

## عملکرد محیط‌زیستی بخش انرژی کشور (بررسی انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در طول سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۲)

مجتبی جوکار<sup>۱</sup>، زهرا السادات رضوی دینانی<sup>۲\*</sup>

۱ دانشجوی دکتری آلودگی‌های محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران  
۲ دانشجوی دکتری آلودگی‌های محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۹؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۴/۲۶)

### چکیده

در این مطالعه بر اساس ترازنامه‌های انرژی منتشر شده کشور طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲، وضعیت عرضه و مصرف انرژی کشور و ارتباط آن با انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای  $CH_4$ ،  $CO_2$ ،  $CO$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$  و ذرات معلق (SPM) توسط تحلیل‌های آماری بررسی شد. مقایسه وضعیت انرژی ایران بین سال‌های مذکور نشان داد به‌طور متوسط عرضه کل انرژی و مصرف آن به ترتیب با رشد سالیانه ۵/۹۷ و ۵/۷۵ درصد روبرو بوده است. در طی این سال‌ها روند انتشار  $CO_2$ ،  $CO$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$  نیز به ترتیب ۲/۸۷، ۴/۰۴، ۳/۹۵ و ۷/۲۶ درصد افزایش یافته است. نتایج نشان داد که بیشترین مصرف انرژی به ترتیب مربوط به خانگی، تجاری و عمومی، حمل‌ونقل، صنعت، نیروگاه، کشاورزی و پالایشگاه است. بخش حمل‌ونقل دارای بیشترین سهم در انتشار انواع گازها در میان بخش‌های مصرف‌کننده انرژی کشور است. همچنین، بخش خانگی، تجاری و عمومی علی‌رغم بالاترین میزان مصرف انرژی (۵۲/۴۶٪) در بین منابع مصرف‌کننده دارای کمترین میزان آلودگی است (۲۰٪) ولی سهم قابل‌ملاحظه‌ای در انتشار دی‌اکسید کربن دارد (۳۰٪). سیر صعودی تقاضا و مصرف انرژی و به تبع آن افزایش میزان انتشار آلاینده‌ها زنگ هشدار برای پیگیری‌های جدی و مستمر در زمینه مدیریت انرژی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده است. با تدوین برنامه‌ها و اقدام‌های کنترلی به‌خصوص در زمینه به‌کارگیری انرژی‌های پاک، اصلاح سوخت‌های مصرفی، نظارت و پایش مداوم بر میزان مصرف انرژی می‌توان در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی قدم برداشت.

**کلیدواژه‌ها:** عرضه و تقاضای انرژی، گازهای آلاینده و گلخانه‌ای، بخش‌های مصرف‌کننده انرژی، مدیریت انرژی، محیط‌زیست

## سرآغاز

می‌دهد نفت خام و گاز طبیعی بیشترین بخش تولید انرژی اولیه کشور را بر عهده داشته‌اند به طوری که سهم نفت خام و گاز طبیعی بیش از ۹۹ درصد و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، هسته‌ای و زغال‌سنگ کمتر از ۱ درصد بوده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۱).

در بین مصرف‌کنندگان انرژی هم بخش‌های خانگی و تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی به ترتیب بیشترین سهم را در ایران دارند که این امر ضرورت سرمایه‌گذاری زیاد در بخش انرژی را بیش از پیش مشخص می‌کند (جوکار و همکاران، ۱۳۹۳؛ بهرامی و توکلی، ۱۳۸۳). وجود منابع غنی انرژی در کشور سبب افزایش نسبی استانداردهای زندگی و گسترش سریع توسعه اقتصادی و اجتماعی شده و موقعیت خاصی را برای ایران در میان سایر کشورها به وجود آورده است. اما این منابع در کنار مزایای زیاد مشکلات قابل توجهی نیز به همراه دارند که یکی از مهم‌ترین این مشکلات انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در فرآیند تولید، فرآوری، انتقال و مصرف آن‌ها است. از جمله این گازها می‌توان اکسیدهای نیتروژن ( $\text{NO}_x$ )<sup>(۱)</sup>، اکسیدهای سولفور ( $\text{SO}_x$ )<sup>(۲)</sup>، مونوکسید کربن ( $\text{CO}$ )<sup>(۳)</sup> و ذرات معلق ( $\text{SPM}$ )<sup>(۴)</sup> به‌عنوان آلاینده‌های اصلی هوا و دی‌اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ )<sup>(۵)</sup> و متان ( $\text{CH}_4$ )<sup>(۶)</sup> به‌عنوان گازهای گلخانه‌ای را نام برد. امروزه آلودگی هوا به همراه گرمایش جهانی حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله اصلی‌ترین بحران‌های جوامع بشری به‌ویژه در شهرهای بزرگ و صنعتی محسوب می‌شود که اثرات مخرب بهداشتی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی به دنبال دارد. تشکیل باران‌های اسیدی، حضور ترکیبات سمی و سرطان‌زا در برخی از آلاینده‌های اتمسفری، افزایش بیماری‌های تنفسی، اختلال در سیستم اعصاب مرکزی، کاهش بینایی و حتی مرگ انسان‌ها و سایر موجودات از مهم‌ترین پیامدهای جبران‌ناپذیر محیط زیستی و بهداشتی حاصل از آلودگی هوا است. در کنار آن افزایش دمای کره زمین و به‌تبع آن خشکسالی، شیوع انواع بیماری‌ها و کاهش تنوع زیستی به‌واسطه انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز جهان را در آستانه یک فاجعه بزرگ انسانی قرار داده است. بنابراین، امروزه پیشگیری و کنترل آلودگی محیط‌زیست به‌خصوص آلودگی هوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (محمدی نائینی، ۱۳۸۳؛ Van Vliet et al., 2013 ; IEA, 2013). بنابراین لازم است برای آینده محیط‌زیست کشور تدابیر مناسبی اندیشیده شود تا بر اساس اصول توسعه پایدار علاوه بر نسل حاضر آیندگان نیز از

سه عنصر انسان، انرژی و محیط‌زیست نقشی اساسی در ایجاد تغییر و تحول در زندگی بشر دارند. انسان برای دستیابی به رفاه بیشتر عموماً انرژی بیشتری را مصرف می‌کند که نتیجه آن آلودگی بیشتر محیط‌زیست است، بنابراین ارتباط نزدیکی بین انرژی، محیط‌زیست و اقتصاد در هر کشوری وجود دارد و تصمیم‌گیرندگان در کشورها بر روی این سه حوزه تأکید زیادی دارند (دولت‌شاهی و طهماسبی آشتیانی، ۱۳۸۹). در این میان، پرداختن به موضوع انرژی و آلودگی محیط‌زیست در ایران به‌واسطه این که کشوری وسیع، پرجمعیت و در حال توسعه است و دارای منابع غنی انرژی است امری ضروری است. به‌طور کلی منابع اصلی تولید انرژی را می‌توان در شش دسته نفت، گاز، زغال‌سنگ، انرژی هسته‌ای، انرژی آبی و انرژی‌های تجدیدپذیر طبقه‌بندی نمود. در میان این شش منبع انرژی، ایران با داشتن منابع غنی نفت و گاز و گذرگاه کشتی‌های نفتی نقش مهمی در جریان انرژی دنیا دارد (Do11ng et al., 2012؛ فطرس و نسرين دوست، ۱۳۸۸؛ Katircioglu, 2014).

بر اساس گزارش سال ۲۰۱۴ شرکت نفت بریتانیا، ایران با در اختیار داشتن ۹/۳ درصد منابع نفتی جهان پس از کشورهای ونزوئلا، عربستان سعودی و کانادا در جایگاه چهارم دنیا قرار دارد. اما بیشترین ذخایر گازی جهان در اختیار کشور ما قرار دارد و ایران با داشتن ۱۸/۲ درصد منابع گاز جهان در رتبه نخست قرار دارد. پس از ایران کشورهای روسیه، قطر، ترکمنستان و آمریکا در رده‌های بعد هستند. این گزارش همچنین نشان می‌دهد ایران با سهم ۴ درصد در تولید نفت و ۴/۹ درصد در تولید گاز به ترتیب در جایگاه ششم و سوم دنیا قرار دارد. اما ایران از لحاظ منابع زغال‌سنگ و تولید آن جایگاه خاصی در دنیا ندارد باوجوداینکه زغال‌سنگ در برخی از کارخانه‌های موجود در کشور بسیار مورد استفاده است. بر اساس این گزارش در منطقه خاورمیانه تنها کشوری که در چرخه انرژی خود از انرژی هسته‌ای نیز استفاده می‌کند ایران است. به لحاظ تولید برق آبی و سوخت زیستی سهم ایران به ترتیب ۰/۴ درصد و ۰/۵ درصد بوده است درحالی‌که از نظر تولید سایر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند انرژی باد، خورشیدی، امواج و ...) جایگاه خاصی برای کشور وجود ندارد (British Petroleum Company, 2009). در بعد داخلی نیز تحولات انرژی در ۳۰ سال گذشته نشان

ادامه، برای نشان دادن نقش و جایگاه انرژی در تولید آلاینده‌ها از ابزارها و تجزیه و تحلیل‌های آماری استفاده شد. برای این منظور در ابتدا آزمون کولموگروف-اسمیرنف<sup>(۱۰)</sup> جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سپس ارتباط بین میزان عرضه و مصرف انرژی با انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۰ توسط همبستگی پیرسون بررسی شد. همچنین سهم بخش‌های مصرف‌کننده انرژی شامل خانگی، تجاری و عمومی، صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل، نیروگاه و پالایشگاه در تقاضا و مصرف انرژی و به دنبال آن انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در طول سال‌های مذکور توسط آنالیز واریانس یک‌طرفه<sup>(۱۱)</sup> و آزمون مقایسه میانگین توکی<sup>(۱۲)</sup> مشخص شد. از آنالیز مؤلفه‌های اصلی<sup>(۱۳)</sup> برای بررسی سهم گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در کل انتشارات حاصل از مصرف انرژی و همچنین به‌عنوان ابزار کمکی در شناسایی منابع انتشار آلاینده‌ها استفاده شد. کلیه آنالیزها با نرم‌افزار SPSS19 انجام گرفت.

### یافته‌ها

در این بخش ابتدا وضعیت عرضه و مصرف انرژی در کشور در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۰ ارائه شده است، سپس با بررسی وضعیت روند انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای حاصل از مصرف انرژی در طی سال‌های مذکور، نقش انرژی در کاهش کیفیت هوا و افزایش نگرانی‌ها پیرامون موضوع گرمایش جهانی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. در نهایت با معرفی بخش‌های اصلی مصرف‌کننده انرژی و تعیین سهم آن‌ها در انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای راه‌کارهایی جهت حل این معضل محیط‌زیستی در بخش انرژی کشور پیشنهاد شده است.

### • عرضه و مصرف انرژی در کشور

اطلاعات مربوط به عرضه و مصرف انرژی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ ارائه شده است (جدول ۱). عرضه انرژی اولیه و مصرف آن در طول این سال‌ها به ترتیب با رشد حدود ۵/۹۷٪ و ۵/۷۵٪ درصد روبرو بوده است. مهم‌ترین حامل‌های انرژی کشور شامل نفت خام، گاز طبیعی، زغال‌سنگ و انرژی‌های تجدیدپذیر است که روند تولید این حامل‌ها نیز در سال‌های مذکور مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت (شکل ۱). همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین انواع حامل‌های انرژی، نفت خام بالاترین میزان تولید را در

این نعمت استفاده نمایند. همان‌طور که در منابع مختلف علمی ذکر شده است مصرف انرژی یکی از عوامل اصلی ایجاد آلودگی هوا در جهان و در کشور ما است. حتی گاهی چنین بیان می‌شود که هر چه مصرف انرژی بیشتر باشد انتشار آلودگی نیز بیشتر است. اما با تأملی دقیق این مسئله روشن می‌شود که با وجود ارتباط بین این دو عامل نمی‌توان این ارتباط را به‌صراحت بیان نمود و لازم است جنبه‌های مختلف مصرف انرژی و نتایج ناشی از آن را بر محیط‌زیست با دقت بیشتری مورد بررسی قرار داد. بنابراین در این پژوهش تلاش شده است با توجه به منابع و اسناد معتبر در کشور بخصوص ترازنامه‌های انرژی سال‌های ۸۰ تا ۹۲ به این سؤال پاسخ داده شود که آیا رابطه مستقیمی بین مصرف انرژی با انتشار آلاینده‌ها وجود دارد یا خیر. از طرفی مشخص نمود که عملکرد محیط‌زیستی بخش انرژی کشور طی سال‌های مختلف به چه صورت بوده و بر اساس آنچه راه‌کارهایی را برای بهبود وضعیت موجود می‌توان ارائه کرد.

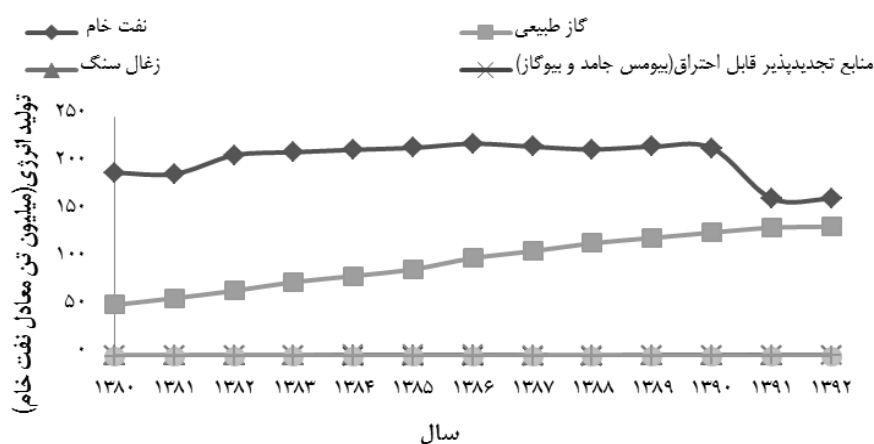
### روش انجام کار

این تحقیق بر مبنای ترازنامه‌های انرژی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ کشور که توسط دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو منتشر شده است، انجام گرفت. این ترازنامه‌ها بر اساس اسناد بالادستی کشور، استانداردها و مفاهیم بین‌المللی و توافق سه ارگان بین‌المللی شامل آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)<sup>(۷)</sup>، سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)<sup>(۸)</sup> و اداره آمار جوامع اروپایی (Eurostat)<sup>(۹)</sup> تهیه شده است. در تهیه این گزارش دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی حوزه معاونت برق و انرژی، ۵۵ سازمان و ارگان مرتبط و بیش از ۱۲۰ کارشناس و پژوهشگر بخش انرژی فعالیت داشته‌اند. قالب این ترازنامه‌ها بر اساس قالب بین‌المللی منتشر شده در کشورهای عضو OECD تهیه شده است به طوری که جداول تراز به‌صورت ماتریسی از بخش‌های مختلف عرضه انرژی اولیه، ثانویه (بخش تبدیلات) و نهایی و همچنین انواع حامل‌های انرژی می‌باشد. برای انجام این پژوهش، ابتدا آمارهای ارائه شده از وضعیت تولید، مصرف، انتقال، واردات و صادرات منابع اصلی انرژی یعنی نفت، گاز، زغال‌سنگ، انرژی هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مصرف نهایی انرژی در بخش‌های خانگی تجاری عمومی، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی به تفکیک هریک از حامل‌های انرژی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در

### • میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای

اطلاعات مربوط به انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای حاصل از مصرف انرژی شامل  $CH_4$ ،  $CO_2$ ،  $SPM$ ،  $CO$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$  سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ در زیر ارائه شده است (جدول ۱). میزان روند انتشار این گازها در مدت مذکور برای  $CO$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$ ،  $SPM$  به ترتیب حدود  $۷/۳۷$ ،  $۲/۸۷$ ،  $۴/۰۴$ ،  $۳/۹۵$ ،  $۷/۲۶$  درصد افزایش داشته است درحالی‌که میزان  $CH_4$   $۷/۳۷$  درصد کاهش یافته است.

طول این سال‌ها داشته است و از سال ۱۳۸۲ به بعد روند نسبتاً یکنواختی داشته و سپس میزان تولید آن در کشور کاهش یافته است. میزان تولید گاز طبیعی نیز در درجه دوم قرار داد و سایر حامل‌های انرژی کمترین میزان تولید را به خود اختصاص داده‌اند. در این میان سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی تولیدی کشور ۱٪ بوده است.



شکل (۱): روند تولید حامل‌های انرژی در طول سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۲

جدول (۱): میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای (برحسب تن) ناشی از تولید و مصرف انرژی کشور

(برحسب میلیون تن معادل نفت خام) طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۰

سال	عرضه کل انرژی اولیه	کل مصرف نهایی انرژی	$NO_x$	$SO_2$	$CO$	$SPM$	$CO_2$	$CH_4$
۱۳۸۰	۱۲۸/۴	۸۶/۳	۹۹۴۲۲۴	۱۱۷۴۹۴۵	۵۹۸۹۱۳۷	۲۷۲۰۱۳	۳۰۲۳۱۵۶۴۵	۱۴۱۷۶۲۳
۱۳۸۱	۱۳۶/۳	۹۲/۸	۱۰۵۶۷۵۳	۱۱۶۷۰۴۴	۶۶۰۶۲۴۷	۲۸۵۸۹۴	۳۲۸۱۰۱۳۶۰	۱۵۴۳۸۵۰
۱۳۸۲	۱۴۴/۳	۹۸/۱	۱۱۱۱۲۴۸	۱۱۲۴۸۴۵	۷۳۸۸۷۵۶	۳۰۱۲۸۸	۳۳۳۴۶۳۹۵۵	۱۷۰۶۵۴۷
۱۳۸۳	۱۵۵/۶	۱۰۵/۳	۱۱۶۸۳۸۶	۷۱۳۱۴۳	۷۹۵۶۶۴۳	۳۱۳۴۲۶	۳۵۶۰۹۷۰۲۵	۱۸۲۲۰۳۷
۱۳۸۴	۱۶۸/۴	۱۱۴/۰	۱۲۵۶۲۲۲	۷۶۸۱۷۹۳	۸۷۴۹۱۳۲	۳۳۵۱۴۸	۳۸۱۹۳۷۵۲۹	۱۹۸۱۷۰۵
۱۳۸۵	۱۸۱/۱	۱۲۴/۰	۱۳۴۶۵۷۱	۸۳۷۷۶۷	۹۶۱۹۴۶۶	۳۵۱۰۹۱	۴۲۱۰۴۴۶۹۹	۲۱۵۷۱۹۶
۱۳۸۶	۱۹۶/۴	۱۳۲/۹	۱۳۷۸۹۵۷	۱۴۲۴۹۷۳	۸۴۵۶۵۰۲	۳۶۷۲۳۹	۴۹۲۲۴۹۵۷	۴۳۰۰۱
۱۳۸۷	۲۰۵/۰	۱۳۴/۸	۱۸۰۸۵۵۳	۱۵۹۸۶۱۷	۸۹۷۳۶۲۸	۳۸۶۷۵۷	۵۲۳۲۹۳۶۱۷	۴۶۲۱۴
۱۳۸۸	۲۱۲/۷	۱۴۱/۳	۱۸۳۶۲۶۵	۱۶۷۸۰۷۸	۸۶۵۱۰۷۰	۳۹۳۳۹۹	۵۳۸۵۲۷۸۹۴	۵۰۳۱۴
۱۳۸۹	۲۱۱/۳	۱۴۱/۴	۱۸۰۵۸۲۳	۱۳۵۵۶۵۶	۸۲۰۱۲۲۳	۶۵۵۶۰۰	۵۳۲۳۳۴۸۴۳	۵۲۲۳۶
۱۳۹۰	۲۱۹/۰	۱۴۴/۹	۱۸۴۳۸۳۱	۱۴۲۵۸۰۰	۸۰۳۳۹۸۹	۳۹۳۰۵۵	۵۴۷۰۱۴۵۷۱	۵۲۳۰۷
۱۳۹۱	۲۱۹/۶	۱۴۴/۷	۱۸۶۱۳۷۴	۱۵۴۰۵۰۰	۸۵۲۳۷۵۲	۴۰۰۹۸۳	۵۵۶۸۶۶۴۴۲	۵۷۰۴۹
۱۳۹۲	۲۸۸/۱	۱۵۰/۸	۱۹۴۶۸۳۸	۱۶۱۲۸۲۳	۹۱۳۶۵۸۹	۴۱۱۵۱۶	۵۸۱۷۴۴۵۷۲۷	۵۹۱۸۱

### • نقش عرضه و مصرف انرژی در انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای

نتایج حاصل از بررسی همبستگی عرضه و مصرف انرژی با انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده در جدول (۲) نشان می‌دهد که در طول سال‌های ۸۰-۹۲ انتشار گازهای  $\text{NO}_x$ ،  $\text{CO}$ ،  $\text{SO}_2$ ،  $\text{CH}_4$  و  $\text{SPM}$  همبستگی بالایی با عرضه و مصرف انرژی دارد (در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد). از بین گازهای موجود، همبستگی معنی‌دار منفی بین  $\text{CH}_4$  و افزایش مصرف انرژی ( $p = 0/001$ ) و  $r = -0/795$  در طول این سال‌ها دیده می‌شود. در شکل (۲) با ترسیم اثر همبستگی بین عرضه و مصرف انرژی و انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای، روند تغییرات انتشار گازهای آلاینده ناشی از

عرضه و مصرف انرژی مشخص شد. هرچند در ابتدا تغییرات ناگهانی در روند صعودی انتشار  $\text{NO}_x$  (شکل ۲ الف)،  $\text{SO}_2$  (شکل ۲ ب) و  $\text{SPM}$  (شکل ۲ ج)  $\text{CO}_2$  (شکل ۲ د) و  $\text{CO}$  (شکل ۲ ه) با افزایش عرضه و مصرف انرژی مشاهده می‌شود اما سپس روند انتشار گازها ملایم می‌شود. این روند در مورد همبستگی  $\text{CH}_4$  با تغییرات عرضه و مصرف انرژی (شکل ۲ ی) صادق نیست به طوری که در ابتدا با افزایش عرضه و مصرف انرژی روند انتشار  $\text{CH}_4$  صعودی است و سپس با تغییر ناگهانی روند کاهشی در انتشار این آلاینده رو به رو هستیم که با رجوع به جدول (۱) این تغییر ناگهانی  $\text{CH}_4$  از سال ۸۶ به بعد است.

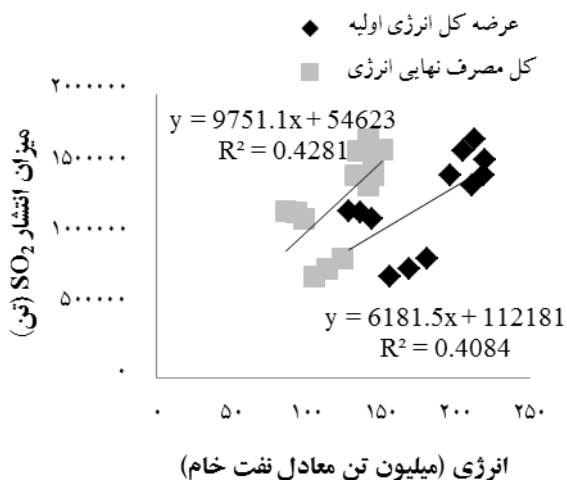
جدول (۲): همبستگی پیرسون بین انتشار آلاینده‌ها و عرضه و مصرف انرژی در طی سال‌های ۸۰-۹۲

آلاینده‌ها	آنالیز آماری	عرضه انرژی اولیه	مصرف انرژی
$\text{NO}_x$	ضریب همبستگی	** ۰/۹۶۸	** ۰/۹۵۵
	معنی‌داری	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱
$\text{SO}_2$	ضریب همبستگی	** ۰/۶۸۰	* ۰/۶۵۴
	معنی‌داری	۰/۰۱	۰/۰۱۵
$\text{CO}$	ضریب همبستگی	** ۰/۷۱۹	** ۰/۷۴۱
	معنی‌داری	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴
$\text{SPM}$	ضریب همبستگی	* ۰/۶۶۶	* ۰/۷۴۱
	معنی‌داری	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲
$\text{CO}_2$	ضریب همبستگی	** ۰/۹۹۳	** ۰/۹۸۷۸
	معنی‌داری	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱
$\text{CH}_4$	ضریب همبستگی	- ** ۰/۸۱۵	- ** ۰/۷۹۵
	معنی‌داری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
** در سطح ۹۹ درصد، * در سطح ۹۵ درصد			

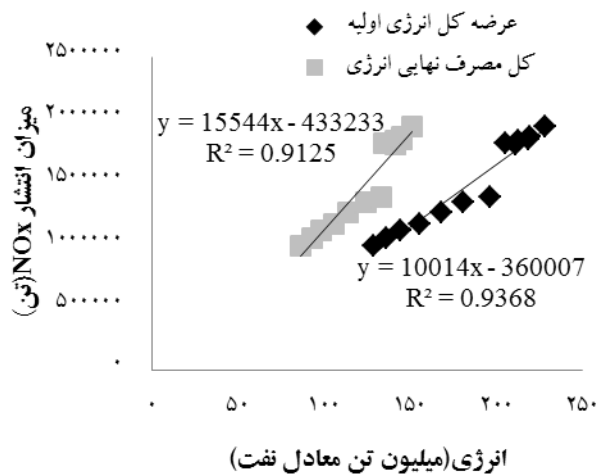
### • منابع اصلی مصرف کننده انرژی

اصلی‌ترین منابع مصرف کننده انرژی شامل خانگی - تجاری و عمومی، صنعت، کشاورزی، حمل و نقل، نیروگاه و پالایشگاه است که بسته به نوع فعالیت و تقاضا میزان مصرف انرژی متفاوت دارند. روند مصرف انرژی در منابع مختلف مصرف کننده در طول سال‌های ۸۰-۹۲ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل

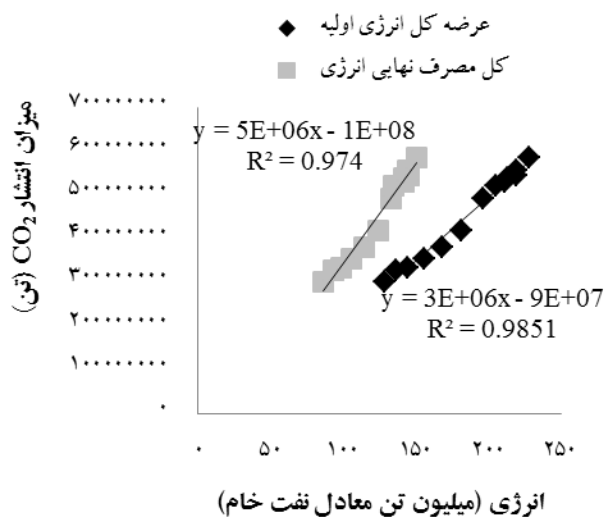
(۳) مشاهده می‌شود بخش خانگی، حمل و نقل، صنعت و نیروگاه از سال ۱۳۸۰ تا اواسط دهه با شیب نسبتاً تندی در حال افزایش است و بعد از آن روند ملایمی نشان می‌دهند. همچنین، بخش‌های کشاورزی و پالایشگاه در مقایسه با سایر مصرف کننده‌ها روند نسبتاً یکنواختی از لحاظ مصرف انرژی در طول این سال‌ها داشته‌اند.



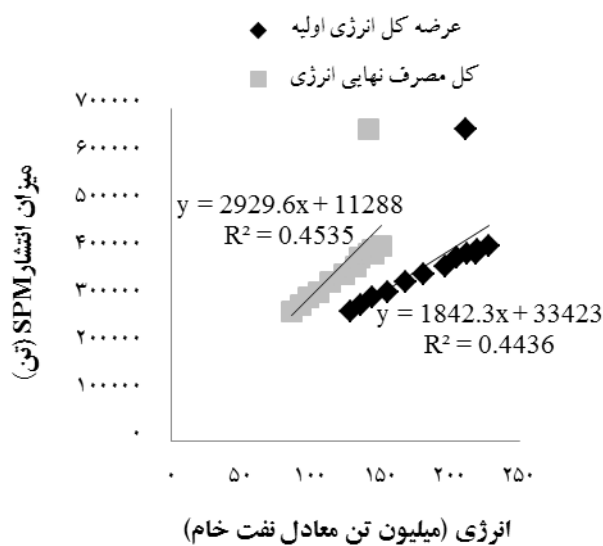
(ب)



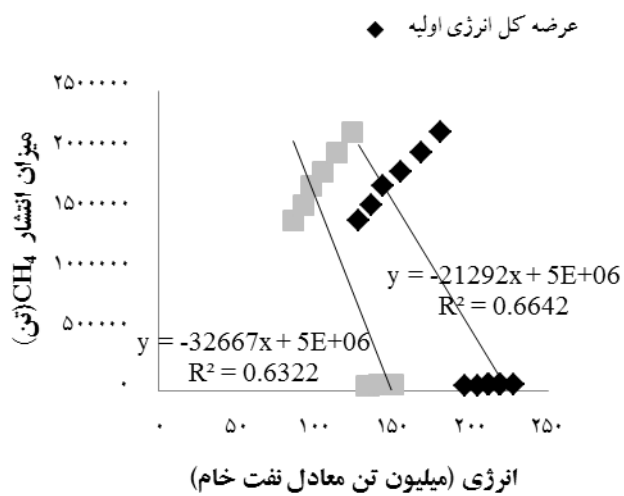
(ف)



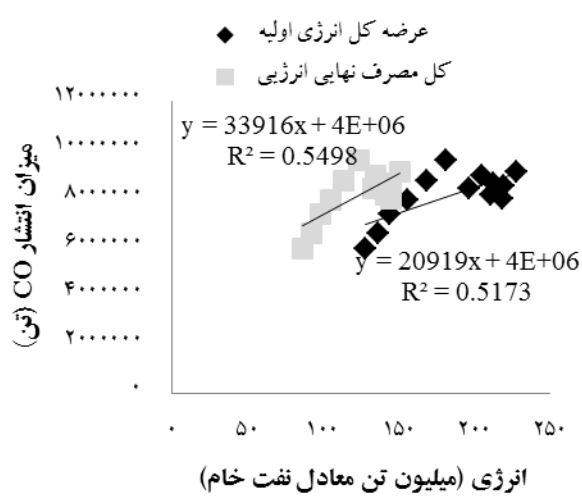
(د)



(ج)



(ی)



(ه)

شکل (۲): همبستگی عرضه و مصرف انرژی با میزان انتشار (الف) NO<sub>x</sub>، (ب) SO<sub>2</sub>، (ج) SPM، (د) CO<sub>2</sub>، (ه) CO و (ی) CH<sub>4</sub>



شکل (۳): روند مصرف انرژی در منابع مختلف مصرف کننده در طول سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۲

انرژی با سهم ۵۲/۴۶ میلیون تن معادل نفت خام (۳۳/۸۶٪) در مقایسه با سایر بخش‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد ( $p < 0/0001$ ) و بنابراین از لحاظ انرژی پرمصرف‌ترین بخش در ایران است. بعد از آن حمل‌ونقل، صنعت و نیروگاه در جایگاه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

با مقایسه مصرف انرژی در بین منابع مصرف کننده (جدول ۳) مشخص شد که در طول سال‌های مذکور بیشترین مصرف انرژی به ترتیب مربوط به بخش خانگی، تجاری و عمومی، حمل‌ونقل، صنعت، نیروگاه، کشاورزی و پالایشگاه است که از لحاظ آماری نیز معنی‌دار است ( $p < 0/0001$ ). بر اساس آنالیز مقایسه میانگین توکی بخش خانگی، تجاری و عمومی در مصرف

جدول (۳): مقایسه مصرف انرژی در بین بخش‌های مختلف مصرف کننده از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲

معنی داری	میزان مصرف (میلیون تن معادل نفت خام)	مصرف کننده‌های نهایی انرژی
$p < 0/0001$ R-q(adj) = ۸۹/۸۲٪	۵۲/۴۶ ± ۷/۷۲ (۳۳/۸۶٪)	خانگی، تجاری و عمومی
	۳۵/۳۷ ± ۵/۴۴ (۲۲/۸۳٪)	حمل و نقل
	۳۰/۴۸ ± ۸/۷۰ (۱۹/۶۸٪)	صنعت
	۲۸/۹۸ ± ۶/۳۰ (۱۸/۷۱٪)	نیروگاه
	۵/۳۱ ± ۰/۹۸ (۳/۴۳٪)	کشاورزی
	۲/۳۱ ± ۰/۶۹ (۱/۴۹٪)	پالایشگاه

در تولید و انتشار آلاینده‌ها به طور معنی داری متفاوت است ( $p < 0/0001$ ). بر این اساس اصلی‌ترین عامل انتشار آلاینده‌ها ناشی از مصرف انرژی در بخش‌های مصرفی به شرح زیر است:  
 NO<sub>x</sub>: حمل و نقل (۵۶/۲٪)، نیروگاه (۲۱/۵۷٪)؛  
 SO<sub>۲</sub>: نیروگاه (۳۳/۸۳٪)، حمل و نقل (۳۱/۱۹۳٪)، صنعت (۲۰/۴۵٪)

● سهم مصرف کننده‌های انرژی در انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای  
 سهم منابع مصرف کننده انرژی در انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای NO<sub>x</sub>، SO<sub>۲</sub>، CO، SPM، CO<sub>۲</sub> و CH<sub>۴</sub> بر اساس آنالیز واریانس یک طرفه بررسی شد که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود سهم منابع مختلف

و حمل‌ونقل (۲۴/۸۶٪)  
 CH<sub>4</sub>: حمل‌ونقل (۸۶/۶۸٪).

CO: حمل‌ونقل (۹۷/۸۹۲٪)؛  
 SPM: حمل‌ونقل (۷۸/۸۰٪)؛  
 CO<sub>2</sub>: نیروگاه (۲۷/۴۹٪)، خانگی، تجاری و عمومی (۲۷/۰۱٪).

جدول (۴): سهم بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده (درصد)

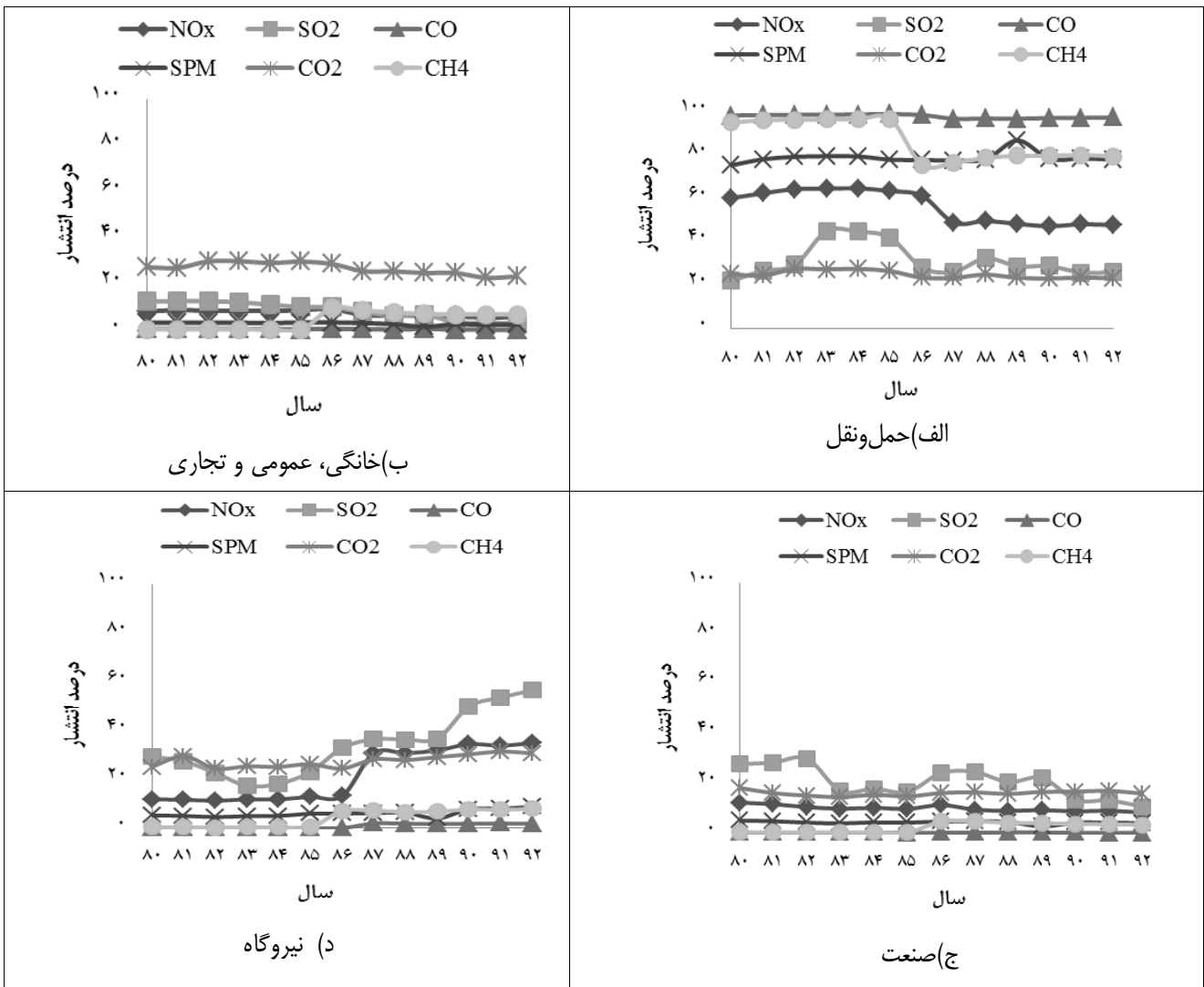
معنی‌داری	نیروگاه	پالایشگاه	حمل‌ونقل	کشاورزی	صنعت	خانگی، تجاری و عمومی	پارامتر
p<۰/۰۰۰۱	۲۱/۵۶±۱۰/۸۱	-	۵۶/۲۰±۷/۷۲	۴/۴۱±۰/۱۹	۹/۹۸±۱/۱۹	۷/۷۱±۱/۳۴	NO <sub>x</sub>
p<۰/۰۰۰۱	۳۳/۸۳±۱۲/۹۰	-	۳۱/۱۹±۷/۶۴	۵/۴۹±۱/۵۸	۲۰/۴۵±۶/۲۶	۸/۸۲±۳/۷۳	SO <sub>2</sub>
p<۰/۰۰۰۱	۱/۸۱±۰/۰۷۷	-	۹۷/۸۸±۰/۸۴	۰/۳۳±۰/۰۵	۰/۳±۰/۰۸	۰/۷۸±۰/۱۷	CO
p<۰/۰۰۰۱	۵/۹۵±۱/۴۶	-	۷۸/۸۰±۲/۶۳	۷/۶۱±۱/۲۰	۴/۳۷±۰/۵۸	۳/۱۷±۰/۵۴	SPM
p<۰/۰۰۰۱	۲۷/۴۹±۲/۵۲	۳/۵۷±۰/۷۷	۲۴/۸۶±۱/۷۵	۲/۶۰±۰/۲۸	۱۶/۰۵±۰/۹۹	۲۶/۹۹±۲/۵۲	CO <sub>2</sub>
p<۰/۰۰۰۱	۴/۰۲±۳/۶۲	۰/۷۹±۰/۱۸	۸۶/۶۸±۹/۲۷	۱/۸۶±۰/۵۹	۲/۴۰±۱/۹۷	۴/۵۵±۳/۸۴	CH <sub>4</sub>

انتشارات حاصل از مصرف انرژی شامل می‌گردند. مؤلفه دوم شامل آلاینده‌های SO<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> است و حدود ۱۸/۱۳٪ تغییرات واریانس را توجیه می‌کنند. توزیع شماتیک وزن‌های دو مؤلفه اصلی در شکل (۵) ارایه شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود که برای مؤلفه اول CO،NO<sub>x</sub>، SPM، CH<sub>4</sub> دارای بیشترین فاصله از خط تبیین‌کننده مؤلفه اول هستند و با دارا بودن بیشترین وزن در مؤلفه اول سهم بیشتری را به خود اختصاص دادند و پارامترهایی مثل SO<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> در مؤلفه اول دارای کمترین وزن‌ها بودند اما در مؤلفه دوم سهم بیشتری را نسبت به سایر پارامترها نشان دادند. قرار گرفتن این آلاینده‌ها در مؤلفه‌های ۱ و ۲ می‌تواند سهم منابع اصلی انتشار آن‌ها را مشخص کند. بر اساس این آنالیز، همبستگی بالای گازهای آلاینده و گلخانه‌ای CO،NO<sub>x</sub>، SPM، CH<sub>4</sub> با مؤلفه اول بیانگر آن است که منابع تقریباً یکسانی در انتشار این آلاینده‌ها سهیم هستند. همبستگی بین گازهای آلاینده مثل SO<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> با مؤلفه‌های اول و دوم نیز وجود منابع مختلف را در انتشار این آلاینده‌ها توجیه می‌کند. بنابراین همان‌طور که از نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آزمون تجزیه واریانس مشخص شد بخش منابع متحرک همچون حمل‌ونقل سهم به‌سزایی در انتشار آلاینده‌های CO،NO<sub>x</sub>، SPM، CH<sub>4</sub> دارد و سهم منابع ثابت مثل نیروگاه، صنایع و بخش خانگی، تجاری و عمومی در انتشار گازهایی مثل SO<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> بیشتر است (وزارت نیرو، ۱۳۸۹-۱۳۸۹).

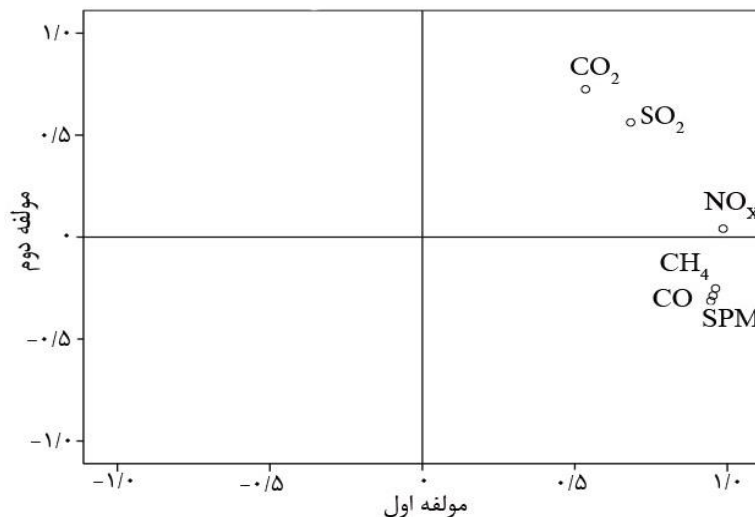
به‌منظور بررسی دقیق‌تر وضعیت انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در بخش‌های پرمصرف و شناسایی عوامل اصلی منتشرکننده این گازها، روند انتشار این گازها در چهار بخش حمل‌ونقل، صنعت، نیروگاه خانگی، تجاری و عمومی (اصلی‌ترین منابع مصرف‌کننده انرژی بر اساس جدول ۳) در طی سال‌های مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در سه بخش حمل‌ونقل، خانگی و صنعت در چند سال گذشته روند ثابت یا نزولی در پیش‌گرفته‌اند اما در بخش نیروگاه انتشار آلاینده SO<sub>2</sub> از سال ۸۹ تا ۹۲ روند صعودی در پیش‌گرفته است (۳۶/۷٪ تا ۵۶/۴۶٪) و آلاینده NO<sub>x</sub> نیز از سال ۸۶ با یک جهش شدید (۱۳/۱۵٪ تا ۳۰/۷٪) روند تقریباً یکنواختی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، از آنالیز مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان یک روش کمکی برای منشاییابی انتشار گازها در بخش انرژی استفاده شد که نتایج آن در جدول (۵) ارایه شده است. آنالیز مؤلفه اصلی منجر به ۲ مؤلفه اصلی شد که وزن پارامترها در هر مؤلفه در جدول ارایه شده است. وزن‌های ارایه شده در جدول به نحوی نشان‌دهنده ضریب همبستگی بین مؤلفه و عنصر موردنظر هستند. بر اساس این آنالیز دو مؤلفه اصلی حدود ۹۲/۳۳ درصد تغییرات را توجیه می‌کند. در مؤلفه اول CO،NO<sub>x</sub>، SPM، CH<sub>4</sub> وزن بیشتری (بیش از ۰/۷) را به خود اختصاص دادند و در یک گروه قرار می‌گیرند. این آلاینده‌ها سهمی بیش از ۷۴/۲۱٪ را در کل



(Bayat et al., 2012؛ ۱۳۸۰)



شکل (۴): روند انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در اصلی‌ترین منابع مصرف‌کننده انرژی



شکل (۵): توزیع شماتیک وزن عناصر مختلف در مؤلفه اول و دوم

## جدول (۵): وزن‌های محاسبه‌شده برای مؤلفه‌های اصلی

آلاینده‌ها	مؤلفه‌ها	
	۱	۲
NO <sub>x</sub>	۰/۹۸۶	۰/۰۴۱
SO <sub>2</sub>	۰/۶۸۳	۰/۵۶۲
CO	۰/۹۵۳	-۰/۲۸۷
SPM	۰/۹۴۶	-۰/۳۱۴
CO <sub>2</sub>	۰/۵۳۵	۰/۷۲۵
CH <sub>4</sub>	۰/۹۶۱	-۰/۲۵۲

## بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه وضعیت انرژی ایران بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که جمع عرضه انرژی اولیه با رشد سالیانه ۵/۹۷ درصد از ۱۲۸/۴ میلیون تن معادل نفت خام در سال ۸۰ به ۲۲۸/۰۶ در سال ۹۲ رسیده است و کل مصرف نهایی انرژی با رشد ۵/۷۵ درصد از ۸۶/۳ به ۱۵۰/۸۲ افزایش یافته است. با چنین رشدی در مصرف نهایی انرژی، بهینه‌سازی در عرضه و تقاضای انرژی امری ضروری است که باید با شدت دنبال شود زیرا طی این دوره میزان صادرات انرژی از ۱۲۲/۸ میلیون تن معادل نفت خام به ۸۹/۵ میلیون تن معادل نفت خام و میزان واردات از ۷/۱۴ میلیون تن معادل نفت خام در سال ۱۳۸۰ به ۸/۲ میلیون تن معادل نفت خام تغییر یافته است که این روند امنیت انرژی را در کشور به خطر انداخته و موجب وابستگی به خارج می‌شود. افزایش نرخ عرضه و مصرف انرژی در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ بیانگر رشد متوسط سرانه تقاضای انرژی و به عبارتی عدم مدیریت تقاضای انرژی است. این عدم مدیریت در طی سال‌های مورد بررسی می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد. از جمله آن که در سیاست‌گذاری انرژی در ایران برای دو وزارتخانه مدعی مدیریت انرژی شامل وزارت نیرو (مدیریت انرژی الکتریکی) و وزارت نفت (مدیریت انرژی فسیلی) عملاً امکان سیاست‌گذاری و پیاده‌سازی برنامه جامع انرژی وجود ندارد. معمولاً فعالیت این وزارتخانه‌ها به صورت موازی است ولی نیاز به بررسی دیدگاه حاکم در مورد نقش و میزان دخالت آن‌ها در مدیریت انرژی احساس می‌شود. در بسیاری از کشورهای صنعتی به دلیل آزاد

بودن قیمت انرژی و سهم بالای آن در هزینه‌های تولید، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها برای صنایع از اولویت‌های اصلی به شمار می‌رود. ولی متأسفانه یکی دیگر از مشکلات در مدیریت انرژی در ایران اداره صنایع قدیمی و پرمصرف انرژی توسط دولت است. به دلیل هزینه خیلی پایین انرژی، مدیران صنایع رغبت زیادی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ندارند (زوار حسینی، ۱۳۹۰). به‌رحال پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تقاضا برای انرژی اولیه در ایران روند صعودی خواهد داشت و سوخت‌های فسیلی شامل نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ همچنان سهم غالب را در تقاضای انرژی اولیه خواهند داشت و باوجود شرایط خاص جغرافیایی و تنوع بالای اقلیمی و به‌تبع آن ظرفیت بسیار بالا برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک در ایران به خصوص انرژی خورشیدی و بادی، میزان بهره‌گیری از این انرژی‌ها در کشور ناچیز است (وزارت نیرو، ۱۳۸۰). شاید یکی از دلایل آن وجود ذخایر غنی نفت و گاز در کشور باشد. به‌رحال این ذخایر همیشگی نیستند و دیر یا زود تمام خواهند شد بنابراین لزوم توجه هر چه بیشتر به انرژی‌های تجدیدپذیر به‌منظور کاهش بار آلودگی حاصل از مصرف انرژی کاملاً احساس می‌شود.

نکته قابل‌توجه در مدیریت مصرف انرژی این است که افزایش مصرف حامل‌های انرژی و برق در کشور در راستای توسعه و تغییر شرایط زندگی و رفاه اجتماعی به‌خصوص در بخش‌های خانگی، تجاری و عمومی، حمل‌ونقل، صنعت و نیروگاه منجر به افزایش روند صعودی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده همچون NO<sub>x</sub>، SO<sub>2</sub>، CO<sub>2</sub>، SPM و CO<sub>2</sub> شده است. هرچند همبستگی متوسط معنی‌دار منفی بین CH<sub>4</sub> و افزایش مصرف انرژی در طول سال‌های ۸۰ تا ۹۲ مشاهده شد که احتمالاً مربوط به پیشرفت‌ها در زمینه بهبود کیفیت سوخت‌های مصرفی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در طی این سال‌ها است. خوشبختانه نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که مصرف انرژی در سال‌های اخیر در بخش‌های پرمصرف روند نسبتاً کندی در پیش گرفته است و توجه به سمت بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در حال افزایش است.

در بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۰ بیشترین مصرف انرژی به ترتیب مربوط به خانگی، تجاری و عمومی، حمل‌ونقل، صنعت، نیروگاه، کشاورزی و پالایشگاه است. مطالعات مشابه نیز نشان می‌دهد

حاضر نیز سهم این سه منبع را در انتشار گازهای گلخانه‌ای حدود ۸۰٪ نشان می‌دهد.

برای بررسی و درک عمیق‌تر ارتباط بین انرژی و انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای باید به نوع انرژی مصرفی در این بخش‌ها توجه نمود. به‌طور کلی نوع سوخت مصرفی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده سهم قابل‌توجهی در انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای دارند، به‌طوری‌که در بخش‌های خانگی، تجاری و عمومی انواع سوخت‌های جامد، مایع و گاز مصرف می‌شود. این بخش به‌تنهایی بیشترین مصرف‌کننده نفت سفید در کشور بوده و حدود ۹۷/۲٪ از کل مصرف انرژی این فرآورده در کشور مربوط به این بخش است. با این حال، بیشترین میزان انتشار  $\text{NO}_x$ ،  $\text{CO}_2$  و  $\text{CH}_4$  در بخش خانگی ناشی از مصرف گاز طبیعی و بیشترین میزان انتشار  $\text{SO}_2$  ناشی از مصرف نفت کوره است (وزارت نیرو، ۱۳۹۱). نکته قابل‌توجه در بخش خانگی این است که اگرچه بیشترین انتشار گازهای آلاینده در بخش خانگی ناشی از مصرف گاز طبیعی است اما بر اساس طبقه‌بندی سوخت‌های فسیلی گاز طبیعی یک سوخت پاک به حساب می‌آید. بنابراین باوجود مصرف بالای انرژی در بخش خانگی، آلودگی حاصل از آن در مقایسه با سایر منابع مصرف‌کننده انرژی کمتر است با این حال بخش خانگی بیشترین سهم را در انتشار دی‌اکسید کربن دارد و این گاز مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای است که انتشار آن سبب تغییر اقلیم، افزایش دمای کره زمین و به دنبال آن پیامدهای مخرب محیطی و بهداشتی می‌شود و ادامه حیات بر روی کره زمین را با مشکل مواجه می‌کند.

در بخش صنعت نیز که کلیه صنایع بزرگ و کوچک، کارخانه‌ها، کارگاه‌ها، پتروشیمی، معادن و مولدهای برق صنایع بزرگ را در برمی‌گیرد، مصرف گاز طبیعی و نفت کوره عامل اصلی انتشارات گازهای گلخانه‌ای و آلاینده است. در بخش حمل‌ونقل عمده مصرف مربوط به دو فرآورده بنزین موتور و نفت گاز است. حمل‌ونقل جاده‌ای بیشترین سهم را در انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای دارد. غالب خودروهای موجود در ایران به دلیل داشتن عمر طولانی و قدیمی بودن دارای مصرف سوخت بالا و به‌تبع آن آلودگی زیادی منتشر می‌کنند. استاندارد مصرف سوخت خودرو در کشورهای اروپایی ۶ تا ۷ لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر است درحالی‌که این رقم در ایران ۱۰-۱۵ لیتر برای خودروهای قدیمی است

که صنایع تولید سوخت و اتومبیل بالاترین مصرف انرژی را در ایران دارند و انرژی موردنیاز این دو بخش توسط نیروگاه‌ها تأمین می‌شود. در مناطق شهری ایران نیز مصرف‌کنندگان خانگی بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین مصرف‌کننده اصلی انرژی در ایران صنایع و بخش خانگی است و بعد از آن‌ها نیروگاه در رده دوم قرار می‌گیرد (Vafa-Arani et al., 2014). علاوه بر این، نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که اگرچه در بین مصرف‌کننده‌های عمده انرژی، بخش خانگی بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است اما در بین منابع انتشار آلودگی سهم کمتری دارد و میزان انتشار آلاینده‌های هوا در این بخش کمتر از ۲۰ درصد است. بااین‌وجود میزان انتشار گاز  $\text{CO}_2$  در بخش خانگی، تجاری و عمومی به‌تنهایی ۳۰٪ انتشارات را در برمی‌گیرد. همچنین بخش حمل‌ونقل با انتشار ۹۷/۹۲ درصد  $\text{CO}$ ، ۸۷/۲۸ درصد  $\text{CH}_4$ ، ۷۸/۸۷ درصد ذرات معلق (SPM)، ۵۶/۹ درصد  $\text{NO}_x$ ، ۳۱/۶۳ درصد  $\text{SO}_2$  دارای بیشترین سهم در انتشار انواع گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در میان بخش‌های مصرف‌کننده انرژی کشور است. بخش نیروگاهی و حمل‌ونقل نیز بیشترین میزان انتشار  $\text{SO}_2$  را در طی سال‌های ۸۰ تا ۹۲ به خود اختصاص دادند.

نکته قابل‌توجه این است که در کنار انتشار انواع گازهای آلاینده و خطرناک که سلامت انسان و محیط‌زیست را تهدید می‌کند، سهم تولید گازهای گلخانه‌ای مخصوصاً  $\text{CO}_2$  نیز در بخش انرژی کشور بسیار قابل‌تأمل است. به‌طوری‌که بیش از ۶۰ درصد انتشارات جهانی مربوط به  $\text{CO}_2$  حاصل از مصرف انرژی است (Moutinho et al., 2014). رشد روزافزون تقاضای انرژی سوخت‌های فسیلی نقش مؤثری در افزایش انتشار  $\text{CO}_2$  دارد. از انقلاب صنعتی انتشار سالانه  $\text{CO}_2$  حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی از حدود صفر تا بیش از ۳۱ گیگاتن  $\text{CO}_2$  در ۲۰۱۱ افزایش یافته است. بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۳، ایران جز ۱۰ کشور اصلی انتشار  $\text{CO}_2$  ناشی از مصرف انرژی است که سهم ایران در میزان انتشار  $\text{CO}_2$  بر اساس آمارهای جهانی حدود ۵۲۱/۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۱ گزارش شده است (IEA, 2013). منبع اصلی تولید گاز دی‌اکسید کربن در ایران بخش‌های خانگی، تجاری، عمومی، نیروگاه‌ها و حمل‌ونقل است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰) که نتایج مطالعه

۱. کارخانه‌ها و بررسی دقیق و کامل فرآیندهای تولید محصول امری ضروری است.
۲. توجه به جایگاه محیط‌زیست در اسناد بالادستی کشور و برنامه‌های توسعه بخصوص برنامه ششم
۳. ایجاد زیرساخت‌ها برای ایجاد انگیزه جهت اولویت قرار دادن کاهش مصرف انرژی در صنایع و بخش‌های پرمصرف
۴. توجه ویژه به انرژی‌های تجدید پذیر و سوخت‌های پاک از طریق ارتقا کیفیت سوخت‌های مصرفی، استفاده از سوخت‌های جایگزین همچون سوخت‌های بیولوژیک و هسته‌ای به‌جای سوخت‌های فسیلی
۵. توسعه نظام استانداردهای مصرف انرژی در بخش‌های پرمصرف
۶. اجرای طرح مدیریت مصرف انرژی در بخش خانگی، ساختمان‌های اداری، مجتمع‌های تجاری و غیره از طریق اصلاحات در سیستم روشنایی و تأسیسات سرمایشی و گرمایشی، استانداردسازی مصالح و اجزا ساختمان، عایق‌کاری مناسب ساختمان و ...
۷. توسعه آموزش عمومی و تخصصی مدیریت مصرف انرژی در صنایع کشور، بخش‌های خانگی و کشاورزی
۸. ایجاد صندوق بهره‌وری انرژی جهت حمایت مالی و تشویق صنایع در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی

### یادداشت‌ها

1. Nitrogen dioxide
2. Sulfur oxide
3. Carbon monoxide
4. Suspended particulate matter
5. Carbon dioxide
6. Methane
7. International Energy Agency
8. Organization for Economic Co-operation and Development
9. European statistics
10. Kolmogorov-Smirnov
11. One-way analysis of variance (ANOVA)
12. Tukey HSD

(وزارت نیرو، ۱۳۸۰). انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای و آلاینده در بخش کشاورزی ناشی از مصرف نفت گاز بوده است و در بخش پالایشگاهی نیز بیشترین سهم را در انتشار گازها مصرف گاز طبیعی داشته است. آلودگی اصلی نیروگاه به ترتیب مربوط به  $CO_2$ ،  $NO_x$  و  $SO_2$  است. نیروگاه‌ها به دلیل استفاده از سوخت مازوت سهم بسزایی در تولید  $SO_2$  دارند به طوری که تقریباً ۳۰ درصد از انتشار کل این گاز در ایران مربوط به این بخش است. مصرف نفت کوره و یا مازوت به تنهایی در نیروگاه باعث افزایش میزان  $SO_2$  و  $NO_x$  می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۳). مطالعات نشان می‌دهد که فاکتور انتشار گازهای خروجی از نیروگاه‌های سوخت فسیلی کشور برای گاز  $CO_2$   $g/kWh$  ۶۴۰، گاز  $SO_2$   $g/kWh$  ۲/۷۵ و گاز  $NO_x$   $g/kWh$  ۲/۴ است (نظری و همکاران، ۱۳۸۸). با به‌کارگیری بیشتر انرژی‌های تجدید پذیر، انرژی برق آبی و انرژی هسته‌ای، استفاده از مخلوط مازوت و گاز یا فقط گاز طبیعی، همچنین افزایش راندمان نیروگاه‌ها، استفاده از سیستم‌های پایش مداوم و سیستم‌های کاهش آلاینده‌های خروجی از دودکش نیروگاه‌ها، انتشار این گازها به شدت کاهش می‌یابد (کارگری و مستوری، ۱۳۸۹؛ منظور و کهن هوش نژاد، ۱۳۹۳).

به هر حال نکته قابل‌توجه این است که در مدیریت انرژی به‌خصوص در بخش‌های پرمصرف، اقدام‌های و برنامه‌های پیشگیرانه برای کاهش تولید و انتشار آلاینده‌ها هم از جنبه‌های اقتصادی و هم از جنبه‌های محیط‌زیستی همیشه در اولویت قرار دارند بنابراین تلاش برای مدیریت صحیح و بهره‌برداری بهینه از منابع و سرمایه‌های ملی کشور باعث می‌شود علاوه بر تأمین نیاز نسل حاضر، آیندگان را از دستیابی به این سرمایه‌های ملی محروم نسازیم. علاوه بر این با مدیریت صحیح انرژی می‌توان به تثبیت و یا کاهش میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای امیدوار بود. به‌منظور دستیابی به این اهداف راه‌کارهای زیر پیشنهاد می‌شود.

۱. تعیین معیارها و شاخص‌های انرژی و شناسایی تلفات: این موضوع یکی از اقدام‌های اولیه و اجتناب‌ناپذیر در بهینه‌سازی انرژی است. بر همین اساس برای نمایان کردن مشخصه‌های حامل‌های انرژی در بخش صنعت کشور به‌منظور اعمال مدیریت در مصرف برق و سوخت، سامانه مدیریتی و نظارتی مؤثر و مستمر، انجام ممیزی انرژی در

## 13. Principal Component Analysis

## فهرست منابع

- بهرامی، ح. و توکلی، ا.ر. ۱۳۸۳. مدیریت انرژی و ارزیابی راه‌کارهای صرفه‌جویی در یک کارخانه شیمیایی، نشریه انرژی ایران، ۲۱: ۴۳-۵۵.
- جوکار، م.؛ خرازی، م. و عالم رجیبی، ع.ا. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت انرژی‌های پاک در ایران از دهه ۵۰ تا ۸۰، چهارمین کنفرانس سالانه انرژی پاک. کرمان. ایران.
- دولت‌شاهی، پ.م. و طهماسبی آشتیانی، ه. ۱۳۸۹. انسان، انرژی، محیط‌زیست و چشم‌اندازی به آینده، فصلنامه راهبرد، ۵۶: ۳۱۳-۳۴۳.
- زوار حسینی، ا. ۱۳۹۰. چالش‌ها و راهبردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایران و جهان، نشریه انرژی ایران، ۱۴(۴): ۵۶-۲۷.
- فطرس، م. ح. و نسرین دوست، م. ۱۳۸۸. بررسی رابطه‌ی آلودگی هوا، آلودگی آب، مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران ۸۳-۱۳۵۹، فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۲۱: ۱۱۳-۱۳۵.
- کارگری، ن. و مستوری، ر. ۱۳۸۹. مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای در انواع نیروگاه‌های برق با استفاده از رویکرد LCA، نشریه انرژی ایران، ۱۳(۲): ۶۷-۷۸.
- محمدی نائینی، م.ر. ۱۳۸۳. ترکیب سیکل‌ها به‌منظور به دست آوردن حالت بهینه تبدیل انرژی، نشریه انرژی ایران، ۲۰: ۷۴-۵۴.
- منظور، د. و کهن هوش نژاد، ر.ا. ۱۳۹۳. بررسی تطبیقی پیش‌بینی‌های چشم‌انداز جهانی انرژی، نشریه انرژی ایران، ۱۷(۱): ۱۴۵-۱۲۹.
- نظری، س.؛ سهرابی کاشانی، ا.؛ داوری، س. و دلاور مقدم، ز. ۱۳۸۸. تعیین فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق خروجی از نیروگاه‌های سوخت فسیلی کشور و مقایسه آن با کشورهای آمریکای شمالی، نشریه انرژی ایران، ۱۲(۳): ۳۶-۲۵.
- وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱-۱۳۸۰. معاونت امور برق و انرژی. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. تهران، ایران.
- Bayat, R.; Torkian, A.; Najafi, M. A.; Askariyeh, M. H. & Arhami, M. 2012. Source apportionment of Tehran's air pollution by emissions inventory, International Emission Inventory Conference of EPA, pp.13-16.
- British Petroleum Company. 2009. BP Statistical Review of World Energy, Printed by Beacon Press, available online at [www.bp.com/statisticalreview](http://www.bp.com/statisticalreview).
- Dong, C.; Huang, G.; Cai, Y. & Liu, Y., 2012. An inexact optimization modeling approach for supporting energy systems planning and air pollution mitigation in Beijing city, Energy, 37(1): 673-688.
- IEA (International Energy Agency). 2013. CO<sub>2</sub> Emission from fuel combustion, France, pp.158. [www.iea.org](http://www.iea.org).
- Katircioglu, ST. 2014. International tourism, energy consumption, and environmental pollution: The case of Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 36:180-187.
- Moutinho, V.; Robaina-Alves, M. & Mota, J. 2014. Carbon dioxide emissions intensity of Portuguese industry and energy sectors: A convergence analysis and econometric approach, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40:438-449.

Van Vliet, O.; Krey, V.; McCollum, D.; Pachauri, S.; Nagai, Y.; Rao, S. & Riahi, K. 2012. Synergies in the Asian energy system: Climate change, energy security, energy access and air pollution, *Energy Economics*, 34:470-5480.

Vafa-Arani, H.; Jahani, S.; Dashti, H.; Heydari, J. & Moazen, S. 2014. A system dynamics modeling for urban air pollution: A case study of Tehran, Iran, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31: 21-36.