در مدار قرار گرفتن تصادفی نیروگاه ها با درنظرگرفتن منابع انرژی تجدیدپذیر و بارهای تعویق پذیر توسط الگوریتم ژنتیک

کوثر باقرزاده انصاری*[1]، افشین لشکرآرا [2]

*۱- دانشجو کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی دزفول، kosar_b.ansari@yahoo.com
۲- استادیار، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی ، دانشگاه آزاد اسلامی دزفول، Lashkarara@iust.ac.ir

چکیده: در این مقاله روشی برای حل مسئله پخش بار اقتصادی[1]و در مدار قرار گرفتن تصادفی نیروگاه ها[2] با استفاده از الگوریتم ژنتیک[3] ارائه شده است و به منظور بررسی آن از یک الگوریتم تصمیم گیری دو مرحله ای استفاده شده است که مرحله ی اول آن مربوط به مسئله ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها و بخش دوم آن مربوط به توزیع اقتصادی است. علاوه بر این تاٴثیر حضور انرژی های تجدیدپذیر و بارهای تعویق پذیر مورد ارزیابی قرار گرفته است. سیستم غربی ایالات متحده به عنوان سیستم مورد مطالعه در نظر گرفته شده است و خروجی حاصل از روش ارائه شده، حاوی پاسخ هایی است که با نتایج حاصل از روش برنامه ریزی پویا[4] قابل مقایسه است.

واژه‌های کلیدی: پخش بار اقتصادی، در مدار قرار گرفتن تصادفی نیروگاه ها، الگوریتم ژنتیک، بارهای تعویق پذیر

۱- مقدمه

با افزایش روز افزون تقاضـــا و میزان انرژی و در نتیجه افزایش تولید گـازهـای گلخـانـه ای نیـازمنـد این هســـتیم تـا از منـابع تجدیدپذیر[5](RES) مانند توربین های بادی و سیســتم های فتو-ولتائیک اســـتفاده نماییم تا مشـــکلات مربوط به هزینه و آلودگی سوخت را کاهش دهیم. در کنار این مزایا می توان به عدم قطعیت منابع RES اشـاره نمود که باعث تغییرات در توان شـده و برنامه ریزی های دقیق برای روز بعد را با مشکل مواجه می کند. بنابراین ظهور وسایل اندازه گیری هوشمند و حضور بارهای تعویق پذیر و قابل قطع، باعث می گردد که از برنامه های پاسخ گویی بار[6](DR) برای افزایش انعطاف پذیری سیستم استفاده نماییم[۱]. مسئله ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها(UC) مربوط به تعیین مجموعه ی بهینه ای از واحدهای تولید با مینیمم قدرت اســت که در طی ده های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. مسئله ی UC به طور کلی مربوط به کمینه کردن هزینه های عملیاتی،هزینه های گذرا و هزینه های بی باری (حالت انتظار) و هم چنین بیشـــینه کردن سود شرکت است. به طور کلی روش های استفاده شده برای حل مسـئله ی UC را می توان به دو دسـته ی کلاسـیک و هوشـمند تقســیم بندی نمود. از روش های دســـته اول می توان به روش یکایک شماری[7]، لیست حق تقدم[8]، برنامه نویسی دینامیکی پویا و روش لاگرانژ[9] اشـــاره نمود [۲] اما این روش ها همگرایی عددی لازم را دارا نمی باشند و بنابراین کیفیت پاسخ ها قابل قبول نمی باشـــد[۳]. از رایج ترین روش های دســـته دوم می توان به روش های Tabu Search، الگوریتم ژنتیک، Ant colony Search اشـــاره نمود [۴]. در این مقاله مســـئله ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها با اســـتفاده از الگوریتم ژنتیک مورد ارزیابی قرار گرفته اســـت که تعریف این الگوریتم در [۵] یافت می شـــود. در [۶,۷] مدل در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها با در نظر گرفتن ثاثیر ادغام منابع تجدیدپذیر (RES) و بارهای تعویق پذیر ارائه شـــده اســـت علاوه بر این روش هایی برای دست یابی نیروگاه ها به سود بیشتر با کاهش زمان محاســـباتی در [۸] پیشـــنهاد گردیده اســـت. برای

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-05]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.3.6]

ارزیابی نیازمندیهای ذخیره انرژی در حالت عدم حضور انرژی باد، مسئله ی UC احتمالاتی مورد استفاده واقع شده است[۹] و قیود مختلفی جهت تغییر سطح بهره گیری از انرژی باد تو سط اپراتور سیستم و تنظیم نرخ بهره برداری به کار گرفته شده است [۱۰,۱۱,۱۲]. در این مقاله تعدادی از مسائل مبنا و متداول در زمینه ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها با درنظر گرفتن حضور منابع انرژی تجدیدپذیر مانند توربین های بادی و بارهای تعویق پذیر توسط الگوریتم ژنتیک، که یک روش موٴثری برای حل مسائل بهینه سازی با ابعاد بزرگ است، مورد بهینه سازی و حل قرار گرفته و نتایج آن با نتایج بدست آمده از روش برنامه ریزی پویا مقایسه شده است. در بخش سوم توضیحاتی پیرامون الگوریتم پیشنهادی بیان شده است در بخش چهارم نتایج شبیه سازی و مقایسه ی مقادیر بدست آمده مطرح شده است در انتها علاوه بر پرداختن به نتیجه گیری کلی، توصیه هایی جهت کارهای آتی ارائه شده است.

۲- فرمول بندی مسئله

هدف از حل مسئله ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها به حداقل رساندن هزینه های فرایند تامین انرژی الکتریکی برای یک سیستم قدرت، در یک افق زمانی مشخص می باشد. در این مقاله یک الگوی تصمیم گیری دو مرحله ای برای مسئله ی uc در نظر گرفته شده است که بخش اول آن بیانگر در مدار قرار گرفتن واحدها و بخش دوم بیانگر توزیع اقتصادی است که برای دست یابی به تاثیرات انرژی تجدیدپذیر، ضروری است که با دقت ساعتی و به صورت نامشخص و متغییر در نظر گرفته می شود. معادلات در مدار قرار گرفتن تصادفی واحدها در روابط (۶-۱) بیان شده است:

$$\min \sum_{g\in G}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T}\pi_s(K_g u_{gst} + S_g u_{gst} + C_g p_{gst}) \quad (۱)$$

$$\sum_{g\in G} D_{st} + e_{st}, s \in S. t \in T \quad (۲)$$

$$\sum_{g\in G} D_{st} + e_{st}, s \in S. t \in T \quad (۳)$$

$$0 \le e_{st} \le C, s \in S, t \in T \quad (۴)$$

$$0 \le e_{st} \le C, s \in S, t \in T \quad (۵)$$

$$u_{gst} = w_{gt}, u_{gst} = Z_{gt}, g \in G_s, S \in S, t \in T \quad (۵)$$

$$(p, e, u, w, z) \in D \quad (۶)$$

ژنراتور های کند(G_S) که زیر مجموعه ای از همه ی ژنراتور ها هستند برای تصمیمات اجرایی تقسیم و توزیع شده اند و ژنراتورهای سریع این توانایی را دارند تا برنامه های اجرایی خود را در مرحله ی دوم تنظیم نمایند. مرحله ی اوا تصمیمات (w_{gt} , z_{gt}) ارائه دهنده ی در مدار قرار گرفتن باینری واحدها و تصمیم گیری برای ژنراتورهای کند است. تصمیمات مرحله ی دوم نیز دربردارنده ی در مدار قرار گرفتن واحدها، راه اندازی و توان خروجی همه ی واحدها می با شد که به ترتیب با U_{gst}و V_{gst} و P_{gst} بیان شده است. توزیع بارهای تعویق پذیر همچنین یک متغیر تتصمیم گیری مرحله دوم است که با e_{st} بیان شده است. تابع هدف(۱)، هزینه راه اندازی، حداقل هزینه های بار و هزینه های ثابت سوخت برای هر ژنراتور را کمینه می کند که به ترتیب با Sg، Kg، Cg بیان شده است. تعادل توان در رابطه ی(۲) بیان شده است که در این رابطه D_{st} بیانگر تقاضای خالص است. قید(۳) مربوط به این است که بارهای تعویق پذیر یک مقدار از انرژی R را در یک بازه ی زمانی داده شده تامین نمایند و در رابطه ی(۴)، حد c بر روی نرخ مصرف بارهای تعویق پذیر تاکید دارد. قیود غیرقابل پیش بینی در مرحله ی اول تصمیم گیری در (۵) بیان شده است. توجه داشته باشید که همه ی ژنراتورها(شامل ژنراتورهای کند) در مرحله ی دوم می توانند سطح تولیدشان را تنظیم نمایند. مجموعه ی D شامل محدودیت ظرفیت ژنراتورها، محدودیت افزایش و کاهش توان، حداقل زمان توقف و راه اندازی می باشد که فونت پررنگ نشان دهنده ی پارامترهای برداری است. روش حل در مدار قرار گرفتن تصادفی نیروگاه ها با جزئیات در[۶] بیان شده است. نظر به اینکه مسئله ی در مدار قرار گرفتن بهینه ی نیروگاه ها در برنامه ریزی اولیه W^*_{gt} و Z^*_{gt} توسط مرحله ی اول تعیین شده است، به عنوان ورودی مدل توزیع اقتصادی در تشخیص هر میزان نامشخصω در بازه ی زمانی ۲۴ ساعته به کار گرفته می شود. معادلات پخش بار اقتصادی عبارتند از:

$$(ED_w): min \sum_{g\in G}\sum_{t\in T}(K_g u_{gt} + S_g v_{gt} + C_g p_{gt}) \quad (۷)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{g\in G} D_{wt} + e_t, t \in T \quad (۸)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-05]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.3.6]

$$\sum_{t\in T} e_t = R \qquad (۹)$$

$$0 \le e_t \le C, t \in T \qquad (۱۰)$$

$$u_{gt} = w^*_{gt}, v_{gt} = z^*_{gt}, g \in G_s, \quad t \in T \qquad (۱۱)$$

$$(p, e, u, v, w, z) \in D. \qquad (۱۲)$$

که در این روابط $D_{\omega t}$ نشـان دهنده ی خالص تقاضـای بار منهای منابع تجدیدپذیر است.

همان طور که بیش تر ذکر شد، تقاضای مشتریان به دو دسته ی مصرف کنندگان انعطاف پذیر و انعطاف ناپذیر تقسیم می شود. بنابراین می توان تابع تقاضای $Q_t(0)$ را برای هر دوره ی زمانی، بر اساس تابعی از تقاضای خطی مطرح نمود[۱] که به صورت زیر مطرح می شود.

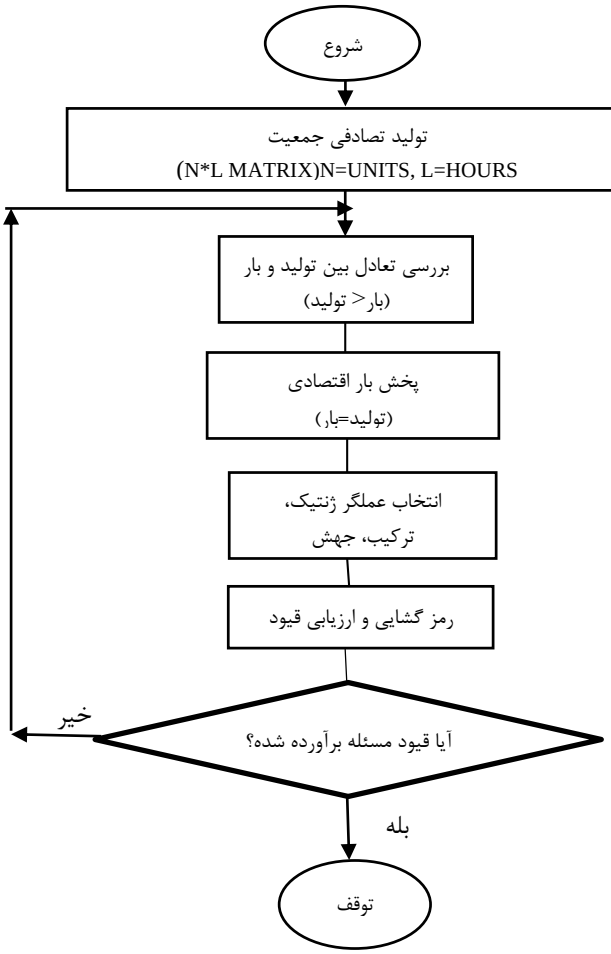
$$Q_t(\lambda_t; w)a_t(w) - \alpha b\lambda^R - (1-\alpha)b\lambda_t \qquad (۱۳)$$

که در آن α مصـــرف کنندگان انعطاف ناپذیرند که با هزینه ی خرده فروشـی λ^R مواجه هسـتندو کسـری از (۱-α) مربوط به قیمت پاســخ گویی مصــرف کنندگان اســت که با هزینه ی زمان واقعی λ_t مواجه هستند. همچنین $a_t(\omega)$ عرض ازمبداء و b شیب تابع تقاضاست. بنابراین اگر یک شـــیب معمول برای هر دوره ی زمانی در نظر گرفته شود، یک حالت تصادفی متغییر با زمان ایجاد می شود که به تحقق بار انعطاف ناپذیر بستگی دارد. در بخش های بعدی روابط (۱)و(۷) توسط الگوریتمی که در بخش بعدی به آن پرداخته شـده اسـت، مورد بهینه سازی و ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش جست و جوی تطبیقی بر اساس اصول و مکانیزم های انتخاب طبیعی و بقای اصلح تکامل طبیعی است[۵]. به وسیله ی شبیه سازی تکامل طبیعی، الگوریتم ژنتیک می تواند به نحو موثری فضای مسئله را جست و جو نماید و مسائل پیچیده را به سادگی حل نماید. الگوریتم ژنتیک به صـورت تک فرایند تکرار شـونده در یک اندازه ی ثابت از جمعیت یا دسـته ای از راه حل های کاندید عمل می کند. راه حل های کاندید نشان دهنده ی رمز گذاری مسئله به شکلی هستند که شبیه به کروموزوم های بیولوژیکی باشد. هر کروموزوم نشان دهنده ی یک راه حل ممکن برای تابع هدف داده شده است. در ارتباط با هر کروموزوم یک مقدار برازندگی وجود دارد که تعیین کننده ی توانایی برای بقاء و تولید فرزندان اســت. همان طور که در بخش اول بیان شد، الگوریتم ژنتیک متعلق به الگوریتم های تصادفی است، اما در عین حال بسیار متفاوت از سایر الگوهای تصادفی است، چرا که در آنها عناصر جست و جوی مستقیم و جست و جوی تصادفی با هم ترکیب شـده اسـت. با توجه به این موضـوع، الگوریتم ژنتیک قوی تر از سـایر روش های جست و جوی مستقیم است. بنابراین الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی مسائل ترکیبی مناسب است که مسئله ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها یک نمونه از آن به حساب می آید.

کاربرد الگوریتم ژنتیک در مســئله ی uc توســط پژوهشــگران مختلف به کار گرفته شـده اسـت[۱۵-۱۴-۱۳-۴]. که بیش تر آنها در نحوه ی نمایش، رمز گشـایی و ارزیابی تفاوت دارند. فلوچارت الگوریتم استفاده شده در این مقاله برای مسئله ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها در شکل(۱) نمایش داده شده است.



شکل(۱) فلوچارت الگوریتم ژنتیک در مدار قرار گرفتن واحدها

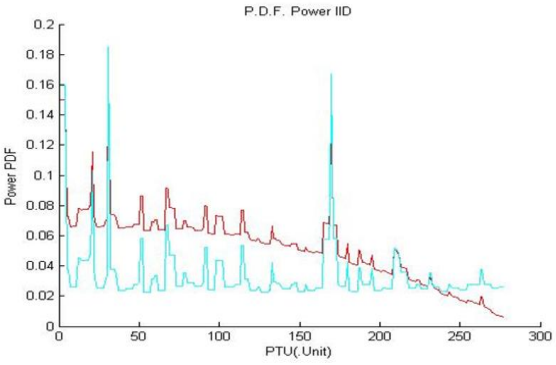
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-05]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.3.6]

وجود قیود و شرایط مرزی در مسئله ی uc، بهره وری و در نتیجه فرایند جســت و جوی الگوریتم ژنتیک را کاهش می دهد. برای در نظر گرفتن این قیود(وابسته یا مستقل)، می توان آنها را به عنوان تابع هدف ثانویه در نظر گرفت و راه حل هایی منطقی برای حل مسئله ارائه نمود، البته ممکن است که برآورد کردن این قیود برای رسیدن به یک پاسخ بهینه مشکل باشد. در این مقاله روابط(۱)و(۷) با سایر قیود بیان شده در بخش سوم به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده اند و با استفاده از الگوریتم ارائه شده، مقادیر بهینه برای آنها بدست آمده است که در بخش بعدی نتایج حاصل از آن ارائه خواهد شد.

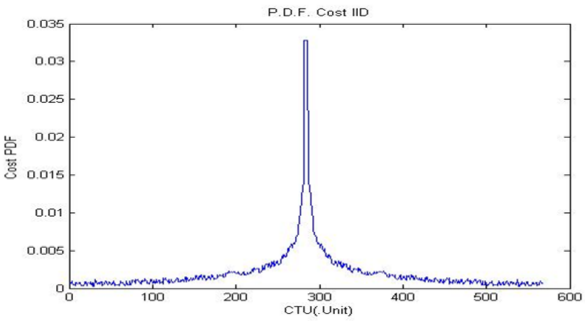
۵- نتایج شبیه سازی

داده های مورد نیاز در این بررسی[۱۶] با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد ارزیابی قرار گرفته است و در نهایت با نتایج بدست آمده از الگوریتم برنامه ریزی پویا[۱] مقایسه شده است. بر اساس این داده ها توابع توزیع احتمال بدست آمده است که در شکل های(۲) تا (۵) نشان داده شده است.



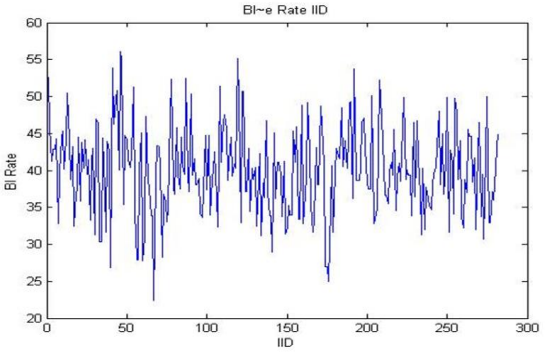
شکل(۲) تابع توزیع احتمال تقاضای انعطاف ناپذیر

همان طور که در شکل(۲) مشاهده می شود، واحدهایی که کتر از mw ۵۰ تولید دارند و یا بین ۲۰۰-mw۱۵۰ تولید دارند، بیش ترین میزان تقاضای انعطاف ناپذیر را دارند. در تابع توزیع احتمال قیمت گذاری زمان واقعی که در شکل(۳) نشان داده شده است واحدهایی که در حدود ۳۰۰mw تولید دارند بیشترین مقدار هزینه را در بردارند و از نظر اقتصادی مناسب نیستند، لذا بارهای تعویق پذیر از طریق واحدهایی تامین می شوند که بهره وری اقتصادی بیشتری داشته باشند.

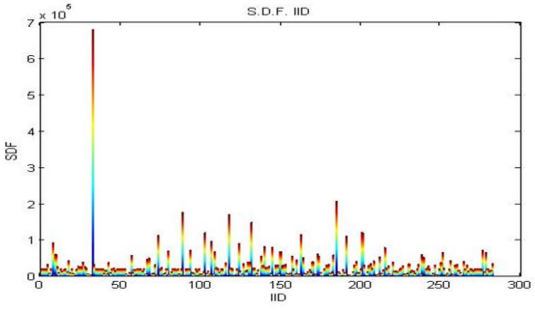


شکل(۳) تابع توزیع احتمال قیمت گذاری زمان واقعی

شکل(۴) تابع توزیع احتمال قدرت تولید باد است که نشان دهنده ی نرخ تغییرات سرعت باد بر حسب توان باد است. تابع چگالی احتمال واحدها در شکل(۵) نشان داده شده است که طبق این نمودار چگالی داده ها در تولید انرژی زیر ۵۰ مگاوات بالاترین مقدار را دارد.



شکل(۴) تابع توزیع احتمال قدرت تولید باد



شکل(۵) تابع چگالی احتمال واحدها

هم چنین در این قسمت مقادیر بهینه ی توابع هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دست آمده و با نتایج حاصل شده از الگوریتم برنامه ریزی پویا مقایسه شده است که نتایج آن در جدول(۱) ارائه شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-05]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.3.6]

جدول(۱) نتایج بهینه سازی به روش پویا و ژنتیک

متغییر	مقدار بدست آمده با الگوریتم ژنتیک	مقدار بدست آمده با الگوریتم پویا (حل در کل نقاط)
Min(SUCF)	۹۴۸۷۶۵,۵۶۴۴	۹۴۵۹۷۵۴,۴۷۳۵
Min(EDM)	۱,۲۶۴۰	۱,۲۳۶۹

۶- نتیجه‌گیری

در این بررسی الگوی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها با هدف ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر و بارهای تعویق پذیر ارائه شده است و این موضوع با مطالعه ی حل مسئله ی UCوED تشریح گردیده است.

نتایج حاصل از شبیه سازی ها موءید کارآمدی روش ارائه شده می باشد. همان طور که از نتایج بدست آمده در جدول(۱) مشاهده می شود الگوریتم ژنتیک فضای کمتری را برای حل مسئله پویش می کند، لذا سرعت همگرایی بسیار بیشتری نسبت به برنامه ریزی پویا دارد، در حالیکه مقادیر بهینه ی بدست آمده اختلاف ناچیزی باهم دارند، بنابراین الگوریتم ژنتیک گزینه ی مناسبی برای حل مسائل بهینه سازی با ابعاد بزرگ است.

حل مسائل با ابعاد بزرگ تر از طریق مفاهیم ارائه شده در این بررسی و نیز بهبود و ارتقاء آنها می تواند به عنوان موضوعی برای انجام پژوهش های تکمیلی در آینده تلقی شود.

مراجع

[1] A.Papavasiliou, S. Oren, " Large-Scale Integration of Deferrable Demand and Renewable Energy Sources", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 29, NO. 1, pp. 489-499, JANUARY 2014.

[۲] مشهدی کشتیبان، اتابک و وکیل باغمیشه ، محمد تقی سمینار کارشناسی ارشد با عنوان کاربرد های شبکه های عصبی در سیست مهای قدرت، دانشگاه تبریز، ۱۳۸۵.

[3] V. S. Pappala, I. Erlich, "A new approach for solving the unit commitment problem by adaptive particle swarm optimization", Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE,USA, July 2008.

[4] G.B. Sheble, T.T. Maifeld, "GENETIC-BASED UNIT COMMITMENT ALGORITHM" , IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 3, August 1996.

[5] D.E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

[6] A. Papavasiliou, "Coupling renewable energy supply with deferrable demand", Univ. California Berkeley, October 2011.

[7] V.Krishna Tumuluru, "Integrating Price Responsive Demand Into the Unit Commitment Problem", IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, VOL.6, NO. 6, PP. 2757 – 2765, Nov 2014.

[8] H. Tehzeeb-ul-Hassan, A. Ahmad, "Profit based unit commitment and economic dispatch of IPPs with new technique", Electrical Power and Energy Systems, pp. 880-888, 2013.

[9] A.Papavasiliou, Sh. Oren, "A Stochastic Unit Commitment Model for Integrating Renewable Supply and Demand Response", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 22-26 July 2012, San Diego.

[10] Q.Wang, Ch.Zhang, Y.Ding, G.Xydis, J.Wang, J.Østergaard, "Review of real-time electricity markets for integrating Distributed Energy Resources and Demand Response", Applied Energy, VOL. 10, NO. 3, 2014.

[11] N.O'Connell, P.Pinson, H.Madsen, M.O'Malley, "Benefits and challenges of electrical demand response: A critical review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, VOL. 39, PP. 686–699 , November2014.

[12] Ch.Zhao, QianfanWang, J.Wang, Y. Guan, "Expected Value and Chance Constrained Stochastic Unit Commitment Ensuring Wind Power Utilization", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 29, NO. 6, PP. 2696 – 2705, Nov. 2014

[13] D. Dasgupta, D.R. McGregor, "Thermal unit commitment using genetic algorithms", IEE Proc—Gener Transm Distrib, VOL. 141, NO. 5, PP. 459–65, 1994.

[14] S.A. Kazarlis, A.G Bakirtzis, V.A. Petridis, "Genetic algorithm solution to the unit commitment problem", IEEE Trans Power Systems, VOL. 11, NO. 1, PP. 83–91, 1996.

[15] S.O. Orero, M.R. Irving, "Large scale unit commitment using a hybrid genetic algorithm", International Journal of Electrical Power & Energy Systems , VOL. 19, NO. 1, PP. 45–55, January 1997.

[16] A. Papavasiliou and S. S. Oren, "Stochastic modeling of multi-area wind production," Hawaii International Conference , Jan. 2015, Kauai.

رزومه

کوثر باقرزاده انصاری در دزفول متولد شده است(۱۳۶۹). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه آزاد دزفول(۱۳۹۲)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد دزفول(۱۳۹۴) سپری کرده است. علاقه‌مندی ایشان در زمینه شبکه های هوشمند، ادوات FACTS و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد.

افشین لشکرآرا در تهران متولد شده است(۱۳۵۲). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد دزفول(۱۳۷۴)،کارشناسی ارشد

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-05]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.3.6]

مهندسی برق- قدرت از دانشگاه مازندران(۱۳۸۰) و دکترای مهندسی برق-قدرت دانشگاه علم و صنعت ایران(۱۳۸۹) سپری کرده است. ایشان هم اکنون عضو ارشد انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE Senior Member) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد.

زیرنویس‌ها

[1] Economic Dispach
[2] Stochastic Unit Commitment
[3] Genetic Algorithm
[4] Dynamic Programing
[5] Renewable Energy Sources
[6] Demand Response
[7] Enumeration method
[8] Priority list
[9] Lagrange method

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-04-05]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.3.3.6]