

Evaluation of Emission Sources and Strategies for Reducing GHGs in Hamedan Province Industries with Fossil Fuel Consumption Approach

Amir Hossein Sayyazadeh^{1*}

1. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and & Architecture, Malayer University, Malayer, Iran.

Abstract

Industry is one of the five main sectors that contribute to greenhouse gases (GHGs) emissions in the country. Given Iran's voluntary commitments in the Paris Agreement to reduce GHGs emissions, it is essential that the Ministry of Industry, Mines and Trade (MIMT), through affiliated organizations in the provinces, identify industrial units with high emissions of GHGs and operational strategies to reduce emissions and notify these units.

In this research, fossil fuel consumption was used to identify industrial plants with high GHGs emissions in Hamadan province. To estimate the share of different industries in the province, from each industry, some active factories were visited randomly. During the visits, the production process and other possible emission sources of each industrial plant were studied.

Cement production units, with an emission of 76,100 tons, and brick and ceramic and porcelain product production units, with a total emission of 19,440 tons, are the major GHGs emitting industries in the province. The main source of direct GHGs emissions in various industries in Hamedan province is fossil fuel consumption, with a share of about 67%. Therefore, the main strategies for reducing emissions are to reduce fossil fuel consumption in these industries.

In order to reduce GHGs emissions, low-cost solutions should be used in the short term, such as optimizing the recycling of thermal energy from hot gases resulting from combustion, and in the long term, expensive solutions should be used, such as replacing traditional furnaces with advanced and fully intelligent furnaces and renovating steam boilers.

Review History

Received: May 16, 2026

Revised: May 20, 2026

Accepted: Jun 6, 2026

Keywords

Carbon Dioxide

Industrial Plants

Global Warming

Hamedan Province

* Corresponding Author Email: a.sayyazade@malayeru.ac.ir - Tel: +98 81 32232346



Copyright © 2025, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

ارزیابی منابع انتشار و راهکارهای کاهش گازهای گلخانه‌ای در صنایع استان همدان با رویکرد مصرف سوخت فسیلی

امیرحسین سیاح‌زاده^{*۱}

۱. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

چکیده

تاریخچه داوری

صنعت، یکی از پنج بخش اصلی منشأ انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح کشور است. با توجه به تعهدات داوطلبانه ایران در توافق‌نامه پاریس مبنی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضروری است وزارت صمت از طریق سازمان‌های صمت استان‌ها، واحدهای صنعتی با انتشار بالای این گازها و نیز راهکارهای عملیاتی جهت کاهش انتشار را شناسایی نموده و به این واحدها اعلام نماید.

کلمات کلیدی

در این تحقیق، جهت شناسایی مقدماتی واحدهای صنعتی با انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای استان همدان، از میزان مصرف سوخت فسیلی آنها استفاده گردید. در ادامه، جهت برآورد سهم انتشار صنایع مختلف در استان، از هر صنعت، تعدادی واحد فعال به صورت تصادفی مورد بازدید میدانی قرار گرفت. طی بازدیدها، فرآیند تولید و دیگر منابع احتمالی انتشار هر واحد صنعتی بررسی گردید.

واحدهای صنعتی تولید سیمان، با انتشار ۷۶۱۰۰ تن و واحدهای تولید آجر و محصولات سرامیکی و چینی، در استان همدان مجموعاً با انتشار ۱۹۴۴۰ تن، عمده‌ترین صنایع منشأکننده گازهای گلخانه‌ای استان هستند. اصلی‌ترین منبع انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای در صنایع مختلف استان همدان، مصرف سوخت فسیلی با سهمی در حدود ۶۷٪ است و لذا راهکارهای اصلی کاهش انتشار هم در جهت کاهش مصرف سوخت فسیلی در این صنایع است. جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای صنایع باید در کوتاه مدت از راهکارهای ارزان‌قیمت نظیر بهینه‌سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق و در بلند مدت از راهکارهای گران‌قیمت نظیر جایگزینی کوره‌های سنتی با کوره‌های پیشرفته و کاملاً هوشمند و نوسازی دیگ‌های مولد بخار استفاده نمود.

۱- مقدمه

نیتروژن (N_2O)، متان (CH_4)، بخار آب، ازن (O_3)، کلروفلوئوروکربن (CFC) و هگزا فلوراید گوگرد (SF_6) (Xi-Liu and Qing-, 2018; Nayeb *et al.*, 2019; Udara Wilhelm Abeydeera *et al.*, 2019).

با توجه به اثرات افزایش غلظت GHGs در جو بر گرم شدن محیط‌زیست و تغییرات آب و هوایی، جامعه جهانی و بسیاری از

انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی، دلیل اصلی گرم شدن کره زمین در دهه‌های اخیر بوده است (Kouyakhi and Shavvalpour, 2021; Mengel *et al.*, 2018; Nejat *et al.*, 2015; Qaderi *et al.*, 2018). عمده‌ترین گازهای گلخانه‌ای موثر در گرم شدن کره زمین عبارتند از: دی اکسید کربن (CO_2)، اکسید

* رایانامه نویسنده مسئول: a.sayahzade@malayeru.ac.ir - تلفن: ۰۸۱-۳۲۲۳۲۳۴۶

است. یکی از این پژوهش‌های انجام شده، در سطحی کلان به مقایسه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از بین پنج بخش اصلی انتشار ناشی از فعالیت‌های انسانی پرداخته است. در این پژوهش بر اساس روش ویکور مشخص گردید بخش حمل و نقل بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است و لذا در این تحقیق، اولویت در ارائه راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به اصلاح مولفه‌های ساختاری و فرهنگی در حوزه حمل و نقل داده شده است (Dorostkar Ahmadi and Dehghani, 2020).

بیشتر پژوهش‌ها در زمینه شناسایی منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به منظور ارائه راهکارهای کاهش انتشار، صرفاً در خصوص صنایع بزرگ و بطور منفرد انجام شده است. بطور نمونه در تحقیقی میزان نشت و انتشار گازهای گلخانه‌ای متان و دی‌اکسیدکربن از خطوط و تجهیزات شبکه انتقال گاز ایران برآورد شده است. نتایج این پژوهش نشان داد ۲۵ منبع نشر گازهای گلخانه‌ای از خطوط و تجهیزات شبکه انتقال گاز وجود دارد که مهمترین آن‌ها شامل نشر از شیرهای بین‌راهی (۳۷/۸٪)، نشر از بلودان لانچر - رسیورها (۲۰/۷٪)، نشر از تجهیزات روی زمینی خطوط لوله (۱۲/۲٪)، نشر احتراقی از ایستگاه‌ها (۱۲/۵ درصد) و نشر تخلیه از سیل کمپرسورها (۱۰/۸٪) می‌باشد (Kashefi et al., 2018). در پژوهش دیگری نیز منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای از دو پالایشگاه گاز طبیعی در ایران به منظور ارائه راهکارهای کاهش انتشار، ارزیابی و بررسی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد فلر کردن گازها، دی‌اکسیدکربن موجود در گاز خام ورودی به پالایشگاه و مصرف سوخت در تجهیزات تبدیل انرژی سه منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای از پالایشگاه‌های گاز طبیعی هستند (Kashefi et al., 2019). صنعت خودروسازی نیز از صنایعی است که برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای آن و منابع انتشار آن مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق مربوطه مشخص گردید در شرکت خودروسازی سایپا به ازای هر وسیله نقلیه تولید شده، انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۰/۶۹ تن دی‌اکسیدکربن معادل می‌باشد که ۵۰/۵٪ از این انتشار مربوط به برق خریداری شده و ۴۹/۵٪ مابقی مربوط به فرآیندهای تولید است. (Javadi et al., 2021).

در تحقیق دیگری نیز میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از صنعت

دولت‌ها با هدف بهبود وضعیت جهانی آب و هوا، به دنبال تدابیری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند (Mc Geough et al., 2012; Kennedy et al., 2009).

بخشی از تلاش جامعه جهانی برای کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، درخواست از همه کشورهای عضو چارچوب کنوانسیون سازمان ملل درباره تغییرات اقلیمی (UNFCCC) جهت ارائه گزارش‌های منظمی در مورد میزان انتشارات ناشی از فعالیت‌های انسانی این گازها است (Dodman, 2009).

رتبه بالای ایران در انتشار گازهای گلخانه‌ای (یکی از ۱۰ کشور اول انتشار دهنده بزرگ گازهای گلخانه‌ای (Mansouri Daneshvar et al., 2019; Ghadaksaz and Saboohi, 2020; Kachoei et al., 2018; Pakrooh et al., 2020)) باعث شده است ایران در زمره اولین گروه‌های هدف در توافق‌نامه پاریس مورد توجه قرار گیرد (Kachoei et al., 2018) و به ناچار باید میزان انتشارهای خود را در آینده، متناسب با برنامه اهداف مورد نظر مشارکت ملی جمهوری اسلامی کاهش دهد و این مسئله نیازمند بررسی‌ها و برنامه‌ریزی‌های دقیقی در این رابطه می‌باشد. بر اساس برنامه پیشنهادی جمهوری اسلامی ایران در نشست پاریس، این کشور متعهد شده است میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را تا سال ۲۰۳۰، نسبت به وضعیت کنونی به میزان ۴٪ کاهش دهد (Nabavi et al., 2020; Javadi et al., 2021).

هیات بین‌دولتی تغییرات اقلیمی (IPCC) پنج بخش اصلی منشأ انتشار گازهای گلخانه‌ای را بدین صورت معرفی نموده است: انرژی، حمل و نقل، صنعت، کشاورزی و گرمایش و دیگر مصارف ساختمان (Hertwich and Wood, 2018). لذا جهت تحقق تعهد ایران در توافق‌نامه پاریس مبنی بر کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰، کلیه وزارت‌خانه‌ها و سازمان‌های مربوط به بخش‌های فوق‌الذکر از جمله وزارت نیرو، وزارت نفت، وزارت راه و شهرسازی، وزارت صمت (صنعت، معدن و تجارت) و وزارت جهاد کشاورزی می‌بایست در اسرع وقت نسبت به بررسی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش مربوطه و انتخاب راهکارهای ممکن جهت کاهش انتشار آنها اقدام نمایند.

در جهت هدفمندسازی اقدامات و راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا کنون پژوهش‌های متعددی گزارش شده

تحقیق می‌توان به عنوان دستورالعملی برای سازمان‌های صمت دیگر استان‌ها استفاده نمود تا مشخص شود جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش صنعت هر استان، باید چه صنایعی مورد بررسی قرار گرفته و چه اقداماتی صورت گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مراحل کلی تحقیق حاضر

از آنجا که هدف اصلی این تحقیق، ارائه راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از واحدهای صنعتی استان همدان بوده است، لذا جهت تحقق این هدف، سه مرحله به شرح زیر تعریف شده است.

- مرحله اول: شناسایی واحدهای صنعتی با بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای.
- مرحله دوم: بازدید میدانی از واحدهای صنعتی با بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و شناسایی منابع اصلی انتشار در این واحدها.
- مرحله سوم: تجزیه و تحلیل علل انتشار گازهای گلخانه‌ای از واحدهای صنعتی مورد بازدید به منظور دستیابی به راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای.

۲-۲- شناسایی واحدهای صنعتی با بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای

با توجه به وجود بیش از ۱۲۰۰ واحد صنعتی تحت نظارت سازمان صمت استان همدان، بدیهی است که امکان بازدید و بازرسی میدانی از تمامی این مراکز صنعتی وجود نداشت و لذا با توجه به محدودیت‌های زمانی و هزینه‌ای، باید تعداد محدودی از این واحدهای صنعتی انتخاب می‌شد. با توجه به اینکه ۸۱٪ از کل گازهای گلخانه‌ای مربوط به فعالیت‌های بشری، ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است (Turner et al., 1993) لذا جهت شناسایی مقدماتی واحدهای صنعتی با انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای، از میزان مصرف سوخت فسیلی آنها استفاده گردید. به همین منظور میزان مصرف سوخت‌های فسیلی واحدهای صنعتی استان از شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی منطقه همدان و شرکت گاز استان همدان استعلام گردید.

ضمناً جهت محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از

ساختمان‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در ساختمان‌سازی با استفاده از تکنیک‌ها و مصالح سنتی با میزان انتشار در ساختمان‌سازی با استفاده از تکنیک‌های مرسوم و مصالح صنعتی مقایسه شده است. نتایج این تحقیق نشان داد میزان انتشار دی‌اکسیدکربن معادل در ساختمان‌سازی با استفاده از تکنیک‌ها و مصالح سنتی ۸۸٪ کمتر از میزان انتشار در ساختمان‌سازی با تکنیک‌های مرسوم و مصالح صنعتی است. (Pakdel et al., 2021). میزان و منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای از صنعت شیر پاستوریزه نیز در مطالعه دیگری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق بر اساس روش ارزیابی چرخه حیات نشان داد عمده‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای این صنعت شامل متان روده‌ای ۳۰٪، مصرف برق ۱۴٪، گازوئیل ۸/۹٪، فضولات حیوانی ۸/۸٪ و حمل و نقل ۸/۶٪ می‌باشد (Daneshi et al., 2014).

هر چند اخیراً صادق‌زاده و محمدی (۱۴۰۵) در پژوهشی به بررسی سیاست‌ها و راهبردهای کاربردی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی ایران پرداخته‌اند (Sadeghzadeh and Mohammadi, 2026) اما تا کنون گزارشی در خصوص تعیین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای و راهکارهای کاهش انتشار از بخش صنعت منتشر نگردیده است. از آنجا که صنعت یکی از پنج بخش اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی است، وزارت صمت نیز به عنوان حامی و متولی اصلی بخش صنعت کشور، باید از طریق سازمان‌های صمت استان‌ها، نسبت به بررسی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای واحدهای مختلف صنعتی و ارائه راهکارهای عملیاتی و کم‌هزینه جهت کاهش انتشار آنها اقدام نماید. پیشتر هم مشخص شده است که کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح منطقه‌ای و محلی می‌تواند مزایای بیشتری برای مقابله با چالش‌های تغییر آب و هوا و اثرات مخرب آن داشته باشد (Jiang et al., 2020).

بنا بر آنچه گفته شد مساله اصلی این تحقیق، شناسایی منابع و راهکارهای عملیاتی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از واحدهای صنعتی استان همدان است؛ بدیهی است این راهکارها می‌تواند جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از واحدهای صنعتی مشابه دیگر استان‌ها بکار گرفته شده و گامی در جهت توسعه پایدار صنایع در کشور باشد. همچنین از روش مورد استفاده در این

۳- نتایج و بحث

۳-۱- واحدهای صنعتی با بیشترین مصرف سوخت فسیلی

با توجه به تکمیل بودن شبکه گازرسانی استان همدان و بهره‌مندی کلیه مناطق و شهرک‌های صنعتی این استان از انشعاب گاز، سوخت اصلی و دائمی واحدهای صنعتی این استان گاز طبیعی است. لذا بر اساس داده‌های ارائه شده از سوی شرکت گاز استان همدان، متوسط ماهیانه مقدار مصرف گاز طبیعی واحدهای صنعتی استان محاسبه گردید که به جهت رعایت اختصار، فقط مقادیر مربوط به صنایع با مصرف ماهیانه بیش از ۱۰۰ هزار مترمکعب گاز طبیعی گزارش شده است. بنابراین واحدهای صنعتی با بیشترین مصرف گاز طبیعی در این استان به شرح جدول ۱، شناسایی گردیدند. متوسط مصرف ماهیانه گاز طبیعی کل صنایع استان در حدود ۴۴ میلیون و ۱۴۰ هزار مترمکعب محاسبه شده است.

بر اساس داده‌های محاسبه شده در آخرین ستون جدول ۱ (ستون سمت چپ)، سه واحد صنعتی تولید سیمان به تنهایی بیش از ۴۴٪ مصرف سوخت گاز صنایع استان را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین فعالیت ۸۳ واحد صنعتی تولید آجر، محصولات سرامیکی یا چینی منجر به مصرف بیش از ۲۳٪ سوخت گاز مصرفی صنایع استان شده است. به عبارت دیگر دو سوم مصرف سوخت گاز صنایع استان همدان، مربوط به واحدهای صنعتی تولید سیمان، آجر و محصولات سرامیکی و چینی است. یعنی تولید مصالح ساختمانی همچون سیمان، آجر و محصولات سرامیکی و چینی یکی از عمده‌ترین منابع مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش صنعت استان همدان می‌باشد.

از سوی دیگر توجه به میزان مصرف سوخت دیگر صنایع مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد که علاوه بر اهمیت بسیار زیاد صنایع سیمان، تولید آجر، محصولات سرامیکی و چینی در مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش صنعت استان، صنایع دیگری همچون قند و شکر، آهن و فولاد، شیشه، آهک و کربنات نیز نقش قابل ملاحظه‌ای در مصرف بالای سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای صنایع این استان دارند. لذا در مرحله بازدید میدانی، علاوه بر واحدهای صنعتی تولید سیمان، آجر و محصولات سرامیکی و چینی، تعدادی از واحدهای صنعتی مربوط به صنایع فوق‌الذکر نیز مورد بررسی میدانی قرار گرفت.

مصرف سوخت‌های فسیلی واحدهای صنعتی، روش مبتنی بر ضرایب انتشار با استفاده از استاندارد AP-42 متعلق به EPA بکار گرفته شد.

میزان انتشار بر اساس ضرایب انتشار از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$E = A \times EF \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (1)$$

در رابطه (۱):

E: میزان انتشار

A: میزان فعالیت

EF: ضریب انتشار (باید از استاندارد AP-42، استخراج شود)

ER: راندمان کلی کاهش نشر بر حسب % (که مربوط به

دستگاه کنترلی نصب شده است)

۳-۲- بازدید میدانی از واحدهای صنعتی با بیشترین میزان

مصرف سوخت فسیلی

در مرحله دوم تحقیق، جهت شناسایی دیگر منابع احتمالی انتشار گازهای گلخانه‌ای واحدهای صنعتی، از هر صنعت، تعدادی واحد صنعتی فعال به صورت تصادفی انتخاب و مورد بازدید میدانی قرار گرفت. برای این منظور، قبل از آغاز بازدیدهای میدانی، ابتدا بر اساس مرور ادبیات تحقیق، پرسشنامه‌ای جهت بررسی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای واحدهای صنعتی و منابع مختلف انتشار آنها تدوین و تنظیم گردید. سپس در مرحله بازدید میدانی از واحدهای صنعتی منتخب، ضمن بررسی و نظارت بر فرآیند تولید، با کارشناسان مختلف واحد صنعتی از جمله کارشناسان ایمنی و بهداشت، تولید و احتراق در خصوص وضعیت احتراق و دیگر منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای واحد صنعتی مصاحبه به عمل آمد و نسبت به تکمیل پرسشنامه مذکور اقدام گردید.

۴-۲- تجزیه و تحلیل علل انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارائه

راهکارهای کاهش انتشار

در مرحله سوم تحقیق، بر اساس مندرجات پرسشنامه‌های تکمیل شده و شناختی که از فرآیند تولید، وضعیت احتراق و دیگر منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای واحد صنعتی حاصل گردید، نسبت به تجزیه و تحلیل علل انتشار گازهای گلخانه‌ای از واحدهای صنعتی مورد بازدید و ارائه راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اقدام گردید.

جدول ۱- واحدهای صنعتی با بیشترین مصرف سوخت فسیلی در استان همدان

ردیف	نوع صنعت	تعداد واحد صنعتی فعال در استان	متوسط مصرف ماهیانه گاز طبیعی (مترمکعب)	سهم تقریبی از مصرف گاز صنایع استان (%)
۱	سیمان	۳	۱۹۶۲۶۰۰۰	۴۴/۵
۲	آجر و سرامیک	۸۳	۱۰۲۳۲۰۰۰	۲۳/۲
۳	قند و شکر	۱	۳۱۵۳۰۰۰	۷/۱
۴	آهن و فولاد	۵	۲۶۲۱۰۰۰	۶
۵	شیشه	۱	۲۱۴۷۰۰۰	۴/۹
۶	مواد غذایی	۲۵	۱۶۵۸۰۰۰	۳/۸
۷	آهک و کربنات	۴	۱۳۶۵۰۰۰	۳/۱
۸	نساجی	۷	۸۵۹۰۰۰	۱/۹
۹	کاغذ و کارتن	۹	۷۶۷۰۰۰	۱/۷
۱۰	آسفالت	۱۲	۴۸۲۰۰۰	۱/۱
۱۱	گاز کربنیک	۲	۳۳۸۰۰۰	۰/۸
۱۲	مواد شیمیایی	۴	۲۵۰۰۰۰	۰/۶
۱۳	آلومینیوم	۵	۲۳۵۰۰۰	۰/۵
۱۴	ریخته‌گری	۱۰	۱۹۸۰۰۰	۰/۴
۱۵	سایر	-	۲۱۲۰۰۰	۰/۴
	مجموع	-	۴۴۱۴۰۰۰۰	۱۰۰

۳-۲- نتایج حاصل از بازدید میدانی واحدهای صنعتی و شناسایی دیگر منابع انتشار

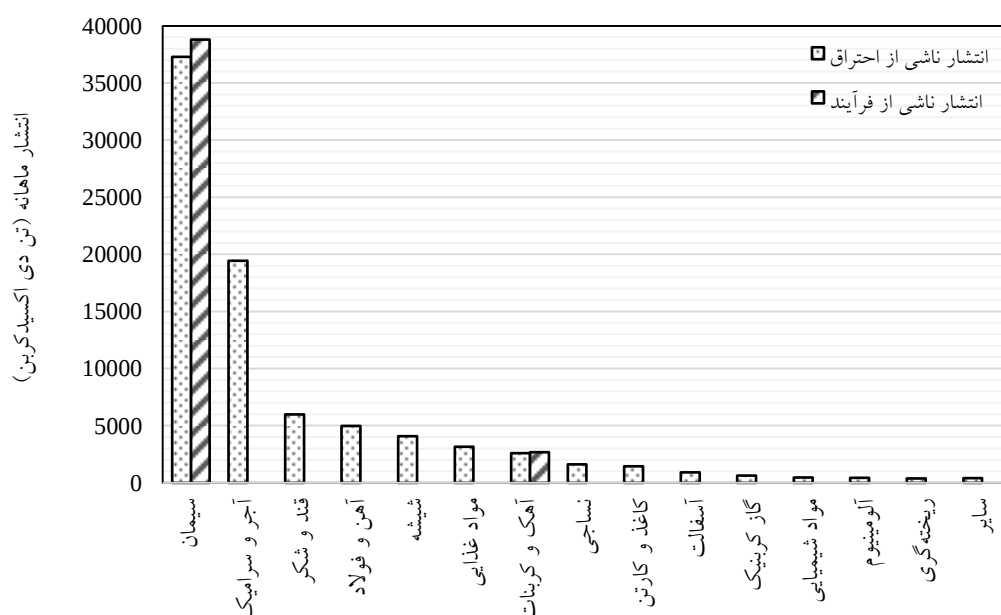
از آنجا که در تمامی صنایع مورد بررسی، حمل و نقل مواد اولیه مورد نیاز به کارخانه، انتقال محصولات تولیدی به بازار فروش و دفع فاضلاب بهداشتی و پسماند فردی کارکنان به عنوان منابع جنبی انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود داشت، از ذکر و لحاظ نمودن این موارد در تخمین سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای هر صنعت، خودداری شده است. نتایج حاصل از بازدید میدانی از واحدهای صنعتی در شناسایی منابع انتشار به شرح جدول ۲ بدست آمد.

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد منابع اصلی انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای از واحدهای صنعتی، عبارتند از احتراق سوخت فسیلی و فرآیند دکربناسیون. فرآیند دکربناسیون (تجزیه سنگ آهک در کوره به گاز دی‌اکسیدکربن و آهک زنده) بخشی از فرآیند تولید

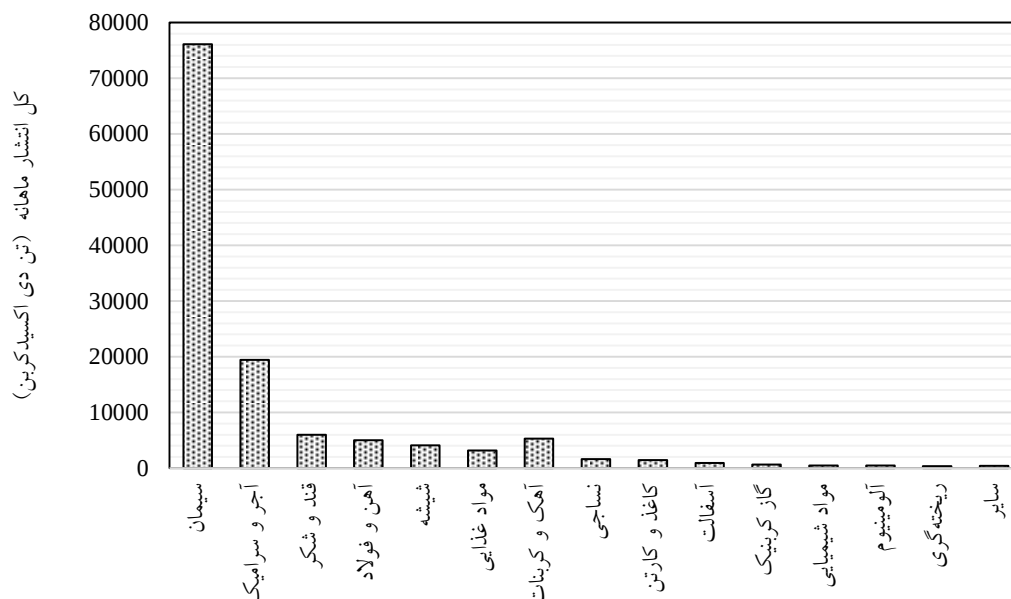
صنایع سیمان، آهک و کربنات بوده و سهمی بیش از ۵۰٪ در انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن از صنایع مذکور را دارد (Worrell et al., 2001). با شناسایی منابع انتشار اصلی، نسبت به محاسبه و تخمین میزان انتشار از این منابع اقدام گردید که نتایج حاصل از این محاسبات به شرح شکل‌های ۱ تا ۳ بدست آمد. شکل‌های ۱ تا ۳ نشان می‌دهد که توزیع انتشار ماهانه دی‌اکسیدکربن در صنایع استان همدان به شدت نامتقارن است. صنعت سیمان با اختلاف بسیار فاحشی نسبت به سایر صنایع، بزرگترین منبع انتشار دی‌اکسیدکربن در استان محسوب می‌شود. پس از آن، صنعت آجر و سرامیک در رتبه دوم قرار دارد. مجموع انتشار این دو گروه صنعتی، بخش اعظم (بیش از ۷۰ درصد) از کل انتشارات صنعتی استان را به خود اختصاص داده است؛ بنابراین هرگونه استراتژی کلان برای کاهش گازهای گلخانه‌ای در استان همدان باید به صورت ویژه بر این دو صنعت متمرکز باشد.

جدول ۲- منابع انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای صنایع مختلف استان همدان

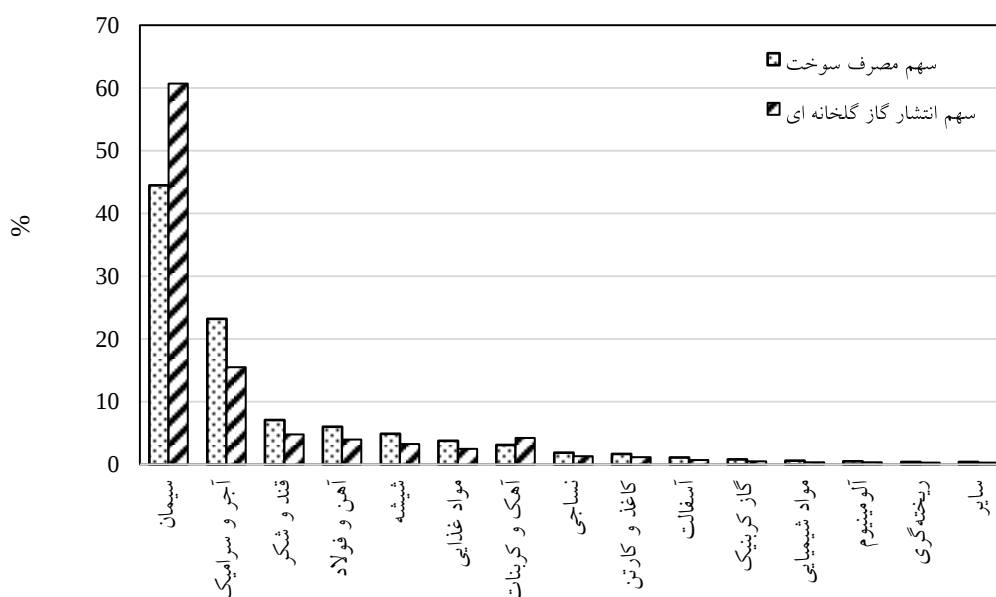
نوع صنعت	منابع انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای
سیمان	احتراق سوخت فسیلی در کوره پخت سنگ‌آهک، فرآیند دکربناسیون (تجزیه سنگ‌آهک در کوره به گاز CO_2 و CaO (با سهمی بیش از ۵۰٪ در انتشار)، حمل روزانه حدود ۱۰ هزار تن سنگ‌آهک از معادن مجاور کارخانه توسط کامیون
آجر و سرامیک	احتراق سوخت فسیلی در کوره‌های پخت آجر و سفال
قند و شکر	احتراق سوخت فسیلی در دیگ‌های مولد بخار و کوره‌های پخت چغندر و تفاله خشک‌کنی - انتشار متان ناشی از تجزیه بی‌هوازی باقیمانده خلال یا تکه‌های چغندر در برخی مخازن ذخیره موقت چغندرقند یا حوضچه‌های تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه (کمتر از ۰/۰۱ درصد میزان گاز دی‌اکسیدکربن)، پرت بخار آب از نقاط مختلف فرآیند تولید
آهن و فولاد	احتراق سوخت فسیلی در کوره‌های پخت گندله و پخت شمش فولاد
شیشه	احتراق سوخت فسیلی در کوره ذوب شیشه
مواد غذایی	احتراق سوخت فسیلی در دیگ‌های مولد بخار و کوره‌ها- پرت بخار آب از برج خشک‌کن آب کندانسور
آهک و کربنات	احتراق سوخت فسیلی در کوره‌های پخت، فرآیند دکربناسیون (تجزیه سنگ‌آهک در کوره به گاز CO_2 و CaO (با سهمی بیش از ۵۰٪ در انتشار)
نساجی	احتراق سوخت فسیلی در دیگ‌های مولد بخار و روغن داغ
کاغذ و کارتن	احتراق سوخت فسیلی در دیگ‌های مولد بخار
آسفالت	احتراق سوخت فسیلی در کوره‌های خشک‌کن و بویلرهای روغن
گاز کربنیک	احتراق سوخت فسیلی که از انتشار بخش اعظم دی‌اکسیدکربن تولید شده جلوگیری شده و بصورت مایع در مخازن به عنوان محصول به فروش می‌رسد
مواد شیمیایی	احتراق سوخت فسیلی در کوره‌های پخت و خشک‌کن بویلرهای بخار و روغن
آلومینیوم	احتراق سوخت فسیلی در کوره‌های ذوب و پیش‌گرمایش و رنگ
ریخته‌گری	احتراق سوخت فسیلی در کوره‌های ذوب



شکل ۱- انتشار ماهانه دی‌اکسیدکربن ناشی از احتراق سوخت و ناشی از فرآیند تولید صنایع استان همدان



شکل ۲- کل انتشار ماهانه دی‌اکسیدکربن صنایع استان همدان



شکل ۳- سهم مصرف سوخت و سهم انتشار دی‌اکسیدکربن صنایع استان همدان

این امر مبنای اهمیت رویکرد مصرف سوخت‌های فسیلی در عنوان مقاله را تایید می‌کند. شکل ۱ نشان می‌دهد در بین منابع انتشار مستقیم، عمده‌ترین منبع انتشار در صنایع مختلف استان همدان، در وهله اول مصرف سوخت فسیلی با تولید ماهانه تقریباً ۸۳۸۶۶ تن CO_2 و در وهله دوم فرآیند دکریناسیون با تولید ماهانه تقریباً ۴۱۵۱۱ تن CO_2 است. بنابراین اصلی‌ترین منبع انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای در صنایع مختلف استان همدان، مصرف سوخت فسیلی با

یکی از مهم‌ترین یافته‌های مستخرج از شکل ۱، تفاوت در منشأ تولید دی‌اکسید کربن در صنایع مختلف است. در اکثریت قریب به اتفاق صنایع مورد بررسی (مانند آجر و سرامیک، قند و شکر، آهن و فولاد، شیشه، مواد غذایی و ...)، منبع انحصاری یا غالب تولید گازهای گلخانه‌ای، انتشار ناشی از احتراق سوخت فسیلی است. به عنوان مثال، انتشار ماهانه حدود ۲۰ هزار تنی در صنعت آجر و سرامیک، تماماً ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی در کوره‌ها است.

کوره و مسیرهای سوخت‌رسانی و کانال‌های هوای گرم، بازرسی مستمر از خطوط لوله، کانال‌ها، شیرهای آب‌بند و دمپ‌های مربوطه و تعمیر و نگهداری جهت رفع نشتی‌های احتمالی از مسیر حرکت هوای داغ، نظارت و کنترل دمای بهینه در کوره‌ها و بویلرها، کنترل و نظارت دقیق بر میزان هوای ورودی به کوره‌ها و کیفیت احتراق در مشعل‌ها، استفاده از سیستم‌های کنترل هوشمند جهت بهبود تجهیزات مصرف‌کننده سوخت و نیز جلوگیری از پرت بخار آب از نقاط مختلف فرآیند تولید اشاره نمود.

راهکارهای گران نیز شامل جایگزینی کوره‌های سستی (ساخته شده از مصالح بنایی) با کوره‌های پیشرفته (ساخته شده از عایق‌های حرارتی) و کاملاً هوشمند، مدرن و نوسازی دیگ‌های مولد بخار، جایگزینی سوخت فسیلی با سوخت‌های پاک بطور نمونه جایگزینی کوره‌های القایی الکتریکی به جای کوره‌های سوخت فسیلی، استفاده از تجهیزات با راندمان الکتریکی بالاتر، نصب و راه‌اندازی تسمه نقاله جهت انتقال مواد خام از معادن به جای کامیون‌ها، نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP)، تصفیه بی‌هوازی فاضلاب صنعتی و جمع‌آوری و استفاده از بیوگاز تولید شده و احداث خط تولید برخی محصولات در مجاورت خط تولید صنایع بالادستی (مانند احداث خط تولید میلگرد فولادی در مجاورت خط تولید شمش‌های فولادی) می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

مهمترین معیار برای شناسایی، بررسی و کنترل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از واحدهای صنعتی تحت نظارت وزارت صنعت، معدن و تجارت، میزان احتراق سوخت‌های فسیلی است و ماهیت فرآیندهای تولید و دیگر عوامل نظیر تجزیه بیولوژیکی پسماندها، نقش بسیار جزئی و ناچیزی در این خصوص دارد. از آنجا که در صنایع تولید سیمان و آهک، فرآیند دگربناسیون (علاوه بر بحث احتراق) باعث تولید و آزادسازی گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن به مراتب بیشتری می‌گردد، می‌بایست از توسعه این صنایع به منظور صادرات تا حد امکان اجتناب نمود. در مجموع مدیران و مسئولان استانی برای دستیابی به کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش صنعت استان باید حمایت‌های مالی و فنی خود را به ترتیب اولویت بر روی صنایع سیمان، تولید آجر و مصالح ساختمانی، تولید قند و شکر و نیز صنایع آهن و فولاد و شیشه متمرکز نمایند.

سهمی در حدود ۶۷٪ است و لذا راهکارهای اصلی کاهش انتشار هم در جهت کاهش مصرف سوخت فسیلی در این صنایع است. البته میزان بالای انتشار ناشی از فرآیند تولید در صنایع سیمان و آهک و کربنات استثنائات مهم این روند هستند.

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۳، مشخص گردید در بین ۱۲۰۰ واحد صنعتی استان همدان، سه واحد صنعتی تولید سیمان با سهمی در حدود ۶۰٪ و ۸۳ واحد صنعتی تولید آجر و محصولات سرامیکی و چینی با سهمی در حدود ۱۵٪، عمده‌ترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای صنایع استان هستند. پس از دو صنعت عمده سیمان و آجر، واحدهای صنعتی تولید قند و شکر با سهمی در حدود ۵٪، واحدهای صنعتی تولید آهک و کربنات با سهمی در حدود ۴٪، واحدهای صنعتی تولید آهن و فولاد با سهمی در حدود ۴٪ و واحد صنعتی تولید شیشه نیز با سهمی در حدود ۳٪، دیگر منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای قابل توجه در صنایع این استان هستند. اگرچه سهم این صنایع در مقایسه با دو صنعت سیمان و آجر ناچیز به نظر می‌رسد، اما به دلیل وابستگی کامل انتشار آن‌ها به احتراق سوخت، پتانسیل بالایی برای اجرای پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی دارند. سایر صنایع (نساجی، کاغذ، آسفالت و...) سهم حاشیه‌ای و ناچیزی در انتشار دی‌اکسیدکربن استان ایفا می‌کنند.

۳-۳- راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنایع

مورد بررسی

پس از شناسایی منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در بازدیدهای میدانی و تجزیه و تحلیل علل انتشار از این منابع، راهکارهایی جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از صنایع مورد بازدید پیشنهاد شده است که در جدول ۳ ارائه گردیده است.

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۳، رایج‌ترین راهکارها جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنایع مختلف استان همدان، در دو بخش راهکارهای ارزان قیمت و راهکارهای گران قیمت قابل ارائه هستند.

از راهکارهای ارزان قیمت می‌توان به بهینه‌سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش‌گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی پرسنل و فرآیند تولید و تامین هوای گرم مورد نیاز جهت فرآیند و سالن‌های تولید و اتاق پرسنل، عایق‌کاری دقیق و کامل

جدول ۳- راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای صنایع مختلف استان همدان

ردیف	نوع صنعت	راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
۱	سیمان	بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی - بازرسی مستمر از خطوط لوله، کانال‌ها، شیرهای آب‌بند و دمپرهای مربوطه و تعمیر و نگهداری جهت رفع نشتی‌های احتمالی از مسیر حرکت هوای داغ - نظارت بر پخت کلینکر در دمای بهینه - عایق کاری دقیق و کامل کوره و مسیرهای سوخت‌رسانی و هوای گرم - استفاده از تجهیزات با راندمان الکتریکی بالاتر - نصب و راه‌اندازی تسمه نقاله جهت انتقال مواد خام از معادن به جای کامیون‌ها - نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP)
۲	آجر و سرامیک	بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی - جایگزینی کوره‌های سنتی (ساخته شده از مصالح بنایی) با کوره‌های پیشرفته (ساخته شده از عایق‌های حرارتی) و کاملاً هوشمند پخت
۳	قند و شکر	نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP) - مدرن و نوسازی دیگ‌های مولد بخار و کوره‌های پخت و تفرغه خشک‌کنی - کنترل و نظارت دقیق بر میزان هوای ورودی به کوره‌ها و کیفیت احتراق در مشعل‌ها - بهینه‌سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین هوای گرم مورد نیاز جهت خشک کردن تفرغه‌ها، سالن‌های تولید و اتاق پرسنل - جلوگیری از تجمع بقایای و تفرغه چغندر درون مخازن و حوضچه‌ها و تخمیر بی‌هوازی آن‌ها - جلوگیری از پرت بخار آب از نقاط مختلف فرآیند تولید -
۴	آهن و فولاد	نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP) - بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی - عایق کاری دقیق و کامل کوره و مسیرهای سوخت‌رسانی و هوای گرم - نصب و راه‌اندازی تسمه نقاله جهت انتقال مواد خام از معادن و نیز سرباره ذوب از کوره به محوطه اطراف کارخانه به جای لودرها و کامیون‌ها - بهینه‌سازی درصد هوای اضافی ورودی به محفظه احتراق کوره و کنترل کیفیت شعله ۲- احداث خط تولید میلگرد فولادی در مجاورت پایین دست خط تولید شمش‌های فولاد و بطور کلی عدم صدور مجوز احداث خط تولید میلگرد و سایر محصولات فولادی تهیه شده از شمش‌های فولادی در غیر از مجاورت کارخانه‌های تولید شمش فولادی
۵	شیشه	نوسازی کوره ذوب - بهبود راندمان حرارتی کوره ذوب - نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP) - کنترل دمای بهینه در کوره - بهینه‌سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین هوای گرم مورد نیاز جهت لهرها، سالن‌های تولید و اتاق پرسنل - بهینه‌سازی درصد هوای اضافی ورودی به محفظه احتراق کوره و کنترل کیفیت شعله
۶	مواد غذایی	بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش آب ورودی به بویلرها و هوای ورودی به کوره - نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP) - بهینه‌سازی درصد هوای اضافی ورودی به محفظه احتراق کوره و کنترل کیفیت شعله - تبدیل برج خنک‌کن آب کندانسور از نوع تر به نوع خشک - تصفیه بی‌هوازی فاضلاب صنعتی و جمع‌آوری بیوگاز
۷	آهک و کربنات	بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی - عایق کاری دقیق و کامل کوره و مسیرهای سوخت‌رسانی و هوای گرم - استفاده از تجهیزات با راندمان الکتریکی بالاتر - نصب و راه‌اندازی تسمه نقاله جهت انتقال مواد خام از معادن به جای کامیون‌ها - نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP)
۸	نساجی	بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش آب و هوای ورودی به بویلر و تامین آب گرم مصرفی - نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP)
۹	کاغذ و کارتن	بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش آب و هوای ورودی به بویلر و تامین آب گرم مصرفی - نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP)
۱۰	آسفالت	بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی - عایق کاری دقیق و کامل کوره و مسیرهای سوخت‌رسانی و هوای گرم
۱۱	مواد شیمیایی	بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی - عایق کاری دقیق و کامل کوره و مسیرهای سوخت‌رسانی و هوای گرم - استفاده از تجهیزات با راندمان الکتریکی بالاتر - نصب و راه‌اندازی تسمه نقاله جهت انتقال مواد خام از معادن به جای کامیون‌ها - نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان (CHP)
۱۲	آلومینیوم	بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی - عایق کاری دقیق و کامل کوره و مسیرهای سوخت‌رسانی و هوای گرم
۱۳	ریخته‌گری	جایگزینی کوره‌های القایی الکتریکی به جای کوره‌های سوخت فسیلی - بهینه سازی بازیافت انرژی حرارتی از گازهای داغ حاصل از احتراق جهت پیش گرمایش مواد خام و هوای ورودی به کوره و تامین آب گرم مصرفی

دولت از واحدهای تولیدی می‌توان راهکارهای گران قیمت نظیر جایگزینی کوره‌های سستی با کوره‌های پیشرفته و کاملاً هوشمند، مدرن و نوسازی دیگ‌های مولد بخار، استفاده از تجهیزات با راندمان الکتریکی بالاتر، نصب و استفاده از سامانه‌های تولید همزمان گرما و توان و احداث خط تولید برخی محصولات در مجاورت خط تولید صنایع بالادستی را به کار گرفت.

تشکر و قدردانی

از سازمان صنعت، معدن و تجارت استان همدان به جهت حمایت‌های مادی و معنوی از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Daneshi, A., Esmaili-Sari, A., Daneshi, M. and Baumann, H., 2014. Greenhouse gas emissions of packaged fluid milk production in Tehran. *Journal of cleaner Production*, 80, pp.150-158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.057>
- Dodman, D., 2009. Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. *Environment and urbanization*, 21(1), pp.185-201.
- Dorostkar Ahmadi, N. and Dehghani, A., 2020. Identifying and Ranking Environmental Destructive Economic Sectors Based on the Amount of Greenhouse Gas Emission by Shannon Entropy-VIKOR Approach (Case study: Iran: 1388-1392). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(4), pp.41-53. [In Persian]
- Ghadaksaz, H. and Saboohi, Y., 2020. Energy supply transformation pathways in Iran to reduce GHG emissions in line with the Paris Agreement. *Energy Strategy Reviews*, 32, p.100541. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100541>
- Hertwich, E.G. and Wood, R., 2018. The growing importance of scope 3 greenhouse gas emissions from industry. *Environmental Research Letters*, 13(10), p.104013. doi 10.1088/1748-9326/aae19a
- Javadi, P., Yeganeh, B., Abbasi, M. and Alipourmohajer, S., 2021. Energy assessment and greenhouse gas predictions in the automotive manufacturing industry in Iran. *Sustainable Production and Consumption*, 26, pp.316-330. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.014>
- Jiang, P., Khishgee, S., Alimujiang, A. and Dong, H., 2020. Cost-effective approaches for reducing carbon and air pollution emissions in the power industry in China. *Journal of environmental management*, 264, p.110452. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.057>
- Kachoe, M.S., Salimi, M. and Amidpour, M., 2018. The long-term scenario and greenhouse gas effects cost-benefit analysis of Iran's electricity sector. *Energy*, 143, pp.585-596. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.049>
- Kashefi, K., Nodle, T., Goodarzvand-Chegini, F., Zajakaniha, F. and Asghar Mahjoubi, A., 2019. Estimation of Greenhouse Gas Emissions in two Refineries of Hasheminejad and Fajr Jam and Providing Operational Solutions to Reduce Emissions. *Iranian Journal of Gas Engineering*, 5(2), pp.68-80. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25885251.1397.5.2.6.1> [In Persian]
- Kashefi, K., Seif, S.S., Yousefzadegan, M.S., GhasemiKafrudi, E., Mardehdi, M. and Tasbundi, M., 2018. Evaluation of Greenhouse Gases Emission Inventory in Iranian Gas Transmission Facilities and Pipeline. *Iranian Journal of Gas Engineering*, 5(1), pp.63-71. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25885251.1397.5.1.6.9> [In Persian]
- Kennedy, C., Steinberger, J., Gasson, B., Hansen, Y., Hillman, T., Havranek, M., Pataki, D., Phdungsilp, A., Ramaswami, A. and Mendez, G.V., 2009. Greenhouse gas emissions from global cities. <https://doi.org/10.1021/es900213p>
- Kouyakh, N.R. and Shavvalpour, S., 2021. The driving forces of energy consumption and carbon dioxide emissions in Iran's electricity sector: a decomposition analysis based on types of ownership. *Cleaner Environmental Systems*, 2, p.100012. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100012>

- Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M. and Nejadsoleymani, H., 2019. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), pp.1-10. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3>
- Mc Geough, E.J., Little, S.M., Janzen, H.H., McAllister, T.A., McGinn, S.M. and Beauchemin, K.A., 2012. Life-cycle assessment of greenhouse gas emissions from dairy production in Eastern Canada: A case study. *Journal of Dairy Science*, 95(9), pp.5164-5175. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5229>
- Mengel, M., Nauels, A., Rogelj, J. and Schleussner, C.F., 2018. Committed sea-level rise under the Paris Agreement and the legacy of delayed mitigation action. *Nature communications*, 9(1), p.601. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1118288>
- Nabavi, V., Azizi, M., Tarmian, A. and Ray, C.D., 2020. Feasibility study on the production and consumption of wood pellets in Iran to meet return-on-investment and greenhouse gas emissions targets. *Renewable energy*, 151, pp.1-20. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.140>
- Nayeb, H., Mirabi, M., Motiee, H., Alighardashi, A. and Khoshgard, A., 2019. Estimating greenhouse gas emissions from Iran's domestic wastewater sector and modeling the emission scenarios by 2030. *Journal of Cleaner Production*, 236, p.117673. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117673>
- Nejat, P., Jomehzadeh, F., Taheri, M.M., Gohari, M. and Majid, M.Z.A., 2015. A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). *Renewable and sustainable energy reviews*, 43, pp.843-862. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>
- Pakdel, A., Ayatollahi, H. and Sattary, S., 2021. Embodied energy and CO2 emissions of life cycle assessment (LCA) in the traditional and contemporary Iranian construction systems. *Journal of Building Engineering*, 39, p.102310. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102310>
- Pakrooh, P., Hayati, B., Pishbahar, E., Nematian, J. and Brännlund, E.R., 2020. Focus on the provincial inequalities in energy consumption and CO2 emissions of Iran's agriculture sector. *Science of the Total Environment*, 715, p.137029. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137029>
- Qaderi, F., Asadi, P., Tamadoni, A. and Azizi, M., 2018. Evaluation of sustainability of development in zone 22 of Tehran by ecological footprint method. *Geography and Development*, 16(50), pp.231-245. <https://doi.org/10.22111/gdij.2018.3575>
- Sadeghzadeh, K., and Mohammadi, S., 2026. Policies and Strategies for Mitigation of Greenhouse Gases Emissions in Agricultural Sector of Iran. *Journal of Agricultural Economics & development*, <https://doi.org/10.22067/jead.2026.96168.1395> [In Persian]
- Turner, R.K., Pearce, D.W. and Bateman, I., 1993. *Environmental economics: an elementary introduction*. Johns Hopkins University Press.
- Udara Willhelm Abeydeera, L.H., Wadu Mesthrige, J. and Samarasinghalage, T.I., 2019. Global research on carbon emissions: A scientometric review. *Sustainability*, 11(14), p.3972. <https://doi.org/10.3390/su11143972>
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C. and Meida, L.O., 2001. Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual review of energy and the environment*, 26(1), pp.303-329. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.303>
- Xi-Liu, Y.U.E. and Qing-Xian, G.A.O., 2018. Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions. *Advances in Climate Change Research*, 9(4), pp.243-252. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2018.12.003>