

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

کوشر باقرزاده انصاری^{۱*}، افشین لشکرآرا^۲

*۱- دانشجوی 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^۱ و در مدار قرار گرفتن تصادفی نیروگاه ها^۲ با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۳ 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 تأثیر 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^۴ قابل مقایسه است.

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

۱- مقدمه

هزینه های بی باری (حالت انتظار) و هم چنین بیشینه کردن سود شرکت است. به طور کلی روش های استفاده شده برای حل مسئله ی UC را می توان به دو دسته ی کلاسیک و هوشمند تقسیم بندی نمود. از روش های دسته اول می توان به روش یکایک شماری^۵، لیست حق تقدم^۶، برنامه نویسی دینامیکی پویا و روش لاگرانژ^۹ اشاره نمود [۲] اما این روش ها همگرایی عددی لازم را دارا نمی باشند و بنابراین کیفیت پاسخ ها قابل قبول نمی باشد [۳]. از رایج ترین روش های دسته دوم می توان به روش های Tabu Search، الگوریتم ژنتیک، Ant colony Search اشاره نمود [۴]. در این مقاله مسئله ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد ارزیابی قرار گرفته است که تعریف این الگوریتم در [۵] یافت می شود. در [۶،۷] مدل در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها با در نظر گرفتن تأثیر ادغام منابع تجدیدپذیر (RES) و بارهای تعویق پذیر ارائه شده است علاوه بر این روش هایی برای دست یابی نیروگاه ها به سود بیشتر با کاهش زمان محاسباتی در [۸] پیشنهاد گردیده است. برای

با افزایش روز افزون تقاضا و میزان انرژی و در نتیجه افزایش تولید گازهای گلخانه ای نیازمند این هستیم تا از منابع تجدیدپذیر^۵ (RES) مانند توربین های بادی و سیستم های فتو-ولتائیک استفاده نماییم تا مشکلات مربوط به هزینه و آلودگی سوخت را کاهش دهیم. در کنار این مزایا می توان به عدم قطعیت منابع RES اشاره نمود که باعث تغییرات در توان شده و برنامه ریزی های دقیق برای روز بعد را با مشکل مواجه می کند. بنابراین ظهور و سایل اندازه گیری هوشمند و حضور بارهای تعویق پذیر و قابل قطع، باعث می گردد که از برنامه های پاسخ گویی بار^۶ (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 است 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

$$u_{gst} = w_{gt}, u_{gst} = z_{gt}, g \in G_s, S \in S, t \in T \quad (5)$$

$$(p, e, u, w, z) \in D \quad (6)$$

ژنراتورهای کند (G_S) که زیر مجموعه ای از همه ی ژنراتورها 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 او 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 باشد که به ترتیب با U_{gst} و V_{gst} و P_{gst} بیان شده است. توزیع بارهای تعویق پذیر همچنین یک متغیر تصمیم 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 S_g, K_g, C_g 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 را در یک بازه ی زمانی داده شده تامین نمایند و در رابطه ی (۴)، حد 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 نامشخص w در بازه ی زمانی ۲۴ ساعته به کار گرفته می شود. معادلات بخش بار اقتصادی عبارتند از:

$$(ED_w): \min \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} (K_g u_{gt} + S_g v_{gt} + C_g p_{gt}) \quad (7)$$

s. t.

$$\sum_{g \in G} D_{wt} + e_{t}, t \in T \quad (8)$$

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 توسط اپراتور سیستم و تنظیم نرخ بهره برداری به کار گرفته شده است [۱۰، ۱۱، ۱۲]. در این مقاله تعدادی از مسائل مینا و متداول در زمینه ی در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها با در نظر گرفتن حضور منابع انرژی تجدیدپذیر مانند توربین های بادی و بارهای تعویق پذیر توسط الگوریتم ژنتیک، که یک روش موثری 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 متغیر در نظر گرفته می شود. معادلات در مدار قرار گرفتن تصادفی واحدها در روابط (۱-۶) بیان شده است:

$$\min \sum_{g \in G} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \pi_s (K_g u_{gst} + S_g u_{gst} + C_g p_{gst}) \quad (1)$$

$$\sum_{g \in G} D_{st} + e_{st}, s \in S, t \in T \quad (2)$$

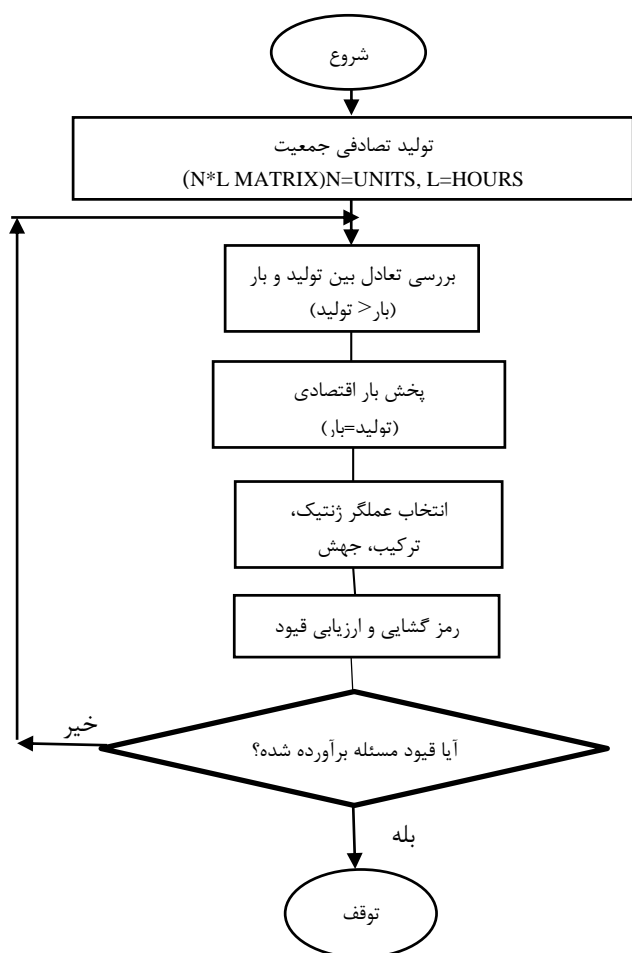
$$\sum_{g \in G} D_{st} + e_{st}, s \in S, t \in T \quad (3)$$

$$0 \leq e_{st} \leq C, s \in S, t \in T \quad (4)$$

$$0 \leq e_{st} \leq C, s \in S, t \in T \quad (5)$$

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 شده است. با توجه به این موضوع، الگوریتم ژنتیک قوی تر از سایر 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 مسئله ی uc توسط پژوهشگران مختلف به کار گرفته شده است [۱۵-۱۴-۱۳-۴]. که بیش تر آنها در نحوه ی نمایش، رمز گشایی 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

$$\sum_{t \in T} e_t = R \quad (۹)$$

$$0 \leq e_t \leq C, t \in T \quad (۱۰)$$

$$u_{gt} = w_{gt}^*, v_{gt} = z_{gt}^*, g \in G_s, t \in T \quad (۱۱)$$

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

که در این روابط D_{ot} نشان دهنده ی خالص تقاضای بار منهای منابع تجدیدپذیر است.

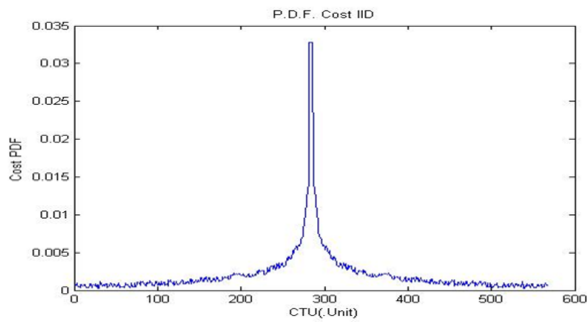
همان طور که پیش تر ذکر شد، تقاضای مشتریان به دو دسته ی مصرف کنندگان انعطاف پذیر و انعطاف ناپذیر تقسیم می شود. بنابراین می توان تابع تقاضای $Q_t(0)$ را برای هر دوره ی زمانی، بر اساس تابعی از تقاضای خطی مطرح نمود [۱] که به صورت زیر مطرح می شود.

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

که در آن α مصرف کنندگان انعطاف ناپذیرند که با هزینه ی خرده فروشی λ^R مواجه هستند و کسری از $(1-\alpha)$ مربوط به قیمت پاسخ گوئی مصرف کنندگان است که با هزینه ی زمان واقعی λ_t مواجه هستند. همچنین $a_t(w)$ عرض از مبدا و b شیب تابع تقاضاست. بنابراین اگر یک شیب معمول برای هر دوره ی زمانی در نظر گرفته شود، یک حالت تصادفی متغیر 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 شده است، مورد بهینه سازی و ارزیابی قرار خواهد گرفت.

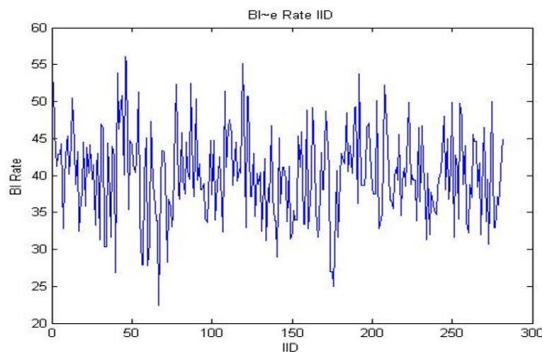
۳- الگوریتم ژنتیک

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 صورت تک فرایند تکرار شونده در یک اندازه ی ثابت از جمعیت یا دسته 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 است. همان طور که در بخش اول بیان شد، الگوریتم ژنتیک متعلق به الگوریتم های تصادفی است، اما در

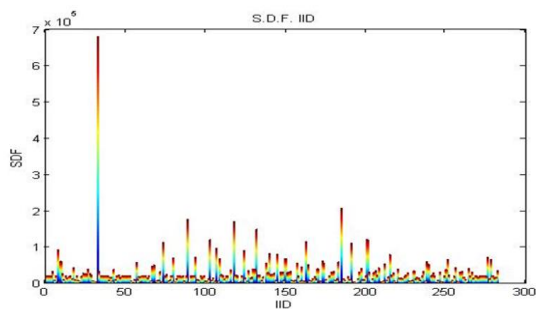


شکل (۳) تابع توزیع احتمال قیمت گذاری زمان واقعی

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



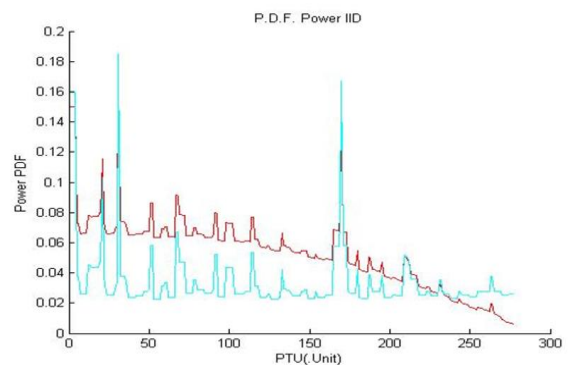
شکل (۵) تابع چگالی احتمال واحدها

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.

وجود قیود و شرایط مرزی در مسئله ی IC، بهره وری و در نتیجه فرایند جست 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 ۳۰۰mw تولید دارند و یا بین ۲۰۰-۱۵۰mw 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.

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

متغیر	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- نتیجه گیری

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 UC و ED 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 پویا 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.
- [2] مشهدی کشتیبان، اتابک و وکیل باغمیشه، محمد تقی سمینار کارشناسی ارشد با عنوان کاربرد های شبکه های عصبی در سیستم های 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, November 2014.
- [12] Ch.Zhao, Qianfan Wang, 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)، کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد

دزفول (۱۳۹۴) سپری کرده است. علاقه مندی ایشان در زمینه شبکه های هوشمند، ادوات FACTS و بهره برداری از سیستم های قدرت است و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می باشد.



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

مهندس 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 می باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می باشد.

زیر نویس ها

- ¹ Economic Dispatch
- ² Stochastic Unit Commitment
- ³ Genetic Algorithm
- ⁴ Dynamic Programming
- ⁵ Renewable Energy Sources
- ⁶ Demand Response
- ⁷ Enumeration method
- ⁸ Priority list
- ⁹ Lagrange method