

# ارایه معماری برای برنامه‌ریزی تولید در بازار تجدید ساختار یافته با زیرساخت اینترنت اشیا

حامد ضیائی<sup>۱</sup> مسعود رشیدی نژاد<sup>۲</sup> امیر عبداللهی<sup>۳</sup> ابراهیم پیرمرادی<sup>۴</sup>  
۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه شهید باهنر کرمان- کرمان- ایران  
[hamed.ziaye@gmail.com](mailto:hamed.ziaye@gmail.com)  
۲- استاد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه شهید باهنر کرمان- کرمان- ایران  
[mrashidi@uk.ac.ir](mailto:mrashidi@uk.ac.ir)  
۳- دانشیار- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه شهید باهنر کرمان- کرمان- ایران  
[a.abdollahi@uk.ac.ir](mailto:a.abdollahi@uk.ac.ir)  
۴- دانشجوی دکتری- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه شهید باهنر کرمان- کرمان- ایران  
[ebpirmoradi@yahoo.com](mailto:ebpirmoradi@yahoo.com)

**چکیده:** در این مقاله سیستم‌های سنتی با مشکلاتی مانند اتلاف انرژی، افزایش تقاضای انرژی، قابلیت اطمینان و امنیت روبرو هستند. بنابراین برای حل این مشکلات به شبکه‌های هوشمند (SG) تبدیل می‌شوند. SG ها یک ارتباط انرژی دو طرفه بین ارائه دهندگان خدمات و مصرف کننده فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، SG ها دارای دستگاه‌های مختلفی برای نظارت، تجزیه و تحلیل و کنترل در قسمت‌های مختلف شبکه هستند. بنابراین، SG ها به زیرساخت ارتباطی بین این دستگاه‌های مختلف نیاز دارند. در نتیجه، این اتصال با زیرساخت جدیدی مانند اینترنت اشیا (IoT) حاصل می‌شود. اینترنت اشیا به سیستم‌های SG کمک می‌کند تا عملکردهای مختلف شبکه را در طول تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی با استفاده از تجهیزات اینترنت اشیا (مانند سنسورها، عملگرها و کنتورهای هوشمند) و همچنین با ارائه اتصال، اتوماسیون و ردیابی را انجام دهند. در این مقاله، برنامه‌ریزی تولید در بازار برق تجدید ساختار یافته با زیرساخت‌های اینترنت اشیا که در آن هدف حداکثرسازی سود شرکت‌های تولید کننده (GENCO) است، بهینه شده است. سپس، این مقاله از برنامه‌های پاسخ به تقاضا (DR) برای بررسی بهتر چالش‌های پیش رو در آینده SG ها با زیرساخت اینترنت اشیا استفاده کرده است. نتایج به ارزیابی کیفیت و کارایی چنین سیستمی کمک می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** تجدید ساختار، شبکه هوشمند، برنامه ریزی، پاسخگویی تقاضا، اینترنت اشیا

**نوع مقاله:** پژوهشی

DOI: 10.52547/jiaeee.19.1.161

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر مسعود رشیدی نژاد

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - کرمان - بزرگراه امام خمینی - میدان پژوهش - دانشگاه شهید باهنر کرمان - دانشکده‌ی برق

## ۱- مقدمه

مقررات زدایی و تجدید ساختار سیستم های قدرت در طول زمان صنعت برق را متحول کرده است [۱]. پیشرفت بیشتر در صنعت برق مستلزم ارتباط با سایر فناوری‌ها است. با افزایش روزافزون مصرف برق و افزایش تعداد مصرف کنندگان، ساختمانهای هوشمند برای تسهیل ارتباطات و کنترل ضروری تلقی می‌شوند. اگر این ارتباط با بستر اینترنت اشیا (IoT) انجام شود، مزایای خاصی خواهد داشت و باعث ایجاد ارتباط مستقیم بین دو صنعت مهم برق و کامپیوتر با یکدیگر می‌شود.

## ۱-۱- ادبیات موضوع

برنامه‌ریزی تولید یکی از مهمترین فعالیتها برای کاهش هزینه‌های مختلف سیستم‌های قدرت است. در این مورد، روشی برای زمان‌بندی مزارع بادی بر اساس تعهد واحد با قیود امنیتی و تولید بر اساس مزرعه بادی تصادفی در [۲] ارائه شده است. از سوی دیگر، یک برنامه زمان‌بندی با قید امنیت برای مشارکت واحدهای تولیدی و یک مدل احتمال عدم دسترسی نیروگاه‌ها در شرایط اضطراری در [۳] ارائه شده است.

ساختمانهای هوشمند با ارائه بستر تجارت انرژی می‌توانند تأثیر قابل توجهی در تأمین برق محلی داشته باشند [۴]. مزایای ساختمانهای هوشمند شامل کاهش مصرف انرژی، افزایش بهره‌وری، پیش بینی نگهداری و استفاده بهتر از منابع است. تخمین زده می‌شود که مصرف برق در ساختمانهای سراسر جهان تقریباً ۴۰ درصد از انرژی جهانی را تشکیل می‌دهد، از مدیریت کارآمد ساختمانها می‌توان برای جلوگیری از هدر رفت انرژی و منابع سوخت استفاده کرد.

مزیت استفاده از اینترنت اشیا تأثیر آن بر برنامه‌ریزی تولید برق خواهد بود. برنامه‌ریزی تولید به دلیل اهمیت اقتصادی به یکی از بزرگترین دغدغه‌های تأسیسات برق تبدیل شده است [۴]. مسئله برنامه‌ریزی تولید در بازار برق، مسئله تعهد واحد مبتنی بر سود (PBUCP) نامیده می‌شود [۵-۷]. در ساختمانهای هوشمند تقریباً همه لوازم خانگی قابل کنترل هستند، در واقع یکی از راه‌حل‌های این مشکل، استفاده از مدیریت سمت تقاضا (DSM) است و یک مفهوم کلیدی مربوط به ساختمان هوشمند DSM است [۸-۱۰]. بنابراین، با توجه به وجود اینترنت اشیا و زیرساخت های ابری، فعالیتهای خدمات قابل کنترل و مشاهده خواهد بود [۱۱، ۱۲]. با این ترکیب، چندین روش برای DSM وجود دارد، از جمله کنترل مستقیم بار (DLC) [۱۳]. به این ترتیب می‌توان قسمت های مختلف خانه‌های هوشمند را با توجه به نیاز به کاهش مصرف کنترل کرد. روشهای DSM به دلیل حجم زیاد اطلاعات مصرف شده توسط خانه‌ها به چالش کشیده شده اند، اما با پیشرفتهای اخیر در جمع‌آوری و ارسال اطلاعات، مانند رایانش لبه و رایانش مه، این مشکلات تا حدودی برطرف شده است

[۱۴، ۱۵] و این مقاله سعی در حل این مشکل را دارد. بر این اساس اطلاعات بی‌ارزش به ابر منتقل نمی‌شود و این کار با در نظر گرفتن مفهومی به عنوان رایانش محلی انجام می‌شود، با رایانش محلی، اطلاعات بی‌ارزش حذف می‌شود تا از ترافیک انتقال جلوگیری شود، با این مفهوم به نوعی می‌توان امنیت اطلاعات را افزایش داد.

این سیستم مدرن می‌تواند به عنوان یک روش ترکیبی برای غلبه بر نگرانی‌های امنیتی و عملکرد پیکربندی شده باشد. قدرت رایانش ابری نامحدود است، داده‌های ابری از چندین نقطه و چندین دستگاه قابل دسترسی هستند، اما نقاط ضعفی مانند محدودیت در ظرفیت پهنای باند، امنیت پایین، قابلیت اطمینان پایین در اتصال شبکه‌ها به ابر و تأخیر در ارسال داده در استفاده از ابرها و در مقابل، رایانش لبه ای نیز دارای ضعفهایی از قبیل قدرت محاسباتی محدود، هزینه زیاد به دلیل محدودیت برخی از برنامه‌ها، ضعف در برابر مجموعه داده‌های بزرگ و در دسترس نبودن داده‌ها از چندین نقطه مختلف است، هر دو رویکرد مزایای منحصر به فرد خود را دارند [۱۶-۱۸]. به عنوان مثال، هنگامی که به محاسبات گسترده و دسترسی آسانتر از چندین نقطه مختلف نیاز دارید، می‌توانید از ابر کمک بگیرید و می‌توانید از محاسبات لبه ای برای کاهش حجم اطلاعات و حجم محاسبات استفاده کنید و همچنین امنیت را افزایش دهید. اینترنت اشیا از لایه‌های معماری لبه، مه و ابر می‌تواند تشکیل شده باشد، به طوری که لایه‌های لبه و مه یکدیگر را تکمیل می‌کنند.

به دلیل ارتباط دو طرفه در این نوع سیستم، همه دستگاه‌های متصل به زیرساخت باید آدرس IP مخصوص خود را داشته باشند. این امر از چند جهت مهم است، مانند تشخیص نقص در سیستم‌ها یا جداسازی اطلاعات از هر دستگاه خانگی با سایر دستگاه‌ها، اینجاست که اینترنت اشیا نقش کلیدی را ایفا می‌کند. اینترنت اشیا از طریق فن‌آوری‌های ارتباطی مختلف ارتباطات دو طرفه فوری، بدون وقفه، با سرعت بالا را برای کاربران و دستگاه‌ها فراهم می‌کند [۱۹]. استفاده از اینترنت اشیا در شبکه‌های هوشمند (SG<sup>۲</sup>) را می‌توان در سه لایه طبقه‌بندی کرد [۲۰-۲۲]. لایه اول، برای نظارت بر وضعیت تجهیزات استفاده می‌شود. لایه دوم اینترنت اشیا، برای جمع‌آوری اطلاعات از تجهیزات با استفاده از تجهیزات اینترنت اشیا متصل به شبکه استفاده می‌شود. لایه سوم، اینترنت اشیا برای کنترل شبکه‌های هوشمند از طریق رابط‌های برنامه استفاده می‌شود.

اما در [۲۳-۲۵]، ۴ لایه معماری پیشنهاد می‌شود، در این روش، لایه‌ها به ترتیب لایه سیستم ایستگاه اصلی، لایه شبکه ارتباط از راه دور، لایه شبکه میدانی و لایه پایانه هستند. به این ترتیب، از نظر متدولوژی و معماری، می‌توان از قابلیت همکاری بین دستگاه‌های مختلف فیزیکی و دیجیتال به روش‌های مختلف با زیرساخت‌های اینترنت اشیا اطمینان حاصل کرد.

استفاده از روشهای معماری مبتنی بر ابر، کنترل انرژی را از حالت ایستا به پویا تبدیل می‌کند، این روش سیستم را کارآمدتر می‌کند. این

مجموعه شامل چهار جزء اصلی است، یعنی سیاست صرفه‌جویی در مصرف منابع متعدد انرژی، نظارت و کنترل از طریق تلفن‌های همراه، کنترل خودکار مبتنی بر مکان و یک بستر محاسبات ابری برای ذخیره و محاسبه داده‌ها [۲۶، ۲۷]. به طور خلاصه، ابر اطلاعات اولیه ذخیره و بازیابی اطلاعات را برای داده‌های مصرف انرژی هر ساختمان ارائه می‌دهد.

معماری شبکه هوشمند آخرین-کنترل، بخشی از SG است که به خانه نزدیک تر است، یعنی قسمتی که مصرف کنندگان با آن ارتباط برقرار می‌کنند [۲۸-۳۰]. این معماری شامل سه جزء اصلی، سنسور و شبکه محرک، سرور اینترنت اشیا و رابط کاربری است. در این روش، با ارتباط دو طرفه به کاربر اجازه داده می‌شود که سرورها و گره‌های فعال کننده را از طریق سرورهای اینترنت اشیا پیکربندی، برنامه‌ریزی و بازجویی کند. این معماری از قابلیت اضافه یا حذف اجزای شبکه در زمان آنی پشتیبانی می‌کند. در نتیجه هر گره می‌تواند بدون تغییر شبکه به شبکه عمومی بپیوندد و به طور خودکار از رابط مدیریت شبکه برای ثبت شناسه در دسترس باشد. این مقاله با ایجاد تغییرات مطابق با نیازهای شبکه، معماری مورد نظر را پیاده‌سازی می‌کند.

در گذشته، برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا (DRP<sup>۵</sup>) به عنوان ارتباط داده‌های یک طرفه اجرا می‌شد و توسط شرکت‌های خدمات یا اپراتورهای مستقل سیستم (ISO<sup>۶</sup>)، جمع‌کننده‌ها، شرکت‌های کنترل شخص ثالث و غیره) اجرا می‌شد. با معرفی خانه‌های هوشمند و ایجاد زیرساخت‌های ارتباطی، قابلیت اجرای این برنامه‌ها با ارتباطات دو طرفه ایجاد شد. مفاهیم و مدل‌های متعددی برای مطالعه و تجزیه و تحلیل انواع روشهای DRP موجود در مرجع [۳۱] ایجاد شده است، مفهوم کشش ارائه شده است که نوعی بیان از حساسیت تقاضا در پاسخ به تغییرات قیمت برق است. پیش از این، مدل تقاضا برای انواع مختلف DRP معرفی شده بود [۳۲]، در این مرجع، میزان تقاضا بر اساس DRP‌های مختلف و تأثیرات آنها بر برخی پارامترهای مهم مانند بار پیک، مصرف کل انرژی، ضریب بار و پیک شبیه‌سازی شده است. فرض بر این است که محاسبات منحنی بار در شلوغ‌ترین روز سال است.

در اکثر این مطالعات و مدل‌ها، فرض بر این است که تقاضای اولیه برای بار قبل از استفاده از برنامه‌ها بر اساس منحنی ثابت تغییر می‌کند اما در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا می‌تواند ما را به سیستم واقعی نزدیک کند. در نتیجه، ما می‌توانیم با چالش‌های اجرای چنین برنامه‌هایی در سیستم‌های مدرن با ارتباطات دو طرفه بیشتر آشنا شویم.

## ۱-۲- شکاف تحقیق

بر اساس مرور ادبیات، محدودیت‌های زیر را می‌توان در تحقیقات قبلی یافت.

- یکی از مهمترین چالش‌ها در سیستم‌های آینده نحوه پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخگویی تقاضا است که در مطالعات قبلی به صورت کامل مشخص نشده‌اند. رفع ایراد حجم زیاد اطلاعاتی که برای اجرا، نیاز به تبادل دارند کمتر مورد بحث قرار گرفته است.
- این سیستم‌ها با تمام هوشمندی خود، به دلیل رفتار جمعی دارای عدم قطعیت هستند و می‌توانند در هر نقطه از سیستم آزار دهنده باشند، به ویژه اگر بر هزینه و درآمد شرکت‌ها تأثیر بگذارند. کوچکترین تغییر در رفتار می‌تواند تغییرات زیادی در ساختار و نتیجه کلی داشته باشد.
- برای پرکردن شکاف‌های تحقیق، این مقاله از شهرک‌های هوشمند استفاده می‌کند. در نتیجه، برخی از مشکلات سیستم در این چارچوب حل می‌شوند، جایی که مشارکت عمده به شرح زیر ذکر شده است.

## ۱-۳- ره آورد تحقیق

سهم اصلی این مقاله به شرح زیر است:

- حل مسئله برنامه‌ریزی تولید روز پیش رو ژنراتورها در بازار برق تجدید ساختار یافته که هدف آن حداکثرسازی سود شرکت‌های تولید کننده است. در این مورد، با توجه به پاسخگویی تقاضا، تأثیر آن بر زمان‌بندی و سودآوری تولیدکنندگان به وضوح قابل مشاهده خواهد بود.
  - با در نظر گرفتن عدم قطعیت در میزان تقاضا، سیستم را با سناریوهای مختلف به واقعیت نزدیک خواهد شد.
  - مدلسازی عمر زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته (AMI<sup>۷</sup>) برای بررسی تأثیر آن بر ارسال سیگنال‌های ارتباطی.
  - ایجاد یک مفهوم جدید برای کاهش حجم زیاد انتقال اطلاعات به ابر. که این حالت به افزایش امنیت و قابلیت اطمینان کمک می‌کند.
  - بررسی چالش‌های اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا و ارائه راه حل برای اجرای آن در سیستم‌های مدرن.
- مدل برنامه‌نویسی صحیح مختلط (MIP<sup>۸</sup>) مسئله تعهد واحد مبتنی بر سود (PBUC) توسط CPLEX در نرم افزار GAMS حل می‌شود. عدم قطعیت تقاضا با تابع توزیع نرمال مدلسازی می‌شود.

## ۱-۴- ساختار مقاله

طرح کلی مقاله بدین شرح می‌باشد که، بخش ۲ در مورد فرمول‌بندی مسئله و معرفی شاخص‌ها و تابع هدف است. چارچوب مدل در بخش ۳ پیشنهاد شده است. سیستم‌های مورد مطالعه و نتایج عددی در بخش ۴ ارائه شده است. در نهایت، نتیجه‌گیری در بخش ۵ ارائه شده است.

## ۲- فرمولبندی مسئله

در یک سیستم تجدید ساختار شده، تولیدکنندگان می‌توانند توان را در بازارهای انرژی و رزرو به فروش برسانند. این بازار یک محیط رقابتی انرژی را برای تولیدکنندگان و مشتریان ایجاد می‌کند. مبلغ پرداختی برای توان و رزرو فروخته شده بستگی به نحوه پرداخت برای رزرو دارد [۳۳]. پرداختی برای رزرو تخصیص یافته در این مقاله به نحوی در نظر گرفته شده است که در آن GENCO وجه را به ازای هر واحد رزرو در هر دوره زمانی که اختصاص داده شده و استفاده نشده دریافت می‌کند. اما هنگامی که از رزرو استفاده می‌شود، تولیدکننده بر اساس قیمت بازار لحظه‌ای وجه را دریافت می‌کند. در این روش، قیمت رزرو در حالت بدون استفاده بسیار کمتر از قیمت لحظه‌ای است. هدف PBUC به حداکثر رساندن سود شرکت‌های تولیدکننده با برآوردن محدودیت‌های مختلف واحدها و سیستم است. این یک مسئله بهینه‌سازی ریاضی است که می‌تواند به صورت زیر فرمول‌بندی شود:

## ۲-۲- محدودیت‌ها

### ۲-۲-۱- محدودیت تقاضا

$$\sum_{i=1}^N P_{its} U_{it} \leq PDR_{t,s} \quad (i \in I, t \in T, s \in S) \quad (5)$$

محدودیت تقاضا برای تعداد  $S$  سناریو و ۲۴ ساعت، همچنین  $PDR_{t,s}$  مدل پاسخگویی به تقاضا است.

### ۲-۲-۲- محدودیت رزرو

$$\sum_{i=1}^N R_{it} U_{it} \leq SR_t \quad (i \in I, t \in T) \quad (6)$$

در صورتی که از رزرو استفاده نشود، قیمت آن معادل ۱٪ قیمت بازار لحظه‌ای است، اما در صورت استفاده، برابر با قیمت لحظه‌ای خواهد بود.

### ۲-۲-۳- محدودیت‌های توان و رزرو

$$0 \leq R_{it} \leq P_i^{max} - P_i^{min} \quad (i \in I, t \in T, s \in S) \quad (7)$$

مقدار تولید به حداقل و حداکثر مقادیر داده شده در جدول ۱ محدود می‌شود.

$$0 \leq R_{it} \leq P_i^{max} - P_i^{min} \quad (i \in I, t \in T) \quad (8)$$

میزان رزرو برابر است با تفاوت بین حداکثر بازه توان قابل تولید منهای حداقل بازه توان قابل تولید ارائه شده در جدول ۱.

$$P_{it} + R_{it} \leq P_i^{max} \quad (i \in I, t \in T) \quad (9)$$

مجموع تولید و رزرو هر ژنراتور باید از حداکثر مقدار آن کمتر باشد تا بتوان از آن در صورت نیاز به رزرو استفاده نمود.

### ۲-۲-۴- حداقل و حداکثر زمان روشن و خاموش شدن واحدها

$$T_{oni} \geq T_{upi} \quad (10)$$

$$T_{offi} \geq T_{downi}$$

این پارامتر در حاشیه سود مؤثر است، ژنراتور جدید باید روشن شود یا ژنراتور فعلی باید حداکثر تولید را انجام دهد.

### ۲-۲-۵- متغیرهای کمکی

$$x_{n,t,s} + y_{n,t,s} \leq 1 \quad (n \in N, t \in T, s \in S) \quad (11)$$

متغیرهایی که وظیفه روشن و خاموش کردن واحدها را بر عهده دارند.

### ۲-۲-۶- درآمد از مشترک

$$inc_{t,s} = Pc_{t,s} DP_t \quad (t \in T, s \in S) \quad (12)$$

### ۲-۱- تابع هدف

تابع هدف بر اساس [۳۴] به شرح زیر است:

$$\max \sum_{s=1}^S \rho_s [PF = RV - TC] \quad (1)$$

جایی که  $\rho_s$  احتمال سناریو،  $RV$  درآمد و  $TC$  هزینه کل است.

۲-۱-۱- درآمد ( $RV$ ) و هزینه کل عملیات ( $TC$ ) به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$RV_s = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (P_{i,t,s} SP_t) U_{i,t} \quad (2)$$

$$+ \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N ((1-r) RP_t + r SP_t) R_{i,t} U_{i,t} + \sum_{t=1}^T (pen_{t,s})$$

$$TC_s = (1-r) \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N F(P_{i,t,s}) U_{i,t} \quad (3)$$

$$+ r \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N F(P_{i,t} + R_{i,t}) U_{i,t} SC_{i,t} (1 - U_{i,t-1}) U_{i,t} + \sum_{t=1}^T ins_{t,s}$$

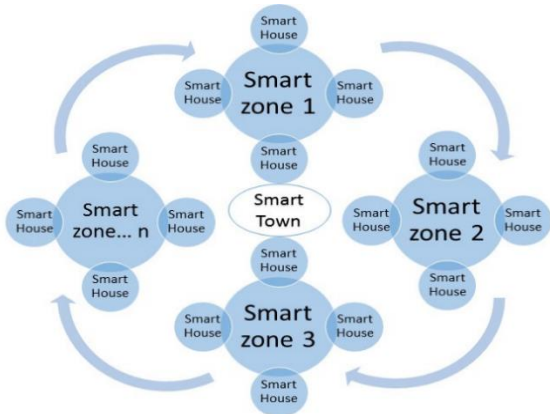
که در آن  $r$  احتمال فراخوانی و تولید تولید رزرو،  $SP_t$  قیمت لحظه‌ای،  $RP_t$  قیمت رزرو که برابر است با  $0.01 * SP_t$ ،  $ins_{t,s}$  مبلغ پرداختی به مصرف‌کنندگان برای کاهش بار آنها،  $pen_{t,s}$  پناالتی مصرف‌کننده است.

$F(P_{it})$  تابع هزینه سوخت ژنراتور  $i$  در زمان  $t$  به صورت زیر است:

$$F(P_{it}) = a_i + b_i P_{it} + c_i P_{it}^2 \quad (4)$$

مصرف انرژی کمک می‌کند. واحد کنترل همچنین به مصرف‌کنندگان اطلاع می‌دهد تا مشکلات عملکرد دستگاه‌ها را شناسایی کنند، این اطلاعات از طریق سنسورها خوانده شده و از طریق زیرساخت‌های موجود ذخیره می‌شوند. این اطلاعات برای تولیدکنندگان لوازم خانگی و شرکت‌های خدماتی در شناسایی مشکل و علت بروز این مشکل ارزشمند خواهد بود.

اینترنت اشیا (IoT) در جنبه‌های مختلف شبکه هوشمند در خانه‌های هوشمند از جمله جمع‌آوری اطلاعات مصرف برق مصرف‌کننده، نظارت و کنترل بار اعمال می‌شود. فناوری اینترنت اشیا نیز خدمات خود را به NAN‌ها ارائه می‌دهد و گروهی از خانه‌های هوشمند در یک محله را از طریق NAN به هم متصل می‌کند و یک جامعه هوشمند را تشکیل می‌دهد [۳۵]. با ایجاد مفهوم جامعه هوشمند، شهرهای هوشمند شکل می‌گیرند. این مفهوم می‌تواند منجر به ساخت شهرک‌های هوشمند شود که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): شهرک‌های هوشمند بخش کوچکتری از شهرهای هوشمند هستند

به طور سنتی، داده‌های مصرفی مصرف‌کنندگان در فواصل زمانی خاصی جمع‌آوری می‌شد، اما با زیرساخت اینترنت اشیا، امکان استفاده از زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) [۳۶] یا سیستم خواندن از راه دور بر اساس WSN [۳۷] و PLC و PLC نوری امکان‌پذیر است. کنتورهای AMI (یا کنتورهای هوشمند) نسخه‌های دیجیتال کنتورهای قدرت سنتی هستند که در خارج از خانه مستقر شده‌اند. AMI علاوه بر اندازه‌گیری مصرف برق، اطلاعات انرژی و قیمت‌گذاری را نیز از شرکت‌های خدمات‌رسانی به مصرف‌کننده منتقل می‌کند. بنابراین، با کمک اینترنت اشیا، می‌توان یک ارتباط دو طرفه برقرار کرد.

هنگامی که قیمت برق بالا است، مصرف‌کنندگان می‌توانند با کاهش مصرف برق یا شرکت در برنامه‌های پاسخگویی تقاضا، در مصرف برق صرفه‌جویی کنند. اهمیت این سیستم در سرعت، دقت و کارایی داده‌های مصرف برق است. با این زیرساخت، برنامه‌های پاسخگویی تقاضا را می‌توان به راحتی پیاده‌سازی کرد. با اجرای چنین برنامه‌هایی، هم تولیدکننده و هم مصرف‌کننده به نقطه تعادل

که در آن  $P_{C_{t,s}}$  مقدار بار بعد از اجرای برنامه پاسخگویی تقاضا است که در آن  $DP_t = SP_t$  و  $P_{C_{t,s}}$  به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{C_{t,s}} = 0.9(PDE_{s,t}.PD_t) + 0.1(PDR_{t,s}) \quad (13)$$

که در آن مدل پاسخگویی به تقاضا  $PDR_{t,s}$  است،  $PD_t$  تقاضای پیش‌بینی شده و  $PDE_{s,t}$  سناریوهای تقاضای پیش‌بینی شده است.

## ۲-۲-۷- پرداخت هزینه به مصرف‌کنندگان برای کاهش بار آنها

$$ins_{t,s} = Price_t(PDE_{s,t}.PD_t) - P_{C_{t,s}} \quad (14)$$

این هزینه برای جلب رضایت مصرف‌کنندگان برای اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا در نظر گرفته شده است. در این سیستم هوشمند، قیمت را می‌توان مستقیماً از قبض مشترک کسر کرد. در نتیجه، شانس پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا افزایش می‌یابد.

## ۲-۲-۸- پناالتی مشترک

$$Pen_{t,s} = PP_t(PIC_t - (PDE_{s,t}.PD_t) - P_{C_{t,s}}) \quad (15)$$

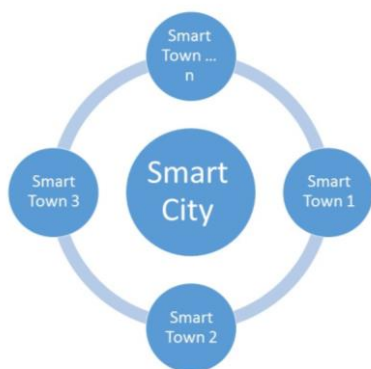
در صورتی که DRP‌ها تعهد شده توسط مشترک اجرا نشوند، این مبلغ از مشترک به عنوان جریمه عدم اجرا دریافت می‌شود، که در آن  $PP_t$  قیمت جریمه،  $PIC_t$  مقدار تقاضای قرارداد شده برای پاسخگویی به تقاضا است که ۱۰٪ بار ساعتی است، اما این عدد ثابتی نیست و بسته به موقعیت‌های متفاوت می‌تواند تغییر کند.

## ۳- روش شناسی

### ۳-۱-۱-۱- خانه هوشمند

این سیستم‌ها دارای خانه‌های کاملاً هوشمند هستند، به عبارت دیگر، تمام لوازم خانگی مانند یخچال و فریزر، سیستم‌های سرمایش و گرمایش، ماشین‌های ظرفشویی و ماشین‌های لباسشویی همه دارای گره‌های حسگر و عملگر هستند که داده‌های آنها را به واحد کنترل خانه منتقل می‌کنند و واحد کنترل با شبکه بالادستی تعامل دارد. بنابراین، کاربران می‌توانند دستگاه‌ها را از راه دور از هر کجا و هر زمان کنترل کنند. این مزیت برای این سیستم مهم است زیرا می‌تواند قابلیت اطمینان را هنگام اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا افزایش دهد. در صورتی که تجهیزات مورد انتظار در خانه برای جلوگیری از پناالتی دادن قطع نشود، در مدت اجرای برنامه‌های پاسخگویی تقاضا، کاربر می‌تواند شخصاً به سیستم در اجرای این برنامه‌ها کمک کند.

بنابراین خانه‌های هوشمند عنصر کلیدی تعامل در زمان واقعی شبکه هوشمند بین کاربران و شبکه هستند. همچنین با استفاده از این فناوری، کاربر می‌تواند ساعات استفاده از وسایلی مانند ماشین لباسشویی را به ساعات کم مصرف منتقل کند و این به بهینه‌سازی



شکل (۲): شهر هوشمند از مجموعه‌ای از شهرک‌های هوشمند ساخته می‌شود

ارتباطات دو طرفه با این زیرساخت آسان تر خواهد بود، ارسال پیام به هر خانه، فقط نیاز به ارسال پیام به مرکز داده شهرک مورد نظر هر خانه را دارد، و نیازی به ارسال مستقیم آن به هر خانه نیست و می‌توانید مجموعه‌ای از پیامها را از مرکز داده اصلی به تمام آدرسهای ذخیره شده به مرکز داده محلی ارسال کنید. این مجموعه اقدامات قابلیت اطمینان و امنیت را افزایش می‌دهد.

با چنین سیستمی، می‌توان داده‌های مصرف انرژی را برای هر خانه طبقه‌بندی کرد، در این صورت گران‌ترین لوازم به ترتیب نوشته می‌شوند. برخی از مهمترین داده‌های ذخیره‌سازی، از بیشترین مصرف تا کمترین مصرف، به دلیل استفاده از برنامه‌های پاسخگویی تقاضا به مرکز داده منتقل می‌شوند، این اطلاعات جدا از کل اطلاعات مصرف هر خانه ذخیره می‌شود. هنگام پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخگویی تقاضا، کاربر می‌تواند با استفاده از روش‌های مختلف به اطلاعات ابری دسترسی داشته باشد و این دستگاه‌های پرمصرف برای مشارکت در برنامه پاسخگویی به تقاضا در اولویت خواهند بود. با دسترسی به این اطلاعات، کاربر همچنین می‌تواند مصرف انرژی را بهینه کند. کاربر از دروازه محلی برای دسترسی به اطلاعات ذخیره شده در ابر استفاده می‌کند. در این مورد، از همان ابتدا با IP خود به مرکز داده متصل می‌شود، بنابراین به اطلاعات طبقه‌بندی شده مربوط به خانه خود دسترسی مستقیم دارد. داده‌های مصرف هر دستگاه توسط یک سنسور اندازه‌گیری می‌شود و در نهایت داده‌های کامل و بی‌نقص با پردازش محلی جدا می‌شوند. این کار با محاسبه محلی در هر شهرک برای هر خانه انجام می‌شود و از طریق زیرساخت‌های موجود برای ذخیره به مرکز داده ابری منتقل می‌شود.

بنابراین، ما می‌توانیم از شهرک‌های هوشمند و رایانش ابری به طور همزمان استفاده کنیم. در شهرک‌های هوشمند، محاسبات اساسی و طبقه‌بندی اولیه انجام می‌شود و در رایانش ابری، محاسبات و ذخیره‌سازی پیچیده‌تری انجام می‌شود و همچنین شرایط دسترسی به همه ابزارهای کاربردی در هر مکانی وجود دارد. به دلیل تکه تکه شدن اطلاعات و طبقه‌بندی آن، لایه‌های امنیتی افزایش یافته و در نتیجه قابلیت اطمینان و امنیت خانه‌های هوشمند بیشتر شده است.

می‌رسند. اما این مقاله با در هدف حداکثر کردن سود شرکتهای تولید این مسئله را حل خواهد کرد.

با توجه به داده‌های مصرف برق در گذشته که در مرکز داده ذخیره می‌شود، با در نظر گرفتن عدم قطعیت می‌توان میزان تقاضا را بدست آورد. مطالعات آماری نشان می‌دهد که رفتار بار الکتریکی مصرف کنندگان نامطمئن است و از یک تابع توزیع نرمال پیروی می‌کند. رابطه (۱۶) تابع چگالی احتمال را نشان می‌دهد. در این توزیع، مقدار متوسط برابر با مقدار پیش‌بینی شده در نظر گرفته می‌شود و میزان انحراف از معیار با توجه به اطلاعات تاریخی تعیین می‌شود.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (16)$$

### ۳-۱-۲- شهرک‌های هوشمند

شهرک‌های هوشمند سعی می‌کنند مشکلات حجم بالای داده‌های خانه‌های هوشمند و سایر مشکلات را با کمک محاسبات محلی حل کنند. در گذشته، با توجه به رایانش ابری، میزان اطلاعات ذخیره شده در آن بسیار زیاد بود و کنترل یکی از مهمترین بخشهای اینترنت اشیاء، یعنی کنترل از راه دور لوازم خانگی، عملاً دشوار بود. با این مشکل، اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا با کنترل لوازم خانگی غیرممکن به نظر می‌رسد. اگر سیستم ما می‌خواهد به یک شبکه هوشمند تبدیل شود، باید بتواند از تمام ویژگی‌های خانه‌های هوشمند در مقیاس بزرگتر بهره‌مند شود.

با ترکیب چندین خانه هوشمند، شهرک‌های هوشمند ایجاد می‌شود که از این شهرک‌ها برای بهره‌مندی از تمام مزایای خانه‌های هوشمند در مقیاس بزرگتر استفاده می‌شود. همانطور که گفته شد، به دلیل حجم بالای داده‌ها در این خانه‌ها، رایانش آنها در ابرها برای مجموعه‌های بزرگ بسیار دشوار است. اما با طبقه‌بندی هر شهر هوشمند در ابعاد کوچکتر (شکل ۲ را ببینید) و انجام محاسبات اولیه به صورت محلی این مشکل تا حدودی رفع خواهد شد. داده‌های هر خانه هوشمند با برچسب زدن به مرکز داده محلی برای پردازش محلی از طریق زیرساخت اینترنت اشیاء منتقل می‌شود. پس از پردازش اولیه، با تعیین داده‌های مهم و مورد نیاز، داده‌های هر شهرک با برچسب قبلی به مرکز داده اصلی (ابر) برای محاسبه و ذخیره اصلی ارسال می‌شود. این داده‌ها می‌تواند میزان مصرف برق یا اطلاعات مربوط به خرابی دستگاه و غیره باشد.

### ۳-۱-۳- پاسخگویی به تقاضا

مدیریت سمت تقاضا در بخش خانگی و زیرساخت‌های هوشمند مبتنی بر برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا است که بین مصرف‌کننده و شرکت‌های تولید کننده (GENCO) تعامل دارد. طبق تعریف، پاسخگویی به تقاضا در واقع شامل تغییراتی در مصرف اولیه انرژی الکتریکی توسط کاربر نهایی می‌شود، در پاسخ به تغییرات در قیمت و در پاسخ به طرح‌های تشویقی که برای کاهش مصرف در زمان بالا بودن قیمت‌های عمده فروشی بازار، یا هنگامی که قابلیت اطمینان سیستم به خطر بیفتد، طراحی شده است. [۳۸، ۳۹].

در زمان‌بندی سیستم قدرت، برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا تأثیرات متفاوتی بر منحنی مصرف دارند [۴۰] و بنابراین شاخصهای فنی و اقتصادی شامل (پیک سایه، جابجایی بار، انتقال پیک بار به ساعات دیگر، انتقال مصرف به دره‌های منحنی و ایجاد منحنی بار مسطح) است. برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند. اول برنامه‌های نرخ مبتنی بر زمان (TBRPs) و دوم برنامه‌های مبتنی بر انگیزه (IBPs). در این مقاله از روش IBPs استفاده شده است. با توجه به نوع پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا، زیرساخت اینترنت اشیا می‌تواند متناسب با آن طراحی شود، اما برای حفظ حریم خصوصی کاربر، کنترل بار اغلب منجر به ناهنجاری می‌شود، بنابراین برای اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا می‌توانیم آن را به کاربر بسپاریم. به این ترتیب، بار به طور مستقیم کنترل می‌شود، اما به تشخیص کاربر و برای افزایش شانس اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا مجازاتی در نظر گرفته می‌شود. مدل پاسخگویی به تقاضا از [۴۱] به شرح زیر آورده شده است:

$$PDR_{t,s} = \left( PD_t + PD_t \cdot E_{t,t} \cdot \left( \frac{DP_t - SP_t}{SP_t} + Price_t + PP_t \right) \right) + \sum_{t=1}^T PD_t \cdot E_{t,tp} \cdot \left( \frac{DP_t - SP_t + Price_t + PP_t}{SP_t} \right) \quad (17)$$

کشش به عنوان حساسیت تقاضا نسبت به قیمت تعریف می‌شود:

$$E(i,i) = E_{i,i} = \frac{P(i)}{d(i)} \frac{\partial d(i)}{\partial P(i)} \quad (18)$$

با توجه به معادله (۱۸)، کشش قیمت دوره  $i$  در مقابل دوره  $j$  می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$E(i,j) = E_{i,j} = \frac{\partial d(i)}{\partial P(j)} \frac{P(j)}{d(i)} \quad (19)$$

با در نظر گرفتن تابع خطی، تقاضا به شرح زیر است:

$$d(i) = -a_i \cdot P(i) + b_i \quad (20)$$

بنابراین، با استفاده از معادله (۱۸)، کشش خودی تقاضا را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$E(i,i) = \frac{-a_i P(i)}{-a_i P(i) + b_i} \quad (21)$$

در نتیجه، با استفاده از کشش متقاطع تقاضا (دوره  $i$  در مقابل دوره  $j$ ) می‌توان به صورت زیر فرمول‌بندی کرد:

$$E(i,j) \quad (22)$$

$$= \frac{-2a_i^2 \cdot P(j) + a_i \cdot b_i}{\left\{ b_i^2 + 4 \left[ -a_i^2 (P(j)^2 + P(k)^2) + a_i \cdot b_i (P(j) + P(k)) - a \cdot I \right] \right\}^{1/2}} \times \frac{P(i)}{-a_i P(i) + b_i}$$

برخی از بارها قادر به جابجایی از یک دوره به دوره دیگر نیستند (به عنوان مثال بارهای روشنایی) و می‌توانند فقط روشن یا خاموش باشند. بنابراین، چنین بارهایی فقط در یک دوره دارای حساسیت هستند و به آن "کشش خودی" می‌گویند که همیشه دارای ارزش منفی است. برخی از مصرف‌ها را می‌توان از دوره اوج به دوره‌های غیر پیک یا کم (به عنوان مثال بارهای فرایندی) منتقل کرد. چنین رفتاری حساسیت چند دوره‌ای نامیده می‌شود و با "کشش متقابل" که همیشه مثبت است ارزیابی می‌شود [۴۲]. بر این اساس، برای یک دوره برنامه‌ریزی ۲۴ ساعته، کشش‌های خودی و متقاطع را می‌توان در ماتریس ۲۴ در ۲۴ به شرح زیر ترتیب داد:

$$\begin{bmatrix} \Delta d(1) \\ \Delta d(2) \\ \Delta d(i) \\ \dots \\ \Delta d(24) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta P(1) \\ \Delta P(2) \\ \Delta P(j) \\ \dots \\ \Delta P(24) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E(1,1) & E(2,1) & \dots & \dots & E(1,24) \\ E(2,1) & E(2,2) & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & E(i,j) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E(24,1) & \dots & E(24,j) & \dots & E(24,24) \end{bmatrix} \quad (23)$$

### ۳-۱-۴- مدل سازی طول عمر AMI

در سیستم‌های هوشمند مدرن، عملکرد بهینه تمام قسمت‌های شبکه بسیار مهم است. مهمترین این اجزا کنتورهای هوشمند هستند که زیرساخت اصلی ارتباطات دو طرفه بین کاربر و شبکه اصلی هستند. در این بخش، این مقاله به چالش‌های پیش روی این سیستم‌ها در صورت بروز چنین مشکلی پرداخته و تأثیر آن را بر عملکرد سیستم می‌پردازد. از توزیع احتمال برای مدیریت عدم قطعیت داده‌های موجود با هدف تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. توزیع

تابع قابلیت اطمینان از احتمال بقای تجهیزات برای مدت زمان خاص تعیین می‌شود. تابع قابلیت اطمینان برای سیستم AMI را می‌توان با (۲۶) تعریف کرد.

$$R(t, T) = \int_t^{\infty} f(u, T) du = 1 - \int_0^t f(u, T) du \quad (26)$$

$$= 1 - f(t, T)$$

$$= e^{-\left(\frac{t}{\eta} e^{-\frac{E_{\eta 1}}{RT}}\right)^{\beta(T)}}$$

که در آن  $R(t, T)$  تابع قابلیت اطمینان AMI است.

میانگین مکرری که برخی از تجهیزات از کار می‌افتند نرخ خرابی نامیده می‌شود.

نرخ خرابی نشان دهنده تأثیر طول عمر بر قابلیت اطمینان است. افزایش میزان خرابی اقلام نشان دهنده پیری آنها است. با آگاهی از

Weibull در تجزیه و تحلیل بسیاری از مشکلات مفید است. این یک تعمیم توزیع نمایی است. برای مدلسازی طول عمر قطعه با تابع نرخ خرابی چرخشی مناسب است. تابع چگالی احتمال دو پارامتر (PDF) برای سیستم AMI را می‌توان با (۲۴) توصیف کرد.

$$f(t, T) \quad (24)$$

$$= \frac{\beta(T)}{\eta} \cdot e^{-\frac{E_{\eta 1}}{RT}} \cdot \left(\frac{t}{\eta} e^{-\frac{E_{\eta 1}}{RT}}\right)^{\beta(T)-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta} e^{-\frac{E_{\eta 1}}{RT}}\right)^{\beta(T)}}$$

که در آن  $\beta$  پارامتر شکل است،  $\eta$  پارامتر مقیاس است،  $t$  زمان کارکرد و  $T$  دما است.

تابع خرابی، احتمال خرابی سیستم/جزء قبل یا در لحظه عملکرد است. تابع خرابی سیستم AMI را می‌توان با (۲۵) محاسبه کرد.

$$f(t, T) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta} e^{-\frac{E_{\eta 1}}{RT}}\right)^{\beta(T)}} \quad (25)$$

جدول شماره (۱): داده‌های واحد‌ها برای سیستم ۱۰ واحدی

Unit	$P_i^{Min} (MW)$	$P_i^{Max} (MW)$	Cost Coefficients			$SC_{it} (\$)$	$T_{UPi} (\text{hours})$	$T_{Downi} (\text{hours})$	Initial status
			$a_i$	$b_i$	$c_i$				
۱	۱۵۰	۴۵۵	۱۰۰۰	۱۶.۱۹	۰.۰۰۰۴۸	۴۵۰۰	۸	۸	۸
۲	۱۵۰	۴۵۵	۹۷۰	۱۷.۲۶	۰.۰۰۰۳۱	۵۰۰۰	۸	۸	۸
۳	۲۰	۱۳۰	۷۰۰	۱۶.۶	۰.۰۰۲۱۱	۵۵۰	۵	۵	-۵
۴	۲۰	۱۳۰	۷۰۰	۱۶.۵	۰.۰۰۲	۵۶۰	۵	۵	-۵
۵	۲۵	۱۶۲	۴۵۰	۱۹.۷	۰.۰۰۳۹۸	۹۰۰	۶	۶	-۶
۶	۲۰	۸۰	۳۷۰	۲۲.۲۶	۰.۰۰۷۱۲	۱۷۰	۳	۳	-۳
۷	۲۵	۸۵	۴۸۰	۲۷.۷۴	۰.۰۰۰۷۹	۲۶۰	۳	۳	-۳
۸	۱۰	۵۵	۶۶۰	۲۵.۹۲	۰.۰۰۴۱۳	۳۰	۱	۱	-۱
۹	۱۰	۵۵	۶۶۵	۲۷.۳۷	۰.۰۰۲۲۲	۳۰	۱	۱	-۱
۱۰	۱۰	۵۵	۶۷۰	۲۷.۷۹	۰.۰۰۱۷۳	۳۰	۱	۱	-۱

جدول شماره (۲): قیمت‌های رزرو و بازار لحظه‌ای پیش‌بینی شده

Hour	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Spot Price (\$)	۲۲.۱۵	۲۲	۲۳.۱	۲۲.۶۵	۲۳.۲۵	۲۲.۹۵	۲۲.۵	۲۲.۱۵
Reserve Price (\$)	۰.۲۲۱۵	۰.۲۲	۰.۲۳۱	۰.۲۲۶۵	۰.۲۳۲۵	۰.۲۲۹۵	۰.۲۲۵	۰.۲۲۱۵
Hour	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
Spot Price (\$)	۲۲.۸	۲۹.۳۵	۳۰.۱۵	۳۱.۶۵	۳۴.۶	۳۴.۵	۲۲.۵	۲۲.۳
Reserve Price (\$)	۰.۲۲۸	۰.۲۹۳۵	۰.۳۰۱۵	۰.۳۱۶۵	۰.۳۴۶	۰.۳۴۵	۰.۲۲۵	۰.۲۲۳
Hour	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
Spot Price (\$)	۲۲.۲۵	۲۲.۰۵	۲۲.۲	۲۲.۶۵	۲۳.۱	۲۲.۹۵	۲۲.۷۵	۲۲.۵۵
Reserve Price (\$)	۰.۲۲۲۵	۰.۲۲۰۵	۰.۲۲۲	۰.۲۲۶۵	۰.۲۳۱	۰.۲۲۹۵	۰.۲۲۷۵	۰.۲۲۵۵

کارکرد سیستم در زمان، احتمال خرابی سیستم AMI در یک بازه زمانی کوتاه مدت را می‌توان با (۲۷) محاسبه کرد.



(۲۷)

$$\lambda(t, T) = \frac{f(t, T)}{R(t, T)}$$

$$= \frac{\beta(T)}{\eta} \cdot e^{-\frac{E_{\eta 1}}{RT}} \cdot \left( \frac{t}{\eta} \cdot e^{-\frac{E_{\eta 1}}{RT}} \right)^{\beta(T)-1}$$

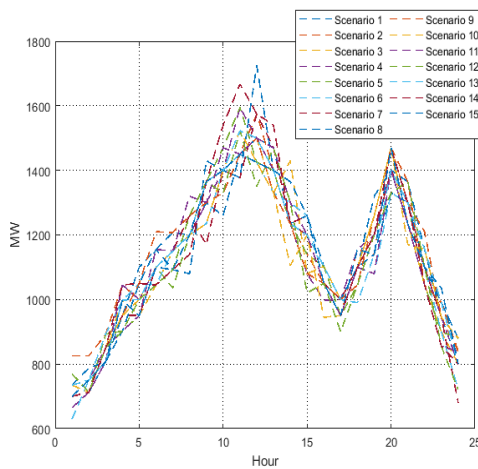
که در آن  $\lambda(t, T)$  نرخ خرابی AMI است.

مفید باشد. علاوه بر این، اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا مزایای مهمی مانند کاهش مصرف پیک بار را به همراه خواهد داشت. جدول ۳ سود شرکت‌های تولید را با اجرای ۱۵ سناریو در ۲۴ ساعت نشان می‌دهد.

این میزان سود در قالب مقایسه بسیار بیشتر از سود به دست آمده در حالت سنتی است. جدول ۴ مسئله را به صورت معمول و بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و پاسخگویی به تقاضا نشان می‌دهد.

تقاضای کل در سناریو ۶، هنگامی که کنترهای هوشمند داده‌ها را بدون خطا ارسال می‌کنند، در شکل ۵ نشان داده شده است.

میزان کاهش مصرف در هر سناریو به دلیل مشارکت در برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا در شکل‌های ۴-۷ برای چندین سناریو نشان داده شده است.



شکل شماره (۳): تقاضای کل در ۱۵ سناریو برای ۲۴ ساعت

جدول شماره (۳): تعهد واحد مبتنی بر سود تولید کنندگان (PBUC) با در نظر گرفتن پاسخگویی به تقاضا

Scenario	$RV_s$ (\$)	$TC_s$ (\$)	$PF$ (\$)	$\rho_s \cdot PF_s$ (\$)
S1	$1.1640 \cdot e^6$	$3.6939 \cdot e^5$	۷۹۴۶۱۰	۴۸۴۷۱.۲۱
S2	$1.1583 \cdot e^6$	$3.4967 \cdot e^5$	۸۰۸۶۳۰	۳۹۶۲۲.۸۷
S3	$1.1392 \cdot e^6$	$3.4319 \cdot e^5$	۷۹۶۰۱۰	۵۳۳۳۲.۶۷
S4	$1.1423 \cdot e^6$	$3.4392 \cdot e^5$	۷۹۸۳۸۰	۵۱۰۹۶.۳۲
S5	$1.1341 \cdot e^6$	$3.3989 \cdot e^5$	۷۹۴۲۱۰	۴۴۴۷۵.۷۶
S6	$1.1300 \cdot e^6$	$3.4163 \cdot e^5$	۷۸۸۳۷۰	۳۵۴۷۶.۶۵
S7	$1.1285 \cdot e^6$	$3.4380 \cdot e^5$	۷۹۴۷۰۰	۵۸۸۰۷.۸
S8	$1.1546 \cdot e^6$	$3.۴۷۷۳ \cdot e^5$	۸۰۶۸۷۰	۶۳۷۴۲.۷۳
S9	$1.1516 \cdot e^6$	$3.۴۹۳۱ \cdot e^5$	۸۰۲۲۹۰	۸۹۸۵۶.۴۸
S10	$1.1366 \cdot e^6$	$3.۴۴۸۹ \cdot e^5$	۷۹۱۷۱۰	۶۴۹۲۰.۲۲
S11	$1.1407 \cdot e^6$	$3.۵۷۸۲ \cdot e^5$	۷۸۲۸۸۰	۳۵۲۲۹.۶
S12	$1.1180 \cdot e^6$	$3.۳۴۹۵ \cdot e^5$	۷۸۳۰۵۰	۳۹۱۵۲.۵
S13	$1.1510 \cdot e^6$	$3.۴۷۳۵ \cdot e^5$	۸۰۳۶۵۰	۶۱۰۷۷.۴
S14	$1.1609 \cdot e^6$	$3.۴۶۲۸ \cdot e^5$	۸۱۴۶۲۰	۶۳۵۴۰.۳۶
S15	$1.14۷۷ \cdot e^6$	$3.۴۶۷۶ \cdot e^5$	۸۰۰۹۴۰	۴۹۶۵۸.۲۸
مجموع				۷۹۸۴۶۰.۹\$

## ۴- مطالعات شبیه سازی

### ۴-۱- چارچوب مطالعاتی

چارچوب زیرساخت اینترنت اشیا برای برنامه ریزی روزهای آینده شرکت‌های تولید کننده (GENCOs) در نرم افزار Gams پیاده‌سازی شده و یک سیستم استاندارد ۱۰ واحدی IEEE با پارامترهای مورد آزمایش در جدول ۱ استفاده شده است. ویژگی‌های برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا از [۴۱] گرفته شده است.

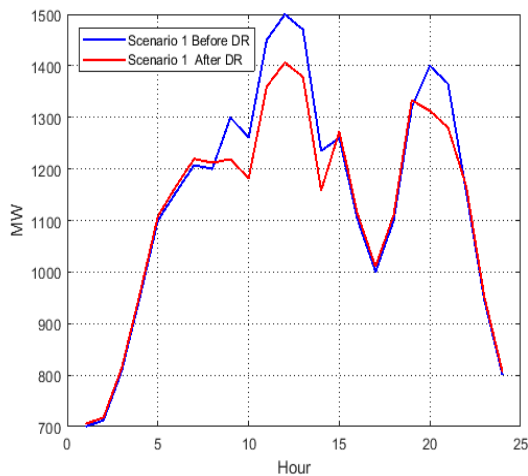
در این سیستم، Genco می‌تواند به طور همزمان در بازارهای انرژی و رزرو شرکت کرده و برنامه ریزی را با هدف حداکثرسازی سود تولید پیاده‌سازی کند (جدول ۲ قیمت بازار رزرو و لحظه‌ای را نشان داده است).

### ۴-۲- نتایج شبیه سازی

در اینجا در سیستم مدرن، سود شرکت‌های تولید با کمک شهرک‌های هوشمند در اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا افزایش یافته است. استفاده از این روش می‌تواند برای تولیدکنندگان بسیار

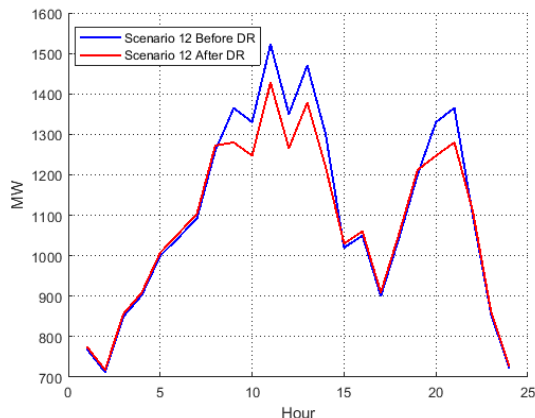
جدول شماره (۴): تعهد واحد مبتنی بر سود تولید کنندگان (PBUC) به صورت معمول

Hour	Unit										RV <sub>s</sub> (\$)	TC <sub>s</sub> (\$)	PF (\$)
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰			
۱	۱۰۰	۱۷۳	۲۰	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۱۵۴۹۳.۱۲۸	۱۱۵۳۶.۶۵۹	۳۹۵۶.۴۶۹
۲	۹۵	۲۲۸	۲۰	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۱۶۵۲۴.۶۶۷	۱۲۳۹۳.۹۸۲	۴۱۳۰.۶۸۵
۳	۸۵	۳۳۸	۲۰	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۱۹۶۶۴.۳۵۴	۱۴۱۰۸.۶۲۷	۵۵۵۵.۷۲۷
۴	۷۵	۴۴۸	۲۰	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۲۱۵۴۹.۶۶۹	۱۵۸۲۳.۲۷۲	۵۷۲۶.۳۹۷
۵	۷۰	۴۵۵	۶۸	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۲۳۲۸۴.۷۵۹	۱۶۷۴۳.۸۶۲	۶۵۴۰.۸۹۷
۶	۶۰	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۶۸	۸۵	۱۰	۰	۰	۲۵۲۸۲.۷۴۱	۱۸۶۱۹.۸۴۴	۶۶۶۲.۸۹۷
۷	۵۵	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۳	۰	۰	۲۵۹۱۳.۶۸۳	۱۹۵۸۱.۸۰۸	۶۳۳۱.۸۷۵
۸	۱۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۲۶۶۱۹.۷۳۷	۲۰۶۷۲.۹۶۸	۵۹۴۶.۷۶۹
۹	۲۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۲۹۶۸۴.۳۱۲	۲۲۸۶۴.۷۵۷	۶۸۱۹.۵۵۵
۱۰	۳۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۴۱۱۵۱.۴۳۰	۲۵۰۵۶.۵۴۵	۱۶۰۹۴.۸۸۵
۱۱	۳۵۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۴۳۷۸۲.۸۵۸	۲۶۱۵۲.۴۳۹	۱۷۶۳۰.۴۱۹
۱۲	۴۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۴۷۵۴۵.۹۷۵	۲۷۲۴۸.۳۳۳	۲۰۲۹۷.۶۴۲
۱۳	۳۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۳۴۴۹۱.۴۸۸	۲۵۰۵۶.۵۴۵	۹۴۳۴.۹۴۳
۱۴	۲۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۳۱۸۹۷.۶۱۶	۲۲۸۶۴.۷۵۷	۹۰۳۲.۸۵۹
۱۵	۱۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۲۷۰۴۰.۳۶۵	۲۰۶۷۲.۹۶۸	۶۳۶۷.۳۹۷
۱۶	۶۵	۴۵۵	۱۲۳	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۲۳۴۵۰.۰۰۵	۱۷۶۷۳.۶۷۸	۵۷۷۶.۳۲۷
۱۷	۷۰	۴۵۵	۶۸	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۲۲۲۸۳.۲۶۴	۱۶۷۴۳.۸۶۲	۵۵۳۹.۴۰۲
۱۸	۶۰	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۶۸	۸۵	۱۰	۰	۰	۲۴۲۹۱.۲۶۱	۱۸۶۱۹.۸۴۴	۵۶۷۱.۴۱۷
۱۹	۱۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۲۶۶۷۹.۸۲۷	۲۰۶۷۲.۹۶۸	۶۰۰۶.۸۵۹
۲۰	۳۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۳۱۷۵۷.۴۰۶	۲۵۰۵۶.۵۴۵	۶۷۰۰.۸۶۱
۲۱	۲۰۳	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۸۰	۸۵	۵۵	۰	۰	۳۰۰۷۴.۸۹۵	۲۲۸۶۴.۷۵۷	۷۲۱۰.۱۳۸
۲۲	۷۰	۴۵۵	۱۳۰	۱۳۰	۱۶۲	۶۸	۸۵	۱۰	۰	۰	۲۵۲۸۲.۷۴۱	۱۸۶۱۹.۸۴۴	۶۶۶۲.۸۹۷
۲۳	۸۰	۳۹۳	۲۰	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۲۰۵۰۵.۶۱۰	۱۴۹۶۵.۹۵۰	۵۵۳۹.۶۶۶
۲۴	۹۰	۲۸۳	۲۰	۱۳۰	۱۶۲	۲۰	۸۵	۱۰	۰	۰	۱۸۰۶۶.۹۷۰	۱۳۲۵۱.۳۰۴	۴۸۱۵.۶۶۶
مجموع											۶۵۲۳۱۸.۸\$	۴۶۷۸۶۶.۱\$	۱۸۴۴۵۲.۶\$

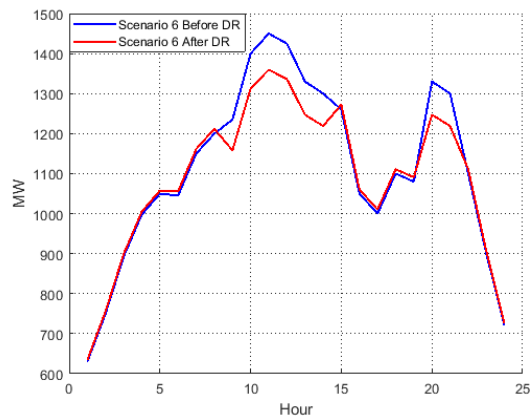


شکل شماره (۴): تقاضای کل در سناریو ۱ برای ۲۴ ساعت

طبق قرارداد با مصرف کنندگان، در ساعات اوج مصرف، خانه‌های هوشمند باید درصد معینی از مصرف خود را کاهش دهند. در این ساعات بسته به شرایط شبکه و قرار گرفتن در فصول مختلف سال میزان کاهش مصرف تعیین می‌شود. این امر با ارسال پیامی به مرکز شهرک‌های هوشمند به خانه‌های هوشمند اطلاع داده می‌شود. در اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا، اگر ما مبلغ تشویق و جریمه را برای ۱۰ درصد کاهش بار قرار دهیم و فقط میزان تشویق را برای کاهش بار از ۱۰ تا ۱۵ درصد به کاربران اختصاص دهیم، این عمل شرایط منحنی بار را بهبود می‌بخشد، اما در مقابل باعث کاهش حاشیه سود شرکت‌های تولید می‌شود. یکی از مزایای استفاده از این روش تضمین بیشتر در پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا است زیرا کاربران به دلیل دریافت سود بیشتر سعی در اجرای آن دارند. جدول ۵ نتایج این روش را نشان می‌دهد.

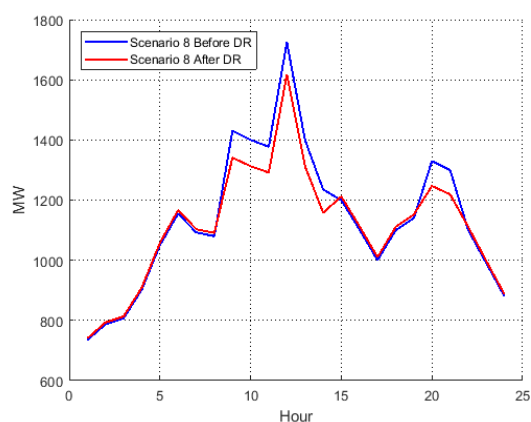


شکل شماره (۷): تقاضای کل در سناریو ۱۲ برای ۲۴ ساعت



شکل شماره (۵): تقاضای کل در سناریو ۶ برای ۲۴ ساعت

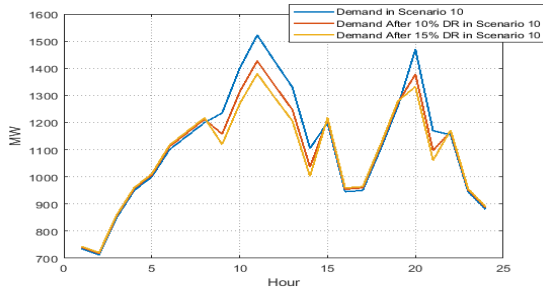
نتایج استفاده از این روش در شکل‌های ۸-۱۱ نشان داده شده است. نتایج متفاوتی برای سناریوهای مختلف ایجاد شده است، اما در همه سناریوها منحنی بار به ازای ۱۵ درصد کاهش بار و اجرای پاسخگویی به تقاضا مسطح‌تر شده است، این موضوع به غلبه بر وضعیت‌های بحرانی شبکه کمک زیادی می‌کند.



شکل شماره (۶): تقاضای کل در سناریو ۸ برای ۲۴ ساعت

جدول شماره (۵): تعهد واحد مبتنی بر سود تولید کنندگان (PBUC) و پاسخگویی به تقاضا

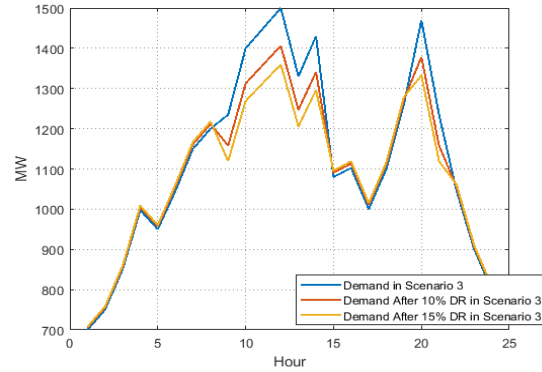
Scenario	$RV_s$ (\$)	$TC_s$ (\$)	$PF$ (\$)	$\rho_s \cdot PF_s$ (\$)
S1	$1.1533e^6$	$3.6597e^5$	787330	48027.13
S2	$1.1473e^6$	$3.4619e^5$	801110	39254.39
S3	$1.1283e^6$	$3.3975e^5$	788550	52832.85
S4	$1.1314e^6$	$3.4047e^5$	790930	50619.52
S5	$1.1231e^6$	$3.3642e^5$	786680	44054.08
S6	$1.1195e^6$	$3.2828e^5$	781220	35154.9
S7	$1.1277e^6$	$3.4040e^5$	787300	58260.2
S8	$1.1435e^6$	$3.4425e^5$	799250	63140.75
S9	$1.1409e^6$	$3.4589e^5$	795010	89041.12
S10	$1.1262e^6$	$3.4157e^5$	784630	64339.66
S11	$1.1297e^6$	$3.5435e^5$	775350	34890.75
S12	$1.1072e^6$	$3.3151e^5$	775690	38784.5
S13	$1.1400e^6$	$3.4388e^5$	796120	60505.12
S14	$1.1493e^6$	$3.4263e^5$	806670	62920.26
S15	$1.1368e^6$	$3.4329e^5$	793510	49197.62
مجموع				791022.85\$



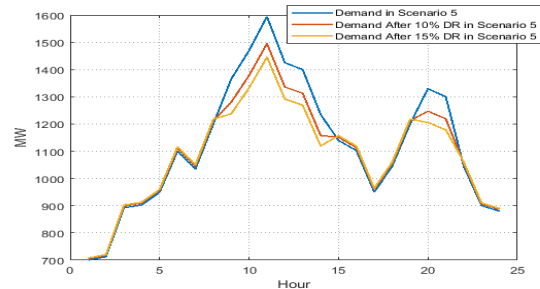
شکل شماره (۱۰): تقاضای کل در سناریو ۱۰ برای ۲۴ ساعت



شکل شماره (۱۱): تقاضای کل در سناریو ۱۳ برای ۲۴ ساعت



شکل شماره (۸): تقاضای کل در سناریو ۳ برای ۲۴ ساعت



شکل شماره (۹): تقاضای کل در سناریو ۵ برای ۲۴ ساعت

با مقایسه نتایج موجود در جداول بالا، شاهد کاهش شدید سود تولید کنندگان تنها برای افزایش ۰,۰۲ در قابلیت اطمینان هستیم. این کاهش شدید به دلیل ناتوانی خانه های هوشمند در مشارکت در برنامه های پاسخگویی به تقاضا است. به طور طبیعی، با افزایش این تعداد، سودآوری ما به شدت کاهش یافته است و با تنظیم این قابلیت اطمینان بر روی ۰,۹، نتیجه نهایی با زبان ۵۷۶۳۸۵ دلار به پایان می رسد.

مهمترین بخش این شبکه بخش زیرساخت های ارتباطی است، بنابراین با توجه به طول عمر AMI در این مطالعه یک قدم به وضعیت واقعی نزدیک تر شده ایم. در مورد اول، با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان ۰,۸۵ است که نتایج آن در جدول شماره ۶ نشان داده شده است. در مورد دوم، با توجه به قابلیت اطمینان ۰,۸۷ است که نتایج آن در جدول شماره ۷ نشان داده شده است.

جدول شماره (۶): تعهد واحد مبتنی بر سود تولید کنندگان (PBUC) و پاسخگویی به تقاضا با قابلیت اطمینان ۰,۸۵ برای AMI

Scenario	$RV_s$ (\$)	$TC_s$ (\$)	$PF$ (\$)	$\rho_s \cdot PF_s$ (\$)
S1	$1.0716e^6$	$3.4641e^5$	۷۲۵۱۹۰	۴۴۲۳۶.۵۹
S2	$1.0639e^6$	$3.2098e^5$	۷۴۲۹۲۰	۲۶۴۰۳۰.۸
S3	$1.0523e^6$	$3.3166e^5$	۷۲۰۶۴۰	۴۸۲۸۲.۸۸
S4	$1.0527e^6$	$3.2411e^5$	۷۲۸۵۹۰	۴۶۶۲۹.۷۶
S5	$1.0444e^6$	$3.2016e^5$	۷۲۴۲۴۰	۴۰۵۵۷.۴۴
S6	$1.0432e^6$	$3.3000e^5$	۷۱۳۲۰۰	۳۲۰۹۴
S7	$1.0515e^6$	$3.3209e^5$	۷۱۹۴۱۰	۵۳۲۳۶.۳۴
S8	$1.0610e^6$	$3.2500e^5$	۷۳۶۰۰۰	۵۸۱۴۴
S9	$1.0600e^6$	$3.3443e^5$	۷۲۵۵۷۰	۸۱۲۶۳.۸۴
S10	$1.0440e^6$	$3.2918e^5$	۷۱۴۸۲۰	۵۸۶۱۵.۲۴
S11	$1.0540e^6$	$3.3830e^5$	۷۱۵۷۰۰	۳۲۲۰۶.۵
S12	$1.0317e^6$	$3.2367e^5$	۷۰۸۰۳۰	۳۵۴۰۱.۵
S13	$1.0580e^6$	$3.2505e^5$	۷۳۲۹۵۰	۵۵۷۰۴.۲
S14	$1.0746e^6$	$3.3515e^5$	۷۳۹۴۵۰	۵۷۶۷۷.۱
S15	$1.0557e^6$	$3.3140e^5$	۷۲۴۳۰۰	۴۴۹۰۶.۶
مجموع				۷۲۵۳۵۹.۱\$

جدول شماره (۷): تعهد واحد مبتنی بر سود تولید کنندگان (PBUC) و پاسخگویی به تقاضا با قابلیت اطمینان 0.87 برای AMI

Scenario	$RV_s$ (\$)	$TC_s$ (\$)	$PF$ (\$)	$\rho_s \cdot PF_s$ (\$)
S1	$1.0225e^6$	$8.4551e^5$	176990	10796.39
S2	$1.0190e^6$	$9.6280e^5$	56200	2753.8
S3	$1.0041e^6$	$6.0164e^5$	402460	26964.82
S4	$1.0068e^6$	$8.3883e^5$	167970	10750.08
S5	$0.9992e^6$	$9.4055e^5$	58650	3284.4
S6	$1.0012e^6$	$9.6397e^5$	37230	1675.35
S7	$1.0056e^6$	$5.3881e^5$	466790	34542.46
S8	$1.0174e^6$	$5.3333e^5$	484070	38241.53
S9	$1.0118e^6$	$5.0574e^5$	506060	56678.72
S10	$0.9958e^6$	$5.3656e^5$	459240	37657.68
S11	$1.0113e^6$	$9.6330e^5$	48000	2160
S12	$0.9865e^6$	$1.0173e^6$	-30800	-1540
S13	$1.0137e^6$	$5.3175e^5$	481950	36628.2
S14	$1.0281e^6$	$5.4816e^5$	479940	37435.32
S15	$1.0107e^6$	$8.2445e^5$	186250	11547.5
مجموع				309576.3\$

## مراجع

## ۵- نتیجه‌گیری

- [1] I. Taheri, M. Rashidinejad, and A. Badri, "Security Constrained Bidding Strategy of GENCOs Based on Risk Analysis in Restructured Electricity Market," *jiasee*, vol. 13, no. 1, pp. 59-70, 2016.
- [2] E. Zareii, M. Mohammadian, A. A. Gharaveisi, "Scheduling security constraint unit commitment for power system including stochastic wind power generation," *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers*; vol. 14, no. 4, pp. 95-102, 2018.
- [3] B. Ostadi, O. M. Sedeh, and A. H. Kashan, "Risk-based optimal bidding patterns in the deregulated power market using extended Markowitz model," *Energy*, vol. 191, p. 116516, 2020.
- [4] M. Mollahassani-pour, E. Rashidinejad, and M. Rashidinejad, "Evaluation of demand side behaviors in cost-emission based PM scheduling under restructured environment," pp. 885-890: IEEE.
- [5] S. Reddy, L. Panwar, B. K. Panigrahi, R. Kumar, L. Goel, and A. S. Al-Sumaiti, "A profit-based self-scheduling framework for generation company energy and ancillary service participation in multi-constrained environment with renewable energy penetration," *Energy & Environment*, vol. 31, no. 4, pp. 549-569, 2020.
- [6] K. S. Reddy, L. K. Panwar, R. Kumar, and B. K. Panigrahi, "Binary fireworks algorithm for profit based unit commitment (PBUC) problem," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 83, pp. 270-282, 2016.
- [7] K. S. Reddy, L. K. Panwar, B. K. Panigrahi, and R. Kumar, "A new binary variant of sine-cosine algorithm: development and application to solve profit-based unit commitment problem," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 43, no. 8, pp. 4041-4056, 2018.

با پیشرفت تکنولوژی، همه شاخه‌های علم باید با آن سازگار شوند. این سازگاری همچنین با چالش‌هایی همراه خواهد بود که نیاز به تحقیق و توسعه دارد. با معرفی شهرک‌های هوشمند، می‌توانیم از این پیشرفت تکنولوژیکی در سیستم خود استفاده کنیم، افزایش امنیت و قابلیت اطمینان، کاهش حجم داده‌ها و غیره، از جمله این مزایا است. یکی از مهمترین چالش‌هایی که این مقاله با معرفی این سیستم سعی در حل آن داشت، اجرای برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا، با قابلیت استفاده از تمام مزایای آن در سیستم مدرن بود. با استفاده از مزایای رایانش ابری و محاسبات محلی، این شبکه به یک شبکه ترکیبی با عملکرد بالا تبدیل شده است. برنامه‌ریزی تولید به دلیل ابعاد اقتصادی آن، مسئله بسیار مهمی در سیستم‌های قدرت است و این موضوع نیاز به تجزیه و تحلیل دارد تا به بهترین نحو ممکن در سیستم‌های مدرن و هوشمند اجرا شود. کوچکترین اقدام می‌تواند تأثیر زیادی بر کل شبکه داشته باشد و سود شرکت‌های تولیدکننده را به میزان قابل توجهی تغییر دهد. نتایج نشان می‌دهد. یکی از مهمترین بخش‌های این شبکه عملکرد مطمئن AMI ها می‌باشد و باید از عملکرد سریع و با حداقل خرابی آنها مطمئن بود. در این حالت، هم شرکت‌های مصرف‌کننده و هم تولیدکنندگان با تعامل با یکدیگر به سود خوبی دست خواهند یافت.

- [25] C. M. Sosa-Reyna, E. Tello-Leal, and D. Lara-Alabazares, "Methodology for the model-driven development of service oriented IoT applications," *Journal of Systems Architecture*, vol. 90, pp. 15-22, 2018.
- [26] J. Pan, R. Jain, S. Paul, T. Vu, A. Saifullah, and M. Sha, "An internet of things framework for smart energy in buildings: designs, prototype, and experiments," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 2, no. 6, pp. 527-537, 2015.
- [27] A. Merizig, O. Kazar, and M. Lopez-Sanchez, "A dynamic and adaptable service composition architecture in the cloud based on a multi-agent system," *International Journal of Information Technology and Web Engineering (IJITWE)*, vol. 13, no. 1, pp. 50-68, 2018.
- [28] E. Spanò, L. Niccolini, S. Di Pascoli, and G. Iannacconelunca, "Last-meter smart grid embedded in an Internet-of-Things platform," *IEEE Transactions on smart grid*, vol. 6, no. 1, pp. 468-476, 2014.
- [29] E. Spanò, S. Di Pascoli, and G. Iannaccone, "An intragrid implementation embedded in an internet of things platform," pp. 134-138: IEEE.
- [30] R. Mishra, A. Pandey, and J. Savariya, "Application of Internet of Things: Last meter smart grid and smart energy efficient system," pp. 32-37: IEEE.
- [31] N. G. Paterakis, A. Taşçıkaraoğlu, O. Erdinc, A. G. Bakirtzis, and J. P. S. Catalao, "Assessment of demand-response-driven load pattern elasticity using a combined approach for smart households," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 12, no. 4, pp. 1529-1539, 2016.
- [32] H. A. Aalami, M. P. Moghaddam, and G. R. Yousefi, "Modeling and prioritizing demand response programs in power markets," *Electric Power Systems Research*, vol. 80, no. 4, pp. 426-435, 2010.
- [33] E. H. Allen and M. D. Ilic, "Reserve markets for power systems reliability," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 228-233, 2000.
- [34] P. Attaviriyanupap, H. Kita, E. Tanaka, and J. Hasegawa, "A hybrid LR-EP for solving new profit-based UC problem under competitive environment," *IEEE Transactions on power systems*, vol. 18, no. 1, pp. 229-237, 2003.
- [35] X. Li, R. Lu, X. Liang, X. Shen, J. Chen, and X. Lin, "Smart community: an internet of things application," *IEEE Communications magazine*, vol. 49, no. 11, pp. 68-75, 2011.
- [36] A. Ghasempour and T. K. Moon, "Optimizing the number of collectors in machine-to-machine advanced metering infrastructure architecture for internet of things-based smart grid," pp. 51-55: IEEE.
- [37] B. Rashid and M. H. Rehmani, "Applications of wireless sensor networks for urban areas: A survey," *Journal of network and computer applications*, vol. 60, pp. 192-219, 2016.
- [38] R. Deng, Z. Yang, M.-Y. Chow, and J. Chen, "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.
- [39] H. Sadeghi, M. Mohammadian, A. Abdollahi, and M. Rashidinejad, "Generation Expansion Planning Considering Renewable Energy Resources and Support Schemes Using GSA," *jiasee*, vol. 12, no. 1, pp. 47-58, 2015.
- [40] M. Pourakbari Kasmaei, M. Rashidi Nejad, and S. Piltan, "a new hybrid heuristic technizue for unit commitment and generation scheduling," (in English), *jiasee*, vol. 7, no. 2, pp. 41-49, 2011.
- [41] M. P. Moghaddam, A. Abdollahi, and M. Rashidinejad, "Flexible demand response programs modeling in competitive electricity markets," *Applied Energy*, vol. 88, no. 9, pp. 3257-3269, 2011.
- [8] F. Xu et al., "A sharing economy market system for private EV parking with consideration of demand side management," *Energy*, vol. 190, p. 116321, 2020.
- [9] G. T. Costanzo, G. Zhu, M. F. Anjos, and G. Savard, "A system architecture for autonomous demand side load management in smart buildings," *IEEE transactions on smart grid*, vol. 3, no. 4, pp. 2157-2165, 2012.
- [10] P. Palensky and D. Dietrich, "Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads," *IEEE transactions on industrial informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 381-388, 2011.
- [11] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future generation computer systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645-1660, 2013.
- [12] P. P. Ray, "A survey of IoT cloud platforms," *Future Computing and Informatics Journal*, vol. 1, no. 1-2, pp. 35-46, 2016.
- [13] H. Mortaji, S. H. Ow, M. Moghavvemi, and H. A. F. Almurib, "Load shedding and smart-direct load control using internet of things in smart grid demand response management," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 6, pp. 5155-5163, 2017.
- [14] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, "Edge computing: Vision and challenges," *IEEE internet of things journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, 2016.
- [15] L. U. Khan, I. Yaqoob, N. H. Tran, S. M. A. Kazmi, T. N. Dang, and C. S. Hong, "Edge computing enabled smart cities: A comprehensive survey," *IEEE Internet of Things Journal*, 2020.
- [16] S. Choy, B. Wong, G. Simon, and C. Rosenberg, "A hybrid edge-cloud architecture for reducing on-demand gaming latency," *Multimedia systems*, vol. 20, no. 5, pp. 503-519, 2014.
- [17] T. Q. Dinh, B. Liang, T. Q. S. Quek, and H. Shin, "Online Resource Procurement and Allocation in a Hybrid Edge-Cloud Computing System," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 19, no. 3, pp. 2137-2149, 2020.
- [18] T. G. Rodrigues, K. Suto, H. Nishiyama, and N. Kato, "Hybrid method for minimizing service delay in edge cloud computing through VM migration and transmission power control," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 66, no. 5, pp. 810-819, 2016.
- [19] M. Yun and B. Yuxin, "Research on the architecture and key technology of Internet of Things (IoT) applied on smart grid," pp. 69-72: IEEE.
- [20] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, 2015.
- [21] A. Tewari and B. B. Gupta, "Security, privacy and trust of different layers in Internet-of-Things (IoTs) framework," *Future generation computer systems*, vol. 108, pp. 909-920, 2020.
- [22] I. Yaqoob et al., "Internet of things architecture: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges," *IEEE wireless communications*, vol. 24, no. 3, pp. 10-16, 2017.
- [23] Y. F. Wang, W. M. Lin, T. Zhang, and Y. Y. Ma, "Research on application and security protection of internet of things in smart grid," 2012.
- [24] F. Zhang, M. Liu, Z. Zhou, and W. Shen, "An IoT-based online monitoring system for continuous steel casting," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 6, pp. 1355-1363, 2016.

[42] O. E. Board, "Demand-side management and demand response in the Ontario electricity sector," Report of the Board to the Minister of Energy, 2004.

---

<sup>1</sup> Profit Based Unit Commitment

<sup>2</sup> Demand Side Management

<sup>3</sup> Direct Load Control

<sup>4</sup> Smart Grid

<sup>5</sup> Demand Response Program

<sup>6</sup> independent system operator

<sup>7</sup> Advanced Measurement Infrastructure

<sup>8</sup> Mixed-Integer Programming