

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان محیط زیستی رودخانه با استفاده از شاخص -

های هیدرولوژیکی - مطالعه موردی رودخانه کردان

ریحانه مرید^۱، مجید دلاور^۲، سهیل ایگدری^{۳*}

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران - واحد علوم و تحقیقات.

۲. استادیار گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳. دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۲۴)

چکیده

کشور ما با توجه به قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی پایین از اثرات ناشی از پدیده تغییر اقلیم مصون نبوده و بیشترین تبعات منفی این پدیده را متحمل خواهد شد. از این رو لازم است که تاثیر این پدیده به‌ویژه در پیکره‌های آبی کشور به‌عنوان آسیب‌پذیرترین بخش، از جنبه‌های مختلف محیط زیستی مورد ارزیابی قرار گیرد. هدف اصلی در این مطالعه بررسی اثر پدیده تغییر اقلیم بر روی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی یکی از سیستم‌های آبی جنوب البرز یعنی رودخانه کردان و ارزیابی اثرات محیط زیستی آن می‌باشد. بدین منظور ابتدا چشم انداز تغییرات متغیرهای اقلیمی در منطقه با استفاده از خروجی‌های مدل عمومی جو HadCM3 و سناریوهای انتشار A2 و B1 استخراج شد و سپس به منظور بررسی تاثیر این تغییرات بر جریان رودخانه از مدل مفهومی SWAT (Soil and Water Assessment Tool) استفاده گردید. در نهایت چگونگی تغییرات در مشخصات رژیم‌های هیدرولوژیک رودخانه شامل مقادیر جریان‌های کم و پرآبی، زمان وقوع، فراوانی، تداوم (توسط میانگین متحرک حداقل و حداکثر) و نرخ تغییرات در آن‌ها، با استفاده از مدل IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده در سناریو A2 متوسط دبی رودخانه از ۳/۳۱ مترمکعب بر ثانیه طی ۱۰۰ سال آبی به ۲/۶۶ مترمکعب بر ثانیه و در سناریو B1 به ۲/۸۶ مترمکعب بر ثانیه خواهد رسید. علاوه بر این در اثر تغییر اقلیم زمان وقوع جریان‌های حداکثر نیز تغییر خواهد کرد. این پدیده مطلوبیت زیستگاه را تحت تاثیر قرار داده و زیست گونه را به خطر خواهد انداخت.

کلید واژگان: تغییر اقلیم، HadCM3، IHA، SWAT، مطلوبیت زیستگاه

(GCM)، کارآمدترین ابزاری هستند که کاربرد زیادی در راستای تولید سناریوهای اقلیمی و بررسی چشم‌انداز اقلیم در دوره‌های آتی پیدا کرده‌اند. این مدل‌ها بر پایه قوانین فیزیکی (که به‌وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند) استوار می‌باشند (Lane et al., 1999). طبق مطالعات صورت گرفته، اولین تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع و پیکره‌های آبی است بنابراین مدیریت این بخش از بیوسفر در اولویت مسائل زیست‌محیطی قرار دارد (Tabatabayi, 2012). بررسی پدیده تغییر اقلیم در این بخش از زیست کره مستلزم شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه با استفاده از داده‌های تغییر اقلیم است. Rezaee Zaman و همکاران (2013) و Lubini و Adamowski (2013) اثر تغییر اقلیم بر روی سیستم‌های آبی را بررسی کردند. در این مطالعات برای مدل‌سازی شرایط تغییر اقلیم در منطقه از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو (GCM) استفاده گردید. سپس، تأثیر آن بر رواناب رودخانه با استفاده از مدل SWAT^۵ شبیه‌سازی شد. نتایج کار Rezaee Zaman و همکاران (2013) کاهش آورد رودخانه تا ۲۱ درصد را در حوضه مورد مطالعه نشان داد. همچنین نتایج حاصل از مطالعه Lubini و Adamowski (2013) نیز حاکی از افزایش ۲۴ تا ۴۵ درصدی جریان رودخانه برای رودخانه مطالعاتی می‌باشد. بررسی اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاهی رودخانه‌ها با استفاده از معیارهای متفاوتی از جمله شاخص‌های مطلوبیت زیستگاهی و شاخص‌های تغییر هیدرولوژیکی و محیط زیستی امکان‌پذیر است. شاخص‌های تغییر

تغییر اقلیم به تغییرات معنی‌دار آب و هوایی به خصوص دما و بارندگی که در طولانی مدت و در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ بدهد اطلاق می‌گردد. رشد سریع فعالیت‌های صنعتی و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین و به عبارتی تغییر اقلیم شده است (IPCC, 2001). تا جایی که پیش بینی می‌گردد تا سال ۲۱۰۰، متوسط دما جهانی بین ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (IPCC, 2007). از جمله دیگر اثرات این پدیده، تغییر در شرایط کمی و کیفی منابع آبی، زیستگاه‌ها و توزیع گستره‌های گیاهی و جانوری خواهد بود که موارد متنوعی از آن‌ها در Global Solution (2013) مورد اشاره قرار گرفته شده است. طبق این مرجع گیاهان و جانوران در محیط‌زیست خود در طول میلیون‌ها سال تکامل یافته و با آن سازگار شده‌اند، این در حالی است که به‌واسطه پدیده تغییر اقلیم، این تغییرات با سرعتی بسیار زیاد و در مقیاس بزرگی به وقوع می‌پیوندد و باعث می‌گردد تا آن‌ها فرصت تطبیق با شرایط جدید را نداشته باشند.

امروزه مدل‌هایی که بتوانند رویدادهای چند هزار سال گذشته را با دقت نسبتاً خوب باز تولید کنند و چشم‌انداز شرایط اقلیمی ممکن را در چند ده سال آینده پیش‌گویی کنند توسعه یافته‌اند (Sobouti, 2011). مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی اتمسفر-اقیانوس (AOGCM^۴) یا به اختصار مدل‌های

^۱ Atmospheric-Ocean General Circulation Model

^۲ Soil and Water Assessment Tool

برداری در نقاط مختلف رودخانه در نظر گرفتند و فراوانی وقوع سیل را در آنها بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که در فصل های خشک، در ارتفاع بالای ۱/۸ متری خشکی معنی داری در رودخانه اتفاق می افتد که تا قبل از احداث سد این پدیده مشاهده نشده بود. این پدیده اثر بسیار منفی را بر پوشش جنگلی اطراف رودخانه خواهد گذاشت.

بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان محیط زیستی رودخانه از جمله اهداف اصلی این تحقیق است. در این راستا با استفاده از خروجی یکی از مدل های گردش عمومی جو ($HadCM3^A$)، جریان رودخانه برای حوضه آبریز کردن شبیه سازی شد. با توجه به پیشینه تحقیق، یکی از مدل های کارآمد در زمینه شبیه سازی جریان رودخانه مدل SWAT می باشد که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور، دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ به عنوان دوره پایه و سه دوره سی ساله ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ دوره های تحت تاثیر تغییر اقلیم برای استخراج داده های اقلیمی می باشند. پس از شبیه سازی دبی بر اساس داده های اقلیمی در این دوره ها، پارامترهای هیدرولوژیکی رودخانه با استفاده از شاخص های IHA بررسی می شوند.

۲. مواد و روش ها

۱،۲. تشریح منطقه مطالعاتی و داده ها

حوضه آبریز رودخانه کردن با وسعت ۴۳۴/۳۵۵ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 55' 50''$ تا

هیدرولوژیکی (IHA^E) و پارامتر جریان محیط زیستی (EFC^Y) از جمله معیارهای مطرح در ارزیابی تغییر جریان رودخانه ها می باشد که در مطالعات بدان ها توجه ویژه ای شده است. Pradhanang و همکاران (2013) اثرات پدیده تغییر اقلیم را در قسمت های شمالی ایالت متحده مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه علاوه بر بررسی چگونگی تغییرات متوسط دبی جریان، تغییرات سایر پارامترهای هیدرولوژیکی رودخانه با استفاده از شاخص های تغییر هیدرولوژیکی بررسی شد. طبق نتایج به دست آمده حداکثر سیل در حال افزایش است. این افزایش ناگهانی تهدیدی برای پایداری دیواره رود به شمار می رود. این تغییر در دیواره خود بر زیستگاه جانوران و آبریزان سازگار یافته در آن شرایط تاثیر می گذارد. Lee و همکاران (2013) نیز همین مطالعه را برای جنوب شرقی کره انجام دادند. طبق بررسی هایی که توسط شاخص IHA صورت گرفت مشخص شد علاوه بر افزایش دسترسی پذیری زیستگاه برای آبریزان رودخانه Nakdong، به دلیل جریان های بسیار بالایی که در آینده رخ خواهد داد و همچنین افزایش مدت سیل، افزایش استرس در اکوسیستم قابل انتظار است. این شاخص برای بررسی اثر کاهش دبی جریان بعد از احداث سد بر منابع یک اکوسیستم نیز کارآمد می باشد. در واقع احداث سد باعث تقویت جریان های حداقل رودخانه می شود و مقدار دبی های حداکثر را کاهش می دهد. طبق بررسی Maingi و Marsh (2001) بر بزرگترین رودخانه کنیا این ادعا را نشان دادند. آنها همچنین ۷۱ پلات نمونه

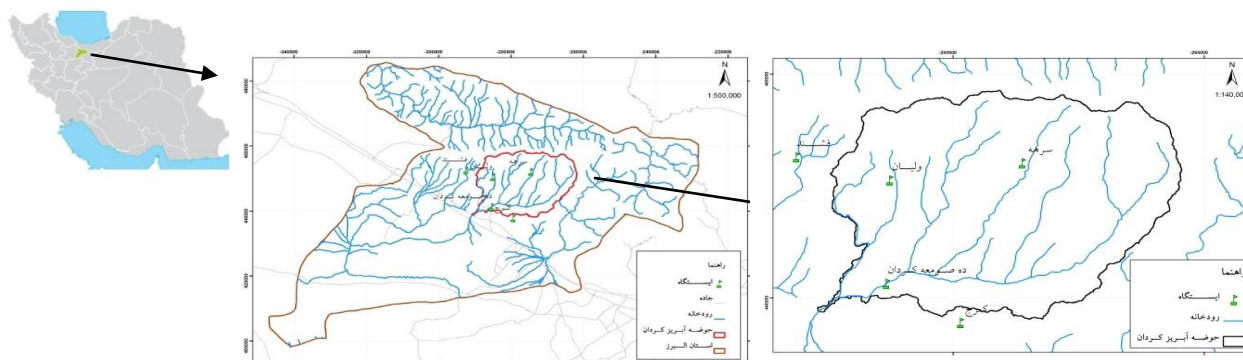
^۳ Indicators of Hydrologic Alterations

^۴ Environmental flow Component

^۵ HADley Center Model

کیلومتری غرب نجم آباد، به رودخانه شور می پیوندد. منبع تغذیه این رودخانه نزولات جوی و در جهت شمال شرق به جنوب غرب در جریان است. طول تقریبی این رودخانه ۴۸ کیلومتر و شیب متوسط بستر آن ۰/۸ درصد است (Tabatabayi et al., 2013).

"۲۵' ۴۶° ۵۰ طول شرقی و "۲۹' ۶' ۳۶ تا "۳۵' ۳۵° ۵۵ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). رودخانه کردان از ارتفاعات شمال غرب استان البرز سرچشمه می گیرد و پس از گذشتن از آبادی های صومعه کردان، بانو صحرا، سیف آباد، پل کردان، سرخاب، احمدآباد، حسن آباد، کمال مسعود و علی سید، در ۸



شکل ۱. موقعیت ایستگاه ها و محدوده مورد مطالعه

علاوه بر موارد فوق، لایه های رقومی منطقه شامل نقشه DEM، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک مورد استفاده قرار گرفت. لایه DEM با اندازه سلولی ۹۰ متری از پایگاه SRTM^۱، لایه رقومی کاربری اراضی با اندازه سلولی ۱۰۰۰ متری تهیه شده توسط سازمان جنگل ها و مراتع کشور در سال ۱۳۸۳ و لایه خاک منطقه از نقشه خاک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO, 1995^۲) با اندازه سلولی ۱۰۰۰ متر استخراج گردید.

در حوضه کردان و اطراف آن ایستگاه های هواشناسی و باران سنجی ده صومعه کردان، فشدن، سرهه و ولیان از ایستگاه های اصلی منطقه مورد مطالعه می باشند علاوه بر آن ها ایستگاه سینوپتیک کرج برای تامین بخشی از داده های خاص مانند تابش خورشیدی نیز مورد استفاده قرار گرفت. این داده ها عمده اطلاعات ورودی مدل SWAT را شامل می گردند. داده های آب سنجی بخش دیگری از داده های مورد نیاز می باشد که به خصوص برای واسنجی مدل SWAT بسیار اهمیت دارند. این داده ها برای ایستگاه ده صومعه کردان در دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد. در شکل ۱ موقعیت محدوده و ایستگاه های مورد مطالعه نشان داده شده است.

^۱ SRTM-90m-digital-elevation-database-v4-

1

^۲ Food and Agriculture Organization

۲,۲ مدل SWAT

مدل SWAT مدلی مفهومی به منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در یک حوضه آبریز می‌باشد. این مدل در اواخر دهه ۱۹۸۰ توسط موسسه تحقیقات کشاورزی آمریکا^{۱۱} برای شبیه‌سازی جریان رودخانه در ابعاد بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ کیلومترمربع تدوین شد (Arnold *et al.*, 1993). مدل SWAT برای پیش‌بینی تاثیر روش‌های مختلف مدیریت زمین‌ها بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی-کشاورزی در سطح حوضه‌های آبریز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری زمین‌ها و شرایط مختلف مدیریتی در درازمدت طراحی شده است. این مدل از معادله بیلان آب پیروی می‌کند که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (Neitsch *et al.*, 2011):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})_i$$

در این معادله، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (mm) در روز t ، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (mm)، t زمان بر حسب روز و R_{day} میزان بارندگی در روز i (mm)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i (میلی متر آب)، W_{seep} مقدار آبی که در روز i از منطقه ریشه خارج می‌گردد (mm)، Q_{surf} مقدار رواناب در روز i (میلی متر آب) و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i (mm) می‌باشند.

مدل SWAT قادر به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های آبی است. این موضوع با تغییر در ورودی‌های مدل (مانند بارندگی، دما) در عملگرهایی

که بدین منظور تنظیم شده‌اند (Subbasin Edit)، شبیه‌سازی می‌شود.

۳,۲ مدل‌های گردش عمومی اقیانوس - اتمسفر

مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی اتمسفر-اقیانوس^{۱۲} (AOGCM) یا به اختصار مدل‌های (GCM)، معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی و بررسی چشم انداز اقلیم در دوره‌های آتی می‌باشد که مدل HADCM3 از پرکاربردترین آنها است. این مدل دارای دقت مکانی $۳/۷۵ * ۲/۵$ درجه (طول*عرض) می‌باشد (Zarezadeh-Mehrizi, 2011).

مدل‌های گردش عمومی جو شبیه‌سازی اقلیم کره زمین را با توجه به سناریوهای مختلف افزایش گازهای گلخانه‌ای انجام می‌دهند. سری جدید سناریوهای انتشار با نام^{۱۳} SRES در سال ۱۹۹۶، در یک گزارش ویژه توسط IPCC ارائه شد که در چهار شاخه اصلی یا خانواده سناریوهای A1, A2, B1, و B2 قرار می‌گیرند (Morid, 2014). اساس تقسیم‌بندی این سناریوها، پیشرفت‌های اقتصادی-اجتماعی، تجمع گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌باشد. جدول ۱ خصوصیات هر یک از سناریوها را نشان می‌دهد (Zareh, 2000).

^۴ Atmospheric-Ocean General Circulation Model

^۵ Special Report on Emission Scenario

^۳ Agricultural Research Service

جدول ۱. خصوصیات سناریوهای انتشار (SRES, 1996)

مشخصات	سناریو
رشد جمعیت کم، رشد اقتصادی زیاد، نوآوری‌ها در فن آوری زیاد، همگرایی بین نواحی مختلف دنیا زیاد، کاهش اختلاف بین درآمد سرانه در سطح دنیا، تعاملات فرهنگی و اجتماعی زیاد	A1
ناهمگونی در دنیا زیاد، رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی به صورت منطقه‌ای، توسعه و تغییرات فن آوری به صورت منطقه‌ای (و نه جهانی)	A2
تاکید به دستیابی به راه‌حل‌های جهانی در مورد مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی. (این سناریو مزایای سناریوی A1 را در کنار توسعه پایدار در نظر می‌گیرد.)	B1
رشد جمعیت و رشد اقتصادی متوسط، رشد فن آوری کمتر از سناریوی A1 و B1 تاکید به دستیابی به راه‌حل‌های محلی در مورد مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی.	B2

که در آن ها، $adjpcp$: درصد تغییرات در بارندگی،
 R_{day} : مقدار بارندگی روزانه در زیرحوضه بر حسب
 میلیمتر، T_{mx} : حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه
 سانتی‌گراد، T_{mn} : حداقل دمای روزانه بر حسب درجه
 سانتی‌گراد، $adjtmp$: تغییر در دما می باشد. قابل ذکر
 است که در این مطالعه دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ به عنوان
 دوره پایه و دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و
 ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به عنوان دور های آتی مورد تجزیه و
 تحلیل قرار گرفتند.

۴.۲. ارزیابی هیدرولوژیکی

رویکرد کلی برای ارزیابی محیط زیستی جریان در این
 مطالعه، شامل تعریف یکسری ۶۷ مولفه‌ای از ویژگی-
 های آبشناسی به منظور توصیف رژیم فصلی و تغییرات
 جریان و مقایسه این مولفه‌ها بین دوره پایه و دوره
 تغییر اقلیم می باشد (Pradhanang et al., 2013).
 در این راستا مدل IHA برای تعیین مشخصات رژیم-
 های هیدرولوژیکی طبیعی و یا دست‌خوش تغییر توسط
 کمیسیون نگهداری جنگل‌ها و شیلات و منابع طبیعی

در پژوهش حاضر از داده‌های دما و بارش دو سناریو
 A2 و B1 از مدل HadCM3 استفاده شد. به دلیل
 بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM
 شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی همراه با اغتشاش
 (Noise) می‌باشد. بنابراین معمولاً به جای استفاده
 مستقیم از داده‌های AOGCM در محاسبات تغییر
 اقلیم، از میانگین دوره‌ای ۳۰ ساله این داده‌ها استفاده
 می‌شود. بدین منظور با محاسبه تغییرات متغیر اقلیمی
 مورد نظر در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته،
 سناریو تغییر اقلیم آن متغیر را می‌توان با استفاده از
 روش عامل تغییر^{۱۴} به دست آورد (Shahkarami,
 2009, Wilby and Harris, 2006). بر اساس این
 تغییرات مدل دما و بارش روزانه حوضه برای دوره تغییر
 اقلیم با استفاده از مدل SWAT، مطابق با روابط زیر
 برآورد شد:

$$R_{day} = R_{day} * \left[1 + \frac{adjpcp}{100} \right]$$

$$T_{mx} = T_{mx} + adjtmp$$

$$T_{mn} = T_{mn} + adjtmp$$

(TNC^{۱۵}) توسعه یافته است.

مدل IHA بر اساس شناسایی مؤلفه‌های رژیم جریان طبیعی نظیر: مقادیر جریان‌های کم و پرآبی، زمان وقوع، فراوانی، تداوم (توسط میانگین متحرک حداقل و حداکثر) و نرخ تغییرات در آن‌ها، تحلیل‌های مربوط را انجام می‌دهد. بدین ترتیب مدل با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی روزانه قادر به محاسبه ۶۷ پارامتر در دو گروه ۳۳ پارامتری IHA و ۳۴ پارامتر جریان محیط‌زیستی (EFC^{۱۶}) خواهد بود. مشروح این پارامترها در جدول ۲ قابل مشاهده هستند (LLC et al., 2010, Shaeri Karami, & Seyyedi, 2009).

۳. نتایج

۱،۳. واسنجی مدل SWAT

در این مطالعه واسنجی مدل SWAT با مقادیر مشاهده‌شده دبی رودخانه در ایستگاه ده صومعه کردن بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۴ و با استفاده از روش SUFI2 توسط نرم‌افزار SWAT-CUP صورت گرفت. داده‌های سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ نیز برای صحت‌سنجی مدل انتخاب شدند. از آنجا که پارامترهای فراوانی در نتایج مدل دخالت دارند، لازم است آن‌هایی که خروجی مدل به دقت آن‌ها حساسیت بیشتری دارد، مشخص و در واسنجی مورد توجه بیشتری قرار گیرند. پارامترهای انتخاب‌شده برای واسنجی مدل بر اساس نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل به همراه حدود نهایی آن‌ها در جدول ۳ آمده است. جهت ارزیابی مدل از شاخص‌های ضریب تبیین R² و ضریب نش NS

استفاده گردید که نتایج در جدول ۴ قابل مشاهده هستند.

شکل ۲ مقایسه دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT در واسنجی و صحت‌سنجی با داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد که حاکی از عملکرد مناسب مدل است.

۳-۲- ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم و ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها در محدوده مورد مطالعه، از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک کرج به خاطر دارا بودن آمار مناسب (دمای حداقل، حداکثر و بارندگی) و طولانی استفاده شد. بدین منظور با استفاده از روابط (۲)، (۳) و (۴) مقدارهای بارش و دما استخراج‌شده از مدل HadCM3 برای ۳ دوره ۳۰ ساله آتی ریزمقیاس‌نمایی شد. این ریزمقیاس‌نمایی تحت دو سناریو A2 و B1 و با توجه به دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۰ انجام شد. شکل‌های ۳ و ۴ چگونگی تغییر پارامترهای اقلیمی را نشان می‌دهد.

۱ The Nature Conservancy

۲ Environmental flow Component

جدول ۲. پارامترهای IHA (LLC et al., 2009)

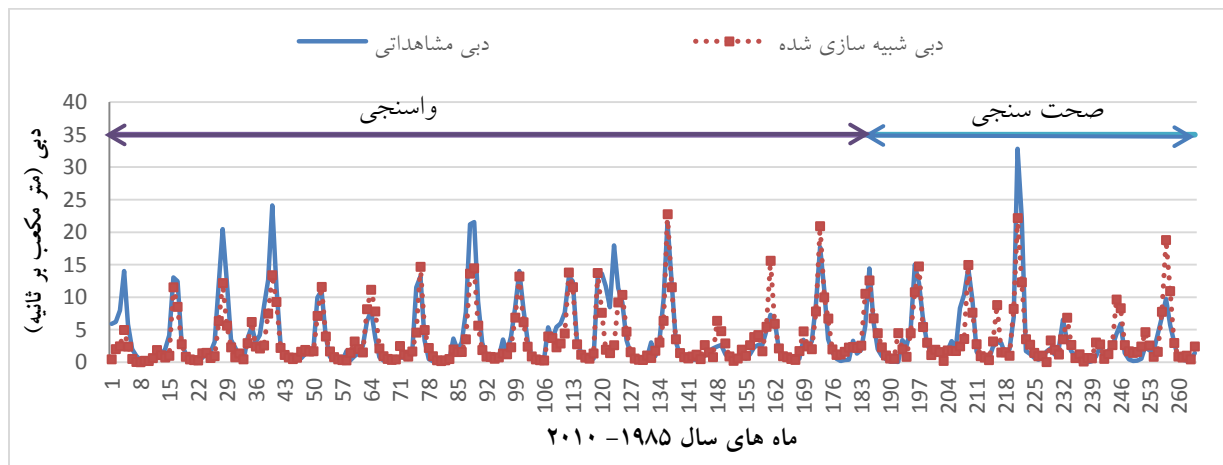
پارامترهای گروه IHA	پارامترهای هیدرولوژیک	تاثیر بر اکوسیستم
۱- میزان آبدهی	دبی ماهانه	<ul style="list-style-type: none"> • دسترسی پذیری زیستگاه برای موجودات آبی • دسترسی پذیری رطوبت خاک برای گیاهان • دسترسی پذیری غذا و پناه برای پستانداران چهار پا • دسترسی جانوران شکارچی به سایت‌های جوجه‌آوری
۲- میزان تداوم حداقل‌ها و حداکثرها	حداقل و حداکثر ۱ روزه، ۳ روزه، ۷ روزه، ۳۰ روزه و ۹۰ روزه	<ul style="list-style-type: none"> • ساختار اکوسیستم‌های آبی توسط مؤلفه‌های زنده و غیر زنده • ساختار مورفولوژی رودخانه و شرایط فیزیکی زیستگاه • استرس رطوبتی خاک در گیاه • استرس فعالیت‌های بدون اکسیژن در گیاهان
۳- زمان بندی شرایط آبی سالانه	شمار روز حداقل و حداکثر جریان ۱ روزه	<ul style="list-style-type: none"> • سازگاری با چرخه زندگی ارگانیزم‌ها • پیش‌بینی و دوری از استرس برای موجودات • اشاره زمان تخم‌ریزی برای ماهیان مهاجرت کننده • تکامل روش‌ها قدیمی زندگی، مکانیزم‌های رفتاری
۴- فراوانی و تداوم ضرب آهنگ‌های جریان رودخانه	تعداد و تداوم پالس‌های کم جریان و زیاد جریان	<ul style="list-style-type: none"> • دسترسی پذیری زیستگاه‌های دشت سیلابی برای موجودات آبی • جابجایی مواد ارگانیک و غذایی بین رودخانه و دشت سیلابی • دسترسی پرندگان آبی به سایت‌های تغذیه، استراحت و تولیدمثل
۵- نرخ تغییرات شرایط آب	نرخ‌های افزایش و کاهش جریان، تعداد برگشت‌های جریان	<ul style="list-style-type: none"> • تاثیر بر حمل مواد بستر، بافت رسوب کانال و مدت اختلال در بستر (در حد بالایی تنش) • تاثیر خشکی بر گیاهان (در مواقع افت) • به دام افتادن موجودات در جزایر و دشت‌های سیلابی (در مواقع خیز) • استرس خشکی برای گونه‌های کم تحرک
پارامترهای گروه EFC	۱- جریان‌های کم ماهانه	<ul style="list-style-type: none"> • فراهم کردن زیستگاه مناسب برای موجودات آبی • حفظ تخم ماهی‌ها و دوزیستان در حالت معلق • قادر ساختن ماهی برای جابجایی برای تغذیه و تخم‌ریزی
	۲- دبی‌های بسیار کم	<ul style="list-style-type: none"> • پالایش گونه‌های مهاجم، معرفی گونه‌های آبی و اجتماعات کنار رودخانه • متمرکز شدن شکار در مناطق محدود (به سود شکارچیان درنده)
	۳- تنش‌های بالای دبی	<ul style="list-style-type: none"> • شکل فیزیکی کانال رودخانه حتی تالاب‌ها و ریفل‌ها • اندازه ابعاد پوشش کف بستر (شن، سنگ‌ریزه، قطعه سنگ) • جلوگیری از گیاهان ساحلی به منظور تخطی کردن از کانال • هوادهی تخم‌ها در سنگ‌ریزه‌های تخم‌ریزی شد
	۴- سیل‌های کوچک	<ul style="list-style-type: none"> • فراهم شدن شرایط برای مهاجرت و تخم‌ریزی ماهی • راه انداختن یک مرحله جدید در چرخه زندگی
	۵- سیل‌های بزرگ	<ul style="list-style-type: none"> • ته نشینی سنگ‌ریزه و قطعات سنگ در مناطق تخم‌ریزی • حرکت جانبی کانال رودخانه، شکل‌گیری جدید زیستگاه‌ها

جدول ۳. بهترین مقادیرهای تخمین زده شده توسط SWAT-CUP

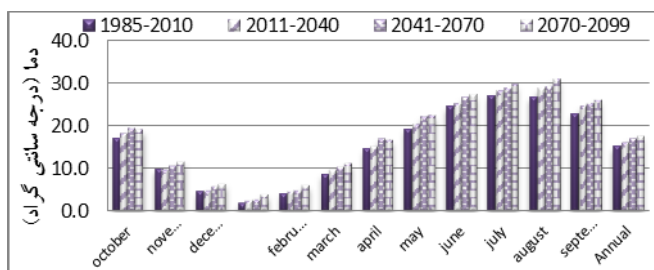
نام پارامتر	بهترین مقدار	نام پارامتر	بهترین مقدار
فاکتور ذوب برف برای روز ۲۱ ماه June	1.63	طول شیب	98.6
ضریب پاسخ جریان پایه	0.1	سطح آب در آبخوان	469
فاکتور ذوب برف برای روز ۲۱ ماه سپتامبر	3.8	چگالی ظاهری خاک در لایه سطحی	2.3
شماره منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی	79.8	ضریب لگاریتم رواناب سطحی	6.4
فاکتور جبران جذب گیاه	0.57	فاکتور آستانه عمق برف در مناطق پوشیده از برف (٪۱۰۰)	22.37
ضریب نفوذ آبخوان	0.18	فاکتور آستانه عمق برف در مناطق پوشیده از برف (٪۵۰)	0.4
ضریب مانینگ سیلاب دشت‌ها	4.7	هدایت هیدرولیکی موثر در رودخانه اصلی	309.4
فاکتور بالاترین نرخ تنظیم	1.8	فاکتور لگاریتم دمای برف	0.65
ضریب مانینگ رودخانه اصلی	0.2	ظرفیت آب قابل دسترس	0.6
مدت زمان زهکشی لایه‌های خاک بالای سطح ایستابی	130.75	ضریب حمل رسوب و سرعت آب در آبراهه	0.0009 92
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در لایه سطحی	648.3	ضریب مربوط به تبخیر از لایه بالایی سطح ایستابی	0.07
گرادیان بارش	287.35	دمای ذوب برف	3.7
ضریب جبران تبخیر خاک	0.98	بازه اختلالات بیولوژیکی	0.47
متوسط دمای هوا به هنگام بارش برف	3.8	بازتاب خاک مرطوب	1.7
حداکثر گیرش باران توسط گیاهان	55	حداقل ارتفاع سطح ایستابی لازم برای خروج آب زیرزمینی	10
مقدار نیترات در آبخوان کم عمق	4049		

جدول ۴. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای ایستگاه هیدرومتری ده صومعه کردان

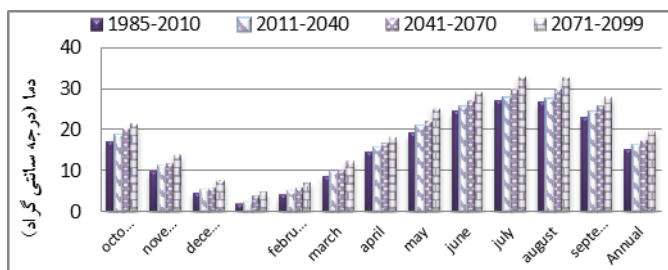
صحت‌سنجی			واسنجی		
N	R ²	دوره آماری	N	R ²	دوره آماری
۰/۶۹	۰/۷	۲۰۱۰-۲۰۰۵	۰/۷	۰/۷۱	۲۰۰۴-۱۹۸۵



شکل ۲. مقایسه مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل SWAT، در دوره واسنجی و صحت سنجی.

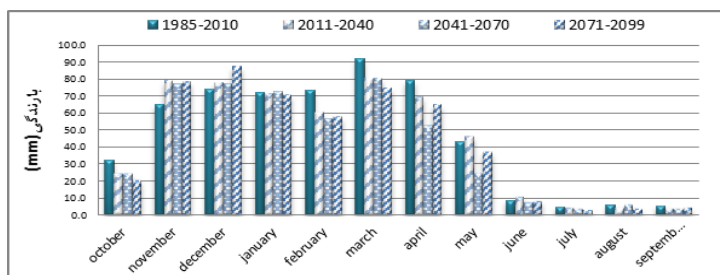


(ب)

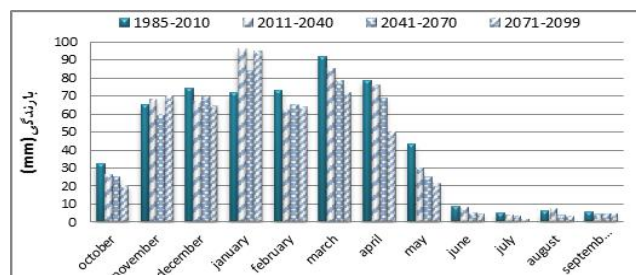


(الف)

شکل ۳. تغییرات ماهانه دما در دوره های مورد مطالعه: (الف) سناریو A2 و (ب) سناریو B1



(ب)



(الف)

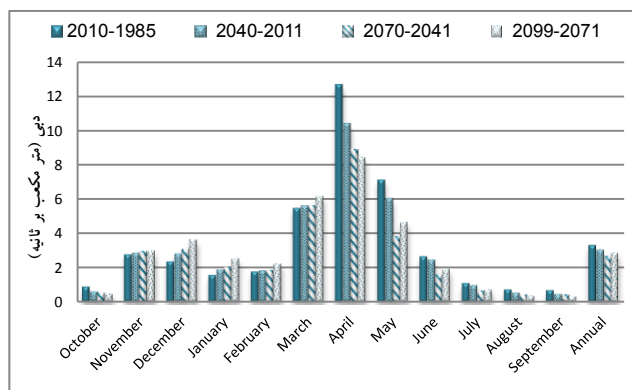
شکل ۴. تغییرات ماهانه بارش در دوره های مورد مطالعه: (الف) سناریو A2 و (ب) سناریو B1

دمای هوا در مقیاس سالانه طی دوره های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب ۶/۵،

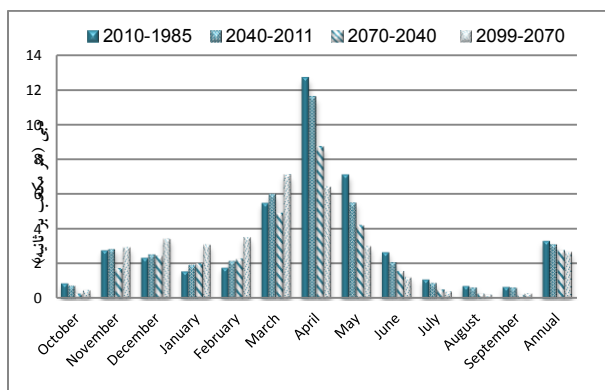
طبق نتایج، از تبعات پدیده تغییر اقلیم افزایش دما و کاهش متوسط سالانه بارش خواهد بود. به طوری که

دوره پایه بالاترین مقدار بارندگی در ماه مارس (۹۱/۸ میلی‌متر) است. در حالی که طبق سناریو A2 بیشترین مقدار بارندگی در ماه ژانویه رخ می‌دهد. در سناریو B1 این تغییر در ماه دسامبر پیش‌نگری شده است، به طوری که مقدار بارندگی در این ماه از مقدار ۷۴ میلی‌متر در دوره پایه به مقدار ۸۷ میلی‌متر می‌رسد. پس از اعمال درصد تغییرات بارندگی و دمای متوسط تحت سناریوهای A2 و B1 در مدل SWAT دبی برای شبیه‌سازی شد. نتایج این بخش در شکل ۵ ارائه شده‌اند. ۳ دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹

۱۴/۱ و ۲۳ درصد طبق سناریو A2 افزایش می‌یابد. در سناریو B1 تغییرات به صورت ۵/۳، ۱۰/۳ و ۱۴ درصد افزایش می‌باشد. کاهش بارندگی طی این دوره‌ها در سناریو A2 به ترتیب ۲/۹، ۱۰/۸ و ۱۴/۶ درصد پیش‌نگری شده است این کاهش در سناریو B1 ۴/۷، ۱۳/۱ و ۸/۸ درصد است. قابل توجه است که سناریوی A2 تبعات منفی‌تری را نشان می‌دهد. مثلاً در ماه جولای برای دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ تا ۶۸/۶ درصد کاهش بارندگی پیش‌نگری شده است. نکته قابل تامل دیگری که از شکل‌های (۳) و (۴) قابل‌ملاحظه است، عدم تغییر در الگوی ماهیانه دما و تغییر آن در الگوهای ماهیانه بارش است. به عنوان مثال، در



(ب)



(الف)

شکل ۵. شبیه‌سازی شده برای دوره‌های مورد مطالعه: الف) سناریو A2 و ب) سناریو B1

بر ثانیه (دوره پایه) به حدود ۸ مترمکعب بر ثانیه در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ خواهد رسید. نکته قابل توجه این که در زمان وقوع این حداکثر نیز تحت سناریو A2 تغییراتی رخ خواهد داد. چرا که در دوره پایه در ماه آوریل جریان‌ها با حجم بالا رخ می‌دهد ولی در اثر

طبق نتایج به دست آمده در سناریو A2 متوسط دبی از ۳/۳۱ مترمکعب بر ثانیه طی ۱۰۰ سال آتی به ۲/۶۶ مترمکعب بر ثانیه و در سناریو B1 به ۲/۸۶ مترمکعب بر ثانیه خواهد رسید. همچنین مقدار حداکثرهای دبی طی این دوره‌های ۳۰ ساله در حال تغییر است. تا جایی که در هر دو سناریو حداکثر دبی از حدود ۱۲ مترمکعب

مخاطره خواهد افتاد. چرا که برای فراهم شدن شرایط تولید، فاکتورهایی مانند دمای آب، مقدار اکسیژن و فتوسنتز در آب تاثیر گذارند. این فاکتور ها با تغییر در پارامترهای IHA در گروه ۱ تغییر خواهند کرد.

گروه دوم پارامترهای IHA معرف شدت و مدت سالانه آب در شرایط بالایی و پایینی مقدار متوسط جریان است. طبق نتایج به دست آمده، در طی ۳ دوره ۳۰ ساله مورد مطالعه، در حداکثر و حداقل دبی نیز افت در مقادیر قابل انتظار است. این کاهش می تواند بر ساختار مورفولوژیک رودخانه اثر گذارد. با تغییر در حداکثر و حداقل دبی حجم ماده غذایی بین رودخانه و دشت سیلابی تغییر خواهد کرد. این تغییر بر تخم ریزی و زیست ماهی اثر منفی خواهد گذاشت.

از طرفی اگر به پارامترهای گروه سوم IHA (مدت زمانی که آب سالانه در شرایط بالایی و پایینی مقدار متوسط است) دقت شود، تعداد روزهایی که دبی به حداقل مقدار خود می رسد در هر دو سناریو در حال افزایش و تعداد روزهای با حداکثر دبی رو به کاهش گذاشته است. این تغییرات منجر به استرس برای ارگانیزم ها، به اشتباه افتادن ماهیان در انتخاب زمان تخم ریزی و تغییر در تکامل مکانیزم های رفتاری خواهد شد.

طبق پارامترهای گروه چهار (فراوانی و مدت حدود بالا و پایین جریان)، فراوانی حد پایین جریان در حال کم شدن و مدت این افت ها در حال افزایش است. اما در مورد حدود بالای جریان روندی عکس را شاهد خواهیم بود. اشکال ۶ و ۷ نحوه این تغییرات را برای دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه نشان می دهد.

تغییر اقلیم طی ۱۰۰ سال آتی ماه مارس بیشترین جریان ها را شامل می شود.

۳.۳. ارزیابی هیدرولوژیکی پارامترهای جریان و

پتانسیل تاثیر گذاری اکولوژیکی

طبق نتایج حاصل از خروجی مدل IHA (جداول ۵ و ۶)، تغییر اقلیم می تواند پارامترهای هیدرولوژیکی جریان را تغییر دهد و در پی آن بر اکوسیستم ها و شرایط زیست جانوران آبی اثر بگذارد. این اثرات با توجه به جدول (۲) قابل تحلیل می باشد.

الف) ارزیابی محیط زیستی جریان با استفاده از پارامترهای گروه IHA

همان طور که از جداول ۵ و ۶ مشاهده می شود، در هر دو سناریو، در پارامترهای IHA در گروه یک (شرایط ماهانه آب)، متوسط ماهیانه دبی یک روند متفاوت از تغییرات را دنبال می کند. به عنوان مثال در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ که دبی ۱/۶ مترمکعب بر ثانیه (در ماه ژانویه) می باشد تا دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ در سناریوهای A2 و B1، به ترتیب به ۳/۱ و ۲/۵ مترمکعب بر ثانیه می رسد. در مورد دیگری مانند ماه آوریل که دبی ۱۲/۶ مترمکعب بر ثانیه بوده، طی دوره های بعد، طبق سناریوهای A2 و B1 به ترتیب به ۶/۳ و ۸/۳ مترمکعب بر ثانیه می رسد.

این روند تغییر ماه های پر آب و کم آب زیست گونه ها را تحت تاثیر قرار می دهد. همانند سایر جانوران، آبزیان نیز طی دوره تکامل خود، سازگاری هایی با محیط پیدا کرده اند و در پی آن به یک تقویم زمانی برای تخم ریزی، تحت شرایط محیطی سازگار شده اند. با تغییر در این شرایط زیست گونه و تولیدمثل آن به

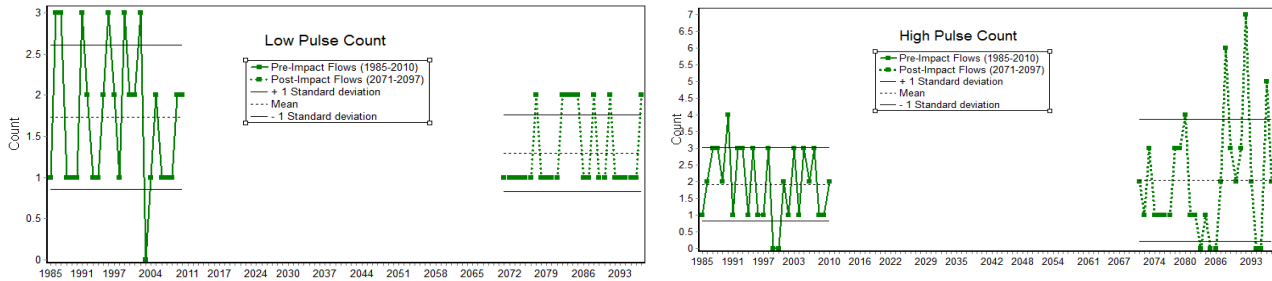
جدول ۵. پارامتر های هیدرولوژیکی مدل IHA تحت دو سناریو A2 و B1

پارامتر های IHA	A2					B1					
	1985-2010	2071-2099		2071-2099		1985-2010	2071-2099		2071-2099		
	متوسط	درصد تغییرات		متوسط	درصد تغییرات	متوسط	درصد تغییرات		متوسط	درصد تغییرات	
پارامتر های گروه ۱											
اکتبر	0.9	0.5	-44.5	0.5	-45.0	اکتبر	0.84	0.53	-37.13	0.54	-35.32
نوامبر	2.8	2.9	5.3	3.0	8.0	نوامبر	1.83	1.51	-17.24	1.52	-16.80
دسامبر	2.4	3.4	44.8	3.6	53.9	دسامبر	2.07	2.33	12.59	2.38	14.57
ژانویه	1.6	3.1	95.4	2.5	61.0	ژانویه	1.55	2.37	52.19	2.15	38.55
فبریه	1.8	3.5	96.0	2.2	25.3	فبریه	1.69	2.56	52.08	2.03	20.52
مارث	5.5	7.1	29.0	6.1	12.2	مارث	2.01	2.61	30.06	2.43	21.06
آوریل	12.6	6.3	-49.8	8.4	-33.8	آوریل	2.95	3.23	9.31	3.12	5.66
مه	7.1	3.0	-58.1	4.6	-34.8	مه	2.80	2.38	-14.90	2.78	-0.86
ژوئن	2.7	1.2	-54.1	1.9	-28.5	ژوئن	2.17	1.21	-44.11	1.75	-19.43
جولای	1.1	0.4	-61.4	0.7	-34.5	جولای	1.21	0.47	-61.66	0.79	-35.09
اوت	0.7	0.2	-66.9	0.4	-48.4	اوت	0.87	0.30	-65.77	0.46	-47.65
سپتامبر	0.7	0.3	-54.0	0.3	-49.5	سپتامبر	0.78	0.49	-37.70	0.49	-37.79
سالانه	3.3	2.7	-19.6	2.9	-13.6	مولفه های زیست محیطی (EFC)					
پارامتر های گروه ۲						اوج جریان های بسیار کم	0.19	0.03	-84.55	0.06	-69.87
حداقل ۱ روزه	0.2	0.0	-81.0	0.1	-65.2	مدت جریان های بسیار کم	47.32	51.20	8.20	49.53	4.67
حداقل ۳ روزه	0.2	0.0	-80.8	0.1	-65.0	شمار روزهای با جریان بسیار کم	270.80	265.80	-1.85	277.30	2.40
حداقل ۷ روزه	0.3	0.1	-80.1	0.1	-64.8	فراوانی نسبی جریان های بسیار کم	0.70	0.70	0.00	0.67	-5.26
حداقل ۳۰ روزه	0.3	0.1	-76.0	0.1	-60.2	اوج جریان های بسیار زیاد	8.25	6.35	-23.07	7.54	-8.69
حداقل ۹۰ روزه	0.7	0.3	-60.2	0.5	-37.4	مدت جریان های بسیار زیاد	30.72	21.06	-31.45	28.16	-8.33
حداکثر ۱ روزه	19.0	13.8	-27.1	15.1	-20.7	شمار روزهای با جریان بسیار زیاد	55.36	31.15	-43.73	28.99	-47.63
حداکثر ۳ روزه	18.6	13.6	-27.1	14.7	-20.8	فراوانی نسبی جریان های بسیار زیاد	1.78	2.56	43.76	1.93	8.32
حداکثر ۷ روزه	17.6	12.8	-27.4	13.9	-21.1	نرخ افزایش جریان های بالا	0.47	0.43	-8.15	0.48	3.68
حداکثر ۳۰ روزه	13.9	9.6	-30.6	10.6	-23.9	نرخ کاهش جریان های بالا	-0.19	-0.18	-7.96	-0.20	2.20
حداکثر ۹۰ روزه	8.7	6.3	-27.6	6.8	-21.8	اوج سیل کوچک	23.18	16.64	-28.21	17.95	-22.56
پارامتر های گروه ۳						فراوانی وقوع سیل کوچک	0.44	0.48	8.35	0.44	0.00
تعداد روز حداقل جریان یک روزه	268.8	277.1	3.1	278.6	3.6	نرخ افزایش جریان های کوچک	1.12	0.88	-21.29	0.73	-34.58
تعداد روز حداکثر جریان یک روزه	111.3	64.81	-41.8	111.8	0.4	نرخ کاهش جریان های کوچک	-0.40	-0.32	-19.88	-0.32	-19.38
پارامتر های گروه ۴						اوج سیل بزرگ	30.95	29.13	-5.88	29.93	-3.30

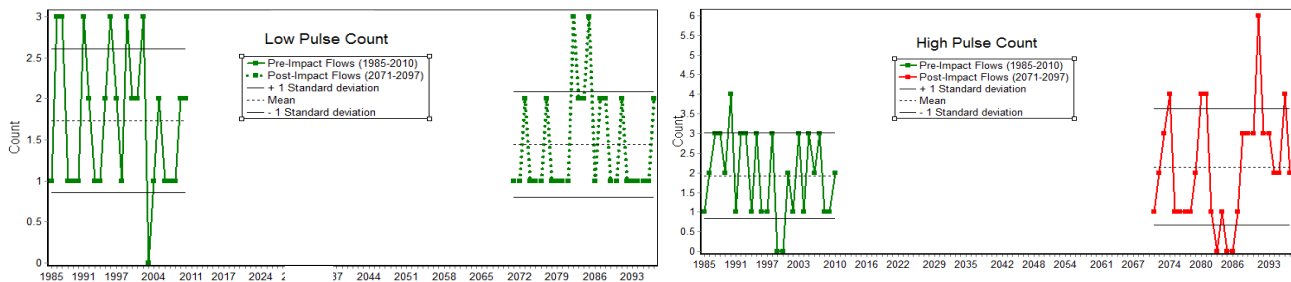
محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵ صفحه ۱۱۲۲

ادامه جدول ۵. پارامتر های هیدرولوژیکی مدل IHA تحت دو سناریو A2 و B1

پارامتر های IHA	A2			B1		پارامتر های EFC	A2			B1	
	1985-2010	2071-2099		2071-2099			1985-2010	2071-2099		2071-2099	
تعداد پالس های کم جریان	1.78	1.15	-35.43	1.3	-29.19	مدت سیل بزرگ	91.00	83.50	-8.24	77.00	-15.38
مدت پالس های کم جریان	57.83	83.10	43.70	78.6	35.85	شمار روزهای سیل بزرگ	105.50	212.50	101.42	218.00	106.64
تعداد پالس های زیاد جریان	1.96	2.67	35.86	2.4	24.50	فراوانی نسبی سسپیل های بزرگ	0.07	0.07	0.00	0.07	0.00
مدت پالس های زیاد جریان	25.36	18.49	-27.09	18.8	-25.83	نرخ افزایش سیل بزرگ	0.98	0.87	-11.28	1.03	4.36
حد آستانه پالس های کم جریان	0.74	0.34	-54.05	0.5	-36.49	نرخ کاهش سیل بزرگ	-0.47	-0.63	33.30	-0.60	27.84
حد آستانه پالس های زیاد جریان	7.76	5.93	-23.58	6.4	-17.14	حد آستانه جریان های کوچک زیست محیطی (EFC)					
پارامتر های گروه ۵						حد بالای آستانه جریان زیست محیطی	3.63	3.79	4.38	3.80	-100.00
نرخ افزایش	0.37	0.32	-13.91	0.3	-11.16	حد آستانه جریان های بسیار پایین زیست محیطی	0.34	0.08	-75.72	0.14	1007.61
نرخ کاهش	-0.14	-0.10	-26.72	-0.1	-16.06	حداقل جریان سیل های کوچک زیست محیطی	20.75	12.79	-38.36	14.63	-99.32



شکل ۶. مقایسه تعداد تنش های بالا و پایین در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ با دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ (گروه چهارم) تحت سناریو A2



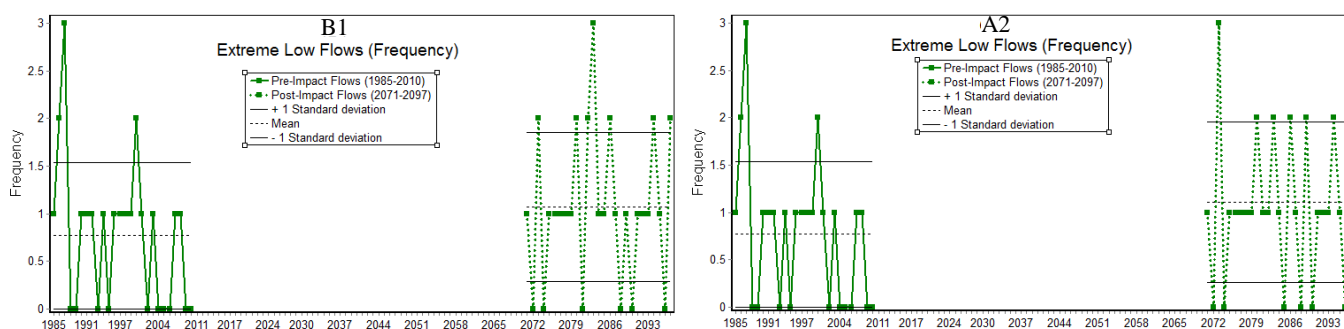
شکل ۷. مقایسه تعداد تنش های بالا و پایین در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ با دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ (گروه چهارم) تحت سناریو B1

ب) ارزیابی محیط زیستی جریان با استفاده از پارامترهای گروه EFC طبق گروه ۱ پارامترهای EFC (دبی های کم ماهانه) جریان های رودخانه ای با مقادیر پایین در برخی ماهها افزایش و در برخی کاهش داشته است. این پارامتر در ایجاد شرایط زیستگاه ماهی برای جابجایی به منظور تغذیه و تخم ریزی اثرگذار است. تغییر در مقدار این پارامتر در ماهها مختلف در طول سال می تواند تهدیدی برای زندگی این جاندار به شمار آید. در مورد پارامترهای گروه دوم (دبی های بسیار کم)، فراوانی دبی های بسیار کم در طول سال روندی رو به افزایش مشاهده می شود (شکل ۸). در پی این اتفاق گونه برای ادامه حیات به مناطق محدودی که آب در

این تغییرات بر دسترسی پرندگان آبی به سایت های تغذیه، استراحت و تولیدمثل و همچنین بر حمل مواد بستر، بافت رسوب کانال و مدت اختلال در بستر (در حد بالایی تنش) تاثیر گذار خواهد بود. در پنجمین گروه از پارامترهای IHA (نرخ و فراوانی تغییرات شرایط آب)، اختلاف دبی ها در جهت مثبت در حال کاهش و در جهت منفی در حال افزایش است. بدین معنی که اختلاف مقدار دبی بین روز های متوالی در حال کم شدن می باشد. این پدیده باعث ایجاد جزایری از آب می شود و در پی آن موجودات در این مناطق به دام می افتند. این اتفاق بر تغذیه و زیست گونه اثرگذار است.

احتمال شکار شدن جاندار را افزایش می‌دهد.

آن با دبی مطلوب تر وجود دارد پناه می‌برد. این امر



شکل ۸. مقایسه فراوانی دبی‌های بسیار کم در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ با دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ (گروه دوم) تحت سناریوهای A2 و B1

تنش‌های بالای دبی (میانگین حداکثرهای دبی)، در گروه سوم، بر اندازه ابعاد پوشش کف بستر اثرگذار است. همچنین هوادهی تخم‌ها در سنگ‌ریزه‌های تخم‌ریزی شده نیز از این پارامتر تاثیر می‌پذیرد.

فراهم‌شدن شرایط برای مهاجرت و تخم‌ریزی ماهی و همچنین ایجاد مناطقی به عنوان نوزاد گاه برای ماهیان نوجوان وابسته به سیل‌های کوچک (پارامتر گروه چهارم) در رودخانه است. هر دو این مقادارها برای دوره‌های آتی در زیر حوضه آبریز مورد مطالعه رو به کاهش گذاشته است.

آخرین پارامتر از پارامترهای زیست‌محیطی مدل IHA فراوانی سیل‌های بزرگ در رود است. این پارامتر از لحاظ فراهم شدن شرایط برای ته‌نشینی سنگ‌ریزه و قطعات سنگ در مناطق تخم‌ریزی اهمیت بالایی دارد. همچنین در پی وقوع این سیل‌ها مواد معدنی به طور ناگهانی وارد زیستگاه شده و منابع سرشار غذایی را فراهم می‌کنند. همان‌طور که از جداول مشاهده می‌شود مدت این سیل‌ها کم و دوره بازگشت آن‌ها در حال افزایش است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر باهدف بررسی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای هیدرولوژیکی جریان رودخانه انجام گرفت. حوضه رودخانه کردان به عنوان منطقه مورد مطالعه با توجه به داده‌های هیدرولوژیک موجود، انتخاب شد. در این راستا ابتدا به منظور پیش‌نگری اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه از داده‌های ریزمقیاس شده مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 استفاده گردید. سپس در مرحله بعد برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان و دمای آب رودخانه از مدل SWAT استفاده شد. بدین منظور پس از واسنجی مدل در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰، درصد تغییرات دما و بارش حوضه تحت شرایط تغییر اقلیم و طی ۳ دوره ۳۰ ساله شامل ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰، ۲۰۷۰-۲۰۹۹، به مدل معرفی گردید و مقدار تغییرات دبی و دمای آب در دوره‌های آتی شبیه‌سازی شد. در نهایت پارامترهای هیدرولوژیکی (IHA) و محیط زیستی (EFC) در ۴

دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ۱۶/۶۴ و ۱۷/۹۵ مترمکعب بر ثانیه تحت سناریوهای A2 و B1 خواهد رسید.

- آبریزان طی دوره تکامل و با گذشت میلیون‌ها سال به یک سازگاری با محیط‌زیست خود رسیده‌اند. با توجه به این تغییرات در مقدار و زمان‌های وقوع جریان‌ها، تقویم تخم‌ریزی تغییر خواهد کرد. در رودخانه کردان گونه حیات سگ ماهی جویباری (*bergianus*) به عنوان گونه شاخص برای این رودخانه شناخته می‌شود. اگر موجود زنده نتواند خود را با شرایط جدید سازگار کند دچار تهدیدی جدی برای ادامه حیات خود خواهد شد.

- با توجه به مدل‌های ارائه شده در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود به منظور جلوگیری از انقراض گونه‌های در خطر، چشم‌انداز آینده برای آنها شبیه سازی شود. این کار باعث انجام اقداماتی مانند معرفی گونه به اکوسیستم مشابه با تهدید کمتر می‌شود.

دوره فوق از طریق اجرای مدل IHA مورد مطالعه و تبعات ممکن بررسی شدند. این مدل نشان داد با تغییر در اقلیم و تغییری که در مقدارهای دبی رخ می‌دهد تغییر در مطلوبیت زیستگاه آبریزان رودخانه‌ای انتظار می‌رود. به عنوان مثال در دوره پایه ماه آوریل با متوسط دبی ۱۲/۶ بالاترین جریان‌ها را به خود اختصاص داده درحالی‌که در ۱۰۰ سال آتی ماه مارس با دبی ۷/۱ (سناریو A2) بالاترین جریان‌ها را خواهد داشت. این بدین معنی است که علاوه بر این که مقدار دبی در دوره‌های آتی در حال کم شدن است در زمان وقوع جریان‌های حداکثر نیز تغییر رخ می‌دهد. این پدیده مطلوبیت زیستگاه ماهی را تحت تاثیر قرار داده و زیست‌گونه را به خطر خواهد انداخت.

- طبق پارامترهای گروه EFC از مدل IHA مقادیر مربوط به دبی‌های بزرگ و کوچک و سیل‌های بزرگ و کوچک نیز در حال تغییر است. به عنوان مثال حجم سیل‌های کوچک برای دوره پایه ۲۳/۱۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. مقدار این پارامتر در طول این ۳ دوره ۳۰ ساله در حال کاهش است تا جایی که این مقدار در

References

Arnold, J.G., P.M. Allen, and G. Bernhardt. 1993. A comprehensive surface groundwater flow model. *Hydro*. 142:47-69.

Global Solution, 2013: <http://globalsolutions.org/united-nations/climate-change>. Accessed 19th September 2013.

IPCC, 2001. Climate change 2001: IPCC Special Report Emissions Scenarios. A Special Report of IPCC Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change, ISBN: 92-9169, 113-115.

IPCC, 2007. The scientific Basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press. New York, USA.

Lane, M.E., Kirshen, P.H. and Vogel, R.M. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S water resources. ASCE, journal of Water Resources Planning and Management. 125(4): 194-204

Lee, A., Cho, S., Kee Kang, D., Kim, S. 2013. Analysis of the effect of climate change on the Nakdong river stream flow, using indicators of hydrological alteration. Journal of Hydro-environment Research 8 .234-247.

LLC, P., Rybicki, T. 2009. Indicators of Hydrologic Alteration, Version 7.1, User's Manual. 76 p.

Lubini, A., Adamowski, J. 2013. Assessing the Potential Impacts of Four Climate Change Scenarios on the Discharge of the Simiyu River, Tanzania Using the SWAT Model.

Maingi, J. K., Marsh S.E. 2001. Quantifying hydrologic impacts following dam construction along the Tana River, Kenya. Journal of Arid Environments. 50: 53-79.

Morid, R., 2014. Impact Assessment of climate change on the habitat suitability index of riverine fishes: A case study of Kordan River. M.Sc. thesis. Environment and Energy faculty, Assessment and Land Use Planning group, Islamic Azad university, Science and research branch, 92 P. (In Persian).

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams J.R. 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406. Texas A&M University System. College Station, Texas 77843-2118.

Pradhanang, S. M., Mukundan, R., Schneiderman, E. M., Zion, M. S., Anandhi, A., Pierson, D. C., Frei, A., Easton, Z. M., Fuka, D., Steenhuis, T. S. 2013. Streamflow Response To Climate Change: Analysis Of Hydrologic Indicators In a New York City Water Supply Watershed. Journal Of The American Water Resources Association, Volume. 49, No. 6. 1308-1326.

Rezaee Zaman, M., 2013. Impact Assessment of climate change on hydroclimatologic variables on Siminerood basin. Water and Soil, Vol. 27, No. 6, 1247-1259. (In Persian).

Shaeri Karami, S., Seyyedi, H. 2010, Introduction of GEFC, DRM and IHA Software to Estimation of Environmental Flows in Rivers. The 4th Conference and Exhibition on Environmental Engineering, Tehran, Iran. 6-10 Nov 2010. (In Persian).

Shahkarami, N., 2009. Exploration of adaptation strategies incorporating Risk Analysis and Integrated Water Resources Management (IWRM) for the Zayandeh Rud Basin, Iran. PhD thesis. Water resources engineering group, Agriculture faculty, Tarbiat Modares University, 195 p. (In Persian).

Sobouti, Y., 2011. Warmed Earth: What has climate of the 21st century to offer?. Gitashenasi Geographical & Cartographical Institute, Tehran, 240 p. (In Persian).

Tabatabayi, S.N, Eagderi, S., Kaboli, M., Javanshir, A., Hashemzadeh Saqarlu, I., Zamani, M., 2013. Analysis of the environmental factors affecting the distribution of the Loach (*Oxyzomacheillus bergianus*) in Kordan River-Iran. Fisheries, Vol 66, Issue 2, 159-171. (In Persian).

Tabatabayi, S.N, 2012. A review on Habitat Suitability Index (HIS) in fish, M.Sc. seminar, Fisheries group, Natural faculty, Tehran university, 37 p. (In Persian).

Wilby, R.L. and Harris, I., 2005. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenario for the River Thames, UK. Water Resources Research. 431p

Zarezadeh-Mehrizi, M., 2011. Water Allocation in the Qezelozan- Sefidrood Basin under Climate Change, using Bankruptcy Approach for Conflict Resolution. M.Sc. thesis. Water resources engineering group, Agriculture faculty, Tarbiat Modares University, 175 p. (In Persian).

Impact assessment of climate change on environmental flows by using hydrological indicators - Case study of Kordan River

Reihaneh Morid¹, Majid delavar², Soheil Eagderi^{1*}

¹Graduate Student, Department of Assessment and Land Use Planning, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University -Science and Research Branch, Tehran, Iran.

²Associate Professor, Department of Water Resources Eng., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

³Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.

Received: 17-Jan.-2015 Accepted: 15-Sep-2015

Abstract

Our country is located in a geographical position where exposure to climate changes effects. Therefore it is necessary to assess its influence on water resources. Because this part of ecosystem is the first section that will be unaffected by climate change. The main purpose of this study is assessment of climate change impacts on environmental flows by using hydrological indicators in Krdan River. In this regard, at first, the future climate change in the region was projected by using HadCM3 general circulation model in three 30-year periods 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2099 considering A2 and B1 scenarios. Afterward, Kordan streamflow was simulated by SWAT model for baseline period (1985-2010) and future. Finally, indicators of the hydrologic regime including magnitude, duration, timing, and frequency of extreme flows were analyzed. Following, IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) Results showed a reduction for discharge. Under A2 scenario, discharge decreased from 3.31 (m³/sec) to 2.66 (m³/sec). Under B1 scenario the reduction was up to 2.86 (m³/sec) for 100 years later. In addition to reduction of discharge, the occurrence time of maximum and minimum flows will change, too. This phenomenon will change the habitat suitability and make some risks for aquatics life.

Key words: Climate change, SWAT, IHA, HadCM3

* Corresponding author; Tel:+98-2632222044

Email: soheil.eagderi@ut.ac.ir