

امکان سنجی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک در صنعت آب و فاضلاب (مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب تهران)

انسبه ازگلی^۱، یونس نورالهی^{۲*}، رضا ارجمندی^۳، علی محمدی^۴

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ایران، enci_ozgoli@yahoo.com

۲- گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران، noorollahi@ut.ac.ir

۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ایران، hrezaarjmandi@gmail.com

۴- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ایران، ali.mohammadi1964@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۹

چکیده

از آنجا که شرکت‌های آب و فاضلاب به عنوان یکی از مصرف‌کنندگان بارز انرژی در حوزه صنایع شهری مطرح می‌باشند، سهم قابل توجهی در افزایش تقاضای انرژی الکتریکی و به تبع آن افزایش بار نیروگاه‌های تأمین کننده برق شهرها دارند. هدف این مطالعه، ارائه یک رویکرد نوین ارزیابی در به‌کارگیری انرژی خورشیدی در صنعت آب و فاضلاب می‌باشد. از اینرو، ضمن ارزیابی میزان برق مصرفی مناطق شش‌گانه شرکت آب و فاضلاب تهران به‌عنوان مورد مطالعاتی، ظرفیت‌های نصب و بهره‌گیری از سیستم‌های فتوولتائیک در این شرکت مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، توابع هدف عبارتند از هزینه‌های مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای؛ همچنین پتانسیل انرژی خورشیدی، نرخ رشد جمعیت و میزان مصرف آب به‌عنوان مهمترین متغیرهای مستقل و مصرف پیش‌بینی شده برق، مالیات کربن و قیمت فروش برق نیز متغیرهای وابسته در نظر گرفته شده‌اند. نتایج این تحقیق که بر مبنای استفاده از توسعه مدل رگرسیون می‌باشد، نشان از افزایش میزان مصرف و هزینه‌های برق به ترتیب ۱/۵ و ۳ برابر، در این بازه زمانی دارد. به منظور محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، سه سناریو با جایگزینی ۵، ۲۰ و ۳۰ درصد از برق مورد نیاز شرکت بوسیله سیستم‌های فتوولتائیک، پیاده‌سازی و نتایج آن‌ها مقایسه شد. کاهش انتشار CO₂ ناشی از تولید ۳۰٪ از برق مصرفی با انرژی خورشیدی، به میزان ۲۶,۷۱۲ هزار تن، برآورد شده است. از سوی دیگر، وضع مالیات به میزان بیش از ۱۰ دلار به ازای انتشار هر تن CO₂، منجر به تغییر الگوی مصرف و کاهش ۵,۹۸۷,۰۸۶ دلار هزینه‌های مصرف برق در این صنعت خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: گازهای گلخانه‌ای؛ مدل پیش‌بینی؛ مصرف برق؛ انرژی خورشیدی؛ مالیات کربن.

مقدمه

ورودی‌های سیستم، هزینه قابل توجهی را به سیستم تحمیل می‌کند.

توسعه انرژی تجدیدپذیر می‌تواند مشکلات عدیده امروزه را با توجه به قابلیت اطمینان بالاتر در مصرف انرژی و اقتصاد سوخت‌های آلی، حل مشکلات مربوط

امروزه، انرژی نقش بسیار مهمی در اقتصاد و سیاست‌های جهانی ایفا می‌کند. شرکت‌های آب و فاضلاب وظیفه استخراج و توزیع آب شرب را برعهده دارند. در تهیه آب شرب با کیفیت و میزان مناسب توسط شرکت آب و فاضلاب، انرژی، به عنوان یکی از

آلاینده های کربن می باشد. اتحادیه اروپا ETS را پایه اساسی سیاست های خود قرار داده است تا اهداف کوتاه مدت و بلند مدت در خصوص انتشار گازهای گلخانه ای را دنبال نماید (ادن هوفر، ۲۰۱۷).

در دهه های اخیر، افزایش مصرف آب در بخش های صنعتی، کشاورزی و خانگی و اجرای سخت گیرانه قوانین کیفیت آب باعث رشد چشمگیر سیستم های تصفیه و انتقال آب شده است. توسعه کشاورزی و گسترش مزارع آبیاری جهت تحقق تقاضای روز افزون تأمین مواد غذایی و سوخت زیست توده سبب شده تا حجم بسیار زیادی از آب مصرفی صرف بخش کشاورزی گردد. به طور کلی، این فعالیت ها نیاز به انرژی بالایی دارند و به موجب آن مصرف انرژی در تأمین آب در بسیاری از نقاط جهان رو به افزایش است که در نهایت بر انتشار گازهای گلخانه ای تأثیر خواهد گذاشت (کورلی و همکاران، ۲۰۰۳؛ گلدستاین و اسمیت، ۲۰۰۲؛ روتاسن و کونوی، ۲۰۱۳).

در کشورهایی که میزان برداشت آب شیرین در آنها بسیار بالا است، بیشترین سهم آب برای آبیاری استفاده می شود و انرژی قابل توجهی برای استخراج و انتقال آب صرف می شود. برآوردها نشان می دهد که در هندوستان میزان انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از آبیاری می تواند ۶٪ از کل انتشارات آلاینده این کشور را به خود اختصاص دهد. در ایالات متحده، صنعت کشاورزی بزرگترین مصرف کننده برق و آب است (روتاسن و کونوی، ۲۰۱۳). با توجه به الزامات کاهش در راستای تغییرات آب و هوایی، بررسی نحوه عملکرد بخش آب چالش بسیار با اهمیتی است. بهینه سازی راندمان انرژی و محدودیت های انتشار گازهای گلخانه ای از اولویت های در نظر گرفته شده برای شرکت های آب هستند (فریجنز، ۲۰۱۲).

یکی از مسائل پر اهمیت زیست محیطی در ایران آلاینده های کربن است. انتشار گازهای کربنی در ایران

به انرژی و منابع آب محلی، بهبود وضعیت زندگی و کار مردم محلی و اطمینان از توسعه پایدار حل کند. مناطق دور افتاده در نواحی بیابانی و کوهستانی تعهدات کشورها نسبت به توافق های بین المللی در زمینه حفاظت از محیط زیست را محقق می سازد (زخیدو، ۲۰۰۸). با این وجود، تدوین و اجرای پروژه در زمینه انرژی تجدیدپذیر در مناطق روستایی فرصت های شغلی جدیدی ایجاد کرده که سبب کاهش مهاجرت به مناطق شهری می گردد (ازگلی، ۲۰۱۷).

بهره برداری از انرژی تجدیدپذیر غیرمتمرکز شیوه ای مطمئن، مقرون به صرفه و از منظر محیط زیستی پایدار است که یکی از گزینه های تأمین انرژی به میزان کم و در مناطق روستایی می باشد (ردی، ۱۹۷۹؛ ازگلی و قدمیان، ۲۰۱۶).

انرژی های تجدیدپذیر به عنوان منابع انرژی پاک و پایدار جهت رفع نیازهای اقتصادی و اجتماعی کنونی و آینده بشر شناخته می شوند. استفاده بهینه از این منابع می تواند تأثیرات زیست محیطی و تولید زباله های ثانویه را به حداقل برساند (ازگلی و همکاران، ۲۰۱۷)

یکی از جدی ترین معضلات زیست محیطی در سطح جهانی، بهینه سازی تولید انرژی با استفاده از انواع مختلف منابع تجدیدپذیر است که توأمان سبب کاهش انتشار گازهای گلخانه ای گردد. استفاده گسترده و مداوم از سوخت های فسیلی باعث شده تا دی اکسید کربن (CO₂) بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه ای داشته باشد (فریدلینگستاین و همکاران، ۲۰۱۹؛ فریستون، ۲۰۱۶).

بسیاری از اقتصاددانان (برنگر و همکاران، ۲۰۱۵) از قیمت گذاری کربن به عنوان ابزاری کارآمد برای کاهش انتشار CO₂ یاد می کنند. بسیاری از مراجع قضایی در سراسر جهان از این ابزار به عنوان سیستم تجارت انتشار^۱ (ETS) استفاده می کنند. قیمت گذاری کربن یک ابزار سیاسی مهم و کم هزینه برای کاهش انتشار

¹ emissions trading system

مصرف انرژی در تصفیه فاضلاب بحث شد و سیستم های کنترل و مدیریت کارآمد پیشنهاد گردید. انرژی خورشیدی که فراوان ترین منبع انرژی تجدیدپذیر محسوب می شود، می تواند در شرکت های آب و فاضلاب به کار گرفته شود. کاربرد انرژی حرارتی خورشیدی در این صنایع عمدتاً شامل سه جنبه است: الف) گرمای خورشیدی از طریق یک جمع کننده حرارتی جمع شود با این هدف که دمای واکنش را افزایش داده و راندمان را بهبود بخشد (محمودی و همکاران، ۲۰۱۸)، ب) حرارت خورشیدی جهت آب زدایی لجن یا کاهش مقدار آب برخی از فاضلاب ها در تصفیه فاضلاب های صنعتی استفاده شود (رودریگز و همکاران، ۲۰۱۸)، و ج) حرارت خورشیدی می تواند به منظور تبخیر و نمک زدایی فاضلاب های خاصی در تصفیه فاضلاب صنعتی به کار برده شود.

کدخدایی خلفی (۱۳۸۸)، در پایان نامه خود با عنوان نقش استفاده از انرژی نو در کاهش سطح تصفیه خانه فاضلاب و بهینه سازی برق مصرفی، به معرفی انرژی های نو و قابل کاربرد در صنعت آب و فاضلاب مانند کلکتورهای تخت خورشیدی و سیستم های فتوولتائیک و بررسی فنی و اقتصادی به کارگیری این فناوری ها در تصفیه خانه های فاضلاب شهری تهران پرداخته است. نتایج وی نشان می دهد، به کارگیری انرژی خورشیدی از لحاظ فنی و اقتصادی به صرفه بوده و علاوه بر کاهش آلودگی های زیست محیطی، سطح مورد نیاز برای احداث تصفیه خانه فاضلاب را کاهش می دهد.

ساری و امیر (۱۳۹۵)، در پژوهشی به بررسی استفاده از پمپ های خورشیدی در صنعت آب و فاضلاب پرداختند. مطالعه آنان نشان می دهد استفاده از پمپ های خورشیدی، در تهیه آب مورد نیاز مناطق مستعد، اهمیت فراوانی داشته و استفاده از این پمپ ها در مقایسه با پمپ های دیزلی به لحاظ اقتصادی، به صرفه تر و کارا تر است. پمپ های خورشیدی در مقایسه با توربین های بادی، ارزاتر بوده و هزینه نگهداری و تعمیر کمتری

از سال ۱۹۸۰ تقریباً ۴۵٪ افزایش یافته است و از ۳۳/۱ میلیون تن در سال ۱۹۸۰ به ۱۴۶/۸ میلیون تن در سال ۲۰۰۸ رسیده است (بودن و همکاران، ۲۰۰۹). کنترل رشد و حتی الامکان کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نه تنها برای خود کشورها حائز اهمیت است بلکه از منظر جوامع بین المللی جهت پیشبرد راهبردهای تغییر آب و هوا بسیار مهم است. طبق آمار سال ۲۰۰۸، ایران در تولید گازهای گلخانه ای رتبه هشتم جهان را داشت. علاوه بر این، عامل نگران کننده دیگر نرخ رشد انتشار گازهای گلخانه ای در کشور می باشد که از ۴/۷۸ میلی لیتر در سال ۱۹۹۷ به ۶/۹۲ میلی لیتر در سال ۲۰۰۷ رسید که نشان از افزایش ۴۵ درصدی طی یک دهه دارد. این گزارشات الزام جدی ایران برای در نظر گرفتن اقدامات کارآمد برای کنترل انتشار گازهای گلخانه ای را نشان می دهد (کریمی و همکاران، ۲۰۰۲). راقووانشی و همکاران (۲۰۰۲) نتیجه گرفتند که CO₂ ساطع شده به عنوان محصول احتراق زغال سنگ (سوخت های فسیلی) سبب انتشار بیش از ۶۰٪ گازهای گلخانه شده است. یان و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که نزدیک به ۴۰٪ از کل انتشار CO₂ در چین مربوط به بخش برق است. دلیل این امر این است که چین برای تأمین نیازهای انرژی خود به شدت به تولید نیروی حرارتی متکی است. همچنین، زانگ و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که راندمان تولید برق نقش مهمی در کاهش انتشار CO₂ دارد. آنها دریافتند که محصولات ذغال سنگ سوخت اصلی تولید انرژی حرارتی هستند که انتشار بیش از ۹۰٪ CO₂ تولیدی در فرآیند تولید برق را تشکیل می دهند.

زیانگ و همکاران (۲۰۱۹) قابلیت کاربرد انرژی های سبز و انرژی زیست توده در تصفیه خانه های فاضلاب را بررسی کردند. منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر در این تصفیه خانه ها از جمله انرژی خورشیدی، باد و انرژی زیست توده طی فناوری های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین، فناوری های پیشرفته و کارآمد به لحاظ

مدل سازی

۱- منطقه مورد مطالعه

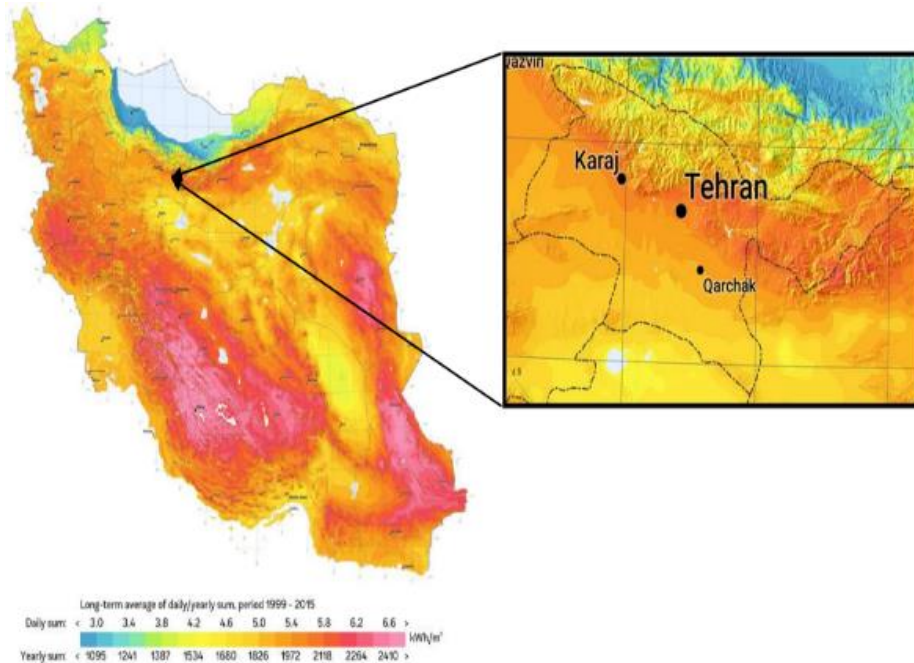
شهر تهران در مرکز استان تهران واقع شده است و مساحتی در حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع دارد، عرض و طول جغرافیایی آن به ترتیب $35^{\circ}41'39''$ N و E $51^{\circ}25'17''$ می باشد. این استان از شمال با استان مازندران، از جنوب با استان قم، از جنوب غربی با استان مرکزی، از غرب با استان البرز و از شرق با استان سمنان هم مرز است. براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت این استان ۱۳،۲۶۷،۶۳۷ بود که از این تعداد ۱۲،۴۵۲،۲۳۰ نفر در مناطق شهری و ۸۱۴،۶۹۸ نفر در مناطق روستایی زندگی می کردند (مرکز آمار ایران، ۲۰۲۰). ایران از نظر تنوع منابع انرژی یکی از غنی ترین کشورها در جهان است زیرا از منابع گسترده ای از سوخت های فسیلی مانند نفت و گاز طبیعی برخوردار است و پتانسیل بالایی در برخورداری از انرژی های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی دارد. تهران از مناطق آفتاب خیز جهان با دریافت انرژی بیش از 5 kwh/m^2 می باشد. با توجه به شکل ۱، این استان پتانسیل خوبی برای بهره مندی از انرژی خورشیدی دارد. با توجه به محاسبات، میزان ساعات تابش خورشیدی از ۲۸۰۰ ساعت در سال فراتر می رود (دهقانی و فیلی زاده، ۲۰۱۴). بنابراین، با توجه به مساحت های قابل توجه آفتابی در مناطق مختلف تهران و بهره گیری از آن در شرکت آب و فاضلاب می توان بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز کشور را تأمین نمود. تهران پایتخت ایران است و شرکت های آب و فاضلاب آن به شش منطقه یعنی منطقه ۱، منطقه ۲، منطقه ۳، منطقه ۴، منطقه ۵ و منطقه ۶ تقسیم بندی می شود.

دارند. لذا به کارگیری آنها در مناطق مستعد می تواند بسیار مناسب باشد.

برخی محققان بر این باورند که انرژی فتوولتائیک^۱ جهت تولید برق در سیستم تصفیه زیستی^۲ فاضلاب، می تواند مصرف انرژی تصفیه خانه ها را کاهش دهد (العبوسی و همکاران، ۲۰۱۸). در راستای تحقق هدف خودکفایی، برق تولیدی نیروگاه فتوولتائیک را می توان برای تأمین نیازهای یک تصفیه خانه استفاده نمود (فوتیسی و همکاران، ۲۰۱۸). از آنجایی که برق مصرفی در این فرایندها بیش از ۳۰٪ از هزینه های تولید را به خود اختصاص می دهد، کاهش هزینه و بهینه سازی فرآیند تصفیه بسیار حائز اهمیت می باشد (مالدونادو و همکاران، ۲۰۱۸). هان و همکاران (۲۰۱۳) از انرژی خورشیدی در کانال اکسیداسیون بدون نیاز به باتری استفاده کردند. سیستم انرژی خورشیدی با توجه به تغییرات شدت نور به طور خودکار فعالیت می کند. در تحقیقات گذشته، به مسائل مربوط به مصرف برق و نوع سوخت مصرفی در صنعت آب و فاضلاب پرداخته نشده است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر پیش بینی میزان انتشار گازهای گلخانه ای طی ده سال آینده و تأثیر مالیات کربن بر میزان انتشار گازهای گلخانه ای شرکت آب و فاضلاب تهران است. نوآوری تحقیق حاضر در استفاده از مدل پیش بینی کننده برای محاسبه میزان برق مصرفی و مالیات کربن مورد نیاز ناشی از استفاده از سوخت های فسیلی و انرژی های خورشیدی توسط شرکت آب و فاضلاب تهران است.

¹ photovoltaic

² biological treatment



شکل ۱- متوسط تابش خورشیدی در ایران و تهران (نقشه منابع خورشیدی ایران، ۲۰۱۹)

روش فرض بر این است که یک یا چند متغیر توصیفی که مقدار آنها مستقل از متغیرهای دیگر یا تحت کنترل محقق می‌باشد می‌تواند در پیش‌بینی متغیر پاسخ که مقدار آن مستقل از متغیرهای توصیفی تحت کنترل محقق است، مؤثر باشد. هدف از تحلیل رگرسیون، شناسایی مدل خطی این رابطه است. متغیر وابسته به جای متغیر پاسخ و متغیر مستقل به جای متغیر توصیفی استفاده شده است. رابطه مدل رگرسیون خطی ساده به شرح زیر است: (بنگ‌دیوالا، ۲۰۱۸؛ جیمز و همکاران، ۲۰۱۵)

$$Y \approx \beta_0 + \beta_1 X \quad (1)$$

β_0 و β_1 به ترتیب عرض از مبدا و شیب خط می‌باشند که ضرایب یا پارامترهای مدل نامیده می‌شوند. همچنین، $\hat{\beta}_0$ و $\hat{\beta}_1$ برای پیش‌بینی ضرایب مدل استفاده می‌شود.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad (2)$$

۲- مدل‌سازی

در این مطالعه، مدل‌سازی بر اساس روش‌های ریاضی و محاسباتی جهت تخمین عوامل اصلی تأثیرگذار در مصرف انرژی شرکت آب و فاضلاب تهران استفاده شده است. در حقیقت، از روش ریاضی در قالب یک مدل معادله محور استفاده شده است که با توجه به تمام ویژگی‌های مهم شرکت و کاربرد آن، پدیده مربوطه را توصیف می‌کند. روش‌های خطی عمومی^۱ (GLM) که شامل تکنیک‌های مختلفی هستند در موارد پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشهورترین روش‌ها عبارتند از: رگرسیون خطی^۲، رگرسیون لاسو^۳، رگرسیون ریج^۴ و رگرسیون الاستیک خالص^۵.

رگرسیون خطی، ساده‌ترین و پرکاربردترین مدل آماری را برای مدل‌سازی تخمینی فراهم می‌کند. رگرسیون خطی یک رابطه خطی بین متغیرهای پاسخ و یک یا چند متغیر توصیفی را مدل می‌کند. در این

¹ General Linear Methods

² Linear Regressor

³ Lasso Regressor

⁴ Ridge Regressor

⁵ Elastic Net Regressor

معادلات (۶) و (۷) بیانگر ضرایب حداقل مربعات برای رگرسیون خطی عمومی است. معادلات (۸) و (۹) میانگین نمونه‌ها هستند. شیب خط رگرسیون خطی حساسیت متغیر وابسته نسبت به متغیر مستقل را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، مقدار تغییر متغیر وابسته به ازای افزایش یک واحد متغیر مستقل را نشان می‌دهد. همچنین، عرض از مبدأ، مقدار متغیر وابسته را نشان می‌دهد که برای مقدار متغیر مستقل به عنوان صفر در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر، مقدار ثابت یا عرض منع می‌تواند به عنوان میانگین متغیر وابسته برای متغیر مستقل در نظر گرفته شود (بنگ دیوالا، ۲۰۱۸).

در مطالعه حاضر، متغیرهای مستقل شامل پتانسیل انرژی خورشیدی، نرخ جمعیت، میزان مصرف آب، مصرف برق و مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط ژنراتورهای متداول برق و قیمت جریان برق می‌باشد. از طرف دیگر، متغیرهای وابسته شامل مصرف پیش-بینی شده برق، مقدار انرژی خورشیدی، مالیات کربن و هزینه برق می‌باشند. توابع هدف پیش‌بینی مصرف انرژی (طی دو سناریو) در این مطالعه، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه برق در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث

پیش‌بینی مصرف انرژی

داده‌های مصرف برق شش منطقه شرکت آب و فاضلاب تهران از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ جمع‌آوری شده است و سپس میزان مصرف برق تا سال ۱۴۰۸ پیش‌بینی شده است. شکل ۲ میزان مصرف برق مناطق ۱ تا ۶ شرکت آب و فاضلاب تهران را از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۸ به نمایش می‌گذارد. مقادیر حداقل و حداکثر به ترتیب برای منطقه ۵ (۴۹٫۶ میلیون کیلووات ساعت) و منطقه ۲ (۱۲۳٫۸ میلیون کیلووات ساعت) به دست آمد. علاوه بر این، شکل ۳ نمودار کلی پیش‌بینی‌های مصرف برق تهران تا سال ۱۴۰۸ را نشان می‌دهد.

در معادله (۲)، \hat{y} پیش‌بینی Y بر اساس $X=x$ را نشان می‌دهد. از این نماد جهت نشان دادن مقدار پیش‌بینی شده یک پارامتر یا ضریب نامشخص استفاده می‌شود و گاهی ممکن است برای نشان دادن مقدار پیش‌بینی شده پاسخ نیز استفاده شود. از آنجا که ضرایب β_0 و β_1 نامعلوم هستند، برآورد ضرایب مطابق معادله (۳) انجام می‌شود.

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \quad (3)$$

به منظور ارائه یک مدل خطی، از داده‌های موجود از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$y_i \approx \beta_0 + \beta_1 x_i \quad i=1 \dots n \quad (4)$$

رابطه فوق برای پیش‌بینی مقدار Y بر اساس i امین مقدار X استفاده می‌شود و $e_i = y_i - \hat{y}_i$ نشان‌دهنده i امین باقیمانده می‌باشد که توسط این مدل خطی پیش‌بینی شده است. سپس مجموع باقی مانده مربعات را به صورت زیر می‌توان تعریف کرد.

$$RSS = e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2 \quad (5)$$

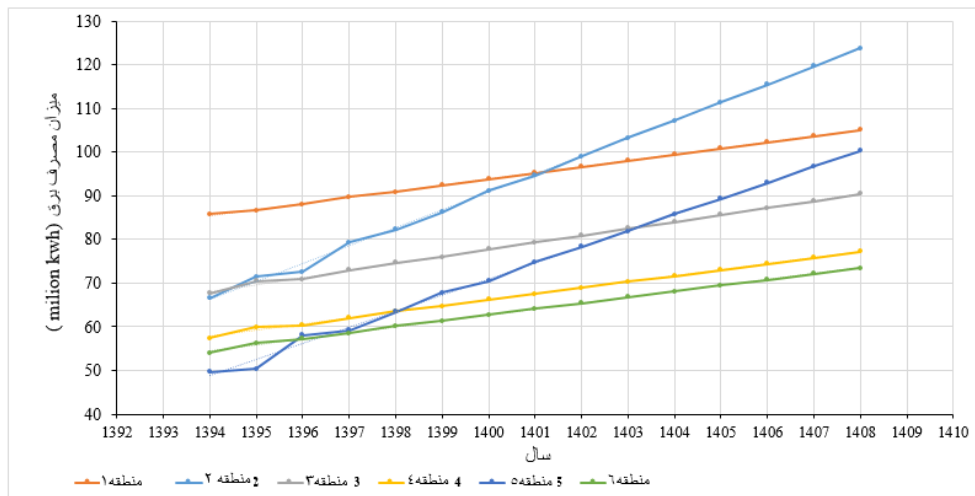
روش حداقل مربعات، $\hat{\beta}_0$ و $\hat{\beta}_1$ را برای به حداقل رساندن RSS استفاده می‌کند. بنابراین از معادله (۶) و معادله (۷) این ضرایب به دست می‌آیند (بنگ دیوالا، ۲۰۱۸).

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

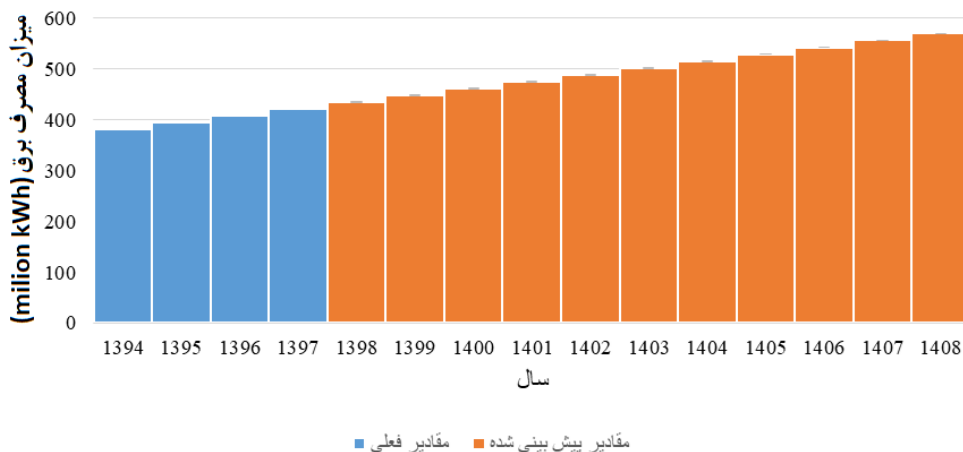
$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (7)$$

$$\bar{x} \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

$$\bar{y} \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (9)$$



شکل ۲- مقادیر فعلی و مورد انتظار مصرف برق در مناطق مختلف شرکت آب و فاضلاب تهران



شکل ۳- میزان مصرف کل فعلی و مورد انتظار برق شرکت آب و فاضلاب تهران

جدول ۱، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های نیروگاه‌های برق را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول میزان آلاینده‌های انتشار یافته در نیروگاه‌های سوخت دیزلی بالاتر از نیروگاه‌های با سوخت نفت کوره و گاز طبیعی است. همچنین، با وجود اینکه نیروگاه‌های سوخت گاز طبیعی نسبت به انواع دیگر میزان انتشار کمتری دارند، اما همچنان میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CH_4 و CO_2 بسیار زیاد است. نکته حائز اهمیت این است که در این مطالعه هدف جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی خورشیدی برای تولید برق می‌باشد.

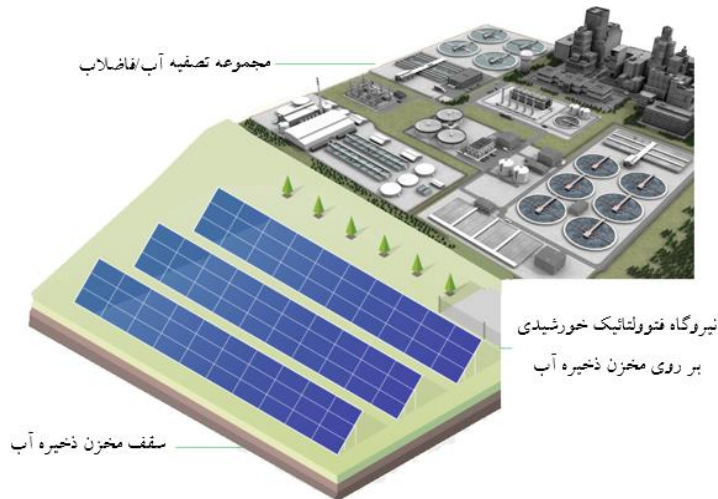
مطابق شکل ۲، تقریباً ۱۰٪ تغییرات متغیرهای وابسته توسط متغیر مستقل قابل توضیح است. در این شکل‌ها، متغیر مستقل و وابسته به ترتیب زمان و میزان مصرف الکتریسیته در مناطق ۱ تا ۶ شرکت آب و فاضلاب تهران می‌باشد.

افزایش جمعیت سالانه تهران موجب افزایش مصرف برق و به تبع آن، سبب افزایش قابل توجه تأمین آب آشامیدنی در تمام مناطق تهران می‌گردد.

۱- پیش‌بینی مصرف انرژی با استفاده از انرژی خورشیدی

را که توسط پنل های خورشیدی فتوولتائیک پوشانده شده است را نشان می دهد.

تعداد مخازن آب در حال بهره برداری در نقاط مختلف تهران ۷۲ عدد است که حدود ۲,۰۶۵,۰۰۰ متر مکعب آب را تأمین می کند و با نصب سیستم های فتوولتائیک در روی بام آن ها می توان از انرژی خورشیدی، تولید برق نمود. شکل ۴ نمای گرافیکی از مخزن ذخیره آب



شکل ۴- مخزن ذخیره آب مجهز به پنل های خورشیدی فتوولتائیک

ایران، ۲۰٪ از انرژی مورد نیاز بخش های دولتی باید از انرژی های تجدیدپذیر تأمین شود که از دلایل قانونی انجام مطالعه حاضر می باشد. با این وجود، بررسی نتایج تولید برق با در نظر گرفتن سهم بسیار اندک، یعنی ۵٪، از مشارکت انرژی تجدیدپذیر می تواند دید واقع بینانه تری را نسبت به این مسأله نشان دهد. در این راستا، سهم ۵، ۲۰ و ۳۰ درصد از تولید انرژی توسط سیستم های فتوولتائیک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

استفاده از سیستم های فتوولتائیک براساس سناریوهای مختلف طبق استانداردهای ملی و بین المللی و همچنین با در نظر گرفتن نسبت واقعی تر انرژی های پاک مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان تا ده سال آینده از سیستم های فتوولتائیک در شرکت آب و فاضلاب تهران بهره جست. مطابق با استانداردهای بین المللی، به ویژه برنامه مدیریت انرژی های پایدار کشورهای توسعه یافته، ۳۰٪ از انرژی های مورد نیاز باید توسط انرژی تجدیدپذیر تأمین گردد. طبق اسناد نقشه راه

جدول ۱- انتشار گازهای گلخانه ای در نیروگاه ها (g/kwh) [۳۲]

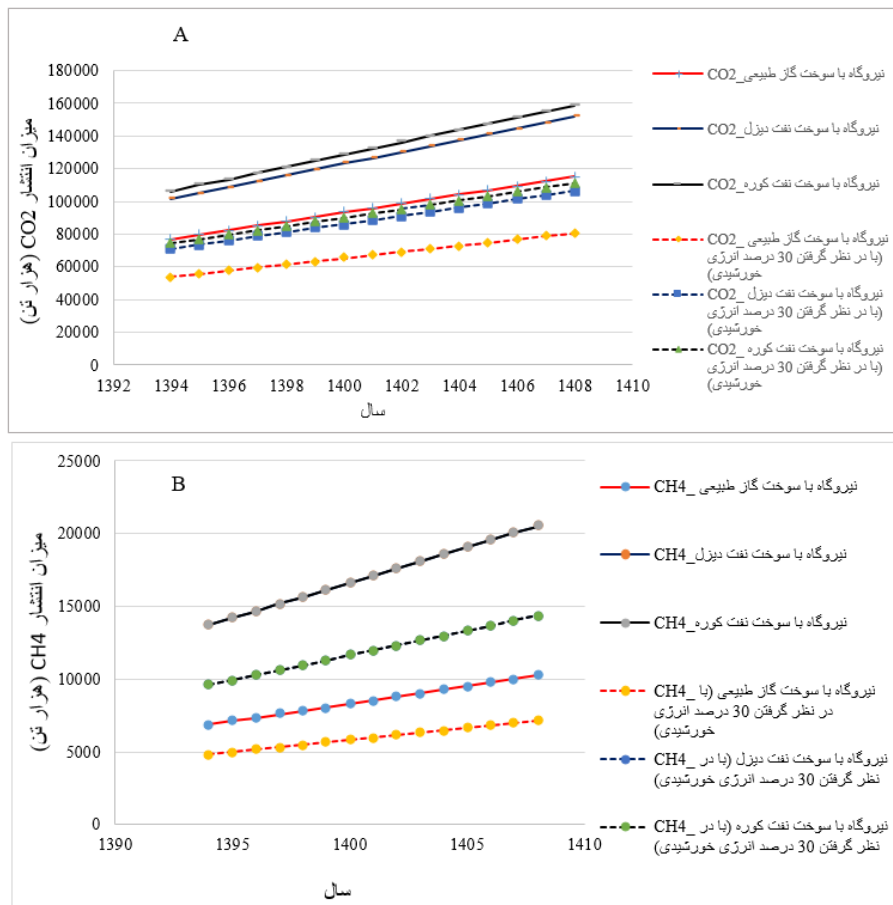
CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	نوع نیروگاه
۲۰۱/۸	۱۷/۹۹	۰/۴	۴ × ۱۰ ^{-۶}	گاز طبیعی
۲۶۶/۵	۳۵/۹۷	۲/۲	۹۲۶ × ۱۰ ^{-۳}	دیزل
۲۷۸/۴۲	۳۵/۹۷	۲/۲	۵۰۸ × ۱۰ ^{-۳}	نفت (مازوت)

جایگزین می‌شود. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، انتشار CO_2 و CH_4 از نیروگاه‌های دیزلی بسیار بیشتر از انواع دیگر است. پس از کاهش ۳۰٪ سوخت فسیلی، نیروگاه‌های گاز طبیعی کمترین میزان انتشار CO_2 را در مقایسه با سایر نیروگاه‌های فسیلی جهت تولید برق مورد نیاز شرکت آب و فاضلاب تهران تا سال ۱۴۰۸ به خود اختصاص داد.

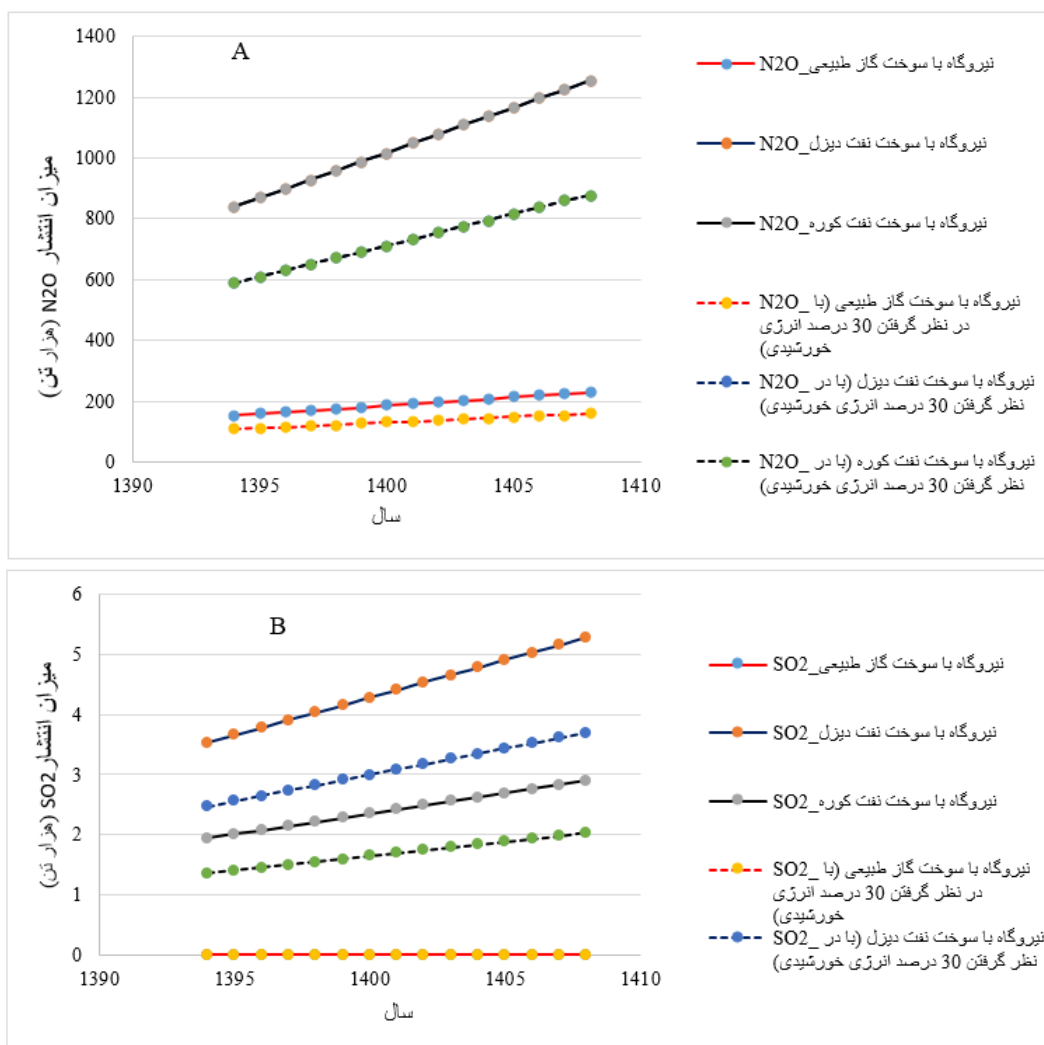
همچنین، نتایج نشان می‌دهد که CO_2 انتشار یافته از نیروگاه‌های گاز طبیعی، دیزل و نفت کوره در سال ۱۴۰۸ به ترتیب حدود ۱۱۵,۰۰۰، ۱۵۲,۰۰۰ و ۱۵۸,۰۰۰ تن خواهد بود. از سوی دیگر، طبق مطالعه موردی با تولید یک سوم برق مورد نیاز از منابع تجدیدپذیر، انتشار CO_2 سالانه تا ۳۰٪ کاهش خواهد یافت. این مقدار تقریباً همانند سایر نیروگاه‌های سوخت فسیلی می‌باشد.

اگر بر اساس استانداردهای بین‌المللی عمل شود و گزینه ۳۰٪ اعمال شود، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای طی ده سال آینده کاهش بیشتری می‌یابد که به دلیل روند کاهش مصرف برق ناشی از سوخت‌های فسیلی می‌باشد.

شکل ۵ (A و B) معادل میزان انتشار CO_2 و CH_4 توسط انواع مختلف نیروگاه‌های سوخت فسیلی برای استفاده در شرکت آب و فاضلاب تهران تا سال ۱۴۰۸ (با لحاظ کردن سهم ۳۰٪ انرژی خورشیدی) را نشان می‌دهد. دو سناریو برای محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی شده است. در سناریوی اول، کل برق مصرفی شرکت آب و فاضلاب تا سال ۲۰۳۰ توسط نیروگاه‌های سوخت فسیلی تأمین می‌شود و در سناریوی دوم، ۳۰٪ انرژی فسیلی با انرژی خورشیدی



شکل ۵- مقایسه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2 (A) و CH_4 (B) در دو سناریو ارائه شده



شکل ۶- مقایسه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (A و B) SO₂ در دو سناریو

نیروگاه‌های دیزلی تقریباً دو برابر نیروگاه‌های سوخت نفت کوره است، در حالی که سایر آلاینده‌ها تقریباً برابراند). همچنین انتشار CO₂ و CH₄ نیروگاه‌های گاز طبیعی قابل مقایسه با نیروگاه‌های خورشیدی نمی‌باشد. بنابراین، با جایگزینی ۳۰٪ از سوخت‌های فسیلی با انرژی خورشیدی، نیروگاه‌های گاز طبیعی کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بین سایر نیروگاه‌ها دارند.

علاوه بر این، نتایج این مطالعه قابل مقایسه با نتایج مطالعات قبلی که در بخش مقدمه بررسی شده است می‌باشد (راقوونیش و همکاران، ۲۰۰۵؛ یان

شکل ۶ (A و B) میزان معادل انتشار سایر گازهای گلخانه‌ای، یعنی N₂O و SO₂ را که توسط نیروگاه‌های فسیلی برای شرکت آب و فاضلاب تهران تولید می‌شود، تا سال ۱۴۰۸ نشان می‌دهد (با لحاظ نمودن ۳۰٪ انرژی خورشیدی). نتایج شکل بیان می‌کند که انتشار N₂O و SO₂ در نیروگاه دیزلی بیشتر از نیروگاه گاز طبیعی با سهم ۳۰٪ انرژی خورشیدی توسط شرکت آب و فاضلاب استان تهران تا سال ۱۴۰۸ است.

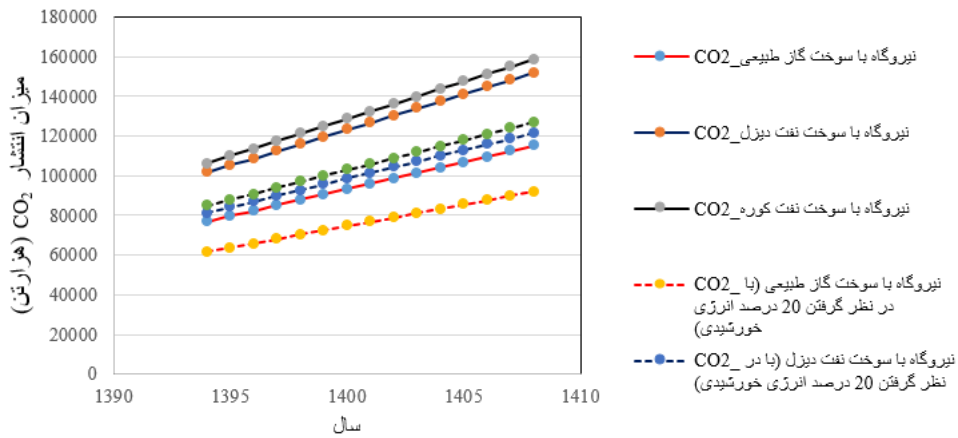
بامقایسه نتایج سناریوهای پیشنهادی، می‌توان نتیجه گرفت که میزان انتشار از نیروگاه‌های دیزلی بیشتر از سایر انواع نیروگاه‌ها است (انتشار SO₂

جایگزینی ۵٪ مصرف انرژی با سیستم‌های فتوولتائیک، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد. بدیهی است که این میزان کاهش به طور قابل توجهی کمتر از سناریوهای ۲۰ و ۳۰٪ کاربرد انرژی خورشیدی خواهد بود.

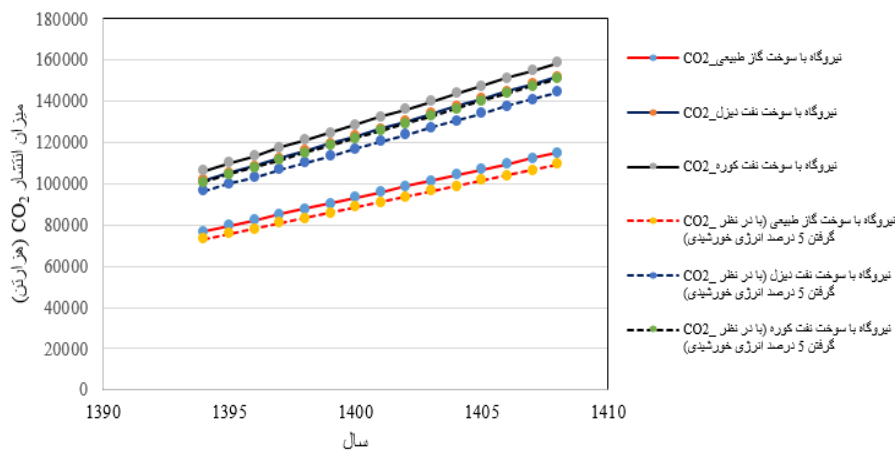
شکل‌های ۷ و ۸ نشان دهنده میزان انتشار CO₂ در صورت کاهش ۵٪ و ۲۰٪ از سوخت‌های فسیلی و جایگزینی آن با سیستم فتوولتائیک هستند. همانطور که مشاهده می‌شود، با اجرای این سناریوها، روند نزولی انتشار CO₂ اتفاق می‌افتد.

وهمکاران، ۲۰۱۶؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۳). نکته قابل توجه که لازم به ذکر است جایگزینی نیروگاه‌های متداول با انرژی تجدیدپذیر است که باعث کاهش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول زمان می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶).

بر اساس سناریوی جایگزینی ۲۰٪ از برق تولیدی با سیستم‌های فتوولتائیک، میزان استفاده از سوخت‌های فسیلی کاهش می‌یابد و به تبع آن، به دلیل روند نزولی مصرف برق طی ۱۰ سال آینده، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کاهش خواهد یافت. علاوه بر این، با



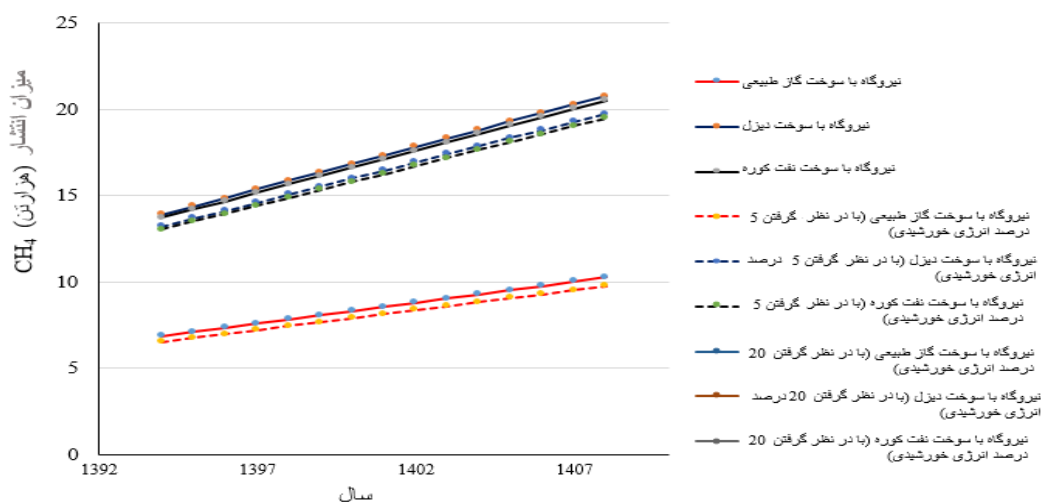
شکل ۷- میزان انتشار CO₂ با جایگزینی ۲۰٪ انرژی مورد نیاز سیستم توسط سیستم فتوولتائیک



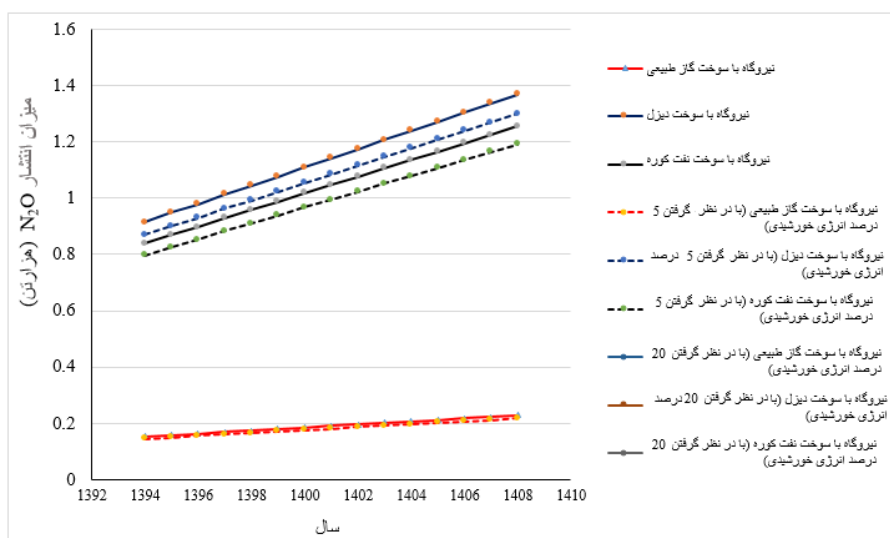
شکل ۸- میزان انتشار CO₂ با جایگزینی ۵٪ انرژی مورد نیاز سیستم توسط سیستم فتوولتائیک

شکل های ۹ تا ۱۱ میزان انتشار گازهای گلخانه ای CH_4 ، N_2O و SO_2 را با و بدون در نظر گرفتن سناریوهای تولید ۵ و ۲۰٪ انرژی مورد نیاز با استفاده از انرژی خورشیدی در شرکت آب و فاضلاب تهران را نشان می دهد. کاهش چشمگیر انتشار کلیه گازهای گلخانه ای کاملاً مشهود است و میزان کاهش آنها با وجود در نظر گرفتن سیستم فتوولتائیک طی سال های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۸ در این شکل ها ارائه شده است.

پس از کسر سهم سوخت های فسیلی، بیشترین میزان تولید CO_2 ناشی از نفت کوره و دیزل می باشد و نیروگاه گاز طبیعی کمترین میزان انتشار CO_2 را در میان نیروگاه سوخت فسیلی دارد همچنین در این شکل، میزان انتشار CO_2 در دو سناریو قابل مقایسه است. همانطور که مشخص است، مقادیر ذکر شده برای نفت کوره و دیزل بسیار بیشتر از سایر نیروگاه ها می باشد و پس از کسر ۵ و ۲۰ درصد سوخت های فسیلی، میزان انتشار CO_2 در کلیه نیروگاه های سوخت فسیلی کاهش می یابد.



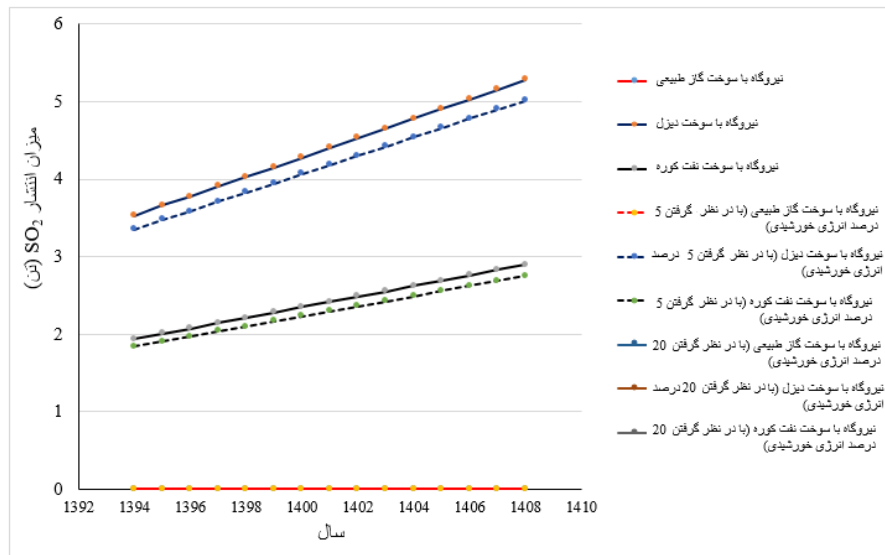
شکل ۹- مقایسه میزان انتشار CH_4 با جایگزینی ۵٪ و ۲۰٪ از انرژی مورد نیاز توسط سیستم فتوولتائیک



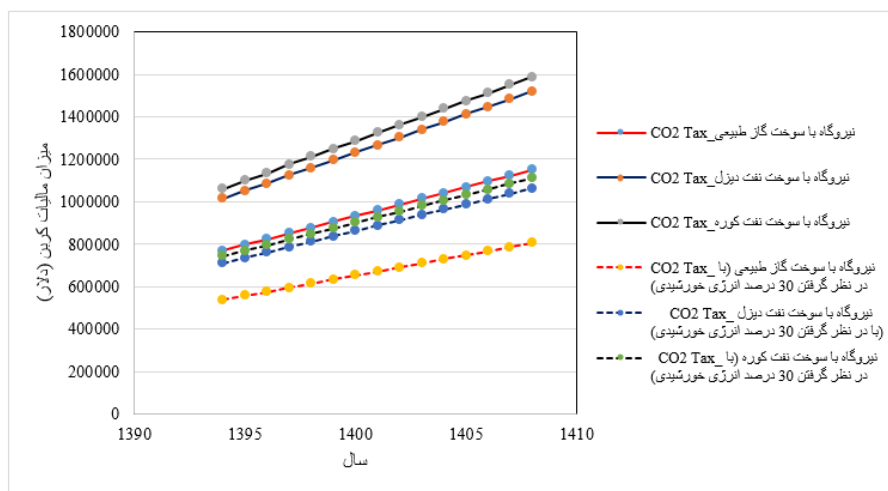
شکل ۱۰- مقایسه میزان انتشار N_2O با جایگزینی ۵٪ و ۲۰٪ از انرژی مورد نیاز توسط سیستم فتوولتائیک

حالی است که نسبت جهانی انتشار CO_2 ایران تقریباً ۱/۸٪ است (وب سایت <http://www.worldometers.info/>).

میزان انتشار CO_2 ناشی از مصرف سوخت فسیلی ایران در سال ۲۰۱۶، تقریباً ۶۴۲,۵۶۰,۰۳۰ تن بوده است، یعنی افزایش انتشار سالانه حدود ۲/۲۲٪. این در



شکل ۱۱- مقایسه میزان انتشار SO_2 با جایگزینی ۵٪ و ۲۰٪ از انرژی مورد نیاز توسط سیستم فتوولتائیک



شکل ۱۲- نرخ مالیات کربن بر حسب دلار از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۸

منتشر شده، ایران تقریباً ۱/۸٪ از انتشار CO_2 جهان را در اختیار دارد. بنابراین، مالیات ایران باید مشابه استرالیا باشد، زیرا سهم انتشار CO_2 در این دو کشور برابر است.

به دلیل عدم ثبت مالیات کربن برای ایران، مالیات کربن ایران با مقایسه سهم انتشار CO_2 ایران و سایر کشورهای جهان به دست می‌آید. بر اساس اطلاعات

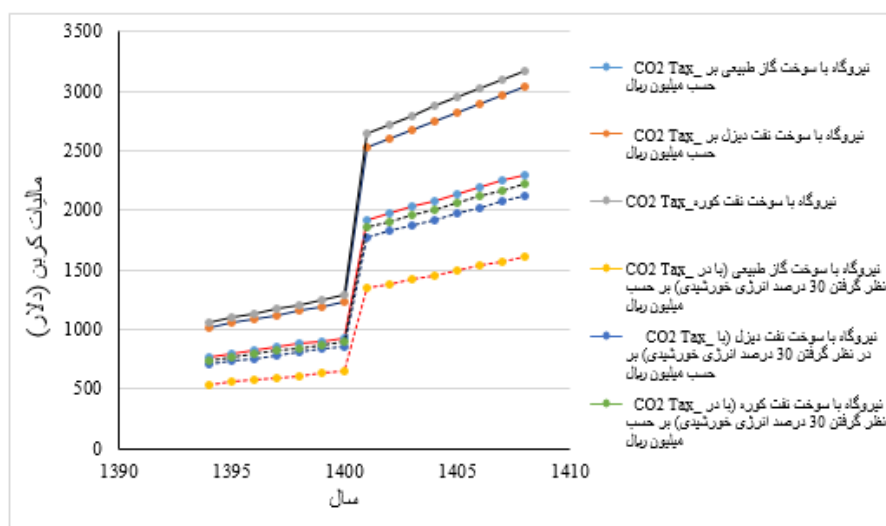
از ۳۰ دلار به ازای هر تن CO₂، شاهد تأثیرات منفی بر نرخ کاهش انتشار خواهیم بود زیرا، توسعه فناوری های کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از نقطه نظر اقتصادی به صرفه نخواهد بود. بنابراین، مالیات بسیار پایین یا بسیار بالا در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای مؤثر نیست. در این مطالعه، محاسبات با تخصیص مالیاتی ۱۰ دلار به ازای هر تن CO₂ در نظر گرفته شده است. در شکل های ۱۳ و ۱۴، نرخ مالیات کربن طبق گزارش سیناپس در سال ۱۳۹۴ با مصرف کل انرژی سیستم های فتوولتائیک در شرکت آب و فاضلاب پس از جایگزینی ۵، ۲۰ و ۳۰ درصد مقایسه شده است. همانگونه که مشاهده می شود، نرخ مالیات بر کربن ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای، به مقدار واقعی نزدیک تر شده است.

در شکل ۱۵ هزینه برق مصرفی در شش منطقه شرکت آب و فاضلاب نمایش داده شده است و شکل ۱۶ هزینه برق مصرفی را در دو سناریوی پیشنهادی نشان می دهد.

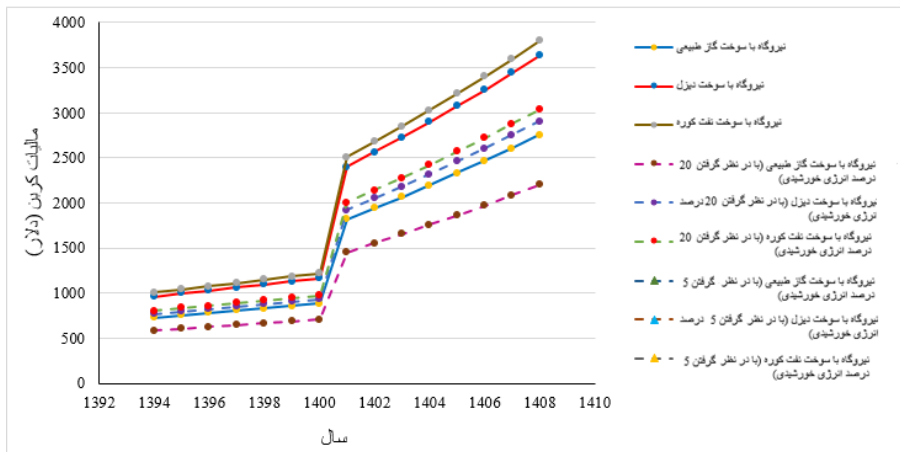
نرخ مالیات برای هر تن CO₂ ۱۰ دلار است (وب سایت <https://www.nytimes.com/>). شکل ۱۲ نرخ پیش بینی مالیات کربن را بر حسب میلیون دلار نشان می دهد.

بر اساس گزارش پیش بینی قیمت ملی CO₂ در سال ۱۳۹۴، قیمت CO₂ در سال های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱، ۱۴۰۲، ۱۴۰۳، ۱۴۰۴، ۱۴۰۵، ۱۴۰۶ و ۱۴۰۷ به ترتیب معادل ۲۰، ۲۰/۷۵، ۲۱/۵، ۲۲/۲۵، ۲۳، ۲۳/۷۵، ۲۴/۵ و ۲۵/۲۵ دلار در نظر گرفته شد (لاکو و همکاران، ۲۰۱۶).

مردوز و فلورس (۲۰۱۸) اظهار داشتند که در شیله مالیات ۱۰ دلار به ازای هر تن CO₂ تغییرات قابل توجهی در استفاده صنایع از سوخت فسیلی ایجاد نمی کند. اما اگر مالیات بین ۱۰ تا ۳۰ دلار به ازای هر تن CO₂ در نظر گرفته شود، به دلیل تأثیرات اجتماعی و اقتصادی میزان انتشار گازهای گلخانه ای به سرعت کاهش می یابد. علاوه بر این، با افزایش مالیات به بیش



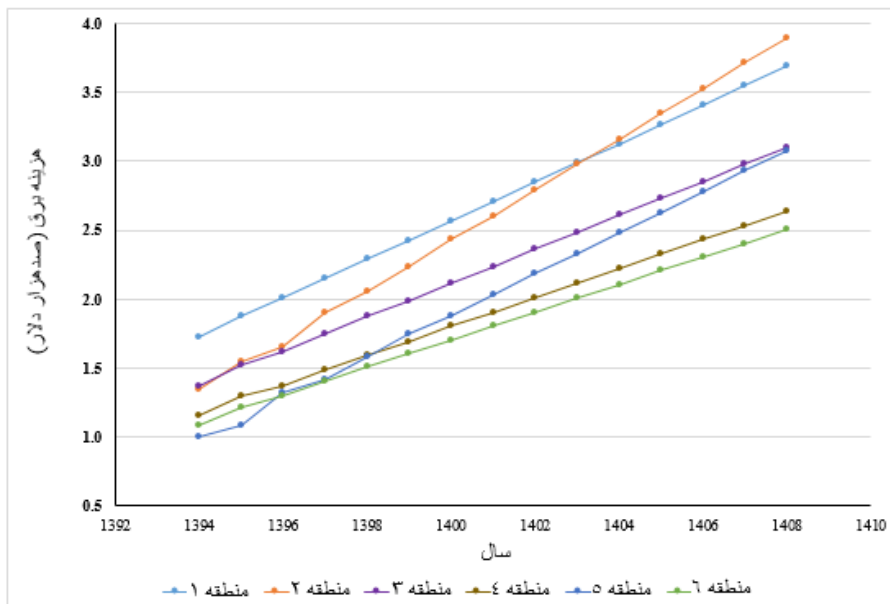
شکل ۱۳- مقایسه نرخ مالیات کربن پس از جایگزینی ۳۰٪ از کل انرژی مصرفی با سیستم های فتوولتائیک



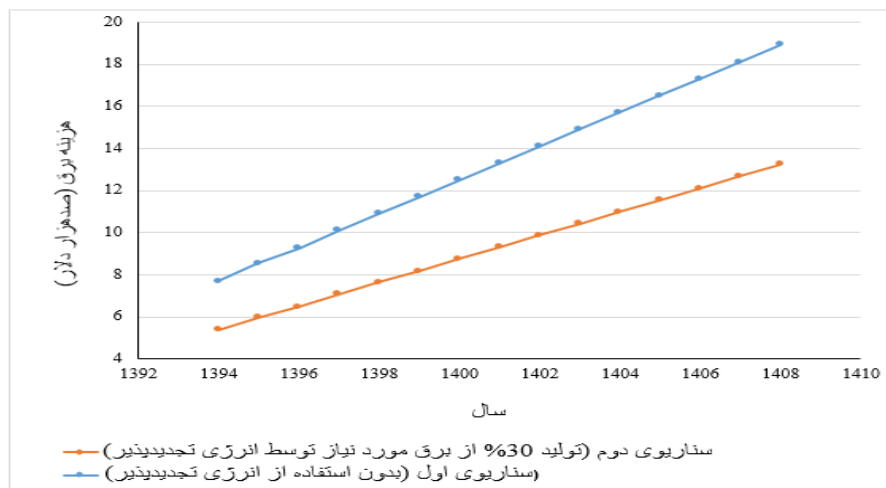
شکل ۱۴- مقایسه نرخ مالیات کربن پس از جایگزینی ۵٪ و ۲۰٪ کل انرژی مصرفی با سیستم‌های فتوولتائیک

۱۳۹۴ تا ۱۴۰۸ صرفه‌جویی بعمل خواهد آمد. در نتیجه، استفاده از منابع انرژی خورشیدی در صنعت آب و فاضلاب می‌تواند منجر به تقویت اقتصاد ملی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود.

براساس نتایج به دست آمده، با جایگزینی ۳۰٪ از معادل سوخت فسیلی برای تولید برق مورد نیاز شرکت آب و فاضلاب تهران، به دلیل استفاده از سیستم فتوولتائیک، ۵,۹۸۷,۰۸۶.۴۸۲ دلار در طی سال‌های



شکل ۱۵- هزینه برق در شش منطقه شرکت آب و فاضلاب

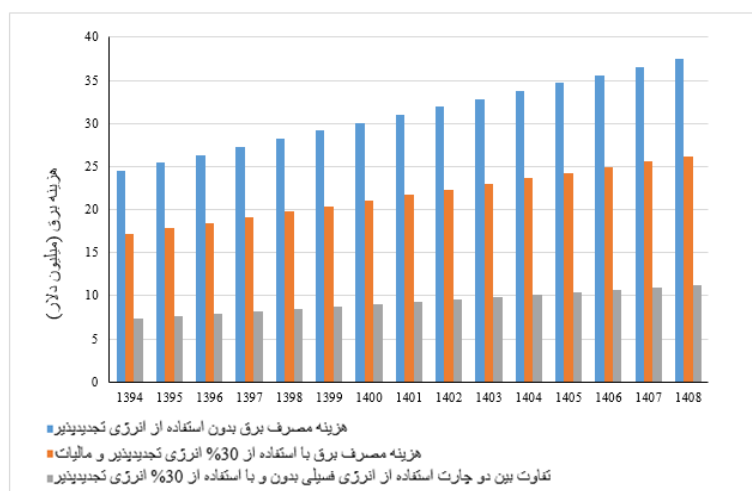


شکل ۱۶- هزینه برق دو سناریوی پیشنهادی

مالیات کربن برای صنایع آلاینده ایران (مانند شرکت- های آب و فاضلاب) گرایش بیشتری جهت ایجاد روش‌های حفاظت از محیط زیست، به ویژه استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان انرژی سبز برای تولید برق، به وجود خواهد آمد.

شکل ۱۷، هزینه‌های تأمین برق بر اساس سناریوهای پیشنهادی را با در نظر گرفتن تأثیر مالیات کربن نشان می‌دهد.

نکته قابل توجه این است که مالیات کربن در کاهش مصرف انرژی در کشورهای مدرن تأثیر بسزایی داشته است. نتایج قابل توجه در بهره‌گیری از این قوانین، شامل پیشرفت چشمگیر در مدیریت انرژی، بهره‌وری انرژی و توزیع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. این مطلب در انتشارات علمی مختلف و وبسایت‌های آماری در زمینه انرژی تاکید شده است (وبسایت <https://www.nytimes.com>). بنابراین، با تصویب



شکل ۱۷- هزینه برق سناریوهای پیشنهادی با توجه به تأثیر مالیات کربن

از انرژی‌های جایگزین در مطالعه موردی ذکر شده با گذشت زمان بیشتر می‌شود.

لازم به ذکر است که بر اساس مقادیر نشان داده شده در شکل ۱۷، مزایای اقتصادی به کارگیری بخشی

پتانسیل پایدار نیروگاه‌های برق خورشیدی را با لحاظ استراتژی‌های مالیات کربن ارائه می‌دهد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میزان مصرف و هزینه‌های برق به ترتیب ۱/۵ و ۳ برابر، تا پایان بازه زمانی مورد مطالعه افزایش خواهند یافت. همچنین، انتشار گاز گلخانه‌ای CO₂ با در نظر گرفتن تولید ۳۰٪ از برق مورد نیاز شرکت با استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک، به میزان ۲۶,۷۱۲ هزار تن طی دوره مورد بررسی، کاهش می‌یابد.

با توجه به مسائل گرمایش کره زمین، مالیات کربن یکی از ابزارهای مؤثر و کارآمدی است که دولت به هر شرکتی که سوخت‌های فسیلی می‌سوزاند اعمال می‌کند. به همین علت، مطالعات مربوط به نیروگاه‌های نفت کوره، دیزل و گاز طبیعی است. نتایج نشان داد که اگر مالیات کربن بین ۱۰ تا ۳۰ دلار به ازای هر تن CO₂ لحاظ شود، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بدیهی خواهد بود. بطوریکه، وضع مالیات به میزان بیش از ۱۰ دلار به ازای انتشار هر تن CO₂، منجر به تغییر الگوی مصرف و کاهش ۵,۹۸۷,۰۸۶ دلار هزینه‌های مصرف برق در شرکت آب و فاضلاب تهران خواهد شد. از طرف دیگر، پیش‌بینی می‌شود که با افزایش مالیات کربن به بیش از ۳۰ دلار به ازای هر تن CO₂، آلودگی هوا ناشی از نیروگاه‌های برق به طرز قابل توجهی کاهش خواهد یافت. درنهایت، در نظر گرفتن مالیات مناسب کربن جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی در شرکت‌های آب و فاضلاب پیشنهاد می‌شود.

علاوه بر این، با توجه به نرخ پیش‌بینی شده تقاضای آبرسانی و در نتیجه توسعه زیرساخت‌ها در مناطق ۲ و ۵ شرکت آب و فاضلاب، این مناطق در اولویت مدیریت مصرف انرژی در مطالعه موردی هستند. بنابراین، جایگزینی تولید برق متداول با مولد انرژی تجدیدپذیر باید از این دو منطقه شروع شود تا هزینه‌های برق شرکت به طور مؤثری کنترل گردد.

نتیجه‌گیری

با توجه به بحران موجود در زمینه مصرف بالای انرژی جهت تهیه آب آشامیدنی و همچنین جمع‌آوری فاضلاب شهری، یک رویکرد جامع در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. تهران پتانسیل بسیار بالایی در بهره‌مندی از انرژی خورشیدی در تولید برق دارد. به همین دلیل استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند در خصوص مطالعه موردی ذکر شده در این تحقیق بسیار مفید باشد. از سوی دیگر، مدیریت انرژی آبرسانی شهری محدود به ویژگی‌ها و پتانسیل هر شهر است. در تحقیق حاضر، عوامل مؤثر در مصرف انرژی در شرکت آب و فاضلاب تهران بررسی شده است. علاوه بر این، رویکرد جدیدی برای پیش‌بینی تأثیر استفاده از انرژی تجدیدپذیر در کاهش آلودگی هوا ارائه شده است.

نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف برق در شش منطقه شرکت آب و فاضلاب تهران یک روند مستقیم افزایشی را تا سال ۱۴۰۸ دنبال می‌کند. بنابراین، به-کارگیری انرژی خورشیدی و فناوری‌های پیشرفته به منظور کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید برق پیشنهاد شده است. رویکرد پیشنهادی

منابع

۱. کدخدایی خلفی، ن. ۱۳۸۸. نقش استفاده از انرژی نو در کاهش سطح تصفیه خانه فاضلاب و بهینه سازی برق مصرفی. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی محیط زیست-آلودگی هوا. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۲. ساری، م و و. امیر. ۱۳۹۵. استفاده از پمپ خورشیدی در صنعت آب و فاضلاب. سومین کنفرانس ملی مهندسی برق و کامپیوتر سیستمهای توزیع شده و شبکه های هوشمند. کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان.
3. Zakhidov, R.A. 2008. Central Asian countries energy system and role of renewable energy sources, *Applied Solar Energy*. 44: 218–223.
 4. Ozgoli, H. A. 2017. Simulation of integrated biomass gasification-gas turbine-air bottoming cycle as an energy efficient system. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7: 275-284.
 5. Reddy, A.K.N. 1979. Subramanian, D.K. The design of rural energy centres. *The Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, 2: 395–416.
 6. Ozgoli, H. A., Ghadamian, H. 2016. Energy price analysis of a biomass gasification-solid oxide fuel cell-gas turbine power plant. *Iranian Journal of Hydrogen & Fuel Cell*, 3: 45-58.
 7. Ozgoli, H. A., Ghadamian, H., Pazouki, M. 2017. Economic Analysis of Biomass Gasification-Solid Oxide Fuel Cell-Gas Turbine Hybrid Cycle, *International Journal of Renewable Energy Research*, 7: 1007-1018.
 8. Friedlingstein, P., Jones, M., O'Sullivan, M., Andrew, R., Hauck, J., Peters, G., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., DBakker, O. 2019. Global carbon budget 2019, *Earth System Science Data*,. 11: 1783-838,
 9. Freestone, D., 2016. The United Nations Framework Convention on Climate Change—the Basis for the Climate Change Regime, *Oxford Handbook of International Climate Change Law*.
 10. Branger, F., Ponssard, J.P., Sartor, O., Sato, M.. 2015. Free allocations, and activity level thresholds: the devil lies in the details, *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. 2: 401-37.
 11. Edenhofer, O., Flachsland, C., Wolff, C., Schmid, L.K., Leipprand, A., Koch, N., Kornek, U., Pahlem M.. 2017. Decarbonization and EU ETS Reform: Introducing a price floor to drive low-carbon investments. Berlin: Mercator Research Institution Global Commons and Climate Change.
 12. Curlee, T.R., Sale, M.J. 2003. Water and energy security, In *Water Security in the 21st Century Conference*, Netherlands.
 13. DoE US. 2006. Energy Demands on Water Resources, Report to Congress on the interdependency of energy and water. Washington DC: US Department of Energy.
 14. Goldstein, R., Smith, W. 2002. Water and sustainability. US Electricity Consumption for Water Supply and Treatment- the Next Half Century, vol. 4. Electric Power Research Institute (EPRI), Technical Report.
 15. Rothausen, S., Conway, D. 2011. Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector. *Nature Climate Change*. 1: 210–219.
 16. Frijns, J. 2012. Towards a common carbon footprint assessment methodology for the water sector. *Water and Environment Journal*.. 26: 63-69,
 17. Boden, T. A., Marland, G., Andres, R. J. 2009. Global, regional, and national fossil-fuel CO2 emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA.
 18. Karimi, P., Qureshi, A.S., Bahramloo, R., Molden, D. 2012. Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. *Agricultural Water Management*, 108: 52-60.
 19. Raghuvanshi, S.P., Chandra, A., Raghav, A.K. 2006. Carbon dioxide emissions from coal based power generation in India”, *Energy Conversion and Management*, vol. 47: 427-41.

20. Yan, Q., Zhang, Q., Zou, X. 2016. Decomposition analysis of carbon dioxide emissions in China's regional thermal electricity generation, 2000–2020. *Energy*, 112: 788-94.
21. Zhang, M., Liu, X., Wang, W., Zhou, M. 2013. Decomposition analysis of CO₂ emissions from electricity generation in China. *Energy Policy*, 52, 159-65.
22. Ziyang, G., Yongjun, S., Shu-Yuan, P., Pen-Chi, C. 2019. Integration of Green Energy and Advanced Energy-Efficient Technologies for Municipal Wastewater Treatment Plants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16.
23. Mahmoodi, V., Bastami, T., Ahmadpour, A. 2018. Solar energy harvesting by magnetic-semiconductor nanoheterostructure in water treatment technology. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 8268–8285.
24. Rodriguez, R., Espada, J.J., Gallardo, M., Molina, R., Lopez-Munoz, M.J. 2018. Life cycle assessment and techno-economic evaluation of alternatives for the treatment of wastewater in a chrome-plating industry. *Journal of Cleaner Production*, 172: 2351–2362.
25. Al-Aboosi, F.Y., El-Halwagi, M.M. 2018. An Integrated Approach to Water-Energy Nexus in Shale-Gas Production”, *Processes*, 6.
26. Foteinis, S., Borthwick, A., Frontistis, Z., Mantzavinos, D., Chatzisyneon, E. 2018. Environmental sustainability of light-driven processes for wastewater treatment applications. *Journal of Cleaner Production*, 182: 8–15.
27. Maldonado, M.I., Lopez-Martin, A., Colon, G., Peral, J., Martinez-Costa, J.I., Malato, S. 2018. Solar pilot plant scale hydrogen generation by irradiation of Cu/TiO₂ composites in presence of sacrificial electron donors. *Applied Catalysis B: Environmental*, 229: 15–23.
28. Han, C., Liu, J., Liang, H., Guo, X., Li, L. 2013. An innovative integrated system utilizing solar energy as power for the treatment of decentralized wastewater. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 25: 274–279.
29. Population and Housing Censuses, Statistical Center of Iran, Retrieved from <https://www.amar.org.ir/english/Population-and-Housing-Censuses>, Access Date: 10/04/2020.
30. Deghani, M.A., Feylizadeh, M.R. 2014. An overview of solar energy potential in Iran. *International Journal of Current Life Sciences*, 4: 7173-7180.
31. Solar resource maps of Iran, <https://solargis.com>, 2019.
32. Bangdiwala, S.I. 2018. Regression: simple linear”, *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 25: 113-5.
33. James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. 2015. *An Introduction to Statistical Learning*. Springer, USA, 2015.
34. Zabihian, F., Fung, A. Fuel and GHG emission reduction potentials by fuel switching and technology improvement in the Iranian electricity generation sector”, *International Journal of Engineering (IJE)*, vol. 3, (2009), 159-173.
35. Worldometer, “Iran CO₂ Emissions”, Retrieved from <https://www.worldometers.info/co2-emissions/iran-co2-emissions/>, Access Date: 12/01/2020.
36. “These Countries Have Prices on Carbon. Are They Working”, Retrieved from <https://www.nytimes.com/interactive/2019/04/02/climate/pricing-carbon-emissions.html>, Access Date: 20/01/2020.
37. Mardones, C., Flores, B. 2018. Effectiveness of a CO₂ tax on industrial emissions. *Energy Economics*. 71: 370-82.
38. Luckow, P. 2016. Spring 2016 National Carbon Dioxide Price Forecast”, *Synapse Energy Economics Inc.*, 1-35.