Archive of SID

ارائه الگوریتم کنترل سطح مصرف مشترکین توزیع دارای کنتور هوشمند و محاسبه پاداش همکاری

محمد صالح حسین نژاد آریانی[۱]، دانشجوی کارشناسی ارشد برق قدرت؛ محسن قاینی[۲]، استادیار
۱- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی سجاد - مشهد - ایران – ms.ariyani@gmail.com
۲- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی سجاد - مشهد - ایران – m_ghayeni@sadjad.ac.ir

چکیده: مدیریت سمت تقاضا[۱] یکی از طرح‌های مهم برای تأمین برق مصرفی در زمان پیک است. در ایران توجه اصلی توانیر و شرکت‌های برق بر روی صنایع و مشارکت آنها در طرح ذخیره عملیاتی معطوف شده است تا با همکاری آنها مصرف برق را در پیک بار کاهش داده و از تحمیل هزینه‌های ناشی از احداث واحدهای جدید نیروگاهی و افزایش ظرفیت شبکه جلوگیری به عمل آورد. این در حالی است که حدود یک سوم از مشترکین شبکه را مصرف‌کنندگان خانگی در سطح توزیع تشکیل می‌دهند که می‌توانند مشارکت قابل توجهی در طرح‌های مدیریت بار داشته باشند. با پیشرفت روزافزون تکنولوژی، شبکه‌های توزیع برق نیز به تجهیزات نوین اندازه‌گیری با قابلیت ارتباط از راه دور مجهز شده‌اند که ابزار کنترل و هوشمندسازی در این شبکه را فراهم می‌کنند. از قابلیت‌های کنتور هوشمند امکان کنترل و تغییر سطح آمپر مصرفی از راه دور است. با استفاده از این قابلیت در شرایط کمبود توان بجای خاموشی تعدادی از مشترکین، آمپر مصرفی مشترکین با ارسال یک سیگنال به کنتور هوشمند به سطحی کاهش داده می‌شود که ضمن رفع مشکل کمبود برق، همه مشترکین از سطح نسبی برق برخوردار باشند. در این مقاله با تقسیم‌بندی مشترکین به سه دسته مختلف داوطلب، عادی و حساس، الگوریتمی جدید جهت کنترل سطح مصرف مشترکین توزیع دارای کنتور هوشمند بر اساس اولویت پیشنهاد شده است. برای تعیین پاداش همکاری مشترکین توزیع، الگوریتمی براساس روش‌های پرداخت پاداش در طرح ذخیره عملیاتی صنایع پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت سمت تقاضا، پاسخگویی بار، کنتور هوشمند، مشترکین توزیع، طرح ذخیره عملیاتی صنایع، پاداش مشارکت.

A New Algorithm for Controlling the Consumption Level of Distribution Customer with Smart Meter and Calculating the Participation Reward

M. S. Hosseinnejad-Ariani, MSc student[1]; M. Ghayeni, Assistant professor[2]

1- Department of Electrical Engineering, Sadjad University of Technology, Mashhad, Iran, Email: ms.ariyani@gmail.com
2- Department of Electrical Engineering, Sadjad University of Technology, Mashhad, Iran, Email: m_ghayeni@sadjad.ac.ir

Abstract: Demand side management is one of the most important scheme for providing the electrical power at peak times. In Iran, system operator concentrates on contribution of industries in demand response (DR) programs in order to decrease load consumption, thus increasing the capacity of the network and avoiding the cost of erecting new power plants. However, about one-third of network subscribers are home consumers at the distribution level who can make significant contributions to load management plans. With the advance of technology, power distribution networks are now equipped with modern smart metering capabilities that provide control and intelligence tools in the network. One of the features of these smart meters is the capability to remotely control the consumption level of consumers. With the help of new smart equipment such as smart meters, when the system lacks power, the system operator can prevent system black out or using load shedding, by reducing the level of consumption of domestic users. Under such circumstances, every user have at least minimum electricity to feed some essential appliances. In this paper, a new algorithm is proposed for controlling the consumption level of subscribers with a smart meters based on prioritization, by dividing subscribers into three groups, namely volunteer, normal and sensitive. The participation rewards have been adapted based on the industrial demand response plan in Iran.

Keywords: Demand side management, demand response, smart meter, distribution customers, industrial saving plan, and Participation reward.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۴
تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۸
نام نویسنده مسئول: محسن قاینی
نشانی نویسنده مسئول: ایران - مشهد - بلوار جلال آل احمد – جلال آل احمد۶۴ – دانشگاه صنعتی سجاد، معاونت آموزشی

www.SID.ir

Archive of SID

۱ -مقدمه

یکی از وظایف مهم شرکت‌های برق برقراری تعادل تولید و مصرف برق به صورت زمان حقیقی است. در گذشته توجه اصلی شرکت‌های برق صرفاً به کنترل تولید برای حفظ تعادل با مصرف برق معطوف بوده است. با این دیدگاه و با توجه به افزایش شدید در تقاضای برق بایستی هزینه‌های بسیار زیادی جهت نصب واحدهای جدید نیروگاهی و همچنین شبکه در جهت تأمین پیک بار سالانه[۲] انجام شود که این سرمایه‌گذاری فقط در تعداد ساعات محدودی از سال استفاده می‌شود. اما امروزه شرکت‌های برق برای حفظ این تعادل به این نتیجه رسیده‌اند که با مدیریت سمت تقاضا برای تعدادی ساعت در پیک بار سالانه می‌توان نیاز به هزینه‌های بسیار زیاد جهت تأمین بار پیک را رفع کرد[۱].

برنامه‌های مدیریت بار به دو دسته کلی بهره‌وری انرژی[۳] و پاسخگویی بار[۴] تقسیم‌بندی می‌شوند. بهره‌وری انرژی بر کاهش عمومی بار با تشویق به استفاده از فناوری‌ها و دستگاه‌های پر بازده‌تر تمرکز دارد حال آنکه پاسخگویی بار بر کاهش مصرف انرژی در زمان پیک متمرکز است [۲]. از دیدگاه شبکه هوشمند، پاسخگویی بار به معنای برنامه ریزی مصرف انرژی مشترکین به منظور کاهش هزینه‌های بهره برداری برای شرکت برق و کاهش هزینه صورت حساب برای مشترکین است[۳].

هدف اصلی پاسخگویی بار تغییر مصرف برق توسط مصرف‌کننده‌های نهایی نسبت به میزان الگوی مصرف معمول آنها در پاسخ به یکی از شرایط زیر می‌باشد:

- تغییر قیمت برق در زمان‌های مختلف
- پرداخت‌های تشویقی جهت ایجاد انگیزه برای مصرف کمتر در زمان‌های قیمت بالای بازار برق
- به خطر افتادن پایایی سیستم

بر این اساس برنامه‌های پاسخگویی بار به دو بخش زمان محور و تشویق محور تقسیم‌بندی می‌شوند که هر کدام دارای چند زیر شاخه است. برنامه‌های زمان محور، سه طرح قیمت گذاری زمان استفاده[۵]، قیمت گذاری زمان واقعی[۶] و پیک بحرانی[۷] را شامل می‌شود. در این برنامه‌ها علت اصلی تمایل مصرف کننده به همکاری با شرکت برق، قیمت بالای انرژی در ساعتهای پیک است. برنامه‌های تشویق محور، در سه دسته تشویق محور داوطلبانه (فاقد جریمه)، تشویق محور اجباری (شامل جریمه) و تشویق محور تسویه بازار قرار می‌گیرند. مهم‌ترین طرح تشویق محور، کنترل مستقیم بار[۸] (DLC) است که در آن شرکت برق و یا بهره بردار سیستم می‌تواند مصرف برق مشتریان را از راه دور توسط یک سویچ کنترل نماید و مصرف برخی از تجهیزات الکتریکی آنها را به منظور پوشش پیشامدهای اتفاقی محلی و یا سیستم، قطع و یا به تعویق بیاندازد. در این برنامه در یک زمان کوتاه قبل از قطع به مشترکین اطلاع داده خواهد شد[۴].

در مطالعات مربوط به مدلسازی مساله پاسخگویی بار از توابع هدف مختلفی مانند کمترین هزینه، کمترین میزان قطع بار و ... استفاده شده است. همچنین از روشهای مختلفی برای حل مساله استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به بهینه سازی محدب[۵]، تئوری بازی[۶]، فرآیند تصمیم گیری مارکوف، برنامه ریزی تصادفی، بهینه سازی ازدحام ذرات و برنامه ریزی پویا [۷]، اشاره کرد. توجه به این موضوع بسیار مهم است که اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار فقط در زمان پیک سبب کاهش قیمت برق می‌شود و در زمان غیر پیک اجرای این برنامه‌ها سبب افزایش قیمت برق می‌شود[۸].

در ایران پیک بار سالانه در ماه‌های گرم سال و از خرداد تا شهریور رخ می‌دهد. از طرفی حدود ۳۰٪ از مشترکین شبکه برق کشورمان را صنایع تشکیل می‌دهند و این مشترکین از لحاظ تعداد، بسیار محدودتر از سایر مشترکین شبکه می‌باشند، لذا در شرکت‌های برق جهت مدیریت بار در شرایط پیک بار بیشتر به این دسته توجه شده است. از سال ۱۳۹۳ در کشورمان طرحی با عنوان طرح ذخیره عملیاتی جهت مشارکت صنایع در طرح‌های مدیریت بار در شرایط پیک پیاده‌سازی گردیده است که در آن صنایع با هماهنگی قبلی با مرکز راهبری شبکه میزان مشخصی از بار خود را در ساعات معین در پیک بار کاهش می‌دهند تا تعادل مصرف با تولید برقرار شود. بر این اساس بیشتر مطالعات در ایران بر روی صنایع انجام شده است[۹]. برای مثال در [۱۰] با استفاده از طرح تعطیلات و تعمیرات صنایع و مدل‌سازی اقتصادی بارها، با تخصیص پاداش مشارکت متفاوت به مشترکین، به بررسی منحنی بار کشور پرداخته شده است. مرجع [۱۱] نیز طرح دیماند منعطف مورد استفاده در صنایع را بررسی و بهبود داده است. در [۱۲] نیز با استفاده از چارچوب بازار همزمان ذخیره و انرژی، روشی برای تعیین نرخ بهینه مشوق دریافتی صنایع بزرگ جهت کاهش بار پیک ارائه شده است. در [۱۳] روشی جهت مشارکت صنایع بزرگ ارائه شده است که شامل کاهش تقاضا در زمان پیک بار شبکه و فراهم آوردن سیستم رزرو می‌باشد. هدف از این روش کاهش هزینه‌های سیستم در زمان‌های پیک بار شبکه و بهینه نمودن قیمت‌های پیشنهادی به مشترکین می‌باشد. در این راستا نیز طرح ذخیره عملیاتی برای صنایع در کشورمان در حال اجرا می‌باشد و هر سال دستورالعمل نحوه انجام کار آن بروز رسانی می‌شود.

این در حالی است که حدود ۳۲٪ از مشترکین شبکه را نیز مشترکین بخش خانگی با تعداد حدود ۳۳ میلیون مشترک تشکیل می‌دهند که توجه به این گروه نیز در سال‌های اخیر بخصوص در کشورهای پیشرفته مدنظر بوده است. در زمینه کنترل مصرف مشترکین و بار پاسخگو در شبکه‌های توزیع و در ساختار شبکه‌های هوشمند مطالعات جدید بسیار زیاد است. تعدادی از مقالات بطور خاص به موضوع بار پاسخگو برای مشترکین خانگی اشاره دارند[۱۷-۱۴]. اخیراً در کشور ما نیز مقالاتی همانند [۱۸] به بررسی رفتار بخش خانگی در مصرف برق پرداخته و در [۱۹] نیز با مدلسازی واکنش

www.SID.ir

Archive of SID

تقاضا در یک مسئله بهینه‌سازی، روشی جدید برای طراحی بهینه برنامه قیمت‌گذاری زمان استفاده، پیشنهاد شده است.

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی، شبکه‌های توزیع برق نیز به تجهیزات نوین اندازه‌گیری با قابلیت ارتباط از راه دور مجهز شده‌اند که ابزار کنترل و هوشمندسازی را در این شبکه فراهم می‌کند[۲۲-۲۰]. اندازه گیری هوشمند[۹] در شبکه توزیع و در ساختار شبکه هوشمند افق جدیدی در مطالعات بار پاسخگو در این شبکه ایجاد شده است[۲۵-۲۳]. همچنین با نفوذ خودروهای برقی در شبکه توزیع برق، برنامه‌های پاسخگویی به بار ناشی از شارژ خودروهای برقی بایستی بررسی گردد [۲۷-۲۶]. موضوع دیگر، در نظر گرفتن عدم قطعیت و برنامه ریزی تصادفی ریز شبکه توزیع در حضور برنامه‌های پاسخگویی بار است که در [۲۸] بررسی شده است. مرجع [۲۹] نیز به حل موضوع توزیع اقتصادی بار با در نظر گرفتن پاسخگویی بار پرداخته است.

یکی از قابلیتهای مهم کنتورهای هوشمند امکان تعیین سطح آمپر مصرفی مشترک از راه دور می‌باشد. براساس این ویژگی مهم، در این مقاله پیشنهاد شده است که برای مدیریت سمت تقاضا در کشور می‌توان علاوه بر صنایع از مشترکین توزیع نیز استفاده نمود. الگوریتم پیشنهادی از نوع تشویق محور بصورت کنترل مستقیم بار است. با تقسیم‌بندی مشترکین توزیع به سه دسته داوطلب، عادی و حساس براساس اولویت انتخابی توسط مشترکین، سطح آمپر مصرفی به نحوی کنترل می‌شود تا مشکل تأمین برق برطرف شود. برای محاسبه پاداش همکاری مشترکین، الگوریتمی مبتنی بر آخرین دستورالعمل توانیر در طرح ذخیره عملیاتی صنایع پیشنهاد شده است. پاداش همکاری به مشترکین داوطلب دارای دو بخش آمادگی و مشارکت است و برای مشترکین عادی (بدون اعلام آمادگی قبلی) فقط پاداش مشارکت در نظر گرفته شده است. برای رسیدن به اهداف فوق ادامه مقاله بصورت زیر تدوین شده است:

در بخش دوم این مقاله به قابلیت‌های کنتور هوشمند اشاره شده است. بخش سوم به الگوریتم پیشنهادی جهت کنترل سطح آمپر مصرفی مشترکین توزیع اختصاص دارد. در بخش چهارم الگوریتم محاسبه پاداش همکاری مشترکین بیان شده است. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج نیز در بخش پنجم آورده شده است. در انتها نیز نتیجه‌گیری مقاله و مراجع مورد استفاده برای این تحقیق اعلام شده است.

۲ -قابلیت‌های کنتور هوشمند

جهت پیاده‌سازی طرح‌های نوین مدیریت مصرف در شبکه برق نیاز به وجود زیرساخت‌هایی می‌باشد. از جمله این زیرساخت‌ها وجود تجهیزات کنترلی و اندازه‌گیری و همچنین سیستم‌های ارتباطی بین تجهیزات می‌باشد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی تغییرات عمده‌ای در تجهیزات اندازه‌گیری از جمله کنتورهای برق بوجود آمده است و ساختار آنها از حالت مکانیکی به الکترونیکی تغییر یافته و قابلیت‌های زیادی نیز به آنها اضافه شده است. از جمله قابلیت‌های کنتور هوشمند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود[۳]:

- قابلیت عملکرد چند تعرفه‌ای
- دارای رله داخلی و خارجی جهت کنترل بار از راه دور یا در محل
- قابلیت اندازه‌گیری ماکزیمم دیماند اکتیو و راکتیو با بازه‌های زمانی قابل تغییر
- قابلیت خواندن و تنظیم وضعیت کنتور از راه دور

با وجود تجهیزات کنترلی پیشرفته همانند کنتورهای هوشمند، می‌توان در شبکه توزیع نیز از روش‌های مدیریت بار بهره‌مند شد. از جمله این روش‌ها کنترل سطح آمپر مشترکین خانگی می‌باشد. بدین صورت که با مانیتورینگ لحظه‌ای میزان مصرف مشترکین و همچنین میزان کمبود توان در شبکه در شرایط پیک مصرف، میزان آمپر مصرفی مشترکین را کاهش داده تا مشکل کمبود توان در شبکه رفع گردد. به این ترتیب بجای اینکه تعدادی از مشترکین دچار خاموشی کامل شوند، سطح آمپر مصرفی کلیه مشترکین تا حدی که مشکل کمبود رفع شود کاهش داده می‌شود تا همه مشترکین از یک سطح نسبی برق برخوردار شوند.

۳ -الگوریتم پیشنهادی

همانطور که اشاره شد با وجود کنتورهای دیجیتال هوشمند می‌توان به صورت لحظه‌ای میزان مصرف برق مشترکین را مشاهده و مجموع مصرف را محاسبه نمود و در شرایط کمبود برق می‌توان حداکثر سطح آمپر مصرفی مشترکین را بصورت راه دور کنترل کرد. در این بخش الگوریتم پیشنهادی برای کنترل سطح آمپر مصرفی با در نظر گرفتن مشترکین مختلف از جهت مشارکت در طرح کنترل بار ارائه می‌شود.

۳ ـ۱ -انواع مشترکین از جهت مشارکت در طرح

مشترکین توزیع را از نظر نوع مشارکت در طرح مدیریت بار در شرایط کمبود توان، به سه دسته داوطلب، عادی و حساس تقسیم می‌کنیم. مشترکین داوطلب در ازای پاداش دریافتی بصورت داوطلبانه حاضر به مشارکت در طرح هستند. مطمئناً میزان پاداش پرداختی به این مشترکین بستگی به میزان آمپر پیشنهادی آنها در طرح دارد. در این مقاله مشترکین داوطلب به سه گروه مختلف بر اساس میزان آمپر پیشنهادی طبق جدول ۱ تقسیم می‌شوند. در این جدول I_{use} جریان مصرفی مشترک می‌باشد.

جدول۱: گروه بندی مشترکین داوطلب

حداقل سطح آمپر مصرفی مجاز مشترکین داوطلب	میزان کاهش آمپر پیشنهادی	تعداد مشترکین هر گروه	گروه‌بندی مشترکین داوطلب
			گروه اول
			گروه دوم
			گروه سوم

www.SID.ir

Archive of SID

بدیهی است که مشترک داوطلب بایستی دارای جریان مصرفی لحظه‌ای بالاتر از آمپر پیشنهادی داشته باشد، در غیر اینصورت نمی‌تواند به اندازه پیشنهاد خود در طرح شرکت کند و دچار جریمه خواهد شد. میزان حداکثر جریانی که می‌توان از کلیه مشترکین داوطلب کاهش داد بصورت رابطه (۱) خواهد بود:

$$\Delta I_v = \sum_{i=1}^{3} n_i \times \Delta I_{Vi} \qquad (۱)$$

در صورتیکه میزان کمبود آمپر مورد نیاز با مشترکین داوطلب قابل جبران نباشد باید سطح مصرف مشترکین عادی را کم کرد. مشترکین عادی به مصرف کننده‌هایی گفته می‌شود که آمادگی خود را جهت شرکت در طرح کاهش بار اعلام نکرده‌اند ولی در صورتیکه کمبود توان با مشترکین داوطلب پوشش داده نشود، مجبور به کاهش سطح جریان مصرفی آنها در ازای پرداخت پاداش همکاری (پاداش آمادگی ندارند) خواهیم بود. البته مقدار کاهش جریان تا مقدار حداقلی I_{min} ادامه خواهد داشت چرا که هر مشترک برای تغذیه وسایل ضروری خود نیاز به یک حداقل جریانی خواهد بود. اما ممکن است تعدادی از مشترکین اعلام کرده باشند که تحت هیچ شرایطی نباید برق مصرفی آنها دچار محدودیت شود. این مشترکین را دسته حساس نام گذاری می‌کنیم. آنها حاضر به پرداخت هزینه اضافی هستند. البته بدیهی است که اگر کمبود آمپر مورد نیاز در شبکه آنقدر زیاد باشد که با کاهش جریان کلیه مشترکین داوطلب و سپس عادی جبران نشود، جریان مصرفی مشترکین حساس نیز دچار کاهش خواهد شد.

۳ ۲ -الگوریتم پیشنهادی کاهش بار

با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی در سطح شبکه توزیع است، میزان بار را با آمپر بیان می‌کنیم. در ابتدا می‌بایست میزان جریان مصرفی را از کنتورهای هوشمند قرائت کرده و جمع کل آمپر مصرفی در شبکه مورد نظر را بدست آوریم (I_T). در صورتیکه شبکه نتواند این جریان را تأمین کند بایستی با کاهش بار تعادل را برقرار کنیم. حداکثر جریان قابل تأمین توسط شبکه را با I_S نمایش می‌دهیم، لذا کمبود آمپری که بایستی با طرح کاهش بار جبران شود بصورت رابطه (۲) خواهد بود:

$$\Delta I = I_T - I_S \qquad (۲)$$

کاهش آمپر مشترکین با در نظر گرفتن اولویت پیشنهادی به ترتیب داوطلب، عادی و حساس بر اساس فلوچارت شکل (۱) انجام می‌شود. بر این اساس ابتدا کاهش آمپر با مشترکین داوطلب شروع می‌شود. در صورتیکه میزان کمبود آمپر شبکه (ΔI) کمتر از ΔI_V محاسبه شده طبق رابطه (۱) باشد، مشترکین داوطلب به تنهایی می‌توانند کمبود آمپر را جبران کنند و جریان مصرفی جدید آنها بر اساس سطح آمپر پیشنهادی بصورت رابطه (۳) قابل محاسبه خواهد بود:

$$I_v' \qquad (۳)$$

که در آن N_v تعداد مشترکین داوطلب، $I_{V_K}^{use}$ جریان مصرفی مشترک داوطلب kام و ΔI_{V_K} میزان کاهش آمپر پیشنهادی مشترک kام است. اما اگر کمبود آمپر در شبکه (ΔI) بیشتر از ΔI_V باشد، بدان معنی است که مشترکین داوطلب نمی‌توانند به تنهایی کمبود آمپر را جبران کنند. در این حالت کلیه مشترکین داوطلب به اندازه کل آمپر پیشنهادی کاهش جریان داده می‌شوند:

$$I_v' \qquad (۴)$$

در این حالت بقیه کمبود جریان بایستی از طریق مشترکین عادی تأمین گردد. حال باید دید که مشترکین عادی می‌توانند این کسری را جبران کنند. برای این منظور ابتدا حداکثر جریان قابل کاهش در مشترکین عادی بصورت رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$\Delta \qquad (۵)$$

که در آن N_N تعداد مشترکین عادی، I_{min} حداقل جریان ضروری مورد نیاز مشترکین و $I_{N_k}^{use}$ میزان جریان مصرفی مشترک عادی kام است.

اگر $(\Delta I - \Delta I_v) < \Delta I_N$ باشد یعنی مشترکین عادی می‌توانند مابقی کمبود جریان را جبران کنند. در این صورت با کاهش پله‌ای سقف مصرف به میزان $(\Delta I - \Delta I_v)$ آمپر مصرفی مشترکین عادی محدود می‌شود و میزان آمپر مجاز مشترکین عادی تعیین می‌گردد.

اما اگر $\Delta I - \Delta I_v > \Delta I_N$ باشد بدین معنی است که مجموع مشترکین داوطلب و عادی نمی‌توانند جوابگوی کمبود آمپر در شبکه باشند. در این حالت مصرف مشترکین حساس نیز دچار محدودیت می‌شود. ابتدا حداکثر جریان قابل کاهش در مشترکین حساس با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$\Delta \qquad (۶)$$

که در آن $I_{e_k}^{use}$ میزان جریان مصرفی مشترک حساس kام و I_{min} حداقل جریان ضروری مشترک است.

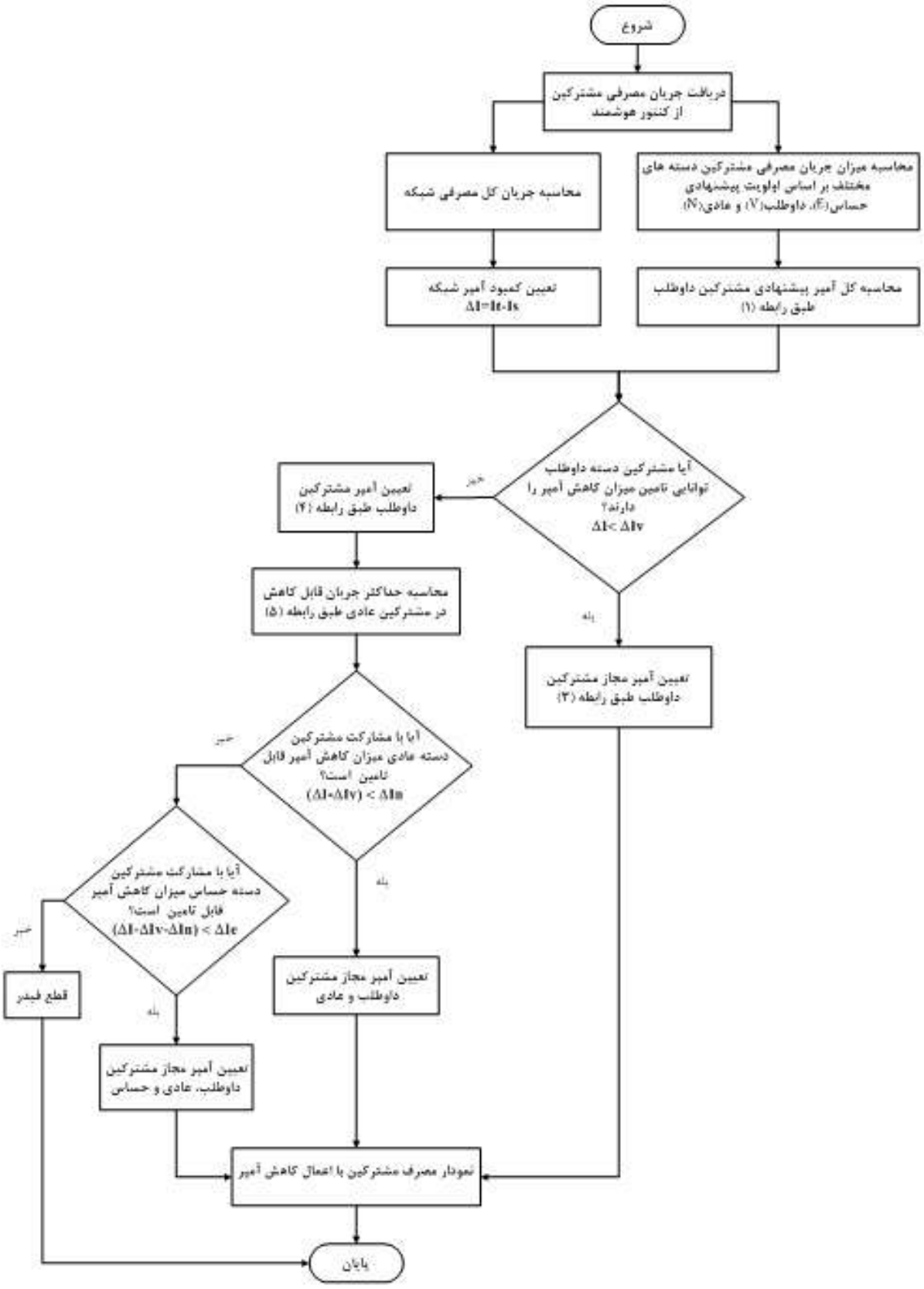
اگر $(\Delta I - \Delta I_v - \Delta I_N) > \Delta I_e$ باشد با کاهش پله‌ای جریان مصرفی می‌توان مشکل کمبود را در مشترکین حساس حل نمود، در غیر این صورت تنها راه حل قطع فیدر مربوطه و ایجاد خاموشی برای کلیه مشترکین است.

مشاهده می‌شود که در الگوریتم پیشنهادی روند کاهش جریان برای رفع کمبود برق بوجود آمده بصورت سلسله مراتبی و براساس اولویتی است که خود مشترک انتخاب می‌کند. واضح است که میزان پاداش پرداختی به مشترکین نیز باید متناسب با نوع و میزان همکاری باشد که در بخش بعدی این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهادی برای محاسبه پاداش، الگوریتمی منطبق بر طرح ذخیره عملیاتی صنایع [۳۰] و متناسب با مساله پیشنهادی می‌باشد.



www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی کاهش سطح مصرف

۴ -الگوریتم پیشنهادی محاسبه پاداش همکاری

طرح ذخیره عملیاتی در سطح صنایع از سال ۱۳۹۳ در کشور در حال اجراست. تجربه سه سال اجرای این طرح نشان می‌دهد که می‌توان با مدیریت سمت تقاضا بخشی از مصرف پیک بار سالانه کشور را تأمین کرد[۳۰]. در این طرح در محاسبه پاداش همکاری میزان ساعات همکاری در طرح و میزان توان همکاری در طرح لحاظ می‌گردد. هر سال سعی شده است که روند کار در جهت افزایش انگیزه مشارکت صنایع بهبود داده شود. در این مقاله الگوریتم محاسبه پاداش، براساس روند طرح فوق پیشنهاد می‌شود. شکل (۲) فلوچارت الگوریتم پیشنهادی جهت محاسبه پاداش برای کلیه مشترکین را نشان می‌دهد. محاسبه پاداش پس از اتمام دوره طرح انجام می‌شود.

در طرح پیشنهادی پاداش همکاری از دو بخش پاداش اعلام آمادگی فقط برای مشترکین داوطلب و پاداش مشارکت برای هر دو دسته داوطلب و عادی در نظر گرفته می‌شود. پاداش آمادگی بر اساس رابطه (۷) برای مشترک داوطلب iام از حاصل‌ضرب مقدار آمپر پیشنهادی جهت مشارکت ΔI_{v_i} طبق جدول (۱) در میزان بهای آمپر (A) محاسبه می‌گردد:

(۷)

همانطور که مشاهده می‌گردد در پاداش آمادگی میزان ساعات همکاری در طرح لحاظ نمی‌شود و فقط به میزان آمپر پیشنهادی جهت مشارکت در اجرای طرح رفع پیک بار سالانه بستگی دارد.

پاداش مشارکت به هر مشترکی اعم از داوطلب، عادی و حساس که جریان آن در روند کنترل بار دچار محدودیت شود پرداخت می‌گردد. طرح کنترل بار برای تعدادی روز در فصل تابستان که پیک بار در شبکه رخ می‌دهد اجرا می‌گردد. در هر روز میزان ساعتی که نیاز به کنترل بار داریم (H_d) و میزان کمبود جریان مورد نیاز (ΔI_d) متفاوت خواهد بود. پاداش مشارکت پس از اتمام کامل طرح در تابستان و برای هر مشترک بصورت جداگانه بر اساس رابطه پیشنهادی (۸) محاسبه می‌گردد.

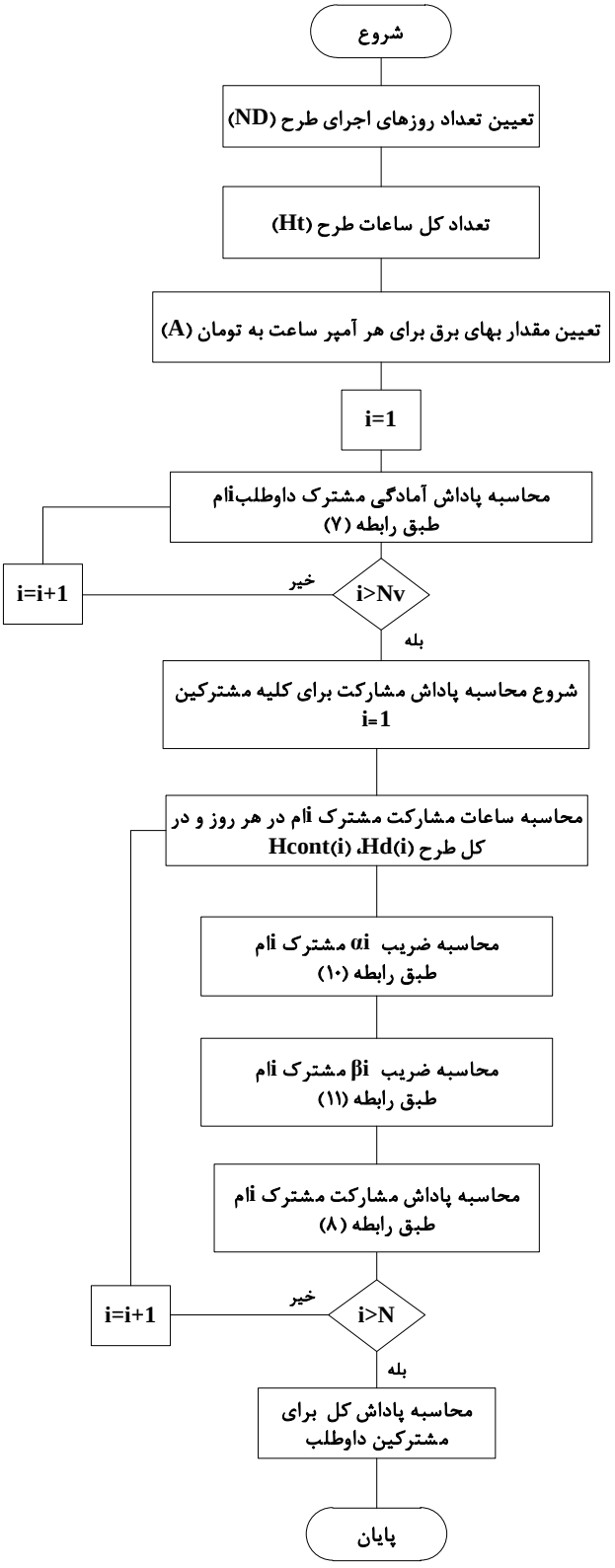
$$\text{پاداش مشارکت} = \frac{\sum_{d=1}^{n_d} I_d^{drop}(i) \times H_d(i)}{H_{Cont(i)}} \times (\alpha_i + \beta_i) \times \text{A} \qquad (۸)$$

که در آن $I_d^{drop}(i)$ مقدار کاهش یافته جریان مشترک iام در روز dام، $H_d(i)$ میزان ساعات نیاز به کنترل بار در روز dام و $H_{Cont(i)}$ کل تعداد ساعات مشارکت مشترک iام است و توسط رابطه (۹) بدست می‌آید. در بخش اول رابطه (۸) متوسط آمپر مشارکتی مشترک iام محاسبه می‌گردد.

$$H_{Cont(i)} = \sum_{d=1}^{N_d} H_d(i) \qquad (۹)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی جهت محاسبه پاداش

ضریب α_i بیانگر درصد مشارکت مشترک iام نسبت به آمپر مصرفی آن می‌باشد که بر اساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد. به عبارت دیگر این ضریب بیان می‌کند که هر مشترک چه بخشی از آمپر مصرفی خود را برای کنترل بار مشارکت داده است. ضریب β_i با یک تابع نمایی طبق رابطه (۱۱) متناسب با میزان ساعات همکاری مشترک iام در طرح است. هر چه میزان ساعات مشارکت بیشتر باشد این ضریب بصورت نمایی افزایش می‌یابد و پاداش بیشتری به مشترک تعلق خواهد گرفت. این ضریب باعث می‌شود که مشترکین داوطلب که شروع کنترل بار با آنهاست علاوه بر دریافت پاداش آمادگی، پاداش مشارکت بیشتری نیز دریافت کنند.

$$\alpha_i = \frac{\frac{\sum_{d=1}^{n_d} I_d^{drop}(i) \times H_d(i)}{H_{Cont(i)}}}{\frac{\sum_{d=1}^{n} I_d^{used}(i) \times H_d(i)}{H_t}} \qquad (۱۰)$$

$$\beta_i \qquad (۱۱)$$

که در آن $I_d^{used}(i)$ میزان مصرف مشترک iام و H_t کل تعداد ساعات اجرای طرح کنترل بار است.

۵ -نتایج شبیه سازی

۵-۱-استخراج داده‌های اولیه

مهم‌ترین داده برای پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی، میزان آمپر مصرفی مشترکین در شبکه مورد مطالعه است. در عمل این اطلاعات با خواندن و ارسال از طریق کنتور هوشمند بدست می‌آید. در این مقاله این اطلاعات با استفاده از تولید اعداد رندم با توزیع نرمال بین ۵ آمپر تا ۲۵ آمپر ایجاد شده است. ۲۵ آمپر حداکثر آمپر مصرفی مشترک تکفاز توزیع (فیوز کنتور) و ۵ آمپر حداقل جریان مورد نیاز هر مشترک برای تغذیه لوازم برقی ضروری در نظر گرفته شده است. در این مقاله تعداد ۱۰۰ مشترک بر روی یک فیدر شبکه توزیع فشار ضعیف فرض شده است و از اثرات محدودیت‌های شبکه در مطالعه صرف نظر شده است. بر حسب اینکه مشترکین چه ترکیبی از مشترکین حساس، داوطلب و عادی باشند سناریوهای مختلفی در ارائه نتایج در نظر گرفته می‌شود. برای انجام مطالعات از برنامه نویسی در محیط نرم افزار مطلب استفاده شده است.

۵-۲- نتایج اعمال کنترل بار

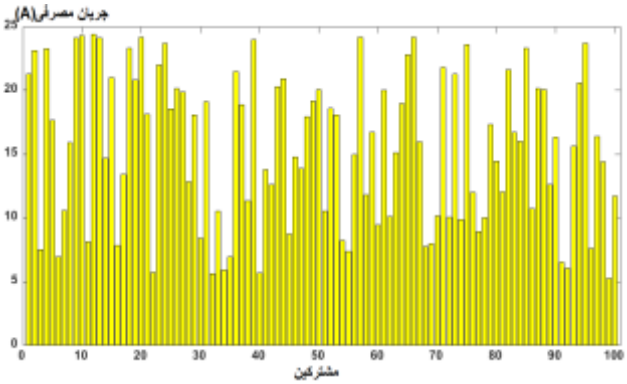
برای استخراج نتایج الگوریتم پیشنهادی در بخش سوم سه سناریو مختلف از انواع مشترکین در نظر گرفته شده است. در سناریو اول همه مشترکین از نوع عادی می‌باشند. در سناریو دوم مشترکین به دو دسته عادی و داوطلب تقسیم می‌شوند و در سناریو سوم هر سه دسته عادی، داوطلب و حساس در نظر گرفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

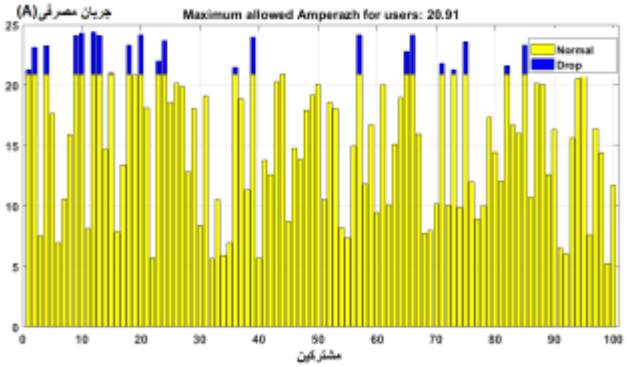
۵-۲-۱-سناریو اول: همه مشترکین عادی

در این سناریو ۱۰۰ مشترک عادی با نمودار مصرف شکل ۳ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳ : میزان مصرف مشترکین عادی

مجموع جریان مصرفی ۱۵۶۰ آمپر است. اگر شبکه نتواند این جریان را تأمین کند مجبور به کنترل بار خواهیم بود. مثلاً اگر شبکه فقط ۱۵۱۰ آمپر را بتواند تأمین کند ۵۰ آمپر کمبود در شبکه خواهیم داشت. نتیجه اعمال کنترل بار در شکل۴ آمده است. نتیجه نشان می دهد که جهت جبران کمبود ۵۰ آمپری، میزان جریان مجاز باید از ۲۵ به ۲۰/۹۱ آمپر کاهش داده شود. به عبارت دیگر مشترکینی که بالای ۲۰/۹۱ آمپر مصرف می‌کنند باید مصرف خود را به این سطح کاهش دهند. جدول ۲ میزان آمپر مجاز مشترکین در شرایط کمبود جریان های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۴ : مصرف بارها وکاهش ۵۰ آمپر از مشترکین عادی

جدول۲ : آمپر مجاز مشترکین در شرایط کمبود توان

میزان آمپر مجاز مشترکین عادی	میزان کمبود جریان(آمپر)	میزان جریان قابل پشتیبانی شبکه (Is)
۲۰/۹۱	۵۰	۱۵۱۰
۱۵/۵۴	۲۵۰	۱۳۱۰
۱۰/۹۴	۵۵۰	۱۰۱۰
۶/۶۵	۹۰۰	۶۶۰

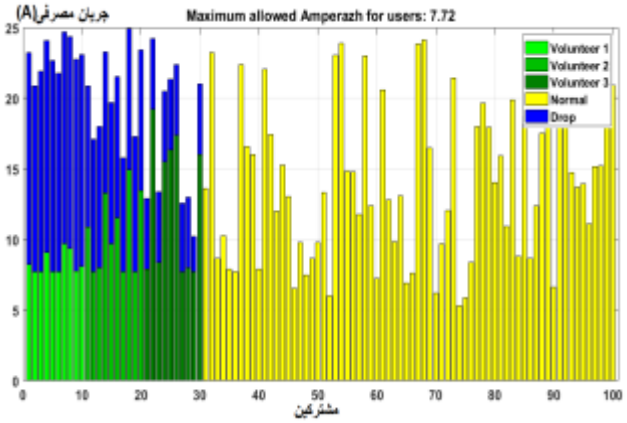
۵-۲-۲-سناریو دوم: مشترکین داوطلب و عادی

در این سناریو فرض می‌شود که تعدادی از مشترکین بصورت داوطلبانه حاضر به همکاری در طرح کنترل بار هستند و با عقد قرارداد میزان همکاری خود را اعلام می‌کنند. در این مقاله تعداد مشترکین داوطلب بصورت ۱۰ درصد در هر یک از گروه‌های ۱۵ آمپر، ۱۰ آمپر و ۵ آمپر فرض می‌شود که جدول ۳ تعداد و میزان مصرف مشترکین را نشان می‌دهد.

جدول۳ : دسته بندی مشترکین(داوطلب و عادی)

میزان جریان (آمپر)	تعداد (درصد)	نوع مشترکین
۶۳۹	۳۰ (از هر گروه ۱۰ درصد)	داوطلب
۱۰۳۱	۷۰	عادی

در این حالت مجموع مصرف مشترکین ۱۶۷۰ آمپر است. طبق الگوریتم پیشنهادی ابتدا کنترل بار در سطح مشترکین داوطلب انجام می‌شود. مقدار جریان پیشنهادی جهت کاهش در مشترکین داوطلب ۳۰۰ آمپر است. لذا تا وقتی که کمبود جریان در شبکه کمتر از این مقدار باشد با کنترل بار در سطح مشترکین داوطلب کمبود رفع می‌گردد. شکل ۵ میزان کاهش جریان در مشترکین داوطلب را برای کمبود ۲۹۰ آمپری نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که فقط مصرف مشترکین داوطلب محدود شده است.

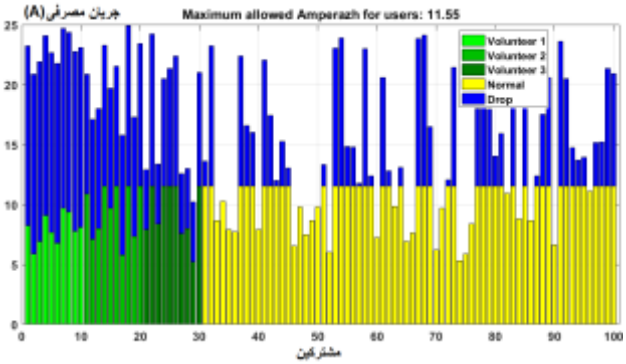


شکل ۵ : مصرف بارها وکاهش ۲۹۰ آمپر از مشترکین داوطلب

در حالتی که کمبود جریان از ۳۰۰ آمپر بیشتر باشد با مشترکین داوطلب کمبود جریان قابل حذف نیست و باید جریان مشترکین عادی نیز محدود شود. شکل ۶ مقدار مجاز مصرفی را در حالت کمبود جریان ۶۰۰ آمپر نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که علاوه بر کنترل جریان درکلیه مشترکین داوطلب، جریان مشترکین عادی نیز به مقدار ۱۱/۵۵ آمپر محدود شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



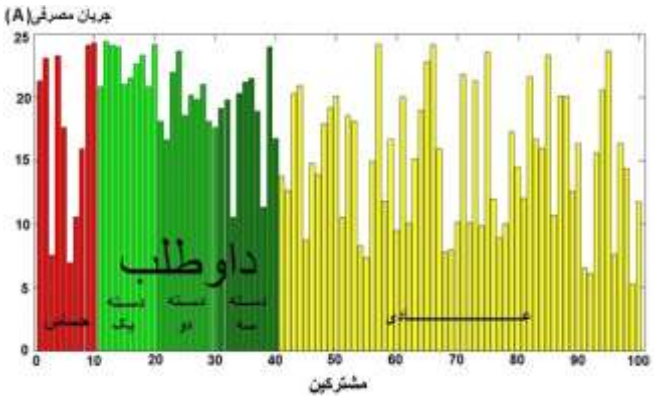
شکل ۶ : مصرف بارها وکاهش ۶۰۰ آمپر از مشترکین داوطلب

۵-۲-۳-سناریو سوم: مشترکین عادی، داوطلب و حساس

در این حالت هر سه دسته مشترکین عادی، داوطلب و حساس در نظر گرفته می‌شود. تعداد و میزان آمپر مصرفی مشترکین در این حالت در جدول ۴ آمده است. شکل ۷ مصرف هر سه نوع مشترک را نشان می‌دهد.

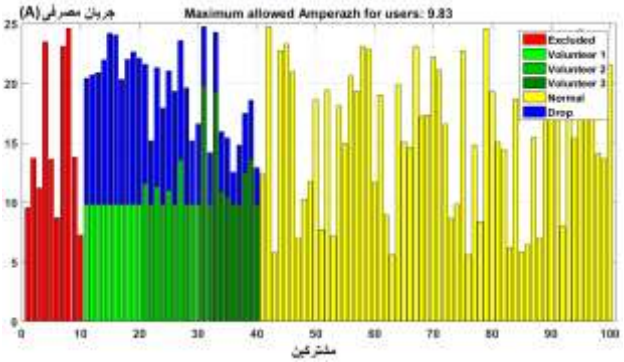
جدول ۴ : دسته‌بندی مشترکین در سناریوی سوم

جریان مصرفی (آمپر)	تعداد (درصد)	نوع مشترکین	
۱۴۹	۱۰	حساس	
۲۲۱	۱۰	دسته۱	داوطلب
۱۹۰	۱۰	دسته۲	
۱۷۱	۱۰	دسته۳	
۱۱۱۲	۶۰	عادی	



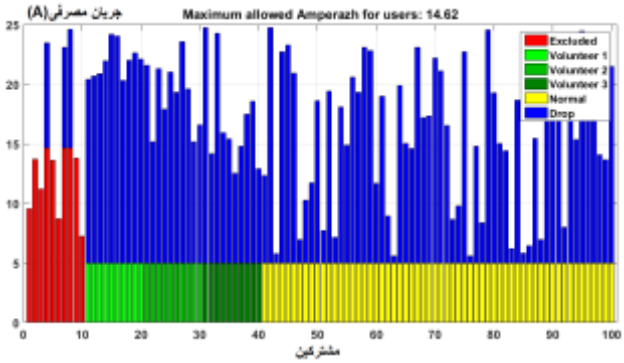
شکل۷ : میزان مصرف کل مشترکین در سناریوی سوم

در مرحله اول کمبود جریان ۲۵۰ آمپری در نظر گرفته می‌شود که نتیجه کنترل بار آن در شکل ۸ آمده است. در این حالت مشترکین داوطلب می‌توانند با کاهش جریان مصرفی کمبود را جبران کنند و مصرف مشترکین عادی و حساس محدود نمی‌شود.



شکل ۸: مصرف بارها و کاهش ۲۵۰ آمپر از مشترکین داوطلب

در حالت دوم میزان کمبود جریان ۵۰۰ آمپر فرض می‌شود. در این حالت مصرف کلیه مشترکین داوطلب به میزان آمپر پیشنهادی خودشان محدود می‌شود و مصرف مشترکین عادی نیز به ۱۳/۵۷ محدود می‌گردد، ولی مشترکین حساس همان مصرف خود را بدون محدودیت خواهند داشت. تا زمانیکه کمبود جریان کمتر از ۱۰۶۴ باشد مشترکین حساس دچار محدودیت نخواهند شد. در حالت سوم میزان کمبود جریان زیاد و برابر ۱۱۰۰ آمپر فرض می‌شود. در این حالت مشترکین داوطلب و سپس عادی نمی‌توانند کمبود را جبران کنند و باید مصرف مشترکین حساس نیز محدود شوند که در شکل ۹ نتیجه آورده شده است.



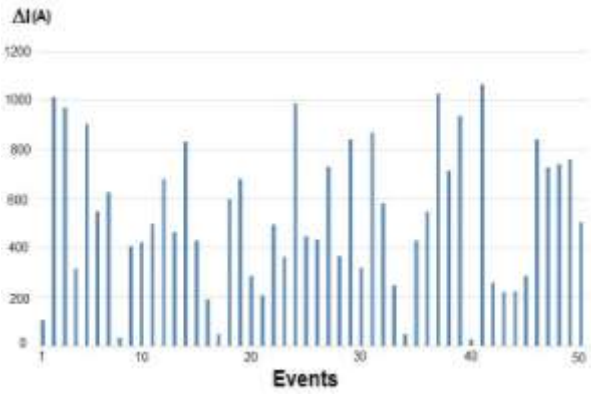
شکل ۹: مصرف بارها و کاهش ۱۱۰۰ آمپر از همه مشترکین

۵-۳-محاسبه پاداش همکاری

برای محاسبه پاداش براساس الگوریتم پیشنهادی در بخش چهارم، ۵۰ پیشامد کمبود توان در نظر گرفته شده است. هر پیشامد معادل یک روز کاری است که در آن برای تعدادی ساعت، شبکه دارای کمبود جریان است. در عمل با پیش بینی مصرف می‌توان میزان کمبود جریان روزهای آینده را تخمین زد. در این مقاله برای تعیین میزان کمبود جریان از اعداد رندم استفاده شده است. شکل ۱۰ میزان کمبود جریان را در پیشامدها نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰: نمودار میزان کاهش آمپر در ۵۰ واقعه

فرض می‌شود که هر پیشامد با تولید عدد رندم بین ۰/۵ ساعت تا ۵ ساعت طول می‌کشد. در شبیه‌سازی انجام شده برای ۵۰ پیشامد، زمان اجرای طرح ۱۳۶ ساعت می‌شود. برای هر پیشامد با در نظر گرفتن ۱۰۰ مشترک بصورت سناریو سوم یعنی هر سه دسته داوطلب، عادی و حساس با همان ترکیب، الگوریتم کنترل بار اجرا می‌گردد. به این ترتیب برای هر مشترک میزان جریان محدود شده و میزان ساعت آن در هر پیشامد بدست می‌آید. حال می‌توان براساس الگوریتم پیشنهادی در بخش چهارم پاداش مشارکت مشترکین را بدست آورد. پر واضح است که مشترکین داوطلب پاداش بیشتری دریافت می‌کنند چرا که علاوه بر دریافت پاداش آمادگی اولین گروهی هستند که در کمبود جریان مشارکت می‌کنند و لذا میزان توان و ساعات همکاری آنها بیشتر و درنتیجه پاداش همکاری آنها نیز بیشتر خواهد بود. جدول۵ میزان مصرف و مشارکت دسته‌های مختلف مشترکین را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مشترکین داوطلب با وجود سهم ۳۰ درصدی از تعداد کل مشترکین به میزان ۵۵ درصد در طرح مشارکت داشته‌اند. در جدول۶ میزان پاداش همکاری مشترکین به تفکیک دسته‌های مختلف برحسب واحد تومان آورده شده است.

جدول ۵: میزان مصرف و مشارکت مشترکین به تفکیک دسته

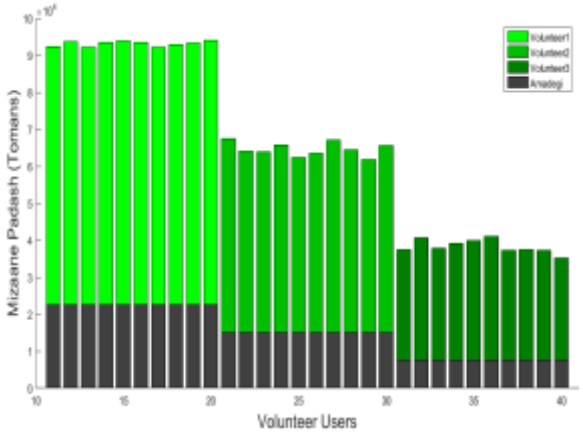
دسته	میزان مشترکین	میزان مصرف		درصد مصرف	میزان مشارکت		درصد مشارکت
		Kwh	AH		kwh	AH	
داوطلب	۳۰	۱۹/۸۴۶	۹۰/۲۱۰	۳۶	۹/۹۳۲	۴۵/۱۴۵	۵۵
عادی	۶۰	۳۰/۳۵۶	۱۳۷/۹۸۴	۵۵	۷۲۷/۷	۳۵/۱۳۶	۴۳
حساس	۱۰	۵/۱۰۹	۲۳/۲۲۶	۹	۲۱۷	۹۸۷	۲
کل	۱۰۰	۵۵۳۱۱	۲۵۱۴۲۰	۱۰۰	۱۷۸۷۸	۸۱۲۶۸	۱۰۰

جدول ۶: پاداش همکاری مشترکین دسته‌های مختلف (تومان)

دسته مشترکین	پاداش آمادگی	پاداش مشارکت	پاداش کل	میزان پاداش برحسب درصد
داوطلب	۴۵۰۰۰۰	۱۵۱۰۵۶۲	۱۹۶۰۵۶۲	۶۰/۹۴
عادی	۰	۱۱۱۰۲۲۴	۱۱۱۰۲۲۴	۳۴/۵۱
حساس	۰	۱۴۶۳۱۹	۱۴۶۳۱۹	۴/۵۵
کل	۴۵۰۰۰۰	۲۷۶۷۱۰۵	۳۲۱۷۱۰۵	۱۰۰

مشاهده می‌گردد که مشترکین داوطلب که ۳۰ درصد تعداد کل مشترکین بوده‌اند، علاوه بر دریافت پاداش آمادگی سهم بیشتری از پاداش مشارکت را نیز به خود اختصاص داده‌اند و در کل ۶۰/۹۴ درصد از کل پاداش مربوط به دسته داوطلب می‌شود. مشترکین حساس نیز چون در آخرین اولویت اجرای طرح قرار دارند با وجود ۱۰ درصد از تعداد مشترکین، فقط ۴/۵۵ درصد پاداش دریافت کرده‌اند. چرا که در ساعات بسیار محدودی که میزان کمبود توان خیلی زیاد باشد، مشارکت داده شده‌اند. بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که در طی ۵۰ پیشامد (هر پیشامد معادل یک روز) و ۱۳۶ ساعت کمبود توان حدود ۳/۲ میلیون تومان پاداش همکاری برای حدود ۸۱ هزار آمپر ساعت یا حدود ۱۸ مگاوات ساعت کمبود انرژی پرداخت شده است. تقریباً می‌توان گفت بطور متوسط به ازای هر کیلووات ساعت ۱۸۰ تومان پاداش همکاری پرداخت شده است. این مبلغ در مقایسه با نرخ سرمایه‌گذاری برای تولید برق جهت تأمین بار پیک بسیار ناچیز است و بیانگر اهمیت اجرای طرح‌های مدیریت بار در ایام پیک بار سالانه است.

صورت حساب پاداش مشارکت برای هر مشترک نیز قابل ارائه است. به عنوان مثال شکل ۱۱ پاداش مشترکین داوطلب را به تفکیک آمادگی و مشارکت نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که پاداش آمادگی بستگی به میزان آمپر اعلامی برای همکاری دارد ولی پاداش مشارکت بسته به میزان ساعات و آمپر همکاری متفاوت است. مشترک شماره ۲۰ با دریافت ۹۴ هزار تومان بیشترین پاداش همکاری را در بین مشترکین دارد.



شکل۱۱ : نمودار میزان پاداش مشترکین داوطلب

www.SID.ir

Archive of SID

۶ نتیجه‌گیری

پاسخگویی بار یکی از طرح‌های مهم امروزی در جهت حفظ تعادل تولید برق با مصرف آن در شبکه است. در کشور ما این موضوع بیشتر در بخش صنعت پیاده‌سازی شده است. در این مقاله با تکیه بر قابلیت‌های کنتور هوشمند روشی جهت مشارکت مشترکین بخش خانگی در شبکه توزیع ارائه گردید. بدین‌گونه که با دریافت اطلاعات لحظه‌ای مصرف مشترک و میزان کمبود توان شبکه می‌توان سطح آمپر مصرفی کلیه مشترکین را به نحوی کنترل کرد که تمامی مشترکین از یک سطح حداقلی برق برخوردار باشند و دچار خاموشی کامل نشوند. برای اجرای طرح بصورت سلسله مراتبی سه نوع مشترک داوطلب، عادی و حساس در نظر گرفته شد. در بیشتر زمان‌ها با همکاری مشترکین داوطلب مشکل کمبود حل می‌گردد در غیر این صورت مشترکین عادی نیز وارد اجرای طرح می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی با وجود کنتورهای هوشمند براحتی قابل پیاده‌سازی خواهد بود. مطمئناً مهمترین انگیزه جهت تشویق مشترکین به سمت مشارکت داوطلبانه در طرح‌های پاسخگویی بار میزان پاداش پرداختی به آنان خواهد بود. در این مقاله روشی جهت محاسبه پاداش همکاری الهام گرفته از طرح ذخیره عملیاتی صنایع ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی و میزان پاداش‌ها به خوبی می‌تواند انگیزه لازم را برای مشترکین جهت مشارکت در طرح پاسخگویی بار ایجاد نماید. از طرف دیگر برای شرکت‌های برق نیز پرداخت پاداش جهت کاهش بار در ایام پیک بار سالانه بسیار مقرون به صرفه‌تر از سرمایه گذاری تولید برای تأمین آن می‌باشد.

مراجع

[۱] آئینه رستمی, مصطفی و علیمراد خواجه زاده، «مروری اجمالی برمدیریت سمت تقاضا DSM وبررسی راهکارهای اجرایی درایران»، کنفرانس ملی فن آوری، انرژی و داده با رویکرد مهندسی برق و کامپیوتر، کرمانشاه، انجمن مهندسین برق و الکترونیک-شاخه غرب، ۱۳۹۴.

[2] Q. Zhang and J. Li, "Demand Response in Electricity Markets: A Review," 9th International Conference on the European Energy Market, pp. 1-8, 2012.

[3] C. Eksin, H. Deliç, and A. Ribeiro, "Demand Response Management in Smart Grids with Heterogeneous Consumer Preferences", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 6, no. 6, pp. 3082-3094, 2015.

[4] V. S. K. Murthy Balijepalli, V. Pradhan, S. A. Khaparde, and R. M. Shereef, "Review of Demand Response under Smart Grid Paradigm", IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), pp. 236-243, India, 2011.

[5] P. Samadi, A. H. Mohsenian-Rad, R. Schober, V. W. S. Wong, and J. Jatskevich, "Optimal Real-time Pricing Algorithm Based on Utility Maximization for Smart Grid", First IEEE International Conference on Communications, pp. 415-420, 2010.

[6] K. Alshehri, J. Liu, X. Chen, and T. Basar, "A Stackelberg Game for Multi-Period Demand Response Management in the Smart Grid", 54th IEEE Annual Conference on Decision and Control (CDC), pp. 5889 – 5894, Osaka, Japan, Dec 2015.

[7] R. Deng, Z. Yang, and M.Y. Chow, "A Survey on Demand Response in Smart Grids: Mathematical Models and Approaches", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 11, no.3, pp. 570 – 582, 2015.

[8] W. Liuhui, W. Xian, and Z. Shaohua, "Electricity Market Equilibrium Analysis for Strategic Bidding of Wind Power Producer with Demand Response Resource", IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), pp. 181-185, Oct. 2016.

[۹] مجید ارس نژاد, مصطفی رجبی مشهدی و حمدی عبدی، «مطالعه تأثیر اجرای طرح ذخیره عملیاتی صنایع درکاهش پیک شبکه و ارائه راهکارهای کاربردی به منظور اجرای کارآمدتر طرح»، کنفرانس بین المللی فناوری و مدیریت انرژی، تهران -پژوهشگاه نفت، انجمن انرژی ایران، ۱۳۹۴.

[۱۰] ابراهیم شایسته، سیدجلال کاظم پور، پیام تیمورزاده، حبیب‌اله اعلمی، مهدی بهرنگ‌راد، محسن پارسامقدم، «اختصاص میزان تشویقی بهینه صنایع حاضر در برنامه پاسخگویی‌بار با استفاده از ارزیابی اقتصادی در ایران»، چهاردهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، اردیبهشت ۱۳۸۸.

[۱۱] تکتم شریفیان عطار، مصطفی رجبی مشهدی، محمدحسین جاویدی، «بازنگری طرح دیماند منعطف صنایع با توجه به جابجایی ساعات پیک (پیک روزانه) » ، بیست و یکمین کنفرانس بین المللی مهندسی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۹۲.

[۱۲] سارا ملایی وانقی و مصطفی رجبی مشهدی، «ارائه راهکاری جهت بهبود قیمت‌گذاری پاسخگویی بار در ایران»، سی امین کنفرانس بین المللی برق ایران، آبان ۱۳۹۴.

[13] S. Mollaee-Vaneghi, M. Rajabi-Mashhadi, and M. Barazesh, "Introducing a new approach to improve demand response pricing for industrial customers in Iran," IEEE Smart Grid Conference (SGC), pp. 86-91, 2015.

[14] V. Bhosale, P. Hadawale, and A. Borole, "Automated demand response for residential consumers," IEEE Conference on National Power Systems Conference (NPSC), pp. 1-6, 2016.

[15] F. Elghitani and W. Zhuang, "Aggregating a Large Number of Residential Appliances for Demand Response Applications," IEEE Transactions on Smart Grid, Early Access articles, 2017.

[16] H. T. Roh and J. W. Lee, "Residential Demand Response Scheduling With Multiclass Appliances in the Smart Grid," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no.1, pp. 94-104, 2016.

[17] A. Safdarian, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Lehtonen, "A Distributed Algorithm for Managing Residential Demand Response in Smart Grids," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 10, no. 4, pp. 2385-2393, 2014.

[۱۸] سعیده لطیف و محمود رضا حقی‌فام، «مدل‌سازی مصارف برق خانگی ایران با رویکرد سیستم دینامیک»، سی امین کنفرانس بین المللی برق ایران، تهران، آبان ۱۳۹۴.

[۱۹] مهدی صمدی و علی صبوری راد، «ارائه روشی جدید برای طراحی بهینه برنامه پاسخگویی بار قیمت گذاری زمان استفاده»، سی امین کنفرانس بین المللی برق ایران، تهران، آبان ۱۳۹۴.

[20] J. Zheng, D. W. Gao, and L. Lin, "Smart Meters in Smart Grid: An Overview," IEEE Green Technologies Conference, pp. 57-64, 2013.

[21] M. G. Vayá, M. Koller, and V. Wyss, "Demand Response based on smart metering infrastructure to facilitate PV integration in low voltage grids," IET Conference on CIRED Workshop, pp. 1-4, 2016.

[22] V. Fusco, G. K. Venayagamoorthy, S. Squartini, and F. Piazza, "Smart AMI based Demand-Response Management in a Micro-grid Environment", IEEE Clemson University Power Systems Conference (PSC), pp. 1-8, 2016.

www.SID.ir

Archive of SID

[23] A. Salami, M. M. Farsi, "A cooperative demand response program for smart grids," IEEE Conference on Smart Grid Conference (SGC), pp. 99-104, 2015.

[24] M. Yu, and S. H. Hong, "A Real-Time Demand-Response Algorithm for Smart Grids: A Stackelberg Game Approach," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 879-888, 2016.

[25] D. Picault, O. Cottet, and T. Ruez, "Demand Response: a solution to manage loads in the smart grid", 15th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 352-356, 2015.

[۲۶] جمشید آقایی، سیداحسان باقری، سجاد شفیعی، طاهر نیکنام، سیدمحسن باقری، «بررسی پاسخ‌گویی شبکه توزیع هوشمند به عملکرد خودروهای الکتریکی هیبریدی قابل اتصال به شبکه"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۷، شماره ۱، صفحه ۲۰-۱۱، بهار ۱۳۹۶.

[۲۷] جمیل جنتی، داریوش نظرپور، «مدیریت انرژی پارکینگ هوشمند خودروهای برقی در یک ریزشبکه با در نظر گرفتن اثرات برنامه پاسخ‌گویی بار"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۷، شماره ۲، صفحه ۴۶۷-۴۴۵، تابستان ۱۳۹۶

[۲۸] علی مهدی‌زاده؛ نوید تقی‌زادگان کلانتری، «برنامه‌ریزی تصادفی ریزشبکه جزیره‌ای در حضور سیستم ذخیره‌ساز هیدروژنی و برنامه پاسخ‌گویی بار"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۷، شماره ۲، صفحه ۷۲۵-۷۱۱، تابستان ۱۳۹۶.

[۲۹] فرید محمدی، حمدی عبدی، احسان دهنوی، «حل مسئله توزیع بار اقتصادی هزینه-آلودگی دینامیک همراه با برنامه پاسخ‌گویی بار اضطراری بهینه تحت قیود اثر نقطه-دریچه و ذخیره چرخان،» مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۶، شماره ۱، صفحه ۳۵۶-۳۴۳، بهار ۱۳۹۵

[۳۰] شرکت مدیریت شبکه برق ایران، «ابلاغیه شرکت توانیر با موضوع محاسبه پاداش همکاری طرح ذخیره عملیاتی»،۱۳۹۴.

زیرنویس‌ها

۱ Demand side management
۲ Anneal peak load
۳ Energy Efficiency
۴ Demand Response (DR)

۵ Time Of Use
۶ Real Time Pricing
۷ Critical Peak Pricing
۸ Direct Load Control
۹ Smart metering

www.SID.ir