Original article

Assessing Impact of Development Scenarios on the Social Cost of Energy Consumption in Industry in Isfahan Province using a System Dynamics Approach

Hossein Abolghasemzadeh[1]
Elnaz Zekri[2]
Banafsheh Zahraie[3]
Mohsen Nasseri[4*]

1. Graduate Student, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
2. PhD Candidate, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Associate Prof., School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
4. Associate Prof., School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

***Corresponding author:** Mohsen Nasseri, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: mnasseri@ut.ac.ir

Received: 17 September 2023
Accepted: 14 November 2023

ABSTRACT

Introduction and purpose: Greenhouse gas emissions and air pollutants are major challenges facing humanity today, mainly due to the consumption of energy sources. Industry makes an important contribution to the development of a country, but also contributes to increased energy consumption, which is unavoidable. To address this issue, the use of energy and emissions modeling can be very helpful in understanding the processes involved in reducing energy consumption, identifying emissions patterns and assessing the social costs associated with these emissions.

Methods: In this study, a systemic dynamics model was developed to calculate greenhouse gas emissions and air pollutants in the industrial sector of Isfahan province. The model considers industrial energy consumption for the years 2011-2020 and estimates the social costs associated with these emissions. Various development scenarios were applied to the model and the reduction in social costs was calculated.

Results: The social costs associated with greenhouse gas emissions and air pollutants were between 2.58 and 3.79 million dollars (based on 2002 USD). The highest social costs occurred in 2012and the lowest in 2014. Carbon dioxide was found to be the largest contributor to these social costs.

Conclusion: Mazut fuel and the resulting greenhouse gas emissions are the main contributors to social costs in the study area, and industry and power plants are known to be the main consumers of this fuel. Therefore, the scenario in which mazut fuel is banned from industry has the greatest impact on reducing social costs. Furthermore, despite the higher efficiency of combined cycle power plants compared to gas-fired power plants, the scenario of converting gas-fired power plants into combined cycle power plants is recognized as the last proposed scenario to reduce social costs.

Keywords: Energy, Greenhouse Gases (GHGs), Regional development, System dynamics, Social costs

▶ **Citation:** Abolghasemzadeh H, Zekri E, Zahraie B, Nasseri M. Assessing Impact of Development Scenarios on the Social Cost of Energy Consumption in Industry in Isfahan Province using a System Dynamics Approach. Journal of Health Research in Community. Winter 2023;9(4): 95-110.

Copyright© 2023, Published by Mazandaran University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY) License (http://creativecommons.org/) which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

مقاله پژوهشی

ارزیابی تأثیر سناریوهای توسعه بر هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف انرژی صنایع استان اصفهان با رویکرد پویایی‌های سیستم

حسین ابوالقاسم‌زاده[1]
الناز ذکری[2]
بنفشه زهرایی[3]
محسن ناصری[4*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گرایش مهندسی محیط‌زیست، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری، گرایش مهندسی محیط‌زیست، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. دانشیار دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴. دانشیار دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: محسن ناصری، دانشیار دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

Email: mnasseri@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳

چکیده

مقدمه و هدف: امروزه، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا از جمله چالش‌های مهم بشر محسوب می‌شوند. یکی از علت‌های اصلی این انتشار مصرف حامل‌های انرژی است. صنایع در توسعه‌ی کشورها نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند و همین موضوع باعث افزایش مصرف حامل‌های انرژی توسط صنایع می‌شود؛ بنابراین، مدل‌سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای مذکور می‌تواند به‌طور دخور توجهی در شناخت روندهای کاهش مصرف انرژی، الگوی انتشار و هزینه‌های اجتماعی مرتبط با آن‌ها به ما کمک کند.

روش کار: در این مطالعه، مدلی با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم به‌منظور محاسبه‌ی گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا در بخش صنعت استان اصفهان تولید شده است. در این مدل، میزان مصرف انرژی صنایع در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ و هزینه‌های اجتماعی ناشی از این انتشارات محاسبه می‌شوند. سپس، سناریوهای توسعه در این مدل اعمال و میزان کاهش هزینه‌های اجتماعی محاسبه می‌شود.

یافته‌ها: هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا بین ۲/۵۸ تا ۳/۷۹ میلیون دلار بر مبنای دلار امریکا در سال ۱۳۸۱ بوده است. بیشترین هزینه‌های اجتماعی در سال ۱۳۹۲ و کمترین آن در سال ۱۳۹۴ ثبت شده است. همچنین، دی‌اکسیدکربن بیشترین سهم را در هزینه‌های اجتماعی دارد.

نتیجه‌گیری: سوخت مازوت و انتشار گاز گلخانه‌ای ناشی از آن علت اصلی ایجاد هزینه‌های اجتماعی در منطقه‌ی مدنظر است و صنایع و نیروگاه‌ها مصرف‌کننده‌های اصلی این سوخت هستند؛ در نتیجه، سناریو حذف سوخت مازوت از صنایع بیشترین تأثیر را در کاهش هزینه‌های اجتماعی دارد. همچنین، علی‌رغم کارایی بیشتر نیروگاه‌های سیکل ترکیبی نسبت به نیروگاه‌های گازی، سناریو تبدیل نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی آخرین سناریو پیشنهادی برای کاهش هزینه‌های اجتماعی است.

کلمات کلیدی: انرژی، گازهای گلخانه‌ای، توسعه‌ی منطقه، پویایی‌های سیستم، هزینه‌های اجتماعی

◄ استناد: ابوالقاسم زاده، حسین؛ ذکری، الناز؛ زهرایی، بنفشه؛ ناصری، محسن. ارزیابی تأثیر سناریوهای توسعه بر هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف انرژی صنایع استان اصفهان با رویکرد پویایی‌های سیستم. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۴۰۲؛۹(۴): ۱۱۰-۹۵.

مقدمه

انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا به یکی از معضلات جدی و پیچیده‌ی بشر تبدیل شده است. این انتشارات

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

ناشی از فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه مصرف سوخت‌های فسیلی است و به تخریب محیط‌زیست، بروز و تشدید بیماری‌های قلبی و تنفسی، افزایش ابتلا به آسم و در نهایت، افزایش مرگ‌ومیر منجر می‌شود [۱،۲]. طبق گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۶، میزان خسارت واردشده توسط آلودگی هوا در ایران، در حدود ۳۰ میلیارد دلار برآورد شده که این رقم معادل ۲/۴۸ درصد کل تولید ناخالص داخل کشور است [۳]. انرژی پیشران اصلی توسعه در ایران است و نقشی اساسی در افزایش تولید صنعتی در بخش اقتصادی و اجتماعی ایفا می‌کند؛ اما به‌دلیل درک نادرست سیاست‌گذاران از تأثیر مصرف انرژی بر مشکلات محیط‌زیستی، هدف بیشتر تصمیمات مدیریتی رسیدن به موفقیت‌های اقتصادی و افزایش درآمد است و جنبه‌های محیط‌زیستی در این برنامه‌ها لحاظ نمی‌شود. بر اساس آمار حاضر، با افزایش جمعیت و شهرنشینی، تقاضای انرژی در کشور ایران رو به افزایش است و به‌دلیل نقش‌آفرینی سوخت‌های فسیلی در قالب اصلی‌ترین منبع عرضه‌ی انرژی در کشور، امکان بروز پیچیدگی‌هایی میان تقاضا و عرضه‌ی انرژی و همچنین، اهداف اقتصادی و مسائل محیط‌زیستی اجتناب‌ناپذیر است. در نتیجه، وجود روش مؤثر برنامه‌ریزی عرضه و تقاضا با در نظر گرفتن مسائل محیط‌زیستی امری ضروری است [۴،۵]. پویایی‌های سیستم (System dynamics) روشی مناسب به‌منظور ارزیابی بلندمدت سیاست‌ها با شاخص‌های متنوع در مقیاس بزرگ است که در آن، روابط بین متغیرها با حلقه‌های علی و معلولی نمایش داده می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به سادگی و توانایی آن در بررسی عملکرد مدل از منظرهای گوناگون و بر اساس تفکر سیستمی اشاره کرد [۶].

مرور متون مرتبط روشن می‌کند که تأثیر افزایش تولید ناخالص داخلی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارای دو مرحله است. در مرحله‌ی اول، با افزایش تولید ناخالص داخلی، انتشار دی‌اکسیدکربن نیز افزایش می‌یابد؛ اما از نقطه‌ای به بعد، با افزایش تولید ناخالص داخلی، انتشار کاهش می‌یابد [۷]. تولید برق پاک نقشی بسیار کلیدی در کاهش انتشار ایفا می‌کند و همچنین، تأثیر مثبتی بر اقتصاد تحت محدودیت‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گذارد [۸]. طبق مطالعه‌ای از کلی و همکاران (۲۰۱۹)، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر با اعمال سیاستی مناسب و متعادل، می‌تواند در امریکا تا سال ۲۰۵۰، سهم انرژی تجدیدپذیر را به ۴۰ درصد افزایش و ۱۷ درصد از انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش دهد [۹]. سیاست‌های کاهش انتشار، از جمله استفاده از انرژی‌های پاک، بسیار حائز اهمیت هستند. اگر روند کنونی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ادامه یابد، میانگین قیمت تولید انرژی ۵۰ درصد و میانگین دمای جهان ۲/۴ تا ۲/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰، افزایش خواهد یافت [۱۰،۱۱]. ونگ و همکاران (۲۰۱۶) به تجزیه‌وتحلیل رابطه‌ی میان انتشار دی‌اکسیدکربن، رشد اقتصادی و مصرف انرژی در کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد که کشور چین برای رشد سریع اقتصادی خود نیازمند استفاده از انرژی‌های کربنی است و همین عاملی برای افزایش قابل ملاحظه‌ی دی‌اکسیدکربن است [۱۲]. یکی دیگر از روش‌های مهم و کم‌هزینه‌ی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مدیریت تقاضای برق و سوخت است. اشراقی و فاکهی (۱۳۹۴) اعلام کردند که در صورت کاهش ۵ درصدی مصرف برق در ساعات پرمصرف تا سال ۲۰۳۵، بیش از ۳۰۰ میلیون دلار در کشور صرفه‌جویی می‌شود [۱۳]. آلودگی هوا به افزایش هزینه‌های سلامت خصوصی و عمومی منجر می‌شود. تأثیر آلودگی هوا بر هزینه‌های سلامت عمومی بیشتر از سلامت خصوصی است و افزایش نرخ شهرنشینی این تأثیر را تشدید می‌کند [۱۴]. مطالعه‌ای در کشور کره‌ی جنوبی نشان داد که با افزایش هریک از گازهای PM_{10}، O_3 و NO_2 به‌صورت مجزا، هزینه‌های سلامت افزایش می‌یابد [۱۵]. نوع آلاینده نقش مهمی در تعیین هزینه‌های اجتماعی دارد. به‌عنوان مثال، در کلان‌شهر تهران، آلاینده‌ی $PM_{2.5}$ با مقدار ۱،۶۱۶،۱۸۷ دلار به‌ازای هر تن، دارای بیشترین هزینه‌ی اجتماعی است؛ بااین‌حال، این آلاینده کمترین

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

سهم انتشار را نسبت به سایر آلاینده‌ها دارد. همچنین، آلاینده‌ی CO با وجود انتشار چشمگیر، کمترین هزینه‌ی اجتماعی را (مقدار تقریبی ۶۶/۳ دلار به‌ازای هر تن) نسبت به سایر آلاینده‌ها دارد [۱۶]. علاوه بر این، متغیرهای محیط‌زیستی مانند $PM_{2.5}$ و دما، به افزایش هزینه‌های سلامت در کشورهای درحال‌توسعه منجر می‌شوند. کشورهای پُردرآمد تأثیرپذیری بیشتری از متغیرهای محیط‌زیست نسبت به کشورهای کم‌درآمد دارند [۱۷]. همچنین، تأثیر آلودگی هوا بر سلامت انسان‌ها ناهمگون است و مردان و ساکنان مناطق شهری بیشتر در معرض خطر ابتلا به بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا قرار می‌گیرند [۱۸].

طبق ترازنامه‌ی انرژی کشور، بخش صنعت استان اصفهان بیشترین مصرف برق را در میان استان‌های دیگر کشور در سال ۱۳۹۷ داشته است [۱۹]. ازاین‌رو، هدف این مطالعه محاسبه‌ی هزینه‌های اجتماعی واردشده از مصرف انرژی صنایع استان اصفهان و ارزیابی تأثیر سیاست‌های مختلف بر کاهش این هزینه‌ها به‌منظور درک بهتر سیاست‌گذاران برای اعمال سیاست‌های توسعه است. در این تحقیق، مدل مفهومی پویای انرژی-محیط‌زیست برای بخش صنعت استان اصفهان توسعه یافته است. با استفاده از این مدل، میزان مصرف انرژی و انتشار حاصل از آن در طی سال‌های ۹۰ تا ۹۹، با رویکرد پویایی‌های سیستم محاسبه شده است. در انتها، هزینه‌های اجتماعی ناشی از گازهای گلخانه‌ای CO_2، CH_4، N_2O و آلاینده‌های NO_x ، SO_x، CO و $PM_{2.5}$ بررسی شده است.

روش کار

منطقه‌ی مطالعاتی

استان اصفهان با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۴۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۹ دقیقه‌ی طول شرقی در مرکز ایران‌زمین واقع است. این استان با مرکزیت شهر اصفهان، ششمین استان پهناور و سومین استان پرجمعیت است و رتبه‌ی اول شهرنشینی کشور ایران را داراست و شهرهای مهم آن اصفهان، کاشان، گلپایگان و نجف‌آباد است. این استان با مساحتی حدود ۱۰۶،۷۸۶ کیلومترمربع از شمال به استان‌های قم و سمنان، از جنوب به استان‌های فارس و کهگیلویه و بویر احمد، از غرب به استان‌های مرکزی، لرستان و چهارمحال بختیاری و از شرق به استان‌های یزد و خراسان جنوبی محدود است [۲۰]. از مشخصات بارز آب‌وهوایی استان اصفهان می‌توان به بارش کم آن (متوسط کمتر از ۱۲۲/۷ میلی‌متر) و بادهای تند آن اشاره کرد. استان اصفهان به‌دلیل داشتن شهرک‌های صنعتی بسیار، کارخانه‌های فولاد، سیمان و...، یکی از مناطق مهم صنعتی در ایران به شمار می‌رود. ماشین‌های صنعتی سنگین زیادی در اصفهان انرژی‌هایی نظیر گازوئیل، بنزین و گاز طبیعی مصرف می‌کنند که همین امر باعث بروز آلودگی در این استان می‌شود. همچنین، یکی از نیروگاه‌های بزرگ برق ایران، نیروگاه منتظری، با تولید برق بیش از ۱۰/۷۳۵ گیگاوات‌ساعت در این استان واقع شده است [۲۱]. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان اصفهان را نشان می‌دهد.

منابع و جمع‌آوری داده‌ها

برای به دست آوردن مقدار برق مصرفی و فراورده‌های

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان اصفهان

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

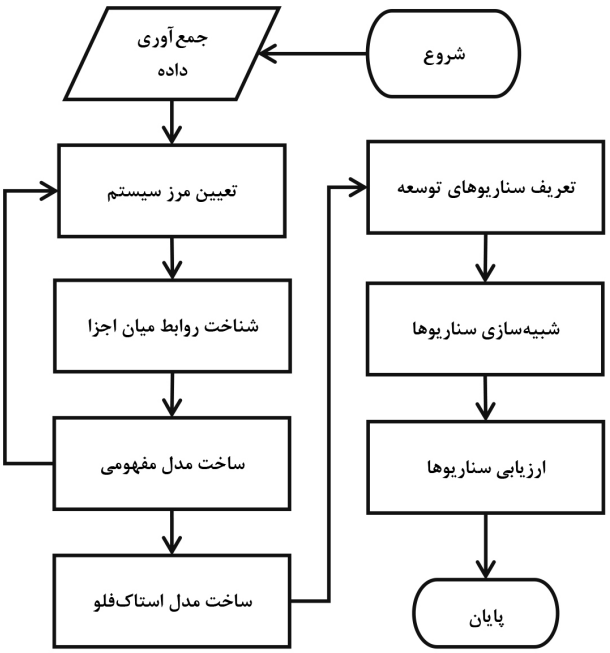
[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

نفتی و گاز طبیعی مصرف‌شده در بخش صنعت، میزان مصرف سوخت نیروگاه‌ها و همچنین، اطلاعات پالایشگاه در این تحقیق، از گزارش‌های سالانه‌ی وزارت نیرو و وزارت نفت به نام‌های ترازنامه‌ی انرژی و ترازنامه‌ی هیدروکربوری استفاده شده است. برای جمع‌آوری اطلاعات در خصوص میزان برق تولیدی در هر نیروگاه و سهم تولید آن و همچنین، ارزش افزوده، از گزارش‌های سالنامه‌ی آماری استان اصفهان استفاده شده است [۲۲،۲۳]. برای جمع‌آوری اطلاعات در خصوص ضرایب انتشار برای گازهای گلخانه‌ای از ضرایب انتشار IPCC و برای ضرایب انتشار آلاینده‌های هوا از گزارش آژانس محیط‌زیست اروپا (EEA) استفاده شده است [۲۴،۲۵].

روش تحقیق

پویایی‌های سیستم به‌منظور شناخت بهتر روابط میان اجزای سیستم به کار می‌رود و نوعی رویکرد تفکر سیستمی است که در آن، اجزای مختلف سیستم تحت عنوان متغیرهای حالت، نرخ و کمکی با یکدیگر بازخورد دارند. همچنین، پویایی‌های سیستم با تفکر سیستمی همسو است و توانایی دیدن جهان به‌عنوان سیستمی پیچیده و به‌هم‌پیوسته را دارد. در این تحقیق، از بستر نرم‌افزار ونسیم (vensim) به‌منظور مدل‌سازی پویایی‌های سیستم استفاده شده است. طبق تعریف ارائه‌شده توسط ونتانا (Ventana) در نسخه‌ی متنی راهنمای کاربران این نرم‌افزار، ونسیم ابزار مدل‌سازی پویا برای شبیه‌سازی و تحلیل مدل‌های پویایی سیستم است. این ابزار از مدل‌های ذخیره و جریان و حلقه‌های علت و معلولی برای ساخت مدل استفاده می‌کند. متغیرهای مختلف در این نرم‌افزار را کاربران به سه صورت متغیرهای حالت، نرخ و کمکی معرفی کرده‌اند. این متغیرها به‌وسیله‌ی کمان‌هایی درون نرم‌افزار با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و معادلات آن‌ها را کاربر به مدل وارد می‌کند [۲۶]. تمامی مراحل انجام این تحقیق در شکل ۲ به‌صورت کلی نشان داده شده است.

در ابتدا، مدلی مفهومی با هدف مطالعه‌ی حاضر ساخته شده است. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی مدل مفهومی ساخته‌شده برای منطقه‌ی مدنظر است. در ساخت مدل مفهومی و در گام اول، مرز سیستم مشخص می‌شود. در رویکرد پویایی‌های سیستم، مرز سیستم به مطالعه‌ی مدنظر بسیار وابسته است. اجزایی که درون مرز قرار دارند، می‌توانند بر یکدیگر اثرگذار باشند؛ اما اجزای خارج از مرز تنها اثر یک‌طرفه دارند. به عبارت دیگر، جزء درونی مرز نمی‌تواند بر جزء خارج از مرز اثر بگذارد؛ اما خلاف این امر امکان‌پذیر است و اجزای خارج از مرز سیستم بر اجزای درون مرز سیستم اثرگذاری یک‌طرفه دارند. با توجه به شکل ۳، مشخص است که توسعه‌ی کشور خارجی به‌عنوان عضوی خارج از مرز و شناخته‌شده، به‌صورت مستقیم، بر تولید صنعتی اثر می‌گذارد. برای توسعه‌ی مدلی مفهومی در گام بعد، باید آنچه قرار است مطالعه کنیم، واکاوی شود و بعد از جمع‌آوری اطلاعات، با توجه به نوع و دسترسی آن‌ها، ساختار مناسب مدل مفهومی ساخته شود. در



شکل ۲: مراحل انجام کار

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

گام بعد و پس از جمع‌آوری داده‌ها و مشخص شدن روابط بین اجزا، ساخت مدل استاک‌فلو (Stock-flow) تکمیل می‌شود. در این مرحله، با توجه به اطلاعات جمع‌آوری‌شده، میزان فراورده‌های نفتی مصرفی، میزان نفت خام پالایش‌شده‌ی لازم و گاز طبیعی مصرفی صنایع به مدل وارد می‌شود و انتشارهای مربوط محاسبه می‌شوند.

$$E_{g,f}= Q_f \times LHV_f \times EF_{f,g} \quad (۱)$$

در رابطه‌ی فوق، $E_{g,f}$ گاز گلخانه‌ای منتشرشده، Q_f حجم سوخت مصرفی، LHV_f ارزش حرارتی خالص سوخت مصرفی f و $Ef_{f,g}$ ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای g ناشی از مصرف سوخت f است [۲۴،۲۵].

سپس، میزان برق مصرفی و گاز طبیعی پالایشگاه اصفهان (به‌عنوان یکی از صنایع مهم انرژی در مرز منطقه‌ی بررسی‌شده) محاسبه می‌شود و با توجه به سهم هر نیروگاه در تولید برق استان اصفهان، میزان برق تولیدی هر نیروگاه، سوخت مصرفی هر نیروگاه و در نهایت، انتشار حاصل از این سوخت‌ها محاسبه می‌شوند که این انتشار را انتشار غیرمستقیم صنایع می‌نامند. البته، باید به این موضوع توجه کرد که صنایع بزرگ فولاد و ذوب‌آهن که صنایع بزرگ هستند، خود نیروگاه دارند و بخش مهمی از برق مصرفی خود را تولید می‌کنند. انتشار حاصل از نیروگاه‌های صنایع بزرگ را انتشار مستقیم صنایع می‌نامند. همچنین، گاز طبیعی و فراورده‌های نفتی استفاده‌شده برای تولید برق نیروگاه‌های صنایع بزرگ نیز جزء مصارف صنایع حساب می‌شوند.

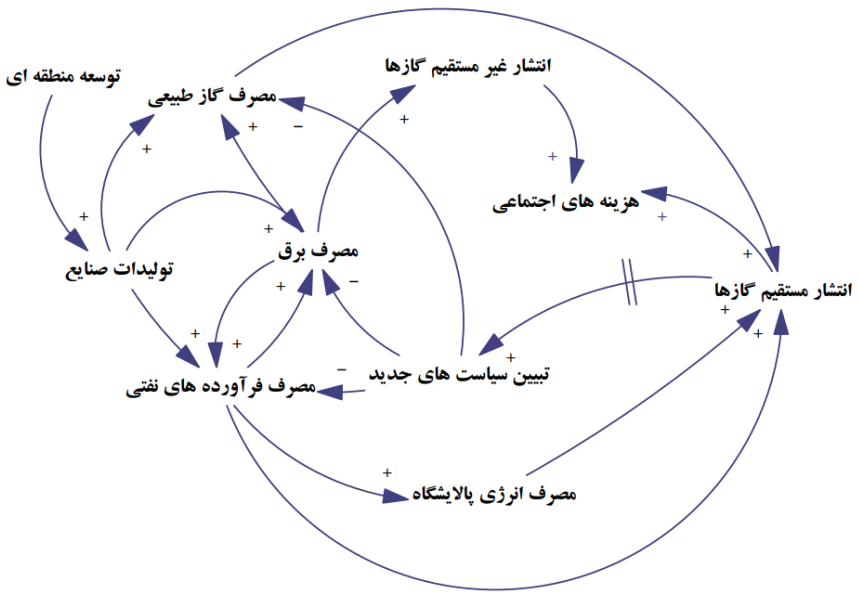
$$E_r=ER \times CI \quad (۲)$$

در رابطه‌ی ۲، E_r، ER و CI به‌ترتیب، برق مصرفی پالایشگاه به‌ازای پالایش هر مترمکعب نفت خام، ضریب برق مصرفی پالایشگاه و نفت خام ورودی است [۲۲].

$$NG=NG_c \times CI \quad (۳)$$

در رابطه‌ی ۳، NG و NG_c به‌ترتیب، گاز طبیعی مصرفی پالایشگاه و ضریب مصرف گاز طبیعی به‌ازای پالایش هر مترمکعب نفت خام است [۲۲].

$$ECP=TE \times P_{sh} \times EP_c \quad (۴)$$



شکل ۳: مدل مفهومی پویایی سیستم توسعه‌داده‌شده

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

در رابطه‌ی ۴، ECP نمایانگر سوخت مصرفی هر نیروگاه و TE، P_{sh} و EP_c به‌ترتیب، معرف برق کل مصرفی، سهم هر نیروگاه و ضریب سوخت مصرفی هر نیروگاه به‌ازای تولید ۱ مگاوات‌ساعت برق است [۲۷].

همان‌طور که در قسمت قبل گفته شد، برای محاسبه‌ی میزان آلاینده‌های هوا از ضرایب انتشار آلاینده‌ی آژانس محیط‌زیست اروپا استفاده شده است. برای محاسبه‌ی میزان انتشار آلاینده‌ها، مثل انتشار گاز گلخانه‌ای، از روش ضرایب انتشار (رابطه‌ی ۱) استفاده شده است. در مرحله‌ی بعد، با استفاده از میزان گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های انتشاریافته، میزان هزینه‌های اجتماعی واردشده به منطقه توسط انتشار این گازها محاسبه شده است. به‌منظور محاسبه‌ی میزان هزینه‌های اجتماعی از ضرایب بین‌المللی اعلامی در گزارش ترازنامه‌ی انرژی ایران (۱۳۹۱) استفاده شده است. این ضرایب بر مبنای ارزش پولی سال ۱۳۸۱ محاسبه شده و در نهایت، با استفاده از ارزش ریالی دلار امریکا در سال ۱۳۸۱ که برابر با ۸۰۱ تومان بود، میزان هزینه‌های اجتماعی بر اساس واحد ارزی دلار امریکا گزارش شده است.

در مرحله‌ی آخر، با اعمال سیاست‌های توسعه‌ی شناسایی‌شده در بخش انرژی و تغییر ضرایب مصرف انرژی، میزان پتانسیل سیاست‌های موجود برای کاهش مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌های هوا و هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار گازهای مدنظر محاسبه شده و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تأثیر این سیاست‌ها بر بخش‌های مختلف ارزیابی شده است.

یافته‌ها

در این پژوهش، پارامترهای مختلفی اعم از انرژی کل مصرفی، انتشار مستقیم و غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای، انتشار آلاینده‌های هوا، هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا و هزینه‌های اجتماعی مصرف برق برای بخش صنایع استان اصفهان در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ محاسبه و در نهایت، تأثیر سناریوهای توسعه بر آن‌ها بررسی شده است.

سناریوهای توسعه

اولین گام معرفی سیاست‌های کاهش انرژی و کاهش انتشار و ارزیابی آن‌ها برای محاسبه‌ی پتانسیل کاهش انتشار و مصرف انرژی و هزینه‌های اجتماعی در این پژوهش است. با استفاده از اسناد بالادستی کشور و دو گزارش مربوط به انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، از قبیل برنامه‌ی راهبرد ملی تغییر اقلیم و برنامه‌ی بلندمدت توسعه‌ی بخش انرژی کشور ایران [۲۸،۲۹]، سیاست‌هایی متناسب با مدل توسعه‌یافته جمع‌آوری شده است که در جدول ۱ معرفی شده‌اند. سیاست‌های شماره‌ی ۱ و ۲ مربوط به مصرف گاز طبیعی و فراورده‌های نفتی صنایع و سیاست‌های شماره‌ی ۳، ۴ و ۵ مربوط به کاهش انتشار ناشی از مصرف برق صنایع هستند. سناریو ۱ به صرفه‌جویی در مصرف انرژی صنایع اشاره می‌کند که این امر مستلزم کاهش ۱۰ درصدی شدت

جدول ۱: سیاست‌های توسعه

ردیف	سیاست	مأخذ
۱	کاهش ۱۰ درصدی شدت انرژی صنایع	برنامه‌ی راهبرد ملی تغییر اقلیم (۱۳۹۶)
۲	حذف سوخت مازوت از مصارف صنایع	برنامه‌ی بلندمدت توسعه‌ی بخش انرژی ایران (۱۳۹۳)
۳	افزایش بهره‌وری نیروگاه‌ها به میزان ۱۰ درصد	برنامه‌ی راهبرد ملی تغییر اقلیم (۱۳۹۶)
۴	تبدیل نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی	برنامه‌ی بلندمدت توسعه‌ی بخش انرژی ایران (۱۳۹۳)
۵	استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به میزان ۱۵ درصد در تولید برق	برنامه‌ی بلندمدت توسعه‌ی بخش انرژی ایران (۱۳۹۳)

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

انرژی صنایع است. سوخت مازوت به‌عنوان سوختی فسیلی، بسیار بی‌کیفیت است؛ ازاین‌رو، حذف سوخت مازوت، به‌خصوص در نیروگاه‌ها، دستاوردی بزرگ به حساب می‌آید که در سناریو ۲ معرفی می‌شود. در بخش برق، یکی از راه‌های کاهش آلودگی‌ها افزایش بهره‌وری نیروگاه‌ها است که در سناریو ۳، افزایش ۱۰ درصدی بهره‌وری نیروگاه‌ها نسبت به قبل در نظر گرفته شده است. همچنین، با تبدیل نیروگاه‌های گازی به نیروگاه سیکل ترکیبی، می‌توان از انرژی گاز طبیعی برای بخار کردن آب بهره برد و از بخار آب حاصل‌شده به‌منظور تولید برق استفاده کرد. این امر در سناریو ۴ معرفی شده است. از طرفی، به استفاده از انرژی‌های پاک در سال‌های اخیر، بسیار توجه شده است که در این پژوهش، این امر در سناریو ۵ معرفی شده است.

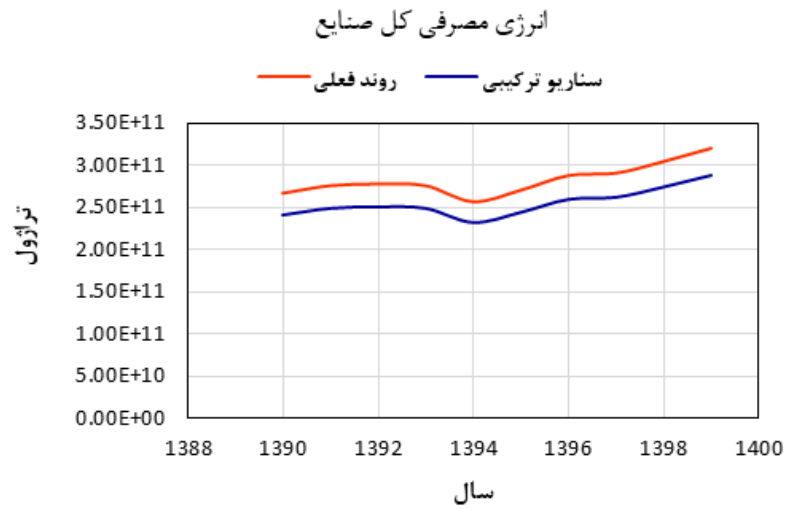
انرژی مصرفی کل صنایع

مقدار انرژی مصرفی ناشی از صنایع مطابق با شکل ۴ است. انرژی مصرفی شامل مصارف گاز طبیعی صنایع و پالایشگاه، فراورده‌های نفتی مصرفی صنایع و برق مصرفی صنایع و پالایشگاه است که به‌صورت تراژول گزارش شده است. همچنین، میزان تأثیر سناریو ترکیبی بر مصرف انرژی در شکل ۴ آمده است. بر این اساس، بیشترین مقدار انرژی در سال ۱۳۹۹ و کمترین مقدار در سال ۱۳۹۴ اتفاق می‌افتد (روند صعودی). گفتنی است که با اعمال سناریوها (به‌صورت جمعی)، ۱۰ درصد انرژی مصرفی کاهش پیدا می‌کند.

انتشار گازهای گلخانه‌ای

انتشار گازهای گلخانه‌ای از عوامل مهم ایجاد بی‌توازنی در محیط‌زیست است. بر اساس نتایج مدل‌سازی، انتشار کل گازهای گلخانه‌ای صنایع در شکل ۵ ارائه شده است. همچنین، تصریح می‌شود که انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل هر دو نوع انتشار مستقیم و غیرمستقیم است. انتشار مستقیم ناشی از مصرف سوخت‌ها و انتشار غیرمستقیم ناشی از مصرف برقی است که انتشار در جای دیگری تولید کرده است؛ اما در محل مصرف انتشار رخ نمی‌دهد [۳۰].

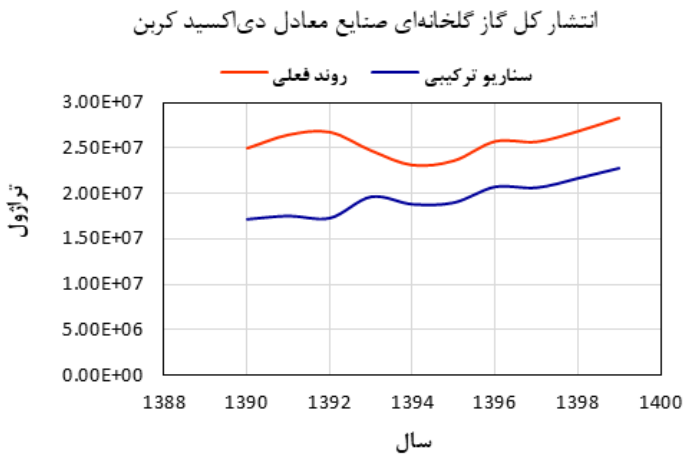
طبق شکل ۵، کمترین مقدار انتشار در سال ۱۳۹۴ و بیشترین انتشار در سال ۱۳۹۹ رخ داده است. از این مقدار، ۳۰ تا ۳۶ درصد شامل انتشار غیرمستقیم است که مقدار درخور توجهی است. همچنین، با اعمال سناریو ترکیبی، مقدار انتشار بین ۱۸/۵۶ تا ۳۵/۴۴ درصد کاهش می‌یابد.



شکل۴: نمودار مصرف انرژی کل صنایع

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

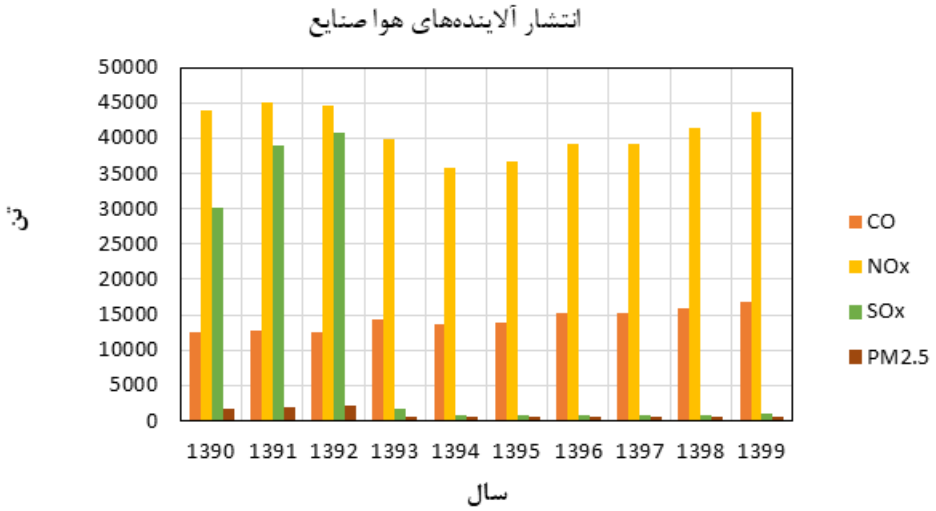


شکل ۵: انتشار کل گازهای گلخانه‌ای بخش صنایع

انتشار آلاینده‌های هوا

در این پژوهش، میزان انتشار آلاینده‌های NO_x، SO_x، CO و $PM_{2.5}$ محاسبه شد و نتایج در شکل ۶ ارائه شده است. بیشترین آلاینده‌ی منتشرشده NO_x و کمترین آلاینده $PM_{2.5}$ است.

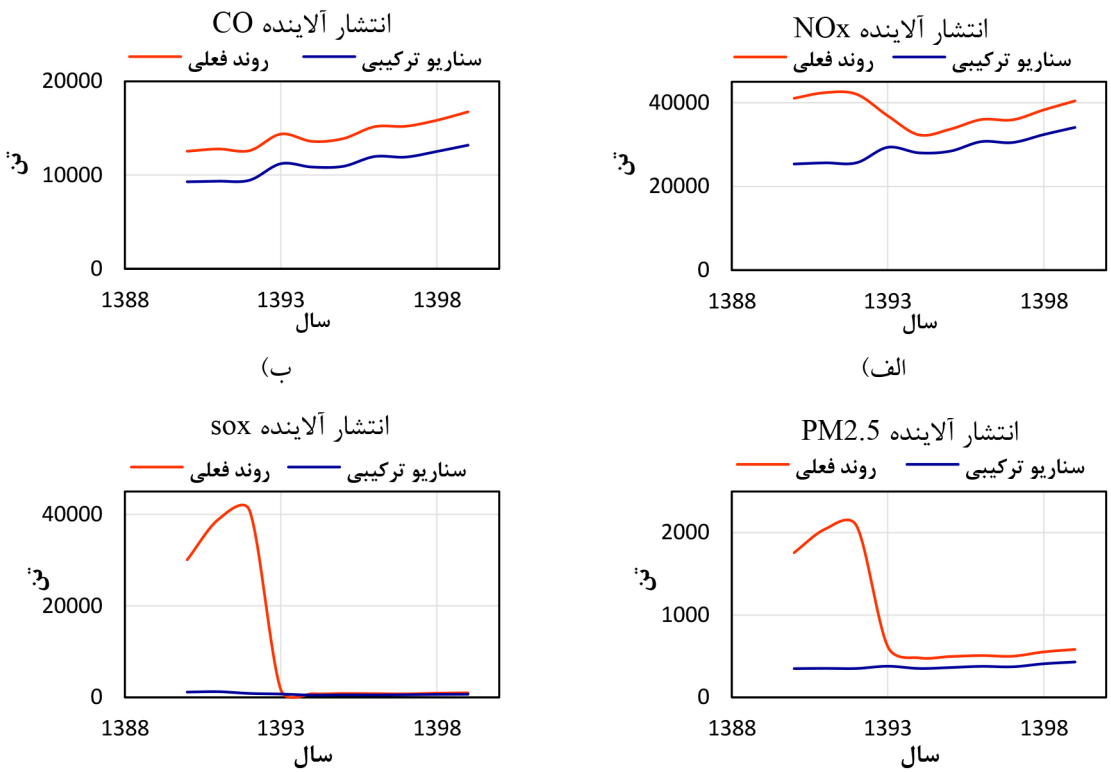
در شکل ۷، مقادیر انتشار و تأثیر سناریو تجمعی هریک از آلاینده‌ها به‌تفکیک، رؤیت‌پذیر است. با توجه به شکل ۷، مقدار انتشار SO_x و $PM_{2.5}$ از سال ۱۳۹۳ بسیار کاهش پیدا کرده و بیشترین تأثیر با اعمال سناریو تجمعی بر این دو آلاینده ایجاد شده است. دلیل این امر مربوط به ضرایب انتشار این دو آلاینده است. ضرایب انتشار این دو گاز مقادیر بسیار زیادی برای سوخت مازوت دارد و برای سوخت‌های دیگر بسیار کمتر است؛ در نتیجه، به‌دلیل اینکه از سال ۱۳۹۳، مصرف مازوت به‌خصوص در نیروگاه‌ها، کاهش بسیار زیادی داشته است و در سناریو تجمعی نیز به‌دلیل وجود سناریو دوم که به حذف مصرف مازوت منجر می‌شود، مقدار انتشار این



شکل ۶: انتشار آلاینده‌های هوا به‌تفکیک نوع آلاینده

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]



شکل۷: انتشار آلاینده‌های هوا و تأثیر سناریو تجمعی به‌تفکیک نوع آلاینده‌ها

دو آلاینده بسیار زیاد کاهش می‌یابد.

هزینه‌های اجتماعی

مهم‌ترین هدف این پژوهش به‌دست‌آوردن هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا است. جدول ۲ هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای را به واحد میلیون دلار امریکا در سال پایه‌ی ۱۳۸۱ نشان می‌دهد. در این جدول، هزینه‌های اجتماعی به دو بخش هزینه‌های

جدول ۲: هزینه‌های اجتماعی به‌تفکیک مصرف سوخت و مصرف برق

سال	درصد هزینه‌ی اجتماعی ناشی از مصرف برق صنایع (٪)	درصد هزینه‌ی اجتماعی ناشی از مصرف سوخت صنایع (٪)	کل هزینه‌ی اجتماعی (میلیون دلار بر مبنای سال ۱۳۸۱)
۱۳۹۰	۴۴/۵۸	۵۵/۴۲	۳/۴
۱۳۹۱	۴۸/۷۶	۵۱/۲۴	۳/۷۳
۱۳۹۲	۴۹/۶۴	۵۰/۳۶	۳/۷۹
۱۳۹۳	۳۱/۶۵	۶۸/۳۵	۲/۷۹
۱۳۹۴	۳۰/۳۳	۶۹/۶۷	۲/۵۸
۱۳۹۵	۳۲/۰۴	۶۷/۹۶	۲/۶۳
۱۳۹۶	۳۳/۰۸	۶۶/۹۲	۲/۸۷
۱۳۹۷	۳۴/۴۸	۶۵/۵۲	۲/۸۶
۱۳۹۸	۳۳/۸۹	۶۶/۱۱	۳
۱۳۹۹	۳۴/۶۷	۶۵/۳۳	۳/۱۶

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

جدول ۳: سهم گازهای مختلف در هزینه‌های اجتماعی (٪)

سال	CO	NO_x	SO_x	$PM_{2.5}$	CO_2	CH_4
۱۳۹۰	۰/۶۹	۷/۷۲	۱۶/۱۳	۲/۲۲	۷۳/۱۹	۰/۰۳۶
۱۳۹۱	۰/۶۴	۷/۲۴	۱۹/۰۱	۲/۳۵	۷۰/۷۱	۰/۰۳۵
۱۳۹۲	۰/۶۲	۷/۰۶	۱۹/۶۱	۲/۳۵	۷۰/۳۰	۰/۰۳۶
۱۳۹۳	۰/۹۶	۸/۵۹	۱/۰۷	۰/۹۵	۸۸/۳۷	۰/۰۳۵
۱۳۹۴	۰/۹۸	۸/۳۰	۰/۵۵	۰/۷۹	۸۹/۳۱	۰/۰۳۵
۱۳۹۵	۰/۹۸	۸/۳۲	۰/۵۷	۰/۸۰	۸۹/۲۶	۰/۰۳۵
۱۳۹۶	۰/۹۹	۸/۲۱	۰/۵۱	۰/۷۶	۸۹/۴۸	۰/۰۳۵
۱۳۹۷	۰/۹۹	۸/۲۱	۰/۴۷	۰/۷۵	۸۹/۵۳	۰/۰۳۴
۱۳۹۸	۰/۹۹	۸/۲۹	۰/۵۵	۰/۷۹	۸۹/۳۲	۰/۰۳۵
۱۳۹۹	۰/۹۹	۸/۳۰	۰/۵۵	۰/۷۹	۸۹/۳۱	۰/۰۳۵

ناشی از برق و هزینه‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی تقسیم شده است. طبق جدول، هزینه‌های اجتماعی در طول سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ در حال کاهش بوده و سپس، در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، افزایش هزینه‌های اجتماعی مشاهده می‌شود. همچنین، هزینه‌های اجتماعی ناشی از سوخت فسیلی در همه‌ی سال‌ها بیشتر است و سهم هزینه‌های اجتماعی ناشی از برق در طی سال‌های مدل‌سازی، در حال کاهش است.

در جدول ۳، سهم آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای مختلف از هزینه‌های اجتماعی نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۳، گاز دی‌اکسیدکربن بیشترین سهم را در ایجاد هزینه‌های اجتماعی دارد. همچنین، در طی سال، هزینه‌های ناشی از آلاینده‌ی SO_x به‌طرز چشمگیری کاهش یافته است.

در جدول ۴، میزان تأثیر سناریوهای مختلف بر کاهش هزینه‌های اجتماعی آمده است. طبق جدول، سناریو ۲ به‌دلیل حذف کامل مازوت از صنایع و نیروگاه‌های بخاری، بیشترین تأثیر را در کاهش هزینه‌های اجتماعی دارد. سناریو ۴ به‌دلیل اینکه به‌صورت جزئی، مصارف گاز طبیعی و گازوئیل را تنها در بخش نیروگاهی کاهش می‌دهد و تأثیری در مصارف انرژی صنایع و

جدول ۴: درصد (٪) کاهش هزینه‌های اجتماعی در سناریوهای مختلف

سال	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ترکیبی
۱۳۹۰	۹/۵۳	۴۷/۷۳	۴/۹۳	-۱/۴۳	۶/۶۹	۴۳/۶۸
۱۳۹۱	۹/۵۳	۵۰/۵۶	۵/۳۶	-۱/۲۶	۷/۳۱	۴۷/۵۸
۱۳۹۲	۹/۵	۵۰/۸۷	۵/۴۶	۰/۵۲	۷/۴۵	۴۹/۲۴
۱۳۹۳	۹/۳۶	۳۱/۷۴	۳/۸۱	۳/۱۴	۴/۷۵	۲۱/۶۰
۱۳۹۴	۹/۳۲	۲۸/۵۷	۳/۷۲	۲/۸۰	۴/۵۵	۱۹
۱۳۹۵	۹/۴۲	۳۰/۰۲	۳/۷۹	۳/۵۳	۴/۸۱	۱۹/۹۰
۱۳۹۶	۹/۴۰	۳۰/۶۸	۳/۹۰	۳/۴۳	۴/۹۶	۱۹/۷۶
۱۳۹۷	۹/۵۵	۴۱/۸۶	۳/۸۹	۳/۱۸	۵/۱۷	۱۹/۹۶
۱۳۹۸	۹/۴۴	۳۱/۵۴	۳/۹۴	۲/۷۱	۵/۰۸	۱۹/۶۰
۱۳۹۹	۹/۴۷	۳۲/۲۳	۳/۹۹	۲/۷۷	۵/۲۰	۱۹/۸۳
میانگین	۹/۴۵	۳۶/۵۸	۴/۲۸	۱/۹۴	۵/۶	۲۸/۰۲

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

سوخت‌های بی‌کیفیت همچون مازوت ندارد، کمترین تأثیر را در کاهش هزینه‌های اجتماعی دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

با ادامه‌ی افزایش روند توسعه در مناطق مختلف، میزان مصرف انرژی در همه‌ی بخش‌ها، به‌خصوص بخش صنایع، روزبه‌روز در حال افزایش است؛ ازاین‌رو، با افزایش مصرف انرژی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا امری اجتناب‌ناپذیر است و این انتشارها به ایجاد هزینه‌های اجتماعی مختلف منجر می‌شوند که سلامت انسان‌ها و محیط‌زیست را تهدید می‌کند [۱،۲]. در این پژوهش، چهارچوبی برای ارزیابی سیاست‌های توسعه با هدف ملاحظه‌ی هزینه‌های اجتماعی و آلودگی‌های محیط‌زیستی با رویکرد پویایی‌های سیستم در بخش انرژی صنایع استان اصفهان برای سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ توسعه داده شده است. در این تحقیق، هزینه‌های اجتماعی ناشی از گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا به‌صورت هم‌زمان بررسی و مقایسه شد. همچنین، هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف برق و سوخت‌های فسیلی محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج نشان داد که در طی سال‌های مدل‌سازی، میزان مصرف انرژی به‌صورت کلی، صعودی است و تنها در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ افت داشته است. این افت می‌تواند در قالب دو دلیل بررسی و تحلیل شود. اولین دلیل کاهش فراورده‌های نفتی و گاز طبیعی تخصیص‌یافته به صنایع است که این امر احتمالاً به‌دلیل صرفه‌جویی در انرژی در خلال سال‌های مدنظر است. سیاست تصمیم‌گیران حوزه‌ی انرژی در مرحله‌ی اول، تأمین انرژی خانگی است و در صورت کمبود انرژی، سوخت‌رسانی به بخش مسکونی در اولویت است. دلیل دوم کاهش بسیار زیاد (حدود ۶۰ درصدی) مصرف مازوت در سال ۱۳۹۴ است که از مقدار حدود ۱۸۹ هزار مترمکعب به حدود ۷۲ هزار مترمکعب رسیده که این امر ممکن است به‌دلیل اولویت سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی استان در کاستن آلودگی‌های ناشی از صنایع در آن سال باشد. سوخت مازوت نسبت به سایر فراورده‌های نفتی، دارای انرژی بیشتری است [۲۲]. همچنین، آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای آن نیز نسبت به سایر فراورده‌های نفتی بیشتر است [۲۴،۲۵]. به همین دلیل، کاهش مصرف سوخت مازوت هدف سیاست‌های محیط‌زیستی است و با کاهش آن، میزان درخور توجهی از آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد. همچنین، این اقدام باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. دلیل اصلی افزایش مصرف انرژی در منطقه‌ی مورد مطالعه، وجود صنایع فولاد و ذوب‌آهن است. این صنایع که صنایع پرمصرف در کشور ایران شناخته شده‌اند، برای تولید محصولات خود، از سوخت‌های فسیلی به میزان چشمگیری استفاده می‌کنند [۳۱].

انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار متأثر از مصرف انرژی است [۳۲]. از همین رو، پیش‌بینی می‌شود که با افزایش مصرف انرژی، گازهای گلخانه‌ای نیز افزایش یابند؛ اما با توجه به نتایج، به‌دلیل کاهش بسیار محسوس سوخت مازوت نیروگاه‌ها از سال ۱۳۹۳، انتشار بخش برق بسیار کاهش یافته و همین امر سبب کاهش انتشار کل شده است [۲۴].

در خصوص انتشار آلاینده‌های هوا و با توجه به نقش مصرف مازوت در افزایش شایسته‌ی ملاحظه‌ی آن‌ها، با کاهش بسیار زیاد مصرف مازوت در بخش صنایع، به‌خصوص نیروگاه‌ها، میزان انتشار آلاینده‌های هوا به‌صورت درخور ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. همچنین، سوخت مازوت یکی از منابع اصلی انتشار آلاینده‌ی SO_x است؛ ازاین‌رو، آلاینده‌ی SO_x در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲، دومین آلاینده‌ی انتشاریافته از نظر مقدار انتشار شناخته شده؛ ولی از سال ۱۳۹۳ به بعد، کاهش چشمگیر داشته و بعد از CO در رده‌ی سوم جای گرفته است [۲۵].

با توجه به نتایج، هزینه‌های اجتماعی در طی سال‌های مدل‌سازی، در ابتدا، روندی نزولی و سپس، روندی صعودی

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

داشت و بیشتر هزینه‌های ایجادشده ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی صنایع بود. این موضوع به‌دلیل افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در صنایع به وجود آمده است. افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی ناشی از افزایش نیاز به انرژی برای تولید بیشتر است. همچنین، با افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، میزان انتشار آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد که این موضوع به افزایش خسارت‌های اجتماعی منجر می‌شود [۱۹]. همچنین، نتایج نشان داد که به‌صورت میانگین، CO_2، NO_x، SO_x، $PM_{2.5}$، CO و CH_4 به‌ترتیب، دارای بیشترین سهم در ایجاد هزینه‌های اجتماعی هستند. این نتایج با مطالعات صورت‌گرفته در کشور امریکا هماهنگی دارد. در این تحقیق، هزینه‌های سلامت و هزینه‌های اجتماعی ناشی از تغییرات اقلیمی به‌علت انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که گاز گلخانه‌ای CO_2 و آلاینده‌ی NO_x با مقادیر ۵۱ و ۱۶ میلیارد دلار، بیشترین سهم را در ایجاد هزینه‌های اجتماعی دارند [۳۳]. ازاین‌روست که با توجه به هزینه‌های اجتماعی محاسبه‌شده، گاز گلخانه‌ای CO_2 خسارت بیشتری حتی نسبت به آلاینده‌های هوا، به اجتماع می‌زند و این نتیجه با اثرهای ملموس شهروندان سازگاری ندارد. هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلاینده‌های هوا در هر منطقه متفاوت است. در این مطالعه، آلاینده‌های NO_x و CO به‌ترتیب، دارای بیشترین و کمترین مقدار هزینه‌های اجتماعی هستند. از طرفی، آلاینده‌های NO_x و $PM_{2.5}$ به‌ترتیب، بیشترین و کمترین مقدار انتشار را دارند. طبق مطالعه‌ای که در کلان‌شهر تهران انجام شد، آلاینده‌ی $PM_{2.5}$ کمترین میزان انتشار را نسبت به آلاینده‌های دیگر داشت و علاوه بر آن، دارای بیشترین سهم در هزینه‌های اجتماعی واردشده بود. همچنین، آلاینده‌ی CO دارای کمترین نقش در هزینه‌های اجتماعی ایجادشده بود [۱۶]. در مطالعه‌ای دیگر که در کشور چین انجام شد، نتایج نشان داد که آلاینده‌ی $PM_{2.5}$ دلیل اصلی افزایش هزینه‌های سلامت است [۳۴]. دلیل این تفاوت می‌تواند وجود تفاوت در ساختار انرژی مصرفی در دو منطقه‌ی مطالعاتی باشد. همچنین، در مطالعات ذکرشده، میزان انتشار آلاینده‌ها و هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن‌ها در تمامی بخش‌ها ارزیابی شده؛ اما در این مطالعه، تنها بخش صنایع بررسی شده است.

با اعمال سناریوهای مختلف، نتایج بر این قرار است که سناریو ترکیبی در سال‌های اولیه‌ی مدل‌سازی، هزینه‌های اجتماعی را به میزان ۴۳ تا ۴۹ درصد و در سال‌های انتهایی، به میزان ۱۹ درصد کاهش می‌دهد و این امر نشان‌دهنده‌ی کاهش اثرگذاری سناریوهای توسعه بر کاهش هزینه‌های اجتماعی در سال‌های آینده (در صورت ادامه‌ی روند کنونی) است. لذا، باید هرچه سریع‌تر با هدف کاهش هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشار، به اقدامات اساسی دست زد. به این منظور، ترتیب اجرای سناریوها با توجه به میزان اثرگذاری سناریوهای مختلف به‌گونه‌ای است که سناریوهای ۲، ۱، ۵، ۳ و ۴ در اولویت هستند. با توجه به تأثیر درخور توجهی که سناریوهای شماره‌ی ۲ و ۱ در کاهش مصرف انرژی و نوع سوخت‌های مصرفی دارند، به کاهش بیشتر هزینه‌های اجتماعی نسبت به سایر سناریوها منجر می‌شوند. از سوی دیگر، سناریوهای شماره‌ی ۵ و ۳ به‌دلیل کاهش تولید برق توسط نیروگاه‌های حرارتی و در نتیجه، کاهش مصرف سوخت برای تولید برق، در رتبه‌ی سوم و چهارم قرار گرفته‌اند و برای کاهش هزینه‌های اجتماعی نیز اهمیت دارند. در رابطه با سناریو شماره‌ی ۴، اگرچه میزان انتشار آلاینده‌ها از نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد، بر اساس نتایج، تأثیر این سناریو نسبت به سایر سناریوها در کاهش هزینه‌های اجتماعی بسیار کمتر است. کاهش انتشار در این سناریو به‌دلیل تبدیل نیروگاه‌های گازی به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی که راندمان بالاتری نسبت به نیروگاه‌های گازی دارند و در نتیجه، سوخت کمتری مصرف می‌کنند، رخ می‌دهد [۳۵]. بااین‌حال، به‌علت ایجاد تغییرات ناچیز در مصرف انرژی و نوع سوخت، این سناریو کمترین تأثیر را در کاهش هزینه‌های اجتماعی دارد.

از محدودیت‌های مهم این پژوهش کمبود اطلاعات،

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

به‌خصوص اطلاعات دقیق مصرف انرژی و میزان بازدهی مصرف انرژی دستگاه‌های صنایع مختلف و ناآگاهی از اقدامات کاهش انتشار و میزان کنترل آلودگی صنایع در مدت مدل‌سازی است. همچنین، به‌دلیل در دسترس نبودن تکنولوژی‌های استفاده‌شده در نیروگاه‌ها و صنایع، اطلاعاتی در خصوص کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط تکنولوژی‌هایی نظیر جذب کربن در دسترس نیست. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده، اثر تکنولوژی‌های مختلف کاهش انتشار و کنترل آلاینده‌های هوا در بخش صنایع در نظر گرفته شود. همچنین، می‌توان با لحاظ قیمت انرژی و درنظرگیری یارانه‌های پنهان در بخش انرژی، میزان تأثیر تغییر قیمت در حامل‌های انرژی بر هزینه‌های اجتماعی را سنجید. می‌توان با مدل‌سازی فرایند صنایع مختلف، نظیر فولاد و سیمان، میزان انتشار فرایندی ناشی از این صنایع و تأثیر آن بر هزینه‌های اجتماعی را بررسی کرد. در نهایت، این مدل با امکان اعمال سیاست‌های کاهش انتشار آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای، امکان مناسبی را برای کمی‌سازی هرگونه بهبود در محیط‌زیست استان اصفهان فراهم می‌کند.

میزان هزینه‌های اجتماعی در طول سال‌های مطالعه به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. عامل اصلی این افزایش، افزایش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای است. کنترل هزینه‌های اجتماعی مرتبط با مصرف انرژی به مرور زمان، به‌صورت چشمگیری دشوارتر شده است. در بهترین حالت، در سال‌های ابتدایی می‌توان میزان هزینه‌های اجتماعی را تا ۴۹ درصد کاهش داد؛ اما در سال‌های آینده، این عدد به ۱۹ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج نشان می‌دهد که گاز گلخانه‌ای CO_2 در مقایسه با آلاینده‌های هوا، هزینه‌های اجتماعی بیشتری را به منطقه‌ی مدنظر وارد می‌کند. همچنین، آلاینده‌ی NO_x بین آلاینده‌های دیگر بیشترین هزینه‌ی اجتماعی را ایجاد می‌کند. مقدار هزینه‌های اجتماعی و میزان انتشار آلاینده‌ها رابطه‌ی خطی مستقیم ندارند. به‌عنوان مثال، آلاینده‌ی CO علی‌رغم انتشار زیاد، کمترین هزینه‌ی اجتماعی را نسبت به سایر آلاینده‌ها به وجود می‌آورد. همچنین، سوخت مازوت بیشترین تأثیر را در هزینه‌های اجتماعی دارد. به همین دلیل، سناریو شماره‌ی ۱ به‌عنوان بهترین سناریو برای کاهش هزینه‌های اجتماعی پیشنهاد می‌شود. این مطالعه به سیاست‌گذاران در بخش توسعه کمک بسیاری می‌کند تا هزینه‌های اجتماعی ناشی از سناریوهای توسعه را ارزیابی کنند و تصمیم بهتری در آینده بگیرند.

قدردانی

این پژوهش حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد حسین ابوالقاسم زاده با کد ثبت پیشنهاده ۱۸۴۰۷۱۶ در سامانه گنج ایرانداک است.بدین‌وسیله، نویسندگان از تمام کسانی که در انجام این پژوهش یاری رساندند، تشکر می‌کنند.

تضاد در منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

References

1. Mansorimoghadam S, Hormati M, Godarzi Gh. Estimation of deaths due to cardiovascular diseases, the number and number of hospital's visits due to respiratory diseases attributed to suspended particles less than 10 microns in Ahvaz metropolis. 9th air and noise pollution management conference Tehran 2022 (Persian).
2. khazaei S, motesaddi S, etemad K, rashidi Y,

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

Gheibipoor H, rohani M. Evaluation of the Association between Air Pollutants and Number of Cases with Severe Acute Respiratory Syndrome Recorded at Emergency Medical Centers in Tehran, Iran in 2013. J Health Res Commun 2016; 2(2): 37-43 (Persian).
3. Safaei Manesh B, Khochiani R. Analysis of countries based on carbon emissions (air pollution) on welfare (per capita income) and development. The third international conference on innovation in business management and economics Tehran 2022 (Persian).
4. Hormati M, Godarzi G. Investigating the effects of carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxides and hydrocarbons emitted by industries and their control strategies. The 9th National Conference on Air and Noise Pollution Management Tehran 2022 (Persian).
5. Kazemi A, Hosseinzadeh M. Policy analysis of greenhouse gases' mitigation in Iran energy sector using system dynamics approach. Environmental Progress & Sustainable Energy 2016; 35(4): 1221-30.
6. Khosravi S, Haghshenas H, Salehi V. Macro-scale evaluation of urban transportation demand management policies in CBD by using system dynamics case study: Isfahan CBD. Transportation Research Procedia 2020; 48: 2671-89.
7. Salari M, Javid RJ, Noghanibehambari H. The nexus between CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in the US. Economic Analysis and Policy 2021; 69: 182-94.
8. Ruamsuke K, Dhakal S, Marpaung CO. Energy and economic impacts of the global climate change policy on Southeast Asian countries: A general equilibrium analysis. Energy 2015; 81: 446-61.
9. Kelly C, Onat NC, Tatari O. Water and carbon footprint reduction potential of renewable energy in the United States: A policy analysis using system dynamics. Journal of Cleaner Production 2019; 228: 910-26.
10. Ansell T, Cayzer S. Limits to growth redux: A system dynamics model for assessing energy and climate change constraints to global growth. Energy Policy 2018; 120: 514-25.
11. Lin B, Ahmad I. Analysis of energy related carbon dioxide emission and reduction potential in Pakistan. Journal of Cleaner Production 2017; 143: 278-87.
12. Wang S, Zhou C, Li G, Feng K. CO2, economic growth, and energy consumption in China's provinces: investigating the spatiotemporal and econometric characteristics of China's CO2 emissions. Ecological indicators 2016; 69: 184-95.
13. Development of optimization codes for the country's energy supply system using Mathprog GN programming language. Institute of International Energy Studies 2016 (Persian).
14. Fattahi M. The role of urbanization rate in the relationship between air pollution and health expenditures: a dynamic panel data approach. International Letters of Social and Humanistic Sciences 2015; 53: 68-72.
15. An J, Heshmati A. The relationship between air pollutants and healthcare expenditure: empirical evidence from South Korea. Environmental Science and Pollution Research 2019; 26(31): 31730-51.
16. Isfahanian V, Mahtochi S, Naseri K. Synthesis and estimation of social costs caused by air pollution in Tehran metropolis. 10th Air and Noise Pollution Management Conference. Tehran 2022 (Persian).
17. Anwar A, Hyder S, Bennett R, Younis M. Impact of environmental quality on healthcare expenditures in developing countries: a panel data approach. Healthcare (Basel) 2022; 10(9): 1608.
18. Gu H, Cao Y, Elahi E, Jha SK. Human health damages related to air pollution in China. Environ Sci Pollut Res Int 2019; 26(13): 13115-13125.
19. Electricity and Energy Macro Planning Office (2017). energy balance sheet of 2015 Ministry of Energy. Tehran 2015 (Persian).
20. Organization of Geology and Mineral Exploration of the country. Isfahan 2023 (Persian).
21. Hosseiniebalam F, Ghaffarpasand O. The effects of emission sources and meteorological factors on sulphur dioxide concentration of Great Isfahan, Iran. Atmospheric Environment 2015; 100: 94-101.
22. Deputy Planning Department of the Ministry of Petroleum. Hydrocarbon Balance Sheet 2014. Institute of International Energy Studies. Tehran 2016 (Persian)
23. Management and Planning Organization of Isfahan Province. Deputy of Statistics and Information, Statistical Yearbook of Isfahan Province 1997. Program and Budget Organization. Tehran 2018 (Persian).
24. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
25. Nelson DA. European Environment Agency. Colo J. Int'l Envtl. L. & Pol'y 1999; 10: 153.
26. Sterman JD. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Inc 2002.
27. Tavanir Organization (2015). Detailed statistics of

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]

Iran's power generation industry. energy production in the year 2014. Vice President of Research and Human Resources. Tehran 2014 (persian).
28. Office of the National Climate Change Plan. National Strategic Plan on Climate Change. Environmental Protection Organization.
29. Electricity and Energy Macro Planning Office. Iran's Energy Sector Development Plan. Ministry of Energy. Tehran 2013 (persian).
30. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K, Tignor M, Miller H. IPCC fourth assessment report (AR4). Climate change 2007; 374.
31. Ansari N, Seifi A. A system dynamics analysis of energy consumption and corrective policies in Iranian iron and steel industry. Energy 2012; 43(1): 334-43.
32. Guedie R, Ngnemadon AS, Fotio HK, Nembot L. Disaggregated analysis of the effects of energy consumption on greenhouse gas emissions in Africa. Energy Economics Letters 2022; 9(2): 75-90.
33. Zelasky SE, Buonocore JJ. The social costs of health- and climate-related on-road vehicle emissions in the continental United States from 2008 to 2017. Environmental Research Letters 2021; 16(6): 065009.
34. Chen F, Chen Z. Cost of economic growth: Air pollution and health expenditure. Sci Total Environ 2021; 755(Pt 1): 142543.
35. Hoang TD, Pawluskiewicz DK. The efficiency analysis of different combined cycle power plants based on the impact of selected parameters. International Journal of Smart Grid and Clean Energy 2016; 5(2): 77-85.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2026-02-24]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1402.9.4.9.5]