برنامه‌ریزی بهینه تولید توان در ریز شبکه‌های هوشمند با رویکرد کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی و در نظر گرفتن عدم قطعیت

نویسندگان: علیرضا رضازاده – a-rezazade@sbu.ac.ir

حمیدرضا باقری – bagheri.hamid72@gmail.com

علی اصغر سرآبادانی – alisarabadani2014@gmail.com

چکیده: یک ریزشبکه معمولا شامل مجموعه ای از منابع تولیدپراکنده، سیستم ذخیره انرژی و بارها می باشد که می تواند به دو صورت اتصال به شبکه و عملکرد جزیره ای مورد بهره برداری قرار گیرد، استفاده از ریزشبکه ها می تواند منافع زیادی هم برای مصرف کننده و هم برای شرکتهای تولید برق در برداشته باشد، ازدید مصرف کننده ریزشبکه قابلیت فراهم ساختن همزمان برق و حرارت، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و بهبود کیفیت را داشته و ازدید شرکتهای برق به کارگیری ریزشبکه ها پتانسیل کاهش دیماند مصرفی و بنابراین کاهش تسهیلات توسعه خطوط انتقال و علاوه بر آن عامل حذف نقاط اوج مصرف خواهد بود که در نتیجه از تلفات شبکه نیزکاسته می شود. ریز شبکه ها می تواند یک راهکار مناسب برای تولید انرژی با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی و اقتصادی برای این مناطق باشند. که در این مقاله تعیین اندازه بهینه یک سیستم ترکیبی متصل به شبکه، مورد بررسی قرار می گیرد. سیستم ترکیبی مورد مطالعه متشکل ازتوربین های بادی، آرایه های خورشیدی، سلول های سوختی با ذخیره سازهیدروژنی ،واحد تولید همزمان برق و حرارت و ذخیره سازها است که به منظور مدلسازی عدم قطعیت توان تولیدی توربین بادی و آرایه خورشیدی ازسناریوهای احتمالاتی استفاده شده است.. اهداف این مقاله کمینه سازی هزینه تولید توان و کاهش هزینه آلودگی زیست محیطی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در دوره مورد مطالعه می باشد.

کلیدواژه: ریزشبکه؛ منابع تولید پراکنده ،عدم قطعیت ،سناریوهای احتمالاتی،الگوریتم ژنتیک

۱- مقدمه

رشد و توسعه جوامع انسانی همواره موازی با تولید و مصرف انرژی بوده است. طبق آمارهای به ثبت رسیده، طی ۳۰ سال گذشته احتیاجات انرژی جهان به مقدار قابل‌توجهی افزایش‌یافته است. محدودیت انرژی‌های فسیلی و مسائل و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از این سوخت‌ها و رشد روزافزون تقاضای انرژی، ارتقای استانداردهای زندگی، گرم شدن کره زمین سبب گردیده تا هرروز شاهد پیشرفت‌هایی در استفاده از فن‌آوری و به‌کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر باشیم.

وجود شبکه‌های گسترده‌ی انتقال انرژی الکتریکی از نقاط دوردست به مراکز مصرف یکی از شاخصه‌های شبکه‌های برق کنونی است. این چیدمان شبکه مشکلات و مصائب فراوانی مانند تلفات انرژی الکتریکی در مسیرهای طولانی و همچنین تهدید پایداری شبکه را سبب می‌شود. از طرفی وجود شبکه‌های توزیع که تنها از طریق این شبکه‌های انتقال تغذیه می‌شوند همواره شبکه سراسری را در معرض خاموشی و ناپایداری قرار می‌دهد. یکی از راه‌کارهای پیشرو برای غلبه بر این مشکلات، استفاده از منابع تولید پراکنده می‌باشد که راه بهینه‌ی استفاده از این منابع ایجاد ریز شبکه است در دهه‌ی گذشته رشد چشمگیری در زمینه ریز شبکه‌ها و سیستم‌های مدیریت انرژی رخداده است.و تخمین زده می‌شود این روند روبه رشد در آینده نیز ادامه داشته باشد.[۱].در مرجع [۲] راه‌حل مدیریت انرژی بر مبنای نمونه‌ای از سیستم‌های چندعاملی معرفی‌شده و از آن برای مدیریت توان در یکریز شبکه هیبرید استفاده‌شده است. در این مقاله کاربردMAS[1] برای مدیریت انرژی و مخصوصاً مدیریت تولید و ذخیره انرژی در سیستم هیبرید متصل به شبکه شرح داده‌شده است. در مرجع [۳] یک مدل دینامیکی جهت پیدا کردن ترکیب بهینه سیستم تولید مبتنی بر انرژی‌های تجدید پذیر را به‌منظور تأمین نیازهای انرژی برقی و حرارتی یک ساختمان سبز ارائه‌شده است، در مرجع [۴] یک مدل مدیریت انرژی برای تعیین استراتژی‌های بهره‌برداری بهینه با حداکثر سود برای یک سیستم ریز شبکه شامل سیستم ذخیره‌سازی سیستم‌های تولید توان بادی و توان فتوولتائیک ارائه‌شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که باتری با ظرفیت بزرگ‌تر، نیازمند سرمایه‌گذاری بیشتر است و همچنین نصب

قطعات ذخیره‌سازی بزرگ‌تر به‌صرفه نیست. ظرفیت بهینه باتری باید بر مبنای عرضه و تقاضا تعیین شود.در مرجع [۵] یک روش احتمالاتی برای مدیریت و بهره‌برداری انرژی ریز شبکه‌های مبتنی بر منابع تجدید پذیر تحت عدم قطعیت‌های محیطی پیشنهاد کرده‌اند. این مقاله عدم قطعیت‌های تقاضای پاره قیمت‌های بازار و توان الکتریکی در دسترس از مزارع بادی و سیستم‌های فتوولتائیک را بررسی می‌کند. در مرجع [۶] یک الگوریتم مؤثر برای بهینه‌سازی بهره‌برداری سیستم توزیع در یک شبکه هوشمند ازلحاظ هزینه و پایداری سیستم پیشنهادشده است. هدف اصلی الگوریتم پیشنهادی هنگامی‌که منابع انرژی تجدید پذیر بالاترین حق تقدم رادارند، کنترل توان در دسترس منابع متفاوت است، به‌طوری‌که آن‌ها تقاضای بار را با حداقل هزینه ممکن تأمین می‌کنند..در مرجع [۷] یک روش نو برای تعیین استراتژی مدیریت توان بهینه سیستم‌های انرژی هیبرید، شامل مولدهای گوناگون و واحدهای ذخیره‌سازی ارائه کرده و این روش را روی یک سیستم با چندین مولد شامل توربین‌های بادی، پنل های فتوولتائیک، پیل‌های سوختی، الکترولیزرها، تانک‌های هیدروژن، باتری‌ها، و دیزل ژنراتورها آزمایش کرده‌اند..در مرجع [۸] الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی (MOMADS[1]) را برای به حداقل رساندن توابع هدف هزینه و آلودگی و بهره‌برداری بهینه از یکریز شبکه ارائه کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت الگوریتم پیشنهادی برای رسیدن به کمترین هزینه بهره‌برداری و آلایندگی است و همچنین برآورده شدن تقاضا با این روش تضمین‌شده است.مرجع [۹] از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورهای عسل برای کاهش هزینه عملیاتی ریز شبکه‌ای متشکل از سیستم فتوولتائیک، توربین بادی، پیل سوختی را بدون در نظر گرفتن تکنولوژی باطری‌های ذخیره‌سازی استفاده کرده است و در آن تلفات توان اکتیو و افت ولتاژ و مجموع هزینه انرژی را کاهش داده است.. مرجع [۱۰] یک الگوریتم بر پایه‌ی آموزش یادگیری ارائه داده است که هزینه و آلودگی یکریز شبکه را که به‌صورت یک مسئله (چندهدفه) بیان‌شده ،مینیمم کرده است.با بررسی مقالات متعدد می‌توان پی برد که برای رسیدن به کمترین هزینه همزمان با کمترین انتشار گازهای آلاینده از بهینه‌سازی چندهدفه استفاده‌شده است. در بیشتر مراجع موردبررسی جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از تولید منابع تجدید پذیر و تقاضا دو تکنیک اصلی بکار رفته: نیاز رزرو اضافی و مدل‌های تصادفی چندین سناریو. بخش‌های اصلی این مقاله و نوآوری‌های آن شامل:بهره‌برداری بهینه ریز شبکه باهدف ماکزیمم سازی سود از طریق ارتباط با شبکه‌ی بالادست با در نظر گرفتن پیکربندی ریز شبکه،در نظر گرفتن عدم قطعیت تولید منابع بادی و فتوولتائیک به‌صورت سناریوهای احتمالاتی در تابع هدف، در نظر گرفتن شبکه‌ی بالادست با تعرفه‌ی فروش ساعتی و امکان فروش برق تولیدی اضافی به شبکه‌ی بالادست،لحاظ کردن ذخیره‌سازهای الکتریکی جهت استفاده‌ی بهینه از منابع تجدید پذیر

۲- مدل‌سازی مسئله

در حوزه بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی تصادفی برای مواجه باوجود عدم قطعیت به کار گرفته می‌شود. داده‌های مجهول در مسائل مربوط به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی بسیار قابل‌توجه هستند. این فقدان اطلاعات کامل، در علوم مختلف ازجمله علوم مهندسی، اقتصاد و مالی وجود دارد. باوجود فقدان اطلاعات کامل، نیاز به تصمیم سازی همچنان وجود خواهد داشت که این امر ما را به استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی برای تصمیم سازی در شرایط عدم قطعیت ترغیب می‌کند. بسیاری از مسائل تصمیم سازی را می‌توان به‌صورت دقیق با استفاده از مسائل بهینه‌سازی فرمول‌بندی نمود. اگر داده‌های ورودی یک مسئله‌ی بهینه‌سازی معین باشند، جواب بهینه از طریق حل مسئله به دست می‌آید. اما، در اکثر مواقع داده‌های ورودی غیرقطعی و درعین‌حال قابل توصیف توسط توابع احتمال می‌باشند. در این شرایط ، مشخص نیست که مسئله تصمیم سازی چگونه باید فرمول‌بندی گردد. یک روش این است که داده‌های ورودی غیرقطعی را با مقادیر مورد انتظار جایگزین نماییم که منجر به یک مسئله‌ی بهینه‌سازی معین می‌گردد. حل این مسئله ممکن است بهترین جواب را نتیجه ندهد. در حالت دیگر می‌توان توزیع احتمال داده‌های ورودی را با مجموعه‌هایی از داده‌های ورودی محتمل تقریب زد و برای هرکدام احتمال وقوع مربوطه را در نظر گرفت. به‌عنوان‌مثال، سه مجموعه از داده‌های ورودی با سه مقدار احتمال وقوع مشخص که مجموعشان برابر یک خواهد شد. سپس یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی را می‌توان با وزن دهی راه‌حل‌های تنها مربوط به هر مجموعه از داده‌های ورودی بر اساس احتمال وقوعشان، فرمول‌بندی نمود و به بهترین جواب ممکن با در نظر گرفتن اثر تمام داده‌های ورودی رسید. با در نظر گرفتن داده‌های ورودی غیرقطعی که توسط مجموعه‌های مختلفی از داده‌های ورودی Ugو Us تعداد واحدهای تولید پراکنده و ادوات ذخیره‌ساز می‌باشد. وT تعداد ساعات موردمطالعه است.و D متغیر باینری(صفر و یک)است. شبیه‌سازی به ازای هر ساعت خاص و در Nsسناریو در نظر گرفته‌شده است. C تعرفه فروش توان در هر

www.kahrobaonline.ir

واحد تولیدی است. و هزینه روشن شدن واحدها SUCDGi می‌باشد که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F1=\sum_{t=1}^{T}\{\sum_{i=1}^{ug}(D_i(t)\times P_{DGi}(t)\times C_{DGi})+(D_i(t)\times SUC_{DGi})+\sum_{j=1}^{us}(D_j(t)\times P_{Essj}(t)\times C_{ESSj}(t))+(P_{gr}(t)\times C_{gr}(t))-(P_{gs}(t)\times C_s(t \quad (۱)$$

Ug و Us تعداد واحدهای تولید پراکنده و ادوات ذخیره‌ساز می‌باشد. و T تعداد ساعات موردمطالعه است.و D متغیر باینری(صفر و یک)است. شبیه‌سازی به ازای هر ساعت خاص و در Ns سناریو در نظر گرفته‌شده است. C تعرفه فروش توان در هر واحد تولیدی است. و هزینه روشن شدن واحدها SUCDGi می‌باشد که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$SUC_{DGi}(t)=\beta_i\times(1-e^{-toff/\tau}) \quad (۲)$$

که در آن β_i هزینه روشن‌سازی سرد، τ ثابت زمانی سرد شدن واحد و t_{off} زمانی است که واحد خاموش بوده است.

تابع هدف بعدی پروژه ،تابع هدف آلودگی است. آلودگی مجموع ایجادشده در ۲۴ ساعت نیز به‌صورت زیر مدل می‌گردد:

$$F2=\sum_{t=1}^{T}\{\sum_{i=1}^{ug}(D_i(t)\times P_{DGi}(t)\times E_{DGi}(t))+\sum_{j=1}^{us}(D_j(t)\times P_{Essj}(t)\times E_{ESSj}(t))+(Pg(t)\times Eg(t)\} \quad (۳)$$

که در آن $P_{DGi}(t)$ ، $P_{ESSj}(t)$ و $Pg(t)$ ورودی‌های توابع هدف می‌باشند و به ترتیب نشان‌دهنده توان تولیدی واحدهای تولید پراکنده، سیستم ذخیره‌ساز و توان دریافتی از سمت شبکه اصلی می‌باشند.پارامتر E نیز مقدار آلودگی ایجادشده به ازای یک کیلووات توان تولیدی را نشان می‌دهد.

در هر زمان t و در هر سناریوی s قید تعادل توان بین تولیدکنندگان و بار و شبکه باید برقرار باشد:

$$\sum_{l=1}^{ul}Pl(t)-\sum_{i=1}^{ug}P_{DGi}(t)-\sum_{j=1}^{us}P_{ESSj}(t)-Pgr(t)+Pgs(t)=0 \quad (۴)$$

ضرایب آلودگی ، آلاینده‌های اتمسفر شامل سولفور دی‌اکسید (SO_2)، دی‌اکسید کربن (CO 2) واکسید نیتروژن(NOx) که توسط واحدهای حرارتی سوخت فسیلی ایجاد می‌شوند را دربرمی گیرد. در این پروژه این‌گونه در نظر گرفته‌شده است که هر واحد نمی‌تواند بیشتر از حد مجاز تعریف‌شده آلودگی ایجاد نماید :

$$\sum_{i=1}^{ug}E_{DGi}(t)\times P_{DGi}(t)\le EmaxDg \quad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{us}E_{ESSj}(t)\times P_{ESSj}(t)\le EmaxESS \quad (۶)$$

$$Eg(t)\times Pg(t)\le Emaxgrid \quad (۷)$$

)

که $E_{DGi}(t)$ ، $E_{ESSj}(t)$و $Eg(t)$ حد آلودگی برحسب Kg/Kwh به ترتیب برای تولیدات پراکنده، سیستم‌های ذخیره‌ساز و شبکه اصلی می‌باشد. هر واحد تولید پراکنده و سیستم ذخیره‌ساز یک مقدار بیشینه و کمینه تولید دارد که بر طبق آن تولید انجاممی‌دهد. این حدود به‌صورت زیر مدل می‌گردند:

$$P_{DGimin}\le P_{DGi}(t)\le P_{DGimax} \quad i=1,2,3,..,.ug \quad (۸)$$

$$P_{ESSjmin}\le P_{ESSj}(t)\le P_{ESSjmax} \quad j=1,2,3,..,.us \quad (۹)$$

در صورت عدم امکان شارژ و دشارژ هم‌زمان باتری نتایج حاصل از شبیه‌سازی مسئله دارای اشکال بوده و ازنظر فنی نیز قابل‌توجه نمی‌باشد. بنابراین برای رفع این مشکل قیودی به‌عنوان قیود تزویجی به مسئله اضافه می‌کنیم تا هم امکان شارژ و دشارژ هم‌زمان باتری را از بین ببریم و هم اینکه انرژی ذخیره‌شده در باتری را به‌صورت پارامتری وابسته به زمان تعریف کنیم. تحت این شرایط پاسخ خروجی برای سیستم ذخیره‌ساز در هر ساعت هم به شرایط قیمتی موجود برای ادوات تولیدی در ریز شبکه و شبکه اصلی و هم به میزان انرژی ذخیره موجود در ذخیره‌ساز در ساعات قبل بستگی خواهد داشت. به این منظور قیدی با تعریف ریاضی زیر به مسئله بهینه‌سازی اضافه می‌نماییم:

$$E_t=E_{t-1}+(P_{ch}\times\eta_{ch}\times\Delta t)-(P_{disch}\times\eta_{disch}\times\Delta t) \quad (۱۰)$$

که در آن $P_{charging}$ و $P_{discharging}$ میزان توان شارژ و دشارژ شده در باتری را در یک دوره زمانی نشان می‌دهد. و η_{ch} و η_{disch} به ترتیب راندمان شارژ و دشارژ باتری می‌باشد $E(t)$ میزان انرژی موجود در ذخیره‌ساز در زمان t می‌باشد.ظرفیت باتری در زمان t و بسناریو s کمتر از ظرفیت حداکثر آن می‌باشد:

$$P_{SB,S}(t)\le P_{SB\,Max} \quad (۱۱)$$

دشارژ باتری در زمان t و سناریو s کمتر از حداکثر مقدار دشارژ باتری می‌باشد . $X(t)$متغیر باینری برای نشان دادن امکان دشارژ یا عدم دشارژ باتری و $P_{BSDC,s}$ میزان توان دشارژ شده در زمان t و سناریو s است(۱۲). شارژ باتری در زمان t و سناریو s کمتر از حداکثر مقدار شارژ آن می‌باشد . $Y(t)$ متغیر باینری برای نشان دادن

www.kahrobaonline.ir

امکان شارژ یا عدم شارژ باتری و $P_{BSC,s}$ میزان توان شارژ شده در زمان t و سناریو s است(۱۳). برای اینکه شارژ و دشارژ هم‌زمان باتری را از بین ببریم و انرژی ذخیره‌شده در باتری را به‌صورت پارامتری وابسته به زمان تعریف کنیم قید (۱۴) راداریم. به عبارتی در هر زمان t و سناریوی s ،باتری به‌طور هم‌زمان نمی‌تواند شارژ و دشارژ گردد.

$$P_{BSDC,S}(t) \le P_{BSDC\,Max} \times X(t) \qquad (۱۲)$$

$$P_{BSC,S}(t) \le P_{BSC\,Max} \times Y(t) \qquad (۱۳)$$

$$X_s(t)+Y_s(t)=1 \quad , X,Y \in \{0,1\} \qquad (۱۴)$$

میزان دشارژ باتری در لحظه t و سناریو s باید کمتر از ذخیره باتری در لحظه قبل از آن باشد(۱۵).مجموع میزان شارژ باتری در لحظه t و سناریو s با ذخیره لحظه قبل باتری باید از ظرفیت ذخیره حداکثر باتری کمتر باشد(۱۶). میزان ذخیره باتری در لحظه t و سناریو s برابر است با ذخیره باتری در لحظه قبل به‌علاوه شارژ باتری در لحظه کنونی منهای دشارژ باتری در لحظه کنونی که این همان قید تعادل توان باتری است(۱۷). ذخیره باتری در زمان صفر برابر است با میزان توان اولیه باتری(۱۸).

$$P_{BSDC,S}(t) - P_{SB,S}(t-1) \le 0 \qquad (۱۵)$$

$$P_{BSC,S}(t) + P_{SB,S}(t-1) \le P_{SB\,max} \qquad (۱۶)$$

$$P_{SB,S}(t) = P_{SB,S}(t-1) - P_{BSDC,S}(t) + P_{BSC,S}(t) \qquad (۱۷)$$

$$P_{SB}(t=0) = P_{initial} \qquad (۱۸)$$

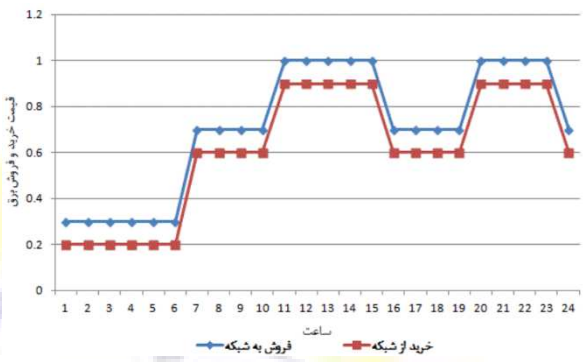
عدم قطعیت‌های بررسی‌شده در این پروژه شامل عدم قطعیت در پیش‌بینی بار، تولید واحد بادی و واحد فتوولتائیک می‌باشد. عدم قطعیت در پیش‌بینی بار می‌تواند ناشی از اطلاعات ناقص و برخی مواقع اشتباه در برآورد بار باشد. هرچه میزان اطلاعات بار در سال‌های گذشته بیشتر و دقیق‌تر باشد، میزان قطعیت و یا به‌عبارت‌دیگر احتمال سناریو پیش‌بینی‌شده برای بار بالاتر است. عدم قطعیت در پیش‌بینی تولید واحد بادی و فتوولتائیک می‌تواند ناشی از عدم در نظر گرفتن پارامترهای مؤثری مانند رطوبت و دما در پیش‌بینی سرعت وزش باد و میزان تابش در منطقه باشد. در صورت در نظر گرفتن این پارامترها در شبیه‌ساز سرعت باد و تابش خورشید، مانند شبکه‌های عصبی، و افزایش میزان اطلاعات دقیق، می‌توان احتمال سناریو پیش‌بینی‌شده را افزایش داد.بر این اساس در این پروژه پنج سناریو برای هر یک از پارامترهای بار از .مصرفی، سرعت وزش باد و میزان تابش در نظر گرفته‌شده است طریق رابطه زیر می‌توان امید ریاضی پارامترهای مذکور را محاسبه نمود و سپس آن‌ها را بر اساس احتمال وقوع آن‌ها وارد الگوریتم بهینه‌سازی نمود و تابع هدف هزینه و آلودگی را کمینه ساخت.

$$E(Xt) = \sum_{s=1}^{ns} Ps(Xt) \times Xt \qquad s=1,2,\ldots,n \qquad (۱۹)$$

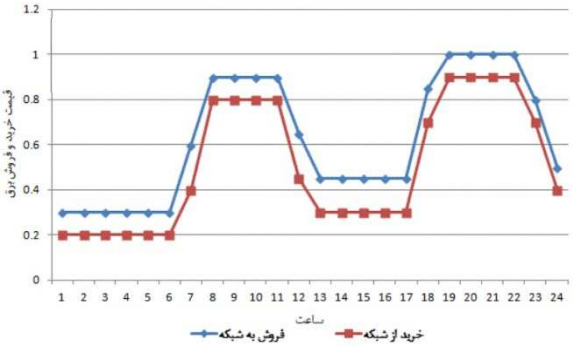
۳- الگوریتم حل مسئله

تغییرات بار مصرفی از فاکتورهایی مانند ساعت روز، زمان در سال، موقعیت جغرافیایی و تغییرات آب‌وهوایی تأثیر می‌پذیرد .ازآنجاکه عدم قطعیت در خورشید و باد و بار وجود دارد برای این‌که توان تولیدی توربین بادی و فتوولتائیک و توان مصرفی بار را مدل کنیم از سناریوهای احتمالاتی استفاده می‌کنیم. پنج سناریو برای توان تولیدی توربین بادی و پنج سناریو برای سلول خورشیدی و پنج سناریو برای توان مصرفی بار در دو فصل تابستان و زمستان به‌صورت جداگانه می‌گیریم.توان مصرفی بار به ازای سناریوهای مختلف در هر ساعت مشخص در دو فصل زمستان و تابستان به‌صورت جدول ۱ است.

مثلاً در ساعت اول در سناریو سوم از فصل زمستان که احتمال وقوع این سناریو ۰,۹ است میزان توان مصرفی بار برابر ۶۸,۴۸ کیلووات است.تغییرات بار بر تعرفه بازار الکتریکی شبکه و بر قراردادهای تأمین‌کنندگان اثر می‌گذارد و افزایش تولید با افزایش بار و کاهش آن با کاهش بار را تضمین می‌نماید. شکل ۱ به ترتیب تغییرات تعرفه خریدوفروش برق شبکه را در ساعات مختلف و برای فصل تابستان و زمستان نشان می‌دهد. این تعرفه برای استفاده عمومی خانگی می‌باشد.



www.kahrobaonline.ir



شکل ۱-تعرفه خریدوفروش برق از/به شبکه در تابستان(بالا)و زمستان(پایین)

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود تعرفه خریدوفروش برق از/ به شبکه در فصل زمستان و تابستان در ساعات اوج مصرف،بیش‌ترین مقدار خود را دارد.میزان دسترسی به توان سیستم باد و فتوولتائیک به میزان وزش باد و وضعیت تابش بستگی دارد. با توجه به وجود عدم قطعیت در پیش‌بینی سرعت باد،سناریوهای تولیدشده برای نیروی باد در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱-سناریوهای مربوط به بازمصرفی در زمستان و تابستان به همراه احتمال هر سناریو

تابستان	سناریو۱	سناریو۲	سناریو۳	سناریو۴	سناریو۵	زمستان	سناریو۱	سناریو۲	سناریو۳	سناریو۴	سناریو۵
ساعت/احتمال	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۹	۰/۰۳	۰/۰۲	ساعت/احتمال	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۹	۰/۰۳	۰/۰۲
۱	۷۱/۳۱	۷۱/۸۴	۶۶/۸۹	۶۴/۷۵	۶۵/۰۱	۱	۶۶/۴۹	۷۲/۶۶	۶۸/۴۸	۶۹/۲۷	۷۱/۰۲
۲	۶۸/۰۳	۶۷/۰۸	۶۲/۱۸	۶۷/۴۶	۶۳/۵۳	۲	۷۳/۲۹	۶۶/۸۵	۶۵/۸۷	۶۷/۲۳	۷۱/۵۱
۳	۶۱/۶۳	۵۸/۲۱	۶۲/۴۴	۶۵/۷۶	۶۳/۸۸	۳	۶۵/۰۷	۶۶/۹۵	۶۸/۴۳	۶۶/۰۹	۶۳/۸۸
۴	۶۲/۰۰	۶۱/۵۷	۶۰/۴۶	۴۶/۸۱	۶۵/۸۹	۴	۶۸/۴۱	۶۸/۹۳	۶۱/۲۸	۶۱/۲۳	۶۷/۳۵
۵	۵۸/۷۱	۶۴/۱۰	۵۷/۴۶	۵۶/۱۶	۶۵/۲۸	۵	۶۰/۰۴	۶۷/۴۵	۶۷/۸۱	۶۴/۹۲	۶۷/۲۴
۶	۶۲/۰۰	۶۴/۵۸	۶۲/۴۵	۶۲/۲۷	۶۶/۵۶	۶	۷۰/۷۵	۶۳/۳۶	۷۰/۳۰	۶۱/۴۳	۶۱/۱۷
۷	۷۰/۴۳	۶۷/۷۰	۶۹/۸۳	۶۳/۲۱	۷۰/۶۱	۷	۷۰/۸۹	۷۴/۴۶	۷۰/۶۹	۷۵/۵۵	۷۶/۳۹
۸	۷۰/۹۲	۷۵/۵۱	۶۹/۱۱	۷۵/۵۷	۷۶/۴۸	۸	۸۸/۳۸	۸۴/۶۲	۸۹/۸۸	۹۴/۰۰	۹۲/۲۴
۹	۷۷/۹۱	۷۴/۹۴	۸۱/۵۰	۸۰/۹۸	۸۲/۲۷	۹	۹۱/۳۶	۸۸/۳۹	۹۵/۸۳	۹۳/۱۵	۸۷/۷۳
۱۰	۷۸/۲۹	۸۲/۵۷	۸۵/۵۶	۸۵/۵۱	۸۷/۵۰	۱۰	۹۷/۸۶	۸۷/۴۹	۹۳/۵۹	۹۲/۱۵	۹۵/۳۶
۱۱	۸۵/۱۰	۸۸/۳۵	۸۳/۰۷	۸۵/۳۲	۸۲/۹۳	۱۱	۸۵/۳۵	۸۷/۴۶	۸۳/۱۰	۹۱/۹۰	۸۳/۱۷
۱۲	۸۸/۰۹	۹۵/۹۹	۸۷/۹۴	۸۹/۹۱	۹۴/۴۱	۱۲	۸۸/۵۰	۹۰/۵۲	۸۳/۳۸	۹۰/۴۳	۸۲/۶۹
۱۳	۹۴/۴۳	۹۷/۱۱	۹۵/۵۴	۹۲/۰۷	۹۹/۳۸	۱۳	۹۰/۷۴	۸۸/۵۷	۸۹/۲۵	۸۶/۸۷	۸۸/۱۵
۱۴	۹۵/۷۶	۹۷/۰۷	۹۶/۶۰	۹۴/۰۵	۹۶/۳۰	۱۴	۸۶/۸۲	۸۶/۹۰	۸۶/۳۷	۸۴/۱۷	۸۲/۱۸
۱۵	۹۵/۶۹	۸۸/۵۹	۹۱/۴۷	۹۰/۳۸	۹۰/۰۷	۱۵	۸۳/۴۸	۸۸/۷۹	۸۴/۳۳	۸۷/۴۲	۸۸/۴۵
۱۶	۹۲/۲۴	۸۴/۸۰	۸۴/۹۳	۸۴/۳۷	۸۸/۷۴	۱۶	۸۳/۵۷	۸۸/۵۱	۸۶/۴۴	۸۷/۳۴	۸۶/۷۸
۱۷	۸۳/۱۰	۸۲/۲۶	۸۸/۲۵	۹۱/۳۶	۹۰/۸۶	۱۷	۸۵/۷۵	۹۰/۷۴	۸۲/۰۸	۸۸/۷۸	۸۵/۰۳
۱۸	۹۱/۶۷	۸۵/۳۳	۹۰/۵۱	۹۰/۸۱	۹۰/۸۱	۱۸	۹۴/۹۵	۹۳/۵۷	۹۳/۱۹	۹۰/۲۲	۸۵/۲۷
۱۹	۹۰/۹۴	۸۳/۱۷	۸۸/۲۰	۸۸/۲۰	۸۳/۴۱	۱۹	۱۰۲/۳۱	۹۷/۲۴	۱۰۰/۰۱	۹۳/۴۷	۹۷/۶۲
۲۰	۸۷/۸۴	۹۴/۴۶	۹۴/۲۷	۸۶/۴۹	۸۸/۱۱	۲۰	۱۰۱/۹۶	۱۰۰/۲۰	۱۰۱/۸۹	۹۶/۷۰	۱۰۰/۶۵
۲۱	۹۰/۶۵	۹۶/۵۳	۹۰/۵۷	۹۰/۴۰	۹۱/۵۱	۲۱	۹۴/۴۰	۹۷/۴۱	۹۳/۱۲	۹۹/۷۸	۹۴/۹۳
۲۲	۹۶/۹۵	۹۱/۳۹	۹۱/۴۴	۹۱/۳۶	۹۶/۹۷	۲۲	۹۱/۵۱	۸۸/۷۲	۹۵/۷۶	۹۳/۱۳	۸۸/۸۲
۲۳	۸۷/۰۶	۸۸/۰۷	۹۳/۸۸	۹۴/۴۵	۹۳/۵۶	۲۳	۸۰/۶۳	۸۰/۷۷	۸۱/۱۰	۸۴/۰۰	۸۰/۱۵
۲۴	۸۸/۷۰	۸۷/۶۶	۸۲/۷۰	۸۴/۸۰	۸۷/۳۷	۲۴	۸۰/۶۹	۷۸/۶۱	۸۰/۱۲	۷۹/۴۱	۷۳/۱۷

همان‌طور که مشاهده می‌شود تعرفه خریدوفروش برق از/به شبکه در فصل زمستان و تابستان در ساعات اوج مصرف،بیش‌ترین مقدار خود را دارد.میزان دسترسی به توان سیستم باد و فتوولتائیک به میزان وزش باد و وضعیت تابش بستگی دارد. با توجه به وجود عدم قطعیت در پیش‌بینی سرعت باد،سناریوهای تولیدشده برای نیروی باد در جدول ۲آورده شده است.

www.kahrobaonline.ir

جدول۲-سناریوهای مربوط به توان تولیدی باد در زمستان و تابستان به همراه احتمال هر سناریو

سناریو۵	سناریو۴	سناریو۳	سناریو۲	سناریو۱	تابستان	سناریو۵	سناریو۴	سناریو۳	سناریو۲	سناریو۱	زمستان
۰/۰۵	۰/۱	۰/۷	۰/۱	۰/۰۵	احتمال/ساعت	۰/۰۵	۰/۱	۰/۷	۰/۱	۰/۰۵	احتمال/ساعت
۱۶/۱۱	۱۲/۷۵	۱۴/۴۰	۱۴/۱۷	۱۵/۹۰	۱	۳/۰۱	۳/۰۳	۳/۲۷	۷/۰۸	۳/۸۳	۱
۱۴/۷۸	۱۴/۹۵	۱۲/۳۷	۱۲/۸۲	۱۱/۹۳	۲	۵/۴۰	۵/۳۴	۵/۱۳	۷/۱۷	۷/۱۷	۲
۱۰/۱۸	۱۰/۱۵	۱۳/۰۶	۹/۵۲	۱۳/۶۲	۳	۴/۰۹	۵/۵۰	۳/۴۸	۷/۲۰	۶/۴۳	۳
۱۱/۰۹	۷/۹۰	۱۰/۰۸	۸/۲۰	۷/۴۷	۴	۴/۴۶	۷/۹۷	۷/۰۴	۵/۴۲	۴/۱۸	۴
۶/۷۶	۱۰/۱۴	۹/۲۱	۸/۶۶	۱۰/۶۸	۵	۸/۱۶	۷/۳۴	۷/۱۹	۶/۲۸	۸/۰۹	۵
۷/۱۵	۶/۳۴	۹/۲۶	۹/۴۶	۷/۸۷	۶	۷/۶۷	۸/۲۷	۵/۶۰	۹/۲۴	۶/۹۵	۶
۶/۹۹	۵/۲۳	۵/۵۰	۸/۲۰	۸/۱۸	۷	۸/۰۵	۶/۸۷	۶/۵۰	۷/۷۲	۶/۹۰	۷
۶/۸۶	۶/۳۳	۶/۴۱	۵/۷۲	۵/۷۵	۸	۹/۹۴	۱۰/۲۳	۹/۵۴	۸/۷۴	۷/۰۵	۸
۶/۵۲	۴/۵۶	۷/۶۳	۳/۹۹	۶/۶۵	۹	۸/۶۰	۸/۱۷	۷/۰۷	۹/۱۵	۹/۹۰	۹
۵/۴۸	۶/۳۴	۴/۷۰	۷/۶۹	۳/۶۲	۱۰	۶/۴۸	۶/۳۶	۸/۵۸	۶/۶۵	۵/۸۱	۱۰
۴/۹۰	۷/۳۸	۵/۱۵	۷/۹۸	۴/۱۶	۱۱	۸/۳۰	۶/۲۰	۴/۲۱	۷/۶۰	۸/۲۴	۱۱
۵/۹۵	۷/۵۳	۴/۸۱	۷/۳۵	۸/۶۳	۱۲	۷/۳۱	۴/۷۰	۴/۷۷	۵/۴۰	۴/۱۶	۱۲
۵/۲۶	۴/۶۸	۷/۲۲	۶/۳۵	۵/۱۳	۱۳	۷/۵۵	۵/۹۰	۴/۳۰	۵/۳۸	۶/۱۷	۱۳
۶/۶۴	۶/۲۶	۵/۴۱	۵/۴۵	۹/۰۶	۱۴	۶/۲۴	۴/۶۸	۸/۴۴	۵/۳۱	۴/۷۰	۱۴
۵/۴۷	۵/۰۶	۶/۹۸	۷/۷۳	۶/۷۵	۱۵	۴/۰۹	۴/۹۵	۸/۸۱	۴/۵۶	۸/۴۹	۱۵
۸/۱۳	۸/۷۴	۶/۱۴	۹/۰۹	۷/۱۸	۱۶	۴/۸۰	۷/۶۰	۶/۴۶	۵/۳۸	۸/۱۹	۱۶
۱۱/۸۷	۸/۶۳	۱۰/۷۶	۱۰/۲۱	۱۱/۱۹	۱۷	۷/۸۶	۷/۴۶	۸/۴۲	۷/۱۳	۵/۱۶	۱۷
۱۲/۷۶	۱۰/۷۸	۸/۵۹	۷/۸۸	۸/۸۶	۱۸	۸/۳۴	۴/۴۷	۷/۳۵	۶/۳۰	۶/۸۸	۱۸
۱۳/۰۵	۱۲/۰۲	۱۳/۷۱	۱۲/۵۲	۱۱/۰۳	۱۹	۷/۵۳	۵/۸۵	۷/۴۴	۹/۴۰	۷/۷۲	۱۹
۱۴/۴۳	۱۳/۶۴	۱۳/۸۷	۱۲/۰۲	۱۴/۵۶	۲۰	۸/۶۶	۶/۷۲	۱۱/۲۹	۹/۲۳	۱۰/۶۸	۲۰
۱۶/۲۳	۱۴/۴۸	۱۲/۸۱	۱۲/۰۶	۱۲/۳۶	۲۱	۳/۹۹	۴/۶۴	۲/۹۷	۲/۴۱	۲/۰۱	۲۱
۱۶/۹۰	۱۷/۳۵	۱۶/۲۴	۱۴/۱۹	۱۶/۷۴	۲۲	۲/۶۸	۴/۰۵	۵/۷۵	۲/۵۱	۶/۵۲	۲۲
۱۹/۸۱	۱۸/۱۲	۱۸/۷۳	۱۹/۸۰	۱۹/۷۵	۲۳	۴/۰۷	۶/۳۱	۳/۸۱	۳/۱۵	۴/۱۳	۲۳
۱۸/۴۹	۱۷/۸۱	۱۷/۱۷	۱۸/۸۵	۱۹/۷۱	۲۴	۵/۲۱	۶/۶۷	۲/۸۱	۴/۱۹	۵/۲۹	۲۴

مثلاً در ساعت دوم در سناریو سوم در زمستان که احتمال وقوع این سناریو ۰,۷ است میزان توان تولیدی واحد باد برابر ۵,۱۳ کیلووات است. با توجه به وجود عدم قطعیت در تابش خورشید ،سناریوهای تولیدشده در شبیه‌سازی برای فتوولتاییک در جدول ۳آورده شده است.

جدول۳-سناریوهای مربوط به توان تولیدی فتوولتاییک در زمستان و تابستان به همراه احتمال هر سناریو.

سناریو۵	سناریو۴	سناریو۳	سناریو۲	سناریو۱	تابستان	سناریو۵	سناریو۴	سناریو۳	سناریو۲	سناریو۱	زمستان
۰/۰۱۳	۰/۰۶۲	۰/۸۵	۰/۰۶۲	۰/۰۱۳	احتمال/ساعت	۰/۰۱۳	۰/۰۶۲	۰/۸۵	۰/۰۶۲	۰/۰۱۳	احتمال/ساعت
۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱
۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۲
۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۳
۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۴
۰	۰	۰	۰	۰	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۵
۰	۰	۰	۰	۰	۶	۰	۰	۰	۰	۰	۶
۰/۸۱	۰/۲۲	۱/۹۹	۱/۰۰	۰/۱۵	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۷
۴/۷۷	۳/۴۵	۲/۹۴	۴/۴۶	۳/۹۵	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۸
۵/۱۷	۵/۹۴	۵/۶۷	۵/۲۳	۵/۱۹	۹	۲/۴۹	۲/۲۶	۲/۷۸	۲/۲۶	۲/۳۰	۹
۸/۲۵	۷/۷۸	۸/۹۳	۸/۶۹	۷/۴۵	۱۰	۵/۶۰	۵/۹۱	۴/۳۸	۴/۹۹	۵/۴۸	۱۰
۱۱/۳۶	۱۲/۴۲	۱۲/۰۴	۱۱/۸۳	۱۲/۲۱	۱۱	۶/۰۴	۷/۲۹	۵/۶۶	۶/۶۷	۷/۲۶	۱۱
۱۴/۱۵	۱۴/۵۹	۱۵/۳۵	۱۴/۲۵	۱۵/۵۹	۱۲	۸/۶۳	۷/۲۳	۷/۵۵	۷/۸۲	۷/۷۵	۱۲
۱۷/۷۸	۱۷/۰۴	۱۷/۲۸	۱۷/۱۹	۱۶/۰۵	۱۳	۱۰/۵۰	۹/۱۷	۱۰/۰۸	۹/۳۳	۱۰/۲۸	۱۳
۱۸/۹۱	۱۹/۳۲	۱۹/۰۳	۱۹/۲۸	۱۹/۲۱	۱۴	۱۲/۶۱	۱۱/۰۹	۱۲/۵۱	۱۱/۲۷	۱۲/۳۰	۱۴
۱۷/۰۰	۱۶/۲۶	۱۶/۰۶	۱۶/۵۰	۱۵/۱۴	۱۵	۱۱/۵۵	۱۱/۱۰	۱۱/۷۳	۱۱/۳۹	۱۰/۱۲	۱۵

www.kahrobaonline.ir

۱۳/۶۷	۱۳/۲۳	۱۲/۸۲	۱۲/۳۰	۱۲/۰۴	۱۶	۵/۳۵	۶/۶۰	۶/۲۴	۶/۲۹	۶/۹۰	۱۶
۹/۴۳	۱۰/۷۰	۱۰/۸۴	۱۰/۸۸	۱۰/۷۷	۱۷	۳/۳۱	۳/۶۸	۳/۶۰	۳/۸۴	۲/۴۰	۱۷
۷/۲۹	۸/۳۹	۸/۲۲	۷/۸۹	۸/۵۲	۱۸	۰/۹۵	۱/۷۳	۱/۲۵	۱/۴۹	۱/۰۵	۱۸
۶/۴۷	۵/۴۹	۵/۹۵	۵/۵۸	۶/۷۵	۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۱۹
۲/۶۰	۱/۸۲	۲/۱۱	۱/۹۳	۲/۷۲	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰
۰	۰	۰	۰	۰	۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱
۰	۰	۰	۰	۰	۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۲۲
۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۲۳
۰	۰	۰	۰	۰	۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴

مثلاً توان تولیدی توسط واحد فتوولتاییک در ساعت دهم در سناریو اول در تابستان که احتمال وقوع این سناریو ۰,۰۱۳ است برابر۷,۴۵ کیلووات می‌باشد.بنابراین به ازای هر سناریو یک توان تولیدی به‌خصوص در هر ساعت از شبانه روز برای واحد بادی یا فوتوولتاییک ویک توان مصرفی به‌خصوص برای بار وجود دارد .با استفاده ازالگوریتم ژنتیک سعی می‌شود برنامه‌ریزی بهینه تولید توان در ریز شبکه به دست آید

۴- پارامترهای سیستم

محدودیت تولید واحدها، هزینه‌های تولید و ضرایب آلودگی هر واحد از قیودی هستند که در طول بهره‌برداری باید لحاظ شوند. هر ژنراتور یک بیشینه توان تولیدی در زمان بهره‌برداری دارد که در جدول ۴ نشان داده‌شده است .این‌گونه فرض می‌شود که CHP و پیل سوختی در تمام ساعات بین بیشینه و کمینه توان تولیدی خود تولید می‌کنند تا از هزینه‌های روشن‌سازی کاسته شود.

جدول ۴- محدودیت تولید توان واحدهای تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره‌ساز

واحدها	کمترین مقدار توان تولیدی	بیشترین مقدار توان تولیدی
CHP	۲	۵۵
پیل سوختی	۱	۴۰
باد	۰	۲۰
فتوولتاییک	۰	۲۵
ذخیره‌ساز	-۲۰	۲۰

برای واحدهای تولید پراکنده، هزینه تولید هر کیلووات ساعت به‌صورت سنتی از طریق تنزیل هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیرات در طول عمر مفید واحد و تقسیم آن بر کل انرژی تولیدی در طول یک سال محاسبه می‌گردد. سطر اول جدول ۵ هزینه تولید واحدها را به‌صورت هزینه میانگین در طول عمر مفید بیان می‌کند. درواقع، هزینه تولید در سال‌های اولیه از این میزان میانگین پائین تر است، با افزایش عمر واحد، زیاد می‌شود. ردیف دوم میزان تولید CO_2 هر واحد را بدون در نظر گرفتن میزانSO_2 و NO_xتولیدی، به دلیل مقادیر کمتر آن‌ها، نشان می‌دهد.

تولید توان بادی به‌شدت به آب‌وهوا وابسته است. قابلیت تولید برای یک دوره‌ی ۲۴ ساعته را می‌توان به‌خوبی تخمین زد. انرژی باد به دلیل قیمتش در طول دوره دیسپاچ خواهد شد.همچنین تولید فتوولتائیک نیز با توجه به الگوهای روزهای قبل و شرایط خورشید در ساعات مختلف قابل پیش‌بینی است. پیل سوختی هم برای یک دوره‌ی طولانی دارای خروجی محدود است، اما کل انرژی تولیدی با توجه به میزان سوخت هیدروژن تعیین می‌گردد.دشارژ ذخیره‌ساز به یک ظرفیت دشارژ حداکثر و میزان انرژی ذخیره‌شده‌ی موجود بستگی دارد بارها با در نظر گرفتن چندین جنبه‌ی مختلف پیش‌بینی می‌شوند، اگرچه اکثر بارها می‌توانند در محدوده‌ی موردنظر کنترل گردند(DSM یا مدیریت سمت بار)

جدول ۵- تعرفه تولید توان واحدها و ضرایب آلودگی

واحدها	CHP	سلول سوختی	توربین بادی	فتوولتاییک	ذخیره‌ساز
تعرفه (Euro/Kwh)	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۸	۰/۷	۰/۳۵

www.kahrobaonline.ir

CO2(Kg/Kwh)	۰/۳۷	۰/۲۳	۰	۰	۰

۵- نتایج عددی و تحلیل شبیه‌سازی‌ها

با استفاده از سناریوهای احتمالاتی که برای باد و خورشید داریم و با استفاده از تابع هدف ، داده‌های موجود نظیر قیود مطرح‌شده برای تولید توان واحدهای تولیدی ، تعرفه‌های تولید توان و بار مصرفی شبیه‌سازی انجام می‌گیرد صحت عملکرد شبیه‌سازی صورت گرفته بر روی دو بار تابستانی و زمستانی بررسی می‌گردد . نتایج شبیه‌سازی به شرح زیر می‌باشد نتیجه پخش توان بهینه در ریز شبکه برای پروفیل بار معادل به‌دست‌آمده از سناریوهای ذکرشده در بخش‌های پیشین در فصل زمستان و تابستان به ترتیب در جدول ۶ و۷ آمده است.

جدول۶- نتیجه پخش توان بهینه در ریز شبکه برای بار زمستان

ساعت	باد	فتوولتاییک	CHP	سلول سوختی	ذخیره‌ساز	شبکه اصلی
۱	۲/۱۳۶	۰	۵/۴۱	۸/۵۵	۹/۳۶	-۴۳/۹۶
۲	۳/۶۶	۰	۱۱/۱۸	۷/۷۵	-۸/۸۳	-۴۷/۴۴
۳	۲/۴۸	۰	۶/۵۶	۴/۷۳	۱۵/۹۳	-۳۸/۴۵
۴	۴/۲۳	۰	۹/۰۶	۱۱/۳۶	۱/۷۲	-۳۵/۳۹
۵	۱/۳۱	۰	۹/۷۸	۷/۵۴	۳/۶۸	-۴۳/۲۴
۶	۳/۶۴	۰	۷/۵۴	۵/۴۱	-۱۱/۵۴	-۶۴/۶۰
۷	۴/۹۷	۰	۱۰/۶۱	۳۸/۵۵	۱۹/۳۵	۲/۴۲
۸	۴/۷۸	۰	۴۶/۸۱	۳۶/۳۸	-۱۱/۸۳	-۱۳/۷۳
۹	۲/۲۸	۱/۳۰	۴۷/۷۵	۳۶/۲۸	۷/۱۵	-۰/۵۲
۱۰	۳/۲۰	۱/۵۰	۴۷/۶۶	۳۶/۴۴	۵/۰۳	۰/۴۰
۱۱	۲/۱۱	۱/۹۰	۴۶/۹۹	۳۶/۸۰	۱/۰۱	۵/۲۷
۱۲	۲/۲۶	۳/۷۲	۹/۹۲	۳۶/۴۴	۹/۰۸	-۲۲/۴۶
۱۳	۲/۱۲	۶/۳۳	۶/۰۵	۶/۹۷	۱/۴۸	-۶۶/۲۱
۱۴	۳/۱۲	۷/۵۸	۶/۹۳	۴/۹۹	۱/۱۴	-۶۲/۴۸
۱۵	۳/۱۳	۶/۳۵	۱۰/۰۸	۷/۲۸	۵/۱	-۵۲/۵۷
۱۶	۴/۲۵	۲/۹۸	۶/۵۷	۷/۳۸	-۶/۵۴	-۷۱/۸۴
۱۷	۲/۶۷	۱/۹۸	۶/۳۲	۸/۱۷	۱۵/۱۲	-۴۸/۴۳
۱۸	۳/۷۲	۰/۸۵	۴۸/۱۲	۳۷/۷۳	۳/۳۶	۰/۷۷
۱۹	۲/۸۵	۰	۴۶/۷۹	۳۷/۲۷	۹/۱۵	-۳/۶۶
۲۰	۳/۵۹	۰	۴۸/۷۹	۳۵/۱۱	۱۰/۲۶	-۳/۹۰
۲۱	۱/۵۳	۰	۴۷/۵۳	۳۷/۴۵	-۳/۱۲	-۱۰/۱۳
۲۲	۳/۳۴	۰	۴۹/۵۸	۳۸/۳۷	۱۹/۹۳	۲۰/۹۸
۲۳	۲/۶۷	۰	۴۷/۶۹	۳۶/۹۶	۰/۴۴	۱/۶۱
۲۴	۰/۵۶	۰	۶/۳۴	۳۵/۴۹	۱۹/۲۴	-۱۸/۳۰

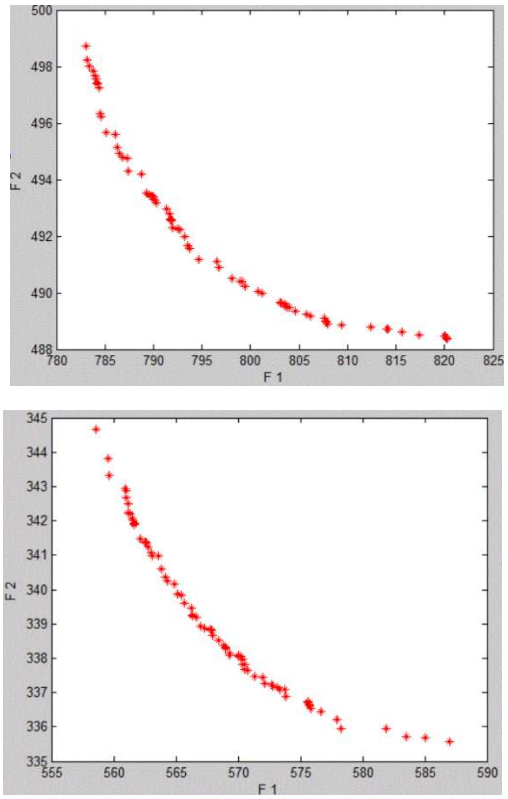
جدول۷- نتیجه پخش توان بهینه در ریز شبکه برای بار تابستان

ساعت	باد	فتوولتاییک	CHP	سلول سوختی	ذخیره‌ساز	شبکه اصلی
۱	۸/۷۱	۰	۱۰/۶۰	۵/۹۳	۳/۳۴	-۳۸/۴۴
۲	۴/۵۰	۰	۶/۵۵	۶/۶۴	۱۵/۶۷	-۲۹/۲۷
۳	۸/۵۸	۰	۸/۱۴	۵/۲۸	-۷/۱۳	-۴۷/۵۶
۴	۷/۱۴	۰	۶/۶۵	۶/۱۸	۱۳/۷۸	-۲۷/۰۱
۵	۷/۱۹	۰	۸/۵۰	۵/۶۴	۴/۲۴	-۳۲/۲۳
۶	۴/۵۳	۰	۶/۲۳	۷/۱۰	۱۱/۳۸	۳۳/۳۴
۷	۳/۲۴	۰/۵۸	۴۸/۸۱	۳۸/۰۷	۶/۴۱	۲۷/۵۱
۸	۳/۶۷	۲/۲۱	۴۵/۸۷	۳۸/۰۷	۱۳/۵۹	۳۳/۷۳
۹	۴/۱۲	۴/۲۲	۴۸/۲۰	۳۵/۴۴	-۷/۷۵	۳/۰۰

www.kahrobaonline.ir

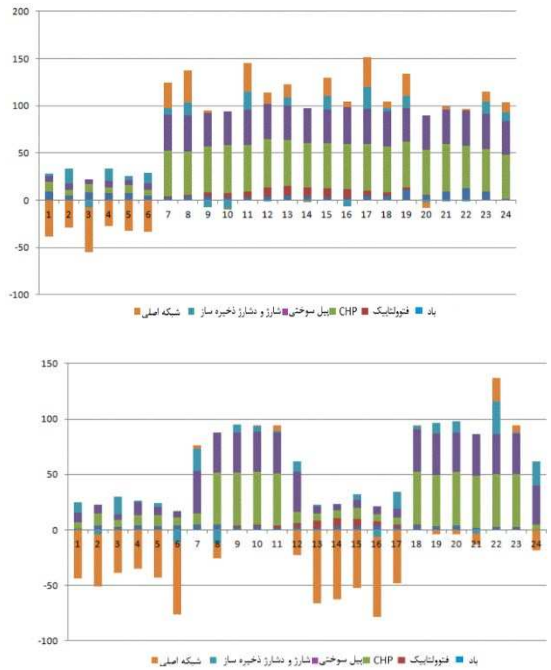
۱۰	۲/۸۷	۴/۸۱	۵۰/۹۱	۳۵/۲۵	-۸/۹۰	-۰/۴۳
۱۱	۳/۰۸	۶/۰۵	۴۹/۶۲	۳۶/۸۹	۱۸/۷۹	۳۱/۱۱
۱۲	۳/۹۹	۹/۸۲	۵۰/۳۶	۳۷/۴۹	-۰/۵۸	۱۲/۶۹
۱۳	۴/۸۸	۱۰/۵۰	۴۸/۴۸	۳۶/۲۰	۹/۰۸	۱۳/۶۰
۱۴	۳/۵۵	۹/۷۱	۴۷/۳۸	۳۶/۷۷	-۱/۴۹	-۰/۵۹
۱۵	۲/۸۶	۹/۷۷	۴۷/۳۹	۳۶/۱۷	۱۴/۲۰	۱۸/۹۸
۱۶	۱/۹۰	۹/۶۶	۴۷/۹۷	۳۸/۶۰	-۶/۳۳	۶/۶۶
۱۷	۵/۱۰	۵/۶۱	۴۹/۳۶	۳۹/۸۹	۱۹/۹۳	۳۱/۷۷
۱۸	۴/۸۳	۳/۶۴	۴۷/۹۱	۳۷/۶۵	۳/۵۰	۷/۱۴
۱۹	۱۰/۷۴	۲/۶۶	۴۸/۴۹	۳۵/۷۵	۱۳/۲۴	۲۲/۸۶
۲۰	۴/۳۸	۱/۳۱	۴۸/۰۰	۳۵/۹۰	-۱/۸۴	-۶/۰۳
۲۱	۸/۸۹	۰	۵۰/۶۱	۳۶/۰۲	-۰/۹۹	۳/۷۷
۲۲	۱۲/۴۶	۰	۴۵/۵۱	۳۶/۷۵	-۰/۸۴	۲/۲۳
۲۳	۹/۱۲	۰	۴۴/۹۵	۶۷/۱۰	۱۳/۲۴	۱۰/۸۲
۲۴	۰/۹۴	۰	۴۷/۰۸	۳۵/۸۵	۹/۶۷	۱۰/۴۰

نتایج جدول فوق برای نقطه بهینه پرتـو بـا کمتـرین میـزان تـابع هـدف هزینـه بهره‌برداری می‌باشد.به عبارتی مقادیر توانی که برای هر واحد تولیدی در یک ساعت به‌خصوص به دست می‌آوریم ازنظر هزینه، کمترین هزینه را ایجاد می‌کند... اگر دو تابع هدف هزینه توان تولیدی واحدها در ریز شبکه و تابع هدف آلودگی را برحسب هم در نظر بگیریم شکل۲ به ترتیب برای تابستان و زمستان به دست می‌آید به عبارتی این شکل بهینه پرتو برای دو تابع هدف هزینه و آلودگی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-بهینه پرتو دو تابع هدف هزینه و آلودگی برای تابستان و زمستان(به ترتیب شکل بالا و پایین)

شکل ۳ نحوه تأمین توان بار توسط ریز شبکه و شبکه اصلی را نشان می‌دهد. کلیـه توان‌ها برحسـب kw می‌باشد.



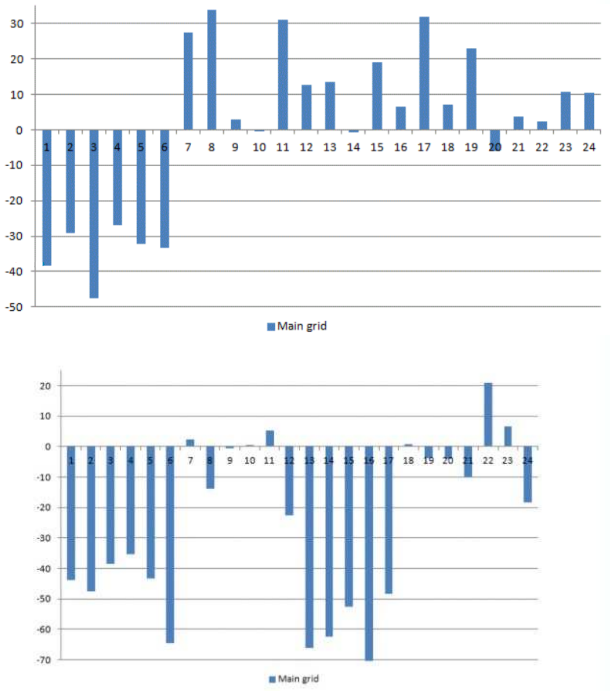
شکل۳- تأمین توان بار توسط ریز شبکه و شبکه اصلی در تابستان و زمستان(به ترتیب شکل بالا و پایین)

همان‌طور که مشخص است در ساعات کم باری توان از سمت شبکه به میکروگرید به دلیل هزینه کمتر ارسال می‌شود.انرژی باد نیز در کل ساعات دیسپاچ شده است.

شکل۴ مبادلات توان میان ریز شبکه و شبکه اصلی را در تابستان و زمستان نشان می‌دهد.

www.kahrobaonline.ir

نسبت به هزینه میانگین تولید در ریز شبکه،جهت شارش توان از سمت شبکه اصلی به ریز شبکه می‌باشد و برعکس.



شکل۴- مبادلات توان میان شبکه اصلی و ریز شبکه در تابستان و زمستان(به ترتیب شکل بالا و پایین)

به عبارتی در ساعات۱تا۶ صبح و ۱۲ تا ۱۷ عصر که مقدار هزینه‌ی خرید برق از شبکه نسبت به هزینه تولید توان در ریز شبکه پایین‌تر است. خرید برق از شبکه انجاممی گیرد.با تحلیل برنامه‌ریزی بهینه سناریوها دلایلی برای تأیید صحت نتایج شبیه‌سازی به دست می‌آید عبارتند از: برآورده شدن همه قیود مسئله،برنامه‌ریزی بهینه تولید توان در هر سناریو با توجه به قیمت تولیدی هر تولیدکننده که به ترتیب باد، فتوولتائیک، دشارژ باتری، CHPو پیل سوختی می‌باشد.به‌درستی انجام‌شده است،برنامه‌ریزی توان بادی و فتوولتائیک متناسب با توان پیش‌بینی‌شده انجام‌شده است،شارژ باتری در همه سناریوها در زمان کم باری شبکه (شب ساعت۲تا ۵و روز بین ۱۳تا ۱۵)اتفاق افتاده است.زیرا خرید برق از شبکه در آن زمان از همه زمان‌ها ارزان‌تر است. با توجه به پایین بودن هزینه فروش انرژی در این ساعات(فروش انرژی از شبکه به میکروگرید)، شارژ باتری‌ها در مقابل فروش انرژی به شبکه توجیه می‌شود(فروش انرژی از میکروگرید به شبکه)،فروش انرژی به شبکه در زمان‌هایی که هزینه فروش در بالاترین مقدار خود می‌باشد.انجام‌شده است(ساعت ۸تا ۱۲و ۱۹تا ۲۲)،ماکزیمم دشارژ باتری برای تأمین پیک‌بار در ساعات بین ۱۹تا ۲۲ و در زمان بین ۸تا۱۱ برای فروش به شبکه می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در سیستم‌های قدرت هیبریدی از ترکیب اجزا مختلفی مانند سیستم تولید، سیستم ذخیره، سیستم کنترل و مدیریت توان جهت تولید انرژی برق استفاده می‌شود. با توجه به توسعه روزافزون استفاده از ریز شبکه‌ها در صنعت برق، بحث پخش توان در میان واحدهای تولیدکننده برق یکی از اساسی‌ترین مواردی است که در هنگام استفاده از ریز شبکه‌ها می‌بایست لحاظ نمود.در این مقاله، به برنامه‌ریزی بهینه‌ی یکریز شبکه‌ی تجدید پذیر متصل به شبکه با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته‌شده است. این ریز شبکه شامل منابع انرژی تجدید پذیر باد و خورشید، باتری ،CHPو پیل سوختی است. نتایج برنامه‌ریزی بهینه‌ی واحدها با حداقل نمودن هزینه‌ی بهره‌برداری به‌دست‌آمده است. در این برنامه‌ریزی تولیدکننده‌ی مجازی توان یاVPP با استفاده از یک سیستم کنترل مرکزی، به مدیریت تولید بهینه و کنترل بار در ریز شبکه می‌پردازد.مسئله‌سازی شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار متلب و الگوریتم ژنتیک انجام‌شده است و هزینه‌ی بهره‌برداری برای یک دوره‌ی ۲۴ ساعته با در نظر گرفتن سناریوهای مطرح‌شده ۳۳۵۲ دلار می‌باشد.

۶-۱- پیشنهادات

استفاده از روش‌های پیش‌بینی بار مانند شبکه عصبی و سری زمانی جهت بالا بردن دقت برنامه‌ریزی ،استفاده از تعرفه‌های متغیر بازمان و مصرف انرژی جهت ایجاد تعادل تولید و مصرف، طراحی کنترل‌کننده ثانویه جهت متعادل کردن تولید و مصرف در لحظه جداسازی ریز شبکه،طراحی کنترل‌کننده افت هوشمند جهت هماهنگی هم‌زمان ولتاژ و فرکانس، تأثیر مدل‌سازی عنصر حیاتی AMI[2](سیستم اندازه‌گیری هوشمند)در شبیه‌سازی برای تبادل اطلاعات در شبکه‌های هوشمند و ریز شبکه‌های توزیع جهت بهبود در کنترل ریز شبکه، شبیه‌سازی لینک‌های ارتباطی بین المان‌های ریز شبکه جهت آگاهی از وضعیت قسمت‌های مختلف ریز شبکه

1- multi-agent systems (MAS)
2- advanced metering infrastructure (AMI)

[1]M. Elsied, A. Oukaour, H. Gualous, R. Hassan, Amr Amin, "An Advanced Energy Management of Microgrid System Based on Genetic Algorithm", IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISlE), 2014

.[2] Lagorse, J., Paire, D., Miraoui, A. "A multi-agent system for energy management of distributed power sources". Renewable Energy, Vol. 35, pp. 174–182,2010

[3] Dagdougui, H., Minciardi, R., Ouammi, A., Robba, M., Sacile, R. "Modeling and optimization of a hybrid system for the energy supply of a „„Green"" building". Energy Conversion and Management, Vol. 64, pp. 351–363, 2012.

[4] Chen, Y. H., Lu , S. Y., Chang , Y. R., Lee, T. T., Hu, M. C. "Economic analysis and optimal energy management models for microgrid systems: A case study in Taiwan". Applied Energy, 2012.

[5] Niknam, T., Golestaneh, F., Malekpour, A. " Probabilistic energy and operation management of a microgrid containing wind/ photovoltaic/fuel cell generation and energy storage devices based on point estimate method and self-adaptive gravitational search algorithm". Energy, Vol. 43, pp. 427-437, 2012.

[6] Mohamed, A., Mohammed, O. "Real-time energy management scheme for hybrid renewable energy systems in smart grid applications". Electric Power Systems Research, Vol. 96, pp.133–143, 2013

[7] Abedi, S., Alimardani, A., Gharehpetian, G.B., Riahy, G.H., Hosseinian, S.H. "A comprehensive method for optimal power management and design of hybrid RES-based autonomous energy systems". Renewable and

Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, pp. 1577–1587, 2012

[8] Mohamed, F.A., Koivo, H.N. "Multiobjective optimization using Mesh Adaptive Direct Search for power dispatch problem of microgrid". Electrical Power and Energy Systems, Vol. 42, pp. 728– 735, 2012.

[9] Niknam, T., Kavousifard, A., Tabatabaei, S., et al.: 'Optimal operation management of fuel cell /wind /photovoltaic power sources connected to distribution networks', J. Power Sources, 2011, 196, (20), pp. 8881–8896

[10] Niknam, T., Azizipanah-A barghooee, R., Narimani, MR.: 'An efficient scenariobased stochastic programming framework for multi-objective optimal microgrid operation', Appl. Energy, 2012, 99, pp. 455–470