



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و بررسی سناریوهای کاهش انتشار سازگار با منطقه در افق ۲۰۳۰ میلادی (مطالعه موردی: استان گیلان، ایران)

علی احمدی ارکمی\*

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، گیلان، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارائه گزارش ملی تغییرات آب و هوا در کشور از سال ۱۳۸۲ آغاز شده است. با توجه به اهمیت امر، تخمین انتشارات در سطح استان‌ها و ارزیابی ظرفیت‌های بومی در جهت مدیریت انتشار، کشور را در امر گزارش‌دهی و مدیریت انتشار چابک‌تر می‌سازد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵  
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

**روش بررسی:** میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در چهار حوزه انرژی، صنعتی، کشاورزی، جنگل‌داری و سایر کاربری‌های زمین و پسماند و تمامی زیربخش‌های این چهار حوزه در سطح استان گیلان تعیین شد. محاسبات بر مبنای داده‌های فعالیت سال ۱۳۹۸ و نرم افزار IPCC انجام شد.  
**یافته‌ها:** انتشار ناخالص گازهای گلخانه‌ای در استان بالغ بر ۱۸/۵ مگاتن (Mt) و سرانه تولید برابر با ۷/۳۱ تن در سال است به طوری که ظرفیت اکولوژیکی جنگل‌ها جهت جذب گازهای گلخانه‌ای بالغ بر ۲ مگاتن در سال برآورد شد. نیروگاه‌های حرارتی، مصارف خانگی (بجز مصرف برق) و حمل و نقل به ترتیب با ۳۶، ۲۳ و ۱۹ درصد سهم، مهمترین منابع انتشار در استان هستند. از میان چهار سناریوی بررسی شده، سناریوی توسعه نیروگاه‌های بادی (ظرفیت اسمی ۳ GW) و صرفه‌جویی ۱۰ درصد انرژی در بخش خانگی به ترتیب با ۹ و ۲/۹ درصد کاهش انتشار، در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفتند. تاثیر تجمعی همه سناریوهای پیشنهادی تا سال ۲۰۳۰ نیز منجر به کاهش ۱۳ درصد نسبت به شرایط کنونی می‌شود.

**واژگان کلیدی:** برآورد انتشار، سناریوی کاهش انتشار، گازهای گلخانه‌ای، گیلان

**نتیجه‌گیری:** با توجه به ظرفیت‌های موجود در تولید برق پاک و همچنین کاهش مصرف در بخش خانگی می‌توان به میزان ۱۳ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در افق ۲۰۳۰ میلادی جلوگیری کرد. از آنجایی که سناریوهای پیشنهادی، بومی و سازگار با منطقه بوده و وابسته به تصمیمات مدیریتی در سایر استان‌ها نیست، قابلیت اجرایی مناسبی دارند. لذا چنانچه برنامه‌های تولید برق پاک در سایر استان‌ها نیز دنبال شود و مدیریت مصرف انرژی در بخش حمل و نقل در سطح ملی نیز عملیاتی شود، می‌توان انتظار داشت که حداقل تعهدات کشور (کاهش ۴ درصد نسبت به سال ۲۰۱۰) محقق گردد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
Orkomi@guilan.ac.ir

Please cite this article as: Ahmadi Orkomi A. Greenhouse gas emission inventory and quantifying regional compatible mitigation plans-horizon 2030 (case study: Guilan province, Iran). Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(1):121-36.

## مقدمه

اثر گلخانه به طور بالقوه یک ویژگی مثبت تلقی می‌شود. زیرا وجود گازهای گلخانه‌ای (Greenhouse gases (GHG)) در جو و جذب امواج نامرئی فروسرخ منتشر شده از سطح زمین توسط آنها، سبب ایجاد یک تعادل دمایی می‌شود. اما رشد بی‌رویه فعالیت‌های صنعتی، گسترش تمدن‌ها و به تبع آن روند فزاینده مصرف انرژی باعث شده که غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو در طول یک قرن اخیر به بیش از ۴۰۰ قسمت در میلیون (ppm) برسد و شیب تغییرات دمای سطح زمین در چند دهه گذشته تقریباً دو برابر کل تغییرات دما در دوره‌های زمانی قبل است (۱).

با توجه به موارد مذکور و اهمیت امر، کشورهای توسعه یافته و حتی در حال توسعه در اجلاس پاریس در سال ۲۰۱۵ توافق کردند که با اتخاذ تصمیمات کنترلی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند (۲). این در حالی است که پیش‌بینی می‌شود مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای پس از توافق پاریس نه تنها کاهش نیافته بلکه حدود ۱۶ درصد افزایش داشته است (۳). طبق بررسی سناریوهای انتشار GHG، چنانچه تا سال ۲۰۲۰ میزان انتشار GHG بین ۴۰ تا ۵۰ Gt باشد، احتمال اینکه دما در پایان قرن حاضر بیش از  $2^{\circ}\text{C}$  نسبت به دوران قبل از صنعتی شدن افزایش یابد، بالای ۵۳ درصد است (۴). در حالی که طبق آخرین برآوردها، میزان انتشار GHG در دنیا به بیش از ۴۵ Gt در سال ۲۰۱۸ رسیده است (۵). همچنین اگر انتشار GHG در سال ۲۰۵۰ به کمتر از مقدار تقریبی ۱۸ Gt (نصف مقدار آن در سال ۲۰۰۰) برسد، در خوشبینانه‌ترین حالت دما با احتمال ۸۸ درصد کمتر از  $2^{\circ}\text{C}$  در پایان قرن ۲۱ افزایش می‌یابد (۴). گازهای دی‌اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ )، متان ( $\text{CH}_4$ )، اکسید نیتروس ( $\text{N}_2\text{O}$ ) و گازهای کربنی فلئوئودار (گازهای F) از جمله مهمترین گازهای گلخانه‌ای هستند (۵). طبق آخرین گزارش ملی گازهای گلخانه‌ای ایران،  $\text{CO}_2$  و متان به ترتیب ۷۷/۵ درصد و ۱۸/۹ درصد از کل انتشار جرمی GHG را به خود اختصاص دادند (۶). هرچند ترکیباتی مانند ازن، کربن سیاه و بخار آب نیز دارای اثرات گلخانه‌ای هستند اما به دلایلی همچون وجود منابع ثانویه تولید آنها (ازن و کربن

سیاه) و یا عدم تاثیر انسان در انتشار آنها (بخار آب) غالباً در مطالعات موجودی انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار نمی‌گیرند. طبق آخرین گزارش ملی انتشار دولت‌ها، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دنیا و ایران در سال ۲۰۱۰ به ترتیب بالغ بر ۴۱ Gt و ۸۳۲ Mt معادل دی‌اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ ) برآورد شد که سهم بخش‌های انرژی، صنعت و کشاورزی و سایر کاربری‌های زمین در ایران به ترتیب برابر با ۸۲ درصد، ۸ درصد و ۶ درصد است (۵، ۶). همچنین طبق گزارش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (۷)، حمل و نقل، بیشترین سهم را (۲۸ درصد) نسبت به تولید برق (۲۴ درصد) و صنایع (۱۳ درصد) در تولید گازهای گلخانه‌ای در ایالات متحده در سال ۲۰۱۹ دارد. به‌علاوه، سرانه تولید گازهای گلخانه‌ای در جهان و ایران در سال ۲۰۱۸ به ترتیب برابر با ۴/۵ ton و ۷/۷ ton برآورد شده است (۸).

از آنجا که گزارش‌های دوره‌ای برآورد انتشار GHG توسط دولت‌ها در سطح ملی تهیه می‌شود (۹)، دقت آن نیز در مقایسه با تخمین‌هایی که در ابعاد کوچک‌تر و استانی انجام می‌شود، کمتر است. در موازات گزارش‌های ملی تغییرات اقلیمی، بخش‌های مختلف نیز با به کارگیری روش‌ها و یا مدل‌های با دقت بالاتر، اقدام به تخمین انتشار GHG نموده‌اند (۱۰، ۱۱). از جمله آنها می‌توان به تخمین انتشار گازهای گلخانه‌ای از محل دفن پسماند شهری (۱۲-۱۴)، از مشعل‌های مورد استفاده در صنعت نفت (۱۵-۱۷)، واحدهای تصفیه پساب نفتی (۱۸، ۱۹) و مخازن ذخیره فرآورده‌های نفتی (۲۰) اشاره کرد. در کنار فرایند برآورد انتشار GHG در سطح ملی، تخمین انتشار در سطح استان‌ها و کلان‌شهرها نیز در دهه اخیر آغاز شده است که با هدف بررسی دقیق‌تر شرایط در سطح ایالت‌ها و اتخاذ تصمیمات بهتر و متناسب‌تر با ایالت مورد نظر از منظر توسعه پایدار انجام می‌شود (۲۱). Mutlu و همکاران (۲۲) میزان انتشار سالانه، سرانه تولید و منابع اصلی انتشار GHG در کلان‌شهر بوسرا در کشور ترکیه را تعیین کردند. مصرف سوخت در بخش صنعتی، حمل و نقل و بخش گرمایش خانگی مهمترین منابع تولید GHG در شهر بوسرا معرفی شدند. همچنین با در نظر گرفتن سناریو کاهش ۴۰ درصدی

است و در آن مقادیر انتشار مربوط به سال ۲۰۱۰ گزارش شده است، بسیار واضح است که تاخیر زمانی بسیار زیاد در ارائه گزارش‌های به روز، مانع از تصمیم‌گیری جدی و عملی در زمینه مدیریت انتشار می‌شود لذا انجام مطالعات مشابه در کشور و ادامه این روند در استان‌های مختلف، باعث خواهد شد تا گزارش ملی با دقت بسیار بالاتر و جزئیات بیشتر تهیه شود تا بتوان گزارشات ملی آینده را در بازه‌های زمانی کمتری تهیه کرد (۲۷). همچنین راهکارهایی که با توجه به پتانسیل هر استان ارائه می‌شود، قابلیت اجرای بهتر و بازده بیشتری از منظر توسعه پایدار خواهد داشت.

### مواد و روش‌ها

جهت برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای از نرم افزار تهیه موجودی انتشار گازهای گلخانه‌ای (Intergovernmental panel on climate change) IPCC استفاده شد. در این پژوهش نسخه ۲/۶۹ این نرم افزار (۲۸) به کار گرفته شد. این نرم افزار بر مبنای ضرایب انتشار در بخش‌های مختلف انرژی، صنعت، کشاورزی-جنگل‌ها و سایر کاربری اراضی، پسماند و پساب و سایر بخش‌ها توسعه یافته است، میزان فعالیت به عنوان مهمترین پارامتر تلقی می‌شود. روش کلی تخمین انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای از یک واحد فرضی در نرم افزار براساس معادله ۱ است.

$$Q_{GHG} = A \times EF \quad (1)$$

که در آن  $Q_{GHG}$ ،  $A$  و  $EF$  به ترتیب میزان انتشار گاز گلخانه‌ای، میزان فعالیت در واحد مورد نظر و ضریب انتشار آن گاز گلخانه‌ای در واحد مورد بررسی است

داده‌های فعالیت در بخش انرژی، داده‌های میزان مصرف و ذخیره سوخت‌های فسیلی در بخش‌های صنعتی، خانگی، اداری، تجاری، حمل و نقل (جاده‌ای، دریایی و هوایی) و ذخیره آنها در انبار نفت استان در سال ۱۳۹۸ از شرکت پخش فراورده‌های نفتی و شرکت گاز استان دریافت شد که به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است.

انتشار تا سال ۲۰۳۰، راهکارهایی جهت مدیریت انتشار از بخش‌های اصلی را تعیین کردند. در مطالعه دیگری نیز Gu و همکار (۲۳) نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای در شهرهای کشور چین را براساس دستورالعمل‌های داخلی چین و همچنین دستورالعمل‌های بین‌المللی تعیین کردند. با توجه به اینکه کشور ایران پیشنهاد کاهش حداقل ۴ و حداکثر ۱۲ درصد انتشار GHG تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۰ داده است (۲۴)، مطالعات علمی در حوزه تحلیل علل و عوامل تولید GHG و پیامدهای محیط‌زیستی و اقتصادی آن به تدریج در حال افزایش است. Tavakoli (۲۴) با بهره‌گیری از مدل‌های تحلیل تجزیه‌ای سهم عوامل موثر بر انتشار GHG در ایران را در بازه زمانی ۱۹۷۱-۲۰۱۲ بررسی کرد. نتایج نشان داد که کاهش سهم سوخت‌های فسیلی مهمترین عامل موثر بر کاهش انتشار است. به طوری که برای رسیدن به اهداف کاهش انتشار ایران تا سال ۲۰۳۰، کاهش سهم سوخت‌های فسیلی به سطح ۴۰ درصد و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر موثرترین پارامتر تعیین شد. در مطالعه‌ای که توسط Bazzazan و همکاران (۲۵) انجام شد، براساس داده‌های سال ۱۳۹۰، نقش خانوارها در تولید مستقیم (مصرف انرژی) و غیرمستقیم (مصرف کالاها و خدمات) گاز  $CO_2$  به ترتیب برابر با ۴۱ درصد انتشارات مستقیم و ۵۹ درصد انتشارات غیرمستقیم در کشور برآورد شد. در مطالعه دیگری Eskafi (۲۶) اذعان کرد که بخش حمل و نقل مسئول انتشار ۲۸ درصد گازهای گلخانه‌ای در ایران است و این بخش دارای بیشترین پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است به طوری که تا سال ۲۰۳۰ میلادی یک پتانسیل کاهش ۵۰ درصدی نسبت به سال ۲۰۰۸ پیش‌بینی شده است.

در این راستا، مطالعه حاضر قصد دارد تا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح استان گیلان را تخمین بزند و با محاسبه شاخص‌های مختلف و مقایسه آنها با مقادیر ملی و یا سایر کشورها، وضع موجود استان را در مدیریت انتشار GHG ارزیابی کند و راهکارهایی جهت بهبود مدیریت GHG در بخش‌های اصلی پیشنهاد دهد. با توجه به اینکه آخرین گزارش ملی انتشار GHG در سال ۲۰۱۷ میلادی تهیه شده

جدول ۱- داده‌های فعالیت مربوط به مصرف انرژی در استان گیلان

پارامتر	واحد اندازه گیری	مازوت	گازوییل	سفید	بنزین	گاز طبیعی
ارزش حرارتی	MJ/L	۴۱	۳۵/۴	۳۴/۱	۳۱/۹	۰/۰۲۹
مصرف خانگی	Terajoule (TJ)/year	-	۲۲/۶	۸۱۱/۶	-	۶۷۱۳۷
مصرف اداری	Terajoule (TJ)/year	-	۳۲۴/۳	۷/۹	۲۰/۵	۱۳۳۵۰
مصرف تجاری	Terajoule (TJ)/year	-	۲۰۴	۰/۲۷	۱/۶	(مجموع اداری و تجاری)
مصرف کشاورزی	Terajoule (TJ)/year	-	۲۰۹۲	۲۱	۱۲	۶۵۷۰
مصرف صنعتی	Terajoule (TJ)/year	۰/۲	۹۴۵	۲/۷	۱/۳	۱۶۳۰۰
حمل و نقل دریایی	Terajoule (TJ)/year	-	۳۰۵/۳	-	-	-
حمل و نقل جاده‌ای	Terajoule (TJ)/year	-	۱۱۰۸۹/۵	-	۳۳۱۲۳/۶	-
مصرف نیروگاه	Terajoule (TJ)/year	-	۲۰۳۵۶	-	-	۸۰۴۸۲

به روش کوره قوس الکتریکی در استان به ترتیب برابر با ۱/۹ میلیون تن، ۱۲ هزار تن، ۴/۸ هزار تن و ۲ میلیون تن برای سال ۱۳۹۸ لحاظ شده است. در بخش‌های دامداری حیوانات اهلی، تعداد گله‌های گاو، گاو میش، گوسفند و بز طبق آمارنامه ۱۳۹۸ برابر با ۴۲۸، ۱۸/۷، ۷۰۴ و ۱۲۳ هزار

میزان تولید محصول در واحدهای صنعتی به عنوان داده فعالیت در این بخش‌ها محسوب می‌شود که با توجه به سالنامه آماری استان (۲۹) و در برخی موارد از طریق سایت رسمی واحد تولیدی، برداشت شد. در این راستا، میزان تولید کلینیکر سیمان، شیشه، شمش فولاد و فولاد

راس لحاظ شد. در بخش حیوانات غیر اهلی هم جمعیت گله اسب برابر با ۵۰۰ راس در نظر گرفته شد. میزان آتش سوزی جنگل‌ها و مراتع استان به ترتیب برابر با ۴۸۰ ha و ۲۲ ha در نظر گرفته شد. کود اوره مصرفی و سطح زیر کشت برنج نیز به ترتیب برابر با ۴۲۳۰۰ ton و ۱۲۷۰۱۵ ha لحاظ شد. میزان محصولات الوار چوبی، چوب گرد، چوب گرد صنعتی و کاغذ در استان به ترتیب برابر با  $14800 \text{ m}^3$ ،  $15000 \text{ m}^3$  و  $63 \text{ m}^3$  و ۲۷ هزار تن در سال برآورد شد. با توجه به اینکه تعداد شاخص‌های گزارش شده در بخش‌های مختلف در سالنامه آماری استان در سال‌های مختلف با هم متفاوت است، لذا در بعضی از پارامترهای مذکور، به دلیل عدم وجود اطلاعات به روز در آمارنامه سال ۱۳۹۸، از داده‌هایی که در آمارنامه سال‌های پیشین موجود بود، استفاده شد. به علاوه در بخش پسماند جامد استان، سه روش رهاسازی عادی، دفن در خاکچال و تولید کمپوست مرسوم است که جهت تخمین میزان انتشار به روش تولید کمپوست از دستورالعمل IPCC استفاده شد و ظرفیت پذیرش زباله در کارخانجات کمپوست گیلان برابر با ۲۵۰ تن در روز در نظر گرفته شده است (۳۰). جهت تخمین میزان انتشار GHG در روش دفن در خاکچال برای سال ۱۳۹۸ که شامل حدود ۴۳ درصد از زباله تولیدی در استان است، از نتایج نرم افزار LandGem استفاده شد (۱۲). همچنین در بخش مدیریت پساب خانگی با توجه به جمعیت استان گیلان (۲/۵۳ میلیون نفر) و دسته بندی شهر رشت، لاهیجان، انزلی، لنگرود و فومن به عنوان شهرهای پر درآمد و سایر شهرها به عنوان شهرهای کم درآمد، میزان متان و  $\text{N}_2\text{O}$  غیرمستقیم محاسبه شد. سرانه BOD سالانه نیز  $14/6 \text{ kg}$  لحاظ گردید (۳۱). در بخش پساب صنعتی، واحدهای تولید لبنیات، گوشت و ماهی به عنوان مهمترین واحدهای تولید پساب استان شناسایی شدند که میزان تولید سالانه محصول در این بخش‌ها به ترتیب ۲۸۶، ۲۰۵ و ۴۷ هزار تن است. نرخ تولید پساب در آنها نیز به ترتیب ۷، ۱۳ و ۱۳ متر مکعب به ازای هر تن محصول در نظر گرفته شد. وجود جنگل‌ها به عنوان یک چاهک کربن در جذب

$\text{CO}_2$  از جو عمل می‌کند و به طور میانگین سالانه حدود ۲۴۰۰ میلیون تن کربن توسط جنگل‌ها از جو جذب می‌شود (۳۲، ۳۳). اما از آنجایی که در نرم افزار IPCC میزان جذب  $\text{CO}_2$  از طریق نشست خشک و یا فرایند فتوسنتز درخت در نظر گرفته نشده است، از مقدار تقریبی ۱ تن کربن (معادل  $3/7 \text{ ton CO}_2$ ) در هکتار در سال به عنوان ظرفیت حذف  $\text{CO}_2$  از جو در نظر گرفته شده است. به طوری که بازه ۰/۷ تا ۷/۵ تن کربن در هکتار در سال برای عرض‌های جغرافیایی میانی پیشنهاد شده است (۳۴). به علاوه از آنجایی که کربن موجود در چوب استحصال شده سریعاً اکسید و وارد جو نمی‌شود، استحصال چوب به عنوان یک چاهک انتشار کربن لحاظ شده است (۳۲، ۳۵، ۳۶). به طوری که میزان کربن موجود در چوب استحصال شده در دنیا در سال ۲۰۱۱ برابر با ۵ Gt (گیگاتن) کربن برآورد شده است و این مقدار سالانه به میزان ۱۵۰ میلیون تن افزایش می‌یابد (۳۲). در مطالعات مشابهی میزان ذخیره کربن در چوب‌های استحصال شده در کشورهای فنلاند و سوئد به ترتیب برابر با ۳/۹ و ۴ میلیون تن با استفاده از نرم افزار IPCC برآورد شده است (۳۷). جهت محاسبه شاخص گرمایش جهانی، مقدار دی‌اکسید کربن معادل و یا  $\text{CO}_2 \text{ equivalent}$  ( $\text{CO}_2 \text{ eq}$ )، به صورت معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = \sum_{i=1}^3 \text{GWP}_i \times Q_i \quad (2)$$

که در آن GWP (Global warming potential) و یا پتانسیل گرمایش جهانی و  $Q_i$  نیز میزان انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای است. مقدار GWP در بازه زمانی ۱۰۰ ساله برای سه گاز  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CH}_4$  و  $\text{N}_2\text{O}$  به ترتیب برابر با ۱، ۲۱ و ۳۱۰ است (۲۸).

– سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ علاوه بر برآورد انتشار GHG در شرایط کنونی، سناریوهایی جهت بررسی تغییرات و نحوه مدیریت انتشار در استان گیلان در افق سال ۲۰۳۰ میلادی مورد ارزیابی قرار گرفتند و تاثیر نسبی آنها بر میزان انتشار با هم مقایسه شد.

*استحصالی انرژی از گاز لندفیل سراوان*

لندفیل سراوان در فاصله ۱۵ km از شهر رشت واقع شده و به عنوان محل دفن دائمی پسماندهای جامد بخش مرکزی استان تلقی می‌شود و به طور متوسط روزانه حدود هزار تن زباله در آنجا انباشته می‌شود (۱۲). در مطالعه‌ای که بر روی روش‌های مدیریت گاز لندفیل سراوان توسط Orkomi و همکار (۱۲) انجام شد، استفاده از گاز لندفیل برای تولید الکتریسیته توسط موتورهای احتراق داخلی به عنوان بهترین روش مدیریتی انتخاب شد. با توجه به پایان دوره ۴۰ ساله بهره‌برداری لندفیل در سال ۱۴۰۳، بهترین زمان برای بهره‌برداری از گازهای لندفیل، حداکثر ۱۵ سال بعد از بسته شدن لندفیل توصیه می‌شود. برق تولیدی از این روش و به تبع آن کاهش تولید این میزان در نیروگاه‌های حرارتی به عنوان یکی از سناریوهای کاهش انتشار بررسی شد.

*توسعه مزارع بادی تولید برق*

ظرفیت اسمی نصب شده توربین‌های بادی در استان گیلان (با محوریت شهر منجیل) برابر با ۶۰ MW است (۳۸) و در حال حاضر تنها ۰/۷ درصد از کل برق ناخالص تولیدی استان از طریق توربین‌های بادی تامین می‌شود (۲۹) که عملاً بسیار ناچیز است. با توجه به ظرفیت بالای استان در نصب توربین‌های بادی به‌خصوص در شهرهای آستارا، بندر انزلی، رشت و منجیل (۳۹) تا حد ۳ GW و اهداف برنامه پنجم توسعه مبنی بر توسعه تولید برق بادی تا ظرفیت نسبی ۴/۵ GW، سناریوی افزایش ظرفیت تولید برق بادی به عنوان یکی از معقول‌ترین راهکارهای کاهش انتشار GHG در استان گیلان پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه در حال حاضر ظرفیت اسمی توربین‌های بادی گیلان یک سوم کل کشور است (۳۸)، در سناریوی پیشنهادی نیز فرض می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ بتوان اهداف برنامه پنجم توسعه در راستای تولید برق بادی را به همین مقدار (یک سوم) در استان اجرایی کرد. میزان بازده متوسط سالانه توربین‌های مورد نظر برابر با بازده توربین‌های بادی موجود در منطقه که برابر با ۲۹ درصد است (۴۰)، لحاظ می‌شود.

*عدم استفاده از سوخت گازوئیل در نیروگاه‌ها*

با توجه به اینکه در فصول سرد مصرف گاز در بخش خانگی

افزایش می‌یابد، یکی از راهکارهای کنونی جهت مدیریت مصرف گاز، تغییر سوخت نیروگاه‌ها از گاز به سمت سوخت‌های مایع مانند گازوئیل و مازوت است در حال حاضر به طور کلی ۲۰ درصد از سوخت سالانه نیروگاه‌های استان از طریق گازوئیل تامین می‌شود. لذا با مدیریت بهتر در بخش مسکونی می‌توان یکی از اقدامات کنترلی در کاهش انتشار GHG را، عدم استفاده از گازوئیل در نیروگاه‌ها قرار داد. در این سناریو، کل انرژی مورد نیاز جهت تولید برق در نیروگاه فقط از طریق گاز طبیعی تامین می‌شود. لذا ارزش حرارتی مقدار گازوئیلی که در شرایط کنونی در نیروگاه‌ها مصرف می‌شود، محاسبه شد و مقدار (دبی حجمی) گاز طبیعی که همان مقدار انرژی را تامین کند، محاسبه و جایگزین گازوئیل شد.

*صرفه‌جویی ۱۰ درصدی انرژی در بخش خانگی*

با وجود واحدهای مسکونی قدیمی با اتلاف انرژی بالا، امکان کاهش اتلاف انرژی در بخش مسکونی از منظر مصرف گاز طبیعی وجود دارد. همچنین در حال حاضر میزان مصرف سالانه برق استان برابر با ۶۱۵۴ GWh است که ۳۹/۹ درصد آن در بخش خانگی مصرف می‌شود (۲۹). لذا بخش خانگی هم به طور مستقیم (مصرف گاز) و هم غیرمستقیم (مصرف برق) سهم قابل توجهی در انتشار GHG در استان دارد. با منطقی کردن تعرفه مصرف برق برای مشترکین پر مصرف، افزایش نظارت بر نحوه ساخت منازل مسکونی از منظر اتلاف انرژی و افزایش سطح فرهنگ استفاده از وسایل سرمایشی-گرمایشی و روشنایی منازل، می‌توان میزان مصرف انرژی در بخش خانگی را مدیریت کرد. در این پژوهش سناریوی صرفه‌جویی ۱۰ درصد در مصرف انرژی در بخش خانگی به عنوان یکی از راهکارهای عملی کاهش GHG تا سال ۲۰۳۰ پیشنهاد شده است.

**یافته‌ها**

میزان انتشار در چهار بخش اصلی انرژی، صنعت، کشاورزی و دامداری و پسماند براساس الگوی ارائه شده در نرم افزار IPCC در سال ۱۳۹۸ تعیین شد که در جدول ۲ آورده شده است.

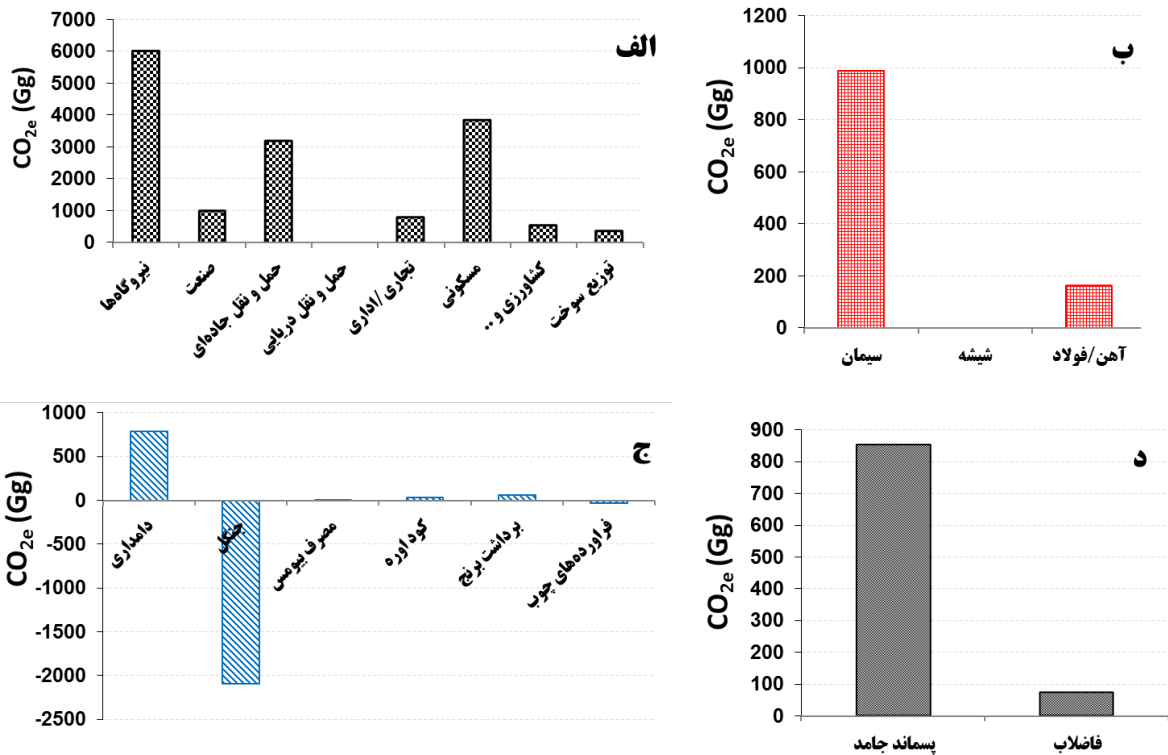
جدول ۲- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای استان گیلان به تفکیک چهار حوزه اصلی (Gg)

بخش	انتشار CO <sub>2</sub>	انتشار CH <sub>4</sub>	انتشار N <sub>2</sub> O	انتشار CO <sub>2eq</sub>	درصد
انرژی	۱۵۲۶۹	۱۸/۵	۰/۱۸	۱۵۷۱۳	۹۴/۹
صنعت	۱۱۵۲	صفر	صفر	۱۱۵۲	۶/۹
کشاورزی، جنگلداری و ...	-۲۰۸۶	۴۰/۳	۰/۰۰۳	-۱۲۳۸	-۷/۴
پسماند	۱۰۰	۳۷/۹۵	۰/۱۰۲	۹۲۸	۵/۶
ذخیره بین‌المللی	۲۲/۶	۰/۰۰۲۱	صفر	۲۳	*
مجموع	۱۴۴۳۵	۹۶/۷۶	۰/۲۸۵	۱۶۵۵۵	۱۰۰

\* این بخش از انتشار مربوط به انتشار ناشی از حمل و نقل دریایی است و در داخل استان منتشر نمی‌شود. لذا در محاسبه کل انتشار استان نیز لحاظ نشده است.

است. میزان انتشار CO<sub>2eq</sub> در هر یک از بخش‌های اصلی به تفکیک در نمودار ۱ نشان داده شده است. مصرف انرژی در نیروگاه‌های حرارتی تولید برق موجود در استان باعث انتشار بالغ بر ۶۰۳۳ گیگاگرم (Gg) گاز گلخانه‌ای می‌شود و عملاً نسبت به سایر زیر بخش‌ها در تمامی حوزه‌ها بیشترین انتشار را به خود اختصاص داده است (نمودار ۱-الف). لازم به ذکر است که مصرف سوخت در بخش تولید الکتریسته استان بالغ بر ۲۰ هزار تراژول گازوئیل و ۸۰ هزار تراژول گاز طبیعی (۲/۷ میلیارد مترمکعب) در سال است. به طوری که سهم گازوئیل در انتشار گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌ها ۲۵ درصد (Gg ۱۵۰۰) و مابقی مربوط به مصرف گاز طبیعی است. در رتبه دوم انتشار گازهای گلخانه‌ای در حوزه انرژی (و همچنین تمام حوزه‌ها)، بخش مسکونی قرار دارد که تقریباً حدود ۲۳ درصد از کل انتشار استان (۱۶/۵ Mt) است. اگرچه این وضعیت در حالی است که میزان انتشار غیرمستقیم مصرف برق در واحدهای مسکونی،

با توجه به جدول ۲، میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در استان برابر با ۱۶/۵ Mt معادل CO<sub>2</sub> در سال ۱۳۹۸ است که تقریباً معادل ۲ درصد انتشار کل کشور در گزارش سوم ملی انتشار گازهای گلخانه‌ای (۶) است. بخش انرژی و مصرف سوخت‌های فسیلی بالاترین سهم (۹۴/۹ درصد جرمی) را در انتشار گازهای گلخانه‌ای استان دارد. پس از آن، صنعت و پسماند با ۶/۹ درصد و ۵/۶ درصد با اختلاف بسیار زیاد در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند شایان ذکر است که با توجه به ضریب جذب CO<sub>2</sub> و سطح جنگل‌ها در استان گیلان (مقدار ۵۶۴۷۱۲ ha و معادل ۳۸ درصد از مساحت کل استان (۲۹)) میزان جذب سالانه CO<sub>2</sub> از جو برابر با ۲۰۹۰ گیگاگرم در سال برآورد شد که عملاً به نوعی ظرفیت اکولوژیکی استان در جذب و حذف گازهای گلخانه‌ای است. هرچند محاسبه ظرفیت اکولوژیکی با توجه به توزیع سنی درختان، سطح ویژه برگ و سطح پوشش جنگل‌ها از طریق به کارگیری نرم افزارهایی همچون i-Tree با دقت بسیار بالاتری قابل انجام



نمودار ۱- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به تفکیک زیر بخش‌ها در هر یک از بخش‌های الف) انرژی، ب) صنعت، ج) دامداری، کشاورزی و سایر کاربری‌ها و د) پسماند

شده است. همان‌طوری که مشخص است بیشترین انتشار در بخش صنعتی مربوط به تولید کلینیکر کارخانجات سیمان استان (سیمان خزر و گیلان سبز) است که معادل ۹۸۸ Gg (۵/۹ درصد کل انتشار در صنعت) است. با توجه به نمودار ۱-ج، بیشترین انتشار در بخش کشاورزی، جنگلداری و سایر کاربری‌ها، مربوط به زیر بخش دامداری است (۷۸۸ Gg). تولید برنج و مصرف کود آورده نیز در رتبه‌های دوم و سوم منابع انتشار GHG قرار دارند. همان‌گونه که بیان شد، جنگل‌های استان به عنوان یک ظرفیت اکولوژیکی مناسب باعث شده‌اند که کل انتشار از بخش کشاورزی، جنگلداری و سایر کاربری‌ها منفی شود و به نوعی وجود جنگل‌ها تقریباً کل انتشاری که از بخش صنعت صورت می‌گیرد را جذب و حذف می‌کند و اثر گلخانه‌ای صنعت استان را خنثی می‌کند. تالاب‌ها نیز به عنوان یکی از ظرفیت‌های اکولوژیکی جهت

در بخش نیروگاه‌ها گنجانده شده است و این ۲۳ درصد تنها ناشی از مصرف گاز طبیعی و اندکی سوخت‌های فسیلی (غالباً نفت سفید در مناطق روستایی) است. با توجه به نمودار ۱-الف، حمل و نقل در رتبه سوم انتشار قرار دارد که میزان انتشار CO<sub>2eq</sub> آن بالغ بر ۳۲۰۰ Gg برآورد شده است و این میزان حدود ۱۹ درصد کل انتشار استان است و نسبت به مقدار متوسط کشوری و جهانی کمتر است (۲۶، ۷). در رتبه بعدی منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مصرف سوخت در واحدهای صنعتی قرار دارد که میزان انتشار آن ۹۸۶ Gg (۵/۹ درصد از کل) برآورد شده است. لازم به توضیح است که انتشار در بخش توزیع و پخش فرآورده‌های نفتی (گاز طبیعی و فرآورده‌های مایع) در استان از طریق نشت ترکیبات آلی فرار شامل گاز گلخانه‌ای متان است. در نمودار ۱-ب، میزان انتشار ناشی از فرایندهای صنعتی (غیر از مصرف سوخت) گزارش



استان برابر با ۱۸/۵ Mt است. در حوزه پسماند (نمودار ۱-د) بیشترین سهم را پسماند جامد (۸۵۴ Gg) دارد و در رتبه دوم پساب خانگی و صنعتی (۷۴ Gg) قرار دارد.

### نتایج بررسی سناریوهای کاهش انتشار استان تا سال ۲۰۳۰

– استحصال انرژی از گاز لندفیل سراوان

در مطالعه Orkomi و همکار (۱۲)، تعداد ۳ موتور احتراق داخلی ۱/۲ MW با بازده ۳۵ درصد جهت تولید برق از گاز لندفیل مطابق جدول ۳ پیشنهاد شده است.

جذب گازهای گلخانه‌ای هستند. اما با توجه به تعاریف متفاوت تالاب در نقاط مختلف جهان و عدم گزارش مقادیر جذب توسط تالابها در مراجع، میزان ظرفیت اکولوژیکی این بخش در جذب گازهای گلخانه‌ای استان گیلان در محاسبات وارد نشده است (۴۱). در محاسبه انتشار GHG در این پژوهش، میزان انتشار گازها با در نظر گرفتن ظرفیت اکولوژیکی جنگل‌های استان (۲ Mt) آورده شده است و بدون در نظر گرفتن این ظرفیت، میزان کل انتشار از فعالیت‌های انسانی در

جدول ۳- مشخصات تولید برق از گاز لندفیل سراوان (۱۲)

کاهش انتشار کل (Gg CO <sub>2eq</sub> )	کاهش انتشار در نیروگاه‌ها (Gg CO <sub>2eq</sub> )	کاهش انتشار متان در لندفیل (Gg CO <sub>2eq</sub> )	انتشار سالانه CO <sub>2</sub> از موتور احتراق (Gg)*	برق تولیدی سالانه (GWh)	متان مصرفی سالانه در موتور (Gg)	بازده جمع‌آوری گاز (درصد)	ضریب پوششی لندفیل (درصد)
۱۶۹/۴	۴/۷	۱۷۲	۷/۳	۱۱	۸/۲	۷۵	۹۰

\*: میزان انتشار CO<sub>2</sub> برابر با ۰/۶۶ ton به ازای هر MWh الکتریسیته طبق ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴ فرض شده است.

کل برق ناخالص تولیدی سالانه از نیروگاه‌های بادی تا سال ۲۰۳۰ برابر با ۳۸۱۰ GWh خواهد شد که تقریباً ۳۵ برابر برق تولیدی کنونی است. با فرض ثابت بودن میزان تولید برق کنونی تا سال ۲۰۳۰، این میزان برق عملاً برابر ۲۵ درصد برق ناخالص تولیدی استان است که منجر به کاهش ۲۵ درصد انتشار GHG از بخش نیروگاهی می‌شود. لذا با افزایش ظرفیت تولید برق بادی در استان بر طبق اهداف برنامه پنجم توسعه و بدون لحاظ کردن سناریوهای کنترلی دیگر، میزان تولید GHG در بخش نیروگاه‌ها از مقدار کنونی ۶۰۳۳ Gg به مقدار ۴۵۳۲ Gg می‌رسد.

– عدم استفاده از گازوئیل در نیروگاه‌ها

در حال حاضر ۲۰ درصد از سوخت سالانه نیروگاه‌های استان از طریق گازوئیل تامین می‌شود که با توجه به نتایج تحقیق حاضر، این میزان از گازوئیل، باعث انتشار ۲۵ درصد از گازهای

انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش پسماند از طریق جمع‌آوری بخشی از متان تولیدی در لندفیل و همچنین کاهش تولید ۱۱ GWh برق در نیروگاه‌های حرارتی، کاهش می‌یابد. با توجه به انتشار ۶۰۳۲ Gg گاز گلخانه‌ای به ازای ۱۴۱۲۳ GWh برق تولیدی در استان، تولید ۱۱ GWh برق معادل کاهش ۴/۷ Gg در نیروگاه‌های حرارتی است (جدول ۳). در کنار آن، مقداری گاز گلخانه‌ای (۷/۳ Gg) در اثر احتراق در موتورهای احتراق داخلی منتشر می‌شود. لذا با مدیریت گازهای لندفیل و تولید الکتریسته، به طور کلی مقدار ۱۶۹/۴ Gg در سال از انتشار GHG کاسته می‌شود. لازم به ذکر است که در حال حاضر تقریباً تمامی برق تولیدی استان از طریق نیروگاه‌های حرارتی تامین می‌شود.

– توسعه مزارع بادی تولید برق

با توجه به فرضیات ارائه شده در بخش روش کار، میزان

باعث کاهش ۱۰۵ گیگاگرم در سال (معادل ۱۰ درصد GHG منتشر شده ناشی از مصرف برق در بخش خانگی) خواهد شد. همچنین با صرفه‌جویی ۱۰ درصد در مصرف گاز در منازل نیز عملاً ۱۰ درصد از انتشار ناشی از مصرف گاز در بخش مسکونی (طبق نمودار ۱ معادل ۳۸۰۰ Gg) کم می‌شود که این مقدار بالغ بر ۳۸۰ گیگاگرم در سال است و در نتیجه می‌توان در بخش خانگی با صرفه‌جویی ۱۰ درصد انرژی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را مجموعاً به میزان ۴۸۵ Gg نسبت به شرایط کنونی کاهش داد. تاثیر مجزا و تلفیقی تمامی چهار سناریوی مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای مطرح شده در این پژوهش در جدول ۴ گزارش شده است.

گلخانه‌ای در نیروگاه‌ها است حذف گازوئیل از نیروگاه‌های استان و جایگزین مقدار ارزش حرارتی معادل آن با گاز طبیعی، باعث کاهش انتشار GHG از مقدار کنونی ۶۰۳۳ Gg به ۵۶۶۲ Gg در بخش نیروگاهی می‌شود.

- صرفه‌جویی ۱۰ درصدی انرژی در بخش خانگی در حال حاضر میزان انتشار GHG ناشی از مصرف برق در بخش خانگی استان با توجه به میزان برق مصرفی، برابر با ۱۰۵۰ گاز گلخانه‌ای است (این عدد از ضرب شدن عدد نسبت برق مصرفی در بخش خانگی به کل برق تولیدی در عدد کل انتشار ناشی از تولید برق در استان محاسبه شده است). لذا چنانچه در مصرف برق خانگی ۱۰ درصد صرفه‌جویی شود،

جدول ۴- تاثیر سناریوهای پیشنهادی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰

سناریو	پارامتر	مقدار GHG در حال حاضر (Gg CO <sub>2eq</sub> )	کاهش سالانه GHG تا سال ۲۰۳۰ (Gg CO <sub>2eq</sub> )	مقدار کاهش (درصد)
مدیریت گاز لندفیل		۱۶۵۵۵	۱۷۰	۱
توسعه مزارع بادی		۱۶۵۵۵	۱۵۰۰	۹
مدیریت سوخت در نیروگاه‌ها		۱۶۵۵۵	۳۷۰	۲/۲
صرفه‌جویی در بخش خانگی		۱۶۵۵۵	۴۸۵	۲/۹
تاثیر تجمعی تمامی سناریوها		۱۶۵۵۵	۲۱۵۵	۱۳

## بحث

درصد از انتشار کل استان را به خود اختصاص داده‌اند. در مقایسه با آمار ملی که این سه بخش به ترتیب ۸۲، ۸ و ۶ درصد از انتشار ملی را به خود اختصاص داده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به صنعتی نبودن استان، سهم صنعت در انتشار GHG در استان نسبت به کل کشور کمتر است و وجود ظرفیت اکولوژیکی گسترده در استان باعث شده است که بخش کشاورزی-جنگلداری به چاهک گازهای گلخانه‌ای

به طور کلی می‌توان بخش‌های نیروگاه‌های حرارتی، مسکونی (به جز الکتریسیته) و حمل و نقل را به عنوان سه بخش اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای و مصرف کننده انرژی استان معرفی کرد. نتایج مشابه در مطالعه‌ای که در شهر بوسا کشور ترکیه انجام شده گزارش شده است (۲۲). همچنین بخش‌های انرژی، صنعت و کشاورزی و جنگلداری، به ترتیب ۹۴/۹، ۶/۹ و ۷/۴-

درصد، توسعه مزارع بادی و استحصال انرژی از لندفیل تا سال ۲۰۳۰ محقق شود، عملاً میزان برق مورد نیاز از نیروگاه‌های حرارتی نیز به میزان تقریبی ۴ GWh هزار کم شده و انرژی مورد نیاز نیروگاه در چنین شرایطی به حدود ۷۰ هزار تراژول در سال می‌رسد که این میزان انرژی در حال حاضر نیز توسط گاز طبیعی قابل تامین است (مقدار کنونی تقریباً برابر ۸۰ هزار تراژول است) و نیاز به سوخت مایع نیست. لذا در بررسی تجمعی، اثر سناریوی جایگزینی سوخت در نیروگاه با وجود تحقق سناریوهای دیگر، خنثی شده و در محاسبات کل لحاظ نشده است. از محدودیت‌های پژوهش حاضر این است که با توجه به مدنظر قرار دادن ساده‌ترین و محتمل‌ترین سناریوها در بازه ۱۰ ساله، تولید برق خورشیدی مورد بررسی قرار نگرفت. همچنین به دلیل عدم وجود اطلاعات سوخت مصرفی در حمل و نقل هوایی و عدم وجود داده‌های مربوط به جذب اکولوژیکی GHG توسط تالاب‌ها، اثرات این بخش‌ها در نتایج این پژوهش لحاظ نشده است.

### نتیجه‌گیری

سالانه بالغ بر ۱۸/۵ Mt گاز گلخانه‌ای در استان گیلان منتشر می‌شود که بالغ بر ۲ Mt توسط جنگل‌های استان جذب می‌شود و عملاً به عنوان ظرفیت اکولوژیکی استان در جذب گازهای گلخانه‌ای عمل می‌کند. لذا مقدار ۱۶/۵ مگاتن در سال GHG به طور خالص در استان منتشر می‌شود. به دلیل عدم وجود صنایع بزرگ در استان، بخش صنعتی تنها ۶/۹ درصد از انتشار GHG را به خود اختصاص داده است. بخش خانگی دارای سهم بالایی (۲۹/۳ درصد) در انتشار مستقیم و غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای است که غالباً ناشی از عدم توجه به بهینه‌سازی در مصرف انرژی ساختمان و فرهنگ استفاده ناصحیح است. امکان‌سنجی اتخاذ چهار سناریوی محتمل در جهت کاهش انتشار GHG در استان نشان داد که اگر تمامی سناریوهای پیشنهادی به طور همزمان اتخاذ شود، می‌توان انتظار داشت که در پایان سال ۲۰۳۰ بالغ بر ۱۳ درصد از انتشار کنونی کاسته شود که عملاً بدون هیچ بهبودی در کیفیت خودروها و یا استفاده از خودروهای دوگانه سوز و

در استان تبدیل شود اما در کل کشور چنین ظرفیتی وجود ندارد. با توجه به میزان جمعیت استان در سال ۱۳۹۸، سرانه تولید سالانه GHG در استان برابر با ۷/۳۱ ton (بدون لحاظ کردن ظرفیت اکولوژیکی) برآورد شد که این مقدار بسیار بیشتر از متوسط جهانی (۴/۵ ton) و تقریباً برابر با مقدار متوسط کشوری (۷/۷ ton) است. از آنجایی که صنایع مهم و بزرگی در استان وجود ندارند، انتظار می‌رود که سرانه تولید آن نسبت به متوسط کشوری کمتر باشد. اما در واقع اینگونه نیست و میزان انتشار GHG در استان بیش از مقادیر قابل انتظار برای یک استان توریستی و غیر صنعتی است. در مطالعه‌ای که بر روی ۹۳ میلیون واحد مسکونی در ایالت متحده آمریکا انجام شده است، سهم کلی بخش مسکونی (مستقیم و غیرمستقیم) برابر با ۲۰ درصد انتشار کل کشور آمریکا است (۴۲). با توجه به موارد ذکر شده در بخش بررسی سناریوها، می‌توان نتیجه گرفت که میزان تولید GHG در بخش مسکونی استان گیلان (مستقیم و غیرمستقیم) بیشتر از سهم ۲۳ درصد ناشی از مصرف گاز است (تقریباً برابر با ۴۸۵۰ Gg و معادل ۲۹/۳ درصد انتشار استان است). مقایسه متوسط انتشار بخش مسکونی استان و متوسط انتشار در بخش مسکونی کشور آمریکا بیانگر اتلاف بیشتر انرژی در واحدهای مسکونی استان و عدم صرفه‌جویی در مصرف گاز و برق است. از سوی دیگر نیز می‌توان پی برد که این اختلاف در انتشار بخش مسکونی استان و متوسط کشور آمریکا، نشان‌دهنده وجود ظرفیت مناسب جهت مدیریت سوخت در واحدهای مسکونی استان و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در بررسی سناریوهای کاهش انتشار استان در افق ۲۰۳۰ میلادی (جدول ۴) نیز می‌توان گفت که بیشترین تاثیر مربوط به سناریوی استفاده از مزارع بادی براساس برنامه پنجم توسعه است. همان‌طوری که مشخص است با نصب توربین‌های بادی با بازده عملکردی متوسط ۲۹ درصد در سال می‌توان حدود ۹ درصد از کل انتشار استان را کم کرد. همچنین کمترین تاثیر مربوط به سناریوی استحصال انرژی از گاز لندفیل است که به دلیل حجم کمتر گاز متان قابل جمع‌آوری از لندفیل است. در بررسی تجمعی تمامی سناریوها نیز باید توجه نمود که چنانچه سناریوهای صرفه‌جویی ۱۰

حداقل ۴ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا افق ۲۰۳۰ نسبت به شرایط کنونی کاهش دهند و عملاً حداقل تعهدات پیشنهادی کشور در این راستا (کاهش ۴ درصد نسبت به سال ۲۰۱۰) محقق گردد. اگرچه کاهش ۴ درصد در افق ۲۰۳۰ نسبت به شرایط کنونی منجر به کاهش بیش از ۴ درصد نسبت به افق ۲۰۱۰ است. زیرا مقادیر انتشار در کشور در حال حاضر بسیار بیشتر از مقادیر انتشار در ۲۰۱۰ است.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

هیبریدی قابل حصول است. در کنار این مطلب، استان گیلان دارای ظرفیت مناسبی در تولید برق خورشیدی توسط پنل‌های فتوولتائیک است که در بخش‌های جنوبی استان و تابش مناسب آفتاب در کنار گرد و غبار محیطی کم می‌تواند بستری مناسب برای تولید انرژی پاک باشد. نکته قابل توجه این است که همه سناریوهای پیشنهادی در این تحقیق عملاً در خود استان محقق می‌شود و متکی به برنامه‌های سایر استان‌ها در امر کاهش انتشار GHG نیست. لذا چنانچه برنامه‌های تولید برق از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر در سایر استان‌هایی که پتانسیل مناسبی دارند نیز دنبال شود و تصمیمات کلان و ملی در بخش مصرف سوخت در خودروها نیز اتخاذ و عملیاتی شود، می‌توان انتظار داشت که سایر استان‌ها نیز بتوانند به راحتی

## References

1. Kweku DW, Bismark O, Maxwell A, Desmond KA, Danso KB, Oti-Mensah EA, Quachie AT, Adormaa BB. Greenhouse effect: Greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2017; 17(6): 1-9.
2. Tanaka K, O'Neill BC. The Paris Agreement zero-emissions goal is not always consistent with the 1.5 °C and 2 °C temperature targets. *Nature Climate Change*. 2018; 8(4): 319-324.
3. Rees WE. COP-26: Stopping Climate Change and Other Illusions. *Buildings and Cities*. 2021 Oct 04. Available from: <https://www.buildingsandcities.org/insights/commentaries/cop26-illusions.html>.
4. Meinshausen M, Meinshausen N, Hare W, Raper SC, Frieler K, Knutti R, Frame DJ, Allen MR. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2C. *Nature*. 2009; 458(7242): 1158-1162.
5. Ritchie H, Roser M. CO2 and greenhouse gas emissions. *Our world in data*. 2020. Available from: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
6. Iran's National Climate Change Office (NCCO). Islamic Republic of Iran - Third National Communication to UNFCCC. 2017. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Third\\_National\\_communication\\_IRAN.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Third_National_communication_IRAN.pdf)
7. United States of America Environmental Protection Agency (US-EPA). Global Greenhouse Gas Emissions Data. 2019. Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
8. The World Bank Data. CO2 emissions (metric tons per capita). 2018. Available at: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>
9. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto Climate Change Conference; 1997

- Dec 1-10; Kyoto, Japan.
10. Hasani M, Ahmadi Moghadam M. Estimate emissions of greenhouse gases carbon dioxide, methane, nitrous oxide from Bandar Mahshahr transport network and the impact of the implementation of the Fifth Development Plan. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2016. (in Persian)
11. Rajabi MH, Soltani A, Zeinali E, Soltani E. Evaluation of greenhouse gas emission and global warming potential in wheat production in Gorgan, Iran. *Electronic Journal of Crop Production*. 2012; 2(3): 23-44. (in Persian)
12. Orkomi AA, Malekpour M. Energy utilization potential of Saravan landfill in Rasht with life cycle assessment approach. *Environmental Sciences*. 2021; 19(2): 205-224. (in Persian)
13. Milich L. The role of methane in global warming: where might mitigation strategies be focused? *Global Environmental Change*. 1999; 9(3):179-201.
14. Rezaee E, Abolhasani MH. Evaluation of landfill gas generation for exploitation energy (Case study: landfill no. 2 of Shahinshahr). *Journal of Environmental Health and Engineering*. 2018; 5(4): 389-400. (in Persian).
15. Hashmonay RA, Ramsey SH. Long-term, open-path emissions monitoring at oil and gas exploration and production sites. *Proceedings of the 20th international emissions inventory conference*; 2012 Aug 13-16; Florida, USA.
16. Castiñeira D, Rawlings BC, Edgar TF. Multivariate image analysis (MIA) for industrial flare combustion control. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2012; 51: 12642-12652.
17. Tanha Ziyarati M, Bahramifar N, Baghmisheh G, Younessi H. Greenhouse gas emission estimation of flaring in a gas processing plant: technique development. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019; 123: 289-298. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.01.008>.
18. Lyman SN, Mansfield ML, Tran HN, Evans JD, Jones C, O'Neil T, et al. Emissions of organic compounds from produced water ponds I: Characteristics and speciation. *Science of the Total Environment*. 2018; 619: 896-905.
19. Enström A, Haatainen T, Suharto A, Giebels M, Lee KY. Introducing a new GHG emission calculation approach for alternative methane reduction measures in the wastewater treatment of a palm oil mill. *Environment, Development and Sustainability*. 2019; 21(6): 3065-3076. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0181-4>
20. Rutherford JS, Sherwin ED, Ravikumar AP, Heath GA, Englander J, Cooley D, Lyon D, Omara M, Langfitt Q, Brandt AR. Closing the methane gap in US oil and natural gas production emissions inventories. *Nature communications*. 2021; 12(1): 1-12.
21. McGraw J, Haas P, Young L, Evens A. Greenhouse gas emissions in Chicago: emissions inventories and reduction strategies for Chicago and its metropolitan region. *Journal of Great Lakes Research*. 2010; 36(2): 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.11.010>.
22. Mutlu V, Cindoruk YO, Cindoruk SS. Evaluation of Bursa metropolitan greenhouse Gas inventory and reduction targets. *Urban Climate*. 2020; 34: 100717.
23. Gu CL, Yuan XH. Urban greenhouse gas

- inventory and methods in China. *Urban Environment & Urban Ecology*. 2011; 24(1): 1-4.
24. Tavakoli A. Decomposition and analysis of driving forces of GHG emissions and emission reduction potentials in Iran. *Quarterly Energy Economics Review*. 2019; 15(60): 77-105. (in Persian)
25. Bazzazan F, Mousavi MH, Gheshmi F. The impact of government subsidies on electricity demand and consumption for the urban and rural households in Iran (A systemic solution). *Iranian Energy Economics*. 2015; 4(14): 1-32. (in Persian)
26. Eskafi F. Greenhouse gases emission reduction opportunities in the Iranian transportation sector in comparison with the European Union. Conference on carbon market and clean development mechanism in petrochemical and allied industry; 2009 Sep 29-30; Tehran, Iran. (In Persian)
27. Gomes J, Nascimento J, Rodrigues H. Estimating local greenhouse gas emissions-A case study on a Portuguese municipality. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2008; 2(1): 130-135. [https://doi.org/10.1016/S1750-5836\(07\)00098-9](https://doi.org/10.1016/S1750-5836(07)00098-9)
28. Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories; 2006.
29. GPSIS. Management and planning organization of Guilan Provice. Statistical information system of Guilan province. Guilan Province Statistical Information System (in Persian). 2019. Available online at: <http://sdi.mpogl.ir/>
30. Dayan B, Khezri SM, Tavakoli B. Environmental assessment of Rasht Compost Factory. *Journal of Biology Science*. 2018; 3(4): 39-49. (in Persian)
31. Doorn MRJ, Liles D. Global methane, quantification of methane emissions and discussion of nitrous oxide, and ammonia emissions from septic tanks, latrines, and stagnant open sewers in the world. EPA-600/R-99-089, Prepared for US EPA, Research Triangle Park, NC, USA. 1999.
32. Iordan CM, Hu X, Arvesen A, Kauppi P, Cherubini F. Contribution of forest wood products to negative emissions: historical comparative analysis from 1960 to 2015 in Norway, Sweden and Finland. *Carbon Balance and Management*. 2018; 13(1): 1-16.
33. Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL, Canadell JG, Ciais P. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*. 2011; 333(6045): 988-993.
34. Hellier A, Meir P, Malhi Y, McGhee W, Tipper R, Mayhew J. Climate Change and Forests. In: *State of the World's Forests*. Food and Agriculture Organisation(FAO); 2001. p.60-73.
35. Forsell N, Korosuo A, Federici S, Gusti M, Rincón-Cristóbal JJ, Rüter S, et al. Guidance on developing and reporting the forest reference levels in accordance with regulation (EU) 2018/841. 2018. [http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15375/1/Submitted\\_TG\\_20180622\\_clean.pdf](http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15375/1/Submitted_TG_20180622_clean.pdf)
36. Grassi G, Pilli R, House J, Federici S, Kurz WA. Science-based approach for credible accounting of mitigation in managed forests. *Carbon Balance and Management*. 2018; 13(1): 1-16.
37. Rüter S. Projections of net-emissions from harvested wood products in European Countries. Hamburg : Johann Heinrich von Thünen-Institute (vTI), 63 p, Work Report of the Institute of

- Wood Technology and Wood Biology, Report, 63(2011/1). 2011.
38. REEO. Renewable Energy and Energy Efficiency Organization of Iran. 2020. (in Persian) <http://www.satba.gov.ir/en/>
39. Sobhani B, Safarian VZ, Kianian MK. Potentiometric mapping for wind turbine power plant installation Guilan province in Iran. Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 2018; 22(8): 1363-1368. <https://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view/177447>
40. Delkhosh H, Parniani M. A new approach for performance evaluation of wind turbines and wind farms using extended capacity factor-Case study of Manjil wind farm. Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering. 2021; 19(3): 167-179. (in Persian)
41. Were D, Kansime F, Fetahi T, Cooper A, Jjuuko C. Carbon sequestration by wetlands: a critical review of enhancement measures for climate change mitigation. Earth systems and Environment. 2019; 3(2): 327-340.
42. Goldstein B, Gounaridis D, Newell JP. The carbon footprint of household energy use in the United States. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020; 117(32): 19122-19130.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Greenhouse gas emission inventory and quantifying regional compatible mitigation plans-horizon 2030 (case study: Guilan province, Iran)

Ali Ahmadi Orkomi\*

Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Guilan, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 15 January 2022

**Revised:** 13 March 2022

**Accepted:** 16 March 2022

**Published:** 11 June 2022

**Keywords:** Emission estimation, Emission reduction scenario, Greenhouse gas, Guilan

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Greenhouse gas emission estimation and submitting a regular national report on climate change has been underway since 2003. Given the importance of this issue, estimating emissions at the provincial level and assessing local emission management capacities will make the country more agile in reporting and emission control.

**Materials and Methods:** The greenhouse gas emission in four sectors as energy, industry, agriculture, forestry and other landuse and wastes and all sub-sectors of these areas was determined in Guilan Province. The annual emission has been estimated using the 2019 activity data and the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) software.

**Results:** The gross and per capita greenhouse gases' emission of the province are 18.5 Mt and 7.31 tons per year carbon dioxide equivalent, respectively, so that the annual ecological supply of forests to capture greenhouse gases is estimated at 2 Mt. The thermal power plants, residential consumption (except electricity) and transportation sectors are the major emission sectors in the province with 36, 23 and 19% share, respectively. Out of four scenarios, the wind farms development scenario (nominal capacity 3 GW) and 10% energy savings in the residential sector reduce greenhouse gas emissions by 9% and 2.9%, respectively. The cumulative impact of all the proposed scenarios by 2030 will also lead to a 13% reduction in emissions compared to the current situation.

**Conclusion:** Considering the existing capacities in the clean power generation and energy saving in the residential sector, it is possible to reduce the emission of greenhouse gases by 13% by 2030. Since the proposed scenarios are regionalized and do not depend on management decisions in other provinces, they have good feasibility. Consequently, if clean power generation plans are established in other provinces and energy consumption management in the transport sector is applied at the national scale, it may be expected that the country's minimum commitments (4% reduction compared to 2010) will be met.

**\*Corresponding Author:**

Orkomi@guilan.ac.ir

Please cite this article as: Ahmadi Orkomi A. Greenhouse gas emission inventory and quantifying regional compatible mitigation plans-horizon 2030 (case study: Guilan province, Iran). Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(1):121-36.

