

ارزیابی علل خشکسالی تالاب بین‌المللی هامون با استفاده از شاخص‌های بارندگی، گردوغبار و خشکی

چکیده

یکی از معضلات زیست‌محیطی در منطقه سیستان که امروزه گریبان گیر ساکنین گردیده است، طوفان‌های گردوغبار می‌باشد. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی از مهم‌ترین موضوعات زیست‌محیطی دهه‌های اخیر به شمار می‌آید که غالب مناطق اکولوژیک با آن درگیر می‌باشد. با عنایت به افزایش طوفان‌های گردوغبار و خشک شدن تالاب هامون هدف این تحقیق بررسی رابطه بین شاخص گردوغبار و ناهنجاری بارش در منطقه سیستان می‌باشد. چراکه لازمه هرگونه تصمیم مدیریتی در خصوص کنترل پدیده‌های گردوغبار، دانستن رابطه بین میزان شاخص خشکی و گردوغبار خواهد بود. در این تحقیق روند تغییرات بارش و شاخص خشکی فصول مختلف و سالیانه برای بازه ۳۲ ساله (۱۳۶۲ تا ۱۳۹۴) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی طوفان‌های گردوغباری از شاخص طوفان گردوغبار (DSI) استفاده گردید. نتایج نشان داد که میزان بارندگی فصل‌های بهار، پائیز و زمستان و بارش سالیانه دارای روند کاهشی بوده ولی معنادار نمی‌باشد. فراوانی شدت خشکی برای فصل‌های مختلف متفاوت بوده و فراوانی شدت خشکی سالیانه معادل ۳۳/۳ درصد برآورد گردید. شاخص گردوغبار سالیانه برای بازه مورد مطالعه ۷۱ روز به دست آمد. ضریب همبستگی بین شاخص طوفان گردوغبار (DSI) و شاخص ناهنجاری بارندگی (PAI) به مقدار ۰/۰۷۷ برآورد گردید و نشان داد رابطه معنی‌داری بین این دو شاخص وجود ندارد. نتایج نشان داد که تغییرات میزان گردوغبار و خشکی تالاب هامون به دلیل کاهش میزان بارش نبوده و خشک شدن تالاب هامون بیشتر ناشی از سدسازی در بالادست حوزه و قطع آب ورودی به تالاب می‌باشد و نه میزان بارندگی.

واژگان کلیدی: تالاب هامون، تغییر اقلیم، شاخص طوفان گردوغبار (DSI)، شاخص ناهنجاری

بارندگی (PAI).

مقدمه

تالاب بین‌المللی هامون بزرگ‌ترین اکوسیستم آب شیرین فلات ایران به حساب می‌آید (Rashki et al., 2013) و یکی از کم‌نظیرترین اکوسیستم‌های آبی در مناطق خشک است که به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر متأسفانه رو به نابودی قرار گرفته است (ذوالفقاری و کفاش، ۱۳۹۱). ازجمله بحران‌های دهه‌های اخیر می‌توان به خشک شدن تالاب‌ها، بحران کم‌آبی و خشک‌سالی‌های متعدد اشاره نمود (Fazeli, 2012). دسترسی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک در دهه‌های اخیر تحت تغییرات و محدودیت‌های زیادی قرار گرفته است (Zhao; Feng et al., 2020). طوفان‌های گردوغباری در مناطق خشک و نیمه‌خشک در عرض‌های جغرافیایی میانه و حاره‌ای ازجمله پدیده‌های رایج و از ویژگی‌های غالب و زیان‌بار این مناطق محسوب می‌گردد (Gerivani et al., 2011). مشکلات زیست‌محیطی پیچیده‌ای که امروزه با آن مواجه می‌باشیم از قبیل گرمایش زمین، تغییر اقلیم، کمبود آب، نابودی اکوسیستم‌های طبیعی و منابع طبیعی در جهان ریشه در رفتارهای نادرست بشری دارند (Nik and Mohammad, 2012). خشک‌سالی یک واژه بوم‌شناختی-زراعی-اجتماعی است (Petrasovich, 1995) که خسارات زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کند (کریمی نظر و همکاران، ۱۳۸۹). اثرگذاری و اثرپذیری کشور ایران از تغییر اقلیم یکی از نمونه‌های منحصربه‌فرد در جامعه بین‌المللی می‌باشد (ناصری و احدی، ۱۳۹۵). یکی از عناصر کلیدی در فرآیند توسعه پایدار می‌تواند رفتار

فرهاد ذوالفقاری^{۱*}

محمود خسروی^۲

۱. استادیار مجتمع آموزش عالی سراوان. سراوان، ایران.

۲. استاد اقلیم‌شناسی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان ایران

*مسئول مکاتبات:

zol.farhad@gmail.com

کد مقاله: ۱۴۰۰۳۰۹۳۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۳۰

این مقاله پژوهشی و برگرفته از طرح

پژوهشی است.



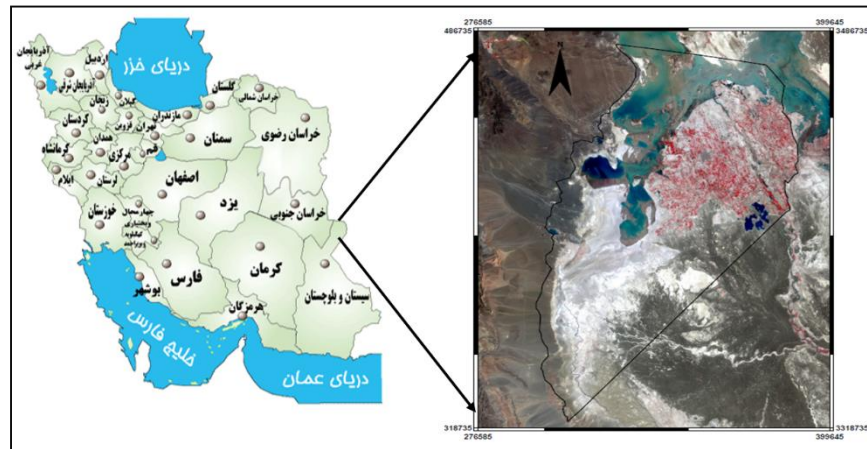
مسئولانه در قبال محیط‌زیست جوامع باشد (میر فردی، ۱۳۹۵؛ عباس زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ Dunlap et al., 2000؛ Salehi, 2010). آستانه ۸۰ درصد میانگین بارش، مرز وقوع خشک‌سالی بیان شده است (فرج زاده، ۱۳۸۴). همچنین خشک‌سالی به دو عامل درصد کاهش بارش‌های جوی و استمرار دوره‌ای نیز مرتبط است (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۸). از طرفی پدیده‌های گردوغباری باعث افزایش ذرات معلق در هوا شده به‌گونه‌ای که در طوفان‌های گردوغباری شعاع دید به کمتر از یک کیلومتر می‌رسد (Rashki et al., 2014). سازمان جهانی بهداشت در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۵ با انتشار گزارشی اعلام کرد که بین ۳ هزار شهر از ۱۰۳ کشور جهان شهرستان زابل در ایران، آلوده‌ترین شهر جهان است که در آن مردم ماه‌ها از وجود طوفان‌های گردوغباری در ایام تابستان رنج می‌برند. همچنین می‌توان گفت ارزیابی خشک‌سالی و سایر پارامترهای اقلیمی در تعیین مکان‌های ایده آل زندگی جوامع بشری مهم می‌باشد (Kubiak-Wojcicka and Bak, 2018). تاکنون مطالعاتی بر اساس شاخص‌های درصد نرمال بارندگی (PNPI)، دهک‌های بارندگی (DPI)، بارش استاندارد شده (SPI) و ناهنجاری بارندگی (RAI) برای تعیین شدت و پهنه‌بندی خشک‌سالی استفاده گردیده است (پیری و انصاری، ۱۳۹۲). خسروی (۱۳۸۷) رابطه بین عوامل اقلیمی دشت سیستان و مؤلفه‌های اصلی وزش باد را به روش تحلیل‌های آماری مورد ارزیابی قرارداد و نشان داد که دید افقی، ایام هوای آرام و شرایط گردوغباری در دشت سیستان تفاوت‌های معنی‌داری با تمام مناطق کشور دارد. رئیس پور و همکاران (۱۳۸۷)، در بررسی تأثیر خشک‌سالی بر دریاچه هامون و افزایش طوفان‌های گردوخاک در منطقه سیستان نشان دادند که خشک شدن دریاچه هامون بیشتر ناشی از خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک و قطع آب رودخانه هیرمند می‌باشد. همچنین Rashki و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که تغییرات مؤلفه‌های باد، بارش، جریان رودخانه هلمند و سطح پوشیده از آب تالاب هامون فراوانی وقوع طوفان‌های گردوخاک منطقه سیستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rashki et al., 2015). طوفان‌های گردوغبار برخاسته از منطقه سیستان، کل محدوده شرقی کشور ایران، افغانستان و پاکستان را در برمی‌گیرد و از این‌رو مناطق جنوب شرقی ایران دارای بیشترین روزهای گردوغباری می‌باشند (Rashki et al., 2014). فراوانی رخداد‌های گردوغبار در یک منطقه به عواملی از جمله سرعت باد، خاک بدون پوشش، هوای خشک، رطوبت خاک، پوشش گیاهی، بارش کوتاه‌مدت، جنگل‌زدایی، خشک‌سالی‌های بلندمدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت‌های انسانی بستگی دارد (Jahanbakhsh et al., 2014). کاهش میزان نزولات جوی و تغییرات اقلیمی از مهم‌ترین عوامل طبیعی پدیده گردوغبار محسوب می‌شوند (سپیلی و ناجی، ۱۳۹۶). سرعت بادهای سطحی، حداکثر دمای هوا، رطوبت نسبی، بستر خشک‌شده تالاب و فرکانس بادهای فرسایشی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل طوفان‌های گردوغباری در منطقه سیستان معرفی شده‌اند (Ebrahimi Khusfi et al., 2021)، لذا تدوین هر برنامه مدیریتی در خصوص مناطق خشک خصوصاً ارزیابی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک و بررسی داده‌های بارش ضروری و کلیدی می‌باشد (Alsumaiei, 2020).

تغییرات فصلی رخداد‌های گردوغبار در منطقه سیستان قابل توجه بوده، به‌طوری‌که بر اساس مطالعات صورت گرفته بیشترین فراوانی و شدت پدیده فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغباری در ماه‌های تابستان و بهار به وقوع می‌پیوندد که به دلیل وزش شدید باد در این منطقه در این فصول سال بوده و میزان بارندگی فصلی نیز در این مدت حداقل می‌باشد (Ebrahimi Khusfi et al., 2021). از آنجایی که عمده مشکلات ناشی از پدیده‌های زیست‌محیطی از جمله گردوغبار و طوفان‌های شن ایجاد شده در منطقه سیستان به دلیل خشک شدن تالاب هامون، به تغییر اقلیم و گرمایش جهانی گره‌خورده است و امنیت حیاتی مردم منطقه به دلیل طوفان‌های گردوغبار در منطقه به خطر افتاده است و نیز از طرف دیگر یکی از ضروری‌ترین نکات در خصوص تصمیمات مدیریتی برای مبارزه و کنترل پدیده گردوغبار در این منطقه خشک جغرافیایی و مناطق مشابه بررسی رابطه بین تغییرات اقلیم و پدیده‌های مرتبط با گردوغبار خواهد بود، لذا این پژوهش به بررسی معنی‌داری رابطه بین میزان بارش و شاخص گردوغبار می‌پردازد.

در این پژوهش با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهرستان زابل که از نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها به تالاب بین‌المللی هامون می‌باشد، به بررسی روند تغییرات بارش با آزمون من-کندال و همچنین محاسبه شاخص ناهنجاری بارش PAI و شاخص روزهای گردوغباری DSI در یک دوره مشترک پرداخته و رابطه بین دو شاخص مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

دشت سیستان در شرق ایران در شمال استان سیستان و بلوچستان در محدوده ۵۹ درجه ۵۶ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و در محدوده عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است (شکل ۱). منطقه سیستان دارای اقلیم گرم و خشک بوده و میانگین بارش بلندمدت آن حدود ۵۷ میلی‌متر و دامنه دمایی آن از ۹/۵- تا ۴۹ درجه سلسیوس متغیر می‌باشد (پیری و انصاری، ۱۳۹۲).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه.

جهت دستیابی به اهداف این پژوهش از داده‌های ایستگاه سینوپتیک شهرستان زابل استفاده شده است. برای این منظور اطلاعات بارش از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۴ (بازه ۳۲ ساله) و داده‌های مربوط به میدان دید از ایستگاه زابل اخذ گردید. سطح خشکی منطقه با استفاده از شاخص ناهنجاری بارندگی PAI که از جمله شاخص‌های رایج در برآورد خشکی است، محاسبه گردید. این شاخص یک عدد بدون بعد بارش مثبت/منفی است که نشان‌دهنده وضعیت خشکی یا رطوبت می‌باشد و با استفاده از داده‌های بارش ماهیانه بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید (Hromadka and Prasada, 2016).

$$PAI = \frac{(P - \bar{P})}{\bar{P}} \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه پارامتر P و $\bar{P}$ به ترتیب مقدار بارش و میانگین بارش می‌باشد. همچنین تعیین سطح خشکی در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بر اساس سطوح خشکی ارائه شده در جدول ۱ تعیین گردید.

جدول ۱: تعیین سطوح مختلف خشکی در رابطه PAI.

سال	فصل	ماه	سطح خشکی
-۱۵ _ +∞	-۲۵ _ +∞	-۴۰ _ +∞	فاقد خشکی
-۳۰ _ -۱۵	-۵۰ _ -۲۵	-۶۰ _ -۴۰	خشکی کم
-۴۰ _ -۳۰	-۷۰ _ -۵۰	-۸۰ _ -۶۰	خشکی متوسط
-۴۵ _ -۴۰	-۸۰ _ -۷۰	-۹۵ _ -۸۰	خشکی شدید
-∞ _ -۴۵	-∞ _ -۸۰	-∞ _ -۹۵	خشکی خیلی شدید

یکی دیگر از فاکتورهای مهم و کلیدی، فراوانی خشکی می‌باشد. به‌منظور اندازه‌گیری فراوانی خشکی (DF) از رابطه ۲ استفاده شد:

$$DF = n/N \times 100$$

رابطه ۲:

در این رابطه n عدد مربوط به سال‌های خشک و N عدد مربوط به سال‌های مورد مطالعه می‌باشد. آزمون من-کندال از جمله روش‌های غیر پارامتری می‌باشد (باقرپور و همکاران، ۱۳۹۶). آزمون من-کندال با روش یو و وانگ برای حذف خودهمبستگی استفاده می‌گردد. این آزمون به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود، از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. این آزمون با دو فرض H_0 (هیچ‌گونه روندی در سری داده‌ها مشاهده نمی‌شود) و فرض H_1 (در سری داده‌ها روند دیده می‌شود) انجام شد. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌ها خواهد بود (معروف نژاد و قاسمی، ۱۳۹۵). برای بررسی روند سری‌های زمانی اقلیمی از آزمون من-کندال در مطالعات محققان مختلفی استفاده شده است (باهک، ۱۳۹۲؛ فیضی و همکاران، ۱۳۸۹). در این مطالعه نیز با استفاده از نرم‌افزار PAST از آزمون من-کندال برای آشکارسازی روند موجود و معنی‌داری آن در سری‌های زمانی مختلف بارش استفاده شد. شدت پدیده گردوغبار با روش شاخص طوفان‌های گردوغبار محاسبه شد. این شاخص ترکیبی از سه نمایه روزهای طوفانی با گردوغبار محلی، روزهای طوفانی با گردوغبار متوسط و روزهای طوفانی با گردوغبار شدید می‌باشد که بر مبنای تعداد دفعات ثبت پدیده کاهش میدان دید بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید (میری، ۱۳۹۹).

$$DSI = 5 \times SDS + MDS + 0.05 \times LDE$$

رابطه ۳:

در این رابطه

DSI: شاخص طوفان گردوغبار

SDS: روزهای طوفانی با گردوغبار شدید (معادل تعداد روزهای طوفانی با قدرت دید کم‌تر از ۲۰۰ متر)

MDS: روزهای طوفانی با گردوغبار متوسط (معادل تعداد روزهای طوفانی با قدرت دید افقی ۱۰۰۰ - ۲۰۰ متر)

LDE: روزهای طوفانی با گردوغبار محلی (معادل تعداد روزهای طوفانی با قدرت دید افقی بیشتر از ۱۰۰۰ متر)

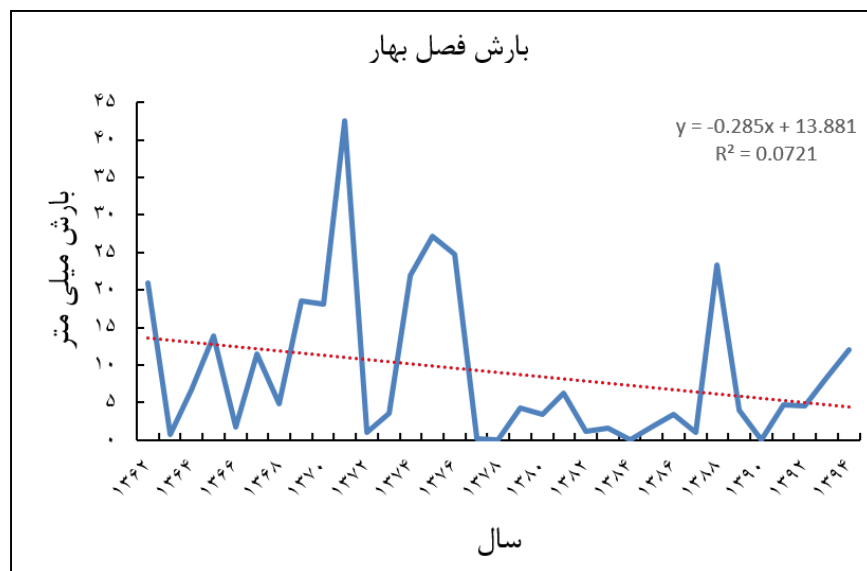
نتایج

نتایج آزمون من-کندال برای بررسی روند بارش در فصول مختلف و نیز روند سالیانه در بازه سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۴ نشان‌دهنده روندی کاهشی در میزان بارش سالانه با مقدار p -value معادل ۰/۱۴۵ بود، ولی در سطح ۹۵ درصد معنادار نمی‌باشد. همچنین روند بارش در فصول بهار، پاییز و زمستان نیز بیانگر روند منفی و کاهشی میزان بارش می‌باشد، اما این روند کاهشی نیز از لحاظ آماری معنادار نبود که نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

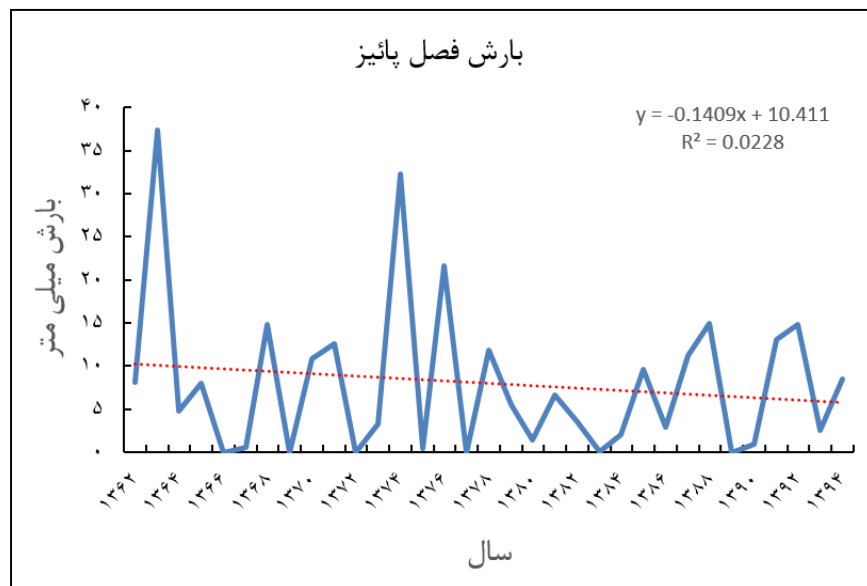
جدول ۲: نتایج حاصل از بررسی روند بارش با استفاده از آزمون من-کندال.

پارامتر	میانگین بارش (mm)	s	Z	P	نتیجه آزمون
بارش سالانه	۵۳/۵	-۹۵	۱/۴۵	۰/۱۴۵۲۱	P-value بیشتر از سطح معنی دار ۰/۰۵ می باشد، بنابراین فرض صفر پذیرفته شده و دارای روند منفی و کاهشی است و در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد.
بارش بهار	۹	-۶۰	۰/۹۱۴	۰/۳۶۰۴	P-value بیشتر از سطح معنی دار ۰/۰۵ می باشد، بنابراین فرض صفر پذیرفته شده و دارای روند منفی و کاهشی است و در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد.
بارش پاییز	۸	۵	۰/۰۶۲	۰/۹۵۰۴	P-value بیشتر از سطح معنی دار ۰/۰۵ می باشد، بنابراین فرض صفر پذیرفته شده و دارای روند منفی و کاهشی است و در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد.
بارش زمستان	۳۶/۴	-۵۲	۰/۷۹۰	۰/۴۲۹۴	P-value بیشتر از سطح معنی دار ۰/۰۵ می باشد، بنابراین فرض صفر پذیرفته شده و دارای روند منفی و کاهشی است و در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد.

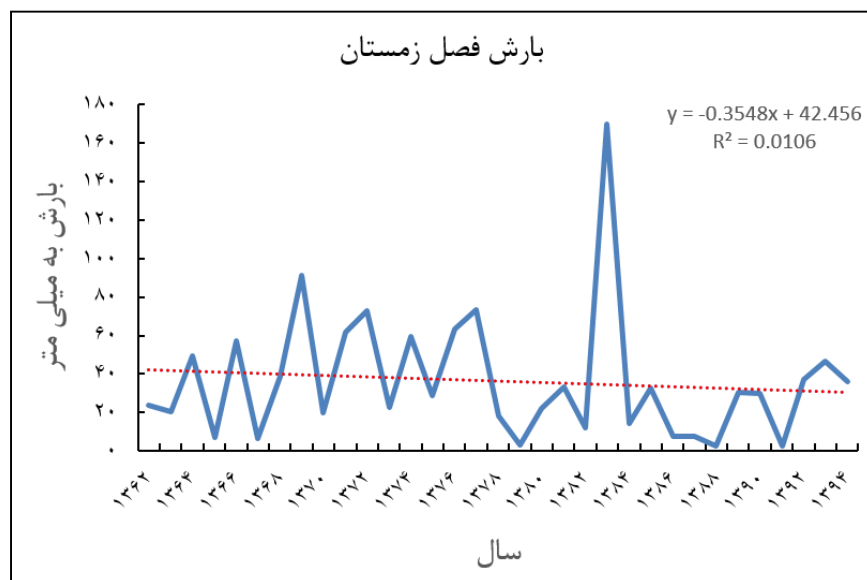
نتایج بررسی داده های بارندگی نشان داد که میانگین بلندمدت میزان بارش از سال ۱۳۶۲ تا پایان سال ۱۳۹۴ در این ایستگاه ۵۳/۵ میلی متر می باشد. همچنین میانگین بلندمدت بارش در فصل بهار ۹ میلی متر، تابستان صفر، پاییز ۸ میلی متر و فصل زمستان ۳۶/۴ میلی متر در این بازه می باشد. نمودار روند بررسی تغییرات بارش در فصول بهار، پاییز، زمستان و همچنین روند تغییرات سالیانه در شکل های (۲، ۳، ۴ و ۵) نشان داده شده است.



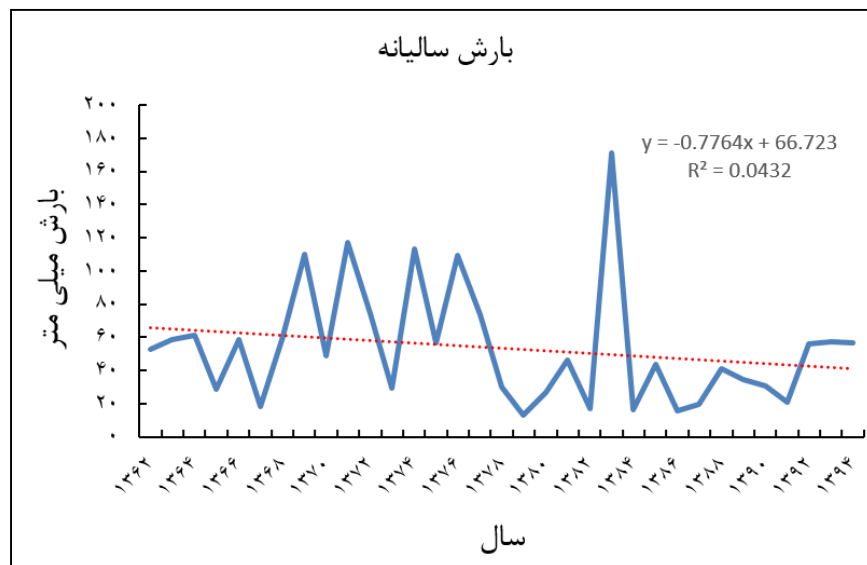
شکل ۲: روند تغییرات بارش فصل بهار.



شکل ۳: روند تغییرات بارش فصل پاییز.



شکل ۴: روند تغییرات بارش فصل زمستان.



شکل ۵: روند تغییرات بارش سالیانه.

شاخص خشک‌سالی برای فصل‌های بهار، پاییز و زمستان و همچنین شاخص خشکی سالیانه در جدول ۳ آورده شده است. شدیدترین شدت خشکی معادل ۱۰۰- برای شاخص PAI در فصل بهار در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۴ رخ داده و برای فصل پاییز در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۶۹، ۱۳۷۲، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ اتفاق افتاده است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص دامنه شدت خشکی که در جدول ۱ آمده نشان داد که شدت خشکی شدید و خیلی شدید در دوره مورد مطالعه (۱۳۶۲-۹۴) ۱۱ سال بوده است. بیشترین تداوم دوره خشک‌سالی مربوط به سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ بوده است.

جدول ۳: نتایج حاصل از بررسی شاخص خشکی PAI در دوره مورد مطالعه.

سال	PAI				سال	PAI			
	سالیانه	زمستان	پاییز	بهار		سالیانه	زمستان	پاییز	بهار
۱۳۶۲	-۷۵/۷	-۹۱/۲	-۳۱/۳	-۵۲/۲	۱۳۷۹	-۱/۷	-۳۵/۲	۱/۳	۱۳۲/۲
۱۳۶۳	-۴۹/۵	-۳۹	-۸۲/۵	-۶۲/۲	۱۳۸۰	۹/۲	-۴۴/۲	۳۶۷/۵	-۹۲/۲
۱۳۶۴	-۱۳/۸	-۹/۱	-۱۶/۳	-۳۰	۱۳۸۱	۱۴	۳۶	-۴۰	-۲۵/۶
۱۳۶۵	-۶۸	-۶۶/۲	-۵۵	-۸۶/۷	۱۳۸۲	۴۰/۸	-۸۰/۵	۰	۵۴/۴
۱۳۶۶	۲۲۰/۶	۳۶۶/۵	-۹۸/۸	-۸۲/۲	۱۳۸۳	۹/۹	۵۶/۶	-۱۰۰	-۸۰
۱۳۶۷	-۶۹/۵	-۶۰/۷	-۷۵	-۱۰۰	۱۳۸۴	-۶۵/۴	-۸۲/۴	-۹۲/۵	۲۷/۸
۱۳۶۸	-۱۷/۹	-۱۰/۷	۲۰	-۸۰	۱۳۸۵	۹/۵	۷/۱	۸۵	-۴۶/۷
۱۳۶۹	-۷۰/۷	-۷۸/۶	-۶۳/۸	-۶۲/۲	۱۳۸۶	۱۰۵/۲	۱۵۰/۸	-۱۰۰	۱۰۵/۶
۱۳۷۰	-۶۳	-۷۹/۱	۴۰	-۸۸/۹	۱۳۸۷	-۹/۲	-۴۵/۹	۳۵	۱۰۱/۱
۱۳۷۱	-۲۳/۶	-۹۲/۹	۸۷/۵	۱۵۸/۹	۱۳۸۸	۱۱۸/۷	۶۹/۸	۵۷/۵	۳۷۳/۳
۱۳۷۲	-۳۵/۵	-۱۶/۲	-۱۰۰	-۵۵/۶	۱۳۸۹	۸۳/۳	۱۰۰/۵	-۱۰۰	-۸۸/۹
۱۳۷۳	-۴۲/۲	-۱۸/۱	-۸۷/۵	-۹۸/۹	۱۳۹۰	-۴۵/۲	-۳۸/۵	-۵۸/۸	-۶۰
۱۳۷۴	-۶۱/۵	-۹۲/۳	۶۳/۸	-۴۷/۸	۱۳۹۱	۱۱۲/۳	۶۳/۲	۳۰۳/۸	۱۴۳/۳

سال	PAI				سال	PAI			
	بهار	پاییز	زمستان	سالانه		بهار	پاییز	زمستان	سالانه
۱۳۷۵	۲۰/۱	-۹۵	-۲۰/۳	۵/۶	۱۳۹۲	-۴۸/۹	۸۵	۱/۴	۵/۲
۱۳۷۶	۱۷۴/۴	۱۷۰	۷۳/۴	۱۰۴/۵	۱۳۹۳	-۶/۷	۶۸/۸	۲۸/۳	۷/۷
۱۳۷۷	-۹۷/۸	-۱۰۰	۱۰۱/۴	۳۷/۴	۱۳۹۴	۳۴/۴	۶/۳	-۱/۴	۵/۶
۱۳۷۸	-۱۰۰	۴۸/۸	-۵۰/۳	-۴۳/۹					

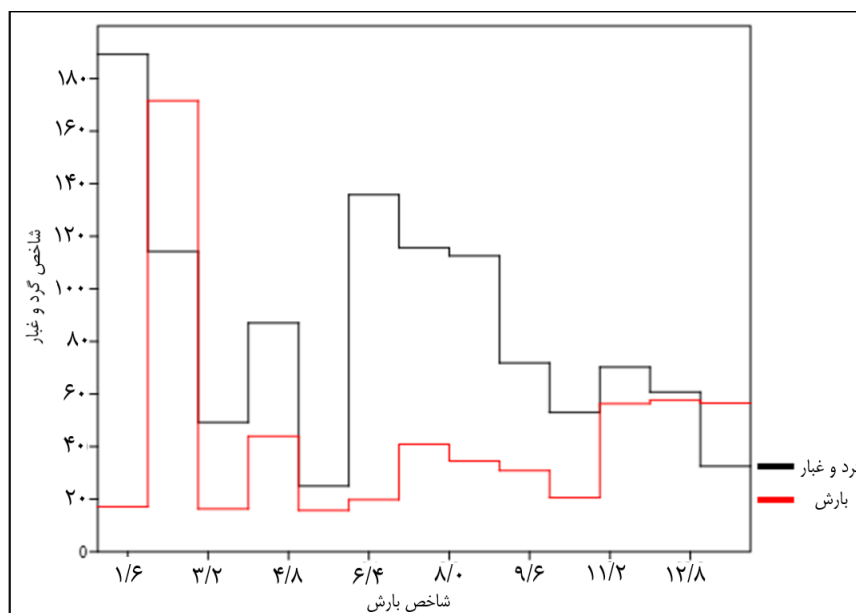
نتیجه بررسی دامنه شدت شاخص خشکی (جدول ۴) در فصول مختلف نشان داد که در فصول بهار و پاییز ۱۱ سال خشکی شدید و خیلی شدید در دوره مورد مطالعه رخ داده و در فصل زمستان ۷ سال دارای خشکی شدید و خیلی شدید رخ داده است. فراوانی خشکی رخ داده در ایستگاه سینوپتیک زابل که از رابطه (۲) محاسبه گردید نیز نشان داد که فراوانی خشکی برای فصل بهار ۳۳/۳ درصد، برای فصل پاییز ۳۳/۳ درصد و برای فصل زمستان ۲۱/۲ درصد و همچنین فراوانی خشکی برای طول دوره مورد مطالعه نیز (۹۴-۱۳۶۲) ۳۳/۳ درصد بوده است. بررسی داده‌های محاسبه شده از شاخص گردوغبار در بازه مربوطه نشان داد که بررسی شاخص گردوغبار بیانگر این است که تعداد روزهای با طوفان گردوغبار و خاک نسبتاً شدید از میانگین ۱۰ روز در سال در بازه سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۷ به میانگین ۵۴ روز در سال طی دوره ۶ ساله ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ و ۷۱ روز در بازه ۱۱ ساله ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ رسیده است. همچنین بیشترین مقدار شاخص سالیانه گردوغبار مربوط به سال‌های ۱۳۸۲ به مقدار ۱۸۹/۲ و برای سال ۱۳۸۷ به مقدار ۱۳۵/۸ بدست آمد.

جدول ۴: نتایج حاصل از بررسی دامنه شاخص خشکی PAI در دوره ۹۴-۱۳۶۲.

سال	شاخص خشکی					سال	شاخص خشکی				
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه		بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
۱۳۶۲	W	N	W	L	W	۱۳۷۹	M	N	M	VS	VS
۱۳۶۳	VS	N	W	L	W	۱۳۸۰	M	N	VS	L	VS
۱۳۶۴	L	N	L	W	W	۱۳۸۱	L	N	W	W	W
۱۳۶۵	W	N	W	VS	W	۱۳۸۲	VS	N	M	M	VS
۱۳۶۶	VS	N	VS	W	W	۱۳۸۳	VS	N	VS	W	W
۱۳۶۷	W	N	VS	VS	VS	۱۳۸۴	VS	N	S	M	VS
۱۳۶۸	L	N	W	W	W	۱۳۸۵	VS	N	W	W	L
۱۳۶۹	W	N	VS	W	W	۱۳۸۶	M	N	M	S	VS
۱۳۷۰	W	N	W	L	W	۱۳۸۷	VS	N	W	S	VS
۱۳۷۱	W	N	W	W	W	۱۳۸۸	W	N	W	VS	L
۱۳۷۲	VS	N	VS	W	W	۱۳۸۹	M	N	VS	L	M
۱۳۷۳	M	N	M	L	VS	۱۳۹۰	VS	N	VS	L	S
۱۳۷۴	W	N	W	W	W	۱۳۹۱	L	N	W	VS	VS
۱۳۷۵	W	N	VS	W	W	۱۳۹۲	L	N	W	W	W
۱۳۷۶	W	N	W	W	W	۱۳۹۳	L	N	W	W	W
۱۳۷۷	VS	N	VS	W	W	۱۳۹۴	W	N	W	W	W
۱۳۷۸	VS	N	W	M	S						

بدون خشکی (W)، کم (L)، متوسط (M)، شدید (S)، خیلی شدید (VS)، فاقد بارندگی (N)

اگرچه میزان شاخص گردوغبار در طول مدت مورد مطالعه در بعضی از سال‌ها افزایش یافته است، اما هیچ‌گونه ارتباطی بین تغییرات بارش و شاخص گردوغبار وجود ندارد. نتایج بررسی نشان داد که سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ دارای شاخص خشکی شدید و خیلی شدید بود، ولی شاخص گردوغبار محاسبه شده برای این سال‌ها به ترتیب برابر با ۱۸۹/۲، ۴۹/۲، ۲۵، ۱۳۵/۸، ۷۱/۸ و ۵۳ بوده است. بررسی ضریب همبستگی پیرسون نیز با ضریب همبستگی ۰/۰۷۷ نشان داد که هیچ‌گونه رابطه‌ای بین شاخص گردوغبار و بارش در این منطقه وجود ندارد. پلات دو شاخص بارش و گردوغبار در شکل ۶ نشان داده شده است. این پلات روند تغییرات دو شاخص را نسبت به یکدیگر در بازه زمانی مورد مطالعه به خوبی نشان می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی و مطالعه بارش به صورت ماهانه، فصلی و سالیانه در ایستگاه سینوپتیک شهرستان زابل در سطح ۹۵ درصد نشان داد که فاکتور بارش در طول دوره مورد مطالعه (۱۳۶۲-۹۴) دارای تغییراتی بوده است؛ اما این تغییر از نوع نوسانات کوتاه مدت کاهشی بوده و در هیچ‌یک از فصول بهار، پاییز و زمستان و حتی سالیانه این روند معنی‌دار نبوده است که می‌توان گفت از خصوصیات بارز اقلیمی مناطق خشک می‌باشد.



شکل ۶: پلات دو شاخص بارش و گردوغبار در بازه زمانی مورد مطالعه.

بررسی تداوم خشک‌سالی‌های سالیانه در جدول ۴ نشان می‌دهد بیشترین دوره با خشکی شدید و خیلی شدید در مدت مورد مطالعه سه سال می‌باشد که در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ اتفاق افتاده است و این در حالی می‌باشد که شدت خشکی در فصول بهار، پاییز و زمستان در همین بازه ۱۳۷۸-۸۰ حداکثر یک سال به شدت خشک بوده است. نتایج حاصل از بررسی شاخص گردوغبار بیانگر این است که تعداد روزهای با طوفان گردوغبار و خاک نسبتاً شدید از میانگین ۱۰ روز در سال در بازه سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۷ به میانگین ۵۴ روز در سال طی دوره ۶ ساله ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ و ۷۱ روز در بازه ۱۱ ساله ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ رسیده است. اگرچه میزان شاخص گردوغبار در طول مدت مورد مطالعه افزایش یافته است، اما نتیجه بررسی ضریب همبستگی بین دو شاخص گردوغبار و شاخص خشکی منطقه ($I=0/077$) در مدت مورد مطالعه نشان داد که هیچ‌گونه رابطه معنی‌داری بین این دو فاکتور وجود ندارد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در خصوص روزهای گردوغباری در منطقه مورد مطالعه فراوانی این روزها در مطالعات مختلف بین ۱۷۰ تا ۲۲۰ روز نیز گزارش گردیده است (خسروی، ۱۳۹۷). نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد که به طور مثال سال ۱۳۸۴ با خشکی خیلی شدید دارای ۲۴ روز گردوغباری بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر بوده، در حالی که سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ که به عنوان

سال‌های بدون خشکی نشان داده‌شده‌اند به ترتیب دارای ۳۹، ۳۲ و ۱۶ روز با طوفان گردوغبار بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌باشند. یا سال ۱۳۸۳ با شاخص گردوغباری بالای ۱۱۴ و ۶۴ روز دید کمتر از ۱۰۰۰ متر و همچنین ۷ روز دید کمتر از ۲۰۰ متر در سال شاخص خشکی نشان داد که هیچ‌گونه خشکی در این سال رخ نداده است. لذا می‌توان گفت که دلیل افزایش پدیده گردوغبار و خشک شدن تالاب بین‌المللی هامون ناشی از کاهش بارش در منطقه نبوده بلکه به واسطه خشک شدن تالاب بین‌المللی هامون می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش رابطه‌ی بین شاخص گردوغبار و میزان بارش مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که هیچ رابطه‌ی معناداری بین افزایش پدیده گردوغبار در منطقه سیستان و میزان بارش وجود ندارد و گر زدن مشکلات ناشی از افزایش پدیده‌های گردوغباری در منطقه سیستان به تغییرات اقلیمی و کاهش نزولات جوی نمی‌تواند عامل اصلی در بروز پدیده‌های گردوغبار در منطقه باشد. این نتایج با مطالعات رئیس پور و همکاران (۱۳۸۷) و خسروی (۱۳۸۹) که نشان دادند خشک شدن تالاب هامون بیشتر ناشی از خشک‌سالی هیدرولوژیک و قطع آب ورودی به تالاب بوده و پایداری فضایی-زمانی تالاب هامون وابستگی شدیدی به ورودی آب هیرمند به تالاب دارد، همخوانی داشت. از طرفی یکی از عوامل محدودکننده پوشش گیاهی آب می‌باشد که با بروز خشک‌سالی پوشش گیاهان طبیعی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و این کاهش پوشش گیاهی باعث افزایش طوفان‌های گردوغباری در مناطق مستعد و خشک خواهد داشت (Haghighi et al., 2018). همچنین خسروی (۱۳۹۷) نشان داد که با توجه به رشد جمعیت و انتقال آب از منابع چاه نیمه به زاهدان و مناطق شهری و روستایی دشت سیستان و مصرف بالای بخش کشاورزی امکان تغذیه دریاچه‌های هامون حتی در شرایط نرمال هم فراهم نیست و می‌توان گفت مصرف و تبخیر بالای آب و مدیریت ضعیف و غیر یکپارچه منابع آب باعث قطع حلقه زیست‌محیطی تالاب هامون و عمیق‌تر شدن بحران‌های زیست‌محیطی در این منطقه شده است که تأییدی بر این فرضیه است که تغییرات ناشی از گردوغبار (طوفان‌های گردوغباری) در منطقه سیستان هیچ‌گونه همبستگی با تغییرات میزان بارندگی ندارد و تشدید و تغییرات طوفان‌های گردوغباری در منطقه با تغییرات اقلیم بستگی نداشته و خشک شدن تالاب هامون که خود به‌عنوان منشأ برداشت گردوغبار در منطقه است به دلیل وابستگی شدید پایداری فضایی-زمانی تالاب هامون به ورودی آب هیرمند می‌باشد (خسروی، ۱۳۸۹).

قرار گرفتن تالاب بین‌المللی هامون در یکی از گرم و خشک‌ترین اقلیم‌های جهان با متوسط بارندگی ۵۹ میلی‌متر در سال که همراه با تبخیر شدید بالغ بر ۴۷۴۷ میلی‌متر در سال و عمق کم تالاب باعث از دست رفتن سریع آب می‌گردد. از طرفی وابسته بودن تالاب بین‌المللی هامون به رودخانه مرزی هیرمند که از کشور افغانستان سرچشمه می‌گیرد که در سال‌های اخیر به دلیل احداث سدها و بندهای انحرافی بر مسیر جریان آب میزان آب ورودی به تالاب کاهش چشمگیری داشته است. همچنین بر اساس بررسی‌های منابع کتابخانه‌ای می‌توان به این نکته مهم اشاره داشت که بیشتر از نصف تولید ناخالص افغانستان یعنی ۷۰ درصد مجموع محصولات این کشور را زراعت آبی تشکیل می‌دهد و از ۷/۷ میلیون هکتار مساحت اراضی قابل کشت در کشور افغانستان نزدیک به ۴۲ درصد آن به روش‌های مختلف آبیاری می‌گردد.

بر اساس مطالعات روت (۱۳۸۷) از مساحت ۳۳۲۸۰۰ هکتاری در بخش شبکه آبیاری رسمی در افغانستان که در ده حوزه اصلی قرار دارد بیشترین حوزه با مساحت ۱۰۳ هزار هکتار مربوط به حوزه هلمند-ارغنداب بوده است. شبکه (هلمند-ارغنداب) از جمله بزرگ‌ترین شبکه‌های آبی در افغانستان می‌باشد که در دهه ۵۰ و ۶۰ میلادی توسط نیروهای آمریکایی تهیه و پیش‌بینی گردیده است که این خود موجب کاهش بیشتر آب ورودی به تالاب بین‌المللی ایران خواهد شد و با توجه به کاهش ورودی آب به تالاب هامون و خشک شدن بستر تالاب هرساله جدای از میزان نزولات جوی روزهای طوفان گردوغبار رو به افزایش می‌باشد، چراکه بررسی‌های Maleki و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیانگر این واقعیت است که باوجود خشک‌سالی‌های شدید و طولانی رخ داده در منطقه سیستان اما مناطق بالادست حوضه هیرمند در داخل افغانستان تحت کشاورزی بوده و علل تنش آبی شدید رخ داده در تالاب هامون در بخش پایین این عامل بوده است. خشک شدن تالاب و کاهش آب موجود در آن باعث رها شدن

اراضی در مناطق روستایی، مهاجرت به شهرها و افزایش بیکاری و مشکلات عدیده اقتصادی برای ساکنین منطقه شده است (Maleki et al., 2019). به عبارتی سیاست‌های ناپایدار در استفاده از اراضی در منطقه بالادست حوضه و فعالیت‌های نادرست انسانی از عوامل عمده تنش‌های آبی به وجود آمده و خشک شدن تالاب در پایین‌دست حوضه و منطقه سیستان می‌باشد؛ که نتایج این پژوهش به‌خوبی نشان داد که در صورت پایداری و رعایت تعهدنامه‌های بین‌المللی مبنی بر رعایت حق‌آبه رودخانه هیرمند و برنامه‌ریزی برای مدیریت صحیح منابع آب می‌تواند بسیاری از معضلات و مشکلات این تالاب بین‌المللی را تا حدودی حل نماید و جلوی شدت بحران‌های زیست‌محیطی رخ داده را بگیرد.

نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که در دوره مورد مطالعه میزان بارش به‌صورت فصلی و سالیانه دارای روند کاهشی می‌باشد، ولی این روند از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین تغییرات روند گردوغبار در طی این مدت افزایشی بوده ولی رابطه معنی‌داری با تغییرات میزان بارش نداشت. این نتایج با مطالعات Abdollahi و همکاران (۲۰۱۸) و Behrooz و همکاران (۲۰۱۷) و Ebrahimi Khusfi و همکاران (۲۰۲۱) همخوانی داشت. آن‌ها نیز نشان دادند بیشترین فراوانی و شدت طوفان‌های گردوغباری در ماه‌های تابستان و بهار به دلیل وجود وزش شدید باد در این منطقه در این فصول سال به وقوع می‌پیوندد و میزان بارندگی فصلی در این مدت حداقل میزان خود را دارا می‌باشد. عامل اصلی افزایش طوفان‌های گردوغبار در سال‌های اخیر به دلیل خشک شدن تالاب هامون می‌باشد که منجر شده محل برداشت گردوغبار از بستر خشک این تالاب باشد. فراوانی وقوع رخداد‌های گردوغبار در یک منطقه به عوامل مختلفی از جمله سرعت باد، خاک بدون پوشش، هوای خشک، رطوبت خاک، خشک‌سالی‌های بلندمدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت‌های نامناسب انسانی بستگی دارد (Jahanbakhsh et al., 2014). نتایج مطالعات Rashki و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که تغییرات مؤلفه‌های باد، بارش، جریان رواناب و سطح پوشیده شده تالاب هامون نقش مؤثری در فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در منطقه سیستان دارد. بررسی داده‌های محاسبه‌شده از شاخص گردوغبار نشان داد که تعداد روزهای با طوفان گردوغبار و خاک نسبتاً شدید از میانگین ۱۰ روز در سال در بازه سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۷ به میانگین ۵۴ روز در سال طی دوره ۶ ساله ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ و ۷۱ روز در بازه ۱۱ ساله ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ رسیده است. همچنین بیشترین مقدار شاخص سالیانه گردوغبار مربوط به سال‌های ۱۳۸۲ به مقدار ۱۸۹/۲ به دست آمد که با نتایج میری (۱۳۹۹) که نشان داد سال ۱۳۸۲ دارای بالاترین مقدار شاخص روزهای گردوغباری بوده و شرایط غبارناکی شدیدی در این سال نسبت به سال‌های دیگر در منطقه حاکم بوده است، همخوانی دارد.

از جمله فعالیت‌های انسانی که در بالادست حوزه آبریز تالاب هامون صورت گرفته و موجب خشک شدن تالاب هامون گردیده است، می‌توان به احداث سد کجکی که از بزرگ‌ترین سدهای برق‌آبی در ولایت هلمند افغانستان با ظرفیت آبیگری ۲/۸ میلیارد مترمکعب می‌باشد اشاره نمود. همچنین با بهره‌برداری از بند کمال‌خان در فاصله تقریباً ۱۰۰ کیلومتری مرز سیستان با ظرفیت ۵۲ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴ می‌توان گفت حیات تالاب بین‌المللی هامون مورد تهدید جدی قرار گرفته است. این موارد از عمده‌ترین دلایل خشک شدن تالاب هامون و نابودی پوشش گیاهی این تالاب بین‌المللی که خود به‌عنوان منبع برداشت گردوغبار منطقه می‌باشد، به شمار می‌روند. این نتایج با یافته‌های Rashki و همکاران (۲۰۱۷) که خشک شدن دریاچه جازموریان را عامل اصلی گردوغبار منتقل‌شده به دریای عمان، جنوب شرقی عربستان و غرب پاکستان معرفی نمود، همخوانی دارد. با روند پیش‌رو و نیاز روزافزون جامعه انسانی به دلیل افزایش جمعیت به آب و برنامه‌های راهبردی دولت افغانستان در خصوص زیر کشت بردن اراضی کشاورزی این‌گونه به نظر می‌رسد که در آینده‌ای نه‌چندان دور تأمین آب شرب مرکز استان سیستان و بلوچستان با حدود یک میلیون تن جمعیت نیز با چالش اساسی روبرو خواهد شد و عمده توجه و دغدغه دولتمردان تأمین آب شرب این مرکز جمعیتی خواهد بود و تالاب بین‌المللی هامون عملاً دیگر وجود خارجی نخواهد داشت و خشک شدن بستر تالاب هامون و از بین رفتن پوشش گیاهی آن عامل اصلی بروز پدیده‌های گردوغباری خواهد بود که هر ساله بدتر از سال قبل زندگی ساکنین حوزه بزرگ سیستان را به خطر انداخته است، چراکه علیرغم بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته در خصوص خشک شدن و نابودی کامل تالاب هامون و به خطر افتادن امنیت حیاتی ساکنین این منطقه تاکنون اقدام مناسبی صورت نپذیرفته است. آنچه از این بررسی و سایر بررسی‌های صورت گرفته می‌توان استنباط نمود این است که باید در نظر داشت اگرچه نقش تغییرات اقلیمی را نمی‌توان نادیده گرفت، ولی به‌طور قطع می‌توان گفت که دخالت‌های انسانی در بحران‌های زیست‌محیطی

خصوصاً در مناطق با حوضه‌های آبریز مشترک از جمله‌ی معضلات بیشتر این جوامع خواهد بود. چراکه نوسانات اقلیمی همیشه در این منطقه جغرافیایی بوده و آنچه بر این تغییرات بیشتر اثر می‌گذارد دخالت‌های انسانی می‌باشد و گرچه نمی‌توان کاهش نزولات آسمانی را نادیده گرفت و نباید فراموش نمود که دشت سیستان و تالاب بین‌المللی هامون عمدتاً تحت تأثیر خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی بوده است و به‌تنهایی نمی‌توان گردوغبار این منطقه جغرافیایی را فقط به تغییر اقلیم گره زد و عواملی چون سرعت باد، حداکثر دمای هوا، رطوبت نسبی، بستر خشک‌شده تالاب هامون و فرکانس بادهای فرساینده که به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع روزهای گردوغباری در منطقه سیستان می‌باشد و در مطالعه Ebrahimi Khusfi و همکاران (۲۰۲۱) معرفی گردید را نادیده گرفت. همچنین پیشنهاد می‌گردد در خصوص تأثیر چرای دام‌های سبک و همچنین به زیر کشت بردن بخش‌هایی از تالاب توسط افراد بومی که در گذشته از منافع تالاب بهره‌مند بودند و امروزه به برنامه‌های قرق منطقه بی‌توجهی نموده و عاملی برای تخریب خاک خواهند بود، بررسی‌هایی صورت پذیرد.

منابع

- باقر پور، م.، سیدیان، س.، فتح‌آبادی، ا. و محمدی، ا. ۱۳۹۶. بررسی کارایی آزمون من کندال در شناسایی روند سری‌های دارای خودهمبستگی. مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۱۱ (۳۶): صفحات ۲۱-۱۱.
- روت، ب. ۱۳۸۷. چگونگی جریان آب: نوع شناسی سیستم‌های آبیاری در افغانستان. واحد تحقیق و ارزیابی افغانستان، سلسله نشریات موضوعی، صفحات ۸۰-۱.
- باهک، ب. ۱۳۹۲. بررسی احتمال تغییر اقلیم در استان کرمان با روش من-کندال (مطالعه موردی ایستگاه کرمان). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال دهم، ۳۹: صفحات ۷۲-۶۵.
- پیری، ح. و انصاری، ح. ۱۳۹۲. بررسی خشک‌سالی دشت سیستان و تأثیر آن بر تالاب بین‌المللی هامون. فصلنامه علمی پژوهشی تالاب، ۱۵: صفحات ۷۴-۶۳.
- سهیلی، ف. و ناجی، ح. ۱۳۹۶. مرگ تدریجی درختان بلوط زاگرس: عوامل، آسیب‌ها و راهکارها. فصلنامه استراتژی راهبردی جنگل، سال دوم، شماره ۵، صفحات ۳۵-۴۹.
- خسروی، م. ۱۳۹۷. آسیب‌پذیری، ارزیابی ریسک و تعدیل بحران آب و مخاطره طوفان‌های گردوغباری در یک اقلیم در حال تغییر مطالعه موردی (سیستان، ایران). دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحات ۱۹-۱.
- خسروی، م. ۱۳۸۹. تحلیل زمانی-مکانی پایداری دریاچه‌های هامون. تحقیقات منابع آب ایران، سال ششم، شماره ۳، صفحات ۷۹-۶۸.
- خسروی، م. ۱۳۸۷. تأثیرات محیطی اندرکنش نوسان‌های رودخانه هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۳، ۴: صفحات ۴۸-۱۹.
- رحیمی، د.، موحدی، س. و برقی، ح. ۱۳۸۸. بررسی شدت خشک‌سالی با شاخص نرمال بارش (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰، ۴: صفحات ۵۶-۴۳.
- رئیس پور، ک.، خسروی، م. و طاوسی، ت. ۱۳۸۷. تأثیر خشک‌سالی بر دریاچه هامون و افزایش طوفان‌های گردوخاک در منطقه سیستان. سومین همایش مقابله با سوانح طبیعی. دانشگاه تهران. صفحات ؟
- میر فردی، ا. ۱۳۹۵. بررسی رابطه پایگاه اقتصادی-اجتماعی و احساس مسئولیت اجتماعی با رفتار محیط زیستی (مورد مطالعه: ساکنان نورآباد ممسنی). فصلنامه آموزش محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۵ (۱): صفحات ۱۱۴-۱۰۱.
- میری، ع. ۱۳۹۹. تحلیل طوفان‌های گردوغبار سیستان با استفاده از شاخص‌های DDI و DSI و پارامترهای سرعت باد، دید افقی و غلظت PM10. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک. جلد بیست و هفتم، شماره اول، صفحات ۲۳-۱.
- معروف نژاد، ع. و قاسمی، ش. ۱۳۹۵. روند تغییرات دما با استفاده از روش من-کندال (مطالعه موردی چهار شهرستان استان چهارمحال و بختیاری). فصلنامه آمایش محیط، ۳۷: صفحات ۱۶۶-۱۴۹.
- عباس زاده، م. بنی فاطمه، ح. علیزاده اقدم، م. و علوی، ل. ۱۳۹۵. تأثیر مداخله‌ای نگرش مسئولانه زیست‌محیطی بر رابطه بین دل‌بستگی مکانی و رفتار مسئولانه زیست‌محیطی. جامعه‌شناسی کاربردی، سال ۲۷، ۶۲: صفحات ۸۰-۶۱.
- فرج زاده، م. ۱۳۸۴. خشک‌سالی: از مفهوم تا راهکار. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، صفحات ۱۲۰-۱.

فیضی، و.، فرج زاده، م. و نوروزی، ر.، ۱۳۸۹. مطالعه تغییر اقلیم در استان سیستان و بلوچستان به روش من-کندال. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جهان اسلام، صفحات ۱۲-۱.

ناصری، م. و احدی، م. ص.، ۱۳۹۵. ارزیابی سیاست‌های جمهوری اسلامی ایران در خصوص تغییر اقلیم. فصلنامه راهبرد اجتماعی فرهنگی، سال پنجم، شماره ۲۱، صفحات ۴۸-۲۱.

کریمی نظر، م.، مقدم نیا، ع.ر. و مساعدی، ا.، ۱۳۸۹. بررسی عوامل اقلیمی مؤثر بر وقوع خشک‌سالی (مطالعه موردی: منطقه زابل). مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، جلد هفتم، ۱: صفحات ۱۵۸-۱۴۵.

ذوالفقاری، ف. و کفایش، ع.، ۱۳۹۱. ارزیابی تغییرات سطح آبیگری و نزارهای تالاب بین‌المللی هامون با تکنیک سنجش‌ازدور. فصلنامه علوم و مهندسی محیط‌زیست، شماره ۵۳، صفحات ۶۸-۵۹.

Abdollahi, S., Karimi, A., Madadi, M., Ostad-Ali-Askari, K., Eslamian, S. and Singh, V.P., 2018. Lead concentration in dust fall in Zahedan, Sistan and Baluchistan Province, Iran. *Journal of Geography and Cartography*, <https://doi.org/10.24294/jgc.v1i2.601>.

Alsumaiei, A. A., 2020. Monitoring Hydrometeorological Droughts Using a Simplified Precipitation Index. *Climate*, Vol 8, n 19, pp.1-19. doi:10.3390/cli8020019.

Behrooz, R.D., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N. and Kaskaoutis, D., 2017. Analysis of the TSP, PM10 concentrations and water-soluble ionic species in airborne samples over Sistan, Iran during the summer dusty period. *Atmospheric Pollution Research*, 8: 403-417.

Dunlap, R. E., Kent, D. V. L., Mertig, G. A. and Jones, R. E., 2000. Measuring Endorsement of the New Environmental Paradigm: A Revised NEP Scale. *Journal of Social Issues*, 56(3): 425-442.

Ebrahimi Khusfi, Z., Nafarzadegan, A. R. and Dargahian, F., 2021. Predicting the number of dusty days around the desert wetlands in southeastern Iran using feature selection and machine learning techniques. *Ecological Indicators*, doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107499.

Fazeli, M., 2012. Sociology of environmental commitment. *Hamshahri Mahname*. 100: 15-28.

Feng, K., Su, X., Zhang, G., Javed, T. and Zhang, Z., 2020. Development of a new integrated hydrological drought index (SRGI) and its application in the Heihe River Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 141: 43-59. doi: 10.1007/s00704-020-03184-6

Gerivani, H., Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M. and Jalali, N., 2011. The source of dust storm in Iran: A case study based on geological information and rainfall data. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6 (1): 297-308.

Haghighi, S., Akhzari, D., Attaeian, B. and Bashir Gonbad, M., 2018. The effect of drought in the source area of dust storms on vegetation change (case study: eastern parts of Iran). *Environmental Resources Research*, Vol. 6, no. 2, pp. 195-200.

Hromadka, T. and Rao, P., 2016. Topics in Climate Modeling. Published by ExLi4EvA. <https://fa.wikipedia.org/wiki>; <https://www.mashreghnews.ir/news>

Jahanbakhsh, S., Zinale, B. and Asghare, S., 2014. Analysis and Clustering of Dust Storm. *Journal of Frequency in Iran by Fuzzy Clustering of urban ecology*, vol. 10, No. 2.

Kubiak-Wojcicka, K. and Bak, B., 2018. Monitoring of meteorological and hydrological droughts in the Vistula basin (Poland). *Environmental Monitoring and Assessment*, 190: 691. doi.org/10.1007/s10661-018-7058-8.

Maleki, S., Soltani Koupaie, S., Soffianian, A., Saatchi, S., Pourmanafi, S. and Rahdari, V., 2019. Human and Climate Effects on the Hamoun Wetlands. *Weather, Climate and Society Journal*, pp. 609- 622. DOI: <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-18-0070.1>

Nik, R. N. and Mohammad, N., 2012. A Discussion of Underlying Theories Explaining the Spillover of Environmentally Friendly Behavior Phenomenon". *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 50: 1061-1072.

Petrasovich, I., 1995. Drought in the Carpathians Basin- In: *Proceedings of the International ICID Workshop on Drought in the Carpathians Region* (Eds, Vermes, L., and Mihalny, A.), 3-5 May, Budapest-Alsogod, Pp. 7-14.

Rashki, A., Arjmand, M. and Kaskaoutis, D. G., 2017. Assessment of dust activity and dust-plume pathways over Jazmurian basin, southeast Iran. *Aeolian Research*, 24:145-60.

Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Francois, P., Kosmopoulos, P. G. and Legrand, M., 2015. Dust- storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16: 35-48.

Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. J. deW., Flamant, C. and Abdi Vishkaee, F., 2014. Spatial-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite Observations. *Natural Hazards*, 71: 563–585.

Rashki, A., Kaskaoutis, D., Goudie, A. and Kahn, R., 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, Southeastern Iran. *The Science of the total environment*, 463-464C. 552-564. 10.1016/j.scitotenv.2013.06.045.

Salehi, S., 2010. People and Environment: a study of environmental attitudes and behavior in Iran. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, P.264.

Zhao, C., Brissette, F., Chen, J. and Martel, J. L., 2020. Frequency change of future extreme summer meteorological and hydrological droughts over North America. *Journal of Hydrology*, 584:124316. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124316.