Archive of SID

فصلنامه علمی- پژوهشی اقتصاد و مدیریت شهری www.Iueam.ir
سال پنجم، شماره اول (پیاپی ۱۷)، صفحات ۸۱-۶۷، زمستان ۱۳۹۵
نمایه در ISC، EconLit، Econbiz، SID، Noormags، Magiran، Ensani، RICeST، Civilica
شاپا: ۲۳۴۵-۲۸۷۰

شبیه‌سازی ایجاد شهر زیست‌محیطی کم‌کربن با بهره‌گیری از پسماندهای شهری و تکنولـوژی فتوولتائیک: برنامه‌ریزی پایدار انرژی بخش شهری مشهد مقدس

مهدی قائمی اصل* استادیار گروه اقتصاد و بانکداری اسلامی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
مصطفی سلیمی‌فر استاد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
محمدحسین مهدوی عادلی استاد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
مصطفی رجبی مشهدی استادیار گروه برق، دانشکده برق و مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی سجاد، مشهد، ایران

دریافت: ۹۳/۱۲/۰۳ پذیرش: ۹۴/۰۳/۱۸

چکیده: شهر صفر انرژی، شهر پایدار و شهر صفر کربن، اصطلاحات جدیـدی در مـدیریت انـرژی شـهرها هسـتند. در ایـن پژوهش، الگوی ایجاد یک شهر زیست‌محیطی کم‌کربن در بخش شهری شهرستان مشهد مقدس با محوریـت تـأمین پایـدار انرژی الکتریکی، شبیه‌سازی شده است. بدین منظور حداکثر پتانسیل برق تجدیدپذیر زیسـت‌تـوده در کنـار ایجـاد ظرفیـت فتوولتائیک لازم برای پوشش باقی‌مانده تقاضای برق بخش شهری مشـهد، بـا اسـتفاده از رهیافـت برنامـه‌ریـزی آنـالیزی در سیستم تولید قدرت هیبرید وارد شده است. نتایج پژوهش نشان دادند که تکنولوژی زیست‌تـوده بـا نوسـان‌پـذیری کمتـر و هزینه تولید پایین‌تر، تکنولوژی برتر برای طراحی شهر زیست‌محیطی کم‌کربن می‌باشد و با ضـریب نفـوذ بـالا وارد سیسـتم تولید هیبرد فسیلی تجدیدپذیر می‌شود. همچنین با این‌که ظرفیت تکنولوژی فتوولتائیک تـا ظرفیـت ۸ گیگـاواتی افـزایش یافته است، به دلیل هزینه سرمایه‌گذاری بالا، امکان بهره‌برداری در سیستم تولید هیبرید در رقابت با تکنولوژی زیسـت‌تـوده وجود ندارد. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود که از یک سو، تکنولوژی زیست‌توده‌محور توسعه پایدار انرژی در بخش شـهری مشـهد به‌عنوان شهری در مسیر LCEC مورد استفاده قرار گیرد و از سوی دیگر، سیاست‌های حمایتی بـرای کـاهش هزینـه تولیـد تکنولوژی فتوولتائیک اتخاذ گردند تا امکان رقابت‌پذیری این تکنولوژی در ظرفیت‌های بالا فراهم شود.

واژگان کلیدی: شهر زیست‌محیطی کم‌کربن، برنامه‌ریزی آنالیزی، تکنولوژی زیست‌توده، فناوری فتوولتائیک
طبقه‌بندی JEL: P28, Q00, Q56, O44

* مسئول مکاتبات: m.ghaemi84@gmail.com

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

۱- مقدمه

توسعه اقتصادی، رکن اساسی مجموعه سیاست‌های هر کشوری و انرژی، عامل اصلی و ضروری توسعه اقتصادی در هر جامعه‌ای است. رشد روزافزون جمعیت، وابستگی به انرژی و به‌تبع آن رشد مصرف انرژی فسیلی، موجب افزایش مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (آماده و رضائی،۱۳۹۰). هم‌اکنون مصرف بی‌رویه انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند: زغال‌سنگ، گاز و نفت، باعث تهدیدات جدی زیست‌محیطی؛ از جمله تغییر آب‌وهوا و افزایش آلودگی هوا شده است؛ به همین دلیل اتخاذ رویکردی به سمت منابع جدید انرژی سازگار با محیط‌زیست، ضرورت دارد (امیلیان و همکاران، ۱۳۹۲). روند کنونی افزایش مصرف انرژی در جهان، بشر را با دو بحران بزرگ روبه‌رو کرده است: نخست، آلودگی محیط‌زیست در اثر سوزاندن سوخت‌های سنگواره‌ای و دوم، شتاب در راستای پایان بردن این منابع (فطرس و براتی،۱۳۹۰). در سال‌های اخیر به دلایل زیست‌محیطی و آشکار شدن مضرات ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و تأثیرات منفی آنها بر چرخه‌های اکولوژیکی و هم‌چنین رو به پایان بودن سوخت‌های فسیلی، انگیزه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و غیرآلاینده محیط‌زیست، افزایش یافته است؛ به‌طوری که امروزه، استفاده از منابع تجدیدپذیر در برنامه‌ریزی انرژی، اهمیت ویژه‌ای دارد (صفاریان و محمدی‌اردهالی، ۱۳۸۷).

مصرف انرژی، یکی از معیارهای مناسب برای تعیین سطح پیشرفت و کیفیت زندگی در یک کشور است. تداوم عرضه انرژی و امکان دسترسی بلندمدت به منابع، نیازمند برنامه‌ریزی جامع انرژی است (صفاریان و محمدی‌اردهالی، ۱۳۸۷). سیاست‌گذاری انرژی در هزاره سوم را می‌توان در سه محور خلاصه کرد: محور اول، حرکت به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک و سازگار با محیط‌زیست، محور دوم، تجدید ساختار در بخش انرژی و رقابتی کردن آن، محور سوم، افزایش کارایی در مصرف انرژی (شکیبایی و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به محور اول، انرژی‌های تجدیدپذیر، با طبیعت و محیط‌زیست سازگاری بیشتری دارند، تولید و تهیه آن‌ها، آلایندگی زیست‌محیطی ناچیزی دارد و چون تجدیدپذیرند، برای آن‌ها پایان نزدیکی متصور نیست؛ از این رو، انرژی‌های تجدیدپذیر، روزبه‌روز سهم بیشتری در سامانه تأمین انرژی جهان به عهده می‌گیرند (فطرس و براتی، ۱۳۹۰).

در این پژوهش با به‌کارگیری انرژی به‌دست آمده از تکنولوژی زیست‌توده و انرژی فتوولتائیک، الگوی ایجاد یک شهر زیست‌محیطی کم‌کربن (LCEC)[1] در بخش شهری شهرستان مشهد مقدس با محوریت تأمین پایدار انرژی الکتریکی، شبیه‌سازی شده است. بدین منظور حداکثر پتانسیل برق تجدیدپذیر زیست‌توده در کنار ایجاد ظرفیت فتوولتائیک لازم برای پوشش باقیمانده تقاضای برق بخش شهری مشهد، با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی آنالیزی، در سیستم تولید قدرت هیبرید وارد شده است.

۲- پیشینه تحقیق

الف) پژوهش‌های خارجی

در خصوص طراحی و برنامه‌ریزی برای ایجاد شهر زیست‌محیطی کم‌کربن، مطالعات کاربردی زیادی صورت نگرفته است. در یکی از اولین مطالعات در این خصوص، مین و چنگ گودانگ[2] (۲۰۰۱) با یک روش زیست‌محیطی، به بررسی الگوهای تولید و مصرف تضمین‌کننده ایجاد یک LCEC پرداختند و براساس الگوهای مرتبط با اکوسیستم و اقلیم‌های زیستی، شاخص‌های مرتبط با ایجاد LCEC را در شهر ژیانگیه[3]، معرفی و مدل‌سازی کردند.

1- Low-Carbon Eco-City
2- Min and Cheng Guo Dong
3- Zhangye

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

بائوژینگ[1] (۲۰۰۹) نیز با استفاده از شاخص‌های طراحی یک ساختمان سبز، اصول طراحی و ایجاد شاخص‌های مرتبط با بخش خانگی در یک LCEC را مورد بررسی قرار داده است.

سائو و لی[2] (۲۰۱۱) با تمرکز بر شیوه اصلاح تولیدات صنعتی، شیوه حمل‌ونقل و نحوه مصرف انرژی در کلان‌شهرها، الگوی طراحی شهر زیست‌محیطی کم‌کربن را طراحی و شیوه عملیاتی اجرای این الگو در تیانجین[3] چین را شبیه‌سازی کردند.

یان[4] (۲۰۱۰) نیز ایجاد LCEC را با در نظر گرفتن فرضیه بروز تغییرات اقلیمی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی و انتخاب‌های استراتژیک تولیدی و مصرفی جهانی را برای جلوگیری از بروز تغییرات منفی اقلیمی ارائه کرد.

ژی[5] و همکارانش (۲۰۱۰) با در نظر گرفتن یک الگوی تصمیم‌گیری چندمعیاره، اهمیت هر یک از شاخص‌های اقتصادی، صنعتی و مصرفی را برای ایجاد LCEC تعیین کردند و در این میان، اهمیت ویژه و کارکرد اصلی را به بخش انرژی و الگوی تولید و مصرف انرژی الکتریکی اختصاص دادند.

ب) پژوهش‌های داخلی

موحد و همکارانش (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای، به سطح‌بندی فضایی و تحلیل میزان پایداری و ناپایداری محلات شهر ماکو به لحاظ برخورداری از سنجه‌های توسعه پرداختند. نتایج نشان دادند در مجموع، شاخص‌های تلفیقی ضریب پایداری بین محلات این شهر متفاوت بوده است؛ به طوری که از ۱۴ محله، دو محله در گروه پایدار ایده‌آل، چهار محله در گروه پایدار قوی، سه محله نیمه‌پایدار، سه محله پایدار ضعیف و دو محله در گروه ناپایدار قرار دارند.

تقوایی و صفرآبادی (۱۳۹۲) با روش توصیفی- تحلیلی، به بررسی نقش برخی عوامل مخصوصاً سیستم مدیریتی در پایداری شهری پرداختند. برای این منظور در این پژوهش، ۸۲ شاخص پایداری شهری در شهر کرمانشاه، شناسایی و با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی، عوامل اصلی مدیریتی تأثیرگذار بر توسعه پایدار شهر کرمانشاه ارزیابی شدند. سلامت شهری با شاخص‌هایی مانند: تحصیلات، بهداشت اجتماعی، ایمنی و انضباط اجتماعی، مهم‌ترین نقش در پایداری شهری را برعهده دارد.

مجدزاده طباطبایی و استادزاد (۱۳۹۴) به منظور طراحی یک سیستم اقتصادی کلان برخوردار از پایداری زیست‌محیطی از طریق حرکت به سمت توسعه اقتصادی کم‌کربن، سیاست‌های کنترل آلودگی را با استفاده از تحلیل ایستای مقایسه‌ای در چارچوب یک مدل رشد درون‌زا در اقتصاد ایران، مطالعه کردند. نتایج به دست آمده از این تحقیق، نشان دادند که دولت قادر است با اتخاذ سیاست‌های مناسب، عملکرد کارگزاران اقتصادی را به سمت انتخاب راه‌حلی بهینه در تخصیص منابع، به منظور دستیابی به رشد اقتصادی پایدار تعدیل کند.

لطفی و همکارانش (۱۳۹۵)، معیارهای طراحی شهری مبتنی بر محله‌های بدون کربن و کم‌کربن را تدوین کردند. این معیارها که زیرمجموعه‌ای از راهکارهای طراحی شهری پایدار هستند را می‌توان در سطوح مختلف استفاده کرد. در میان مقیاس‌های مختلف، می‌توان از محله به‌عنوان مقیاس مناسب دربرگیرنده واحد ساخت شهر برای کاربست اصول و راهکارهای طراحی شهری کم‌کربن نام برد. این راهکارها، به صورت کلی بر مبنای خلق محله‌ای که مصرف انرژی پایینی داشته باشد، محیطی مطلوب برای زندگی محلی را فراهم کند و از تاب‌آوری بیشتری برخوردار باشد، استوار است.

1- Baoxing
2- Cao and Li
3- Tianjin
4- Yan
5- Xie

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

۳- مبانی نظری

مسئله کمبود انرژی، از مسائل روز دنیا است. یکی از بزرگ‌ترین و پاک‌ترین انرژی‌هایی که در زندگی روزمره استفاده می‌شود، انرژی الکتریکی است. از زمان کشف جریان الکتریسیته تاکنون، این انرژی، ارکان مختلفی از زندگی بشری را تحت تأثیر قرار داده و ویژگی‌های منحصربه‌فرد جریان الکتریسیته، کاربرد روزافزون آن را اجتناب‌ناپذیر کرده است. مزیت‌هایی مانند: عدم‌وجود آلودگی در هنگام استفاده، سهولت استفاده، تنوع روش‌های تولید و قابلیت تولید و توزیع در مقیاس بالا، استفاده از انرژی الکتریکی را مقرون‌به‌صرفه کرده است (منظور و همکاران، ۱۳۹۰).

با توجه به رویکرد جدیدی که در دنیای کنونی درمورد چگونگی تولید انرژی الکتریکی به وجود آمده است، می‌توان دو منبع انرژی خورشیدی و زیست‌توده را از منابع جدید تولید انرژی الکتریکی دانست. امروزه، استفاده از انرژی‌های دیگری؛ همچون بازیافت انرژی از پسماند به‌عنوان سوخت جایگزین، به دلیل ارزان و قابل‌دسترس بودن و تبدیل سریع‌تر به انرژی موردنیاز، در دستور کار قرارگرفته است (زارع و دیلمی، ۱۳۹۲).

با گسترش شهرنشینی و افزایش جمعیت، یکی از موضوعات مهمی که بخش اعظمی از فعالیت مدیریت محلی را به خود اختصاص داده، موضوع مدیریت بهینه پسماندهای تولیدی است. امروزه با رشد سریع اقتصادی و اجتماعی در کشورها، علاوه‌بر افزایش کمیت و میزان پسماند، تغییر الگوی مصرف نیز منجر به افزایش کیفیت پسماند تولید شده است (رهنما و کاظمی‌خیبری، ۱۳۹۱). زیست‌توده؛ از جمله منابع انرژی تجدیدپذیری است که حدود ۳ تا ۳۵ درصد نیازهای اولیه انرژی بشر را به ترتیب در کشورهای صنعتی و درحال‌توسعه تأمین می‌کند. مواد زیستی یا زیست‌توده، به مجموع مواد بیولوژیک تولیدشده یا موجود در یک سامانه اکولوژیک اطلاق می‌شود که پایه آلی داشته و به‌عنوان منابع انرژی قابل بازیابی، توانایی تبدیل مستقیم به انرژی یا مواد حامل انرژی را دارند (امیلیان و همکاران، ۱۳۹۲). سوخت حاصل از پسماند، به موادی گفته می‌شود که پس از انجام فرایندهای مختلف بازیافت به‌عنوان سوخت حاصل از پسماند، تولید می‌شود و علاوه‌بر تولید انرژی، در زیبایی محیط‌زیست، آمایش سرزمین، بهداشت عمومی و عدم‌آلودگی آب‌وهوا و همچنین ملاحظات اقتصادی، نقش مؤثری داشته باشد (زارع و دیلمی، ۱۳۹۲).

همچنین در بین انرژی‌های تجدیدپذیر یادشده می‌توان انرژی خورشیدی را به‌عنوان یک منبع بی‌پایان انرژی که حلال مشکلات بسیاری در زمینه انرژی و محیط‌زیست است، نام برد. این انرژی هزاران بار بیشتر از آن مقداری که انسان نیاز دارد و مصرف می‌کند، به زمین می‌تابد. از انرژی خورشیدی به‌عنوان یک انرژی تمیز و قابل‌دسترس در همه‌جا می‌توان استفاده‌های مهم و کاملاً مفیدی کرد.

از سوی دیگر در اکثر کشورهای پیشرفته در زمینه صنعت برق، تحول عظیمی در سیستم‌های تولید و انتقال انرژی به وجود آمده است که تمام نیازها و مزایای پایه تولید و انتقال در موارد فنی، آکادمیک و بازرگانی را برآورده می‌کند. این سیستم نوین تولید صنعت انرژی را تولید پراکنده (DG)[1] انرژی می‌گویند. این روش، اعتبار و اطمینان تهیه برق را نیز بسیار بهبود بخشیده و سبب شده که سرمایه‌گذاری قابل توجهی در راستای به‌کارگیری واحدهای تولید پراکنده صورت پذیرد.

افزایش تولید پراکنده، نیازمند تغییر در فناوری مورد نیاز برای مدیریت انتقال و توزیع الکتریسیته است. در این صورت، نیاز فزاینده‌ای به اپراتورهای شبکه برای مدیریت شبکه‌ها به صورت فعال وجود خواهد داشت. با افزایش مدیریت فعال، مزایای اضافی برای مصرف‌کننده‌ها به وجود خواهد آمد که این مزایا به

1- Distributed Generation

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

صورت معرفی با حق انتخاب‌های بیشتری به نسبت خدمات تغذیه انرژی و رقابت بیشتر خواهد بود؛ اما حرکت به سوی مدیریتی فعال‌تر می‌تواند مشکل باشد. شاخص‌های اصلی در تصمیم‌گیری و به‌کارگیری تولید پراکنده عبارتند از (نوراللهی و نوروزی، ۱۳۸۹):

۱-بهره‌برداری از ظرفیت‌های موجود

۲-امکان طراحی و در صورت امکان، ساخت در داخل کشور

۳-استفاده از انرژی اولیه مناسب‌تر با آلودگی کمتر (مثل انرژی‌های تجدیدپذیر)

۴-دارا بودن صرفه اقتصادی نسبت به سایر منابع.

هر دو جنبه توجه ویژه به انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده انرژی الکتریکی، در زیرمجموعه مفهوم توسعه پایدار و شهر پایدار، قابل بررسی و اجرایی شدن هستند.

توسعه پایدار که یکی از موضوعات اصلی مورد بحث محافل توسعه و برنامه‌ریزی است، برایند انگاره‌های مختلف توسعه است. این مفهوم در سال ۱۹۷۲ در کنفرانس توسعه پایدار در استکهلم سوئد به کار برده شد و در سال ۱۹۸۷ در کنفرانس جهانی محیط‌زیست و توسعه سازمان ملل، در گزارش برانت‌لند[1] با عنوان آینده مشترک ما، توسعه پایدار به‌عنوان فرایندی تعریف شد که نیازهای فعلی، بدون تخریب توانایی نسل‌های آینده، برآورده گردد (موسوی، ۱۳۹۱). اهداف توسعه پایدار؛ یعنی تأمین نیازهای اساسی، بهبود استانداردهای زندگی برای همه، حفاظت و مدیریت بهتر اکوسیستم‌ها در همه سطوح سازمان فضایی؛ اعم از محلی، ملی، منطقه‌ای و جهانی، اجرا می‌شوند؛ اما سطح شهری، به علت تمرکز پیوسته رو به رشد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، به ویژه در کشورهای کمتر توسعه‌یافته، توجه بیشتری را جلب کرده است (موسی‌کاظمی‌محمدی، ۱۳۸۰).

شهر پایدار، شهری است که به دلیل استفاده اقتصادی از منابع، اجتناب از تولید بیش از حد ضایعات و بازیافت آنها تا حد امکان و پذیرش سیاست‌های مفید و درازمدت، قادر به ادامه حیات خود باشد. برنامه‌ریزان شهر پایدار باید هدفشان را بر ایجاد شهرهایی با ورودی کمتر انرژی و مصالح و خروجی کمتر ضایعات و آلودگی، متمرکز کنند (موسی‌کاظمی‌محمدی، ۱۳۸۰).

شهر زیست‌محیطی کم‌کربن در فرایندی ایجاد می‌شود که در آن، الگوی مصرف و تولید، متضمن حداکثر بهره‌برداری از پتانسیل‌های پایدار شهری باشد. چنین فرایندی، در کوتاه‌مدت قابل دستیابی نخواهد بود و نیازمند تغییرات قابل‌توجهی در الگوهای مدیریتی و اقتصادی است (Yu, 2014).

در مطالعه یو[2] (۲۰۱۴)، معیارهای مختلفی برای شهر زیست‌محیطی کم‌کربن معرفی شده است که جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را دربر می‌گیرد. براساس این معیارها، شهری را می‌توان به‌عنوان یک LCEC معرفی کرد که از پیش‌نیازهای زیر برخوردار باشد:

۱- برخورداری از اقتصادی متکی به منابع منطقه‌ای و محلی

۲- به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر و کم‌کربن در الگوی تولید انرژی در سطوح شهری و منطقه‌ای

۳- برخورداری از سیستم حمل‌ونقل نوین و نیز تسهیل‌کننده فرایندهای پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و حمل‌ونقل عمومی

۴- برخورداری از الگوی مدیریت هدفمند پسماندهای شهری و جلوگیری از تلفات انرژی با استفاده از افزایش کارایی تکنولوژی

۵- مدیریت منابع آب و طراحی چرخه بازیافت منابع طبیعی و تولیدات صنعتی- مصنوعی

۶- بازیابی صدمات زیست‌محیطی احتمالی ناشی از الگوهای غلط تولید و مصرف انرژی

۷- تضمین حقوق شهروندی برای تمامی اقوام و آحاد جامعه، در راستای ارتقای حس مسئولیت‌پذیری در جامعه شهری.

1- Brandtland

2- Yu

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

براساس الگوی ترسیم‌شده برای طراحی یک LCEC، در این پژوهش الگوی کاربردی- عملیاتی مرتبط با برنامه‌ریزی پایدار انرژی بخش شهری مشهد مقدس، طراحی و شبیه‌سازی شده است که دربرگیرنده شاخص‌های ۲ و ۴ یک LCEC است.

۴- روش تحقیق

در این پژوهش برای شبیه‌سازی سیستم تولید، از روش برنامه‌ریزی آنالیزی[1] با رویکرد توأم توصیفی- تجویزی[2] استفاده شده است. برنامه‌ریزی آنالیزی، یکی از روش‌های نوین بهینه‌یابی عددی است که مبانی آن اولین بار توسط زلینکا[3] (۲۰۰۱، ۲۰۰۲) ارائه شد. در برنامه‌ریزی آنالیزی، مجموعه‌ای از توابع، عملگرها و بستارها، تعریف می‌شوند و امکان تغییرپذیری یا ثابت بودن در طول زمان برای تمامی متغیرها وجود دارد. با استفاده از توابع، عملگرها و بستارهای موجود، می‌توان برنامه‌ریزی آنالیزی را مجموعه‌ای از مسائل تعریف کرد که پژوهشگر به دنبال یافتن راه‌حلی مناسب برای این مسائل است. به دلیل ماهیت تغییرپذیر مجموعه مسائل، از اصطلاح مجموعه تابعی عمومی (GFS)[4] برای نام‌گذاری آن استفاده می‌شود. در برنامه‌ریزی آنالیزی، پاسخ‌هایی مناسب شناخته خواهند شد که نگاشت[5] اعضای مجموعه تابعی، به مجموعه‌ای از برنامه‌های احتمالی و عملیاتی باشند. به علاوه در مجموعه تابعی عمومی، زیرمجموعه‌هایی وجود دارد که هریک دربردارنده تعدادی تابع هستند. تعداد توابع موجود در هر زیرمجموعه نیز کوچکتر یا مساوی تعداد اجزای زیرمجموعه است. به‌دست آوردن نگاشت اعضای مجموعه تابعی، از فرایندی دو بخشی تبعیت می‌کند: بخش اول، ارزیابی مجموعه گسسته (DSH)[6] و بخش دوم، طراحی فرایندهای تضمین‌کننده است. فرایند ارزیابی مجموعه گسسته توسط زلینکا (۲۰۰۲) و زلینکا و همکارانش (۲۰۰۵) بری ایجاد شاخصی گسسته مورد استفاده قرار گرفت که در فرایندی تکاملی مانند ارزیابی افراد جایگزین در ساختار لانه‌ای[7]، به خوبی می‌تواند راه‌حل مناسبی را ارائه کند. از این رو، برنامه‌ریزی آنالیزی را می‌توان در مورد مسائل دقیق ریاضی، شبیه‌سازی‌های سیستمی و برنامه‌ریزی‌های انرژی‌بخشی، مورد استفاده قرار داد.

داده‌های توان، تولید، تقاضا و هزینه نیروگاه‌های محدوده شهرستان مشهد براساس اطلاعات و آمار سال پایه ۱۳۹۱، در سیستم شبیه‌سازی وارد شده‌اند. براساس آمار تفصیلی صنعت برق ایران (۱۳۹۱)، انرژی الکتریکی مصرفی بخش شهری شهرستان مشهد[8] در سال ۱۳۹۱، بالغ بر ۴۸۸۸ گیگاوات ساعت بوده است. داده‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی سیستم در سناریوی اولیه سال پایه، در جداول ۱، ۲ و ۳، گزارش شده‌اند. برای محاسبه قیمت تمام شده تولید (که براساس مجموع هزینه نهایی تولید در لحظه t محاسبه می‌شود)، از روش هزینه‌های هم‌ترازسازی شده تولید استفاده شده است. اقلام هزینه‌ای تولید شامل: هزینه‌های عملیاتی (متغیر و ثابت) و هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌باشند. مراجع کسب اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی سیستم، دفتر بودجه معاونت برنامه‌ریزی و تحقیقات شرکت برق منطقه‌ای خراسان، دفتر بازار برق، دفتر فنی نظارت بر تولید معاونت بهره‌برداری شرکت برق منطقه‌ای خراسان، دفتر اطلاعات و آمار شرکت برق منطقه‌ای خراسان، شرکت مدیریت تولید نیروی برق خراسان (نیروگاه‌ها) و دفتر پشتیبانی فنی و برنامه‌ریزی تولید شرکت توانیر هستند.

ارقام مربوط به میزان انتشار آلاینده و مالیات بر انتشار، از آژانس انرژی دانمارک[9] (۲۰۱۲) استخراج شده و بر این اساس، مالیات انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی معادل ۴۹۳۰۲۷/۲ ریال در هر تن محاسبه شده است.

1- Analytical Programming
2- Descriptive-Prescriptive
3- Zelinka
4- General Functional Set
5- Mapping
6- Discrete Set Handling

7- Nested Structure
۸- مصرف بخش روستایی و آزاد، تفکیک شده‌اند.
9- Danish Energy Agency

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

در این پژوهش برای شاخص‌گذاری تغییرات انتشار آلاینده زیست‌محیطی، از آلاینده دی‌اکسیدکربن (CO_2) استفاده شده است.

نرخ تنزیل سالانه سرمایه نیز براساس مطالعه طاهری‌فرد و شهاب (۱۳۸۹) و مطالعه رستمی و همکارانش (۱۳۹۲) در مورد پروژه‌های نیروگاهی وزارت نیرو و همچنین براساس مطالعات امکان‌سنجی دفتر بودجه معاونت برنامه‌ریزی و تحقیقات شرکت برق منطقه‌ای خراسان، به طور میانگین ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. نرخ تسعیر دلار و یورو براساس آمار بازار مبادلات رسمی منتشر شده در خلاصه تحولات اقتصادی کشور (۱۳۹۱)، به ترتیب ۲۴۷۵۲ و ۳۲۴۳۶ ریال است. همچنین در مورد هزینه تولید برق تجدیدپذیر بادی و خورشیدی نیز از اطلاعات دفتر بودجه معاونت برنامه‌ریزی و تحقیقات شرکت برق منطقه‌ای خراسان استفاده شده است که براساس اطلاعات آماری این دفتر، هزینه سرمایه‌گذاری برق خورشیدی و بادی در هر کیلووات توان، به ترتیب ۱۰۴/۵ و ۳۹/۷۵ میلیون ریال و هزینه ثابت و متغیر عملیات و نگهداشت برق خورشیدی و بادی در هر مگاوات ساعت، به ترتیب ۶۳۶ ریال و ۱۵۶۸۹۷ ریال محاسبه شده است. لازم به ذکر است که این آمار براساس تجهیزات قابل دسترسی برای شرکت برق منطقه‌ای خراسان و متناسب با شرایط اقلیمی- تجاری شرکت برق منطقه‌ای خراسان محاسبه شده است و آمار بین‌المللی یا ملی (در سایر مناطق کشور) می‌تواند تفاوت‌هایی با این آمار داشته باشد.

با این حال به دلیل ماهیت نوسانی تولید برق تجدیدپذیر (به ویژه برق در سیستمی فتوولتائیک)، نمی‌توان یک شبکه پایدار و سیستم قابل اطمینان از تولید برق را صرفاً با اتکا به انرژی‌های تجدیدپذیر، برنامه‌ریزی و طراحی کرد. به همین منظور لازم است که بخش فسیلی نیز در شبیه‌سازی سیستم هیبرید وارد شود. یکی از قیود اصلی در سیستم‌های هیبرید تجدیذیر و تجدیدناپذیر تولید قدرت، تأمین قابلیت اطمینان سیستم تولید است که براساس آن باید درصد معینی از تولید کل انرژی الکتریکی شبکه، از واحدهای تولیدی پایدارساز شبکه تأمین شود که در اکثر مطالعات، ۳۰ درصد تعیین شده است. نیروگاه‌های فسیلی (گازی، بخاری و سیکل ترکیبی) در کنار نیروگاه‌های زمین- گرمایی و هسته‌ای؛ از جمله تکنولوژی‌های تولیدی هستند که توانایی پایدارسازی شبکه را دارند (Lund, 2014). از این رو در پژوهش حاضر نیز حداقل سهم واحدهای تولیدی پایدارساز در شبکه تولید، ۳۰ درصد تعیین شده است.

در مورد میزان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در شرکت برق منطقه‌ای خراسان، مطالعات مقدماتی با هدف آشنایی با وضعیت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، چالش‌های استفاده از آن و راهکارهای مورد استفاده در کشورهای برتر صورت گرفته است. در گام دوم، پروفایل انرژی شرکت برق منطقه‌ای خراسان، براساس نظر و پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط دیدگاه‌های کارشناسی تهیه شده است. در نهایت براساس این مطالعات، مقرر شد که ۸ درصد از برق موردنیاز منطقه به صورت تجدیدپذیر تأمین شود.

براساس این مطالعات، در میان انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، خراسان از پتانسیل مناسب وزش باد و تابش نور خورشید برخوردار است. از طرفی، وجود شهرهای بزرگی مانند مشهد، تولید روزانه انبوه زباله‌ها و وجود زمین‌های زراعی در منطقه، فرصت خوبی را برای توسعه نیروگاه‌های زیست‌توده فراهم کرده است. بنابراین نقشه‌راه چشم‌انداز ۱۴۱۰ با تمرکز بر سه انرژی باد، خورشید و زیست‌توده، هدف‌گذاری شده است. از ۸ درصد تولید برق تجدیدپذیر، ۶ درصد آن را برق بادی، ۱/۵ درصد آن را مولدهای خورشیدی و ۰/۵ درصد آن را برق زیست‌توده تشکیل خواهد داد. برای تأمین این میزان برق و با در نظر گرفتن ضریب بهره‌برداری ۲۵ درصدی برای توربین‌های بادی، ۲۰ درصدی برای

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

مولدهای خورشیدی و ۸۰ درصدی برای نیروگاه‌های زیست‌توده، ظرفیت توربین‌های بادی در افق چشم‌انداز به ۸۲۲ مگاوات، ظرفیت مولدهای خورشیدی به ۲۵۷ مگاوات و ظرفیت نیروگاه‌های زیست‌توده به ۲۲ مگاوات خواهد رسید. اجرای این سیاست‌ها، ایجاد پنج هزار شغل را به همراه خواهد داشت (شرکت برق منطقه‌ای خراسان، ۱۳۹۱).

با توجه به ماهیت برنامه‌ریزی پایدار انرژی در مقیاس شهرستان مشهد، امکان بهره‌برداری از توربین‌های بادی در فضای شهری وجود ندارد. براساس مطالعات و پتانسیل‌سنجی ماهواره‌ای انجام شده توسط شرکت برق منطقه‌ای خراسان (۱۳۹۱ الف)، خراسان بزرگ دارای ۱۴ میلیون هکتار زمین با شدت وزش مناسب باد است که این محدوده جغرافیایی، عمدتاً در منطقه خواف در خراسان بزرگ قرار دارد که با قرارگیری در مسیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، یکی از مناطق کشور است که از شدت وزش بالای باد برخوردار است. در خصوص نحوه بهره‌برداری از ظرفیت زیست‌توده و برق فتوولتائیک، برنامه‌ریزی بر این مبنا طراحی شده است که حداکثر پتانسیل تولید برق زیست‌توده (به‌عنوان اولویت تولید تجدیدپذیر شهرستان مشهد) وارد شبکه تولید شود و سپس باقیمانده تقاضای مازاد بر تولید، با سناریوهای مختلف بهره‌برداری از سیستم فتوولتائیک تأمین شود.

نیروگاه‌های فسیلی تأمین‌کننده برق شهرستان مشهد عبارتند از: نیروگاه‌های توس (۴ واحد بخاری با قدرت نامی ۶۰۰ مگاوات)، مشهد (۳ واحد بخاری با قدرت نامی ۱۲۹ مگاوات و ۴ واحد گازی با قدرت نامی ۱۹۵/۵ مگاوات)، شریعتی (۶ واحد گازی با قدرت نامی ۱۵۰ مگاوات، ۲ واحد گازی سیکل با قدرت نامی ۲۴۶ مگاوات و یک واحد بخاری سیکل با قدرت نامی ۱۰۰ مگاوات) و فردوسی (۶ واحد گازی سیکل با قدرت نامی ۹۵۴ مگاوات). جزئیات میزان تولید و ویژگی‌های فنی این نیروگاه‌ها در جداول ۱ و ۲، گزارش شده‌اند.

براساس مطالعات مکان‌یابی و پتانسیل‌سنجی تأسیس نیروگاه‌های زیست‌توده که توسط سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) (۱۳۸۶) انجام شده است، شهر مشهد بهترین مکان برای تأسیس نیروگاه زیست‌توده و بهره‌برداری از پسماند جامد شهری ورودی به دفنگاه زباله در منطقه خراسان بزرگ است. به‌کارگیری پتانسیل‌های برآورد شده نه تنها به استحصال انرژی، بلکه به رفع بخش عظیمی از مشکلات مربوط به آلودگی و مسائل زیست‌محیطی ناشی از مدیریت پسماندها نیز کمک قابل‌توجهی خواهد کرد.

بر این اساس چنان‌چه حداکثر پتانسیل زیست‌توده شهر مشهد در قالب چهار نوع نیروگاه زباله‌سوز از پسماند ورودی به دفنگاه، پیرولیز- گازی‌سازی از پسماند ورودی به دفنگاه، هضم بی‌هوازی از پسماند ورودی به دفنگاه و لندفیل از پسماند ورودی به دفنگاه مورد استفاده قرار گیرد، ظرفیتی معادل ۶۱/۳۵ مگاوات وارد شبکه خواهد شد. این ظرفیت با ضریب بهره‌برداری متوسط ۸۰ درصد، تولیدی معادل ۴۲۹/۸۷ گیگاوات ساعت را وارد شبکه خواهد کرد که با توجه به مصرف ۴۸۸۸/۶۱ گیگاوات ساعتی برق شهری مشهد، قابلیت تأمین ۸ درصد تقاضای برق مشترکین شهری مشهد فراهم خواهد شد[1].

با ورود ۴۲۹/۸۷۰۷۲ گیگاوات ساعتی پتانسیل سالانه انرژی زیست‌توده به سیستم تولید، ۴۴۵۸/۷۴ گیگاوات ساعت انرژی پوشش داده نشده، باقی خواهد ماند که لازم است برنامه‌ریزی آنالیزی به‌کارگیری انرژی خورشیدی و نیروگاه زیست‌توده در کنار نیروگاه‌های توس، مشهد، شریعتی و فردوسی، طراحی شود.

براساس اطلاعات به‌دست آمده از محاسبات مدل متئونرم[2] (نسخه ۷) در محل ایستگاه هواشناسی شهر

۱- آمار مربوط به مصرف شهری مشهد در سال ۱۳۹۱ از آمار تفصیلی صنعت برق ایران، بخش توزیع نیروی برق صفحات ۱۱۲-۱۲۰ استخراج شده است.

2- METEONORM

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

مشهد و با در نظر گرفتن تابش افقی[1]، انتشار تابش[2] و انتشار تابش افقی[3] در هر ۱۰۰۰ مترمربع، ۱/۳۵۵ گیگاوات ساعت انرژی الکتریکی تولید می‌شود؛این در حالی است که با در نظر گرفتن ضریب بهره‌برداری ۲۰ درصدی، ۲/۵۳۷۹۸۹ گیگاوات توان خورشیدی برای پاسخ‌گویی به انرژی باقی‌مانده پوشش داده نشده (۴۴۵۸/۷۴ گیگاوات ساعت)، موردنیاز است. بر این‌اساس شبیه‌سازی سیستم تولید برق شهر مشهد به‌عنوان یک شهر زیست‌محیطی کم‌کربن، با محوریت بهره‌برداری از پتانسیل ۶۱/۳۵ مگاواتی زیست‌توده و به‌کارگیری تجهیزات فتوولتائیک ۲/۵۳۷۹۸۹ گیگاواتی در کنار نیروگاه‌های فسیلی مشهد، توس، فردوسی و شریعتی انجام شده است.

در الگوی شبیه‌سازی شرایط داده شده تقاضا و محدودیت‌های سیستمی براساس الگوی برنامه‌ریزی آنالیزی لوند[4] (۲۰۱۴)، نیروگاه‌های در دسترس، براساس اولویت کمترین هزینه نهایی کوتاه‌مدت برای پوشش تقاضای لحظه‌ای- ساعتی، مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ ولی قیمت در هر لحظه- ساعت براساس هزینه نهایی بلندمدت نیروگاهی که برای پوشش تقاضای هر لحظه- ساعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعیین خواهد شد. با توجه به محاسبه دقیق هزینه تولید نیروگاه‌های مورد استفاده در شبکه و سایر نیروگاه‌های آماده برای ورود به شبکه، در هر لحظه- ساعت از سال پایه ۱۳۹۱، توسط دفتر بازار برق و دفتر فنی نظارت بر تولید معاونت بهره‌برداری شرکت برق منطقه‌ای خراسان، می‌توان ترتیب اولویت ورود نیروگاه‌ها به بازار برای پوشش تقاضای لحظه‌ای- ساعتی را مشخص کرد. برای محاسبه هزینه نهایی کوتاه‌مدت، از اقلام هزینه عملیات و نگهداشت، هزینه سوخت و سایر هزینه‌های عملیاتی (مثل حقوق، دستمزد، مواد و مصالح) استفاده می‌شود. برای محاسبه هزینه نهایی بلندمدت نیز از اقلام هزینه سرمایه‌گذاری مانند: هزینه تأسیس و راه‌اندازی، هزینه تعمیرات اساسی و هزینه بهینه‌سازی یا استهلاک استفاده می‌شود. البته هزینه نهایی کوتاه‌مدت، با ورود هزینه مالیات آلاینده زیست‌محیطی به محاسبات هزینه تولید، تعدیل می‌شود و به طور مستقیم در هزینه نهایی کوتاه‌مدت نیروگاه‌های فسیلی، تأثیر خواهد داشت. محاسبه هزینه‌های عملیاتی (ثابت و متغیر) و هزینه سرمایه‌گذاری جهت تعیین دقیق هزینه نهایی کوتاه‌مدت و بلندمدت، با استفاده از ماژول‌های نرم‌افزاری مدل‌های پیشرفته EnergyPLAN 11.4[5] و EnergyPRO 6.3 انجام می‌شود[6]. در این ماژول‌های نرم‌افزاری، هزینه عملیاتی ثابت و متغیر به طور دقیق و لحظه‌ای- ساعتی برای تمامی نیروگاه‌ها و الگوهای تولیدی، با استفاده از داده‌های دفتر بازار برق و دفتر فنی نظارت بر تولید معاونت بهره‌برداری شرکت برق منطقه‌ای خراسان، به ماژول مربوطه معرفی می‌شود. در واقع بدون این‌که برآورد یا تقریبی از هزینه نهایی در نظر گرفته شود، در چارچوب یک الگوی داده- ستانده، هزینه نهایی کالیبره‌شده در اختیار ماژول نرم‌افزاری قرار می‌گیرد. در مقابل، براساس طول عمر مفید هر نیروگاه و هزینه سرمایه‌گذاری و تأسیس و راه‌اندازی هر نیروگاه در طول دوره تولید و بهره‌برداری، میزان هزینه نهایی بلندمدت توزیع‌شده در طول دوره عمر مفید توسط نرم‌افزار، مشخص خواهد شد که این هزینه، متناظر با هزینه سرمایه‌گذاری مربوط به هر لحظه- ساعت تولید برق در سیستم تولید خواهد بود. از سوی دیگر، تأمین پایداری شبکه که قید اساسی سیستم تولید و ترکیب نیروگاه‌های تجدیدپذیر و فسیلی در مدار قرار گرفته محسوب می‌شود، معیار اصلی برنامه‌ریز آنالیزی، تعیین ترکیب بهینه هیبرید خواهد بود. سرانجام با تعیین نیروگاه‌هایی

1- Horizontal Radiation
2- Diffuse Radiation
3- Horizontal Diffuse Radiation
4- Lund

۵- این نسخه جدید از مدل EnergyPLAN، در تاریخ ۲۴ می سال ۲۰۱۴ منتشر شد و در دسترس کاربران قرار گرفت.

۶- مدل‌های پیشرفته EnergyPLAN و EnergyPRO، با همکاری گروه تحقیقاتی برنامه‌ریزی انرژی پایدار دانشگاه آلبورگ و گروه PlanEnergi دانشگاه بیرمنگام طراحی شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

که باید وارد مدار شوند، براساس هزینه نهـایی بلندمـدت تولید برق در سیستم تولیـد، قیمـت لحظـه‌ای- سـاعتی سیستم تولید محاسبه خواهد شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فنی- اقتصادی نیروگاه‌ها

نام نیروگاه / شرح	توس	مشهد	شریعتی	فردوسی
قدرت اسمی- مگاوات	۶۰۰	۳۲۵	۴۹۶	۹۵۴
متوسط قدرت عملی- مگاوات	۶۰۰	۳۰۰	۴۲۰	۷۹۲
تولید ناخالص- مگاوات ساعت	۳۹۹۲۹۰۶	۱۳۴۴۵۷۹	۲۱۸۴۷۴۷	۲۵۱۱۸۰۰
مصرف داخلی- مگاوات ساعت	۲۹۰۱۰۷	۷۹۱۳۸	۳۷۷۲۷	۱۲۰۶۹
تولید خالص- مگاوات ساعت	۳۷۰۲۷۹۹	۱۲۶۵۴۴۱	۲۱۴۷۰۲۰	۲۴۹۹۷۳۱
حداکثر بار تولیدی- مگاوات	۵۷۴	۱۹۶	۴۱۳	۸۱۹
ضریب بار- درصد	۷۹/۴	۷۸/۳	۶۰/۴	۳۵
ضریب بهره‌برداری- درصد	۷۶	۵۲/۲	۵۹/۴	۳۶/۲
سوخت گاز- هزار متر مکعب	۳۵۶۱۶۶	۴۸۲۵۲۲	۴۴۶۶۲۳	۷۶۱۲۵۳
سوخت مازوت- هزار لیتر	۷۲۲۱۹۷	۰	۰	۰
سوخت گازوئیل- هزار لیتر	۳۲۲	۱۳۸۱	۶۶۰۷۸	۹۵۴
راندمان- درصد	۳۶/۴	۲۹/۵	۴۴/۹	۷۹۲

منبع: (شرکت برق منطقه‌ای خراسان، ۱۳۹۱)

جدول ۲- داده‌های هزینه تولید نیروگاه‌ها (بخش اول)

نیروگاه*	حقوق و دستمزد و سایر (میلیون ریال)	مواد و مصالح شیمی (میلیون ریال)	مواد و مصالح غیرشیمی ارزی (میلیون ریال)	مواد و مصالح غیرشیمی ریالی (میلیون ریال)
نیروگاه (۱)	۲۰۴،۱۰۴	۶،۸۱۸	۸،۰۱۹	۳،۶۶۵
نیروگاه (۲)	۱۳۲،۹۸۳	۳،۰۳۶	۳،۱۵۶	۲،۲۵۵
نیروگاه (۳)	۱۰۳،۲۴۵	۱،۸۷۷	۴،۷۳۷	۸۲۸
نیروگاه (۴)	۱۴،۰۴۸	۰	۱،۱۵۶	۳،۲۴۶

* به منظور حفظ امانت و محرمانگی در گزارش‌دهی اطلاعات طبقه‌بندی‌شده نیروگاه‌های خصوصی و دولتی، نام نیروگاه‌ها ذکر نشده است.

منبع: (شرکت برق منطقه‌ای خراسان، ۱۳۹۱ و محاسبات تحقیق)

جدول ۳- داده‌های هزینه تولید نیروگاه‌ها (بخش دوم)

نیروگاه*	کنترل فرکانس (میلیون ریال)	کنترل مگاوار (میلیون ریال)	تعمیرات اساسی (میلیون ریال)	بهینه‌سازی/ استهلاک (میلیون ریال)
نیروگاه (۱)	۲،۶۶۳	۱،۸۶۴	۳۸،۵۰۰	۳۰،۰۰۰
نیروگاه (۲)	۷۷۸	۵۴۴	۹۰،۶۹۶	۳۴،۹۲۸
نیروگاه (۳)	۱،۵۷۰	۱،۰۹۹	۴۲،۵۰۰	۱۲،۲۰۰
نیروگاه (۴)	۱۹۹	۱۳۹	۴۱،۰۰۰	۵،۰۰۰

* به منظور حفظ امانت و محرمانگی در گزارش‌دهی اطلاعات طبقه‌بندی‌شده نیروگاه‌های خصوصی و دولتی، نام نیروگاه‌ها ذکر نشده است.

منبع: (شرکت برق منطقه‌ای خراسان، ۱۳۹۱ و محاسبات تحقیق)

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

۵- یافته‌های تحقیق

براساس شبیه‌سازی سیستم تولید مبتنی بر برنامه‌ریزی آنالیزی، نتایج شبیه‌سازی سیستم تولید پایه و سناریوی شهر کم‌کربن، محاسبه شده و در جدول ۴، گزارش شده است. همان‌گونه که در بخش روش تحقیق نیز به آن اشاره شد، محاسبه هزینه‌ها، تولیدات بهینه تفکیک‌شده و شاخص‌های پایداری، با استفاده از ماژول‌های نرم‌افزاری EnergyPLAN 11.4 و EnergyPRO 6.3 انجام شده است.

جدول ۴- نتایج شبیه‌سازی سیستم تولید پایه و سیستم تولید شهر زیست‌محیطی کم‌کربن

سیستم تولید / شاخص	مدل پایه[1] (شرایط اولیه سیستم تولید)	سناریوی شهر زیست‌محیطی کم‌کربن
متوسط قیمت (ریال بر کیلووات ساعت)	۲۰۵۳/۱۰۷	۸۰۴۸/۶۰۵
انتشار آلاینده زیست‌محیطی (هزار تن)	۳۲۹۳	۳۱۷۳
تولید بهینه برق تجدیدپذیر (میلیون مگاوات ساعت)	۰/۰۰	۰/۳۳
تولید بهینه برق خورشیدی (میلیون مگاوات ساعت)	۰/۰۰	۰/۰۱
تولید بهینه برق زیست‌توده (میلیون مگاوات ساعت)	۰/۰۰	۰/۳۲
تولید بهینه برق فسیلی (میلیون مگاوات ساعت)	۴/۸۹	۴/۵۶
شاخص پایداری شبکه[2] (درصد)	۳۶۳۳	۲۹۰۹

منبع: (محاسبات تحقیق)

براساس نتایج جدول ۴، با ورود تکنولوژی‌های خورشیدی و زیست‌توده، انتشار آلاینده زیست‌محیطی، ۱۲۰ هزار تن در سناریوی شهر زیست‌محیطی کم‌کربن کاهش می‌یابد؛ زیرا ضریب نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر در این سناریو، پیامدی قابل انتظار برای طراحی سیستم هیبرید محسوب می‌شود. به علاوه برنامه‌ریزی لحظه‌ای- ساعتی نوع ورود انرژی‌های تجدیدپذیر زیست‌توده و خورشیدی به سیستم تولید، مانع از تأثیرگذاری ماهیت نوسان‌پذیر این نوع انرژی‌های پاک بر پایداری شبکه شده است. نکته قابل توجه این است که با این‌که تکنولوژی زیست‌توده ماهیت تجدیدپذیر نوسانی دارد، ولی برخورداری از پتانسیل بالای زیست‌توده شهر مشهد و ضریب بهره‌برداری ۸۰ درصدی که در پتانسیل‌سنجی شرکت برق منطقه‌ای خراسان (۱۳۹۱ الف) ذکر شده است، این قابلیت را برای نیروگاه‌های برخوردار از تکنولوژی زیست‌توده فراهم می‌کند که علی‌رغم ورود ۰/۳۲ تراوات ساعتی به سیستم تولید، تأثیر چندانی بر قابلیت اطمینان سیستم تولید و پایداری شبکه نداشته باشند. به عبارت دیگر، حداکثر انرژی قابل تولید با تکنولوژی زیست‌توده در سیستم هیبرید (با رویکردی کاملاً معین و غیرنوسانی)، ۰/۴ تراوات ساعت است که براساس برنامه‌ریزی آنالیزی لحظه‌ای- ساعتی تولید به منظور حفظ پایداری شبکه، تنها ۰/۰۸ تراوات ساعت از این حداکثر تولید تئوریک وارد سیستم تولید نمی‌شود و مابقی به صورت واقعی در سیستم تولید برای پوشش تقاضا به کار گرفته می‌شود. این در حالی است که با در نظر گرفتن ضریب بهره‌برداری ۲۰ درصدی برای تکنولوژی فتوولتائیک، امکان تولید انرژی الکتریکی ۴/۴۵ تراوات ساعتی وجود دارد؛ اما ماهیت نوسان‌پذیر این تکنولوژی در برنامه‌ریزی آنالیزی، باعث اختلال در پایداری شبکه می‌شود و براساس برنامه‌ریزی سیستم تولید، تنها ۰/۰۱ تراوات ساعت انرژی الکتریکی خورشیدی برای ورود به شبکه تولید مجاز شمرده می‌شود. بر این اساس می‌توان انرژی زیست‌توده را

۱- در مدل پایه صرفاً ظرفیت ۶۶۰ کیلوواتی زیست‌توده و ظرفیت عملی ۴۳/۲ کیلوواتی نیروگاه خورشیدی الهیه وارد شده است.

۲- در محاسبه این شاخص از روش لوند (۲۰۱۴) صفحات ۸۸ -۸۶ استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

به‌عنوان تکنولوژی پیشتاز و برتر برای ایجاد شهر پایدار کم‌کربن قلمداد کرد.

اما معضل بزرگ سناریوی شهر زیست‌محیطی کم‌کربن، افزایش قیمت تمام شده، با مقیاس چهار برابری نسبت به مدل پایه (شرایط اولیه سیستم تولید) است؛ دلیل این قیمت بالا را باید در هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالای تولید برق خورشیدی جست‌وجو کرد؛ زیرا براساس اطلاعات بودجه‌ای شرکت برق منطقه‌ای خراسان برای سال ۱۳۹۱، هزینه سرمایه‌گذاری ایجاد ظرفیت یک مگاواتی فسیلی، به طور متوسط ۲۰۳۱۰ میلیون ریال است و این در حالی است که هزینه سرمایه‌گذاری ایجاد ظرفیت یک مگاواتی خورشیدی در منطقه خراسان، ۱۰۴۵۰۰ میلیون ریال است. در مقابل، پایین‌تر بودن هزینه ایجاد ظرفیت زیست‌توده با رقمی معادل ۱۵۰۹۶ میلیون ریال برای هزینه سرمایه‌گذاری در هر مگاوات، بیانگر برتری به‌کارگیری این تکنولوژی برای ایجاد یک شهر زیست‌محیطی کم‌کربن است. از این رو، تکنولوژی زیست‌توده نیز به‌عنوان انتخاب برتر برای هدف‌گذاری‌های برنامه‌ریزی پایدار شهر کم‌کربن تلقی می‌شود.

با توجه به پتانسیل‌های شهر مشهد، تکنولوژی زیست‌توده به‌عنوان تکنولوژی برتر برای ایجاد شهر زیست‌محیطی کم‌کربن به شمار می‌رود؛ ولی به پیشنهاد کاناسه‌پتیل[1] و همکارانش (۲۰۱۱)، استفاده از منابع تجدیدپذیر در ظرفیت‌های بزرگ، می‌تواند مشکل نوسان‌پذیری انرژی خورشیدی را برطرف کند. به همین منظور، علاوه بر سناریوی برخوردار از تجهیزات فتوولتائیک ۲/۵۳۷۹۸۹ گیگاواتی (که در جدول ۴ نتایج شبیه‌سازی ورود آن به سیستم تولید ارائه شد)، سناریوهای ۴، ۶ و ۸ گیگاواتی ایجاد ظرفیت فتوولتائیک نیز در سیستم تولید، برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی شده‌اند که نتایج آن، بیانگر عدم‌تغییر تولید ۰/۰۱ تراوات ساعتی انرژی الکتریکی خورشیدی هستند؛ زیرا از یک‌سو، سیستم هیبرید فسیلی- زیست‌توده به طور بهینه می‌تواند تقاضای انرژی الکتریکی بخش شهری را پوشش دهد و از سوی دیگر، هزینه بسیار بالای تولید برق تجدیدپذیر خورشیدی نسبت به تولیدات فسیلی و زیست‌توده، مانع از در اولویت قرار گرفتن ورود این تکنولوژی به سیستم تولید در برنامه‌ریزی آنالیزی مبتنی بر هزینه نهایی لحظه‌ای- ساعتی تولید می‌شود. لازم به ذکر است که افزایش قابل توجه قیمت تمام‌شده سیستم تولید به دلیل حضور ظرفیت‌های بالای تولید برق خورشیدی نیز، از پیامدهای به‌کارگیری این تکنولوژی با ظرفیت‌های ۴ تا ۸ گیگاواتی در سیستم تولید است.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

براساس نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی سیستم تولید در سناریوهای ورود ظرفیت‌های مختلف فتوولتائیک در کنار ورود حداکثر پتانسیل برق تجدیدپذیر زیست‌توده، سناریوی برتر عبارت است از: به‌کارگیری تجهیزات فتوولتائیک ۲/۵۳۷۹۸۹ گیگاواتی، در کنار ایجاد ظرفیتی معادل ۶۱/۳۵ مگاواتی برای انواع نیروگاه‌های برخوردار از تکنولوژی زیست‌توده. بنابراین برای ایجاد ظرفیت موردنیاز فتوولتائیک لازم است هر یک از ۱،۱۳۱،۰۷۱ مشترک برق بخش شهری شهرستان مشهد در سال ۱۳۹۱، ظرفیتی معادل ۲/۲۴ کیلووات توان فتوولتائیک کوچک‌مقیاس را برای طراحی LCEC در محدوده شهری موردتصرف خود (اعم از پشت‌بام یا بالکن) ایجاد کنند. در راهکاری مشابه با این رویکرد نیز می‌توان از نیروگاه‌های ناحیه‌ای خورشیدی برای تأمین انرژی الکتریکی خورشیدی هدف‌گذاری شده در هر منطقه (بسته به تعداد مشترک) استفاده کرد. برای نمونه، نیروگاه خورشیدی الهیه که در سال ۱۳۹۱ با ظرفیت ۴۳/۲ کیلوواتی در محل دفتر مرکزی شرکت برق منطقه‌ای خراسان آغاز به کار کرده است و در سال ۱۳۹۳ فرایند تأسیس و راه‌اندازی آن با ظرفیت ۱۱۰

1- Kanase-Patil

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

کیلووات، به طور کامل به پایان رسید، می‌تواند الگوی مناسبی برای طراحی سایر نیروگاه‌های با مقیاس متوسط در سطح مناطق شهری باشد. همچنین سیاست‌های حمایتی برای کاهش هزینه تولید برق تجدیدپذیر خورشیدی با تکنولوژی فتوولتائیک، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش هزینه سیستم تولید داشته باشد و رقابت‌پذیری و زمینه لازم را برای به‌کارگیری این انرژی پاک در برنامه‌ریزی پایدار انرژی به‌وجود آورد.

در خصوص هدف‌گذاری به‌کارگیری پسماندهای شهری در انواع نیروگاه‌های زیست‌توده، لازم است از حداکثر پتانسیل انرژی زیست‌توده بهره‌برداری شود و میزان تولید در شرایط فعلی نیز به حداکثر میزان قابل استفاده برسد؛ زیرا میزان واقعی تولید انرژی الکتریکی از محل دفن زائدات جامد شهری مشهد برمبنای تجهیزات نصب شده فعلی با توان ۶۶۰ کیلووات، حدود ۴۵۶ مگاوات ساعت در ماه است که البته در صورت احداث یک دفنگاه مهندسی و نصب تجهیزات کامل، میزان استحصال انرژی نیز از این مقدار بسیار فراتر خواهد بود. لازم به ذکر است که کاهش ۱۲۰ هزار تنی در انتشار آلاینده زیست‌محیطی، گام نخست برای حرکت به سمت الگوی ایده‌آل شهر کم‌کربن به شمار می‌رود و ارتقای تکنولوژی‌های تولید زیست‌توده و بیوگاز، می‌تواند میزان کاهش آلایندگی را ارتقا دهد. بنابراین می‌توان انواع نیروگاه‌های زیست‌توده را به‌عنوان تکنولوژی پیشتاز در مسیر ایجاد LCEC در نظر گرفت.

نکته مهمی که باید در انتها بدان اشاره شود این است که برنامه‌ریزی آنالیزی طراحی LCEC با رویکردی واقع‌گرایانه مقایسه‌ای و ناظر بر پتانسیل‌های تکنولوژیکی- اقلیمی و غیر ابزارهای در دسترس در برنامه‌ریزی شهری انجام می‌شود. از این رو با توجه به شرایط و ویژگی‌های خاص شهر مشهد، قضاوت نهایی درمورد تکنولوژی‌های زیست‌توده و فتوولتائیک انجام شده است. بدیهی است که تغییر شرایط هزینه تولید و ویژگی‌های شهری- جمعیتی می‌تواند نتایج کاملاً متفاوتی را برای برنامه‌ریزان شهری در سایر مناطق شهری به همراه داشته باشند.

در نهایت، برخی از راهکارهای دستیابی به وضعیت مطلوب در خصوص شهر زیست‌محیطی کم‌کربن را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

الف) به‌کارگیری ظرفیت‌های مختلف فتوولتائیک به‌عنوان ظرفیت تجدیدپذیر مکمل برای تأمین تقاضای شبکه

ب) استفاده از حداکثر پتانسیل برق تجدیدپذیر زیست‌توده به‌عنوان نیروگاه تجدیدپذیر برخوردار از نوسان اندک تولید برق کم‌کربن

- وضع تعرفه برق به صورت متنوع برای الگوهای تولید برق تجدیدپذیر و حمایت از برق خورشیدی و زیست‌توده در سطوح کوچک‌مقیاس و محلی

ج) استفاده از ظرفیت‌های قانونی و نهادی برای تشویق به تولید و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی و زیست‌توده با استفاده از مفاد قانونی از جمله:

- ماده ۲ و ۸ قانون اجرای سیاست‌های کلی اصل ۴۴ قانون اساسی
- بند ب سیاست‌های کلی کشور در بخش انرژی
- قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت مصوب ۱۳۸۰/۱۱/۲۷ (ماده ۶۲)
- دستور العمل اجرایی ماده ۶۲ قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت (مواد ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰)
- قانون الحاق موادی به قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت مصوب ۱۳۸۴/۸/۲۵ (مواد ۲، ۶، ۲۷ و ۵۳)
- ماده ۵ آیین‌نامه اجرایی ماده ۶ قانون الحاق موادی به قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت
- آیین‌نامه اجرایی ماده ۵۳ قانون الحاق موادی به قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت (مواد ۱، ۲ و ۷)
- قانون مالیات‌های مستقیم (مواد ۱۳۲، ۱۴۱)

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

- مصوبه شماره ۱۶۵ شورای‌عالی حفاظت محیط‌زیست (مورخ ۱۳۷۷/۱۰/۲۳)

- قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا (مواد ۱، ۳، ۲۹ و ۳۴)

- قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی (۴، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۴۴، ۴۸، ۵۲، ۶۱، ۶۲، ۷۳ و ۷۵).

* نویسندگان پژوهش، کمال تشکر و قدردانی خود را از همکاری و مساعدت تمامی کارشناسان و مدیران صنعت برق و شرکت برق منطقه‌ای خراسان که گامی در راستای بهبود کیفی و تسهیل فرایند تدوین این پژوهش برداشته‌اند، به عمل می‌آورند.

۷- منابع

آماده، حمید؛ رضائی، علی. (۱۳۹۰). اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری ستانده مطلوب و نامطلوب تفکیک‌ناپذیر سراسری در بخش تولید انرژی الکتریکی شرکت‌های برق منطقه‌ای، *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۸(۳۰)، ۱۵۴-۱۲۵.

آمار تفصیلی صنعت برق ایران. (۱۳۹۱). *توزیع نیروی برق*، *وزارت نیرو*، شرکت مادر تخصصی توانیر، تهران.

امیلیان، افسانه؛ عباسپورفرد، محمدحسین؛ آق‌خانی، محمدحسین؛ عدالت، محمدحسین. (۱۳۹۲). ارزیابی پتانسیل منابع زیست‌توده در استان خراسان رضوی به منظور تولید زیست انرژی، *محیط‌شناسی*، ۳۹(۶۶)، ۸۲-۶۳.

تقوایی، مسعود؛ صفرآبادی، اعظم. (۱۳۹۲). توسعه پایدار شهری و برخی عوامل مؤثر بر آن (مورد مطالعه: شهر کرمانشاه)، *فصلنامه مطالعات جامعه‌شناختی شهری*، ۳(۶)، ۲۲-۱.

خلاصه تحولات اقتصادی کشور. (۱۳۹۱). بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، تهران.

رستمی، ثریا؛ حق‌پرست کاشانی، آرش؛ لاری، حمیدرضا. (۱۳۹۲). *مطالعه و برآورد قیمت برق تولیدی از نیروگاه‌های بادی، خورشیدی و بیوگاز*، نخستین کنفرانس ملی انجمن انرژی ایران، تهران، پژوهشگاه نیرو.

رهنما، محمدرحیم؛ کاظمی‌خیبری، خلیل‌الله. (۱۳۹۱). بازنگری راهبردی حوزه خدمات شهری مدیریت محلی ایران با تأکید بر پسماند شهری؛ مطالعه موردی: کلان‌شهر مشهد، *مدیریت شهری*، ۱۰(۳۰)، ۳۱۹-۳۰۷.

زارع، نازنین؛ دیلمی، مریم. (۱۳۹۲). طراحی کارخانه تولید RDF و سیستم‌های مکمل آن در مدیریت پسماند شهری برای پسماندهای شهری با ظرفیت ۱۰۰۰ تن در روز، *مدیریت پسماندها*، شماره ۱۴، ۳۸-۳۴.

سازمان انرژی‌های نو ایران. (سانا). (۱۳۸۶). *گزارش پتانسیل منابع زیست‌توده در ایران*، وزارت نیرو، معاونت امور انرژی.

شرکت برق منطقه‌ای خراسان. (۱۳۹۱ الف). *گزارش اقدامات شرکت برق منطقه‌ای خراسان در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر*، مشهد.

شرکت برق منطقه‌ای خراسان. (۱۳۹۱ ب). *بودجه مصوب سال ۱۳۹۱*، معاونت برنامه‌ریزی و تحقیقات، دفتر بودجه و مطالعات اقتصادی.

شرکت مشاوره مدیریت آریانا. (۱۳۹۱). *تدوین نقشه‌راه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر صنعت برق خراسان*، پژوهشگاه نیرو، مرکز رشد برق، واحد تحقیقات برق شرکت مشاوره مدیریت آریانا، تهران.

شکیبایی، علیرضا؛ صادقی، زین‌العابدین؛ اعمی‌بنده‌قرائی، حسن. (۱۳۸۸). تأثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشش جانشینی نهاده انرژی در بخش صنعت در بلندمدت، *جستارهای اقتصادی*، ۶(۱۱)، ۱۵۶-۱۳۳.

صفاریان، علی؛ محمدی‌اردهالی، مرتضی. (۱۳۸۷). تدوین سیستم انرژی مرجع و توسعه مدل برنامه‌ریزی انرژی الکتریکی کشور، *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۵(۱۹)، ۲۰۳-۱۶۳.

طاهری‌فرد، علی؛ شهاب، سمیه. (۱۳۸۹). بررسی جنبه‌های فنی و اقتصادی تولید برق زمین گرمایی، *اقتصاد انرژی*، شماره ۱۲۵ و ۱۲۶.

فطرس، محمدحسن؛ براتی، جواد. (۱۳۹۰). تجزیه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی به بخش‌های

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from iueam.ir at 15:16 +0430 on Tuesday August 15th 2017

اقتصادی ایران یک تحلیل تجزیه شاخص، *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۸(۲۸)، ۷۵-۴۹.

لطفی، سهند؛ شعله، مهسا؛ فرمند، مریم؛ فتاحی، کاوه. (۱۳۹۵). تدوین معیارهای طراحی شهری برای محله‌های بدون کربن، *فصلنامه نقش جهان، مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی*، ۶(۱۳)، ۹۲-۸۰.

مجدزاده طباطبایی، شراره؛ استادزاد، علی حسین. (۱۳۹۴). بررسی سیاست‌های کنترل آلودگی با استفاده از تحلیل ایستای مقایسه‌ای در چارچوب یک مدل رشد درون‌زا: مطالعه موردی اقتصاد ایران، *فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی*، ۹(۱(پیاپی ۲۹))، ۱۰۵-۸۵.

منظور، داود؛ آقابابایی، محمدابراهیم؛ حقیقی، ایمان. (۱۳۹۰). تحلیل اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی در مصارف برق در ایران الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر، *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۸(۲۸)، ۲۳-۱.

موحد، علی؛ احمدی، مظهر؛ مصطفوی صاحب، سوران. (۱۳۹۳). تحلیل و ارزیابی سنجه‌های پایداری محله‌های شهر ماکو (با استفاده از تکنیک‌های آماری)، *فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۴(۱۵)، ۶۰-۴۵.

موسوی، میرنجف. (۱۳۹۱). شکل پایدار شهر و عدالت اجتماعی (مطالعه موردی: شهر میاندوآب)، *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، ۴۴(۸۰)، ۱۹۲-۱۷۷.

موسی‌کاظمی‌محمدی، سیدمهدی. (۱۳۸۰). توسعه پایدار شهری: مفاهیم و دیدگاه‌ها، *تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۶۲، ۱۱۳-۹۴.

نوراللهی، یونس؛ نوروزی، مهدی. (۱۳۸۹). *نقش و اهمیت سیستم‌های تولید پراکنده انرژی در شبکه‌های قدرت، سیزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران*، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.

Baoxing, Q. I. U. (2009). From Green Building to Low Carbon Eco-City [J]. *Urban Studies*, *7*, p1-11.

Cao, S., & Li, C. (2011). The exploration of concepts and methods for low-carbon eco-city planning. *Procedia Environmental Sciences*, *5*, 199-207.

Danish Energy Agency. (2012). *Assumptions for socio-economic analysis on energy*, Danish Energy Agency.

Kanase-Patil, A. B., Saini, R. P., & Sharma, M. P. (2011). Sizing of integrated renewable energy system based on load profiles and reliability index for the state of Uttarakhand in India. *Renewable Energy*, *36*(11), 2809-2821.

Lund, H. (2014). Advanced Energy Systems Analysis Computer Model Documentation Version 11.4.

Min, X. Z., & Cheng Guo Dong, Z. Z. Q. (2001). Measuring sustainable development with the ecological footprint method——take Zhangye prefecture as an example [J]. *Acta Ecologica Sinica*, *9*, 012.

Xie, P., Zhou, L., Liu, Y., Zhang, A., Pang, T., & Song, F. (2010). Research on eco-city index and best practices. *Urban Studies*, *7*, 12-18.

Yan, L. I. U. (2010). Low carbon Eco-city——The Strategic Choice of Global City for Sustainable Development in the Future under the Influence of Climate Change [J]. *Urban Studies*, *5*, 35-41.

Yu, L. (2014). Low carbon eco-city: New approach for Chinese urbanisation. *Habitat International*, *44*, 102-110.

Zelinka, I. (2001). Analytic programming by means of new evolutionary algorithms. In *Proceedings of 1st International Conference on New Trends in Physics*, Vol. 1, 210-214.

Zelinka, I. (2002). Analytic programming by means of soma algorithm. In *Proceedings of the 8th International Conference on Soft Computing, Mendel*, Vol. 2, 93-101.

Zelinka, I., Oplatkova, Z., & Nolle, L. (2005). Analytic programming-symbolic regression by means of arbitrary evolutionary algorithms. *Int. J. of Simulation, Systems, Science and Technology*, *6*(9), 44-56.

www.SID.ir