

پیش‌بینی آب‌گرفتگی محل خط انتقال گاز به زابل در محدوده تالاب هامون با استفاده از مدل‌های تغییر اقلیم و هیدروژئولوژی

رضا جهانشاهی^{۱*}، سپیده مالی^۲، محسن حمیدیان پور^۳

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۳- دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

* نویسنده مسئول: jahanshahireza@science.usb.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

چکیده

تالاب هامون به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین ایران است. این تالاب در جنوب‌شرقی ایران و در مجاورت شهرستان زابل قرار دارد. به‌دلیل افزایش بارندگی‌ها در افغانستان و شرق ایران در سال‌های اخیر، احتمال آب‌گرفتگی محل خط لوله انتقال گاز به زابل در بخشی از تالاب هیرمند وجود دارد. مقادیر بارش و دبی آب رودخانه‌های سیستان و هیرمند نشان می‌دهد، بیشترین سیلاب رودخانه‌ها و آب‌گرفتگی تالاب، در بازه زمانی بهمن تا اردیبهشت رخ می‌دهد. بررسی سیلاب هیدروگراف واقعی ماهانه رودخانه هیرمند نشان می‌دهد پیک این سیلاب، دوره بازگشت حدود ۱۳۰ ساله دارد. لذا این پژوهش به تعیین میزان احتمال آب‌گرفتگی در محدوده خط لوله، برآورد و پیش‌بینی سطح آب تالاب هامون بعد سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف با استفاده از مدل‌سازهای تغییر اقلیم و هیدروژئولوژی می‌پردازد. بر این اساس مبتنی بر ۵ مدل و دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه، مقادیر بارش و دما منطقه محاسبه شدند. نتایج پیش‌نمایی مدل‌های تغییر اقلیم در آینده نشان می‌دهد احتمال افزایش دما و کاهش بارش در منطقه سیستان وجود دارد. شبیه‌سازی سناریوی سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف در جهت شبیه‌سازی تغییرات سطح آب در تالاب هامون در حالت جریان ناپایدار، با استفاده از نرم‌افزار هک-راس انجام گردید و بیشینه عمق آب در هر نقطه مکانی در تالاب هامون محاسبه شد. شبیه‌سازی نشان داده است آب‌گرفتگی خط لوله گاز در محل‌های واقع در ۲۰، ۳۰، ۶۸، ۸۰ و ۱۰۴ کیلومتری از دوراهی دشتک و به‌خصوص در محل آبراهه (مسیل) شيله رخ خواهد داد و عمق آب بین ۱/۵ تا ۵ متر متغیر خواهد.

واژه‌های کلیدی: سیلاب، شبیه‌سازی، مدل هک راس، هیدروگراف.

مقدمه

هیرمند در کشور افغانستان بر وخامت امر افزوده است. از طرفی در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ به‌دلیل بارندگی‌های قابل توجه در افغانستان و شرق ایران سبب ورود حجم زیادی سیلاب به تالاب هامون شده است. بر این اساس آنچه اهمیت دارد، آگاهی از وضعیت اقلیمی و هیدروژئولوژیکی آینده منطقه است. امروزه به‌منظور دستیابی به این مهم مدل‌های گردش عمومی جو توسعه یافته‌اند و مبتنی بر این مدل‌ها و سناریوها موجود می‌توان شناختی از رفتار پارامترهای اقلیمی و درنهایت

تالاب هامون شامل هامون‌های پوزک، صابری و هیرمند به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه آب شیرین ایران و از تالاب‌های بااهمیت بالای بین‌المللی است. این تالاب در جنوب‌شرقی ایران و در استان سیستان و بلوچستان و در مجاورت شهرستان زابل قرار دارد. خشک‌سالی‌های رخ داده در دهه ۸۰ و ۹۰ شمسی باعث خشک شدن بخش‌های وسیعی و یا گاهاً تمامی تالاب شده است که البته احداث سد بر روی سرشاخه‌های رودخانه

Li et al. و Policelli et al. (2019)، Zhu et al. (2017) (2019) اشاره نمود.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

هامون فرونشست تکتونیکی کم‌عمقی است که به‌صورت دشتی هموار میان گسل‌های اصلی هریرود در غرب گسل چمن افغانستان در شرق قرار گرفته است و پایانه تجمع آب‌های هندوکش و شاخه‌های سرچشمه گرفته از ایران می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این دریاچه در دوره پلیوستوسن گسترش بیشتری داشته که دلیل عمده آن ذوب یخچال‌های رشته‌کوه‌های هندوکش بوده است (سیف و پورخسروانی، ۱۳۸۹). بخش پایین‌دست رودخانه هیرمند شامل هامون‌ها و مجموعه اطراف آن از دید زمین‌ساختی به نام باوک هیلمند یا هلمند معروف است. در اثر حرکات تکتونیکی و فعالیت کوهزایی آلپی (پاسادنین) اواخر ترشیاری و اوایل کواترنری فرورفتگی به‌وجود آمد که محل تخلیه بار جامد آب‌های جاری اطراف به‌ویژه رودخانه هیرمند گردید و در نهایت دشت نسبتاً مسطح سیستان (هامون‌ها و مجموعه اطراف آن) پدید آمده است. شیب این دشت از جنوب شرق در حوالی مرز افغانستان به‌طرف شمال غرب در نزدیکی هامون‌ها کاسته می‌شود (پور کرمانی و زمردیان ۱۳۶۷).

مجموعه تالاب‌های هامون در دشت سیستان شامل (۱) هیرمند در غرب و جنوب‌غربی، (۲) هامون صابری یا صابور در شمال غربی، (۳) هامون پوزک در شمال‌شرقی، (۴) شعبات فرعی متعدد که مهم‌ترین آن‌ها چنگ سرخ و برینجک مابین پوزک و صابری، است؛ که در مواقع پرآبی به هم می‌پیوندند و در یک تراز هم‌سطح مجموعه تالاب را تشکیل می‌دهند. مازاد آب هامون از طریق رودخانه شیل به سمت جنوب شرق هدایت‌شده و پس از طی مسافتی در گودال طبیعی بزرگی به نام گودزره در داخل افغانستان می‌ریزد. تالاب‌های هامون شامل پوزک، صابری و هیرمند به‌عنوان پهنه‌های آبی ناپایدار محسوب شده و از سالی به سال دیگر نوسانات شدیدی دارد. تغییرات آب‌های سطحی و پایداری هامون و گودزره از دوره ۱۹۷۲ الی ۲۰۰۴ با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور نشان داده است که در ۸۰ درصد موارد سطح دریاچه خشک و کم

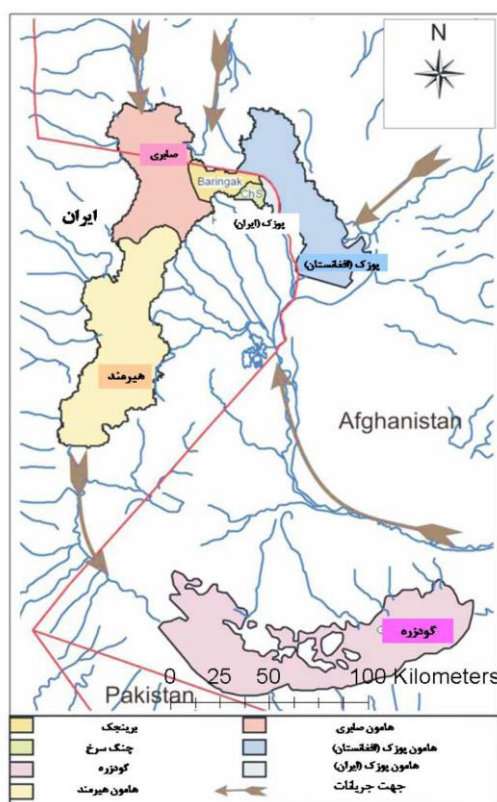
هیدرولوژیکی آینده به‌دست آورد (Safeeq and Fares, 2012)؛ بنابراین اگر شرایط تغییر اقلیم در این منطقه به‌سمت ترسالی میل کند احتمال داده می‌شود در طی سالیان آینده سیلاب‌های متعدد دیگری وارد تالاب شود و سطح آب در تالاب بالاآمده و قسمت‌هایی از دریاچه که سالیان سال خشک بوده است به زیر آب رود و سبب آسیب رسیدن به راه‌های مواصلاتی و تأسیسات موجود در تالاب گردد؛ بنابراین پیش‌بینی آب‌گرفتگی تأسیسات در محدوده تالاب‌های مشابه با هامون با استفاده از مدل‌سازهای تغییر اقلیم و هیدرولوژی می‌تواند در برنامه‌ریزی تعیین محل احداث جاده و تأسیسات بسیار کاربردی باشد. بر این اساس چنین نیازمندی در منطقه سیستان و تالاب هامون دیده می‌شود. در این منطقه جهت گازرسانی به شهر زابل قسمتی از طول مسیر خط انتقال گاز از ایستگاه لانچر دشتک در بخشی از تالاب هیرمند در نظر گرفته شده است (شکل ۱ الف)؛ بنابراین مطابق شکل ۱ الف احتمال آب‌گرفتگی این بخش از مسیر انتقال گاز وجود دارد. در صورت رخداد چنین اتفاقی، باید تمهیدات لازم توسط کارشناسان و شرکت‌های مربوطه در جلوگیری از تخریب لوله‌های گاز اتخاذ گردد. از این‌رو در تعیین میزان احتمال آب‌گرفتگی در محدوده خط لوله، مطالعه برآورد و پیش‌بینی سطح آب تالاب هامون بعد سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف لازم و ضروری است. مباحث مختلف مرتبط با هامون در دشت سیستان و کشور افغانستان از دیدگاه متفاوتی مورد توجه محققین بوده است که می‌توان به برنامه محیطی به‌وسیله (UNEP (2005)، ماکویی (۱۳۶۳)، پارس ویستا (۱۳۷۵)، خسروی (۱۳۸۷، ۱۳۸۹)، ضیاء توانا (۱۳۷۱)، تجربیشی و همکاران (۱۳۷۹)، تهران سحاب (۱۳۷۱)، Burger (2005) و Yazdandoost et al. (2006) اشاره کرد. علاوه بر آن در رابطه با اثر تغییر اقلیم بر رواناب و آب دریاچه پژوهشی‌هایی همانند محمدپور و همکاران (۱۳۹۹)، خزاعی فیض‌آباد و همکاران (۱۳۹۸)، آشفته و بزرگ حداد (۱۳۹۳)، پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۵)، ثانی خانی و همکاران (۱۳۹۲)، دلاور و همکاران (۱۳۹۳)، مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) و Persaud et al. (2020) و مطالعات شبیه‌سازی سطح آب تالاب و دریاچه‌ها می‌توان به برخی پژوهش‌ها همچون Coe and Birkett (2004)، Delclaux et al. (2008)، Lemoalle et al. (2012)

در فصول کم‌آب و پرمصرف، جهت تأمین آب شرب شهرهای زاهدان، زابل و سایر نواحی مسکونی سیستان و آب آبیاری بیش از ۴۵ هزار هکتار اراضی کشاورزی به منطقه ارائه می‌دهند (وزارت نیرو، ۱۳۹۰).

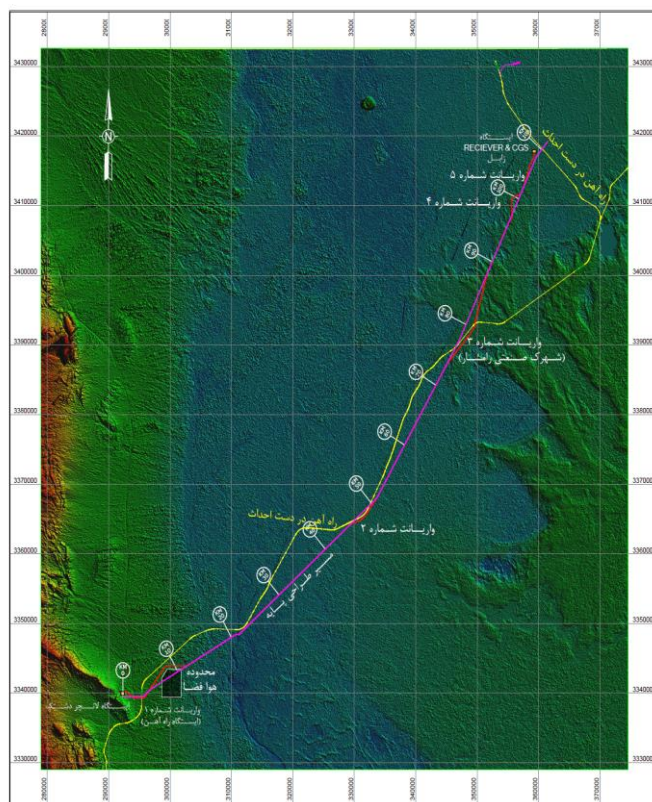
میانگین بارش سالانه در منطقه سیستان ۵۵ تا ۶۰ میلی‌متر (حدود یک‌پنجم میانگین بارش کشوری) می‌باشد. رژیم بارندگی استان، مدیترانه‌ای و متأثر از رژیم موسمی است (سازمان هواشناسی، ۱۳۹۴). بر اساس درصد میانگین ماهانه بارش‌های جوی در سیستان طی دوره ۴۴ ساله، بیشترین مقدار بارش در فصل زمستان انجام می‌شود که ۷۱ درصد بارش سالانه را شامل شده است. فصل بهار ۱۴/۶ درصد و فصل پاییز ۱۳ درصد بارش سالانه را به خود اختصاص می‌دهند. در این منطقه فصل تابستان تقریباً خشک و بدون باران می‌باشد. همچنین به‌طور متوسط حدود ۹۵/۸ درصد بارش سالانه در شش ماه آذر لغایت اردیبهشت نازل شده و پس‌از آن، یک دوره شش‌ماهه تقریباً خشک بر منطقه حاکم است (سردار شهرکی، ۱۳۹۵).

آب بوده است (خسروی، ۱۳۸۹). شکل ۱ (ب) موقعیت تالاب‌های هامون و جریانات ورودی را نشان می‌دهد.

در زمان پرآبی وسعت کل هامون‌ها ۵۶۶۰ کیلومترمربع می‌باشد که از این مقدار ۳۸۲۰ کیلومترمربع متعلق به ایران است. ظرفیت دریاچه هامون ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب است و برای حیات خود حداقل ۱۲۵۰ میلیون مترمکعب آب از رودخانه هیرمند نیاز دارد (سازمان محیط‌زیست، ۱۳۹۴). تالاب هامون از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۷۷ پرآب بوده و از سال ۱۳۷۸ به بعد کم‌کم خشک شده و در سال ۱۳۸۱ کاملاً خشک گردید. آب هامون پوزک که در مواقع پرآبی به هامون صابری سرریز می‌گردد و در این هنگام پهنه آب واحد را تشکیل می‌دهند. در ۴۰ کیلومتری جنوب‌شرقی زابل چهار گودال، موسوم به چاه‌نیمه وجود دارد. مخازن چاه‌نیمه در شرق سیستان در مناطق تپه‌ماهور ساحل چپ رودخانه هیرمند و در ارتفاع متوسط ۵۰۰ متر از سطح دریا واقع شده‌اند (سردار شهرکی، ۱۳۹۵). این گودال‌های طبیعی، آب‌های مازاد مصرف رودخانه هیرمند در فصول پرآب زمستان و بهار را جمع‌آوری نموده و



(ب)



(الف)

شکل ۱- (الف) مسیر خط انتقال گاز به شهر زابل از ایستگاه لانچر دشتک در تالاب هیرمند و (ب) موقعیت تالاب‌های هامون و جریانات ورودی به آن (خسروی، ۱۳۸۹).

مدل سازی تغییر اقلیم

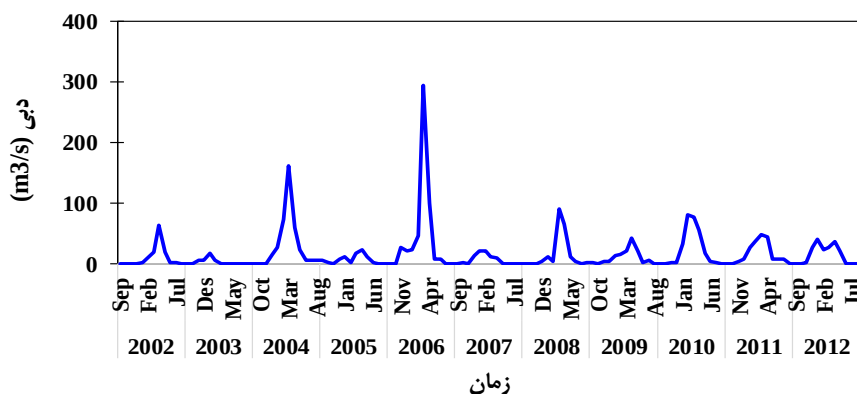
در این پژوهش از دو گروه داده های مشاهداتی و مدل به صورت روزانه استفاده شد که در هر دو گروه داده ها شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش خورشیدی می باشند. گروه اول شامل داده های مشاهداتی است که این داده ها در دوره زمانی ۲۰۱۰-۱۹۷۱ از سازمان هواشناسی کشور در ایستگاه زابل انتخاب گردید. علت انتخاب این ایستگاه طول دوره ی آماری طولانی و همچنین تکمیل بودن داده های آماری و مهم تر از همه قرار گرفتن در منطقه می باشد. برای شبیه سازی های آینده از داده های مدل سازی شده پروژه CMIP5 استفاده گردید. در این پژوهش از برونداد ۵ مدل گردش عمومی جو در دو سناریو حد نهایی خوش بینانه و بدبینانه (RCP4.5 و RCP8.5) استفاده شده است. در واقع مدل های گردش عمومی جو (GCMs) معمولاً به دودسته کلی بدبینانه و خوش بینانه تقسیم می شوند. در جدول ۱ خصوصیات مربوط به مدل های مورد استفاده و همچنین مؤسسات توسعه دهنده آن ها ذکر شده است. بر اساس گزارش هیئت بین المللی تغییر اقلیم (IPCC)، سناریوی RCP8.5 در برگیرنده بحرانی ترین وضعیت بوده و سناریوی RCP4.5 شرایط متوسط انتشار گازهای گلخانه ای را نشان می دهد (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵). برونداد مدل های گردش عمومی جو از قدرت تفکیک پایین برخوردار می باشند به منظور استفاده از برونداد آن در مطالعات محلی و هیدرولوژی باید اقدام به ریزمقیاس نمودن آن نمود. مدل مورد استفاده در این خصوص مدل LARS-WG6 می باشد (Safaeq and Fares, 1998; Safaeq and Fares, 2012). لازم به ذکر است که مدل LARS-WG6 مشتمل بر ۵ مدل است (جدول ۱). در جهت کمی سازی و کاهش عدم قطعیت مدل ها و دستیابی به یک اشتراک در نتایج پنج مدل اقلیمی در این مطالعه از مدل ترکیبی یا

Ensemble مدل ها با محاسبه متوسط آنها استفاده شده است. به طوری که بتوان پاسخ هر پنج مدل را در نظر گرفت. لذا ابتدا اعتبار مدل با مقایسه با داده های مشاهداتی در دوره تاریخی (۲۰۱۰-۱۹۷۱) مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از آن برونداد ریزگرانی شده مدل های برای آینده محاسبه گردید و به منظور کاهش عدم قطعیت از متوسط مدل ها استفاده شد.

مدل سازی تغییرات سطح آب تالاب

به منظور مدل سازی نحوه ورود آب رودخانه هیرمند و تغییرات سطح آب در تالاب هامون، نخست هیدروگراف واقعی ماهانه دبی رودخانه هیرمند (شکل ۲) از سپتامبر ۲۰۰۲ الی سپتامبر ۲۰۱۲ میلادی (معادل مهر ۱۳۸۱ الی مهر ۱۳۹۱ شمسی) مدنظر قرار گرفت. لازم به ذکر است به دلیل کامل و مناسب بودن داده ها طی مدت زمان ذکر شده، محرمانه بودن داده های دبی رودخانه در سالیان اخیر، برآورد سطح آب و محاسبه سیلاب های با دوره های بازگشت کوتاه مدت و بلندمدت بر اساس سری زمانی فوق الذکر انجام شده است. در این پژوهش جهت شبیه سازی از نرم افزار هک-راس^۱ استفاده شده است. هک-راس (سیستم تحلیل رودخانه انجمن مهندسين ارتش امريکا) نرم افزاری است که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک رودخانه در حالت جریان ماندگار و غیرماندگار یک بعدی، مدل سازی انتقال رسوب-بستر متحرک و تحلیل دمای آب را می دهد. در این پژوهش جهت نقشه رستر توپوگرافی (نقشه ی دم)، ۵۰ عکس ماهواره ای در محیط GIS وارد شد و در نهایت مدل رقومی ارتفاع ۷ با دقت کنترهای ارتفاعی ۱۲/۵ متر تهیه گردید. تصویر مربوطه وارد محیط نرم افزار شده و یک شبکه نودبندی به تعداد ۲۹۵ سلول با مساحت متوسط ۱۰۷/۵ کیلومتر مربع بروی نقشه ترسیم گردید. سپس داده های هیدوگراف های واقعی و مصنوعی در محل مرز ورودی در بخش شرایط مرزی، به مدل معرفی شدند.

^۱ HEC-RAS



شکل ۲- هیدروگراف دبی سیلاب واقعی ثبت شده در رودخانه هیرمند از سپتامبر ۲۰۰۲ الی سپتامبر ۲۰۱۲ میلادی (معادل مهر ۱۳۸۱ الی مهر ۱۳۹۱ شمسی).

جدول ۱- خصوصیات مدل های CMIP5.

ردیف	نام مدل	توسعه دهنده	دقت تفکیک (درجه)	طول	عرض
۱	EC-EARTH	EC-EARTH ^۲ (Europe)	۱/۱۲۵	۱/۱۲۵	۱/۱۲۱۵
۲	GFDL-CM3	NOAA ^۳ GFDL (USA)	۲/۵	۲/۵	۲
۳	HadGEM2-ES	MOHC ^۴ (UK)	۱/۸۷۵	۱/۸۷۵	۱/۲۵
۴	MIROC5	MIROC ^۵ (Japan)	۱/۴۰۶	۱/۴۰۶	۱/۴
۵	MPI-ESM-MR	MPI-M ^۶ (Germany)	۱/۸۵	۱/۸۵	۱/۸۷

نتایج و بحث

تغییر اقلیم

متوسط دمای ایستگاه زابل بر اساس دوره مبنا (۱۹۷۱-۲۰۱۰) برابر با ۲۲/۲۱ درجه سلسیوس است. بر مبنای پیش بینی مدل ترکیبی حاصل از مدل های گردش عمومی جو، میانگین دمای در این ایستگاه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به شرایط فعلی روند افزایشی دارد. البته وضعیت یادشده در سناریوی های مختلف RCP4.5 و RCP8.5 متفاوت است؛ به طوری که میانگین دما بر اساس سناریو خوش بینانه RCP4.5 حدود ۲۳/۸۴ و بر اساس سناریو بدبینانه RCP8.5 حدود ۲۳/۹۸ تغییر خواهد یافت. درواقع مبتنی بر نتایج ترکیبی این دو سناریو به ترتیب حدود ۱/۶۳ و ۱/۷۷ درجه سلسیوس احتمال افزایش دما وجود دارد.

در بین ماه های مختلف سال بیشترین مقادیر افزایش دما مربوط به ماه جولای بوده که در تمام مدل ها مقادیر آن نسبت

قبل از پرداختن به شبیه سازی داده های بارش و دما، ضروری است عملکرد مدل LARS-WG به منظور شبیه سازی پارامترهای مذکور ارزیابی گردد. شکل ۳ مقایسه بین داده های مشاهداتی و داده های تولیدشده توسط مدل در دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۱۰ می باشد. همان طور که ملاحظه می گردد مدل به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۵ و ۰/۸۸ بین داده های مشاهداتی و شبیه سازی برای دما و بارش به خوبی قادر به بازتولید داده های بارش و دما است؛ بنابراین مدل مذکور از عملکرد قابل قبولی جهت پیش بینی پارامترهای موردنظر در آینده برخوردار است.

² EC-EARTH consortium

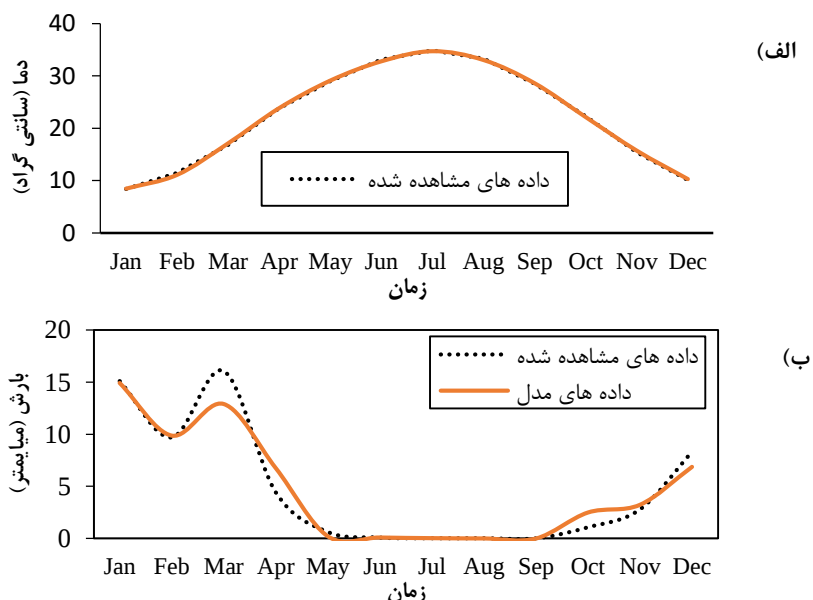
³ NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

⁴ Met Office Hadley Centre

⁵ Atmosphere and Ocean Research Institute

⁶ Max-Planck-Institut für Meteorologie

به دوره مشاهداتی تغییرات قابل توجهی داشته است. پس از جولای، ماه‌های آگوست و سپتامبر در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. مدل ترکیبی گویای این مهم است که در سناریوی RCP8.5 دما در فصول تابستان و پاییز افزایش چشمگیری نسبت به دوره پایه خواهد داشت (جدول ۲).



شکل ۳- مقایسه میانگین الف) دمای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و ب) بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاه زابل.

از دوره پایه کمتر است. بدین مفهوم که به دلیل گرمایش جهانی پیش رو بارش ایستگاه زابل کاهش می‌یابد. البته میزان کاهش بسیار اندک است. مجموع بارش سالانه ایستگاه زابل در دوره پایه حدود ۵۸/۲۳ میلی‌متر می‌باشد. مطابق جدول ۳ مجموع بارش سالانه در مدل Ensemble و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 مربوط به دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۴۰ به ترتیب ۳/۰۹ و ۳/۳۳ میلی‌متر

جدول ۲- مقایسه میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی دما (برحسب سانتی‌گراد) در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱) و آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) تحت دو سناریوی واداشت تابشی.

ماه	مدل ترکیبی RCP4.5	مدل ترکیبی RCP8.5	داده‌های مشاهداتی
Jan	۹/۶۲	۹/۷۶	۸/۳۲
Feb	۱۲/۲۰	۱۲/۶۴	۱۱/۴۵
Mar	۱۸/۲۸	۱۸/۶۹	۱۶/۸۶
Apr	۲۵/۳۶	۲۵/۵۲	۲۳/۸۷
May	۳۰/۹۴	۳۰/۹۵	۲۹/۰۱
Jun	۳۴/۷۹	۳۴/۷۹	۳۳/۰۹
Jul	۳۶/۸۳	۳۶/۹۳	۳۴/۸۳
Aug	۳۵/۰۲	۳۵/۱۶	۳۳/۱۰
Sep	۳۰/۴۱	۳۰/۵۱	۲۸/۴۹
Oct	۲۳/۹۳	۲۴/۰۰	۲۲/۱۸
Nov	۱۷/۱۴	۱۷/۲۰	۱۵/۳۲
Dec	۱۱/۵۹	۱۱/۶۱	۱۰/۰۳
سالانه	۲۳/۸۴	۲۳/۹۸	۲۲/۲۱
اختلاف دما با داده‌های مشاهداتی	۱/۶۳	۱/۸	

جدول ۳- مقایسه میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی بارش (برحسب میلی‌متر) در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱) و آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) تحت دو سناریوی واداشت تابشی.

ماه	مدل ترکیبی RCP4.5	مدل ترکیبی RCP8.5	داده‌های مشاهداتی
Jan	۱۳/۷۹	۱۳/۵۴	۱۵/۲۰
Feb	۱۰/۲۵	۹/۰۹	۹/۹۸
Mar	۱۲/۰۱	۱۱/۵۲	۱۵/۸۱
Apr	۶/۹۵	۶/۹۶	۴/۴۳
May	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۶۰
Jun	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷
Jul	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
Aug	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱
Sep	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Oct	۱/۵۵	۱/۵۲	۱/۸۰
Nov	۲/۷۷	۳/۱۷	۲/۰۴
Dec	۷/۳۳	۸/۶۰	۸/۳۱
سالانه	۵۵/۱۶	۵۴/۹۴	۵۸/۲۵
اختلاف دما با داده‌های مشاهداتی			۳/۳

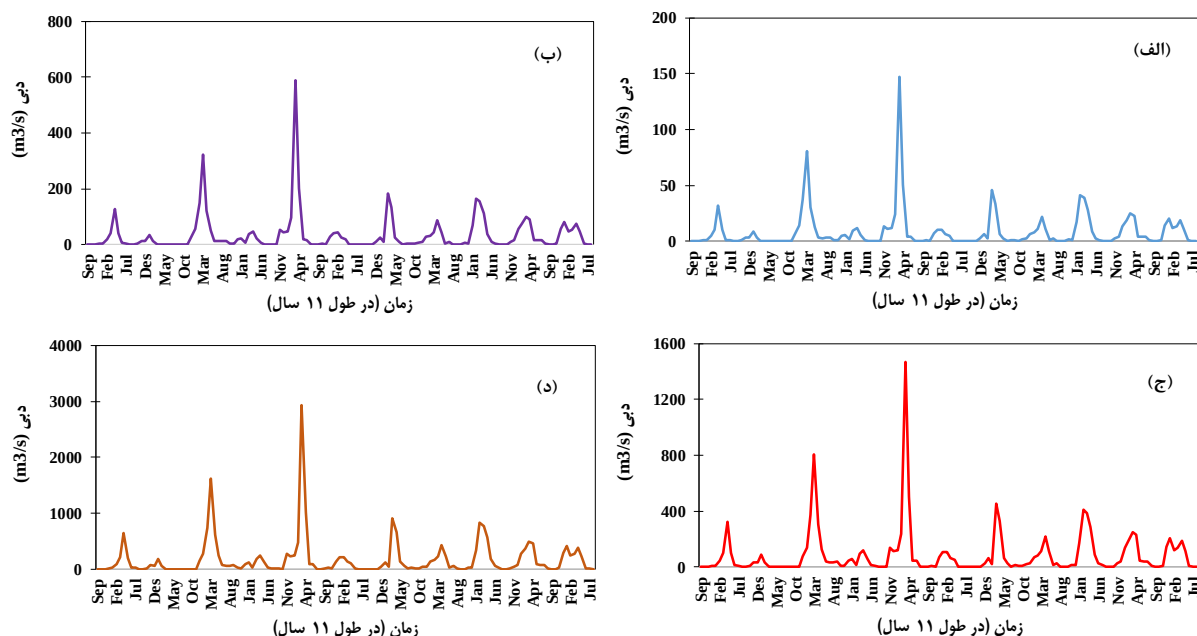
برآورد و پیش‌بینی سطح آب در تالاب هامون

۳۰ و ۶۵ ساله برای دوره کوتاه‌مدت (دوران خشک‌سالی) و

سیلاب‌های با دوره ۲۶۰ و ۶۵۰ ساله برای دوره بلندمدت (دوران ترسالی) انتخاب گردید و هیدروگراف مصنوعی آن‌ها ساخته شدند (شکل ۴).

بررسی سیلاب بین بازه زمانی سپتامبر ۲۰۰۲ الی سپتامبر

۲۰۱۲ میلادی نشان می‌دهد پیک (اوج) این سیلاب، دوره بازگشت حدود ۱۳۰ ساله دارد. لذا سیلاب‌های با دوره بازگشت



شکل ۴- هیدروگراف ساخته‌شده (مصنوعی) از دبی سیلاب در رودخانه هیرمند طی ۱۱ سال با دوره بازگشت الف) ۳۰ سال ب) ۶۵ سال ج) ۲۶۰ سال و د) ۶۵۰ سال برای دبی پیک.

همچنین به منظور شناسایی محل‌های آب‌گرفتگی خط لوله انتقال گاز در اثر سیلاب‌ها، عمق آب و ارتفاع سطح زمین، در مقطع مسیر مربوطه محاسبه و در شکل ۶ ترسیم شده است. در شکل ۶ الف دیده می‌شود در ۲۰ کیلومتری از دوراهی دشتک در محل آبراهه‌ی شيله در اثر سیلاب واقعی، عمق آب حدوداً به ۱/۵ متر رسیده است. همچنین در فاصله ۶۸ تا ۸۰ کیلومتری از طول مسیر لوله گاز از دوراهی دشتک نیز مناطقی دیده می‌شود که در اثر آب‌گرفتگی تالاب عمق آب تا ۲/۵ متر رسیده است. در فاصله ۱۰۴ متری نیز یک محل با پتانسیل در شناورسازی خط لوله وجود دارد. به‌طور کلی در ۳ محل سیلاب سال‌های بین ۲۰۰۲ لغایت ۲۰۱۲ مناطق پرخطر در لوله انتقال گاز ایجاد کرده است.

همان‌طور که پیش‌ازین گفته شد مدل تغییر اقلیم، پایداری شرایط کم آب و خشک‌سالی را برای آینده منطقه پیش‌بینی کرده است و با در نظر گرفتن این خشک‌سالی و برآورد سیلابی با مقدار نصف و یک‌چهارم مقدار پیک سیلاب واقعی، شبیه‌سازی حداکثر عمق آب تالاب حاصل از سیلاب با دوره ۳۰ و ۶۵ ساله نشان می‌دهد (شکل ۶ ب و ج) در طول مسیر لوله انتقال گاز در فاصله ۶۸ تا ۸۰ کیلومتری از دوراهی دشتک مناطقی وجود دارند که پتانسیل در شناورسازی لوله را ایجاد خواهند کرد.

شبیه‌سازی تغییر اقلیم در این پژوهش بر اساس داده‌های بارش و دمای منطقه سیستان، نشان داد در این منطقه احتمال رخ داد با سیلاب با دوره طولانی‌مدت، کم است؛ اما باید به این موضوع توجه کرد که به دلیل عدم آگاهی از داده‌های بارش و دما در سرمنشأ رودخانه هیرمند در کشور افغانستان و همچنین تصمیم‌گیری افغان‌ها در باز یا بسته بودن دریچه‌های سد کجکی، ورود سیلاب‌های ناگهانی از طرف افغانستان به تالاب هامون قابل پیش‌بینی نیست؛ بنابراین باید احتمال رخ داد سیلاب با دوره بازگشت طولانی‌مدت را نیز مدنظر قرار داد. لذا با ساخت هیدروگراف مصنوعی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۶۰ و ۶۵۰ ساله و وارد کردن آن‌ها به مدل، مناطق آب‌گرفته و عمق آب در مسیر لوله انتقال آب تعیین شده است. مطابق با شکل ۶ د دیده می‌شود در سیلاب با دوره بازگشت ۲۶۰ ساله، مشابه با سیلاب واقعی، در فاصله ۲۰ کیلومتری و ۶۸ تا ۸۰ کیلومتری مناطق مستعد در آسیب‌رسانی به لوله گاز

شبیه‌سازی جریان در حالت ناپایدار و دوبعدی با تعدادی فرض در شرایط مرزی در نظر گرفته شده است:

۱- از آنجایی که تالاب هامون یک حوزه بسته است، در شرایط مرزی، مرز خروجی آب در نظر گرفته نشده است.

۲- هرچند میزان تبخیر از آب رودخانه و تالاب بسیار بالاست، در این مدل‌سازی فرض شده است در حین ورود آب به تالاب، بخشی از آب از طریق تبخیر خارج نمی‌شود و کلیه حجم آب ورودی در تالاب جمع می‌گردد.

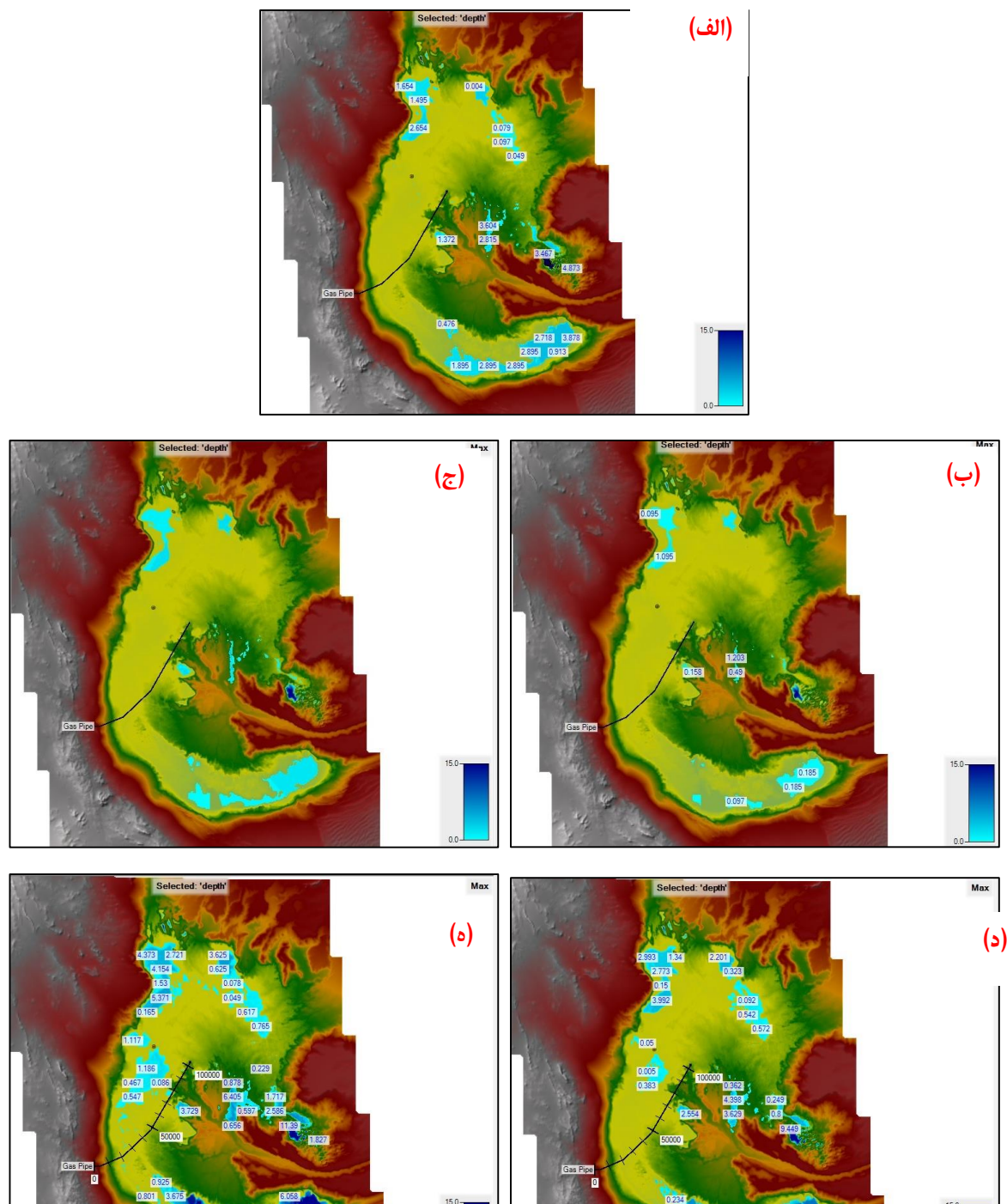
۳- هرچند که مدل تغییر اقلیم منطقه نشان داد در آینده احتمال کاهش بارش و افزایش دما وجود دارد؛ اما در مدل فرض شده است سیلاب‌های ترسالی (با دوره بازگشت بیش از سیلاب ثبت‌شده) رخ خواهد داد و سناریوی آن تعریف گردید.

۴- فرض شده است جنس مواد تشکیل‌دهنده کف تالاب از نظر مکانی و زمانی همگن هستند و لذا در مدل ضرایب هیدرودینامیکی یکسانی برای همه بخش‌های تالاب در نظر گرفته شده است.

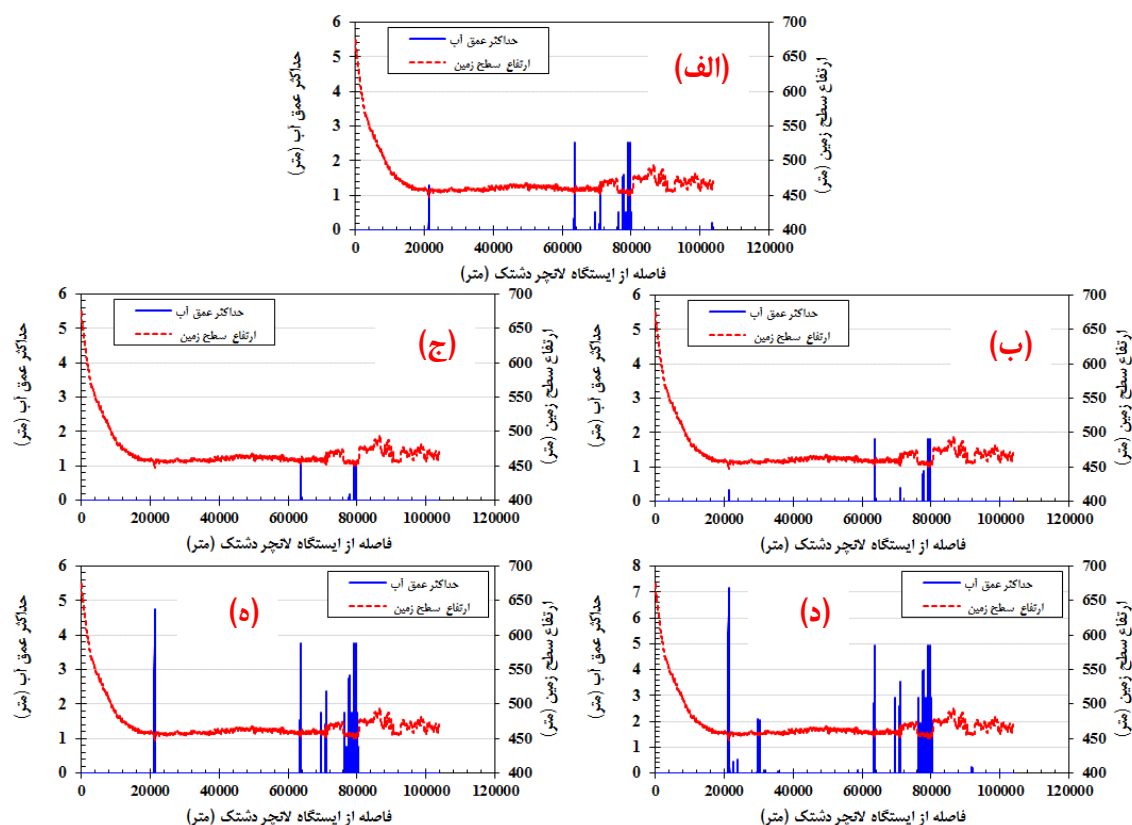
۵- به دلیل عدم وجود داده دبی برای دیگر آبراهه‌های منتهی به تالاب، فرض شده است که آب فقط از رودخانه هیرمند وارد تالاب می‌شود.

بعد اتمام آماده‌سازی مدل، شبیه‌سازی سناریوهای ورود سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف انجام گردید و پهنه‌بندی سیلاب به‌عنوان حداکثر عمق آب در هر نقطه مکانی در تالاب هامون محاسبه و به‌صورت نقشه تهیه گردید که در شکل ۵ نشان داده شده است. شبیه‌سازی نشان می‌دهد عمق دریاچه در قسمت شمالی یعنی هامون صابری و پوزک بیشتر از بقیه قسمت‌ها است. در واقع هامون صابری چاله اصلی می‌باشد که با بالا آمدن آب آن، دو هامون پوزک و هیرمند نیز به آن می‌پیوندند. پس از آنکه دو هامون مذکور تحت اشغال آب درمی‌آید و به‌ویژه هنگامی سطح آب هامون هیرمند به قدری بالا بیاید که حداقل از ۴۷۵ متر نسبت به سطح دریا‌های آزاد متجاوز گردد، آب دریاچه در بخش جنوبی سرریز نموده و از طریق رودخانه یا مسیل شيله به هامون گودزره در خاک افغانستان تخلیه می‌شود. به این ترتیب آبراهه مذکور مازاد آب هامون را به باتلاق گودزره سوق می‌دهد و در نتیجه این امر، گودزره نیز دریاچه‌ای به طول ۴۰ و عرض ۸ کیلومتر خواهد بود.

شناسایی شده است. عمق آب در این محل‌ها بین ۴ تا ۵ متر
متغیر خواهد بود. در نهایت سیلاب با دوره بازگشت ۶۵۰ ساله
نیز نشان می‌دهد (شکل ۶ ه) علاوه بر فواصل قبلی، در ۳۰



شکل ۵- شبیه‌سازی حداکثر عمق سطح آب در تالاب هامون بر اساس الف) هیدروگراف سیلاب واقعی ثبت‌شده در رودخانه هیرمند (مهر ۱۳۸۱ الی مهر ۱۳۹۱ شمسی)، ب) هیدروگراف مصنوعی سیلاب با دوره بازگشت ۳۰ ساله، ج) هیدروگراف مصنوعی سیلاب با دوره بازگشت ۶۵ ساله، د) هیدروگراف مصنوعی سیلاب با دوره بازگشت ۲۶۰ ساله و ه) هیدروگراف مصنوعی سیلاب با دوره بازگشت ۶۵۰ ساله در طی ۱۱ سال



شکل ۶- حداکثر عمق سطح آب و ارتفاع سطح زمین در طول مسیر لوله خط گاز از ایستگاه لانچر دشتک به سمت زابل، در بخش هیرمند تالاب هامون، بر اساس الف) هیدروگراف سیلاب واقعی ثبت شده در رودخانه هیرمند (مهر ۱۳۸۱ الی مهر ۱۳۹۱ شمسی)، ب) هیدروگراف مصنوعی سیلاب با دوره بازگشت ۳۰ ساله، ج) هیدروگراف مصنوعی سیلاب با دوره بازگشت ۶۵ ساله، د) هیدروگراف مصنوعی سیلاب با دوره بازگشت ۲۶۰ ساله و ه) هیدروگراف مصنوعی سیلاب دوره بازگشت ۶۵۰ ساله در طی ۱۱ سال.

نتیجه گیری

سد کجکی، ورود سیلاب های ناگهانی از طرف افغانستان به تالاب هامون قابل پیش بینی نیست؛ بنابراین باید احتمال رخ داد سیلاب با دوره بازگشت طولانی مدت را مدنظر قرار داد. شبیه سازی نشان می دهد عمق دریاچه در قسمت شمالی یعنی هامون صابری و پوزک بیشتر از بقیه قسمت ها است. درواقع هامون صابری چاله اصلی می باشد که با بالا آمدن آب آن، دوهامون پوزک و هیرمند نیز به آن می پیوندند. پس از آنکه دو هامون مذکور تحت اشغال آب درمی آید و به ویژه هنگامی سطح آب هامون هیرمند به قدری بالا بیاید که حداقل از ۴۷۵ متر نسبت به سطح دریاهای آزاد متجاوز گردد، آب دریاچه در بخش جنوبی سرریز نموده و از طریق رودخانه یا مسیل شیشه به هامون گودزره در خاک افغانستان تخلیه می شود. به این ترتیب آبراهه مذکور مازاد آب هامون را به باتلاق گودزره سوق می دهد و در نتیجه این امر، گودزره نیز دریاچه ای به طول ۴۰ و عرض ۸ کیلومتر خواهد بود. در ادامه شبیه سازی از سیلاب واقعی و سیلاب های مصنوعی با دوره بازگشت مختلف

بررسی مقادیر بارش، دبی آب رودخانه های سیستان و هیرمند و شبیه سازی تغییرات سطح آب تالاب هامون نشان می دهد، سیلاب رودخانه ها و آب گرفتگی تالاب، سالانه در بازه زمانی بهمن تا اردیبهشت بیشترین مقدار خواهد بود؛ بنابراین جهت سهولت دسترسی به خط لوله و سرویس دهی توسط عوامل بهره برداری و تعمیرات بر روی خط باید به ماه سال دقت کرد و مناسب است حتی الامکان در محدوده ای زمانی فوق الذکر نباشد.

شبیه سازی تغییر اقلیم در این پژوهش بر اساس داده های بارش و دمای منطقه سیستان، نشان داد در این منطقه احتمال رخ داد با سیلاب با دوره طولانی مدت کم است؛ اما باید به این موضوع توجه کرد که به دلیل عدم آگاهی از داده های بارش و دما در سرمنشأ رودخانه هیرمند در کشور افغانستان و همچنین تصمیم گیری افغان ها در باز یا بسته بودن دریاچه های

اقلیم بر رواناب رودخانه و ارائه راهکارهای سازگاری با اثرات آن (مطالعه موردی: حوضه آبریز توپسرکان همدان). نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۱۱(۳۷): ۱-۱۲.

تجربشی، م.، ابریشم‌چی، ا.، تفرج نوروز، ع.، طاهری، ح.، ۱۳۷۹. شبیه‌سازی تغییرات تراز آب دریاچه هامون. مجموعه مقالات مجله دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، ۲۹-۱۹.

تهران سحاب، ۱۳۷۱. بهره‌برداری بهینه از آب هیرمند، جلد دوم، هیدروژئولوژی رودخانه سیستان. طرح پژوهشی سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان.

ثانی خانی، ه.، دین‌پژوه، ی.، پور یوسف، س.، زمانزاد قویدل، س.، صولتی، ب.، ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی‌چای در استان آذربایجان). نشریه آب‌وخاک، ۲۷(۶): ۱۲۳۴-۱۲۲۵.

حمیدیان پور، م.، باعقیده، م.، عباس نیا، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱): ۱۰۷-۱۲۳.

خزاعی فیض‌آباد، ا.، پودینه، م.، حمیدیان پور، م.، ۱۳۹۸. بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه کارواندر. جغرافیا، ۱۷(۶۳): ۴۰-۵۹.

خسروی، م.، ۱۳۸۷. تأثیرات محیطی اندرکنش نوسان‌های رودخانه هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۲: ۴۸-۱۹.

خسروی، م.، ۱۳۸۹. تحلیل زمانی-مکانی پایدار دریاچه‌های هامون، تحقیقات منابع آب ایران، ۶(۳): ۶۸-۷۹.

دلور، مجید، بابایی، ا.، فتاحی، ا.، ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۵(۱۹): ۶۵-۵۳.

نشان می‌دهد در محل‌های واقع در ۲۰، ۳۰، ۶۸، ۸۰ و ۱۰۴ کیلومتری از دوراهی دشتک و بخصوص در محل آبراهی (مسیل) شيله به تمهیدات لازم در جلوگیری از تخریب و آب‌گرفتگی لوله گاز نیازمند است. شبیه‌سازی نشان داده است عمق آب بین ۱/۵ تا ۵ متر متغیر خواهد بود و این بار هیدرولیکی توانایی صدمه زدن به لوله انتقال گاز را خواهد داشت؛ بنابراین محل‌ها فوق‌الذکر، به تمهیدات مهندسی لازم در جلوگیری از شناورسازی لوله گاز و خوردگی نیازمند هستند.

درنهایت باید گفت در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ به دلیل بارندگی‌های قابل‌توجه در افغانستان و شرق ایران سبب ورود حجم زیادی سیلاب به تالاب هامون شده است. ولی متأسفانه در حال حاضر به دلیل محرمانه بودن داده‌ها، دبی سیلاب در دسترس نبود و لذا پیشنهاد می‌شود در صورت دسترس بودن داده‌های این سیلاب بزرگ، دوره برگشت پیک آن تعیین شود و مدل‌سازی با داده‌های جدید انجام گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق از حمایت مالی و معنوی شرکت دانیال پترو و شرکت ملی گاز ایران بهره‌مند شده است. بدین‌وسیله از همکاری مسئولین محترم قردرانی می‌گردد.

منابع

آشفته، پ. س.، بزرگ حداد، ا.، ۱۳۹۳. ارزیابی تقابلات بین نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری بر رواناب. نشریه تحقیقات آب‌وخاک ایران، ۱۱(۴۵): ۱۱۲-۱۰۳.

پارس ویستا، ۱۳۷۵. مطالعات زیست‌محیطی استان سیستان و بلوچستان، کتاب اول: بررسی و بهره‌برداری از دریاچه هامون مرحله دوم. طرح پژوهشی اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان سیستان و بلوچستان.

پورکرمانی، م.، زمردیان، م.، ج.، ۱۳۶۷. بحثی پیرامون ژئومورفولوژی استان سیستان و بلوچستان، ویژه‌نامه آب‌وخاک زابل. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۰: ۸۱-۱۰۰.

پورمحمدی، س.، دستورانی، م.ت.، مساح بوانی، ع.، گودرزی، م.، جعفری، ه.، رحیمیان، م.ج.، ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر

- change in the Lake Chad basin, Africa. In: XIIIth World Water Congress. In proceedings of the 13th World Water Congress, Montpellier, France, 1-4 September.
- Lemoalle, J., Bader, J.-C., Leblanc, M., Sedick, A., 2012. Recent changes in Lake Chad: Observations, simulations and management options (1973-2011). *Glob. Planet. Change*, 80: 247-254.
- Li, Y., Zhang, Q., Cai, Y., Tan, Z., Wu, H., Liu, X., Yao, J., 2019. Hydrodynamic investigation of surface hydrological connectivity and its effects on the water quality of seasonal lakes: Insights from a complex floodplain setting (Poyang Lake, China). *Science of the Total Environment*, 660: 245-259
- Persaud, E., Levison, J., Mac Ritchie, S., Berg, S. J., Erler, A. R., Parker, B., Sudicky, E., 2020. Integrated modelling to assess climate change impacts on groundwater and surface water in the Great Lakes Basin using diverse climate forcing. *Journal of Hydrology*, 584: 124682
- Policelli, F., Hubbard, A., Jung, H.C., Zaitchik, B., Ichoku, C., 2019. A predictive model for Lake Chad total surface water area using remotely sensed and modeled hydrological and meteorological parameters and multivariate regression analysis. *Journal of Hydrology*, 568: 1071-1080
- Safeeq, M., Fares, A. 2012. Hydrologic response of a Hawaiian watershed to future climate change scenarios. *Hydrological processes*, 26(18): 2745-2764.
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., Richardson, C.W., 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates. *Climate Research*, 10: 95-107.
- Semenov, M.A. 2008. Ability of a stochastic weather generator to reproduce extreme weather events, *Climate Research*, 35:203-212
- UNEP., 2005. History of Environmental Change in the Sistan Basin, UNEP Post-Conflict Branch Geneva, United Nations Environment Program Report.
- Yazdandoost, F., Bozorgy, B., Beek, E., 2006. Integrated Water Resources Management for the Sistan Closed Inland Delta, Iran. 15th Congress of APD-IAHR, Madras, India CMIP5 Models and Grid Resolution. 2018.
- Zhu, W., Yan, J., Jia, S., 2017. Monitoring Recent Fluctuations of the Southern Pool of Lake Chad Using Multiple Remote Sensing Data: Implications for Water Balance Analysis. *Remote Sens*, 9: 1032.
- زندى فر، س.، فيجانی، ا.، نعیمی، م.، خسروشاهی، م.، ۱۳۹۸. تغییرات زمانی و مکانی شاخص خشک‌سالی آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوزه آبریز زهره-جراحی. *مجله هیدروژئولوژی*، ۴(۲): ۱۰۸-۱۳۰.
- سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۴. مطالعه احیاء بخش‌هایی از تالاب بین‌المللی هامون (گودی‌های طبیعی)، معاونت محیط‌زیست طبیعی، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون.
- سردار شهرکی، ع.، ۱۳۹۵. تخصیص بهینه منابع آب حوزه هیرمند با کاربرد تئوری بازی و ارزیابی سناریوهای مدیریتی. رساله دکتری اقتصاد کشاورزی-اقتصاد منابع طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- سیف، ع.، پور خسروانی، م.، ۱۳۸۹. تحلیل قلمروهای ژئومورفیک حوزه هامون با استفاده از تکنیک GIS. *مجله کاربرد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی فصلنامه*، ۱۱(۲): ۷۳-۸۴.
- محمدپور، م.، زینال زاده، ک.، رضوردی نژاد، و.، حصاری، ب.، ۱۳۹۹. بررسی نوسانات آب زیرزمینی تحت‌تأثیر تغییر اقلیم و بهبود روش آبیاری (مطالعه موردی: دشت اهر). *مجله هیدروژئولوژی*، ۲(۲): ۹۹-۱۱۲.
- مساح بوانی، ع.، مرید، س.، ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان. *نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۹(۴): ۱۷-۲۸.
- وزارت نیرو، ۱۳۹۰. گزارش برنامه‌ریزی منابع آب رودخانه و مخازن چاه نیمه‌های سیستان، جلد دوم، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، زابل.
- Burger, A., 2005. Calibration of a precipitation runoff model for the Hirmand River in Afghanistan and Iran using remote sensing data. Delft University of technology. Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Department of Water Management, M.S Thesis
- Coe, M.T., Birkett, C.M., 2004. Calculation of river discharge and prediction of lake height from satellite radar altimetry: Example for the Lake Chad basin. *Water Resour. Res.* 40(10): W10205.
- Delclaux, F., Le Coz, M., Coe, M., Favreau, G., Ngounou Gatcha, B., 2008. Confronting models with observations for evaluating hydrological