷۱۲	۳	۳	۱۷۰	۳۴۰	۲	-۳
۷	۸۵	۲۵	۴۸۰	۲۷/۷۴	۰/۰۰۷۹	۳	۳	۲۶۰	۵۲۰	۲	-۳
۸	۵۵	۱۰	۶۶۰	۲۵/۹۲	۰/۰۰۴۱۳	۱	۱	۳۰	۶۰	۰	-۱
۹	۵۵	۱۰	۶۶۵	۲۷/۲۷	۰/۰۰۲۲۲	۱	۱	۳۰	۶۰	۰	-۱
۱۰	۵۵	۱۰	۶۷۰	۲۷/۹۲	۰/۰۰۱۷۳	۱	۱	۳۰	۶۰	۰	-۱

شکل ۶: حالت (الف)، جدول نتایج مربوط به سیستم ۱۰ واحدی با ذخیره چرخان، ٪۵. (ق.ب) و (ب.ب) بترتیب به قبل و بعد از بهبود اشاره داشته و علامت (–) بیانگر عدم گزارش مقدار متوسط مرجع مورد نظر است.

روش		بهترین (دلار)	متوسط (دلار)	بدترین (دلار)
]۷BPSO [		۵۶۵٫۸۰۴	۵۶۶٫۹۹۲	۵۶۷٫۲۵۱
]۷GA [		۵۷۰٫۷۸۱	۵۷۴٫۲۸۰	۵۷۶٫۷۹۱
]۲APSO [		۵۸۶٫۵۶۱	–	–
]۸BP [		۵۶۵٫۴۵۰	–	–
]۹TSGB [		۵۶۰٫۲۶۳/۹۱۵۱	–	–
]۱۰IPSO [		۵۵۸٫۱۱۴/۸	–	–
]۱۱Hybrid PSO-SQP [		۵۶۸٫۰۳۲/۳	–	–
روش پیشنهادی	ق.ب	۵۵۸٫۸۴۴/۷۵۶۸	۵۵۸٫۹۳۷/۲۳۷۱	۵۵۹٫۱۵۴/۹۷۵۵
	ب.ب	۵۵۷٫۶۷۶/۸۱۰۴	۵۵۷٫۷۶۹/۲۸۹۱	۵۵۷٫۹۸۷/۰۲۹۱

شکل ۷: – ۷ جدول حالت (ب)، جدول نتایج مربوط به سیستم ۱۰ واحدی با ذخیره چرخان ٪۱۰. (ق.ب) و (ب.ب) بترتیب به قبل و بعد از بهبود اشاره داشته و علامت (–) بیانگر عدم گزارش مقدار توسط مرجع مورد نظراست.

روش		بهترین (دلار)	متوسط (دلار)	بدترین (دلار)
]۱۲EP [		–	۵۶۵۳۵۲	–
]۱۳GA [		۵۶۵۸۵۲	–	۵۷۰۰۳۲
]۱۴UCC-GA [		۵۶۳۹۷۷	–	۵۶۵۶۰۶
]۱۳DP [		۵۶۵۸۲۵	–	–
]۱۳LR [		۵۶۵۸۲۵	–	–
]۱۵LRGA [		۵۶۴۸۰۰	–	–
]۵HPSO [		۵۶۳۹۴۲/۳	۵۶۴۷۷۲/۳	۵۶۵۷۸۲/۳
]۱۶HASP [		۵۶۴۰۲۹	۵۶۴۳۲۴	۵۶۴۴۹۰
]۱۷ICGA[		–	۵۶۶۴۰۴	–
]۱۸AG[		–	۵۶۴۰۰۵	–
]۱۹EALR[		۵۶۳۹۷۷	–	–
]۲۰CR-GA[		–	۵۶۳۹۷۷	–
]۲۱MPL[		۵۶۳۹۷۷/۱	–	–
]۹TSGB[		۵۶۸۳۱۵	–	–
روش پیشنهادی	ق.ب	۵۶۴۰۱۷/۷۳	۵۶۴۱۲۱/۴۶	۵۶۴۴۰۱/۰۸
	ب.ب	۵۶۳۹۳۷/۲۶	۵۶۴۰۴۰/۳۰	۵۶۴۳۲۰/۶۱

شکل ۸: عملکرد زمانی روش پیشنهادی حاصل از میانگین ۱۰ بار اجرا.

موارد	مورد ۱	مورد ۲-الف	مورد۲-ب
زمان اجرا (ثانیه)	۳/۸۰	۳۶/۶۰	۶۰/۱۷

۵) نتیجه گیری

در این مقاله با ارائه یک روش پیشنهادی سه مرحله ای، برخی از مسایل مبنا در زمینه در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها حل شده و مورد مقایسه با سایر روش های موجود در این زمینه قرارگرفت. نتایج حاصل از شبیه سازی ها موید کارامدی روش پیشنهادی از لحاظ اقتصادی و نیز مقاوم بودن پاسخ آن می باشد. این روش روند و مفهوم ساده تری را در رسیدن به پاسخ نهایی ارائه می دهد و می توان از آن به عنوان روشی برای حل مسئله UC در کنار سایر روش های ارائه شده نام برد. حل مسائلی با ابعاد بزرگتر از طریق مفاهیم ارائه شده دراین مقاله و نیز بهبود و ارتقاع آن مفاهیم، می تواند بعنوان موضوعی برای انجام پژوهش های تکمیلی در آینده تلقی شود.

۶) مراجع و مآخذ

[۴] مشهدی کشتیبان، اتابک و وکیل باغمیشه محمد تقی ، سمینار کارشناسی ارشد با عنوان کاربرد های شبکه های عصبی در سیستم قدرت، دانشگاه تبریز۱۳۸۵.

مراجع استفاده شده از مقاله ارائه یک روش سه مرحله ای برای حل مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها.