

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2023.19169.1906](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2023.19169.1906)

## پیش‌نگری طوفان‌های گردو خاک جنوب‌شرقی ایران با استفاده از خروجی‌های CMIP6 تحت سناریوهای SSP در دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ (مقاله کوتاه پژوهشی)

۱- مائده نصری، دانشجوی دکتری، گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.  
۲- محمد رحیمی\*، دانشیار، گروه بیابان‌زدایی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.  
mrahimi@semnan.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

### چکیده

تأثیر طوفان‌های گردو خاک بر منطقه سیستان و بلوچستان از جمله مهم‌ترین مسائل حال حاضر این منطقه است. پژوهش حاضر، تلاشی برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روند تغییرات طوفان‌های گردو خاک استان سیستان و بلوچستان در چشم‌انداز آینده (تا پایان سال ۲۱۰۰) نسبت به دوره اقلیمی پایه (۲۰۲۰-۲۰۱۰) است. در گام نخست، با استفاده از روش رگرسیونی خطی چندگانه، همبستگی و ارتباط بین متغیر روزهای همراه با گردو خاک با سایر متغیرهای اقلیمی (دما، بارندگی، رطوبت نسبی و سرعت باد) طی دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۱۰) بدست آمد. سپس به منظور بررسی وضعیت آینده طوفان‌های گردو خاک، از داده‌های مدل‌سازی شده مدل جهانی CMIP6 در قالب سه سناریو و ۸ دوره ده ساله به عنوان ورودی-های روابط رگرسیونی معنی‌دار طی دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ استفاده شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات گردو خاک بر اساس سه سناریوی اقلیمی خوش‌بینانه، حدمتوسط و بدبینانه در استان سیستان و بلوچستان به صورت افزایشی است. طبق انتظار کم‌ترین روزهای همراه با گردو خاک بر اساس سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6) دیده می‌شود. گردو خاک بر اساس سناریوهای حدمتوسط (SSP3-7.0) و بدبینانه (SSP5-8.5) تقریباً مشابه بوده و افزایشی هستند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با ادامه روند تغییرات اقلیمی، شاهد فراوانی بیش‌تر روزهای همراه با گرد و خاک در آینده بود. در نتیجه نیاز است سرمایه‌گذاری‌های لازم برای اقدامات مدیریتی سازگاری با رویکرد کاهش اثرات در برابر تأثیرات زیان‌بار طوفان‌های گردو خاک در منطقه سیستان و بلوچستان از هم اکنون در دستور کار قرار بگیرد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، رگرسیون، سازگاری، ریزمقیاس‌نمایی.

### مقدمه

زنجیره‌ای از تغییرات در زیست‌بوم است [۹]. در این مناطق، وقوع طوفان‌های گردو خاک با وجود آن که پدیده-ای طبیعی محسوب می‌شود، اما شدت و فراوانی آن رابطه مستقیمی با الگوی سایر متغیرهای اقلیمی نظیر بارش، دما، باد و رطوبت نسبی دارد [۲]. پیامدهای ناشی از طوفان‌های گردو خاک آسیب‌های جدی به جوامع وارد می‌کند. به عنوان مثال بیشتر هزینه‌های وارد شده به شهرها و روستاها مربوط به نظافت منازل، تأسیسات و کانال‌های آبیاری است؛ که هزینه‌های بهداشت و درمان افراد آسیب‌دیده از ذرات گردو خاک، خسارت‌های

تحلیل‌ها و ثبت شواهد موجود توسط محققان مختلف در سراسر جهان تردیدها نسبت به نقش گرمایش جهانی در تغییرات اقلیمی را به حداقل رسانده است. نتیجه این رخداد تغییر میانگین متغیرهای مختلف اقلیمی است که احتمالاً ادامه‌دار خواهد بود [۳]. این تغییرات بسته به شرایط محیطی و اقلیمی در هر منطقه از جهان با تأثیرات مختلفی همراه است [۱]. اما تغییر الگوهای بارش و دما از محتمل‌ترین اثرات آن می‌باشد [۱۲]، به ویژه در مناطق با اقلیم‌های گرم و خشک که اهمیت دوچندانی دارد. به عبارتی، تغییر در هر یک از این متغیرها نقطه شروع

هدف اصلی CMIP6 پاسخ دادن به سوالات مهمی از جمله چگونگی واکنش ساختار زمین به نیروهای مختلف در مورد منشأ و پیامد مدل‌های سازمان یافته، کمی‌سازی تغییرات آب‌وهوایی و عدم قطعیت سناریوها می‌باشد [۱۱]. بنابراین در نوشتار حاضر، از خروجی مدل‌های فاز ششم تغییر اقلیم (CMIP6) به تازگی انتشار یافته [۱۲]، استفاده شد. در این فاز، از تلفیق واداشت تابشی گازهای گلخانه‌ای و خط‌سیرهای اجتماعی-اقتصادی جهت تهیه سناریوهای اقلیمی استفاده شده است [۷].

در سال‌های اخیر، طیف وسیعی از مسیرهای جدید انتشار تهیه شده که چگونگی تغییر اقلیم و تأثیر جامعه جهانی از لحاظ جمعیت، اقتصاد و انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول قرن آینده را بیان می‌کند. رشد جمعیت و صنعت اثرات مختلفی بر نحوه انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند؛ به همین دلیل طی سال‌های مختلف سناریوهای انتشار جدید معرفی و مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدیدترین مسیر به عنوان مسیرهای مشترک اقتصادی-اجتماعی (SSP) شناخته می‌شود. نحوه نمایش این سناریوها به صورت SSPx-y بوده که x نشان‌دهنده SSP و y نماینگر واداشت تابشی (وات بر مترمربع) در سال ۲۱۰۰ است [۵]. تا کنون کمتر مطالعه‌ای از نتایج برون‌داد این مدل در زمینه وضعیت طوفان‌های گردوخاک در آینده انجام شده است. در این مطالعه از داده‌های دما، بارندگی، رطوبت-نسبی و سرعت باد برای سناریوهای SSP<sup>۲</sup> استفاده شد. در این زمینه می‌توان از نتایج مطالعات مشابه، مانند مطالعه [۱] نام برد، که با استفاده از مدل CanESM2 به بررسی تغییرات اقلیمی جنوب استان کرمان پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد تغییرات دمایی در ایستگاه سینوپتیک جیرفت طی دوره ۲۰۵۱-۲۰۸۰ تحت سناریو-های RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد و در نتیجه تغییرات مثبت هستند. به منظور بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر متغیرهای دما و بارش در حوضه آبخیز سد طرق، از مدل‌های جفت‌شده فاز ششم CMIP6 استفاده شد [۱۰]. نتایج بیانگر این بود که در رابطه با دما در تمامی سناریوها، افزایش دمای حداقل و حداکثر ثبت

مربوط به محصولات کشاورزی، کاهش کیفیت هوا و مهاجرت‌های گسترده را باید به این مقادیر اضافه کرد [۴]. منطقه جنوب‌شرق ایران یکی از فعال‌ترین منابع طوفان گردوخاک در آسیا است. طوفان‌های گردوخاک در این منطقه تقریباً در تمام طول سال رخ می‌دهد، اما فراوانی آن در فصل‌های تابستان و بهار بیشتر است که منطبق با زمان وزش بادهای ۱۲۰ روزه است [۶]. بیشترین فراوانی طوفان‌های گردوخاک در مرز بین ایران، افغانستان و پاکستان رخ می‌دهد؛ و اصلی‌ترین منطقه برداشت ذرات بر روی دریاچه هامون ساپوری در کشور افغانستان تمرکز دارد [۹]. طی سال‌های اخیر افزایش چشمگیر فراوانی و شدت این طوفان‌ها در جنوب‌شرق ایران سوالات بی‌پاسخ زیادی را بر جای گذاشته است که زمینه مناسبی برای تحقیقات آینده فراهم کرده است.

پیش‌بینی رفتار متغیرهای اقلیمی در قالب شبیه‌سازی (در سطح جهانی، منطقه‌ای و محلی)، بررسی روندها و مدل‌ها از گذشته تا به حال مطرح بوده است، اما آشکارسازی و پیش‌نگری در این زمینه کمتر به چشم می‌خورد [۵].

یکی از کاربردهای مهم مدل‌های اقلیمی پیش‌نگری تغییرات متغیرهای اقلیمی در آینده است. آگاهی داشتن از روند تغییرات این متغیرها در آینده کمک می‌کند که از نظر سازگاری و کاهش اثرات آنها اقدامات لازم انجام شود. بنابراین مهم است که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بتوانند در تدوین سیاست‌های کلان و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و میان‌مدت از نتایج این پیش‌نگری‌ها استفاده کنند.

مطالعه در این زمینه عمدتاً به کمک خروجی مدل‌های گردش عمومی جو صورت می‌گیرد که بر حسب نوع مطالعه می‌تواند به وسیله روش‌ها و مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای برای محدوده‌های خاصی ریزمقیاس‌نمایی شود [۱۳]. مدل‌های بسیاری برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی وجود دارد که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به مدل‌های CMIP<sup>۱</sup> اشاره کرد، که یکی از جدیدترین مدل‌های آن سری ششم یا CMIP6 است [۱۰].

<sup>2</sup>- Shared Socioeconomic Pathways

<sup>1</sup>- Coupled Model Inter comparison Project

جریان‌های جوی متعدّد مانند جریان بادی شبه‌قاره هند و به تبع آن، باران‌های موسمی اقیانوس هند است. از طرف دیگر، تحت تأثیر فشار زیاد عرض‌های متوسط قرار دارد که گرمای شدید مهم‌ترین پدیده مشهود اقلیمی آن است. در سال‌های اخیر، بالا بودن غلظت، فراوانی، وسعت و دوام طوفان‌های گردو خاک، یک بحران زیست محیطی در این منطقه از کشور ایجاد نموده است.

### مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه

در بخش اول مطالعه، داده‌های اقلیمی دما، بارندگی، سرعت باد و رطوبت نسبی و فراوانی روزهای همراه با گردو خاک تمامی ایستگاه‌های هواشناسی استان که دارای دوره آماری مناسب بودند در بازه زمانی (۲۰۱۰-۲۰۰۰) تهیه شد (جدول ۱). سپس از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها (دما، بارندگی، رطوبت نسبی، سرعت باد و روزهای همراه با گردو خاک) استفاده شد.

شده است و در رابطه با بارش نیز وضعیت برای سناریوهای مختلف به صورت سینوسی است.

هدف اصلی این مطالعه کمی‌سازی و بررسی روابط موجود بین متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار بر روند تغییرات طوفان‌های گردو خاک است تا نسبت به پیش‌نگری وضعیت آینده این پدیده اقدام شود. استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرقی ایران، با توجه به این که طی سال‌های اخیر شاهد افزایش چشمگیری در روند رخداد طوفان‌های گردو خاک بوده است از این‌رو به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

بر مبنای مطالعات انجام شده، استان سیستان و بلوچستان به دلیل انزوای جغرافیایی ناشی از موقعیت نسبی و واقع بودن در محیط آندروئیک به عنوان یک ناحیه بیابانی و دارای آب‌وهوای خشک طبقه‌بندی می‌شود. این منطقه در دوره گرم سال، متأثر از بادهای سیستان است و با توجه به موقعیت جغرافیایی، از یک طرف تحت تأثیر

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
کنارک	۶۱/۲۲	۲۵/۲۶	۱۲
زابل	۶۱/۲۹	۳۱/۱۳	۴۸۹
زاهدان	۶۰/۵۳	۲۹/۲۸	۱۳۷۰
خاش	۶۱/۱۲	۲۸/۱۳	۱۳۹۴
سراوان	۶۲/۲۰	۲۷/۲۰	۱۱۹۵
ایرانشهر	۶۰/۴۲	۲۷/۱۲	۵۹۱
چابهار	۶۰/۳۰	۲۵/۱۴	۸

مناسب برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در مراحل بعدی استفاده شد.

سپس روش رگرسیون چندگانه با استفاده از بسته نرم‌افزاری آماری SPSS برای مدل‌سازی و بررسی رابطه بین تأثیر متغیرهای اقلیمی (دما، بارندگی، رطوبت نسبی و سرعت باد) بر فراوانی روزهای همراه با گردو خاک بکار برده شد. در این مطالعه داده‌های متغیرهای دما، بارندگی، سرعت باد و رطوبت نسبی به عنوان متغیرهای مستقل و فراوانی روزهای همراه با گردو خاک به عنوان متغیر وابسته

در این آزمون، فرض صفر آماری ( $H_0$ ) نرمال بودن داده‌هاست و در صورتی که مقدار معناداری آزمون بیشتر از ۰/۰۵ باشد، فرض  $H_0$  مبنی بر نرمال بودن داده‌ها تأیید و بنابراین از آزمون‌های پارامتری مناسب برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در مراحل بعدی استفاده می‌شود. همچنین در صورتی که سطح معناداری آزمون کمتر از ۰/۰۵ باشد، فرض  $H_0$  رد گردیده و داده‌های مورد بررسی دارای توزیع نرمال نبوده که در این هنگام از آزمون‌های ناپارامتری

## پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی طی دوره زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰

پیش‌بینی مقادیر سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، خدمت‌موسط (SSP3-7.0) و بدبینانه (SSP5-8.5) در ۸ دوره زمانی ۱۰ ساله:

در مرحله نهایی، معادلات بدست‌آمده جهت فرمول-نویسی در نرم‌افزار اکسل وارد شد. با جایگذاری مقادیر متغیرهای اقلیمی پیش‌بینی‌شده خروجی از مدل فاز ششم به عنوان متغیرهای مستقل در معادله رگرسیون چندگانه، برای پیش‌نگری روند تغییرات روزهای همراه با گردوخاک به تفکیک ۳ سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، خدمت‌موسط (SSP3-7.0) و بدبینانه (SSP5-8.5) در قالب ۸ دوره زمانی از سال ۲۰۲۱ میلادی تا ۲۱۰۰ استفاده شد. در آخر، نمودار مقادیر میانگین ۱۰ سالانه پیش‌بینی‌شده مربوطه در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۱۰۰ رسم گردید.

کدهای مربوط به هر D (D1-D8) میانگین دهه‌ای هستند و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

D1 (2021-2030), D2 (2031-2040), D3 (2041-2050), D4 (2051-2060), D5 (2061-2070), D6 (2071-2080), D7 (2081-2090), D8 (2091-2100)

## نتایج

بر اساس نتایج جدول ۲، ۶۳ درصد از تغییرات متغیر گردوخاک با استفاده از متغیرهای مستقل بارندگی، رطوبت‌نسبی، سرعت باد و دما قابل پیش‌بینی است.

جدول ۲- ضریب همبستگی بین پارامتر گردوخاک و سایر پارامترهای اقلیمی

R <sup>2</sup>	R	model
۰/۴۴	۰/۶۳	۱

بر اساس نتایج مقدار sig تمام متغیرها دارای رابطه معنی‌دار با روزهای همراه با گردوخاک هستند. با توجه به ضرایب  $\beta$  Unstandardized Coefficients مدل رگرسیونی به صورت زیر نمایش داده می‌شود. با استفاده از این رابطه می‌توان میزان گردوخاک را به توجه به بارندگی، دما، سرعت باد و رطوبت‌نسبی برای آینده برآورد کرد.

وارد مدل شد. در آخر، در جدول ضرایب حاصل‌شده از این روش در ستون B، مقدار عرض از مبدا و ضرایب استاندارد نشده رگرسیونی ارائه شد که میزان تأثیر مطلق هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته را به شرط ثابت نگهداشتن سایر متغیرهای مستقل حاضر در مدل نشان می‌دهد.

معادله‌ای که ارتباط خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته را برقرار می‌کند بر اساس فرمول زیر می‌باشد:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

که در آن،  $y$  یک متغیر وابسته،  $x_i$  متغیر مستقل یا توصیف‌کننده و  $n$  تعداد توصیف‌کننده می‌باشند.  $b_0$  عرض از مبدا و  $b_i$  ضرایب رگرسیونی هر یک از متغیرهای مستقل بوده که به روش حداقل مجذور مربعات تعیین می‌شوند. در این روش بهترین معادله بر اساس مجذور ضریب همبستگی تصحیح شده ( $R^2$ )، تعداد توصیف‌کننده‌ها در مدل ( $n$ )، مقدار آماره  $F$  و خطای استاندارد تخمین (SE) انتخاب می‌شود.

جدول ۳ نتایج مدل رگرسیونی بین متغیرهای اقلیمی و گردوخاک را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر ضریب  $\beta$  هر متغیر مستقلی که دارای مقدار بیش‌تری باشد در مدل رگرسیونی از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. بنابراین متغیر سرعت باد دارای بیش‌ترین تأثیر روی روزهای همراه با گردوخاک در استان سیستان و بلوچستان است.

$$\text{(بارندگی)} - ۰/۰۰۳ - \text{(دما)} + ۰/۰۹۲ + \text{(رطوبت نسبی)} - ۰/۰۵۵ - \text{(سرعت باد)} + ۳/۸ + ۲/۷ = \text{گرد و خاک}$$

(۱)

جدول ۳- نتایج مدل رگرسیونی بین پارامتر گردوخاک و متغیرهای اقلیمی

	T.mean	Precipitaion	Wind speed	Humidity	Dust
Sig.	۰/۰۰۰**	۰/۰۴۴**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**
Unstandardized Coefficients B	۰/۰۹۲	-۰/۰۰۳	۲/۷۳	-۰/۰۰۵۵	-۳/۸۵
Standardized Coefficients Beta	۰/۱۸۳	-۰/۰۱۵	۰/۵۶۵	-۰/۲۶۸	-

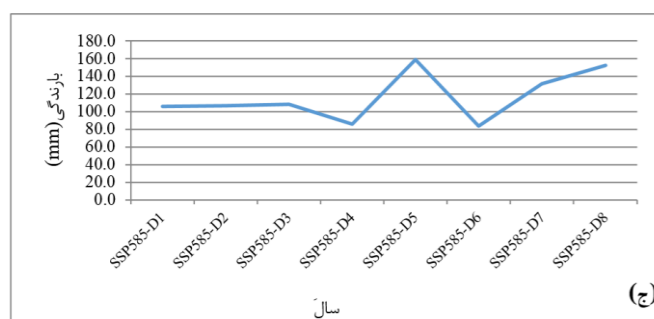
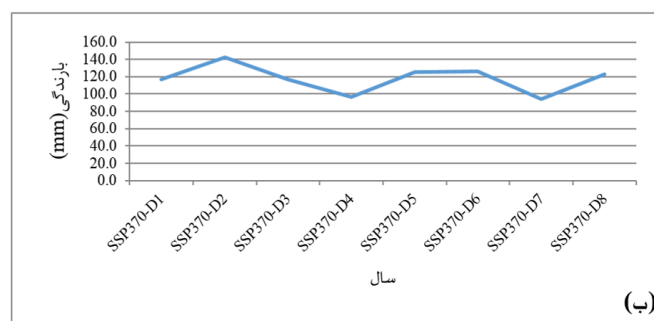
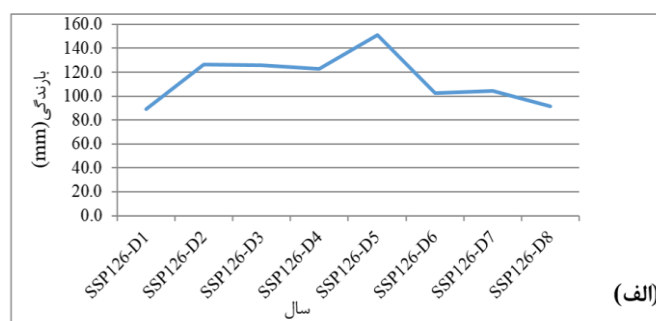
\*\*معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

## پیش‌نگری روند تغییرات متغیرهای اقلیمی طی دوره

## زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ بر اساس سناریوهای SSP

شکل ۱ نمودار بارندگی را بر اساس سناریوهای خوش بینانه (الف)، حدمتوسط (ب) و بدبینانه (ج) در استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد. بر اساس سناریوی الف (SSP1-2-6) که به سناریوی خوش‌بینانه شناخته می‌شود، نمودار تغییرات بارش بین دهه‌های D4 تا D5 به

بالاترین مقادیر خودش می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد. بر اساس سناریوی حدمتوسط ب (SSP3-7-0) روند تغییرات بارندگی در دهه‌های D2 و D5 تا D6 به صورت افزایشی و در سایر دهه‌ها به صورت کاهش‌ی است. نمودار تغییرات سناریوی بدبینانه ج (SSP 5-8-5) نیز در دهه‌های D4 و D6 کم‌شده است و بالاترین مقدار طی دهه D5 ثبت شده است.



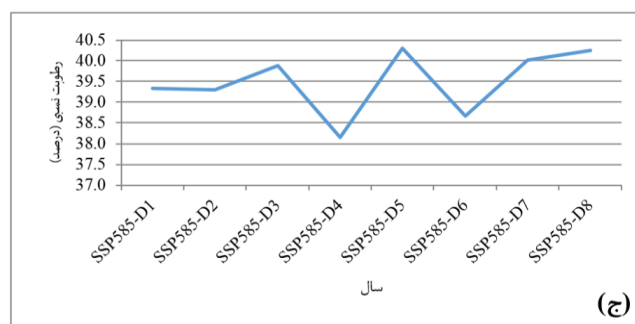
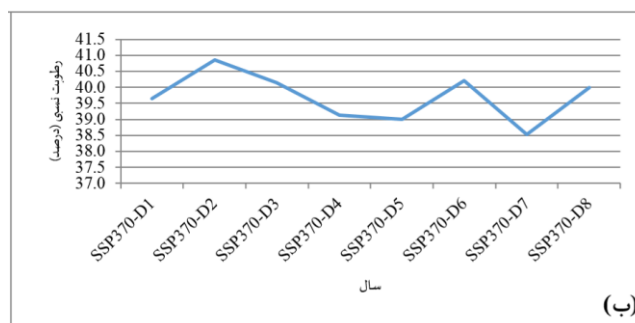
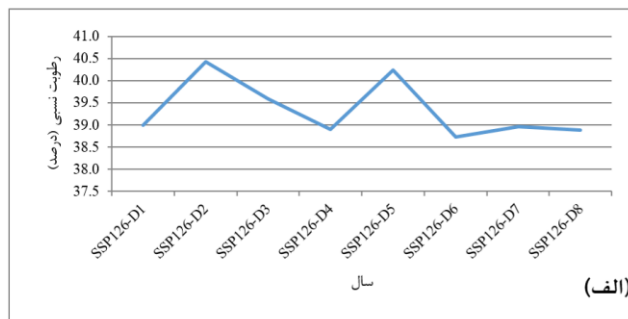
شکل ۱- نمودارهای تغییرات میانگین بارندگی بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه (الف)، حدمتوسط (ب) و بدبینانه (ج)

شکل ۲ نمودارهای تغییرات رطوبت‌نسبی را طی دهه‌های آینده بر اساس سناریوهای SSP نشان می‌دهد.

نمودار تغییرات رطوبت‌نسبی بر اساس سناریوی الف (SSP1-2-6) نشان می‌دهد در دهه‌های D2 و D5

افزایشی است. بر اساس نمودار تغییرات سناریوی بدبینانه ج (SSP5.8.5) کمترین مقادیر رطوبت نسبی در دهه‌های D4 و D6 و بالاترین مقادیر در دهه D5 به ثبت رسیده است.

بالاترین مقدار را ثبت کرده است. مقادیر در سایر دهه‌ها به صورت کاهشی است. بر اساس تغییرات نمودار سناریو خدمتوسط ب (SSP3-7-0) تغییرات در دهه‌های D4 و D6 به صورت کاهشی و سایر دهه‌ها به صورت ثابت یا



شکل ۲- نمودارهای تغییرات رطوبت نسبی بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه (الف)، خدمتوسط (ب) و بدبینانه (ج)

شده است. روند تغییرات در نمودار سناریو بدبینانه در دهه D2 و D4 کاهش یافته است و سایر دهه‌ها به صورت افزایشی است.

شکل ۵ نمودار تعداد روزهای همراه با گردوخاک را بر اساس سناریوی حالت خوش‌بینانه (SSP1-2.6) در استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد. بالاترین میانگین روزهای همراه با گردوخاک در استان سیستان و بلوچستان در خوش-بینانه‌ترین حالت طی دوره‌های زمانی D6 تا D8 دیده می‌شود و در زمان D5 به کمترین مقدار خودش می‌رسد.

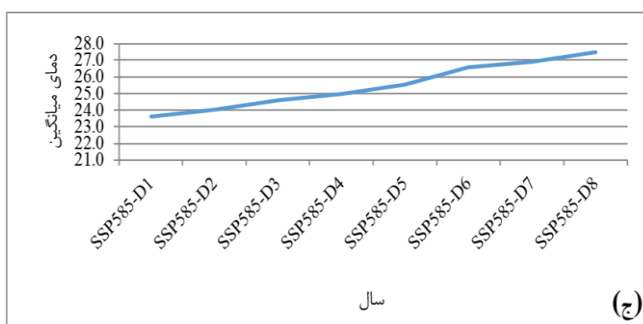
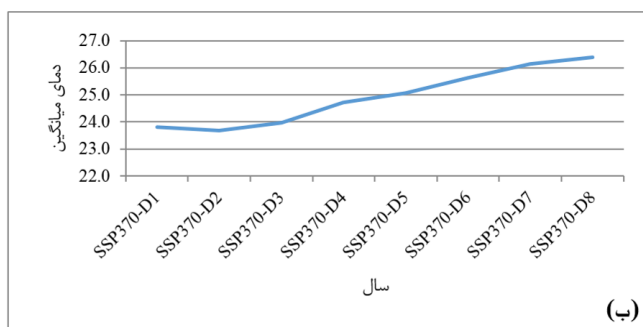
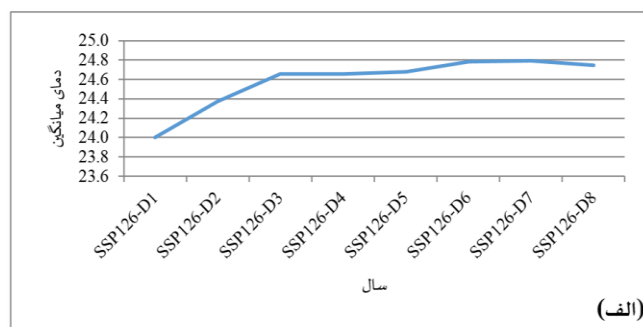
شکل ۶ نمودار تعداد روزهای همراه با گردوخاک را بر اساس سناریوی حد متوسط (SSP3-7.0) در استان سیستان و

شکل ۳ نمودارهای میانگین دما را طی دهه‌های آینده بر اساس سناریوهای SSP نشان می‌دهد. تغییرات دما در هر سه نمودار به صورت افزایشی است و می‌توان پیش‌بینی کرد طی دهه‌های آینده روند افزایش دما ادامه‌دار خواهد بود.

شکل ۴ تغییرات سرعت باد را بر اساس سه سناریوی خوش‌بینانه، خدمتوسط و بدبینانه نشان می‌دهد. روند تغییرات در نمودارهای سناریوهای خوش‌بینانه (الف) و خدمتوسط (ب) به صورت افزایشی است. در نمودار خدمتوسط در دهه D7 بیشترین افزایش سرعت باد ثبت

D4 اندکی کاهش می‌یابد.

بلوچستان نشان می‌دهد. نمودار میانگین گردو خاک بر اساس سناریوی حد متوسط دارای روند افزایشی است و تنها در زمان



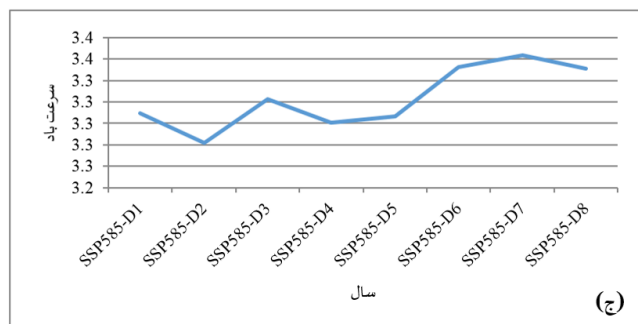
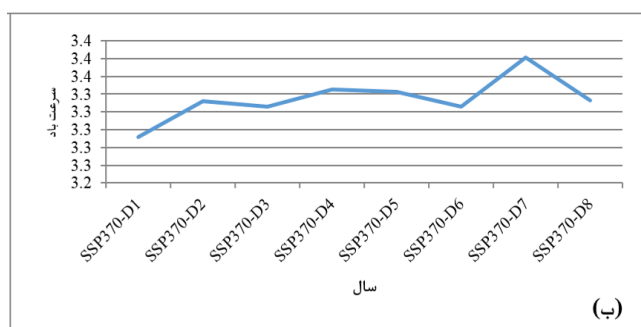
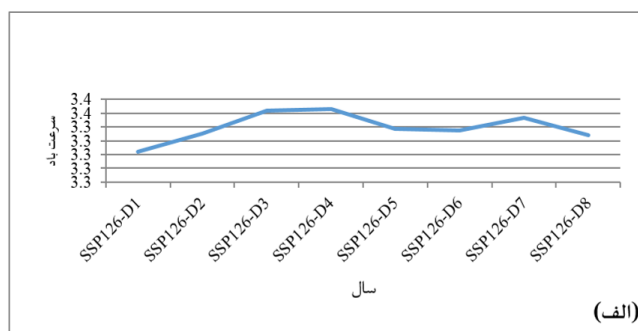
شکل ۳- نمودارهای تغییرات میانگین دما بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه (الف)، حد متوسط (ب) و بدبینانه (ج)

رسد. تنها راهکارهای مقابله با این اثرات در کنار کاهش روند انتشار گازهای گلخانه‌ای، در پیش گرفتن اقدامات سازگاری و کاهش اثرات است. به نظر می‌رسد کشورهای بیش‌ترین آسیب را از تغییرات اقلیمی متحمل می‌شوند که سرمایه‌گذاری کم‌تری را در این زمینه داشته باشند [۸]؛ به همین دلیل توجه به این موضوع اهمیت دارد. طراحی مناسب سیاست‌ها در همه مقیاس‌ها می‌تواند در سازگاری و کاهش اثرات مشارکت داشته باشد، در عین حال، توسعه مسیره‌های سازگاری با تغییر اقلیم را هم تسهیل می‌کند. این سیاست‌ها شامل حمایت از حفظ اراضی، منابع، تقویت تاب‌آوری اجتماعی، حمایت از ترمیم زیست‌بوم‌ها و تقویت تعامل و همکاری بین ذی‌نفعان مختلف است.

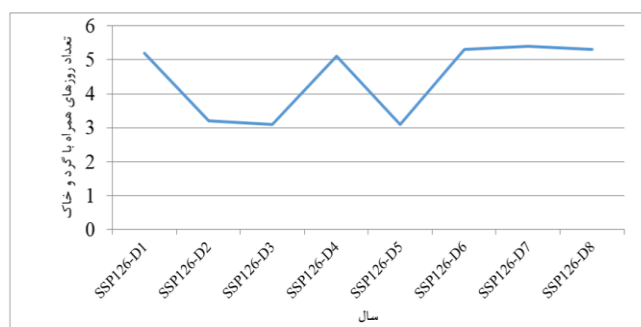
شکل ۷ نمودار تعداد روزهای همراه با گردو خاک را بر اساس سناریوی حالت بدبینانه (SSP5-8.5) در استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد. نمودار میانگین روزهای همراه با گردو خاک بر اساس سناریوی بدبینانه دارای نوسان زیادی است و کم‌ترین مقدار آن مربوط به زمان D5 و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به زمان D6 می‌باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی در حال رخ‌دادن هستند [۳] و حتی با تصور این که هم‌اکنون تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای متوقف شود، بازگشت به حالت تعادل، سخت به نظر می‌-



شکل ۴- به ترتیب نمودارهای تغییرات سرعت باد بر اساس سناریوهای خوش‌بینانه (الف)، حدمتوسط (ب) و بدبینانه (ج)



شکل ۵- روند تغییرات روزهای همراه با گرد و خاک بر اساس سناریوی SSP1-2.6 (خوش‌بینانه)

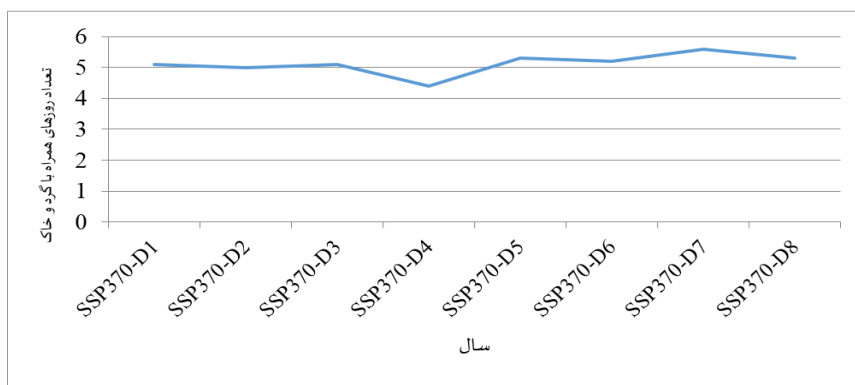
بلوچستان نشان می‌دهد، طبق انتظار کم‌ترین روزهای همراه با گرد و خاک بر اساس سناریوی SSP1-2.6 (حالت خوش‌بینانه) دیده می‌شود. نمودارهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 تقریباً روند مشابهی دارند و افزایشی هستند. متغیرهای سرعت باد و دما دارای تأثیر مثبت و معنی‌دار بر روند تغییرات روزهای همراه با گرد و خاک هستند، بنابراین

در استان سیستان و بلوچستان بیش از سال‌های گذشته با طوفان‌های گرد و خاک روبه‌رو هستیم. بادهای ۱۲۰ روزه اکنون تا ۱۵۰ روز طول می‌کشد که یکی از نمادهای اصلی اقلیمی این منطقه می‌باشد [۱۱]. تحلیل نمودارهای میانگین گرد و خاک بر اساس سه سناریوی خوش‌بینانه، حدمتوسط و بدبینانه در استان سیستان و

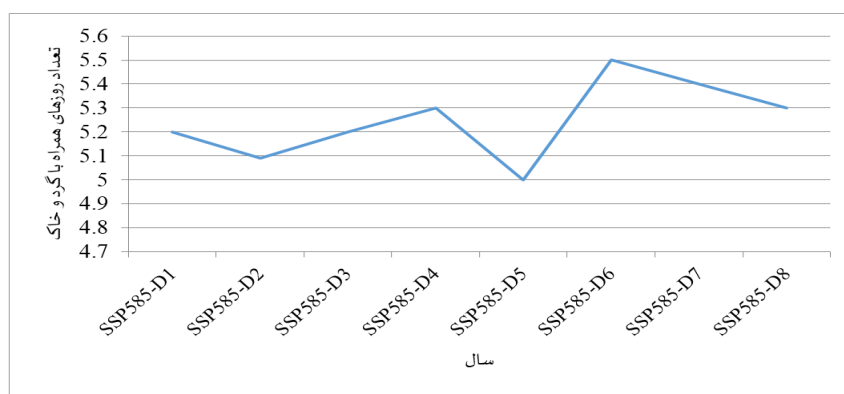


متغیرها (بارندگی و رطوبت نسبی) تأثیر مثبت بر روند روزهای همراه با گردو خاک داشته باشد.

انتظار می‌رود در دهه‌هایی که مقادیر این متغیرها افزایشی هستند در صورت منفی و بی‌تأثیر بودن سایر



شکل ۶- روند تغییرات روزهای همراه با گردو خاک بر اساس سناریوی SSP3-7.0 (حدوسط)



شکل ۷- روند تغییرات روزهای همراه با گردو خاک بر اساس سناریوی SSP5-8.5 (حالت بدبینانه)

آنچه که این استان را بیش از پیش با وضعیتی شکننده روبه‌رو کرده است خشکسالی‌های طولانی، مدیریت نامناسب منابع و خشک شدن دریاچه هامون است. تلاش‌های بین‌المللی برای توقف پروژه‌های سدسازی روی هیرمند، حمایت از کشاورزان محلی به منظور جلوگیری از رها شدن زمین‌های کشاورزی و احیای ساختارهای قدیمی کنترل و پخش آب تنها بخشی از پیشنهادها جهت کنترل و کاهش زیان‌های ناشی از تغییرات اقلیمی است.

اقدام در زمان حال ممکن است خطرات و خسارت‌های بیش‌تر را از بین ببرد یا کاهش دهد. اقدام سریع برای کاهش اثرات و سازگاری اقلیم همراه با مدیریت پایدار سرزمین وابسته به هر منطقه می‌تواند شرایط قرارگیری جوامع محلی در معرض خطر وقایع حدی اقلیمی، بیابان‌زایی و تخریب سرزمین و ناامنی غذایی و معیشتی را کاهش دهد.

روند تغییرات دما و سرعت باد بر اساس هر سه سناریو خوش‌بینانه، حدمتوسط و بدبینانه به صورت افزایشی بود و نوسانات کمتری دارد. روند گرم‌تر شدن دما در آینده نیز ادامه‌دار خواهد بود و به طور حتم بر منابع آبی و پوشش گیاهی منطقه تأثیر می‌گذارد. این تأثیرات به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر میزان گردو خاک مشهود است.

این نتایج دیدگاه کلی را از وضعیت آینده منطقه به ما می‌دهد که به هیچ عنوان قابل صرف‌نظر کردن نیست. نتایجی از این دست در بیش‌تر نقاط جهان پایه‌ای برای برنامه‌ریزی انجام اقدامات در آینده فراهم کرده است.

نتایج نشان داد حتی در خوش‌بینانه‌ترین حالت ممکن باز هم خطر فراوانی طوفان‌های گرد و خاک نگران‌کننده است. این وضعیت در آینده سلامت، بهداشت، وضعیت اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی را با مشکلات بیش‌تری روبه‌رو می‌کند و لزوماً نیاز به برنامه‌های دقیق‌تری را از طرف مسئولان می‌طلبد.

## References

- [1]. Akbari H, Mesbahzadeh T, Zehtabian G. (2021). Prediction of climate change in arid and semi-arid regions of the western basin of Jazmourian Wetland. *E.E.R.* 2021; 11 (3):27-43. (in Farsi)
- [2]. Asghari, M., Meshkatee, A., Ranjbar, A., & Moradi, M. (2020). Study and evaluation of dust emission scheme in WRF-Chem model of duststorm in the east and southeast of the Iran (Case study 11 to 13 August 2018). *Journal of Climate Research*, 1399(43), 87-98. (in Farsi)
- [3]. Bevacqua, E., Maraun, D., Hobæk Haff, I., Widmann, M., Vrac, M. (2017). Multivariate statistical modeling of compound events via pair-copula constructions: analysis of floods in Ravenna (Italy). *Hydrol. Earth. Syst. Sci.* 21, 2701–2723.
- [4]. Boroughani, M. (2020). Identification of dust source area in Sistan basin and determination of their characteristics, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(3), 617-631. (in Farsi)
- [5]. Cheraghalizadeh, M., Hemmati, R. & Asgari, S. (2020). Future Projection of the possible impacts of climate change on the maximum extent of temperature of Iran under the Representative Concentration Pathway (RCP) scenario during the 21st century. *Nivar*, 44(108-109), 85-96. (in Farsi)
- [6]. Farzaneh, M., Arbabi Sabzevari, A., Daryabari, J., & Asadian, F. (2021). Climatic Variable Forecasting for Future Decades in South East Area of Iran. *Journal of Climate Research*, 1400(45), 97-112. (in Farsi)
- [7]. Ghasemi, M., soltani, A., Naseri, A., & Moazed, H. (2019). Investigating the trend of future climate change under the Representative Concentration Pathway scenarios using non-parametric Man-Kendall test (Case study: South of Ahvaz). *Nivar*, 43(106-107), 79-88. (in Farsi)
- [8]. IPCC. (2019). Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.*
- [9]. Rashki, A., Middleton, N.J., Goudie, A.S.(2021).Dust storms in Iran–Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*. 48(1), 100655-17.
- [10]. Sarabi, M., Dastorani, M. T., & Zarrin, A. (2020). Investigating Impact of Future Climate Changes on Temperature and Precipitation condition (Case Study: Torogh Dam Watershed, Mashhad). *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 3(1), 63-83. (in Farsi)
- [11]. Sobouti, Y., Darvishzadeh, R., & Naghavi Azad, A. (2015). Climate of Iran - Projection of Temperature and Precipitation until 2030. *Science Cultivation*, 5(2), 18-25. (in Farsi)
- [12]. Zarrin, A., & Dadashi Roudbari, A. A. (2020). Projection the Long-Term Outlook Iran Future Temperature Based on the Output of The coupled model intercomparison project phase 6 (CMIP6). *Journal of the Earth and Space Physics*, 46(3), 583-602. (in Farsi)
- [13]. Zarrin, A., dadashi-rodbari, A., & Salehabadi, N. (2021). Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iranian Journal of Geophysics*, 15(1), 35-54. (in Farsi)

## **Projection of the trend of changes in dust storms in southeastern Iran under SSP scenarios in the period (2020-2100) (Short Research Paper)**

1- Maede Nasry, Ph.D. candidate, Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.

2- Mohammad Rahimi\*, Associate Professor, Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.

mrahimi@semnan.ac.ir

Received: 02 Jan. 2022

Accepted: 14 Mar. 2022

### **Abstract**

The impact of dust storms on the Sistan and Baluchistan region is one of the most important current issues in this region. The current research is an attempt to investigate the effects of climate change on the trend of changes in dust storms in Sistan and Baluchistan province in the future perspective (until the end of 2100) compared to the base climate period (2010-2020). The study method consists of two parts, namely, analyzing the trend of dust storm events changes from the past to the present and projection the future situation. In the first step, using the multiple linear regression method, the correlation and relationship between the variable of days with dust with other climatic parameters (temperature, rainfall, relative humidity, and wind speed (during the statistical period of 2010-2020) was obtained. Then, the modeled data of the CMIP6 global model in three scenarios and 8 decades from 2020 to 2100 were used as inputs of significant regression relationships during the period 2010 to 2100 to investigate the future status of dust storms. Analysis of the results showed that, the trend of dust event change based on three scenarios of optimistic, moderate, and pessimistic in Sistan and Baluchistan provinces is increasing. As expected, the least dusty days are seen based on the optimistic scenario (SSP1-2.6). The dust trends based on the middle (SSP3-7.0) and pessimistic (SSP5-8.5) scenarios have almost the same trend and are increasing. Therefore, we can expect to have more frequent dust events in the future as climate change continues. As a result, the necessary investments for adaptation measures and mitigation against the harmful effects of dust need to be put on the agenda from now on.

**Keywords:** Climate change, Regression, Adaptation, Statistical Downscaling.