نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant

سال پنجم / شماره هفدهم / تابستان ۱۳۹۷ 5th Year / No. 17 / September 2018

بررسی تولید گازهای گلخانه‌ای CH4 و CO2 در مخازن سدهای نیروگاهی حوضه کارون

حسین صمدی بروجنی[۱]
عیسی بزرگ‌زاده[۲]
سید هاشم افضلی[۳]
میلاد خواستار بروجنی[٤]
نادر رضایی[٥]

چکیده:

نیروگاه‌های برق‌آبی به دلیل نیاز به ساخت سد و ایجاد مخزن ذخیره آب، از منابع تولید گازهای گلخانه-ای است. در این تحقیق با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی میزان تولید گازهای CH4 و CO2 از مخازن سدهای نیروگاهی حوضه کارون شامل سدهای کارون۳ و کارون۴ و شهید عباسپور موردبررسی قرارگرفته است. نتایج نشان داد از نظر نرخ تولید گازهای گلخانه‌ای، مخزن سد شهید عباسپور با ۱۳۴/۵ گرم دی‌اکسید کربن معادل بر کیلووات ساعت برق تولیدی بیشترین میزان نرخ تولید گازهای گلخانه‌ای را داشته و پس‌ازآن سدهای کارون ۴ و کارون ۳ به ترتیب با تولید ۳۲/۸۷ و ۲۳/۹۲ گرم دی‌اکسید کربن معادل بر کیلووات ساعت برق تولیدی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین نتایج مقایسه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌های برق‌آبی موردمطالعه با نیروگاه‌های حرارتی جایگزین نشان داد نیروگاه‌های برق‌آبی موردمطالعه به‌طور متوسط تنها ۷٫۶ درصد نیروگاه‌های حرارتی جایگزین، گاز گلخانه‌ای دی-اکسیدکربن معادل منتشر کرده‌اند. این مقدار برای کارون۳ کمترین و برای نیروگاه شهید عباسپور بیشترین مقدار را دارد. این نتایج نشان می‌دهد با احداث نیروگاه‌های برق‌آبی موردمطالعه بیش از ۹۲ درصد در انتشار گازهای گلخانه‌ای صرفه‌جوئی شده است که از نظر محیط‌زیست یک عملکرد مطلوب به-حساب می‌آید.

واژه‌های کلیدی:

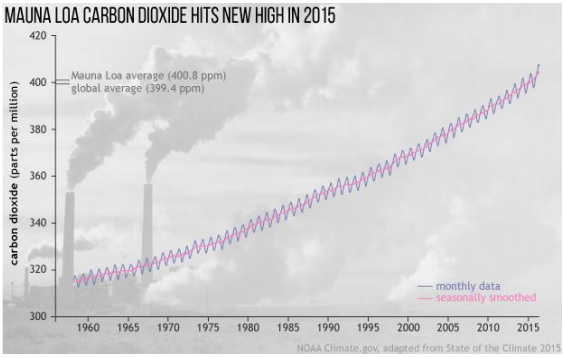
نیروگاه‌های برق‌آبی، حوضه کارون، گازهای گلخانه‌ای، نیروگاه‌های حرارتی

[۱]* دانشیار گروه مهندسی آب و رئیس مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد، samadi@agr.sku.ac.ir
[۲]کارشناس ارشد منابع آب و معاون مطالعات و پژوهش‌های شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران
[۳]کارشناس ارشد سازه‌های آبی مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد
[٤]دانشجوی دکترای سازه‌های آبی دانشگاه فردوسی مشهد
[٥]کارشناس ارشد عمران شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران

تاریخ دریافت:۹۶/۶/۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۶

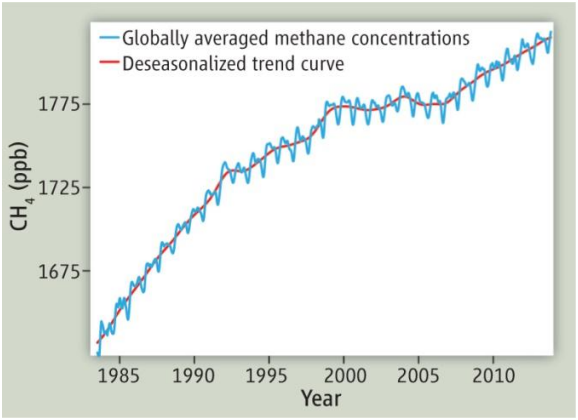
مقدمه

سابقه مطالعات در مورد افزایش گازهای گلخانه‌ای و پدیده گرمایش زمین تقریباً به ۳۰ سال پیش برمی‌گردد که براساس نخستین کنفرانس آب‌وهوای جهان در سال ۱۹۷۹ و پروتکل مونترال در سال ۱۹۸۲ میلادی، استفاده از کلروفلوروکربن(CFC) محدودشد. مسئله مهم و مشکل‌زا در مورد تغییر آب‌وهوا، گرم شدن کره زمین است که براثر انتشار گازهای گلخانه‌ای N2، O2، CH4، SF6، HFCs و CO2ایجاد می‌شود. در میان این گازها ازنقطه‌نظر پتانسیل گرمایشی در مقیاس جهانی، مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای CO2 و پس‌ازآن متان است. پس از انقلاب صنعتی و تمایل بشر به زندگی مدرن غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر براثر مصرف سوخت‌های فسیلی افزایش‌یافته است و همواره در حال افزایش است (شکل (۱)).



شکل (۱): تغییرات غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر در ایستگاه مائونالوا هاوایی (امریکا) طی سال‌های ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۵

مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی عامل اصلی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر محسوب می‌شوند. علاوه بر این غلظت متان در اتمسفر به دلیل دخالت بشر در طبیعت نیز در حال افزایش است (شکل (۲)). این دو گاز گلخانه‌ای غالب و مهم در اتمسفر سبب تشدید پدیده گلخانه‌ای و متعاقب آن افزایش دمای کره زمین و تغییرات شدید در الگوی بارش در سرتاسر کره زمین خواهد شد. به همین دلیل زندگی بشر و نسل آینده ممکن است در معرض خطر جدی قرار گیرد. در سال ۱۹۸۹ هیئت بین‌الدول تغییرات آب‌وهوا (IPCC[۱]) تشکیل گردید که اولین گزارش خود را در سال ۱۹۹۰ منتشر نمود. IPCC در اولین گزارش خود در سال ۱۹۹۰ با شواهد علمی، مسئله تغییر اقلیم را اثبات نموده و بر انسان‌ساخت بودن پدیده گرمایش جهانی تأکید کرد.



شکل (۲): تغییرات غلظت متان در اتمسفر طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵

منابع تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار متنوع است و تقریباً هر فعالیتی که انسان انجام می‌دهد به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در تولید گازهای گلخانه‌ای نقش دارد. بخش انرژی نیز ازجمله بخش‌های اقتصادی است که در افزایش گازهای گلخانه‌ای نقش مستقیم و غیرمستقیم دارد. در این بخش نیروگاه‌های تولید برق در تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای تفاوت‌هایی باهم دارند. نیروگاه‌های حرارتی معمولاً نسبت به نیروگاه‌های تجدیدپذیر، گاز گلخانه‌ای بیشتری را انتشار می‌دهند. ولی اظهارنظر قطعی در این زمینه نیازمند انجام پژوهش است. نیروگاه‌های برق‌آبی ازاین‌جهت که انرژی الکتریکی را از منابع تجدیدپذیر تولید کرده و وابسته به سوخت‌های فسیلی نیستند حائز اهمیت ویژه هستند. این نوع نیروگاه‌ها براساس آمار سال ۲۰۱۵ در حدود ۱۶/۶ درصد کل برق دنیا را تولید کرده و سهم ۷۰ درصدی در تبدیل انرژی‌های تجدید پذیر داشته‌اند. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که تا ۲۵ سال آینده، نیروگاه‌های برق‌آبی رشد سالانه معادل ۳/۱ درصد داشته باشند. در ایران نیز نیروگاه‌های برق‌آبی جایگاه ویژه‌ای در کنترل بار پیک دارند. ظرفیت تولید نیروگاه‌های برق‌آبی در حال حاضر بالغبر ۱۱۰۰۰ مگاوات است که ۱۵/۷ درصد کل ظرفیت نیروگاه‌های کشور را تشکیل می‌دهد. در ایران عمده نیروگاه‌های برق‌آبی با ساخت سد و ایجاد مخزن ذخیره آب همراه بوده و با احداث هر مخزن آبی، شرایط برای تولید گازهای گلخانه‌ای پدید می‌آید و گازهای

۱. Intergovernmental Panel on Climate Change.

گلخانه‌ای به‌ویژه متان و دی‌اکسیدکربن به‌واسطه پوسیده شدن پوشش‌های گیاهی و خاکی که در مخازن سدها در زیر آب قرارگرفته‌اند و یا رسوباتی حاوی مواد آلی که به همراه سیلاب‌های فصلی از حوضه بالادست وارد مخزن می‌شوند، به‌وسیله باکتری‌های بی‌هوازی و فرآیند تجزیه تولید می‌گردند. لذا علی‌رغم اینکه این نوع از نیروگاه‌ها در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جوئی ایجاد کرده و از تولید آلایندگی و افزایش گازهای گلخانه‌ای پیش‌گیری می‌کنند، یکی از ایراداتی که به توسعه مخازن سدهای ذخیره‌ای مرتبط با نیروگاه‌های برق‌آبی گرفته می‌شود نقش این مخازن در تولید گازهای گلخانه‌ای است. مطالعات انجام‌شده در کشورهای دیگر نشان داده که بسته به نوع منطقه و اقلیم حاکم، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در مخازن سدهای ذخیره‌ای مرتبط با نیروگاه‌های برق‌آبی، بسیار متفاوت است. به‌طوری‌که در مناطق حارّه‌ای، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در نیروگاه‌های برق‌آبی حتی از نیروگاه حرارتی جایگزین هم بیشتر است. ولی در نواحی معتدل و مناطق شمالی، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار ناچیز است. نرخ تجزیه مواد آلی و ذخایر کربن مخازن سدها به عوامل متعددی وابسته هستند که ازجمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به درجه حرارت آب، زمان ماندگاری آب در مخزن، حجم و شکل مخزن، مقدار و نوع گیاهان حمل شده توسط سیلاب، عمق مخزن، موقعیت جغرافیایی و عمر مخزن اشاره کرد. روش کلی برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سدهای مخزنی و برق‌آبی، مبتنی بر اندازه‌گیری‌های دقیق و گسترده میدانی و مطالعات دفتری است. برای هر منبع انتشاردهنده گازهای گلخانه‌ای نیز روشی خاص مورداستفاده قرار می‌گیرد و محاسبه‌های لازم برای مشخص کردن میزان تبدیل ذخایر مواد آلی موجود در مخزن به گازهای گلخانه‌ای انجام می‌شود. ازجمله راه‌ها و موارد مؤثر در نقش مخازن در تولید گازهای گلخانه‌ای می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) گازهای متصاعد شده از سطح مخزن سد به‌صورت حباب و به‌واسطه تجزیه مواد آلی موجود در بستر مخزن (رسوبات و ...)

ب) انتشار گازهای گلخانه‌ای محلول در آب که پس از خارج شدن از دریچه‌های سد در پایین‌دست به اتمسفر وارد می‌شود.

انجام پژوهش در این زمینه در کشور کمک می‌کند، دیدگاه واقع‌بینانه‌ای در مورد تولید گازهای گلخانه‌ای توسط نیروگاه‌های برق‌آبی به‌دست آورد که موضوع مقاله حاضر است. نتایج چنین پژوهشی می‌تواند برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان صنعت برق و توسعه برق‌آبی چراغ راهی باشد تا در آینده قدم‌های درست در این بخش بردارند.

مواد و روش‌ها

سدهای نیروگاهی موردمطالعه

برای انجام این تحقیق سه سد نیروگاهی مهم در حوضه کارون شامل سدهای شهید عباسپور، کارون ۳ و کارون ۴ مدنظر قرارگرفته است و اندازه‌گیری‌ها و بررسی‌های میدانی در مخزن این سه در سال ۱۳۹۴ به‌صورت ماهانه انجام‌گرفته است. مشخصات کلی این سدها در جدول (۱) ارائه‌شده است.

جدول (۱): مشخصات کلی سدهای برق‌آبی موردمطالعه

ردیف	نام سد	مساحت حوضه آبریز (km^2)	سال بهره‌برداری	ارتفاع از پی (m)	حجم مخزن (MCM)	طول مخزن (km)	مساحت مخزن (km^2)	ظرفیت نیروگاه (مگاوات)	تولید برق سالانه* GWhr
۱	شهید عباسپور	۲۶۸۳۸	۱۳۵۴	۱۸۸	۳۱۳۹	۷۵	۵۴/۸	۲۰۰۰	۳۱۶۶
۲	کارون ۳	۲۱۲۶۰	۱۳۸۳	۲۰۵	۲۹۷۰	۶۰	۴۸/۲	۲۰۰۰	۲۳۸۶
۳	کارون ۴	۹۹۳۵	۱۳۹۰	۲۳۰	۲۲۷۹	۴۱	۳۰	۱۰۰۰	۱۳۲۸

* متوسط تولید در دوره بهره‌برداری

نرخ تولید گازهای گلخانه از سطح مخازن سدهای موردمطالعه

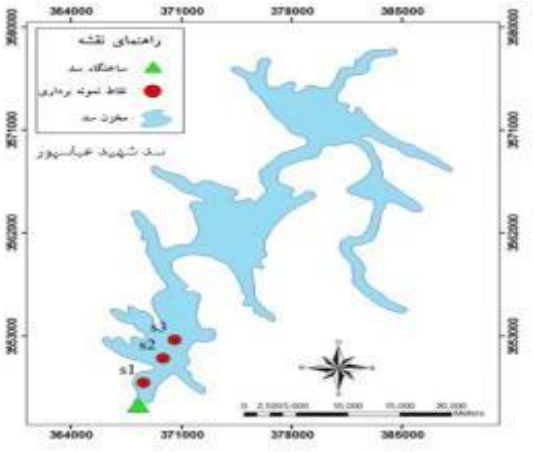
برای برآورد میزان تولید گازهای گلخانه‌ای توسط مخازن سدهای موردمطالعه، اندازه‌گیری‌های میدانی در طول یک سال (۱۳۹۴) به‌صورت ماهانه انجام گرفت. در این مطالعه اندازه‌گیری میزان انتشار مقادیر متان و دی‌اکسید کربن با استفاده از دستگاه پرتابل COMBIMASS GA-m مدل BINDER با دقت ۰/۱ درصد ماهانه انجام گرفت.

بدین منظور براساس دستورالعمل ارائه‌شده توسط IPCC و IHA اقدام به نصب محفظه‌های استاتیک شناور تله اندازی گاز (Champer) با ابعاد ۳۰،۳۰و۴۵ سانتی‌متر بر روی سطح مخازن گردید. برای هر سد، سه ایستگاه اندازه-گیری تعیین گردید. موقعیت و مختصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سدهای موردمطالعه در جدول (۲) ارائه و در شکل‌های (۳) تا (۵) نشان داده‌شده است.

همچنین در هر ایستگاه، سه محفظه در موقعیت سه رأس یک مثلث به‌منظور تعیین برآیند مقادیر ثبت‌شده تعبیه گردید. نمائی از محفظه مورداستفاده در شکل (۶) نشان داده‌شده است. ارتفاع کلی محفظه ۶۰ سانتیمتر، قطر متوسط محفظه ۴۰ سانتیمتر و حجم محفظه بالای آب ۳۶ لیتر است. هر محفظه مجهز به دو شیر تخلیه هوا، فن و تیوپ شناور بود و اندازه‌گیری‌ها سه نوبت در طول شبانه-روز و در هر نوبت در فواصل زمانی ۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه به‌وسیله دستگاه COMBIMASS در محل ثبت گردیدند.

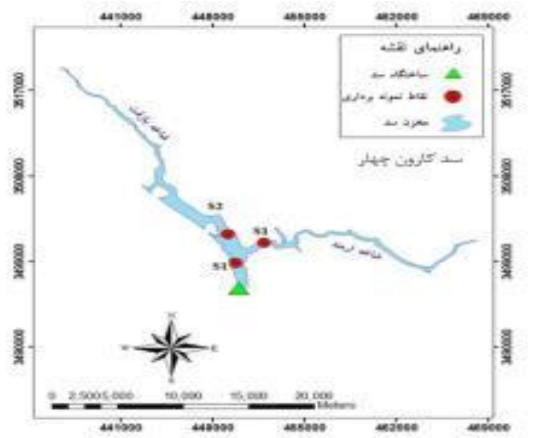
جدول (۲): مختصات نقاط نمونه‌برداری در سدهای سه‌گانه

نام سد	نام ایستگاه	مختصات UTM	
		X (m)	Y (m)
کارون چهار	S۱	۳۵۰۰۹۷۶/۲۴	۴۵۱۹۶۱/۱۱
	S۲	۳۵۰۱۸۸۳/۵۲	۴۴۹۲۰۷/۶۶
	S۳	۳۴۹۸۸۵۷/۴۸	۴۴۹۸۳۸/۰۲
کارون سه	S۱	۳۵۱۸۲۳۹/۸۹	۴۱۶۱۱۶/۳۹
	S۲	۳۵۱۶۰۵۷/۵۸	۴۱۶۱۸۲/۱۲
	S۳	۳۵۱۶۴۳۶/۴۵	۴۱۷۰۱۹/۲۵
شهید عباسپور	S۱	۳۵۴۸۸۹/۴۴	۳۶۸۶۵۴/۶۳
	S۲	۳۵۵۱۰۶۰/۶۱	۳۶۹۸۷۴/۱۶
	S۳	۳۵۵۲۶۵۷/۷۶	۳۷۰۵۹۷/۳۴

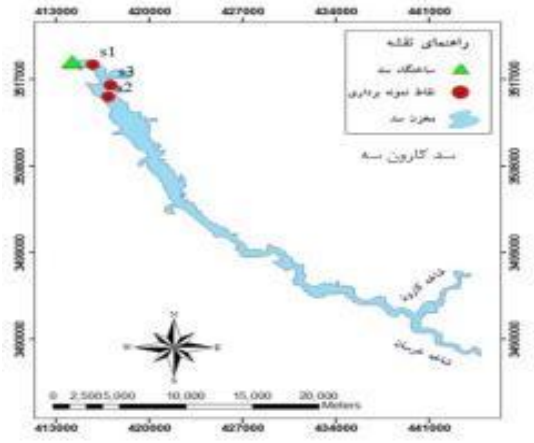


شکل (۳): موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری و اندازه‌گیری در مخزن سد شهید عباسپور

*



شکل (۴): موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری و اندازه‌گیری در مخزن سد کارون ۴



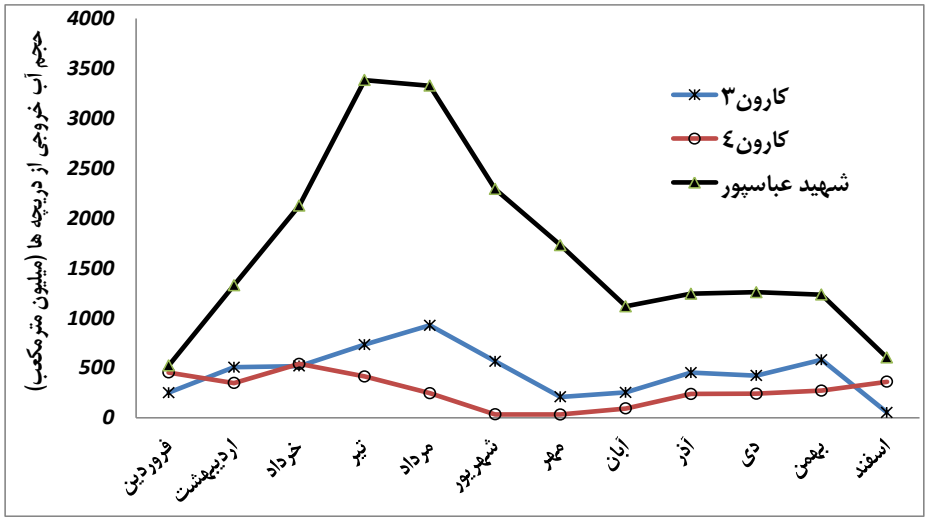
شکل (۵): موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری و اندازه‌گیری در مخزن سد کارون ۳

همچنین برای تعیین میزان گازهای متان و دی‌اکسید کربن که از طریق دریچه‌های سد خارج می‌شود، از اعماق مختلف ۴، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ متر از سطح آب دریاچه

سدهای موردمطالعه نمونه نقطه‌ای برداشت‌شده و در آزمایشگاه غلظت محلول گازهای متان و دی‌اکسید کربن اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها از سه ایستگاه و از اعماق ۴، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰ متر نسبت به سطح آب مخزن گرفته شد.

علاوه بر غلظت گازهای گلخانه‌ای محلول در آب، لازم است مقدار آب خروجی از سد مشخص باشد تا بتوان مقدار گاز تخلیه‌شده از مخزن سد از طریق دریچه‌ها را به دست آورد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری‌ها در سال ۱۳۹۴ انجام‌شده است، لذا حجم آب خروجی از دریچه سدهای موردمطالعه به‌صورت فصلی در نمودار شکل (۷) نشان داده‌شده است. براین اساس مجموع آب خروجی از دریچه‌های سدهای کارون ۴، کارون ۳ و شهید عباسپور در سال موردمطالعه به ترتیب ۳۲۷۶، ۵۴۷۵ و ۲۰۱۶۳ میلیون مترمکعب بوده است.

شکل (۶): نمائی از محفظه مورداستفاده برای اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای از سطح آب



شکل (۷): حجم آب تخلیه‌شده از مخازن موردمطالعه در دوره اندازه‌گیری (سال ۱۳۹۴)

نتایج و بحث

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از مخازن سدهای موردمطالعه

با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی انجام‌شده در محدوده مخازن سدهای موردمطالعه، میزان انتشار گازهای گلخانه-ای دی‌اکسیدکربن و متان از دو مسیر مختلف، یکی انتشار از طریق متصاعد شدن گاز از سطح دریاچه و دیگری گازهای تخلیه‌شده از طریق خروجی دریچه سدهای موردمطالعه با توجه به غلظت گاز محلول در آب، محاسبه گردید. در جدول (۳) مقادیر متوسط غلظت گاز دی‌اکسید کربن در فصول مختلف به همراه میزان آب تخلیه‌شده از دریچه‌ها ارائه‌شده است. شایان‌ذکر است برای گاز متان مقدار محلول این گاز در هیچ‌یک از نمونه‌ها مشاهده نشد که این امر به خاطر انحلال‌پذیری بسیار پائین این گاز است.

در جدول (۴) نیز میزان گازهای متان و دی‌اکسید کربن که از طریق سطح دریچه‌های سد خارج می‌شود، ارائه‌شده است.

در جدول (۵) نتایج اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مربوط به کل میزان گازهای گلخانه‌ای تولیدی توسط مخازن سدهای نیروگاهی موردمطالعه اعم از گازهای تخلیه‌شده از دریچه‌ها و گازهای منتشرشده از سطح دریاچه سدها ارائه‌شده است. در این جدول ملاحظه می‌شود از نظر نرخ تولید گازهای گلخانه‌ای، مخزن سد شهید عباسپور با ۱۳۴/۵ گرم

دی‌اکسید کربن معادل بر کیلووات ساعت برق تولیدی بیشترین میزان تولید را داشته و پس‌ازآن سدهای کارون ۴ و کارون ۳ به ترتیب با تولید ۳۲/۸۷ و ۲۳/۹۲ گرم دی‌اکسید کربن معادل بر کیلووات ساعت برق تولیدی در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول (۳): مقدار گاز دی‌اکسید کربن تخلیه‌شده از طریق دریچه‌های مخازن سدهای موردمطالعه

فصل	کارون ۳			کارون ۴			شهید عباسپور		
	حجم آب خروجی از سد *	غلظت Co_2 (mg/l)	مقدار Co2 خروجی (تن)	حجم آب خروجی از سد	غلظت Co_2 (mg/l)	مقدار Co_2 خروجی (تن)	حجم آب خروجی از سد*	غلظت Co_2 (mg/l)	مقدار Co2 خروجی (تن)
بهار	۱۲۷۵	۱۴.۷۷	۱۸۸۳۸	۱۳۴۳	۱۴.۳۳	۱۹۲۴۵	۳۹۷۷	۱۴.۴۶	۵۷۵۰۵
تابستان	۲۲۲۵	۱۳.۹۹	۳۱۱۲۵	۶۹۳	۱۳.۶۵	۹۴۶۷	۹۰۰۲	۱۴.۵۹	۱۳۱۳۶۵
پائیز	۹۱۷	۳.۲۰	۲۹۳۵	۳۶۶	۲.۶۴	۹۶۶	۴۰۸۹	۵.۴۷	۲۲۳۷۲
زمستان	۱۰۵۸	۲.۶۷	۲۸۲۳	۸۷۴	۳.۱۰	۲۷۱۲	۳۰۹۶	۳.۴۵	۱۰۶۹۶
سالانه	**۵۴۷۵**	**۱۰.۱۸**	**۵۵۷۲۲**	**۳۲۷۶**	**۹.۸۹**	**۳۲۳۹۰**	**۲۰۱۶۳**	**۱۱.۰۱**	**۲۲۱۹۳۹**

* برحسب میلیون مترمکعب

جدول (۴): مقدار گاز دی‌اکسید کربن معادل منتشرشده از سطح دریاچه سدهای موردمطالعه

ردیف	نام سد	میانگین تولید برق* GWhr	تولید گاز دی اکسید کربن معادل (تن)	نرخ تولید دی اکسید کربن (g-Co2/Kwhr)
۱	شهید عباسپور	۳۱۶۶	۲۰۴۰۲۳.۳۶	۶۴.۴۴
۲	سد کارون ۳	۲۳۸۶	۱۳۴۶.۴۴	۰.۵۶۴
۳	سد کارون ۴	۱۳۲۸	۱۱۱۴۳.۹۸	۸.۳۹۲
مجموع		۶۸۸۰	۲۱۶۵۱۳.۷۹	۳۱.۴۷

* میانگین تولید در دوره بهره برداری که با تولید نامی نیروگاه اختلاف دارد.

جدول (۵): مجموع گازهای گلخانه‌ای تولیدی توسط مخازن سدهای نیروگاهی موردمطالعه

ردیف	نام سد	میانگین تولید برق GWhr	تولید گاز دی‌اکسید کربن معادل (تن در سال)			نرخ تولید دی‌اکسید کربن معادل سالانه g-) (Co_2/Kwhr
			تولید از سطح مخزن	تولید از خروجی دریچه‌ها	کل تولید گاز دی‌اکسید کربن معادل	
۱	سد کارون ۳	۲۳۸۶	۱۳۴۶,۴۴	۵۵۷۲۲	۵۷۰۶۸,۴۴	۲۳,۹۲
۲	سد کارون ۴	۱۳۲۸	۱۱۱۴۳,۹۸	۳۲۳۹۰	۴۳۵۳۳,۹۸	۳۲,۷۸
۳	شهید عباسپور	۳۱۶۶	۲۰۴۰۲۳,۳۶	۲۲۱۹۳۹	۴۲۵۹۶۲,۳۶	۱۳۴,۵۴
مجموع		۶۸۸۰	۲۱۶۵۱۳,۷۸	۳۱۰۰۵۱	۵۲۶۵۶۴,۷۸	۷۶,۵۴

* میانگین تولید در دوره بهره‌برداری که با تولید نامی نیروگاه اختلاف دارد.

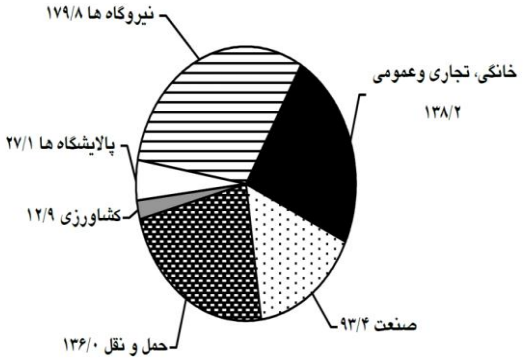
** محدوده نرخ تولید دی‌اکسید کربن معادل برای نیروگاه‌های آبی مناطق گرمسیری ۲۰۰ تا ۳۰۰۰ و برای نیروگاه‌های آبی مناطق معتدل-سردسیری ۱۰ تا ۲۰۰ گرم دی‌اکسید کربن معادل بر کیلووات ساعت برق تولیدی گزارش‌شده است.

مقایسه با سایر نیروگاه‌ها

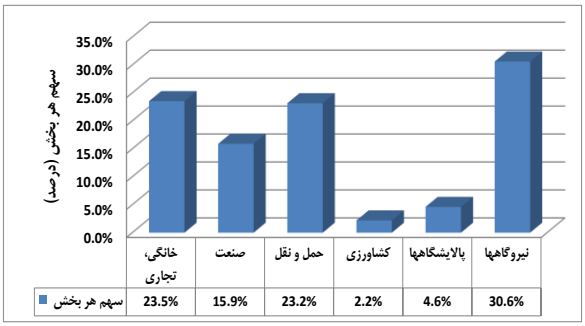
IPCC در سال ۲۰۱۴ مقدار گازهای گلخانه‌ای تولیدی توسط انواع نیروگاه‌های برق با توجه به نوع فنّاوری مورداستفاده را گزارش نمود. براساس این گزارش محدوده تولید دی‌اکسید معادل (حداقل، متوسط و حداکثر) برای انواع نیروگاه تولید برق در جدول (۶) ارائه‌شده است.

همچنین براساس گزارش ترازنامه انرژی کشور (۱۳۹۲) میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از تولید و مصرف انرژی در بخشه‌ای مختلف در شکل‌های (۸) و (۹) نشان داده‌شده است که ملاحظه می‌شود از بین بخش‌های مختلف، نیروگاه‌ها با سهم ۳۰٫۶٪ رتبه اول را در تولید و انتشار این گاز گلخانه‌ای داشته است. بعد از نیروگاه‌ها، بخش خانگی، تجاری و عمومی با سهم ۲۳٫۵٪ و بخش حمل‌ونقل با سهم ۲۳٫۱٪ حائز رتبه‌های دوم و سوم می‌باشند.

با توجه به اینکه نیروگاه‌های برق کشور، عمدتاً گاز گلخانه‌ای CO2 را انتشار می‌دهند، لذا براساس داده‌ها و اطلاعات ترازنامه انرژی کشور (۱۳۹۲) مقدار انتشار گاز CO2 به ازای واحد تولید برق نیروگاه‌های مختلف حرارتی، محاسبه گردید که نتایج در جدول (۷) ارائه‌شده است و با استفاده از این اطلاعات در جدول (۸) مقدار انتشار گاز CO2 به ازای واحد تولید برق نیروگاه‌های مختلف حرارتی کشور ارائه‌شده است. براین اساس ملاحظه می‌شود نیروگاه بخار با نرخ انتشار دی‌اکسیدکربن معادل ۹۰۲ گرم بر کیلووات ساعت برق تولید، بیشترین گاز گلخانه‌ای را منتشر کرده و پس‌ازآن نیروگاه گازی با نرخ ۸۳۷ گرم دی‌اکسید کربن بر کیلووات ساعت برق تولیدی و نیروگاه سیکل ترکیبی با نرخ ۵۰۱ گرم دی‌اکسید کربن بر کیلووات ساعت برق تولیدی در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



شکل (۸): میزان انتشار گاز CO2 از بخشه‌ای مختلف انرژی برحسب میلیون تن (سال ۱۳۹۲)



شکل (۹): سهم انتشار گاز CO2 توسط بخشه‌ای مختلف انرژی (ترازنامه انرژی، سال ۱۳۹۲)

به‌منظور مقایسه میزان تولید گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌های برق‌آبی موردمطالعه با نیروگاه‌های حرارتی ابتدا باید نیروگاه حرارتی جایگزین انتخاب گردد. یکی از شاخص‌های اصلی برای انتخاب نیروگاه‌های حرارتی جایگزین، ضریب بار نیروگاه است. لذا به دلیل اینکه ضریب تولید نیروگاه‌های برق‌آبی موردمطالعه کمتر از ۲۵٪ است و جزو نیروگاه‌های بار پیک هستند، لذا از نیروگاه گازی به‌عنوان نیروگاه جایگزین استفاده می‌شود. به‌منظور تعیین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای نیروگاه حرارتی جایگزین از آمار و اطلاعات ترازنامه انرژی کشور (در سال ۱۳۹۲) استفاده گردید.

براساس اطلاعات و داده‌های ترازنامه انرژی کشور (در سال ۱۳۹۲) نرخ انتشار گاز CO2 در نیروگاه‌های گازی به‌طور متوسط ۸۳۷ گرم بر کیلووات ساعت برق تولیدی می‌باشد. برای مقایسه میزان انتشار گاز گلخانه‌ای نیروگاه‌های موردمطالعه و نیروگاه‌های گازی، اطلاعات مربوطه در جدول (۹) ارائه‌شده است و بدین منظور از شاخص نسبت کربن معادل تولیدی نیروگاه حرارتی به نیروگاه برقابی استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد نیروگاه‌های حرارتی جایگزین (گازی) به‌طور متوسط بیش از ۲۲ برابر نیروگاه‌های برق‌آبی موردمطالعه گاز دی‌اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی، منتشر می‌کنند. این نسبت برای نیروگاه سد کارون ۳ بیشترین و برای نیروگاه شهید عباسپور کمترین مقدار را دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد نیروگاه‌های برق‌آبی موردمطالعه به‌طور متوسط

تنها ۷,۶ درصد نیروگاه‌های حرارتی جایگزین گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن منتشر کرده‌اند. این مقدار برای کارون ۳ کمترین و برای نیروگاه شهید عباسپور بیشترین مقدار را دارد. این نتایج نشان می‌دهد با احداث نیروگاه‌های برق‌آبی موردمطالعه بیش از ۹۲٪ در انتشار گازهای گلخانه‌ای صرفه‌جوئی انجام‌شده است که از نظر محیط‌زیست یک عملکرد مطلوب به‌حساب می‌آید.

جدول (۶): محدوده تولید دی‌اکسید معادل برای انواع نیروگاه تولید برق در طول عمر نیروگاه (به نقل از IPCC, 2014)

ردیف	نوع سوخت/منبع مورداستفاده برای تولید برق	مقدار انتشار دی‌اکسید کربن معادل (g CO2eq/kWh)		
		حداقل	متوسط	حداکثر
۱	زغال‌سنگ (به‌صورت پودر)	۷۴۰	۸۲۰	۹۱۰
۲	بیوماس	۱۳۰	۲۳۰	۴۲۰
۳	بیوگاز (در ترکیب با زغال‌سنگ)	۶۲۰	۷۴۰	۸۹۰
۴	گاز طبیعی (سیکل ترکیبی)	۴۱۰	۴۹۰	۶۵۰
۵	خورشیدی (بزرگ‌مقیاس)	۱۸	۴۸	۱۸۰
۶	خورشیدی (کوچک‌مقیاس)	۲۶	۴۱	۶۰
۷	زمین گرمائی	۶	۳۸	۷۹
۸	برق‌آبی	۱	۲۴	۲۲۰۰
۹	بادی (غیر ساحلی)	۸	۱۲	۳۵
۱۰	بادی (ساحلی)	۷	۱۱	۵۶
۱۱	هسته‌ای	۳,۷	۱۲	۱۱۰

جدول (۷): شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی کشور در سال ۱۳۹۲ (گرم بر کیلووات ساعت)

نوع نیروگاه	NO_x	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O	C
وزارت نیرو									
بخاری	۲/۳۵۶	۹/۷۵۴	۰/۰۴۴	۲/۳۹۵	۰/۲۰۵	۹۴۹/۷۲۹	۰/۰۲۶	۰/۰۰۵	۲۵۹/۰۱۷
گازی	۲/۶۷۱	۰/۷۹۲	۰/۰۲۰	۰/۰۹۶	۰/۱۴۵	۸۷۰/۵۳۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳	۲۳۷/۴۱۷
سیکل ترکیبی	۳/۰۳۰	۰/۴۵۷	۰/۰۱۴	۰/۰۸۲	۰/۰۹۶	۴۹۶/۸۳۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲	۱۳۵/۴۹۹
دیزلی	۱/۸۸۴	۵/۶۸۷	۰/۰۹۱	۰/۰۰۱	۰/۳۶۴	۹۵۹/۲۶۲	۰/۰۴۶	۰/۰۱۵	۲۶۱/۶۱۷
بخش خصوصی									
بخاری	۳/۴۴۸	۱۰/۶۷۰	۰/۰۵۳	۰/۲۰۵	۰/۲۳۹	۱۰۰۷/۱۴۹	۰/۰۳۱	۰/۰۰۶	۲۷۴/۶۷۷
گازی	۲/۸۹۴	۱/۲۷۰	۰/۰۲۷	۰/۰۸۲	۰/۱۶۰	۸۰۳/۸۷۶	۰/۰۲۱	۰/۰۰۳	۲۱۹/۲۳۹
سیکل ترکیبی	۳/۳۰۵	۰/۴۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۵۳	۰/۱۰۸	۵۱۳/۹۸۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	۱۴۰/۱۷۹
صنایع بزرگ	۲/۴۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۰۱	۰/۴۷۵	۰/۰۶۸	۱۱۴۲/۲۸۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۳۱۱/۵۳۲
میانگین کل	۲/۸۹۴	۳/۸۸۷	۰/۰۲۸	۰/۶۹۴	۰/۱۵۴	۷۶۷/۴۸۱	۰/۰۲۰	۰/۰۰۳	۲۰۹/۳۱۳

جدول (۸): مقدار انتشار گاز CO2 به ازای واحد تولید برق نیروگاه‌های مختلف حرارتی کشور (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲)

ردیف	نیروگاه	تولید برق در کشور MWh/yr	کل تولید CO2 معادل (تن بر سال)	نرخ تولید ($g\ CO_2$- eq/KWhr)
۱	بخاری	۸۹۶۶۴	۸۰۸۳۸۱۶۷	۹۰۲
۲	گازی	۶۶۰۳۹	۵۵۳۰۲۵۳۲	۸۳۷
۳	سیکل ترکیبی	۸۷۱۳۵	۴۳۶۲۱۴۱۹	۵۰۱
مجموع		۲۴۲۸۳۸	۱۷۹۷۶۲۱۱۷	۷۴۰

جدول (۹): مقایسه میزان انتشار گاز گلخانه‌ای نیروگاه‌های موردمطالعه و نیروگاه‌های گازی

ردیف	نام نیروگاه	میانگین تولید برق GWhr	نرخ تولید دی اکسید کربن معادل سالانه (g-Co2/Kwhr)	نسبت تولید دی اکسید کربن نیروگاه حرارتی به برقابی	درصد تولید دی اکسید کربن نیروگاه برقابی نسبت به حرارتی	میزان گازهای گلخانه ای صرفه جوئی شده نسبت به نیروگاه حرارتی جایگزین (٪)
۱	سد کارون ۳	۲۳۸۶	۲۳.۹۲	۳۵.۰	٪۲.۹	٪۹۷.۱
۲	سد کارون ۴	۱۳۲۸	۳۲.۷۸	۲۵.۵	٪۳.۹	٪۹۶.۱
۳	شهید عباسپور	۳۱۶۶	۱۳۴.۵۴	۶.۲	٪۱۶.۱	٪۸۳.۹
میانگین		**۲۲۹۳.۳۳**	**۶۳.۷۵**	**۲۲.۲**	**٪۷.۶**	**٪۹۲.۴**

سپاسگزاری

از شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران به‌ویژه معاونت فنی – دفتر پژوهش که ما را در انجام تحقیق حمایت مالی نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد و نیز از مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد که به‌عنوان مجری در انجام تحقیق حاضر همکاری داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

مراجع

۱- شرکت توانیر. ترازنامه انرژی کشور، سال ۱۳۹۲.

۲- شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، سال ۱۳۹۵، گزارش طرح پژوهشی "مطالعه تعیین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای (GHG) ناشی از مخازن آب شیرین برخی سدهای نیروگاهی کشور" مجری: مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد.

۳- صمدی بروجنی،ح. ع. بزرگ‌زاده؛ ر. فتاحی نافچی، ن. رضایی. ۱۳۹۵. مقایسه تولید گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌های برق‌آبی حوضه کارون و نیروگاه‌های حرارتی جایگزین. تهران

4- ECOFYS, 2014, International comparison of fossil power efficiency and CO2 intensity - Update 2014, FINAL REPORT No. CESNL15173

5- IPCC. 2006. Climate change: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. New York: Cambridge University Press.

6- IPCC, 2014. IPCC Working Group III – Mitigation of Climate Change, Annex II I: Technology - specific cost and performance parameters . IPCC. 2014. p. 10.

7- International Energy Agency (IEA). 1998. Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables". International government publication. OECD, 122 p, ISBN: 926416183X.

8- Steinhurst, W. P. Knight, and M. Schultz, 2012, Hydropower Greenhouse Gas Emissions, www.Synapse-Energy.com.

9- UNESCO/IHA.2008. Assessment of the GHG status of freshwater reservoirs: scoping paper. Working Group on Greenhouse Gas Status of Freshwater Reservoirs. International Hydrological Programme. 28p. IHP/GHG-WG/3.

Study of Greenhouse Gas Emissions, CH_4 and CO_2, in Hydro Power Dams of Karun Basin

Hossein Samadi Boroujeni[*1]
Eisa Bozorgzadeh[2]
Sayed Hashem Afzali[3]
Milad Khastar Boroujeni[4]
Nader Rezaei[5]

Abstract

Hydropower plants are one of the sources of greenhouse gas emissions due to the need to build a dam reservoir. In this research, using field measurements, the generation of CH_4 and CO_2 from the reservoirs of hydropower Dams in Karun basin including Karun-3 and Karun-4 and Shahid Abbaspour dams has been investigated. The results showed that Shahid Abbaspour Dam reservoir with emission of 134.5 grams of carbon dioxide equivalent per kWh has the highest greenhouse gas emissions, and then the Karun-4 and Karun-3 dams, respectively, produced 32.87 and 23.92 grams of carbon dioxide equivalent to kilowatt hours of produced electricity are in the next ranks. Also, the comparison of the greenhouse gas emissions of the studied hydropower plants with alternative thermal power plants showed that the studied hydroelectric power plants produced an average of 7.6% of the thermal power plants replacing carbon dioxide equivalent greenhouse gas. This value for Karun-3 is the lowest and for Shahid Abbaspour power plant is the highest value. These results show that with the construction of hydroelectric power plants in Karun basin, more than 92 percent of greenhouse gas emissions have been saved, which is considered to be an optimal performance for the environment.

Key Words

Hydropower Dams, Karun basin, Greenhouse Gas, Thermal Power Plants

[1*] Associate Professor of Water Engineering Department, and Head of Water Resources Research Center, Shahrekord University samadi@agr.sku.ac.ir
[2] Deputy of Technical and Research of Iran Water and Power Resources Development Company
[3] Senior Engineer of Water Resources Research Center of Shahrekord University
[4] PhD Student of Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
[5] Senior Engineer of Iran Water and Power Resources Development Company

Received:27/ 8/ 2017 Accepted: 27/ 6/ 2018