جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۹، زمستان ۱۳۹۲
صص. ۳۲-۲۳

آشکارسازی آماری اثر گاز گلخانه‌ای هگزا فلورید گوگرد بر بارش‌های فصلی ایران در دههٔ اخیر

یوسف قویدل رحیمی* - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
میثم طولابی‌نژاد - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی کاربردی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
منوچهر فرج‌زاده - استاد اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

وصول: ۱۳۹۲/۰۴/۰۹ **پذیرش:** ۱۳۹۲/۰۹/۰۳

چکیده

اثرات گلخانه‌ای یکی از تهدیدهای جدّی محیط‌زیست هستند و عوارض جانبی آن متوجّه تمامی نقاط جهان است. با توجّه به اهمّیّت این موضوع، پژوهش حاضر با هدف نقش گازهای گلخانه‌ای در نوسانات بارش ایران مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از روش همبستگی پیرسون استفاده شد. داده‌های مجموع بارش ۳۶ ایستگاه منتخب بر اساس صحّت داده‌های آماری و پراکندگی فضایی ایستگاه‌ها در سطح کشور، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. همچنین آمار و اطّلاعات مربوط به گاز هگزا فلورید (برحسب بیلیون در قسمت) از ایستگاه شاخص جهانی منولوا دریافت شد. نتایج حاصل از تحلیل فضایی پژوهش نشان دادند که تأثیر گاز هگزا فلورید گوگرد بر بارش فصل بهار در بخش‌های شرق و جنوب شرق کشور تقریباً مثبت و به صورت افزایش بارش و در سواحل دریای خزر تأثیر این گازها به صورت کاهش بارش بوده است. با توجّه به اینکه تابستان فصل خشکی است؛ بنابراین، نتایج حاصل از تحلیل این فصل قابل اطمینان نیست. در فصل پاییز تأثیر گاز هگزا فلورید گوگرد بر بارش بخش‌های جنوب شرقی کشور مثبت و به صورت افزایش بارش و در بخش‌های شمالی و شمال شرقی کشور تأثیر این گاز بر بارش مناطق از نوع معکوس و به صورت کاهش بارش خود را نشان داده است؛ امّا بارش فصل زمستان طی این دورهٔ آماری، از گاز هگزا فلورید گوگرد تأثیر چندانی نپذیرفته‌اند. در مجموع می‌توان گفت که بارش شهرهای بزرگ و صنعتی، بیشترین تأثیر را از این گاز به صورت کاهش بارش پذیرفته‌اند.

واژگان کلیدی تغییر اقلیم، گاز گلخانه‌ای، هگزا فلورید گوگرد، اکسید نیتروژن، بارش ایران.

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۶۴۵۶۲۷۶
E-mail: ghavidel@modares.ac.ir

مقدّمه

اثرات گلخانه‌ای یکی از تهدیدهای جدّی محیط‌زیست هستند و عوارض جانبی آن متوجّه تمامی نقاط جهان است. این پدیده از زمان تشکیل جوّ کرهٔ زمین وجود داشته و یکی از ویژگی های کرهٔ زمین محسوب می‌شود. بیشترین تأثیرات گرمایش گلخانه‌ای به تغییرات اقلیم و تغییردر الگوهای بارندگی ودمای کرهٔ زمین مربوط است و اثرات این بی‌نظمی‌ها از هم‌اکنون آشکار شده است. تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی به واسطهٔ افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث توزیع نایکنواخت بارش می‌شود و بر منابع آب تأثیر می‌گذارد (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹). به‌ویژه در ایران که بیش از ۸۲٪ قلمرو کشوردر منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (نظامی، ۱۳۸۹). به سبب سیّال‌بودن جو، گازهای موجود در آن نیز توسّط گردش جو به سایر نقاط جابه‌جا شده و کلّ جو را دچار تغییر و تحوّل می‌کنند؛ بنابراین، نه‌تنها جوّ مناطق صنعتی و آلوده، بلکه تمامی جوّ کرهٔ زمین با شدّت و ضعف‌هایی دچار این تغییر و تحوّلات اقلیمی شده است، از این رو کشورهای جهان به فکر کنترل و کاهش میزان انتشار این گازها هستند. کشور ما هم از این قاعده مستثنی نخواهد بود و باید به سمت کنترل و کاهش انتشار این گازها گام بردارد (دکامی، ۱۳۸۹). افزایش انتشار این گازها و در نتیجهٔ وقوع پدیدهٔ تغییرات اقلیمی، آثار مستقیم و غیر مستقیمی بر محیط‌زیست و حیات بشری خواهد گذاشت (علی‌حسین زهرایی، ۱۳۸۷). همچنین تراکم این گازها در جو، سطح زمین را به صورت یک گلخانهٔ گرم درآورده و بسیاری از مکانیسم‌های اکوسیستمی محیط‌زیست را نامتوازن ساخته است.

در گرمایش ناشی از گازهای گلخانه‌ای زمین، بیش از ۲۰ گاز دخالت دارند که سهم چند گاز بیش از بقیه است و منبع مهمّ انتشار آنها نیز فعّالیّت‌های بشری است. یکی از این گازها، هگزا فلورید گوگرد می‌باشد که جزء خانوادهٔ کلرو فلورو کربن ها است. بیشترین مصرف این گازها در مواردی مانند کف‌کننده‌ها، حلاّل‌ها، سیستم‌های تهویه و سرمایش و عایق‌سازی هستند. طبق تحقیقات انجام‌شده در نهایت موادّ حاصل از این فرایند خود در طیّ یکسری واکنش‌های پیچیدهٔ شیمیایی باعث از بین رفتن ازن جوّ بالا می‌شوند. همچنین پرتوهای فروسرخ را در جوّ پایین جذب کرده و به عنوان یک گاز گلخانه‌ای عمل می‌کند (ثبوتی، ۱۳۹۰: ۶۴). در حال حاضر هیدرو فلورو کربن‌ها و پرفلورو کربن‌ها جایگزین کلرو فلورو کربن‌ها شده است که مخرّب لایهٔ ازن نبوده ولی همچنان اثرات گلخانه‌ای دارند. طول عمر این‌گونه مواد در جو نیز متفاوت است. از گازهای گلخانه‌ای دیگر اکسید نیتروژن است که طول عمر آن در جو حدود ۱۵۰ سال است. عمده‌ترین منابع طبیعی انتشار این گاز از فرایندهای میکروبی در آب‌وخاک است؛ به طور طبیعی، رهاسازی این گاز از طریق اقیانوس‌ها و خورها، خاک‌های طبیعی و خاک‌های کودپاشی‌شده انجام می گیرد (تقدیسیان و میناپور، ۱۳۸۲).

با توجّه به اثرات گازهای گلخانه‌ای بر بارش کرهٔ زمین، پژوهشگران سایر کشورها نیز در این زمینه به مطالعه و تحقیق پرداخته و به نتایج جالبی دست یافته‌اند. در این خصوص، می‌توان به چند نمونه از این مطالعات و نتایج آنها اشاره کرد: فری و همکاران (۱۹۹۸)، با شبیه‌سازی افزایش گرمای پاییز با استفاده از مدل منطقه‌ای آب‌وهوا در سراسر اروپا، به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما تا ۲ درجهٔ سانتی‌گراد، رطوبت ۱۵٪ افزایش خواهد یافت و در نتیجه بارش‌های بیش از ۳۰ میلی‌متر افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. افزون بر پژوهش یادشده رامنتان و فنگ[1] (۲۰۰۹)، در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که با افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی، تبخیر کاهش یافته در نتیجه بارش نیز کاهش می‌یابد. روپاش و فریزرم[2] (۲۰۱۱:

1- Ramanthan & Feng
2- Raupach & Fraserm

۳۳)، با بررسی و مطالعات تغییر اقلیم نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی باعث نوساناتی در میزان برف و باران و به ویژه کاهش نسبت برف به باران و همچنین تغییراتی در میزان رطوبت خاک، شدّت و فراوانی طوفان ها، رواناب، سیلاب ها، طول خشکی وخشکسالی شده است. راموس[1] و همکاران (۲۰۱۲)، با تجزیه و تحلیل چندمتغیّرۀ تغییرات فصلی دما و بارش در طول ۶۰ سال گذشته در آب‌وهوای مدیترانه‌ای منطقۀ شمال شرق اسپانیا به این نتیجه رسیدند که در تمام ایستگاه‌ها با توجّه به فصول مختلف سال دما حدود ۱/۵ تا ۲/۵ درجه افزایش یافته است ولی بارش در آنها روند قابل توجّهی نداشته است.

در ایران نیز به‌جز چند مقاله، تحقیقات مدوّنی در رابطه با اثر گازهای گلخانه‌ای بر بارش صورت نپذیرفته است. این چند مقاله نیز بیشتر بر تأثیر گرمایش جهانی بر بارش تأکید داشته‌اند که در ادامه به این مطالعات پرداخته می‌شود: منتظری و فهمی (۱۳۸۲)، به این نتیجه رسیدند که نتایج حاصل از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نشان می‌دهد که با بالارفتن دما، تبخیر در اکثر حوضه‌های رودخانه‌ای در تمام سال افزایش می یابد. افزایش دمای حدود ۲ تا ۶ درجۀ سانتی‌گراد موجب ۶٪ تا ۱۲٪ افزایش در تبخیر و تغییرات بارش بین ۷۱٪ تا ۷۸٪ در ۳۰ حوضه. مورد مطالعه خواهد شد. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴)، با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 اثر تغییر اقلیم بر جریان زاینده‌رود اصفهان را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، آثار ناشی از تغییر اقلیم بر دما، بارندگی و رواناب در این حوضه تحت دو سناریوی اقلیمی و برای دو دوره ۳۰ ساله ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی، مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج پژوهش ایشان نشان از کاهش بارندگی و افزایش درجۀ حرارت در هر دو دوره و به‌ویژه در دورۀ دوّم داشته، به طوری که در طی این دوره‌ها، میزان کاهش بارندگی به ترتیب ۱۰٪ و ۱۶٪ و میزان افزایش درجۀ حرارت به ترتیب ۴/۶ و ۳/۲ درجه پیش‌بینی گردید.

عزیزی و همکاران (۱۳۸۴)، با بررسی روند دمایی چند دهۀ اخیر ایران با توجّه با افزایش co_2، به این نتیجه رسیدند که میزان co_2 جو در این مدّت روندی افزایشی داشته و به نظر می‌رسد روندهای مشاهده‌شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز از افزایش co_2 متأثّر گردیده است. خورشیددوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۴)، با استفاده از مدل گردش عمومی آزمایشگاه پویایی سیّالات ژئوفیزیکی[2] دمای تبریز را پیش‌بینی نمودند، قویدل رحیمی (۱۳۸۵)، طی پژوهشی با استفاده از مدل مرکز مطالعات ماکس پلانک آلمان به نام ECHAM4، دما و بارش تبریز در شرایط دو برابر شدن دی‌اکسید کربن جو را بررسی نمود. همچنین محمدی و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی به منظور بررسی تغییرات بارش و دمای ایران در شرایط گازهای گلخانه‌ای در دهۀ آینده، با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN، به این نتیجه رسیدند که در تمام مناطق ۳۰ گانۀ ایران برای دهه‌های آینده، دما دارای روند افزایشی خواهد بود که این افزایش دما از دهۀ ۲۰۲۵ مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. از نظر تغییرات بارش، در دهه‌های آینده، تمامی نواحی ایران دارای روند کاهش بارش هستند. صلاحی و همکاران (۱۳۸۶)، با استفاده از مدل گردش عمومی مؤسّسۀ تحقیقات فضایی گودارد[3] تغییرات دما و بارش تبریز در شرایط دو برابر شدن دی‌اکسیدکربن جو را شبیه‌سازی نموده‌اند. عباسی و همکاران (۱۳۸۹)، با ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با کمک مدل MAGICC-SCENGEN، به این نتیجه رسیدند که کاهش بارش‌های ایران تا دهۀ ۲۱۰۰به میزان ۲/۵٪

1- Ramos
2-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)
3- Goddard Institute for Space Studies (GISS)

است، در حالی کـه بـرای دورهٔ مشـابه، بـارش‌هـای کشـورمان بـه میـزان ۱۹/۸٪ افـزایش یافتـه اسـت. روشـن و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از شبیه‌سازی دما و بارش به این نتیجه رسیدند کـه دمـا و بـارش بـرای سـال‌هـای ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰، به ترتیب نشان‌دهندهٔ افزایش بارش بـه میـزان ۲/۵ و ۳/۰۷ درصـدی و دمـای کشـور بـه میـزان ۱/۳ و ۲/۵ درجهٔ سلسیوس برای این سال‌ها بوده است.

اثرات گلخانه‌ای یکی از تهدیدات جدّی محیط‌زیست هستند و عوارض جانبی آن متوجّه تمامی نقـاط جهـان است. با توجّه به اینکه بارش در واقع مهم‌ترین عنصری است که تغییرات آن به طـور مسـتقیم در رطوبـت خـاک و جریان‌های سطحی و مخازن زیرزمینی منعکس می‌شود، بنابراین اوّلین برداری اسـت کـه مـی‌توانـد در مطالعـهٔ مناطق خشک مورد توجّه قـرار گیـرد (فـرجزاده اصـل، ۱۳۸۴: ۲۶)؛ بنـابراین، شناسـایی تـأثیر گـاز هگـزا فلوریـد گوگرد بر بارش کشـوری نظیـر ایـران کـه در منطقـه‌ای خشـک از کـرهٔ زمـین واقـع شـده از اهمّیّـت بسـزایی در برنامه‌ریزی‌های مربوط به منابع آب برخوردار است. با توجّـه بـه اهمّیّـت موضـوع مـورد بحـث، هـدف از پـژوهش حاضر آشکارسازی نقش گاز هگزا فلورید گوگرد در نوسان‌پذیری بارش فصلی ایران است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه پهنهٔ وسیع ایران است، بـا وسعـتی معـادل ۱۶۴۰۱۹۵ کیلومترمربـع کـه در نیمـهٔ جنـوبی منطقـهٔ معتـدل شـمالی بـین ´۰۳و °۲۵ و ´۴۷ و °۳۹ عـرض شـمالی از خـطّ اسـتوا و ´۱۴ و °۴۴ و ´۲۰ و °۶۳ طول شرقی از نصف النّهار گرینویچ، در جنوب غربی آسیا (خاورمیانه) واقع شده است.

با توجّه به اینکه هدف آشکارسـازی آمـاری اثـر گازهـای گلخانـه‌ای در بـارش اسـت، در ایـن پـژوهش، روش تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفته است. اطّلاعات آماری و داده‌های مجمـوع بـارش ۳۶ ایسـتگاه منتخـب کـه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در ایـن مطالعـه مـورد اسـتفاده قـرار گرفتـه از سـازمان هواشناسـی کشـور اخـذ گردیـد. همچنین آمار و اطّلاعات مربوط به گـاز هگـزا فلوریـد گـوگرد برحسـب بیلیـون در قسـمت، مربـوط بـه ایسـتگاه شاخص مونالوا (جدول ۱) در هاوایی است که داده های مربوطه از سایت [1] NOAA [2] دریافـت گردیـد و سـپس بـا استفاده از روش همبستگی سادهٔ پیرسون به تجزیه و تحلیل روابط پرداخته شد. همچنـین بـرای نمـایش شـدّت و ضعف تأثیر این گازها بر بارش فصلی ایـران پـس از بررسـی روش‌هـای مختلـف ترسـیمی، بـا اسـتفاده از روش کریجینگ [3] که دارای بهترین عملکرد برای ترسیم فضایی رابطهٔ بارش بـا گـاز هگـزا فلوریـد گـوگرد در کـلّ ایـران بود، نقشه‌های مطالعه ترسیم گردید.

جدول ۱. مشخّصات ایستگاه اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای جهانی (مونالوا)

منطقه	سال تأسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع سایت
جزیرهٔ هاوایی	۱۹۵۷	۱۵۵/۵۷	۱۹/۵۳	۳۳۹۷ متر

نتایج و بحث

ارتباط بارش‌های بهارهٔ ایران با غلظت گاز هگزا فلورید گوگرد

رابطهٔ میان بارش‌هـای بهـارهٔ کشـور و گـاز هگـزا فلوریـد گـوگرد بـا اسـتفاده از روش همبسـتگی پیرسـون مـورد محاسبه قرار گرفت. بر اساس محاسبات انجام‌گرفته، همبستگی معنـی‌دار میـان بـارش بهـارهٔ کشـور و گـاز هگـزا

1- http://www.esrl.noaa.gov/gmd/dv/data
2- National Oceanic and Atmospheric Administration
3- Kriging

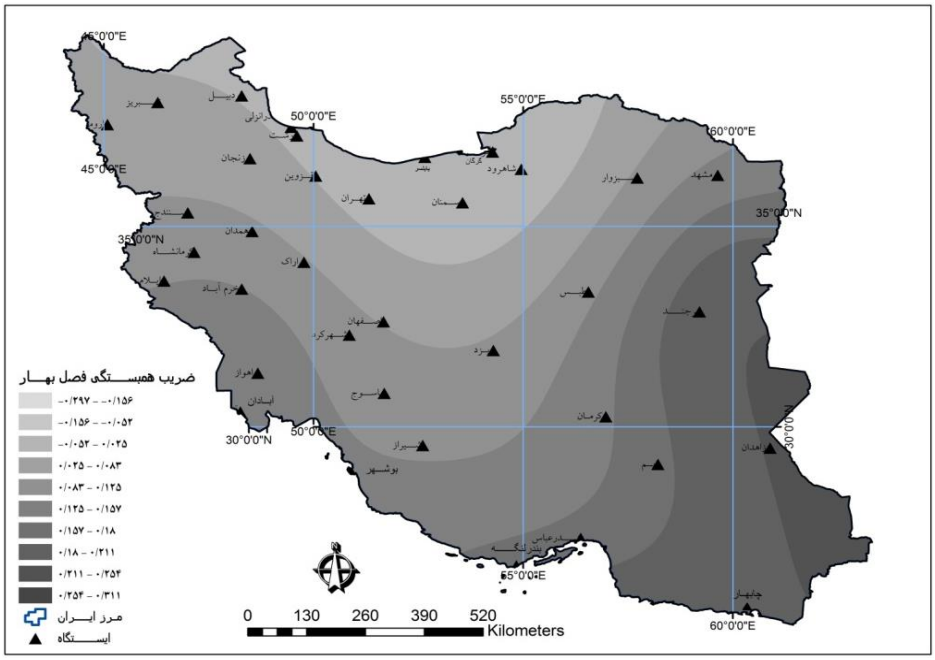
فلورید گوگرد در دو ایستگاه گرگان (۰/۲۹۷-) و زاهدان (۰/۳۱۱) مشاهده شده که هر دو ضریب در سطح ۰/۰۵ معنی‌داری هستند (جدول ۲). البتّه ارتباط بارش بهارۀ ایستگاه گرگان با این گاز رابطه‌ای معکوس است. بر این اساس، افزایش گاز هگزا فلورید گوگرد جو باعث کاهش بارش و کاهش این دو موجب افزایش بارش در ایستگاه گرگان خواهد شد. بالعکس در این فصل، ایستگاه زاهدان نقطۀ مقابل ایستگاه گرگان می‌باشد و با این گاز رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار دارد.

جدول ۲. ضرایب همبستگی محاسبه‌شده بین بارش بهارۀ کشور و گاز هگزا فلورید گوگرد

ضریب همبستگی	ایستگاه	ضریب همبستگی	ایستگاه
۰/۳۱۱*	زاهدان	۰/۲۹۷-*	گرگان

***ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد**

به منظور تحلیل توزیع فضایی، رابطۀ تأثیرگذاری گاز هگزا فلورید گوگرد جوّ بر بارش ایستگاه‌های کشور، توزیع فضایی ضرایب همبستگی مورد محاسبه بین گاز هگزا فلورید گوگرد و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه، در شکل ۱ ترسیم گردید.



شکل ۱. توزیع فضایی همبستگی بین بارش بهاره و گاز هگزا فلورید گوگرد

با توجّه به شکل ۱، ایستگاه‌های نیمۀ جنوبی کشور در فصل بهار بیشترین ارتباط را با گاز هگزا فلورید گوگرد نشان می‌دهند. از نیمۀ شرقی به سمت نیمۀ غربی از میزان تأثیر گاز هگزا فلورید گوگرد بر مقدار بارش در فصل بهار کاسته می‌شود. بدین معنی که تأثیر این گاز بر بارش فصل بهار در بخش‌های جنوب شرق و شرقی کشور مثبت و به صورت افزایش بارش و سواحل دریای خزر در شمال کشور منفی و به صورت کاهش بارش بوده است.

ارتباط بارش‌های تابستانۀ ایران با غلظت گاز هگزا فلورید گوگرد

مقادیر ضرایب همبستگی مورد محاسبه بین بارش‌های تابستانۀ کشور با گاز هگزا فلورید گوگرد نشان می‌دهد که از مجموع ایستگاه‌های مورد مطالعه فقط بارش تابستانۀ ۳ ایستگاه دارای ارتباط معنی‌داری با گاز هگزا

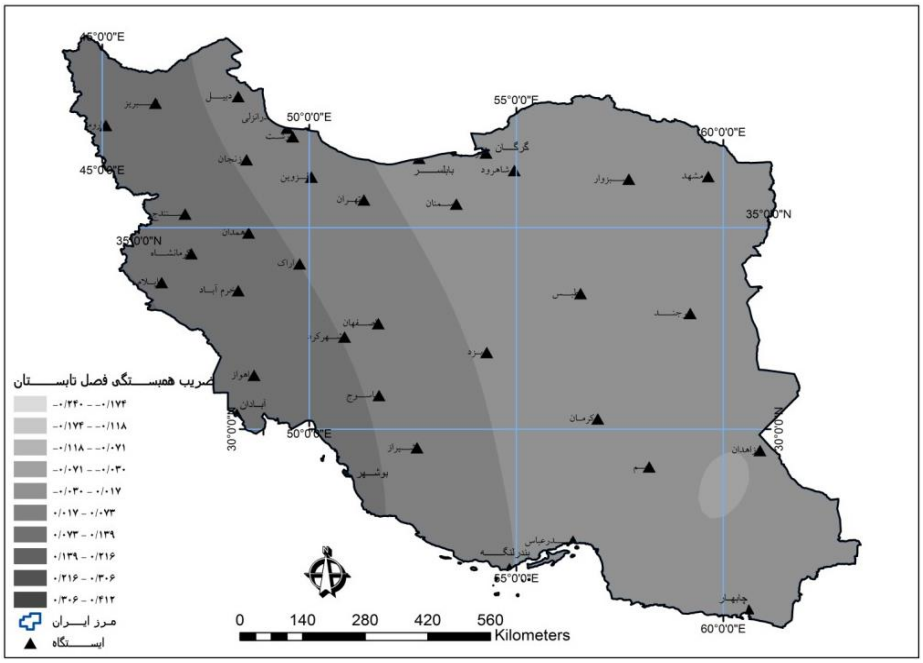
فلورید گوگرد جو هستند. در این میان، بارش تابستانهٔ ارومیه با بالاترین ضریب همبستگی ۰/۴۱۲ که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار، ایستگاه ایلام با ضریب همبستگی ۰/۳۳۷ و تبریز با ضریب همبستگی ۰/۲۹۷ که در سطح ۰/۰۵معنی‌دار هستند، دارای رابطهٔ مثبت و مستقیم با این گاز موجود در جو هستند و این بدان معناست که با افزایش این گاز، بارش تابستانهٔ ۳ ایستگاه یادشده افزایش و با کاهش مقدار آن، بارش‌های تابستانهٔ ایستگاه‌های ارومیه، ایلام و تبریز کاهش می‌یابند (جدول ۳).

جدول ۳. ضرایب همبستگی محاسبه‌شده بین بارش تابستانهٔ کشور و گاز هگزا فلورید گوگرد

ایستگاه	ضریب همبستگی	ایستگاه	ضریب همبستگی
ارومیه	۰/۴۱۲**	ایلام	۰/۳۳۷*
تبریز	۰/۲۹۷*		

**** ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد، *ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد**

به منظور تحلیل توزیع فضایی، رابطهٔ تأثیرگذاری گاز هگزا فلورید گوگرد جو بر بارش ایستگاه‌های کشور، توزیع فضایی ضرایب همبستگی مورد محاسبه بین گاز هگزا فلورید و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه، در شکل ۲ ترسیم گردید.



شکل ۲. توزیع فضایی همبستگی بین بارش تابستانه و گاز هگزا فلورید گوگرد

با توجّه به شکل ۲، بارش ایستگاه‌های نیمهٔ شمالی کشور در فصل تابستان بیشترین ارتباط را با گاز هگزا فلورید گوگرد نشان می‌دهند. از عرض‌های بالا به سمت عرض‌های پایین از میزان تأثیر این گاز بر مقدار بارش در فصل تابستان کاسته می‌شود. بدین معنی که تأثیر این گاز بر بارش این فصل در بخش‌های شمال غرب و غرب کشور مثبت و به صورت افزایش بارش و در بخش‌های شرقی منفی و به صورت کاهش بارش بوده است.

ارتباط بارش‌های پاییزهٔ ایران با غلظت گاز هگزا فلورید گوگرد

مقادیر ضرایب همبستگی مورد محاسبه بین بارش‌های پاییزهٔ کشور با گاز هگزا فلورید گوگرد نشان می‌دهد که از مجموع ایستگاه‌های مورد مطالعه، بارش پاییزهٔ ۹ ایستگاه دارای ارتباط معنی‌داری با این گاز هستند. در

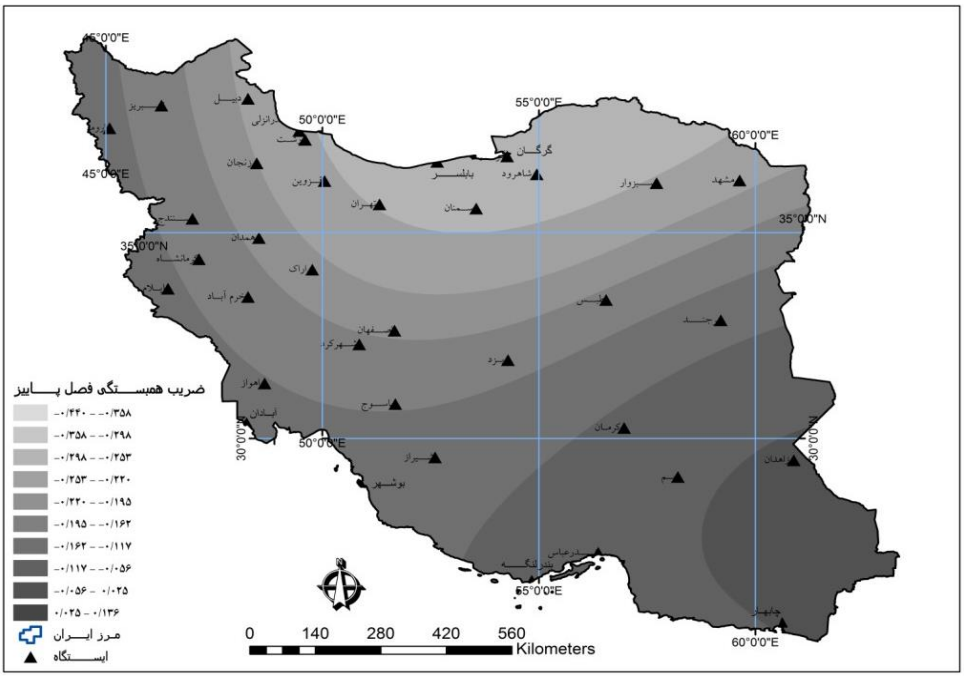
این میان، بارش پاییزۀ ایستگاه بندر انزلی که با ضریب همبستگی ۰/۴۴۲-در سطح ۰/۰۱دارای بیشترین معنی‌داری، و ایستگاه سبزوار با ۰/۲۹۱-در سطح ۰/۰۵دارای کمترین معنی‌داری هستند، دارای رابطۀ منفی و معکوسی با گاز هگزا فلورید گوگرد موجود در جوّ هستند و این بدان معنی است که با کاهش این گاز، بارش پاییزۀ ایستگاه‌های یادشده افزایش و با افزایش گاز در جو، بارش‌های پاییزۀ ایستگاه‌ها نیز کاهش می‌یابند. میزان همبستگی سایر ایستگاه‌ها در جدول ۴ درج گردیده است.

جدول ۴. ضرایب همبستگی محاسبه‌شده بین بارش پاییزۀ کشور و گاز هگزا فلورید گوگرد

ایستگاه	ضریب همبستگی	ایستگاه	ضریب همبستگی
اراک	-۰/۴۴۰**	ایلام	-۰/۳۴۳*
اردبیل	-۰/۳۲۳*	مشهد	-۰/۳۹۸*
بابلسر	-۰/۴۰۵**	سبزوار	-۰/۲۹۱*
بندر انزلی	-۰/۴۴۲**	تهران	-۰/۲۹۶*
قزوین	-۰/۳۵۳*	-	-

**** ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد، *ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد**

به منظور تحلیل فضایی اثر گاز هگزا فلورید گوگرد جو بر بارش پاییزۀ ایستگاه‌های کشور، توزیع فضایی ضرایب همبستگی مورد محاسبه بین این گاز و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ ترسیم گردید. با توجّه به شکل ۳، بارش ایستگاه‌های نیمۀ شمالی کشور در فصل پاییز بیشترین ارتباط را با این گاز نشان می‌دهند. از عرض‌های بالا به سمت عرض‌های پایین از میزان تأثیر این گاز بر مقدار بارش در فصل پاییز کاسته می‌شود. بدین معنی که تأثیر این گاز بر بارش فصل پاییز در نیمۀ شمالی و شمال شرقی کشور منفی و به صورت کاهش بارش و در جنوب شرق کشور مثبت و افزایشی بوده است.



شکل ۳. توزیع فضایی همبستگی بارش پاییزه و گاز هگزا فلورید گوگرد

ارتباط بارش‌های زمستانۀ ایران با غلظت گاز هگزا فلورید گوگرد

بررسی ضرایب همبستگی مورد محاسبه بین بارش‌های زمستانۀ کشور و غلظت زمستانۀ گاز هگزا فلورید

گوگرد در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه معنی‌دار نیست و به این ترتیب این گاز اثری بر بارش‌های زمستانی ایران ندارد.

نتیجه‌گیری

با توجّه به نتایج حاصل از تحلیل تأثیر گاز هگزا فلورید گوگرد در نوسان بارش فصلی مناطق مختلف ایران، می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر این گاز بر بارش فصل بهار در بخش‌هایی از شرق و جنوب شرق کشور مثبت و به صورت افزایش بارش و در سواحل دریای خزر، به صورت کاهش بارش بوده است. با توجّه به اینکه تابستان، فصل خشکی در ایران است؛ بنابراین، بارش‌ها از نظام خاصّی پیروی نکرده و نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها در این فصل آن‌چنان قابل اطمینان و استناد نیست. با این حال، در فصل تابستان بارش شمال غرب و غرب کشور تأثیر مثبتی از این گاز پذیرفته‌اند. با توجّه به نتایج، بارش پاییزهٔ کشور بیشترین تأثیر را از گاز هگزا فلورید گوگرد داشته است. طی دورهٔ آماری (۲۰۱۰-۲۰۰۰)، تأثیر این گاز بر نوسانات بارش ایستگاه‌های بخش‌هایی از جنوب شرقی کشور مثبت و افزایشی بوده و در بارش بخش‌های شمال و شمال شرق کشور تأثیر این گازها از نوع معکوس و به صورت کاهش بارش خود را نشان داده است. در فصل زمستان که فصل حداکثر بارش در اکثر ایستگاه‌های نیمهٔ غربی و شمالی کشور است، گاز هگزا فلورید گوگرد تأثیر معنی‌داری بر بارش کشور نداشته است.

نتایج حاصله نشان می‌دهد که این گاز ارتباط بیشتری با بارش پاییزه در ایران داشته که از میان ایستگاه‌های کشور، بارش در بندر انزلی، بابلسر،گرگان و زاهدان به دلیل شرایط بارشی به‌خصوص فصلی و شهرهای بزرگ و صنعتی مانند اراک، تهران، تبریز، مشهد و قزوین به دلیل آلودگی بیشتر این تأثیر محسوس‌تر از سایر ایستگاه‌ها بوده است.

با توجّه به بحث‌های داغ کنونی در زمینهٔ اثر گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش جهانی و تغییر احتمالی اقلیم می‌توان چنین استنباط نمود که اثر گاز گلخانه‌ای هگزا فلورید گوگرد بر بارش ایران خیلی‌اندک بوده و حداکثر اثر آن در فصل پاییز به صورت کاهشی قابل مشاهده است در صورتی که در سایر فصل‌ها، اثر گاز یادشده علاوه بر اینکه بسیار اندک بوده، گاه مثبت و افزایشی هم است؛ یعنی با افزایش غلظت گاز هگزا فلورید گوگرد بر میزان بارش بعضی از ایستگاه‌ها افزوده شده و با کاهش آن از بارش ایستگاه‌ها کاسته می‌شود که این مسئله در تعارض با ایدهٔ گرمایش جهانی و تغییر اقلیم از طریق گازهای گلخانه‌ای قرار دارد. نتیجهٔ یادشده در خصوص ارتباط گاز هگزا فلورید گوگرد با بارش‌های ایران دقیقاً با نتیجهٔ اخذشده توسّط قویدل و همکاران (۲۰۱۶)، همخوانی دارد. در مطالعهٔ مذکور نتیجه‌گیری شده است که اثر گاز گلخانه‌ای اصلی دی اکسید کربن جوّ بر بارش‌های ایران نه‌تنها قوی و کاهشی نیست بلکه ارتباطی ضعیف بین بارش‌های کشور و دی اکسید کربن جوّ برقرار بوده و حتّی این ارتباط در بعضی مناطق و برخی ایستگاه‌ها مثبت است و با افزایش دی اکسید کربن جو، بارش ایستگاه‌ها نیز افزایش می‌یابند.

با توجّه به نتایج این مطالعه، توصیه می‌شود که اثر گازهای گلخانه‌ای بر بارش و دمای کشور به صورت جدّی‌تری مورد بحث و تبادل نظر قرار داده شود. نتایج حاصله با توجّه به مباحث داغ امروزی به‌ویژه پیوستن یا نپیوستن ایران به توافق‌نامهٔ اقلیمی پاریس می‌تواند بسیار راهبردی و تعیین‌کننده باشد.

منابع

تقدیسیان، حسین؛ میناپور، سعید (۱۳۸۲) **تغییر آب‌وهوا (آنچه باید بدانیم)**،چاپ اوّل، سازمان حفاظت

محیط‌زیست، دفتر طرح ملّی تغییر اقلیم، تهران.

ثبوتی، یوسف (۱۳۹۰) **زمین گرم: ارمغان قرن بیست و یکم**، چاپ اوّل، انتشارات گیتاشناسی، تهران.

خسروی، محمود؛ اسمعیل‌نژاد، مرتضی؛ نظری‌پور، حمید (۱۳۸۹) تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب خاورمیانه، **مجموعه مقالات چهارمین کنگرۀ بین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام**، صص. ۸-۱.

خورشیددوست، محمدعلی؛ قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۴) شبیه‌سازی آثار دو برابر شدن دی‌اکسید کربن جو بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از مدل آزمایشگاه پویایی سیالات ژئوفیزیکی (GFDL)، **محیط‌شناسی**، ۳۹، صص. ۱۰-۱.

دکامی، ارشیا (۱۳۸۵) اثر گازهای گلخانه‌ای، **نشریۀ نفت و انرژی**، ۵، صص. ۶۱-۵۷.

روشن، غلامرضا؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم (۱۳۹۱) آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی مقادیر دما و بارش ایران، تحت شرایط گرمایش جهانی، **جغرافیا و توسعه**، ۱۰ (۲۷)، صص. ۳۶-۱۹.

صلاحی، برومند؛ ولی‌زادۀ کامران، خلیل؛ قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶) شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش تبریز در شرایط دو برابرشدن دی‌اکسید کربن جو با استفاده از مدل گردش عمومی مؤسّسۀ مطالعات فضایی گودارد GISS، **پژوهش‌های جغرافیایی**، ۶۲، صص. ۶۶-۵۵.

عباسی، فاطمه؛ بابائیان، ایمان؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ گلی مختاری، لیلا؛ ملبوسی، شراره (۱۳۸۹) ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با کمک مدل MAGICC-SCENGEN، **پژوهش های جغرافیای طبیعی**، ۷۲، صص. ۱۱۰-۹۱.

علی‌حسین زهرایی، معصومه (۱۳۸۷) **خط‌مشی‌ها و تدابیر حقوقی جامعۀ بین‌الملل برای کنترل گازهای گلخانه‌ای**، پایان‌نامۀ کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکدۀ علوم محیطی.

عزیزی، قاسم؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ سبک‌خیز، زهرا (۱۳۸۴) روند دمایی چند دهۀ اخیر ایران و افزایش CO2، **تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)** ، ۴ (۵)، صص. ۴۲-۲۵.

فرج‌زاده اصل، منوچهر (۱۳۸۴) **خشک‌سالی، از مفهوم تا راهکار**، چاپ اوّل، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران.

قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۵) ارزیابی حسّاسیّت‌پذیری دما و بارش تبریز به افزایش دی‌اکسیدکربن جو با استفاده از مدل‌های گردش جهانی پیوندی جوّی - اقیانوسی، **فصلنامۀ مدرس علوم انسانی**، ویژه‌نامۀ جغرافیا، ۴۸، صص. ۱۲۳-۱۰۲.

محمدی، حسین؛ مقبل، معصومه؛ رنجبر، فیروز (۱۳۸۹) مطالعۀ تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN، **جغرافیا (فصلنامۀ علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)**، ۸ (۲۵)، صص. ۴۳-۵۷.

مساح بوانی، علیرضا؛ مرید، سعید (۱۳۸۴) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعۀ موردی: حوضۀ زاینده‌رود اصفهان، **تحقیقات منابع آب ایران**، ۱ (۱)، صص. ۴۷-۴۰.

منتظری، مریم؛ فهمی، هدایت (۱۳۸۲) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب کشور، **مجموعه مقالات سوّمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم**.

نظامی، مهدی (۱۳۸۹) بهره‌برداری از استانداردهای بین‌المللی برای مقابله با تغییرات آب‌وهوایی، **نشریۀ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران**، ماهنامۀ استاندارد، ۲۲۱ .

Frei, C., Schiir, C., Liithi, D., Huw, C. D. (1998) Heavy Rainfall Processes in a Warmer Climate, **Geographical Research Letters**, 25 (9), pp.1431-1434.

Ghavidel, Y., Tolabinejad, M., Farajzadeh, M. (2016) Spatiotemporal Analysis of Carbon Dixoid Impact on Seasonal Rainfall Oscillation in Iran, **Journal of Natural Environment Change**, 2 (1) , pp. 47- 55.

Ramanthan, V., Feng, Y. (2009) Air pollution, Greenhouse Gases and Climate Change: Global and Regional Perspective, **Atmospheric Environment**, 43 (6), pp. 37-50.

Ramos, M., Balasch, C., Martínez, J. (2012) Seasonal Temperature and Rainfall Variabilityduring the Last 60 Years in a Mediterranean Climatearea of Northeastern Spain: a Multivariate Analysis, **Theor Appl Climatol**, 21 (5), pp. 10-29.

Raupach, M., Fraserm, P. (2011) Climate and Greenhouse Gases, Science and Solution for Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Publishing, Melbourne.