نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۱۰، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص: ۱۹- ۳۶

J. Energy Conversion
Volume: 10, Issue: 3, 2023: 19–36

DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3

آینده نگاری همبست انرژی و محیط زیست بر اساس مدل‌سازی و طراحی سناریو (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه)

مسعود معدل[۱]، مجید عمید پور[۲و*]، زهرا عابدی[۳]، علیرضا حاجی ملا علی کنی[۴]

۱-دانشجوی دکتری، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، masoud.moadel@gmail.com

*۲-استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیر طوسی، تهران، ایران، amidpour@kntu.ac.ir

۳- استادیار، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، z.abedi@srbiau.ac.ir

۴- محقق، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، alirezahkani@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸

چکیده

در این مقاله یک چارچوب جدید بر اساس مدل‌سازی سیستم انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط ایجاد شده است که هدف آن پیش‌بینی و ارائه چشم‌انداز از همبست انرژی و محیط‌زیست برای زیر بخش‌های اقتصادی تحت سناریوهای محتمل است. مدل‌سازی همبست از روش پایین به بالا با استفاده از نرم‌افزار Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۰ میلادی انجام شده است. داده‌های جمعیتی و اقتصادی حوضه آبریز ارومیه، که از محرک‌های تقاضای انرژی است، گردآوری و بعنوان مطالعه موردی استفاده شد. نتایج بر اساس تجزیه و تحلیل انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مختلف نشان داده است که بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی در انرژی و کاهش انتشار به ترتیب معادل ۲۷,۷۶ میلیون بشکه معادل نفت خام و ۱۱,۳ میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن تحت سناریوی سیاست‌های یکپارچه است. تحلیل حساسیت کل تقاضای انرژی به تغییرات اجتماعی و اقتصادی بیانگر افزایش میانگین ۳ و ۲ درصد به ازای هر واحد افزایش جمعیت و تولید ناخالص داخلی است. تجزیه و تحلیل هزینه- فایده برای اقدامات بهره¬ورانه تحت سناریوی مذکور، چنانچه نرخ بهره کمتر از ۸٪ باقی بماند حداکثر ارزش خالص کنونی را در پی دارد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** amidpour@kntu.ac.ir

کلمات کلیدی: مدل‌سازی سیستم انرژی، همبست انرژی و محیط‌زیست، بهره‌وری انرژی، تغییر اقلیم، تحلیل هزینه و فایده.

نحوه استناد به این مقاله: مسعود معدل، مجید عمید پور، زهرا عابدی، علیرضا حاجی ملا علی کنی. آینده نگاری همبست انرژی و محیط زیست بر اساس مدل سازی و طراحی سناریو (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه). مهندسی مکانیک تبدیل انرژی.
۱۴۰۲; ۱۰ (۳) : ۱۹-۳۶. **DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

۱- مقدمه

انرژی، آب و محیط زیست از منابع حیاتی زیست بشر هستند که مصرف هر کدام بر دیگری تاثیر می‌گذارد. تقاضای انرژی عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای است. تغییرات اجتماعی و اقتصادی در کنار تغییرات آب و هوایی (تغییر اقلیم) تقاضای انرژی را شتاب بخشیده و امنیت انرژی را به خطر انداخته است. تنش آبی به دلیل افزایش اثرات اقلیم، که به شدت بر کشاورزی و تولید انرژی تأثیر می‌گذارد، شدیدتر شده است. طبق پیش‌بینی سازمان ملل متحد، تا سال ۲۰۵۰، رشد جمعیت جهانی ۵۰ درصد، نیاز به انرژی ۸۰ درصد، تقاضای آب ۵۵ درصد و مصرف غذا ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت[1]. پیامد رشد اجتماعی-اقتصادی، شهرنشینی و صنعتی شدن، افزایش تقاضا برای انرژی است که منجر به انتشار کربن و تخریب محیط زیست می‌شود. انرژی با چالش‌ها و فرصت‌های مختلف از جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی درهم تنیده است و نشان دهنده ضرورت‌های بیشتری در قرن بیست و یکم برای تقویت مطالعه مبتنی بر مدل سیستم‌های یکپارچه انرژی است. سیاست گذاری مناسب جهت گذر کم هزینه از چالش‌ها مستلزم توجه به امنیت تامین انرژی، مقرون به صرفه بودن، انعطاف‌پذیری و رفع مشکلات زیست‌محیطی هستند که از آلودگی هوا و آب محلی گرفته تا تغییر اقلیم و پایداری جهانی را شامل می‌شوند [2][3].

تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای تغییرات زیادی را در شیوه زندگی بشر به دنبال خواهد داشت، از جمله تولید و مصرف انرژی و استفاده از زمین. با این حال، یک سوال اساسی وجود دارد که چگونه می‌توان بر این چالش‌ها تحت شرایط تغییر اقلیم فایق آمد [4]. رشد جمعیت نه تنها تغییر اقلیم را تشدید می‌کند بلکه بر پایداری تامین آب، تولید مواد غذایی و تولید نیروگاه‌های برق آبی تاثیر می‌گذارد [5]. کمبود جهانی آب به دلیل رشد جمعیت و تغییر اقلیم نیز به ۴۰٪ افزایش خواهد یافت که منجر به کاهش تولید کشاورزی به میزان ۸٪ تا ۲۴٪ خواهد شد [6]. سهم نیروگاه های برق آبی[1] در تولید برق در کره زمین که به دسترسی به آب بستگی دارد، حدود ۱۷٪ است که تقریباً معادل ۷۱٪ از انرژی‌های تجدیدپذیر است [7]. در شرایط مذکور رویکردهای مبتنی بر مدل، ابزارهای کارآمدی برای ارزیابی برنامه‌ها و رابطه پویا بین تعاملات انرژی-محیط‌زیست[2] و ارتقای دقت تصمیم‌گیری تحت عدم قطعیت در سیستم‌های انرژی هستند[8]. مفهوم همبست[3] رویکردی با هدف مدیریت یکپارچه برای بخش‌های درهم تنیده در راستای توسعه پایدار[4] است [9]. همچنین، مطالعات مختلفی برای نشان دادن تمام جنبه‌های همبست بر اساس مدیریت هوشمند منابع [10]، مدیریت آب و انرژی از طریق انواع سدهای برق آبی [11] و سیستم‌های چند منظوره برای مناطق ساحلی [12] انجام شده است. مطالعات دیگری در خصوص تجزیه و تحلیل همبست برای تعیین پارامترهای بهینه تصفیه آب از طریق تکنولوژی اسمز معکوس [13]، ارزیابی جامع تقاضای انرژی و آب برای بخش‌های اقتصادی چین در راستای توسعه پایدار [14] نیز از نمونه‌های دیگر همبست است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعت ۵۲ هزار کیلومتر مربع و جمعیت ۶ میلیون نفری در منطقه کوهستانی شمال غرب ایران بین استان های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان قرار دارد. این دریاچه در وسط یک حوضه آبریز بسته قرار دارد به طوری که تمام آب‌های سطحی و زیرزمینی از مناطق اطراف به دریاچه سرریز می‌شود. موقعیت منحصر به فرد حوضه از نظر زمین شناسی، سرعت تبخیر بالا و تجمع مداوم نمک‌ها، این حوضه را به یک منطقه آسیب پذیر تبدیل کرده

1 Hydro Power Plant
2 Energy-Environment
3 NEXUS
4 Sustainable Development

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

است [15]. حوضه ارومیه با تنش آبی مواجه است که خود عامل تخریب خاک، محدودیت‌های کشاورزی طبیعی و فقر است [16]. برای نشان دادن علل، پیامدها و راه‌حل‌های بحران‌های آب در این حوضه، اثرات تغییر اقلیم و عوامل انسانی بر نوسانات سطح آب دریاچه بررسی شده است. نتایج نشان داد که علت کاهش سطح آب دریاچه بیشتر ناشی از تأثیرات مداخلات انسانی است تا تغییرات آب و هوایی [5]. در مطالعه دیگری اثرات تغییر اقلیم و عوامل انسانی، از جمله ساخت سدها و افزایش کشاورزی آبی در کاهش آب ورودی به دریاچه از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ورودی سالانه به دریاچه در طول این مدت ۴۸ درصد کاهش یافته است که حدود ۶۰ و ۴۰ درصد از این کاهش ناشی از تغییرات اقلیمی و توسعه منابع آب در دوره مورد مطالعه بوده است [17].

نتیجه یک پژوهش بر اساس بررسی روند چهار دهه بیان می‌کند که تغییرپذیری آب و هوای حوضه از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۵ نشان دهنده افزایش ۰,۸ درجه سانتیگراد در میانگین دما و کاهش ۹,۲ درصدی در بارش است [18]. در مطالعه آینده پژوهانه‌ای تغییرات سطح ماهانه دریاچه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ توسط مدل اقلیمی HadCM3 و سیستم عصبی فازی تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 بر اساس گزارش‌های هیئت بین دولتی تغییر اقلیم[1] شبیه‌سازی شده است. نتیجه پیش‌بینی‌ها نشان‌دهنده کاهش ۴,۶ متری و ۳,۹۳ متری در سطح آب، مربوط به افزایش ۲,۸ درجه سانتی‌گراد و ۲,۳۵ درجه سانتی‌گراد دما بود [19]. از آنجایی‌که مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای عامل اصلی تغییرات اقلیمی شناخته شده‌اند، مدل‌ها و چارچوب‌های مختلفی در زمینه مدل‌سازی سیستم‌های انرژی برای ارتقای مدیریت عرضه و تقاضای انرژی بر اساس حداقل هزینه [20]، پذیرش تغییرات آب و هوا [21] و مطالعات چشم‌انداز توسعه داده شده است. چنین مدل‌هایی همچنین برای ارزیابی [22]، بهینه‌سازی [23]، تصمیم‌گیری [24]، برنامه‌ریزی [25] و مدیریت مصرف استفاده شده‌اند. مدل‌های تصمیم یار دیگری در زمینه مدیریت سیستم های آب، محیط زیست، زمین و غذا نیز توسعه داده شده‌اند [26]. مدل‌های تلفیقی به نام «همبست» با تعمیق محدودیت‌ها و نگرانی‌های کمبود و تخریب منابع طبیعی و محیط زیست و گسترش مفهوم توسعه پایدار در مجامع و کنفرانس‌های بین‌المللی از سال ۲۰۰۸ با محدوده‌های مختلف جغرافیایی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [27]. این مطالعات در محدوده های زمین کشاورزی [28]، شهری [29]، حوضه آبریز [30]، ملی [31] و تا سطوح جهانی[32] انجام شده است.

جدول ۱ قابلیت های نرم افزارهای سیستم انرژی را نشان می‌دهد. نرم‌افزار لیپ (LEAP[2]) امتیاز بیشتری برای مدل‌سازی سیستم انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به سایر ابزارهای پرکاربرد موجود کسب نمود.

سمت تقاضای انرژی در مدل شامل بخش‌های خانگی، تجاری، کشاورزی و صنعتی است. داده‌های سمت عرضه نیز عموماً شامل تلفات انتقال و توزیع برق، ظرفیت تولید نیروگاه‌ها، راندمان، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های تعمیرات، هزینه‌های نگهداری و قیمت سوخت است. ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس تعریف هیئت بین دولتی تغییر اقلیم برای کشورهای در حال توسعه تعیین شده که در پایگاه داده فناوری و محیط زیست[3] لیپ‌نیز گنجانده شده است. اطلاعات جمعیتی و اقتصادی در بخش محرک‌های اجتماعی و اقتصادی لیپ درج شده است. هزینه‌های خارجی زیست محیطی[4] گازهای احتراق برای محاسبه هزینه‌های خارجی مصرف سوخت در بخش‌های مسکونی، کشاورزی، تجاری، صنعتی و تولید برق بر اساس آمار وزارت نیرو در سال ۲۰۱۹ در نظر گرفته شده است.

1 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC)
2 Long-range Energy Alternative Planning (LEAP)
3 Technology and Environmental Database (TED) database
4 Externality Costs

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

جدول۱: شاخص‌ها و قابلیت‌های نرم‌افزارهای مدل‌سازی سیستم‌های انرژی و محیط‌زیست

شاخص / نرم افزار	قابلیت دسترسی به نرم افزار	کیفیت و نمایش کامل نتایج	قابلیت انعطاف مدل	آموزش و پشتیبانی	شهرت بین‌المللی	میزان داده‌های مورد نیاز	شفافیت و سهولت استفاده	پوشش جنبه‌های محیط زیستی	امکان ارتباط با ابزارهای خارج از برنامه	دارا بودن پایگاه داده	پوشش محرک‌های اجتماعی، اقتصادی و سیاستی	بهینه‌سازی سمت عرضه	شبیه سازی سیستم و قابلیت‌های حسابداری	پوشش همزمان سمت عرضه و تقاضا	جمع امتیازات
ENPEP-BALANCE	۲	۱	۱	۱	۲	۲	۳	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۱۸
MARKAL/TIMES	۰	۱	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۳	۰	۳	۲	۰	۲	۲۵
MERCI	۳	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۰	۰	۱	۰	۲	۰	۱۸
LEAP	۲	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۳	۳۸
IMAGE	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۰	۰	۱	۰	۲	۰	۱۸
MESSAGE	۲	۲	۱	۱	۲	۳	۲	۲	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۱۷

امتیاز میزان قابلیت نرم افزار: ۰: بدون قابلیت ۱: پایین ۲: متوسط ۳: بالا

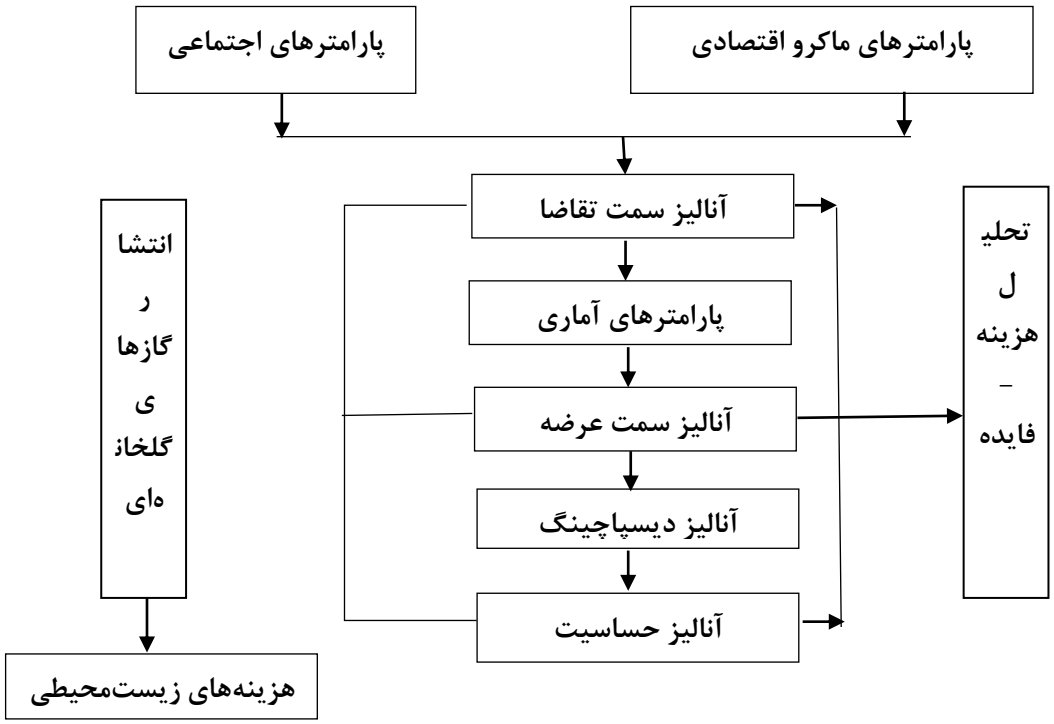
در این مقاله یک مدل مبتنی بر سناریو توسط نرم‌افزار لیپ در حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تقاضای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، تحت سناریوهای مختلف توسعه داده شده است. تحلیل سود-هزینه و تحلیل حساسیت بر اساس نتایج سناریوها انجام شد. شکل ۱ الگوریتم محاسبه را در مدل لیپ نشان می‌دهد. ساختار تقاضای انرژی در لیپ در بخش تقاضا اجرا می‌شود و سمت عرضه انرژی در بخش تبدیل ایجاد می‌شود. عوامل موثر بر انتشار گازهای گلخانه ای، تقاضای انرژی و عرضه در بخش "فرض‌های کلیدی[۱]" در نظر گرفته شده است. اطلاعات جمعیتی و اقتصادی در «محرک‌های اجتماعی[۲]» و «محرک‌های اقتصادی[۳]» ارائه شده است. بخش "تاثیرات[۴]" هزینه‌های خارجی، انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد که برای ارزیابی فنی-اقتصادی و زیست‌محیطی[۵] سناریوهای بهبود وضعیت سیستم انرژی استفاده می‌شود. مدل‌سازی سیستم انرژی در لیپ بر اساس روش تحلیل سطح فعالیت است که با معادله ۱ توضیح داده شده است [33].

$$D_{b,s,t} = TA_{b,s,t} \times EI_{b,s,t} \quad (۱)$$

1 Key Assumption
2 social Drivers
3 Economic Drivers
4 Effects
5 Technical-economic and Environmental Evaluation

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

در معادله فوق، "D" تقاضای انرژی نهایی است، "TA" کل فعالیت است، EI شدت انرژی است، "b" شاخه فناوری است که با یک سوخت خاص مشخص شده است، "s" یک سناریو را نشان می دهد و " t" نشان دهنده زمان (سال) است.



شکل ۱: الگوریتم نرم‌افزار لیپ

۲-روش کار بر اساس طراحی سناریو:

۲-۱ سناریوی مرجع

سناریوی مرجع یا ادامه روند فعلی بیانگر تداوم وضعیت فعلی و روند تاریخی در آینده است که معیاری برای مقایسه عملکرد و کارایی سناریوهای بهبود سیستم انرژی در محیط مدل است. مشخصات سناریوی مرجع شامل عوامل اصلی مؤثر در توسعه و بهبود سیستم انرژی است. رشد جمعیت، رشد اقتصادی و نرخ‌های بهره واقعی از مهم‌ترین داده‌ها هستند. نکته اصلی در سناریوی مرجع تعیین افق مدل‌سازی سیستم انرژی و تغذیه داده‌های مورد نیاز محرک‌های پیشرو سیستم انرژی، از جمله رشد جمعیت و تولید ناخالص داخلی است که بر تمام بخش‌های دیگر تأثیر می‌گذارد.

۲-۲ سناریوی افزایش قیمت انرژی

اقتصاد بشدت یارانه ای انرژی در ایران باعث ناپایداری قابل توجهی نه تنها از نظر ناکارآمدی انرژی و آسیب‌های اقتصادی، بلکه موجب تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش ناپایداری زیست‌محیطی شده است. طبق قانون هدفمند سازی یارانه‌ها تصویب شده در سال ۱۳۸۸، قیمت حامل‌های انرژی در ایران تا پایان برنامه پنج ساله پنجم توسعه اقتصادی(۱۳۹۴) نباید کمتر از ۹۰ درصد قیمت فوب خلیج فارس می‌بود. در برنامه پنجم دولت موظف شد از شدت مصرف انرژی بکاهد و با آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی، ایران را به سمت کاهش شدت مصرف سوق دهد. در سناریوی افزایش قیمت این مقاله، قیمت حامل‌های انرژی سالانه ۵ درصد افزایش می‌یابد که انتظار می‌رود از

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

طریق کشش قیمت، تقاضا را کاهش دهد. معادله ای بین کشش قیمت و تقاضا وجود دارد که بر این اساس افزایش قیمت حامل‌های انرژی با فرض تثبیت سایر عوامل، تنها متغیر تأثیرگذار بر کاهش تقاضای انرژی است[33] .

$$E_{i,j,t} = A \times P^{\beta}{}_{i,j,t} \quad (۲)$$

در معادله (2)، E تقاضای حامل انرژی i در بخش j برای سال t بر حسب گیگاژول[1] است. A ثابت تقاضای انرژی است و P نشان دهنده قیمت همان حامل انرژی در بخش j برای سال t است، ß نشان دهنده کشش قیمت حامل انرژی است. بنابراین در این سناریو انتظار می رود شدت مصرف انرژی با افزایش قیمت حامل‌های انرژی با نرخ سالانه ۵ درصد و اعمال کشش قیمت در بخش‌ها کاهش می‌یابد [33].

۲-۳ سناریوی مدیریت سمت تقاضا

این سناریو اقدامات سیاست‌گذاری انرژی در سمت تقاضا را بیان می‌کند. انتظار می‌رود وجود سیاست‌های کلان در راستای اصلاح الگوی مصرف و همچنین قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، قوانین بودجه و راهکارهای کاهش مصرف انرژی در دو بعد فنی و فرهنگی منجر به کاهش شدت انرژی در سمت تقاضا در مقایسه با سناریوی مرجع شود [24]. این سناریو اجرای راه‌حل‌های اصلی را در نظر می‌گیرد و فرض بر این است که این راه‌حل‌ها از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ اجرا می‌شوند تا اثربخشی خود را به طور کامل نشان دهند و برخی از صرفه‌جویی‌های انرژی بالقوه را برآورده کنند. جزئیات این سناریو در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ : اطلاعات سناریوی مدیریت سمت تقاضا

ردیف	توضیح پارامترهای سناریو	واحد	مقدار	توضیحات
۱	سال شروع	سال	۲۰۲۱	بر اساس توافق پاریس
۲	سال پایان	سال	۲۰۴۰	
۳	متوسط کاهش در مصرف گاز طبیعی در بخش‌های مختلف	درصد	-۲	کاهش ۴۰ درصدی شدت انرژی تا سال ۲۰۴۰
۴	متوسط کاهش در مصرف دیزل در بخش‌های مختلف	درصد	-۱,۵	کاهش ۳۰ درصدی شدت انرژی تا سال ۲۰۴۰
۵	متوسط کاهش در مصرف برق در بخش‌های مختلف	درصد	-۱,۲	کاهش ۲۴ درصدی شدت انرژی تا سال ۲۰۴۰
۶	میانگین سرمایه گذاری اولیه برای کاهش مصرف انرژی	*$/GJ*	۴۰,۵۱	-

۲-۴ سناریوهای تغییر اقلیم

بر اساس مطالعات انجام شده، با ادامه انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سیستم انرژی انتظار می‌رود میانگین دمای هوا به میزان ۰,۵، ۰,۹، و ۱,۲ درجه سانتیگراد در سه سناریوی تغییر اقلیم کم، متوسط و زیاد افزایش یابد. افزایش دما باعث کاهش راندمان نیروگاه‌ها و تشدید مصرف برق سیستم‌های خنک‌کننده می‌شود [21]. این سناریو ها در جدول ۳ طبقه‌بندی شده است.

1 Gigajoule

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

جدول ۳: اطلاعات مربوط به سناریوهای تغییر اقلیم

ردیف	تغییر اقلیم شدت	پیش بینی دمای متوسط هوا تا سال ۲۰۴۰ درجه حرارت	میزان کاهش بازدهی نیروگاه (٪) گازی	 سیکل ترکیبی	 بخار
۱	تغییر اقلیم شدید	۱,۲	-۰,۷۲	-۰,۴۸	-۰,۶
۲	تغییر اقلیم متوسط	۰,۹	-۰,۵۴	-۰,۳۶	-۰,۴۵
۳	تغییر اقلیم کم	۰,۵	-۰,۳	-۰,۲	-۰,۲۵

۲-۵ سناریوی سیاست‌گذاری یکپارچه

این سناریو سه سناریوی انرژی قبلی را از طریق ویژگی وراثت لیپ ترکیب می‌کند. در این سناریو قیمت انرژی مطابق سناریوی افزایش قیمت انرژی افزوده می‌شود و سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی تحت سناریوی تغییر اقلیم متوسط اجرا می‌شود.

۲-۶ تجزیه و تحلیل سود و هزینه و تحلیل حساسیت

تجزیه و تحلیل مالی در لیپ توسط تجزیه و تحلیل سود و هزینه در نظر گرفته شده است که به طبقه‌بندی سناریوهای سیاست‌گذاری بهینه کمک می‌کند. با توجه به پیچیدگی سیستم انرژی و رابطه چند بعدی آن با عوامل اجتماعی-اقتصادی، تحلیل حساسیت برای درک بهتر همبستگی تقاضای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با تغییرات اجتماعی-اقتصادی لازم است [33].

۳- نتایج

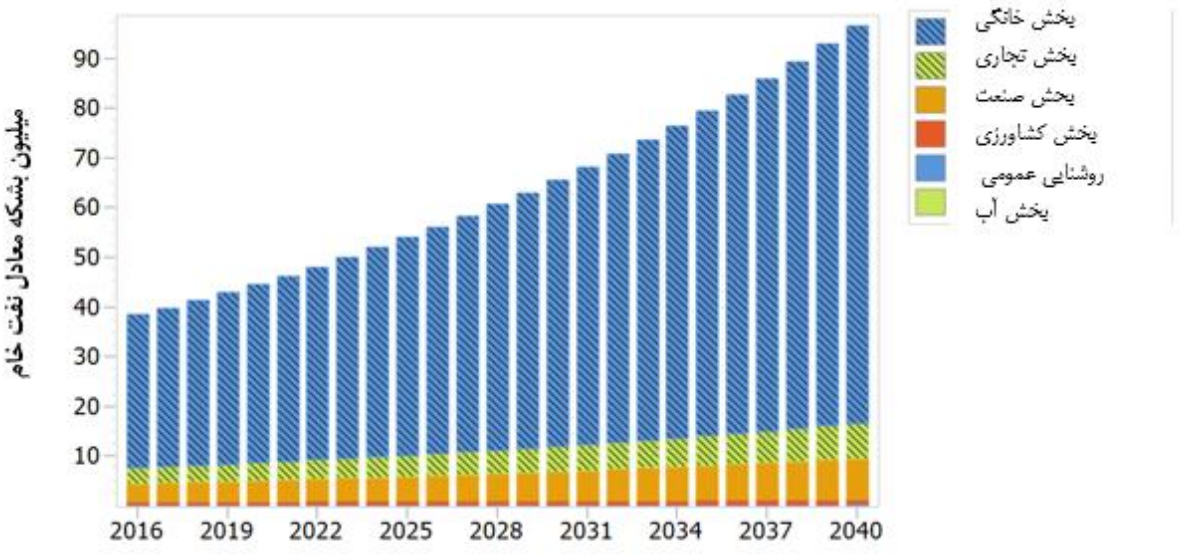
۳-۱ تقاضای انرژی نهایی در حوضه دریاچه ارومیه

مدل کمی همبست برای حوضه دریاچه ارومیه برای به تصویر کشیدن چشم انداز همبست تحت سناریوهای مختلف انجام شد. نتایج مدل نشان می‌دهد که تقاضا برای حامل‌های انرژی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه حدود ۳۸,۵ میلیون بشکه معادل نفت خام[1] در سال ۲۰۱۶ بوده است که انتظار می‌رود در سناریوی مرجع به بیش از ۹۶,۷ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش یابد (شکل۲). متوسط رشد سالانه مصرف انرژی در این سناریو تا افق مدلسازی ۳,۹ درصد برآورد شده است.

1 Million Barrels of crude Oil Equivalent (MBOE)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]



شکل ۲ : پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی

بیشترین تقاضای انرژی مربوط به بخش مسکونی با بیشترین میانگین رشد ۴,۰۴ درصد و کمترین رشد مربوط به بخش کشاورزی با ۱,۵ درصد است. بر این اساس تقاضای حامل‌های انرژی تحت سناریوهای افزایش قیمت انرژی، مدیریت سمت تقاضا و سیاست‌گذاری یکپارچه کاهش خواهد یافت. روند افزایش تقاضای انرژی تحت سناریوهای تغییر آب و هوا رخ داد. کمترین و بیشترین نرخ رشد تقاضای انرژی مربوط به اجرای راهکارهای مدیریت تقاضا و سناریوی تغییر اقلیم شدید است. انتظار می رود کل صرفه‌جویی حامل‌های انرژی تحت سناریوهای افزایش قیمت انرژی، مدیریت سمت تقاضا و سیاست‌گذاری یکپارچه در سال ۲۰۴۰ به میزان ۱۰,۵۵، ۲۷,۷۶ و ۳۳,۵ میلیون بشکه معادل نفت خام برسد.

۳-۲ تجزیه و تحلیل تامین انرژی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

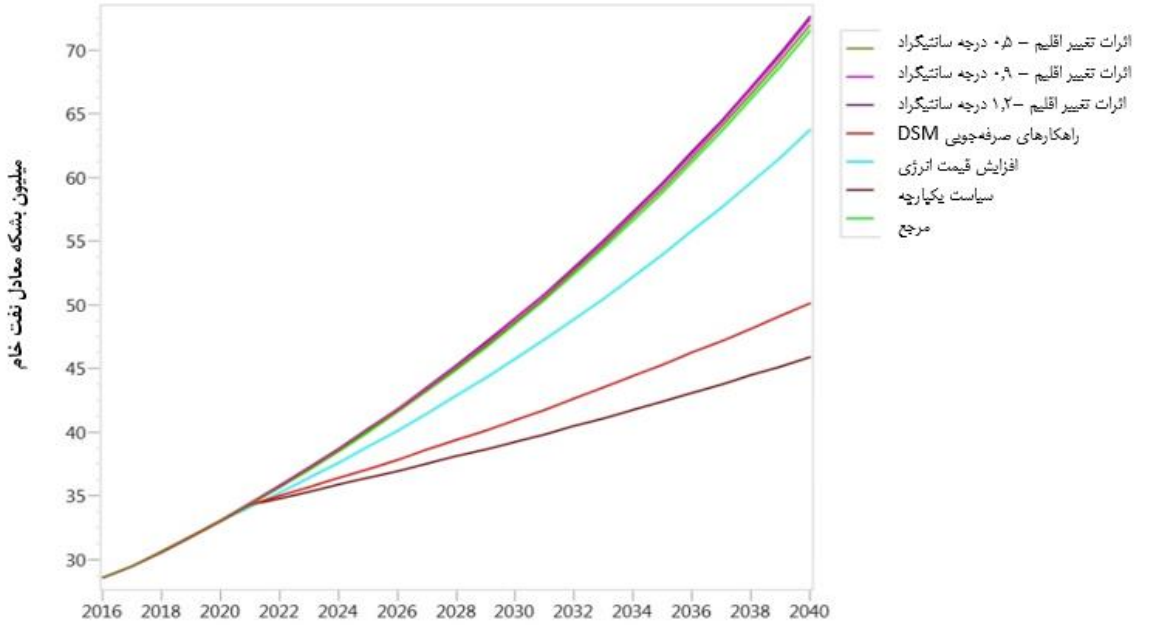
کل تقاضا برای گاز طبیعی و برق از ۲۸,۳۵ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۲۰۱۶ افزایش می‌یابد و طبق پیش بینی مدل به ۷۰,۹۷، ۶۳,۲۱، ۴۹,۷۷، ۷۱,۰۷، ۷۱,۰۴، ۷۱,۰۱ و ۴۹,۷۷ میلیون بشکه معادل نفت خام تحت سناریوهای مرجع، افزایش قیمت انرژی، مدیریت سمت تقاضا می‌رسد. نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است.

ماژول تولید برق در برگیرنده شش نوع فناوری تولید نیروگاهی شامل نیروگاه‌های گازی، بخاری و سیکل ترکیبی، نیروگاه‌های برق آبی، بادی و خورشیدی است. نتایج شامل میزان تولید برق، روند تغییرات در ظرفیت عملی تولید برق، مصرف سوخت و پیک بار الکتریکی حوضه خواهد بود.

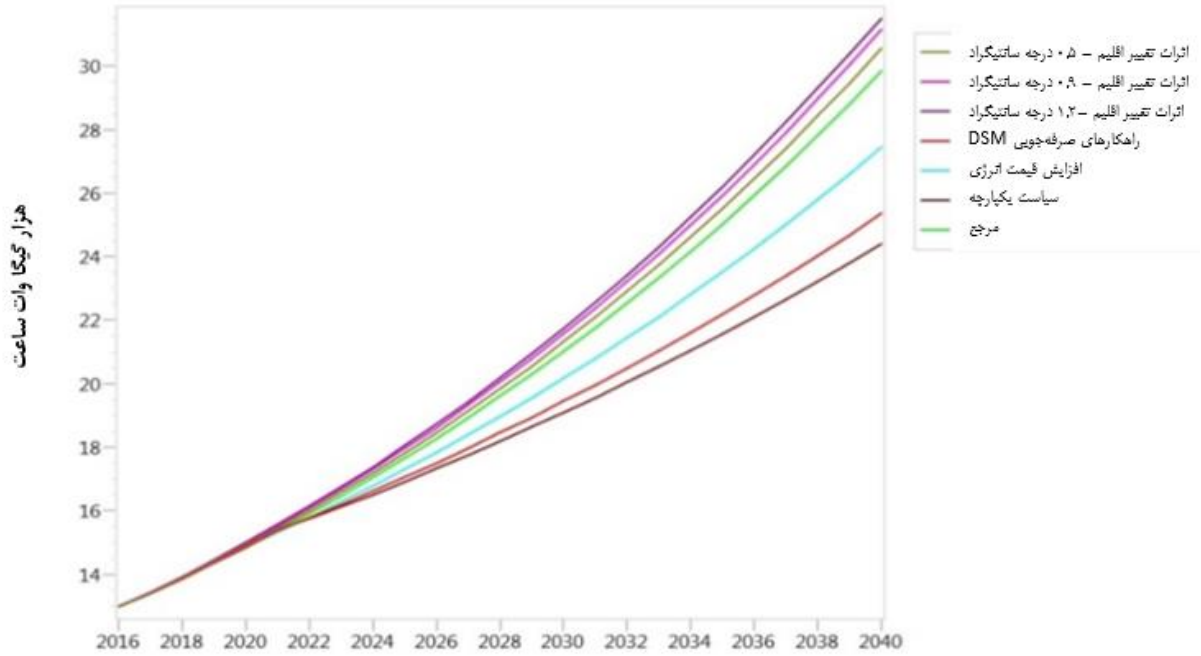
بیشترین و کمترین میانگین نرخ رشد تولید بهینه برق مربوط به سناریوهای تغییرات اقلیمی شدید و سیاست‌گذاری یکپارچه است. از نظر تولید برق در نیروگاه‌های مختلف، روند تولید تحت سناریوی مرجع در شکل ۴ آورده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]



شکل ۳: تقاضای گاز طبیعی و برق تحت سناریوهای مختلف



شکل ۴: رشد تولید برق تحت سناریوهای مختلف

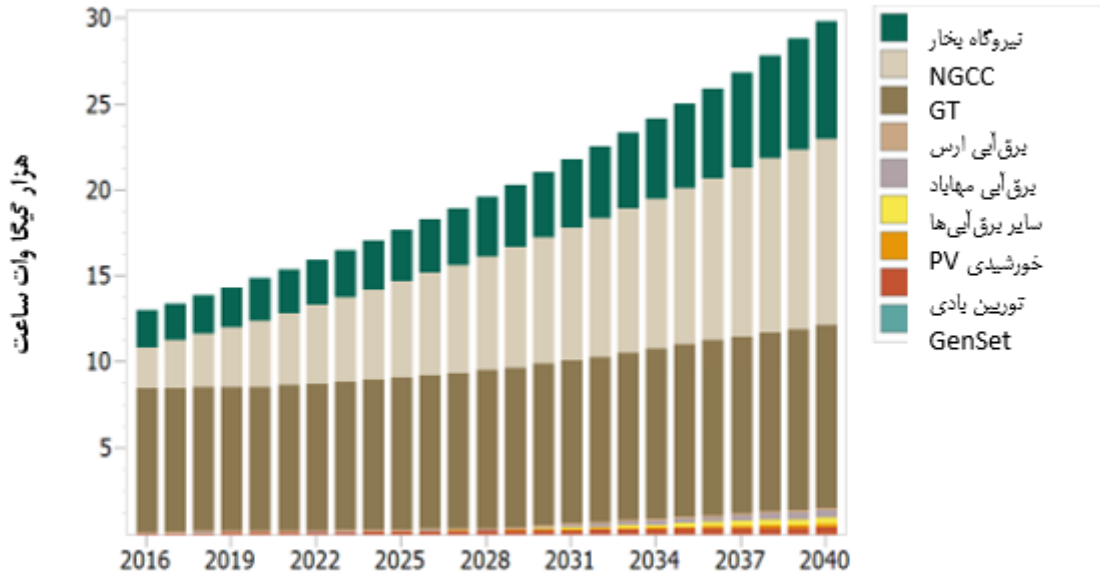
همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بیشترین تولید برق در سال پایه مربوط به نیروگاه های گازی با سهم ۶۴٫۴ درصد است و پس از آن نیروگاه های سیکل ترکیبی، بخار و سایر نیروگاه‌ها با سهم ۱۸٫۴، ۱۶٫۲ و۰٫۱ درصد قرار دارند. ساختار تولید برق طبق شکل ۵ تا سال ۲۰۴۰ تغییر خواهد کرد و انتظار می‌رود که سهم نیروگاه‌های گاز،

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

سیکل ترکیبی، خورشیدی، بادی و برق آبی به ۳۵,۶، ۳۶,۴، ۲۲,۸، ۰,۶، ۱,۴ و ۳,۲ تراوات[1]ساعت در راستای توسعه پایدار و کاهش گازهای گلخانه‌ای برسد.

بیشترین ظرفیت توان در تیر و مرداد استفاده می‌شود. انتظار می‌رود حداکثر توان تولیدی در ماه مرداد از ۱۹۹۲ مگاوات[2] در سال پایه افزایش یابد و در سال ۲۰۴۰ تحت سناریوی سیاست‌گذاری یکپارچه به حدود ۳۷۴۶ مگاوات برسد. تقاضای مازاد نیز توسط نیروگاه‌های بخار تامین می‌شود. حداکثر تقاضای نیروگاه‌های حرارتی از ۱۹۹۲ مگاوات در سال پایه به ۴۵۷۹، ۴۲۱۳، ۳۸۹۰، ۴۷۰۹،۴۷۰۵،۴۶۹۱ و ۳۷۴۶ مگاوات در سناریوهای مرجع، افزایش قیمت انرژی، مدیریت تقاضا، تغییر اقلیم بالا، متوسط، پایین و سیاست یکپارچه در سال ۲۰۴۰ افزایش خواهد یافت.



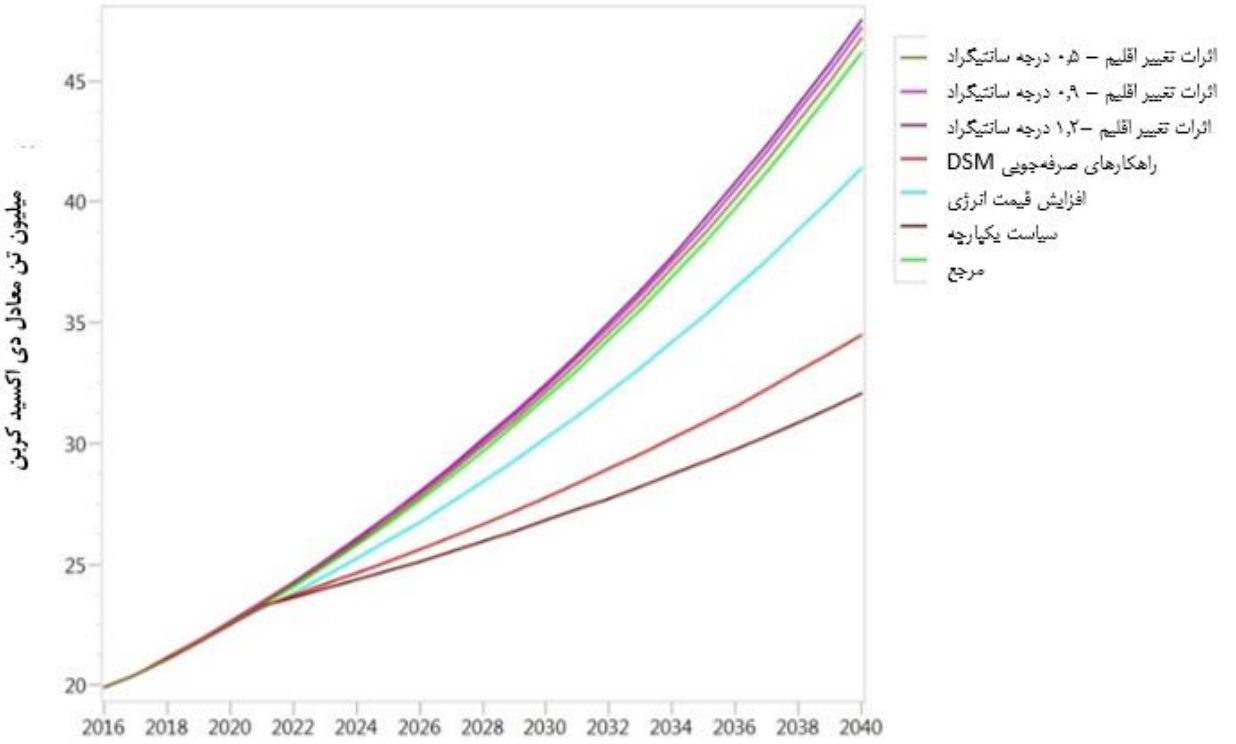
شکل ۵: سهم انواع نیروگاه‌ها در تولید برق

۳-۳ چشم انداز انتشار گازهای گلخانه‌ای

همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، مقدار کل انتشار گازهای گلخانه ای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۲۰ میلیون تن معادل دی اکسید کربن در سال پایه بود که انتظار می‌رود تحت سناریوهای مرجع، افزایش قیمت انرژی، تغییر اقلیم شدید، متوسط وکم و سیاستگذاری یکپارچه در سال ۲۰۴۰ به ۴۶,۲، ۴۱,۴۳، ۳۴,۵، ۴۷,۵، ۴۷,۲، ۴۶,۸، و ۳۲,۰۶ میلیون تن معادل دی اکسید کربن افزایش یابد. میانگین رشد انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت شرایط تغییر اقلیم افزایش یافته و بر خلاف سناریوی مرجع، تحت سناریوی مدیریت تقاضا، افزایش قیمت انرژی و سیاست گذاری یکپارچه کاهش می‌یابد.

1 Terawatt hour
2 Megawatt

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]



شکل ۶: انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مختلف

۳-۴ تجزیه و تحلیل هزینه‌های خارجی مرتبط با انتشار گازهای گلخانه‌ای

مجموع هزینه‌های زیست‌محیطی انتشارات جوی ناشی از احتراق سوخت ۲۴۲ میلیون دلار در سال پایه است. پیش‌بینی می‌شود که در سناریوهای مرجع، افزایش قیمت انرژی، مدیریت تقاضا، تغییر اقلیم شدید، متوسط و پایین و سیاست‌گذاری یکپارچه در سال ۲۰۴۰ به ۵۶۰٫۸، ۵۰۰٫۹، ۴۱۷٫۵، ۵۸۱٫۲۴، ۵۷۶٫۳، ۵۶۹٫۸ و ۴۳۴ میلیون دلار افزایش یابد.

۳-۵ تجزیه و تحلیل هزینه-فایده سناریوها و تحلیل حساسیت متغیرهای کلیدی

با استفاده از تحلیل هزینه و فایده، اهمیت هر سناریو با معیارهای خاصی در مقایسه با سناریوهای دیگر برای اولویت‌بندی راه حل‌های با حداقل هزینه اندازه‌گیری شد. کاهش کل گازهای گلخانه‌ای، شاخص ارزش خالص کنونی[1] (NPV) و هزینه‌های کاهش کربن ضروری‌ترین معیارها هستند. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، هزینه‌ها و منافع با سناریوهای مرجع مقایسه می‌شوند، اما در عین حال از سال پایه پولی (۲۰۱۵) کسر می‌شوند تا مقایسه صحیحی بین گزینه‌ها انجام شود. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، ارقام با علامت (+) نشان دهنده هزینه تحمیل شده بر سیستم انرژی با اجرای سناریوها و علامت (-) نشان دهنده مزایای حاصل از اجرای آن سناریو نسبت به سناریوی مرجع است. اگرچه مقدار ارزش خالص کنونی سناریوی افزایش قیمت انرژی بهتر از سایر سناریوها است، اما اجرای آن در شرایط اقتصادی ایران پیچیده و چالش برانگیز است. طبق قانون اصلاح مصرف انرژی، سناریوی مدیریت تقاضا باید در ایران اجرا شود و اجرای آن مستلزم سرمایه‌گذاری عظیم در سیستم انرژی

[1] Net Present Value

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

است. با تحقق این سناریو، ارزش خالص کنونی به ۲۳۲۷ میلیون دلار، هزینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ۲۴۴,۳۴ دلار در هر تن، معادل دی اکسید کربن و مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره اجرا به ۹۵,۵۹ میلیون تن معادل دی اکسید کربن خواهد رسید.

از آنجایی که سناریوهای تغییر اقلیم اجتناب ناپذیر هستند و هیچ کنترلی بر اجرای آنها وجود ندارد، این سناریوها هزینه‌های اضافی را بر سیستم انرژی تحمیل می‌کند. ارزش خالص کنونی در هر سه مورد مثبت است و بیش‌ترین مقدار مربوط به سناریوی تغییرات آب و هوایی زیاد است. سناریوی سیاستگذاری یکپارچه، چشم انداز ایده آل سیستم انرژی است. این نشان می‌دهد که انتظار می‌رود شاخص ارزش خالص کنونی ، هزینه کاهش کربن و مجموع انتشار گازهای گلخانه ای به ۲۲۲۸-، ۲۳,۸- میلیون دلار در هر تن معادل دی اکسید کربن و ۹۳,۶۲ میلیون تن معادل دی اکسید کربن در طول سناریو (۲۰۲۰-۲۰۴۰) برسد.

جدول ۴ : تحلیل هزینه-فایده طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۰ بر اساس سناریوهای مختلف

نرخ تنزیل ۵٪ تا سال ۲۰۱۶: بر اساس میلیون دلار آمریکا (۲۰۱۵)

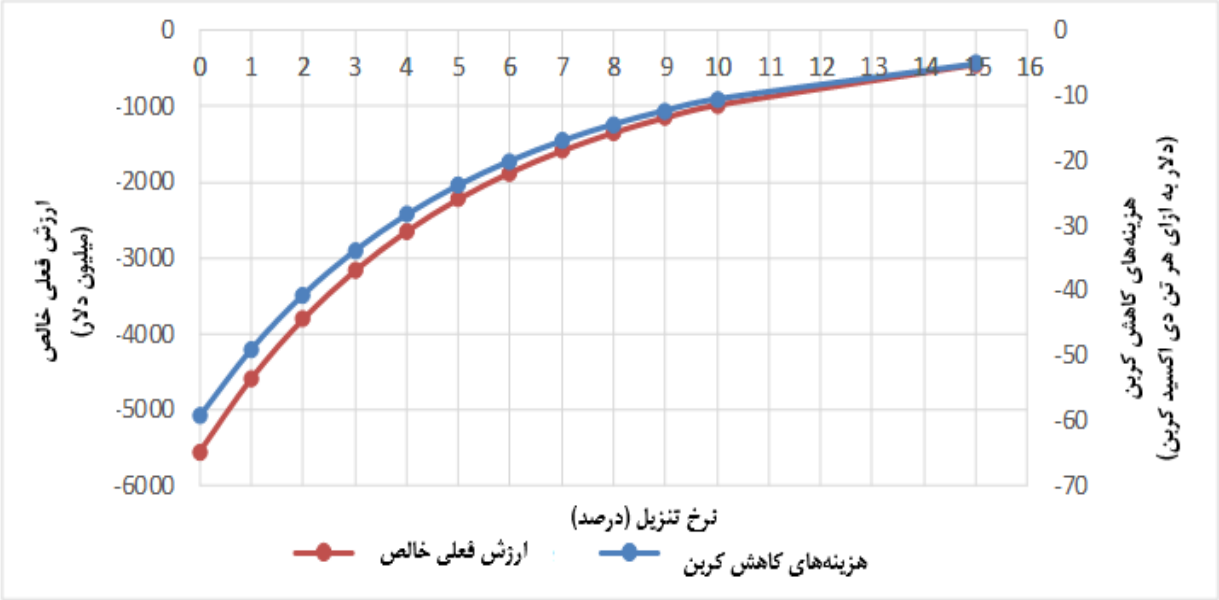
	افزایش قیمت انرژی	مدیریت سمت تقاضا	تاثیرات تغییر قلیمی 0.9 C	سیاست های یکپارچه	تاثیرات تغییر اقلیمی 1.2 C	تاثیرات تغییر اقلیمی 0.5 C
تقاضای کل	-	۳۶۴۷,۹۸	-	۳۶۴۷,۹۸	-	-
بخش مسکونی	-	۲۹۶۶,۶۹	-	۲۹۶۶,۶۹	-	-
بخش تجاری	-	۲۷۸,۹۴	-	۲۷۸,۹۴	-	-
بخش صنعت	-	۳۱۸,۲۸	-	۳۱۸,۲۸	-	-
بخش کشاورزی	-	۳۳,۷۳	-	۳۳,۷۳	-	-
روشنایی عمومی	-	۲۰,۳۴	-	۲۰,۳۴	-	-
انتقال انرژی	-۴۹۴,۹۱	-۷۰۵,۷۵	۲۷,۷۹	-۷۰۶,۹۲	۴۷,۹۱	۲۱,۱۴
تولید برق	-۴۹۴,۹۱	-۷۰۵,۷۵	۲۷,۷۹	-۷۰۶,۹۲	۴۷,۹۱	۲۱,۱۴
منابع	-۱۹۶۷,۰۴	-۴۷۹۸,۹	۱۳۰,۵۵	-۴۷۱۱,۰۷	۱۸۳,۳۳	۷۳,۰۷
تولید انرژی	-	-	-	-	-	-
واردات	-۱۹۶۷,۰۴	-۴۷۹۸,۹	۱۳۰,۵۵	-۴۷۱۱,۰۷	۱۸۳,۳۳	۷۳,۰۷
صادرات	-۰,۰۱	۰	۰	۰	۰	۰
هزینه های خارجی محیط زیستی	-۱۹۵,۴۶	-۴۷۰,۳۳	۱۷,۳۴	-۴۵۸,۴۴	۲۴,۵۸	۹,۶۹
ارزش کلی در زمان اکنون	-۲۶۵۷,۴۱	-۲۳۲۷۰,۲	۱۷۵,۶۸	-۲۲۲۸,۴۶	۲۵۵,۸۲	۱۰۳,۸۹
کاهش گازهای گلخانه ای(میلیون تن)	۳۸,۳۷	۹۵,۵۹	-۲,۹۴	۹۳,۶۲	-۴,۱۳	-۱,۶۶
هزینه کاهش گازهای گلخانه ای (دلار در هر تن معادل دی اکسید کربن)	-۶۹,۲۵	-۲۴,۳۴	-	-۲۳,۸	-	-

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، تغییرات نرخ بهره بر شاخص‌های اصلی سناریو تاثیر می‌گذارد به گونه‌ای که افزایش آن باعث کاهش منافع و کاهش آن باعث افزایش ماندگاری اقتصادی سناریو می‌شود. قابل توجه است که این محرک تأثیر کمتری بر نتایج در نرخ‌های بهره بالای ۸ درصد خواهد داشت [34].

اقتصاد ایران به شدت به یارانه انرژی وابسته است که تقاضای انرژی را تشدید می‌کند. یک مطالعه طولانی مدت برای پیش‌بینی تقاضای انرژی ایران تا سال ۲۰۳۰ انجام شده است. تقاضای نهایی انرژی ایران بر اساس سناریوی مرجع ؛ 2.8 درصد پیش‌بینی شد. هفتادمین بررسی آماری انرژی جهان نشان داد که رشد سالانه تقاضای انرژی ایران در طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۹، ۳,۴ درصد بوده است. در مطالعه حاضر این معیار برای حوضه دریاچه ارومیه ۹,۳ درصد پیش بینی شده است که با روندهای اخیر مطابقت دارد.



شکل ۷: تاثیر تغییرات نرخ بهره بر شاخص های اصلی سناریو

۴- نتیجه گیری

اهداف این مقاله ترسیم چشم انداز (آینده نگاری) پیوند سیستم انرژی با محیط زیست است و چهار سؤال اصلی تحقیق در این مطالعه به شرح زیر است:

- چه مقدار انرژی در حوضه ارومیه تحت سناریوهای مختلف تا سال ۲۰۴۰ مصرف خواهد شد؟
- چه مقدار گازهای گلخانه‌ای در حوضه ارومیه بر اساس مصرف انرژی تا سال ۲۰۴۰ منتشر خواهد شد؟
- کدام سناریوها برای مدیریت پیوند موثر هستند؟
- هزینه‌ها و مزایای اجرای سناریوهای مدیریت تقاضا، افزایش قیمت انرژی، تغییر اقلیم کم، متوسط، بالا و سیاست ذاری یکپارچه چیست؟

در تعقیب هدف تحقیق و برای پاسخ به سؤالات فوق‌الذکر، یک مدل پیوندی جامع کمی بر اساس سناریوهای مختلف تحت محرک‌های اجتماعی- اقتصادی با در نظر گرفتن بخش‌های مسکونی، کشاورزی، صنعت، تجاری و عمومی ارائه شده است. چشم انداز عرضه و تقاضای انرژی، انتشار گازهای گلخانه ای مرتبط و هزینه‌های مرتبط برای هر سناریو مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که کل صرفه‌جویی انرژی تحت سناریوهای افزایش قیمت انرژی،

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

مدیریت تقاضا و سیاستگذاری یکپارچه در سال ۲۰۴۰ به ۱۰,۵۵، ۲۷,۷۶ و ۳۳,۵ میلیون بشکه معادل نفت خام خواهد رسید. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل هزینه-فایده برای هر سناریو به منظور اولویت‌بندی اقتصادی مسیرها نیز انجام شده است. ارزش خالص کنونی می‌تواند به ۲۶۵۷,۴، ۲۳۲۷,۰۲- و۲۲۲۸,۴- میلیون دلار تحت سناریوهای افزایش قیمت انرژی، مدیریت سمت تقاضا و سیاستگذاری یکپارچه برسد. اگر نرخ بهره کمتر از ۸٪ باقی بماند، تجزیه و تحلیل هزینه-فایده برای سناریوی سیاستگذاری یکپارچه نشان دهنده ارزش خالص کنونی بیشتر است و این سناریو بیش از سناریوهای دیگر منجر به کاهش مصرف انرژی و گازهای گلخانه ای خواهد شد. از آنجاییکه اقتصاد ایران به یارانه‌های انرژی قابل توجهی وابسته است، اجرای افزایش قیمت انرژی چالش برانگیزترین سناریو بوده و اجتناب ناپذیر است. تحلیل حساسیت کل تقاضای انرژی به تغییرات اجتماعی و اقتصادی نیز بیانگر افزایش میانگین ۳ و ۲ درصد به ازای هر واحد افزایش جمعیت و تولید ناخالص داخلی است.

۵- فهرست علائم

علائم انگلیسی	
تقاضای انرژی نهایی، میلیون بشکه معادل نفت خام	D
فعالیت کل	TA
شدت انرژی	EI
شاخه فناوری	b
سناریو	s
زمان، سال	t
تقاضای حامل انرژی، گیگا ژول	E
ضریب ثابت تقاضای انرژی	A
قیمت انرژی، دلار به ازای هر گیگا ژول	P
نوع حامل انرژی	i
بخش تقاضای انرژی	j
زمان، سال	t
ارزش خالص کنونی	NPV
تولید ناخالص ملی	GDP

مراجع

[1] OECD, Food, and A. O. of the United Nations, *OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027*. 2018.

[2] S. M. Mahdavian, N. Tafarojnooroz, and A. Akbari, "Globalization and its Effect on the Environment: A Case Study of Iran in the Presence of Structural Breaks," *Iran. Econ. Rev.*, vol. 26, no. 2, pp. 289–310, 2022, doi: 10.22059/ier.2022.88165.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

[3] M. Meinshausen *et al.*, "Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 degrees C.," *Nature*, vol. 458, no. 7242, pp. 1158–1162, Apr. 2009, doi: 10.1038/nature08017.

[4] N. S. Ouedraogo, "Modeling sustainable long-term electricity supply-demand in Africa," *Appl. Energy*, vol. 190, pp. 1047–1067, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.162.

[5] A. Azhoni, S. Jude, and I. Holman, "Adapting to climate change by water management organisations: Enablers and barriers," *J. Hydrol.*, vol. 559, pp. 736–748, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.047.

[6] W. Duan, Y. Chen, S. Zou, and D. Nover, "Managing the water-climate- food nexus for sustainable development in Turkmenistan," *J. Clean. Prod.*, vol. 220, pp. 212–224, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.040.

[7] A. R. Kalair, N. Abas, Q. Ul Hasan, E. Kalair, A. Kalair, and N. Khan, "Water, energy and food nexus of Indus Water Treaty: Water governance," *Water-Energy Nexus*, vol. 2, no. 1, pp. 10–24, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.wen.2019.04.001.

[8] X. Zhang and V. V Vesselinov, "Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus," *Adv. Water Resour.*, vol. 101, pp. 1–10, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.12.017.

[9] C. Zhang, X. Chen, Y. Li, W. Ding, and G. Fu, "Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies," *J. Clean. Prod.*, vol. 195, pp. 625–639, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194.

[10] B. Gjorgiev and G. Sansavini, "Water-energy nexus: Impact on electrical energy conversion and mitigation by smart water resources management," *Energy Convers. Manag.*, vol. 148, pp. 1114–1126, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.053.

[11] J. D. Hunt, E. Byers, K. Riahi, and S. Langan, "Comparison between seasonal pumped-storage and conventional reservoir dams from the water, energy and land nexus perspective," *Energy Convers. Manag.*, vol. 166, pp. 385–401, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.044.

[12] F. Calise, F. L. Cappiello, M. Vicidomini, and F. Petrakopoulou-Robinson, "Water-energy nexus: A thermoeconomic analysis of polygeneration systems for small Mediterranean islands," *Energy Convers. Manag.*, vol. 220, p. 113043, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113043.

[13] A. A. Shayesteh, O. Koohshekan, A. Ghasemi, M. Nemati, and H. Mokhtari, "Determination of the ORC-RO system optimum parameters based on 4E analysis; Water–Energy-Environment nexus," *Energy Convers. Manag.*, vol. 183, pp. 772–790, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.119.

[14] J.-L. Fan, L.-S. Kong, X. Zhang, and J.-D. Wang, "Energy-water nexus embodied in the supply chain of China: Direct and indirect perspectives," *Energy Convers. Manag.*, vol. 183, pp. 126–136, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.095.

[15] M. S. Abbasian, M. R. Najafi, and A. Abrishamchi, "Increasing risk of meteorological drought in the Lake Urmia basin under climate change: Introducing the precipitation–temperature deciles index," *J. Hydrol.*, vol. 592, p. 125586, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125586.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

[16] A. H. Dehghanipour, G. Schoups, B. Zahabiyoun, and H. Babazadeh, "Meeting agricultural and environmental water demand in endorheic irrigated river basins: A simulation-optimization approach applied to the Urmia Lake basin in Iran," *Agric. Water Manag.*, vol. 241, p. 106353, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106353.

[17] X. Xiang and S. Jia, "China's water-energy nexus: Assessment of water-related energy use," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 144, pp. 32–38, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.009.

[18] A. H. Delju, A. Ceylan, E. Piguet, and M. Rebetez, "Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 111, no. 1, pp. 285–296, 2013, doi: 10.1007/s00704-012-0651-9.

[۱۹] ح. مهسافر, ر. مکنون ,و ب. ثقفیان, "اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه,"*تحقیقات منابع آب ایران*، تهران، ایران

[20] S. Ben Amer, "Scenario Modelling as a Tool for Planning Sustainable Urban Energy Systems," *Pap. Present. Urban Futur. Circles Eur. China World 2050 , Lisbon, Port.*, pp. 1–19, 2014, [Online]. Available: http://www.ufsc2050.ics.ul.pt/.

[21] C. W. J. Bogmans, G. P. J. Dijkema, and M. T. H. van Vliet, "Adaptation of thermal power plants: The (ir)relevance of climate (change) information," *Energy Econ.*, vol. 62, pp. 1–18, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.11.012.

[22] S. Ghafoori Kharanagh, M. E. Banihabib, and S. Javadi, "An MCDM-based social network analysis of water governance to determine actors' power in water-food-energy nexus," *J. Hydrol.*, vol. 581, p. 124382, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124382.

[23] D. Liu *et al.*, "Optimisation of water-energy nexus based on its diagram in cascade reservoir system," *J. Hydrol.*, vol. 569, pp. 347–358, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.010.

[24] V. Aryanpur, M. S. Atabaki, M. Marzband, P. Siano, and K. Ghayoumi, "An overview of energy planning in Iran and transition pathways towards sustainable electricity supply sector," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 112, pp. 58–74, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.047.

[25] X. S. Musonye, B. Davíðsdóttir, R. Kristjánsson, E. I. Ásgeirsson, and H. Stefánsson, "Integrated energy systems' modeling studies for sub-Saharan Africa: A scoping review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 128, p. 109915, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109915.

[26] D. Yates and K. A. Miller, "Climate Change: Impacts and Responses," *Int. J. Clim. Chang. Impacts Responses*, vol. 4, no. 1, pp. 49–63, 2013, [Online]. Available: http://ijc.cgpublisher.com/product/pub.185/prod.179/m.2/fid=1416455/C12_39905_IntegratedDecisionSupportforEnergyWaterPlanninginCaliforniaandtheSouthwest_final.pdf.

[27] H. Hoff, "Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011 Nexus Conference:," in *Stockholm Environment Institute*, 2011, no. November, pp. 1–52.

[28] M. H. Saray and A. T. Haghighi, "Energy analysis in Water-Energy-Food-Carbon Nexus," *Energy Nexus*, p. 100223, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100223.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

[29] P. Zhang *et al.*, "Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 142, pp. 215–224, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.018.

[30] M. Vahabzadeh, A. Afshar, A. Molajou, K. Parnoon, and S. M. Ashrafi, "A comprehensive energy simulation model for energy-water-food nexus system analysis: A case study of the great Karun water resources system," *J. Clean. Prod.*, p. 137977, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137977.

[31] N. Norouzi, "Presenting a conceptual model of water-energy-food nexus in Iran," *Curr. Res. Environ. Sustain.*, vol. 4, p. 100119, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100119.

[32] C. J. F. Torres *et al.*, "A literature review to propose a systematic procedure to develop 'nexus thinking' considering thewater-energy-food nexus," *Sustain.*, vol. 11, no. 24, pp. 1–32, 2019, doi: 10.3390/SU11247205.

[33] IPCC, "AR5 Synthesis Report - Climate Change 2014," 2014.

[34] A. Rahil, R. Gammon, N. Brown, J. Udie, and M. U. Mazhar, "Potential economic benefits of carbon dioxide (CO2) reduction due to renewable energy and electrolytic hydrogen fuel deployment under current and long term forecasting of the Social Carbon Cost (SCC)," *Energy Reports*, vol. 5, pp. 602–618, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.05.003.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]

چکیده انگلیسی:

Foresighting energy and environment Nexus based on modeling and scenario design (Case study: Lake Urmia catchment area)

Masoud Moadel[1], Majid Omidpour[2], Zahra Abedi[3], Alireza Kani[4]

1,3,4- Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2*- Department of Energy Systems Engineering, K.N. Toosi University, Tehran, Iran

Received: April 2023, Accepted: October 2023

Abstract

In this article, a new framework has been developed based on the modeling of the energy system and related greenhouse gas emissions, which aims to predict and provide a perspective of energy and environment correlation for economic sub-sectors under possible scenarios. Nexus modeling has been done by the bottom-up method using the Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) software from 2016 to 2040. Demographic and economic data of Urmia watershed, which is one of the drivers of energy demand, was collected and used as a case study. The results based on the analysis of energy and greenhouse gas emissions under different scenarios have shown that the greatest potential for energy saving and emissions reduction is 27.76 million barrels of crude oil equivalent and 11.3 million tons of carbon dioxide equivalent respectively under the scenario of integrated policies. Analysis of the sensitivity of the total energy demand to social and economic changes shows an average increase of 3 and 2 percent per unit of increase in population and GDP. A cost-benefit analysis for productive measures under the mentioned scenario results in the maximum net present value if the interest rate remains below 8%.

Key words: energy system modeling - energy and environment correlation - energy efficiency - climate change - cost benefit analysis.

*corresponding author: **amidpour@kntu.ac.ir**

Cite this article as: Masoud Moadel, Majid Omidpour, Zahra Abedi, Alireza Kani, Foresighting energy and environment Nexus based on modeling and scenario design (Case study: Lake Urmia catchment area). Journal of Energy Conversion, 2023, 10(3), 19-36. DOR**:** **20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.3.1.3]