بهره‌برداری میان‌مدت از هاب انرژی با در نظر گرفتن ریسک ناشی از عدم قطعیت‌های قیمت بازار و تقاضای انرژی الکتریکی

ارسلان نجفی[۱]، دانشجوی دکتری، حمید فلقی[۲]، دانشیار، مریم رمضانی[۳]، استادیار
۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه بیرجند - بیرجند – ایران
arsalan.najafi@birjand.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه بیرجند - بیرجند – ایران
falaghi@birjand.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه بیرجند - بیرجند – ایران
mramezani@birjand.ac.ir

چکیده: در سال‌های اخیر استفاده از مفهوم هاب انرژی به عنوان یک راه مناسب برای استفاده از سیستم‌های انرژی چند حاملی رواج پیدا کرده‌است. اگرچه این مفهوم هنوز در مراحل مطالعات اولیه مدل‌سازی و بهره‌برداری قرار دارد. در همین راستا، در این مقاله بهره‌برداری بهینه از یک هاب انرژی در سیستم تجدید ساختاریافته در یک بازه زمانی میان مدت ارائه می‌شود. بهره‌برداری در برگیرنده تصمیم‌گیری برای تهیه انرژی مصرف‌کنندگان بزرگ است. از این‌رو مدلی ارائه شده که در آن یک هاب انرژی با ورودی‌های الکتریکی و گاز طبیعی و خروجی‌های الکتریکی و حرارتی است. انرژی الکتریکی از راه‌های متفاوتی از قبیل: خرید از قرارداد دوجانبه، خرید از حوضچه توان و تولید با واحد تولید همزمان، تهیه می‌شود. تقاضای حرارتی نیز با کوره حرارتی و واحد تولید همزمان (CHP) تامین می‌شود. خرید از حوضچه توان با عدم قطعیت ناشی از قیمت بازارانرژی الکتریکی مواجه است. ضمن این‌که تقاضای انرژی الکتریکی نیز همواره با عدم قطعیت روبرو است. این عدم قطعیت‌ها موجب پیچیدگی امر تصمیم‌گیری خرید انرژی الکتریکی می‌شوند و باعث به وجود آمدن حالات نامطلوبی در هزینه‌های تهیه‌ی حامل‌ها می‌شود. مقدارشرطی در ریسک (*CVaR*) به عنوان یک معیار معروف برای کاهش حالات نامطلوب در تصمیم‌گیری، تحت شرایط نامطمئن استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی‌ها تا حد امکان از اطلاعات واقعی استفاده می‌شود و کارایی مدل پیشنهادی طی آزمایش‌های مختلف به اثبات می‌رسد.

واژه های کلیدی: هاب انرژی، ریسک، مصرف‌کنندگان بزرگ، بازار انرژی الکتریکی، عدم قطعیت.

تاریخ ارسال مقاله:۱۳۹۴/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۴/۰۷/۱۳
نام نویسنده مسئول: حمید فلقی
نشانی نویسنده مسئول: ایران -بیرجند - بلوار دانشگاه- پردیس شوکت آباد - دانشگاه بیرجند - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- گروه مهندسی قدرت

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]

۱- مقدمه

در سیستم قدرت تجدید ساختاریافته، مصرف‌کنندگان بزرگ به مصرف‌کنندگانی اطلاق می‌شود که به صورت مستقیم می‌توانند در بازار انرژی الکتریکی شرکت کنند. مصرف‌کنندگانی نظیر صنایع بزرگ، کارخانه‌ها و یا قسمتی از یک شهر و ... [۱]. هدف اصلی این مصرف‌کنندگان از شرکت در بازار، تهیه انرژی الکتریکی با کمترین هزینه است [۲]. باظهور مفهوم هاب انرژی[۱]، نحوه تهیه سایر حامل‌ها علاوه بر حامل انرژی الکتریکی نیز، برای مصرف‌کنندگان بزرگ اهمیت پیدا می‌کند. برای تهیه انرژی الکتریکی راه‌های متفاوتی مانند شرکت در بازار انرژی الکتریکی یا امضای قرارداد دوجانبه وجود دارد. یا به عنوان مثال برای تهیه انرژی حرارتی نیز از مبدل‌های حرارتی مانند کوره‌های حرارتی و یا مبدل‌های تولید همزمان[۲] می‌توان استفاده نمود. ضمن اینکه سوخت این مبدل‌ها باید از شبکه گاز طبیعی تامین شود.

مفهوم هاب انرژی مفهوم جدیدی است که در سال‌های اخیر به منظور استفاده از حامل‌های انرژی چندگانه[۳] مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در همین راستا در مرجع [۳] یک چارچوب مدل‌سازی جدید برای مطالعات پخش بار در فضای هاب انرژی ارائه شده است. عملکرد انرژی‌های نو خود یک چالش برای مسائل مرتبط با هاب انرژی محسوب می‌شود. به همین دلیل در مرجع [۴] نویسندگان به بررسی توزیع اقتصادی بار در هاب انرژی با حضور توربین بادی پرداخته‌اند. حضور باد موجب شده تا توزیع اقتصادی بار به یک توزیع اقتصادی احتمالی تبدیل شود. در [۵] مسأله مدیریت انرژی بر روی ورودی‌های هاب انرژی به منظور کمینه کردن هزینه‌های انرژی انجام شده است. این مقاله از یک بهینه‌سازی مقاوم استفاده کرده که نتایج حاصل از آن در واترلو کانادا پیاده‌سازی شده است. در این مقاله عدم قطعیت در هزینه‌ها در نظر گرفته نشده است. این مرجع مسأله را در یک بازه زمانی کوتاه‌مدت حل کرده است و هاب انرژی را به صورت یک مساله دینامیکی آمیخته با اعداد صحیح مدل‌سازی کرده است. در [۶] یک بحث ارزش‌گذاری اقتصادی برای حامل‌های انرژی الکتریکی، گاز و حرارت به عنوان ورودی و انرژی الکتریکی و حرارت در خروجی، مطرح شده است. همچنین در درون هاب نیز از CHP و ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی استفاده شده است. انرژی الکتریکی از بازار برق[۴] خریداری می‌شود که برای قیمت‌های آن عدم قطعیت[۵] در نظر گرفته شده است. قیمت‌ها با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو مشخص شده است. از طرفی در بعضی زمان‌ها از بحث مدیریت بار سمت مصرف‌کننده استفاده شده است. علاوه برآن حرارت نیز به عنوان بار در نظر گرفته شده است. در [۷] بحث بهره‌برداری کوتاه مدت از هاب انرژی مطرح شده است. عدم قطعیت‌های توربین‌های بادی، قیمت کوتاه مدت بازار و بار در نظر گرفته شده است. [۸] نحوه مدل کردن خودرو برقی در یک هاب انرژی که بر پایه انرژی‌های نو بنا شده را نشان می‌دهد. اهمیت این موضوع از این جهت است که افزایش خودروی برقی موجب تأثیرات متفاوتی در سیستم قدرت می‌شود. در مراجع [۹-۱۲] نیز فعالیت‌هایی در راستای مدل‌سازی و یا بهره‌برداری از سیستم‌های انرژی چندحاملی انجام شده است. اما در هیچ یک از این مراجع به بهره‌برداری بهینه در بازه زمانی میان‌مدت توجهی نشده است. علاوه بر این در [۱۳] نویسندگان به بررسی اقتصادی هاب انرژی در یک بازه بلند مدت پرداخته‌اند ولی به تأثیر عدم قطعیت‌ها در تصمیم‌گیری و ریسک توجهی نشده است. همچنین در زمینه تصمیم‌گیری خرید انرژی در محیط تجدید ساختار یافته، تحقیقاتی طی سال‌های اخیر انجام شده است. در [۱۴ و۱۵] نویسندگان روشی را برای تهیه انرژی معرفی کرده‌اند که به وسیله آن می‌توان ریسک ناشی از خرید انرژی را برای مصرف‌کنندگان بزرگ در نظر گرفت. اگرچه نویسندگان عدم قطعیت را تنها در قیمت بازار لحاظ کرده‌اند. تحقیقات برای خرید انرژی برای مصرف‌کنندگان بزرگ اخیراً نیز مورد توجه محققان بوده است. در [۱۶] فضای جدید شبکه هوشمند مطرح شده و استراتژی جدیدی برای نحوه پیشنهاد مزایده[۶] برای مصرف‌کنندگان بزرگ در یک شبکه هوشمند ارائه شده است.

در راستای تکمیل پژوهش‌های انجام شده در زمینه بهره‌برداری از هاب انرژی، در این مقاله تصمیم‌گیری خرید انرژی مصرف‌کنندگان بزرگ در یک بازه زمانی میان‌مدت و با درنظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از قیمت بازار انرژی الکتریکی و تقاضای انرژی الکتریکی انجام می‌شود. برای ساده‌سازی از عدم قطعیت ناشی از تقاضای انرژی حرارتی صرف‌نظر می‌شود. بدیهی است برای در نظر گرفتن این عدم قطعیت نیز باید مشابه عدم قطعیت تقاضای انرژی الکتریکی عمل شود. علاوه بر این تأثیر ریسک در تصمیم‌گیری نشان داده می‌شود. در مقایسه با [۱۳]، علاوه بر در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از بار و قیمت بازار انرژی الکتریکی، تأثیر عدم قطعیت‌ها و در نتیجه تأثیر ریسک در تصمیم‌گیری بررسی می‌شود. به عبارتی دیگر، در نظر گرفتن شاخص ریسک در تابع هدف و تصمیم‌گیری بر مبنای ریسک، تفاوت بین این مقاله و مرجع [۱۳] است. یک شبکه با بار واقعی و قیمت‌های واقعی مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. میزان بار نیز درصدی از بار شهر نیویورک است. با استفاده از یک معیار ریسک مناسب، از اثرات عدم قطعیت کاسته شده و پاسخ‌های مناسب و کارآمد به دست خواهند آمد.

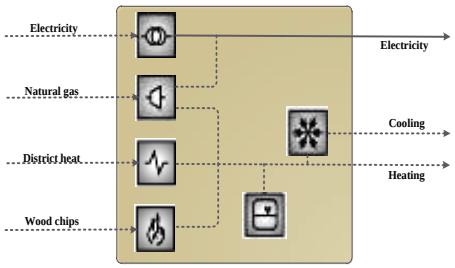
۲- بیان مسأله

مصرف‌کنندگان بزرگ گزینه‌های مختلفی برای تهیه انرژی الکتریکی پیش روی دارند. این گزینه عبارتند از: شرکت مستقیم در بازار انرژی الکتریکی، خرید انرژی از طریق قراردادهای دو جانبه و یا تولید از طریق ژنراتورهای تحت مالکیت. برای تهیه انرژی حرارتی نیز باید از شبکه گاز طبیعی به میزان لازم و در ساعات مناسب گاز خریداری شود. حال می‌توان این حامل‌های انرژی را به صورت مجتمع بیان کرد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]

هاب انرژی مفهومی است که این حامل‌ها را به یکدیگر مرتبط می‌کند [۱۱]. شکل (۱) یک هاب انرژی نمونه را نشان می‌دهد که در آن حامل‌های الکتریکی، گاز، انرژی حرارتی چوب و حرارت در ورودی قرار داشته و حامل‌های الکتریکی، حرارتی و سرمایش در خروجی قرار دارند. در درون این هاب نیز اقدامات مختلفی نظیر تبدیل، انتقال و ذخیره‌سازی انجام می‌شود. در این مقاله تصمیم‌گیری بدین صورت تعریف می‌شود که از هرکدام از این منابع به چه اندازه و در چه زمانی انرژی خریداری و یا تولید شود، به گونه‌ای که هزینه‌های ناشی از این عمل کمینه شود. مصرف‌کنندگان برای تصمیم‌گیری با چالش عدم قطعیت روبرو هستند. این عدم قطعیت در قیمت بازار انرژی الکتریکی و تقاضای انرژی الکتریکی در نظر گرفته می‌شود. [۲]. برای تصمیم‌گیری در چنین فضای نامطمئنی باید از برنامه‌ریزی تصادفی[۷] و مفهوم سناریو استفاده شود. بنابراین ابتدا باید سناریوهایی از منابع عدم قطعیت موجود در مقاله (قیمت بازار و میزان بار) تولید شده و سپس مدل مسأله در قالب برنامه‌ریزی تصادفی بیان شود.



شکل (۱): راه‌های تهیه انرژی توسط مصرف‌کنندگان بزرگ [۱۱]

۳- تولید سناریو

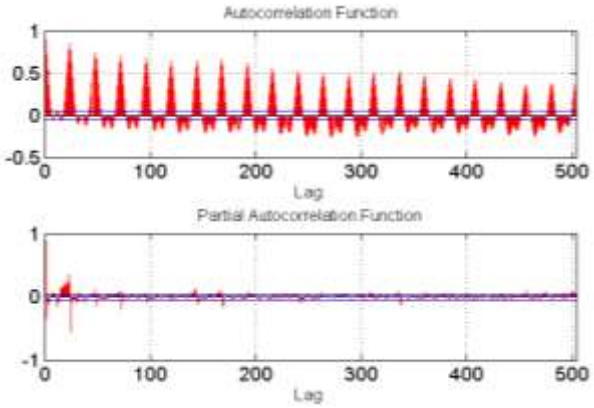
قیمت بازار و میزان بار الکتریکی همواره دارای نوسان بوده و به صورت روزانه و هفتگی در حال تغییر هستند. ماهیت این عدم قطعیت‌ها همواره به گونه‌ای است که دارای میانگین و واریانس متغیر با زمان است. به همین دلیل برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی این گونه عدم قطعیت‌ها باید از سری‌های زمانی ARIMA[۸] و روش ارائه شده در [۱۷] استفاده کرد. این سری زمانی به صورت کلی دارای معادله زیر است.

$$\phi(B)\cdot x_t = \theta(B)\cdot \varepsilon_t \qquad (۱)$$

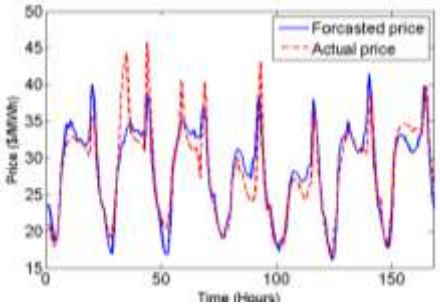
در این رابطه ε_t تابع توزیع نرمال با میانگین صفر و x_t نیز قیمت بازار و یا تقاضای الکتریکی در ساعت tام هستند. $\phi(B)$ و $\theta(B)$ نیز عملگرهای پس‌رو[۹] هستند که هرکدام با یک سری ضرایب معنی‌دار مشخص می‌شوند. این ضرایب با استفاده از روش باکس[۱۰] و جنکیس[۱۱] قابل حصول هستند [۱۸]. به همین منظور ابتدا باید ضرایب خود همبستگی[۱۲] و خودهمبستگی جزئی[۱۳] استخراج شوند. از آنجایی که روند پیش‌بینی و تولید سناریو برای قیمت بازار و بارتقاضا کاملاً مشابه است، فقط روند کار در تولید سناریوی قیمت بیان می‌شود. در همین راستا، ضرایب معنی‌دار برای قیمت بازار در شکل (۲) آورده شده است.

ضرایب معنی‌دار استخراج شده از قیمت بازار نیویورک نیز به صورت جدول (۱) است. این شبیه‌سازی‌ها با استفاده از داده‌های تاریخی در بازه زمانی ۱ دسامبر ۲۰۱۱ تا ۳ آوریل ۲۰۱۲ و بازه زمانی ۴ آوریل تا ۳۱ آوریل ۲۰۱۲ پیش‌بینی شده است [۱۹]. یک هفته نمونه از این پیش‌بینی در شکل (۳) نشان داده شده است.

با استفاده از این ضرایب معنی‌دار و با استفاده از روش ارائه شده در [۱] تعداد ۱۶ سناریو از قیمت بازار و ۵ سناریوی تقاضای انرژی الکتریکی تولید شده است. اساس این روش به این صورت است که یک سناریوی مشخص باید برای تمام ساعت‌ها (T)، تولید شود. بعد از تعیین ضرایب عملگرهای پس‌رو، با داشتن مقدار واریانس می‌توان سناریوی s_p را تولید کرد. حال با تغییر مقدار واریانس می‌توان به تعداد دلخواه سناریو تولید کرد.



شکل (۲): ضرایب خود همبستگی و خودهمبستگی جزئی قیمت بازار نیویورک



شکل (۳): قیمت پیش‌بینی شده از بازار انرژی الکتریکی نیویورک در یک هفته نمونه

جدول (۱): ضرایب معنی‌دار در پیش‌بینی قیمت بازار با استفاده از سری زمانی ARIMA

ضریب	مقدار	ضریب	مقدار
φ_{143}	-۰/۰۴۸۷۱۵۱	φ_1	۰/۶۳۷۴۷۶
φ_{145}	۰/۰۱۳۹۵۱۹	φ_2	۰/۱۷۷۲۰۱
φ_{168}	-۰/۱۷۹۵۸۵	$\varphi 3$	-۰/۰۳۴۷۵۴۵
θ_1	-۰/۹۲۸۶۹۳	φ_{24}	۰/۳۴۲۲۷۶
θ_2	-۰/۰۳۶۳۰۹۸	φ_{32}	-۰/۰۷۴۹۲۶۶
θ_{24}	۰/۰۹۲۸۳۶۲	φ_{48}	۰/۱۸۱۲۰۳

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]

θ_{168}	-۰/۵۷۶۳۰۸	φ_{72}	۰/۱۴۳۹۲۵
θ_{336}	-۰/۰۳۴۹۶۶۸	φ_{97}	۰/۰۳۸۲۶۱۶
θ_{504}	-۰/۰۵۳۱۱۷۱	φ_{121}	۰/۰۰۹۰۳۶۲۲

هر سناریویی در برگیرنده تمامی اطلاعات نامطمئن مسأله است. بنابراین در این پژوهش سناریوها برداری متشکل از قیمت بازار و میزان تقاضای انرژی الکتریکی هستند. فرم کلی هر سناریو به صورت زیر خواهد بود:

$$V(s)=[s_p \;\; s_l] \qquad s=1,2,..,S \qquad (۲)$$

که در این رابطه، $V(s)$ بردار سناریوی s، s_l سناریوی تقاضای انرژی الکتریکی و S نیز تعداد کل سناریوهاست.

۴- فرمول‌بندی مسأله

۴-۱- تصمیم‌گیری برای خرید انرژی الکتریکی

مصرف‌کنندگان بزرگ

مصرف‌کنندگان بزرگ گزینه‌های مختلفی را برای تهیه انرژی خود پیش رو دارند که عبارتند از: خرید انرژی از قرارداد دوجانبه، خرید انرژی از حوضچه توان و تولید انرژی با ژنراتورهای شخصی. این گزینه‌ها از نظر بازه زمانی در یک برنامه‌ریزی میان‌مدت با یکدیگر متفاوت بوده و از نظر زمانی به صورت زیر هستند [۱]:

- قرارداد ماهانه که در ابتدای ماه امضا می‌شود.
- قراردادهای هفتگی که در ابتدای هفته امضا می‌شود.
- خریداری از حوضچه که به صورت روزانه انجام می‌شود.
- تهیه توان با ژنراتورهای خودی که به صورت روزانه بررسی می‌شود.

مصرف‌کنندگان به‌منظور خرید یا فروش انرژی در بازار انرژی الکتریکی شرکت می‌کنند. تراکنش‌ها در بازار حوضچه توان به قیمت بازار وابسته هستند. به دلیل عدم قطعیت در قیمت بازار، این تصمیم‌گیری‌ها همواره با پیچیدگی‌های خاص خود همراه هستند. قیمت‌ها در قالب سناریو بیان می‌شوند. هر سناریویی تحقق قیمت حوضچه در تمام دوره‌های زمانی است. یعنی هر سناریویی بیانگر یک حالت خرید انرژی با احتمال مربوط به خود است. هزینه نهایی در حوضچه توان به صورت زیر به دست می‌آید [۲]:

$$C_{ts}^{P}=\lambda_{ts}^{P}\cdot P_{ts}^{P} \qquad (۳)$$

در این رابطه λ_{ts}^{P} قیمت بازار، P_{ts}^{P} توان خریداری شده در سناریوی s و ساعت t و C_{ts}^{P} نیز هزینه نهایی تراکنش است.

از طرفی مصرف‌کنندگان می‌توانند برای تأمین بخشی از انرژی خود از قراردادهای دوجانبه استفاده نمایند. قرارداد دوجانبه یک معاهده بین دو طرف در بیرون از محیط بازار برق است. فرض بر این است که قیمت قرارداد λ_{s}^{b} مستقل از قیمت بازار است. هزینه خرید از قرارداد دوجانبه در سناریوی s و قرارداد b با C_{bs}^{B} معرفی شده و به صورت زیر به دست می‌آید [۱]:

$$C_{bs}^{B}=\sum_{t\in T_b}\lambda_{bts}^{B}P_{bs}^{B} \qquad (۴)$$

متغیر تصمیم‌گیری P_{bs}^{B} توان خرید شده از قرارداد b در سناریوی s را مدل می‌کند. طول دوره این قرارداد T_b است. این توان ممکن است در هر بازه زمانی از بازه مطالعه انجام شود. اگر قرارداد b انتخاب شود، توان تهیه شده P_{bs}^{B} به وسیله حد بالا و پایین خودش محصور خواهد شد:

$$P_{bs}^{B,\min}\le P_{bs}^{B}\le P_{bs}^{B,\max} \qquad (۵)$$

همان‌گونه که ذکر شد انرژی مورد نیاز از دو طریق تهیه می‌شود. بنابراین هزینه کل TC_{ts} از مجموع این دو به دست می‌آید:

$$TC_{ts}=C_{bs}^{B}+C_{ts}^{P} \qquad (۶)$$

این منابع تهیه انرژی باید بتوانند میزان بار P_{ts}^{D} را در هر سناریو برآورده نمایند که این مهم به صورت ریاضی زیر بیان می‌شود:

$$P_{ts}^{P}+\sum_{b\in B_t}P_{bs}^{B}=P_{ts}^{D} \qquad (۷)$$

هر برنامه‌ریزی تصادفی از تعداد زیادی سناریو تشکیل شده که به صورت چند مرحله‌ای است. هر سناریو متشکل از یک جواب ممکن در طول دوره برنامه‌ریزی است. هنگامی که تحقق دو سناریوی مختلف s و s' در مرحله k یکسان باشد، آنگاه مقادیر متغیرهای تصمیم در این مرحله مساوی هستند. به این محدودیت، پیش‌بینی ناپذیری[۱۴] گفته می‌شود و به صورت ریاضی زیر بیان می‌شود [۲۰، ۲۱]:

$$\begin{aligned} s_b &= s'_b \\ P_{bs}^{B} &= P_{bs'}^{B} \end{aligned} \qquad (۸)$$

۴-۲- به‌کارگیری برنامه‌ریزی تصادفی در بهره‌برداری از سیستم‌های انرژی چندحاملی

مسأله بهره‌برداری از هاب انرژی یک مسأله چندمرحله‌ای بوده که در قالب برنامه‌ریزی تصادفی قابل حل است. به همین منظور در این مقاله یک بازه زمانی چهار هفته‌ای در نظر گرفته می‌شود و تهیه انرژی در طول این چهار هفته انجام می‌شود. این چهار هفته از ۶۷۲ ساعت تشکیل شده است. برای کاهش ابعاد مسأله به گونه‌ای که خللی در دقت مسأله ایجاد نشود، هر دو ساعت یک واحد زمانی در نظر گرفته شده است. بنابراین تعداد واحدهای زمانی به ۳۳۶ واحد کاهش یافته است [۱]. متغیرهای تصمیم در این مسأله عبارتند از:

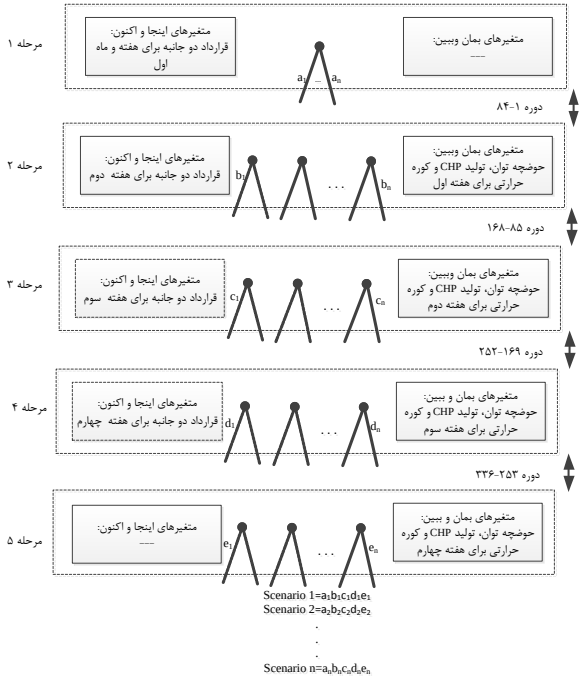
- تشخیص میزان و مقدار خرید انرژی از قراردادهای دو جانبه
- میزان خرید انرژی الکتریکی از حوضچه توان در تمامی زمان‌ها

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]

- میزان انرژی‌های تولید شده با واحد تولید همزمان
- میزان انرژی حرارتی تولید شده با استفاده از کوره حرارتی در بازه‌های زمانی مختلف

میزان خرید از قراردادهای دوجانبه در ابتدای ماه و یا ابتدای هفته منعقد می‌گردد و این‌کار بدون اطلاع از قیمت‌های آینده بازار انجام می‌شود که به تحقق سناریوها نیز مرتبط نیست. به همین دلیل به این نوع متغیرهای تصمیم‌گیری، متغیرهای اینجا و اکنون[15] گفته می‌شود. در عوض متغیرهای مربوط به بازار حوضچه توان، تولید CHP و کوره حرارتی به اندازه کافی به زمان مصرف نزدیک هستند و به آن‌ها متغیرهای بمان و ببین[16] گفته می‌شود.



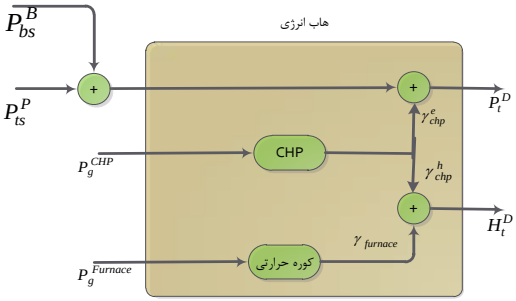
شکل (۴):چارچوب تصمیم‌گیری بهره‌برداری از هاب انرژی

شکل (۴) چارچوب تصمیم‌گیری بهره‌برداری را نشان می‌دهد. در این شکل تعداد مرحله‌ها و نوع متغیرهای تصمیم‌گیری در هر مرحله مشخص‌شده است. همچنین تعدادی مسیر در هر گره مشخص است. ترکیب این گره‌ها به تولید سناریوهای ممکن منجر می‌شود. درواقع هر سناریوی تحقق یک مسیر کامل از گره ریشه تا آخرین گره است.

بدون اینکه عمومیت مفهوم هاب انرژی از بین برود هابی مطابق شکل (۵) در نظر گرفته می‌شود. این هاب متشکل از حامل‌های ورودی الکتریکی و گاز و حامل‌های خروجی حرارتی و الکتریکی و یک CHP و یک کوره حرارتی[17] است. امید ریاضی هزینه نهایی به‌صورت تابع هدف زیر خواهد بود:

$$Minimize \quad \sum_{s=1}^{S}\pi_s\sum_{t=1}^{N_T}\Big(\sum\lambda_{bts}^{B}P_{bs}^{B}+\lambda_{ts}^{P}P_{ts}^{P}+(P_{gts}^{CHP}+P_{gts}^{furnace})\cdot\lambda_{gas}\Big) \qquad (۹)$$

در این رابطه P_{gts}^{CHP} و P_{gts}^{furnac} به ترتیب گاز ورودی به واحد CHP و کوره حرارتی در سناریوی s هستند. λ_{gas} و π_s نیز به ترتیب قیمت گاز و احتمال سناریوی s هستند.



شکل (۵): هاب انرژی تحت مطالعه

محدودیت تعادل انرژی الکتریکی در هاب انرژی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P_{ts}^{CHP}+P_{ts}^{P}+\sum_{b\in B_t}P_{bs}^{B}=P_{ts}^{D} \qquad (۱۰)$$

در این رابطه P_{ts}^{CHP} میزان انرژی الکتریکی تولید شده به وسیله CHP در سناریوی s است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ts}^{CHP}=\gamma_{e}^{chp}P_{gts}^{CHP} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه γ_{e}^{chp} ضریب بازدهی الکتریکی CHP و P_{gts}^{CHP} نیز میزان انرژی تولید شده به وسیله گاز است. کوره حرارتی به وسیله گاز تغذیه شده و انرژی حرارتی تولید می‌کند. رابطه بین ورودی و خروجی کوره حرارتی به صورت زیر است:

$$H_{ts}^{F}=\gamma^{furnace}\cdot P_{gts}^{Furnace} \qquad (۱۲)$$

در این رابطه H_{ts}^{F} و γ^{furnac} به ترتیب میزان انرژی حرارتی تولید شده به وسیله کوره و ضریب بازدهی گاز به حرارت هستند.

بنابراین حرارت مورد نیاز به دو طریق تولید می‌شود: از طریق واحد CHP و از طریق کوره حرارتی. رابطه تعادل انرژی حرارتی به صورت زیر است:

$$H_{ts}^{F}+H_{ts}^{CHP}=H_{t}^{D} \qquad (۱۳)$$

در این رابطه H_{ts}^{CHP} و H_{t}^{D} میزان حرارت تولید شده به وسیله CHP و تقاضای حرارتی هستند. H_{ts}^{CHP} با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H_{ts}^{CHP}=\gamma_{h}^{chp}P_{gts}^{CHP} \qquad (۱۴)$$

در این رابطه γ_{h}^{chp} ضریب بازدهی حرارتی CHP است. به منظور ساده‌سازی، قیود فنی CHP و کوره حرارتی در نظر گرفته نشده‌اند و تنها محدودیت‌های حداقل و حداکثر میزان تولید در آن‌ها به صورت زیر لحاظ شده‌اند:

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]

$$P_t^{CHP} \le P_t^{CHPMax} \quad (۱۵)$$

$$H_t^{CHP} \le H_t^{CHPMax} \quad (۱۶)$$

$$H_t^{F} \le H_t^{FMax} \quad (۱۷)$$

در این رابطه P_t^{CHPMax}، H_t^{CHPMax} و H_t^{FMax} حداکثر میزان تولید انرژی الکتریکی و حرارتی به وسیله CHP و کوره هستند.

۴-۳- مدل‌سازی ریسک

در مسئله‌ی تصمیم‌گیری برای تهیه انرژی باید ریسک ناشی از عدم قطعیت‌ها نیز در نظر گرفته شوند. امید ریاضی تابع هدف کمینه‌سازی به‌صورت (۹) بیان شد. در این مقاله برای مدل کردن ریسک ناشی از تغییرات هزینه‌ها، از معیار مقدار شرطی در ریسک[۱۸] در سطح اطمینان α استفاده می‌شود. $CVaR$ درواقع امید ریاضی $(1-\alpha)\times 100\%$ از سناریوها با بزرگترین مقدار هزینه است. $CVaR$ با مدل ریاضی زیر بیان می‌شود:

$$CVaR = \min\ \xi + \frac{1}{1-\alpha}\sum_{s=1}^{S}\pi_s\eta_s \quad (۱۸)$$

در این رابطه محدودیت زیر نیز باید در نظر گرفته شود:

$$\sum_{t=1}^{N_T}(\sum \lambda_{bts}^{B}P_{bs}^{B} + \lambda_{ts}^{P}P_{ts}^{P} + (P_{gts}^{CHP} + P_{gts}^{Furnace})\lambda_{gas}) - \xi \le \eta_s \qquad \eta_s \ge 0 \quad (۱۹)$$

ξ مقدار در ریسک[۱۹] نامیده می‌شود. VaR کوچک‌ترین مقدار هزینه‌ای است که در آن احتمال میزان هزینه‌هایی که بیشتر یا مساوی ξ است، کوچک‌تر یا مساوی $(1-\alpha)$ است. علاوه بر این η_s شرایطی را به وجود می‌آورد که هزینه‌های بزرگ‌تر از ξ مثبت باشند. در نهایت تابع هدف کلی دربرگیرنده‌ی هزینه‌ها و ریسک به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Minimize$$

$$\sum_{s=1}^{S}\pi_s\sum_{t=1}^{N_T}(\sum \lambda_{bts}^{B}P_{bs}^{B} + \lambda_{ts}^{P}P_{ts}^{P} + (P_{gts}^{CHP} + P_{gts}^{Furnace})\lambda_{gas}) + \beta(\xi + \frac{1}{1-\alpha}\sum_{s=1}^{S}\pi_s\eta_s) \quad (۲۰)$$

در این رابطه β عددی است که تعادلی بین امید ریاضی هزینه و ریسک ایجاد می‌کند [۱و ۲۰].

۵- نتایج مطالعات عددی

به منظور انجام شبیه‌سازی‌ها و مطالعات عددی، اطلاعاتی تا حد امکان واقعی و در برخی قسمت‌ها شبه واقعی استفاده شده است. برای پیاده‌سازی شبیه‌سازی‌ها نیز از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است. هاب شکل (۵) برای مطالعه در نظر گرفته شده است. مشخصات این هاب در جدول (۲) موجود است. برای ایجاد سناریوها مطابق بخش ۳، اطلاعات بار و بازار انرژی الکتریکی نیویورک به کار گرفته شده است [۱۹]. البته میزان بار ۵٪ از کل بار شهر نیویورک در نظر گرفته شده است. یعنی هدف تأمین تنها بخشی از بار شهر است. مشخصه تقاضای حرارتی سیستم به صورت شکل (۶) است. در طی فرآیند شبیه‌سازی، همان‌گونه که ذکر شد هر ۲ ساعت یک واحد زمانی فرض می‌شود. بنابراین ۶۷۲ ساعت تبدیل به ۳۳۶ ساعت شده و ضمن حفظ دقت از زمان اجرای برنامه نیز کاسته می‌شود [۱]. تعداد ۸۰ سناریو برای قیمت بازار انرژی الکتریکی و بار تقاضا تولید شده است. ۴ سناریوی نمونه‌ی ۱، ۱۸، ۳۵ ۶۹ از این ۸۰ سناریو در شکل (۷) نمایش داده شده است. یکی از راه‌های تأمین انرژی الکتریکی، خرید از قرارداد دوجانبه است. در این مقاله ۵ قرارداد موجود است که خریدار می‌تواند برای تأمین انرژی از این قراردادها استفاده نماید. دوره زمانی این قراردادها و سایر مشخصات مرتبط، مطابق با جدول (۳) است. شبیه‌سازی‌ها طی دو آزمایش انجام می‌شود. در آزمایش اول میزان β و α ثابت است. در آزمایش دوم به منظور تحلیل ریسک، این دو مقدار تغییر می‌کنند.

جدول (۲) : مشخصات هاب تحت مطالعه

پارامتر	اندازه	پارامتر	اندازه
β	۱	$\gamma^{furnace}$	۰/۷۵
α	۰/۹۵	γ_e^{chp}	۰/۳۰
λ_{gas} ($/MW)	۲۵	γ_h^{chp}	۰/۳۵

۵-۱- آزمایش اول

در این آزمایش میزان ضرایب مرتبط با ریسک ثابت در نظر گرفته می‌شود و میزان β و α به ترتیب برابر ۱ و ۰/۹۵ است. شبیه‌سازی‌ها انجام شده و در شکل‌های متنوع نمایش داده شده‌اند. شکل (۸) چهار سناریوی نمونه مذکور را نشان می‌دهد. این چهار سناریو بیانگر این موضوع می‌باشد که سناریوهای مختلف در بازه‌های زمانی مختلف، میزان خرید انرژی متفاوتی را از حوضچه توان پیشنهاد می‌دهند که در عمل تصمیم‌گیری بسیار حائز اهمیت است. البته الگوی این شکل مشابه الگوی قیمت بازار است و در حالتی که قیمت در بازار رقم بالایی دارد انرژی کمتری خریداری می‌شود. شکل (۹) نحوه خرید انرژی از قراردادهای دوجانبه در تمام سناریوها را نشان می‌دهد. با توجه به قیمت بالای انرژی از جانب قرارداد کاندید شماره ۳، هیچ قراردادی با آن منعقد نشده است. در عوض از سایر قراردادها به حد بیشینه انرژی خریداری می‌شود.

جدول (۳): مشخصات قراردادهای دوجانبه

شماره قرارداد	قیمت ($/MWh)	حد بیشینه	حد کمینه	زمان اجرا
۱	۲۵/۲	۳۰	۵	کل دوره
۲	۲۷/۸	۴۵	۱۰	کل دوره
۳	۲۹	۴۰	۵	دو هفته اول
۴	۲۸/۸	۵۰	۱۰	دو هفته آخر

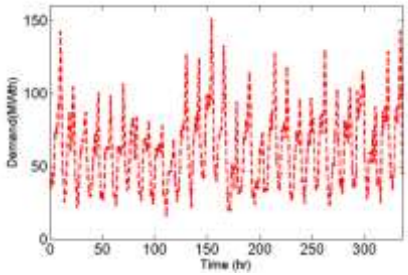
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]

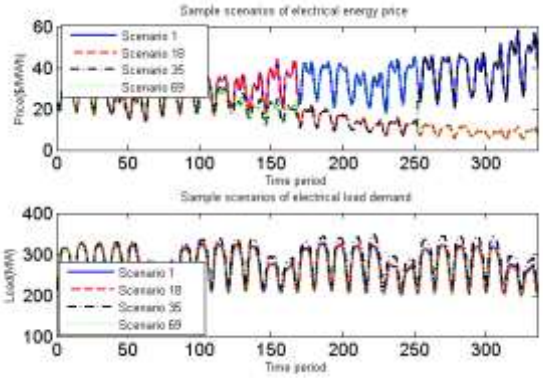
۵	۲۶	۳۸	۷	دو هفته آخر

شکل (۱۰) بیانگر انرژی الکتریکی و حرارتی تولید شده به وسیله CHP است. همچنین شکل (۱۱) نشان دهنده‌ی انرژی حرارتی تولید شده به وسیله کوره است. تفاوت الگویی در سناریوهای مختلف در تمامی این اشکال محرز است.

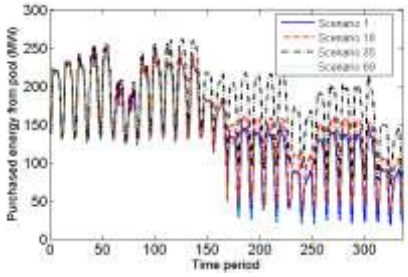
در نهایت مقادیر به دست آمده برای شاخص‌های هزینه و ریسک مرتبط با اشکال نشان داده شده در این آزمایش در جدول (۴) آورده شده است. این مقادیر به ترتیب ۳۰۱۳۹۵۷ و ۲۷۲۰۳۱۰ دلار برای امیدریاضی هزینه و ریسک هستند.



شکل (۶): ۵٪ از بار حرارتی شهر نیویورک



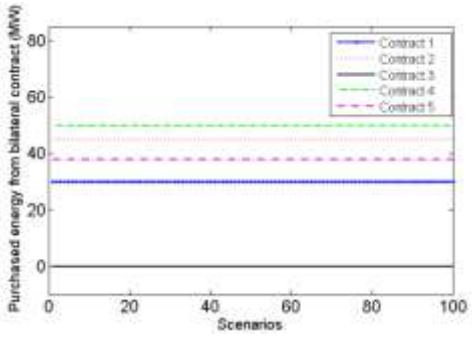
شکل (۷): چهار سناریوی نمونه از قیمت بازار و تقاضای انرژی الکتریکی



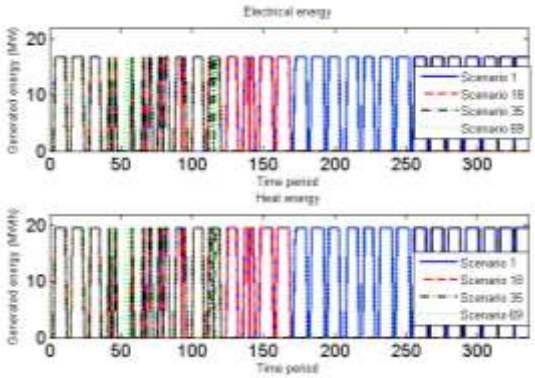
شکل (۸): انرژی خریداری شده از حوضچه توان در چهار سناریوی نمونه

جدول (۴): مقادیر به دست آمده برای شاخص‌ها در آزمایش اول ($)

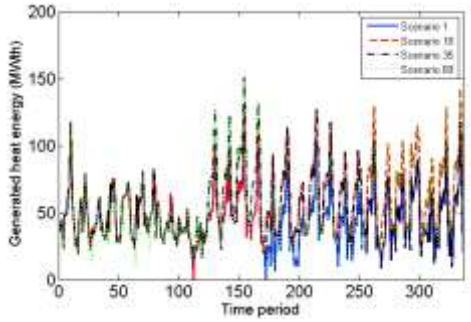
شاخص	امید ریاضی هزینه ($)	امید ریاضی ریسک ($)
اندازه	۳۰۱۳۹۵۷	۲۷۲۰۳۱۰



شکل (۹): انرژی خریداری شده از قرارداد دوجانبه



شکل (۱۰): میزان انرژی تولید شده با CHP در ۴ سناریوی نمونه



شکل (۱۱): میزان انرژی حرارتی تولید شده با کوره حرارتی در ۴ سناریوی نمونه

۵-۲- آزمایش دوم

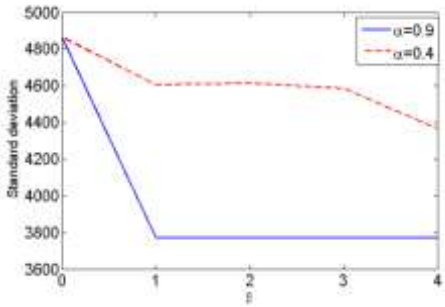
در این بخش تحلیلی بر روی ریسک در خرید انرژی الکتریکی انجام می‌شود. در همین راستا، مقدار β از ۰ تا ۴ تغییر می‌کند. اگرچه در فعالیت‌های اقتصادی عموماً سطح مشخصی از α مورد قبول محققین است، ولی برای نمایش تأثیر سطح اطمینان در شاخص‌های هزینه و ریسک، مقدار α نیز از ۰ تا ۰/۹۵ تغییر می‌کند.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

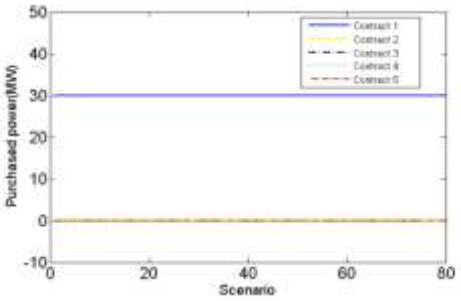
[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]

نتایج این تحلیل‌ها در جداول (۵) و (۶) آورده شده است. افزایش مقدار β موجب کاهش مقدار ریسک و افزایش امید ریاضی هزینه می‌شود. افزایش مقدار α نیز موجب کاهش امید ریاضی هزینه و افزایش ریسک می‌شود. مقدار تغییرات به گونه‌ای است که در ابتدا با تغییر β شیب تغییرات زیاد و سپس این شیب کاهش می‌یابد. از طرفی افزایش β به معنی افزایش اهمیت ریسک و کاهش واریانس (انحراف معیار) هزینه سناریوهای مختلف است. این مهم در شکل (۱۲) در دو مقدار متفاوت α به نمایش در آمده است. افزایش اهمیت ریسک موجب کاهش انحراف معیار هزینه‌ها شده است.

اگرچه این کاهش در ابتدا بسیار سریع و سپس بسیار ملایم است. همچنین افزایش α به معنی سطح اطمینان بیشتر و در نتیجه واریانس کمتر هزینه‌ها است. لحاظ یا عدم لحاظ ریسک در تصمیم‌گیری‌ها نیز کاملاً تأثیرگذار است. به همین منظور، این تأثیر در قراردادهای دو جانبه به نمایش در آمده است. شکل (۱۳) حالتی را نشان می‌دهد که در آن ریسک در نظر گرفته نشده است. به غیر از قرارداد ۱ هیچ یک از قراردادها منعقد نشده‌اند. در صورتی که این شکل با شکل (۹)، حالتی که ریسک در نظر گرفته می‌شود، مقایسه شود می‌توان تفاوت در تصمیم‌گیری‌ها را به وضوح مشاهده نمود. امضای این قراردادها، در حالتی که ریسک لحاظ می‌شود، به معنی بالا رفتن امید ریاضی هزینه‌هاست ولی بهره‌بردار هاب برای کاهش ریسک، این افزایش هزینه (منعقد کردن قراردادهایی با هزینه بالاتر) را متحمل می‌شود.



شکل (۱۲): بررسی تغییرات انحراف معیار هزینه سناریوها با تغییرات α و β



شکل (۱۳): قراردادهای دوجانبه بدون در نظر گرفتن ریسک

جدول (۵): حساسیت امید ریاضی هزینه به α و β ($)

α	β					
	۰	۰/۵	۱	۲	۳	۴
۰/۹۵	۲۹۷۰۳۸۸	۲۹۸۳۲۴۴	۳۰۱۳۹۵۷	۳۰۱۳۹۵۷	۳۰۱۳۹۵۷	۳۰۱۳۹۵۷
۰/۹	۲۹۷۰۳۸۸	۲۹۸۷۴۲۹	۳۰۰۷۹۷۲	۳۰۱۸۴۵۳	۳۰۱۸۴۵۳	۳۰۱۸۴۵۳
۰/۷	۲۹۷۰۳۸۸	۲۹۸۲۷۷۷	۳۰۱۹۹۵۱	۳۰۲۲۹۶۳	۳۰۲۲۹۶۳	۳۰۲۲۹۶۳
۰/۵	۲۹۷۰۳۸۸	۲۹۸۳۵۹۶	۲۹۸۹۱۸۵	۳۰۰۳۱۴۷	۳۰۲۵۸۳۱	۳۰۲۶۰۸۳
۰/۳	۲۹۷۰۳۸۸	۲۹۷۹۵۶۶	۲۹۸۷۸۹۰	۲۹۹۷۷۲۲	۲۹۹۹۷۶۱	۳۰۰۰۲۳۳
۰/۱	۲۹۷۰۳۸۸	۲۹۷۹۴۳۰	۲۹۸۵۲۹۹	۲۹۹۷۴۴۱	۳۰۰۳۶۴۴	۳۰۰۶۷۷۰
۰	۲۹۷۰۳۸۸	۲۹۷۹۳۷۲	۲۹۸۶۵۲۱	۳۰۰۰۵۴۹	۳۰۰۷۱۸۳	۳۰۱۱۴۶۴

جدول (۶): حساسیت میزان ریسک به α و β ($)

α	β					
	۰	۰/۵	۱	۲	۳	۴
۰/۹۵	۲۹۵۴۰۰۴	۲۷۶۹۵۵۸	۲۷۲۰۳۱۰	۲۷۲۰۳۱۰	۲۷۲۰۳۱۰	۲۷۲۰۳۱۰
۰/۹	۲۹۵۴۰۰۴	۲۷۱۱۶۷۲	۲۶۷۵۶۲۸	۲۶۶۷۷۵۶	۲۶۶۷۷۵۶	۲۶۶۷۷۵۶
۰/۷	۲۹۵۴۰۰۴	۲۵۷۴۱۲۲	۲۵۳۰۰۶۰	۲۵۲۷۰۷۷	۲۵۲۷۰۷۷	۲۵۲۷۰۷۷
۰/۵	۲۹۵۴۰۰۴	۲۴۴۷۱۸۰	۲۴۳۸۵۰۱	۲۴۳۰۳۸۶	۲۴۲۰۱۵۶	۲۴۲۰۰۸۲
۰/۳	۲۹۵۴۰۰۴	۲۳۵۴۱۲۸	۲۳۴۳۱۶۲	۲۳۳۵۱۵۳	۲۳۳۴۳۰۲	۲۳۳۴۱۶۰
۰/۱	۲۹۵۴۰۰۴	۲۲۳۵۱۳۴	۲۲۲۶۳۸۸	۲۲۱۷۷۳۰	۲۲۱۵۱۴۸	۲۲۱۴۲۴۴
۰	۲۹۵۴۰۰۴	۲۱۷۵۶۲۷	۲۱۶۴۹۷۵	۲۱۵۵۲۳۸	۲۱۵۲۴۲۸	۲۱۵۱۱۷۸

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله مسأله بهره‌برداری از سیستم‌های انرژی چندحاملی را در محیط تجدید ساختار یافته، با در نظر گرفتن عدم قطعیت بررسی می‌کند. مدیر هاب گزینه‌های متنوعی را برای تهیه حامل‌های انرژی پیش روی خود دارد. خرید انرژی از قرارداد دوجانبه، حوضچه توان و تولید با ژنراتورهای تحت مالکیت و خرید گاز طبیعی از شبکه گاز. عدم قطعیت در قیمت بازار انرژی الکتریکی و میزان تقاضای الکتریکی مشترکان در تصمیم‌گیری لحاظ می‌شود. برای حل مسأله در این فضای نامطمئن از برنامه‌ریزی تصادفی استفاده می‌شود. در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از تقاضای انرژی الکتریکی موجب گسترش فضای سناریوها و پیچیده‌تر شدن عمل تصمیم‌گیری می‌شود. همچنین در مدل پیشنهادی، برای حذف حالات نامطلوب در هزینه‌ی سناریوها، از مفهوم ریسک (*CVaR*) استفاده می‌شود. افزایش اهمیت ریسک در مسأله، موجب کاهش ریسک و افزایش امید ریاضی هزینه‌ها می‌شود. همچنین در نظر گرفتن ریسک منجر به جواب‌های متفاوتی در تصمیم‌گیری می‌شود. علاوه بر این، هر سناریویی نیز جواب متفاوتی برای تهیه انرژی‌ها ارائه می‌دهد. قابل ذکر است استفاده از اطلاعات واقعی شهر نیویورک، نشان از قابل استفاده بودن روش پیشنهادی در دنیای واقعی است.

مراجع

[1] Conejo, AJ, Carrion, M., Morales, MJ, *Decision making under uncertainty in electricity markets*, Springer, 2010.

[2] Zare, K., Parsa Moghaddam, M., Sheikh-El-Eslami, MK., "*Risk-based electricity procurement for large consumers*", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, pp. 1826-1835, 2011.

[3] Moeini-Aghtaie, M., Abbaspour, A., Fotuhi-Firuzabad,M., Hajipour, E. "*A decomposed solution to multiple-energy carriers optimal power flow*",IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, pp. 707-716, 2014.

[4] Moeini-Aghtaie, M., Dehghanian, P., Fotuhi-Firuzabad, M., Abbaspour, A., "*Multiagent genetic algorithm: an online probabilistic view on economic dispatch of energy hubs constrained by wind availability*",IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, pp. 699-708, 2014.

[5] Parisio, A., Del Vecchio, C., Vaccaro, A., "*A robust optimization approach to energy hub management*",*Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 42, pp. 98-104,2012.

[6] Kienzle, F., Ahčin, P., Andersson, G., "*Valuing investments in multi-energy conversion, storage, and demand-side management systems under uncertainty*",IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 2, 2011.

[7] Pazouki, S., Haghifam, MR., Moser, A., "*Uncertainty modeling in optimal operation of energy hub in presence of wind, storage and demand response*",Electrical Power and Energy Systems, Vol. 61, pp. 335-345, 2014.

[8] Moeini-Aghtaie, M., Abbaspour, A., Fotuhi-Firuzabad, M., "*Onlinemulti criteria framework for charging management of PHEVs*",IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 63, pp. 3028-3037, 2014.

[9] La Scala, M., Vaccaro, A., Zobaa, AF., "*A goal programming methodology for multiobjective optimization of distributed energy hubs operation*, Applied Thermal Engineering, Vol. 71, pp. 658-666, 2014.

[10] Evins, R., Orehounig, K., Dorer, V., Carmeliet, J., "*New formulations of the 'energy hub' model to address operational Constraints*",Energy, Vol. 73, pp. 387-398, 2014 .

[11] Geidl, M., Andersson, G., "*Optimal power flow of multiple energy carriers*. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, pp. 145-155, 2007.

[12] Ashouri, M., Fux, SS., Benz, MJ., Guzzella, L., "*Optimal design and operation of building services using mixed-integer linear programming techniques*",Energy, Vol. 59, pp. 365-376, 2013.

[۱۳] هاشمی، شیخ الاسلامی، پارسا مقدم، **"ارزیابی اقتصادی هاب انرژی با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها"** نشریه علمی پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، سال سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۳.

[14] Zare, K., Parsa Moghaddam, M., Sheikh-El-Eslami, MK., "*Risk-based electricity procurement for large consumers*",IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 26, pp. 1826-1835, 2011.

[15] Zare, K., Parsa Moghaddam, M., Sheikh-El-Eslami, MK., "*Electricity procurement for large consumers based on Information Gap Decision Theory*",Energy Policy, Vol. 38, pp. 234–242, 2010.

[16] Kazempour,SJ., Conejo, AAJ., Ruiz, C., "*Strategic bidding for a large consumer*",IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 30, pp. 848-856, 2015.

[17] Contreras, J., Espínola, R., Nogales, FJ., Conejo, AJ., "*ARIMA models to predict next-day electricity prices*," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 18, no. 9, pp. 1014-1020, 2003.

[18] Box, G., Jenkins, GM., Reinsel, GC., *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2008.

[19] [Online], (http://www.nyiso.com).

[20] Shrestha, GB., Kumar Pokharel, B., Tjing Lie, T., Fleten, SE., "*medium term power planning with bilateral contracts*," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 2, 625-633, 2005.

[21] Birge, JR., Louveaux, F., *Introduction to stochastic programming*. Springer- Verlag, New York, 1997.

زیرنویس

1. Energy hub
2. Combined Heat and Power (CHP)
3. Multi- carrier energy
4. Electricity market
5. Uncertainty
6. Bid
7. Stochastic programming
8. Auto regressive and moving average
9. Backshift operator
10. Box
11. Jenkis
12. Auto Correlation
13. Partial auto correlation
14. Non-anticipativity
15. Here and now
16. Wait and see
17. Furnace
18. Conditional Value at Risk (CVaR)
19. Value at Risk (VaR)

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.2.7.2]