

ارزیابی روش‌های مختلف ریز مقیاس‌نمایی برای شاخص‌های جریان کمینه تحت اثرات تغییر اقلیم

محمد رضا گودرزی^{۱*} و علیرضا فرجی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آیت الله بروجردی (ره)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آیت الله بروجردی (ره)

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۲

چکیده:

پدیده‌ی تغییر اقلیم در آینده تبدیل به یک چالش جدی خواهد شد که رژیم‌های جریان مانند جریان‌های سیل آسا و جریان‌های کمینه و همچنین منابع آب موجود را دستخوش تغییرات خواهد نمود. از این رو در مطالعات مختلف بر اثرات تغییر اقلیم تمرکز شده است اما متأسفانه درباره اثر این پدیده بر جریان کمینه و شاخص‌های آن توجه کمتری از سوی محققان صورت گرفته است. هدف از این پژوهش تخمین اثرات تغییرات اقلیم بر جریان‌های کمینه با استفاده از مدل بارش-رواناب HEC-HMS و تغییرات در رژیم جریان مثل فراوانی، احتمال و دوره بازگشت جریان کمینه ناشی از آن در دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۶۹) می‌باشد. همچنین عدم قطعیت مربوط به روش‌های ریز مقیاس‌نمایی با دو روش آماری (مدل SDSM) و روش عامل تغییر لحاظ شده است و نیز از خروجی‌های مدل CanESM2 حاصل از گزارش پنجم هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم IPCC بهره برده شده است. نتایج روش آماری نشان از کاهش جریان حوضه در ماه‌های خشک شامل جولای، اوت و سپتامبر دارد و روش عامل تغییر حاکی از افزایش جریان حوضه در ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه و کاهش آن در مابقی فصول شامل بهار، تابستان می‌باشد. کاهش جریان خروجی حوضه طی دوره جریان کمینه در خروجی‌های هر دو روش ریز مقیاس‌نمایی کاملاً مشهود می‌باشد که این موضوع پدیده‌ای بحرانی می‌باشد. مقدار شاخص Q_{10} نیز در روش آماری و عامل تغییر به ترتیب به حدود $0/008$ و صفر در دوره آینده رسیده است در حالی که این مقدار در دوره پایه متناظر به ترتیب $0/724$ و $1/429$ متر مکعب بر ثانیه بود. همچنین شاخص Q_{80} نیز با کاهش شدید به مقدار $0/1$ تا $0/3$ در هر دو روش ریز مقیاس‌نمایی رسیده است. در کل نتایج نشان دهنده‌ی کاهش شدید جریان‌های کمینه و ایجاد شرایط بحرانی برای حوضه رودخانه قره‌سو در دوره آینده است.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، جریان کمینه، ریز مقیاس‌نمایی، گزارش پنجم AR5، مدل HEC-HMS

مقدمه

۵ حوضه رودخانه بزرگ آلمان تحت تاثیر تغییر اقلیم با استفاده از ترکیب سه مدل RCM (شامل CCLM, REMO و Wettreg) و با کمک مدل هیدرولوژیکی SWIM مورد پژوهش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بازه جریان کمینه اخیر (از آگوست تا سپتامبر) ممکن است در اواخر قرن تا پایان پاییز گسترش یابد. محمود و همکاران (Mahmood et al., 2016) پتانسیل اثرات تغییر اقلیم را بر روی منابع آب و جریان کمینه حوضه رودخانه Kunhar در پاکستان، مورد بررسی قرار دادند. آنها از مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 بهره بردند و همچنین از مدل بارش-رواناب HEC-HMS برای شبیه سازی بارش افق آینده ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ استفاده نمودند. نتایج آنها نشان دهنده افزایش کلی در میانگین جریان سالانه تحت هر دو سناریوی انتشار بود، در حالی که در فصول تابستان و پاییز افزایش قابل توجه جریان، و در فصول بهار و زمستان کاهش جریان مشهود بود. در هر دو سناریوی انتشار جریان‌های سیل آسا و میانگین جریان‌ها در دوره آینده با افزایش مواجه شده و جریان‌های کمینه با کاهش روبرو شده بودند. همچنین جریان‌های حداکثر (سیل آسا) با جابه جایی زمانی از ماه ژوئن به جولای در آینده منقل شده بودند. آنها به این نتیجه رسیدند که در کل این حوضه با جریان‌های سیل آسا و خشکسالی‌های بیشتری به علت افزایش جریان‌های بیشینه و کاهش جریان‌های کمینه روبرو خواهد شد. به این نکته باید اشاره نمود که توجهات کمی برای فهم اثرات تغییر اقلیم بر روی هیدرولوژی محلی و آنالیز فراوانی‌های جریان کمینه برای سیستم‌های موجود (به خصوص در کشور ایران) صورت گرفته است (Ryu et al., 2009). در این پژوهش یک مدل GCM جدید با نام CanESM2 حاصل از گزارش پنجم هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC^۳) تحت سناریوهای انتشار جدید با عنوان RCPs^۴ مورد بررسی قرار گرفت و با روش آماری ریز مقیاس شد. همچنین عدم قطعیت مربوط به روش‌های ریز مقیاس نمایی عاملی مهم در نتایج می‌باشد به همین منظور خروجی مدل CanESM2 با روش عامل تغییر ریز مقیاس شد. سپس آنالیز تناوب جریان کمینه

پیامدهای تغییرات اقلیم، جامعه بین‌المللی را به مطالعات گسترده تر سوق داده است که تغییرات منابع طبیعی، اکو سیستم‌ها و جمعیت با تغییرات اقلیم آینده، تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که چرخه اقلیمی جهانی تشدید خواهد شد (Ryu et al., 2011) و در بسیاری از مناطق جهان خشکسالی‌های شدید، متناوب، بلند مدت و پایدار را ایجاد خواهد کرد (Frederick et al., 1997, NCAR, 2008). تغییرات در بارش و دما به عنوان دو متغیر عمده در چرخه هیدرولوژی باعث بر هم زدن ریزش‌های جوی می‌شود (IPCC, 2007) و همچنین تغییر اقلیم در دهه‌های آینده بر دو پدیده حدی (رفتارهای مرزی) سیل و جریان کمینه بسیار موثر خواهد بود (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۲)، به طوری که براساس نتایج محققان بر شدت و دوره بازگشت جریان‌های کمینه تاثیر بسزایی خواهد داشت. مدل‌های گردش کلی (GCMs^۱) اولین ابزار برای شبیه سازی چشم انداز اقلیم منطقه‌ای و یا پیش بینی در مقیاس محلی تحت سناریوهای انتشار می‌باشد. اثرات تغییر اقلیم در حوزه رودخانه Meuse با استفاده از نتایج اخیر گزارش شده‌ی شبیه سازی اقلیمی RCM^۲ برای اروپا در سال ۲۰۰۷ توسط د ویت و همکاران (de Wit et al., 2007) انجام شد. آنها نتیجه گرفتند که شبیه سازی‌های RCM از اقلیم آینده، حاکی از زمستان‌های مرطوب و تابستان‌های خشک در شمال غربی اروپا خواهد بود. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم منجر به کاهش در میانگین دبی حوضه Meuse در طی فصل جریان کمینه خواهد شد. کاهش در شاخص جریان کمینه (7Q10) توسط ریو و همکاران (Ryu et al., 2011) گزارش شده است، آنها اثرات تغییرات اقلیم را روی هیدرولوژی و فراوانی جریان کمینه در حوضه رود Geum در کره جنوبی مورد بررسی قرار دادند، نتایج کاهش ۸ تا ۱۲ درصدی جریان رهاسازی شده در آینده و همچنین شرایط جریان کمینه شدید (7Q10) را تا حدود ۰/۰۳ متر مکعب بر ثانیه را نشان داد. هوانگ و همکاران (Huang et al., 2013) شرایط جریان کمینه را در

۳. Intergovernmental Panel on Climate Change

۴. Representative Concentration Pathways

۱. General Circulation Models

۲. Regional Circulation Model

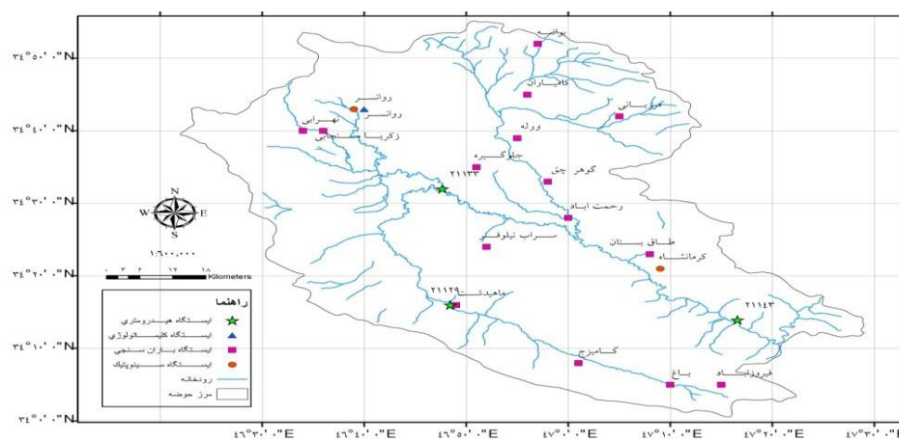
زاگرس بین $۴۶^{\circ} ۰۶'$ و $۴۹^{\circ} ۱۰'$ طول شرقی و $۳۰^{\circ} ۵۸'$ و $۳۴^{\circ} ۵۶'$ عرض شمالی قرار گرفته است. زیرحوضه قره سو در شمال غربی حوضه کرخه و در غرب ایران واقع شده است (شکل ۱). مساحت آن ۵۳۵۴ کیلومترمربع و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۶۴ و ۱۱۸۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه آن بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر متغیر است. سه رودخانه اصلی مرک، قره سو و رازآور در این حوضه جریان دارند. ایستگاه‌های بارانسنجی و سینوپتیک متعددی در سطح حوضه قره سو وجود دارد. تعدادی از این ایستگاه‌ها جهت تهیه داده‌های هواشناسی مورد نیاز مدل سازی انتخاب گردیده‌اند که در جدول ۱ ارائه شده‌اند (Zahabiyoun et al., 2013).

به منظور سنجش شاخص‌های آن در آینده صورت گرفته است. برای این هدف شبیه سازی هیدرولوژیکی با مدل بارش-رواناب HEC-HMS محاسبه شده است تا شاخص‌ها و روش‌های مختلف جریان‌های کمینه در آینده محاسبه شده و با مقادیر آنها در دوره پایه مورد بحث و مقایسه قرار گیرد، که این امر می‌تواند به مشکلات تغییرات اقلیم روی برنامه ریزی و مدیریت منابع آب در مقیاس یک حوضه کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کرخه به مساحت ۵۰۷۶۴ کیلومتر مربع در غرب کشور، در مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های



شکل ۱. نقشه حوضه قره سو و ایستگاه‌های منتخب

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی و سینوپتیک

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره آماری	بارش سالانه (mm)
کرمانشاه	سینوپتیک	۱۳۱۸,۶	۴۷ ۰۹	۳۴ ۲۱	۱۹۷۱-۲۰۰۰	۴۴۷
روانسر	سینوپتیک	۱۳۷۹,۷	۴۶ ۳۹	۳۴ ۴۳	۱۹۸۸-۲۰۰۰	۵۲۵
جلوگیره	بارانسنجی	۱۱۸۰	۴۶ ۵۱	۳۴ ۳۵	۱۹۸۸-۲۰۰۰	۴۹۰
ماهیدشت	بارانسنجی	۱۴۱۵	۴۶ ۴۹	۳۴ ۱۶	۱۹۸۸-۲۰۰۲	۴۰۳
قره باغستان	هیدرومتری	۱۲۳۰	۴۷ ۱۵	۳۴ ۱۴	۱۹۷۱-۲۰۰۰	-

GCM ها اولین ابزار برای فهم تغییرات اقلیمی گذشته و پیش بینی چشم انداز شرایط اقلیمی آینده هستند، عدم قطعیت‌های

مدل‌های GCM و تغییرات اقلیم

علت آن عدم تطابق مقیاس زمانی و مکانی بین توانایی GCMs و مقیاس مورد نیاز حوضه است (Xu, 1999)، برای غلبه بر این مشکل از روش‌های مختلف ریز مقیاس‌نمایی استفاده می‌شود که شامل سه دسته روش دینامیکی، آماری (Wilby and Harris, 2006) و عامل تغییر (Arnell, 2004; Diaz-Nieto and Wilby, 2005) می‌باشد. جدول ۲ مدل GCM به کار برده در این پژوهش را معرفی می‌نماید.

موجود در پیش‌بینی انتشار و تمرکز گازهای گلخانه‌ای (برای مثال کربن دی‌اکسید) موضوعی بحث‌برانگیز در سناریوهای انتشار هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم IPCC می‌باشد (Wilby and Harris, 2006). مدل‌های گردش کلی، جو و اقیانوس را در یک شبکه ۱ تا ۴ درجه عرض جغرافیایی و در طول جغرافیایی با ۱۰ تا بیش از ۲۰۰ لایه قائم در هر سیال نشان می‌دهند (Hardy, 2008). خروجی‌های این مدل‌ها را نمی‌توان به طور صریح در مطالعات تغییر اقلیم به کار برد و

جدول ۲- مشخصه مدل CanESM2

روش	GCM	منبع و موسسه مربوطه	سناریوهای اقلیمی	قدرت تفکیک (درجه)
مدل آماری	CanESM2	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis	RCP2.6	2.81*2.79
SDSM			RCP4.5	
			RCP8.5	
روش عامل تغییر	CanESM2	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis	RCP2.6	0.5*1
			RCP4.5	
			RCP8.5	

می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی گردد. در هر نسخه از این سناریو، اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس نقش آن بر سطح واداشت‌های تابشی به ۴ دسته ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ w/m^2 تا پایان قرن ۲۱، طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین نتایج این سناریوها از سال ۱۸۵۰ تا پایان قرن ۲۱ را پوشش می‌دهد و همچنین تا سال ۲۳۰۰ فرموله شده است (Collins et al., 2013; Riahi et al., 2011; van Vuuren et al., 2011).

روش‌های ریز مقیاس‌نمایی

همانطور که بیان شد سه روش دینامیکی، آماری و عامل تغییر در ریز مقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل‌های GCM به کار برده می‌شوند. روش‌های دینامیکی نیازمند داده‌های عظیم، استفاده از ابر رایانه‌ها، زمان و هزینه بسیار زیادی را برای چشم‌انداز داده‌های آتی می‌باشند و به طور کلی صحت مدل‌های دینامیکی بیشتر از مدل‌های آماری است اما بایستی توجه داشت که هیچ مدل دینامیکی بی‌نیاز از مدل آماری تکمیل‌کننده آن نیست و نهایتاً برای تبدیل داده‌های شبکه‌ای به

سناریوهای انتشار

به طور کلی یک سناریوی غیر اقلیمی حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی - اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است که به آن سناریوی انتشار نیز گفته می‌شود. هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم IPCC و سازمان جهانی هواشناسی (WMO) وظیفه شناخت تمام جنبه‌های پدیده تغییر اقلیم را عهده دار هستند، در همین راستا سناریوهای جدید RCPs در سال ۲۰۱۰ با هدف مهیا نمودن مجموعه‌ای از اطلاعاتی که بتوان برای مدل‌های گردش کلی اعمال کرد منتشر شد (IPCC, 2014) و بابائیان، (۱۳۹۳). مدل‌های گردش کلی از نتایج این سناریوها برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کنند. سناریوی خانواده RCP شامل ۴ سناریوی مختلف است که عبارتند از: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 و RCP8.5 که بر اساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده است که در هر شرایط

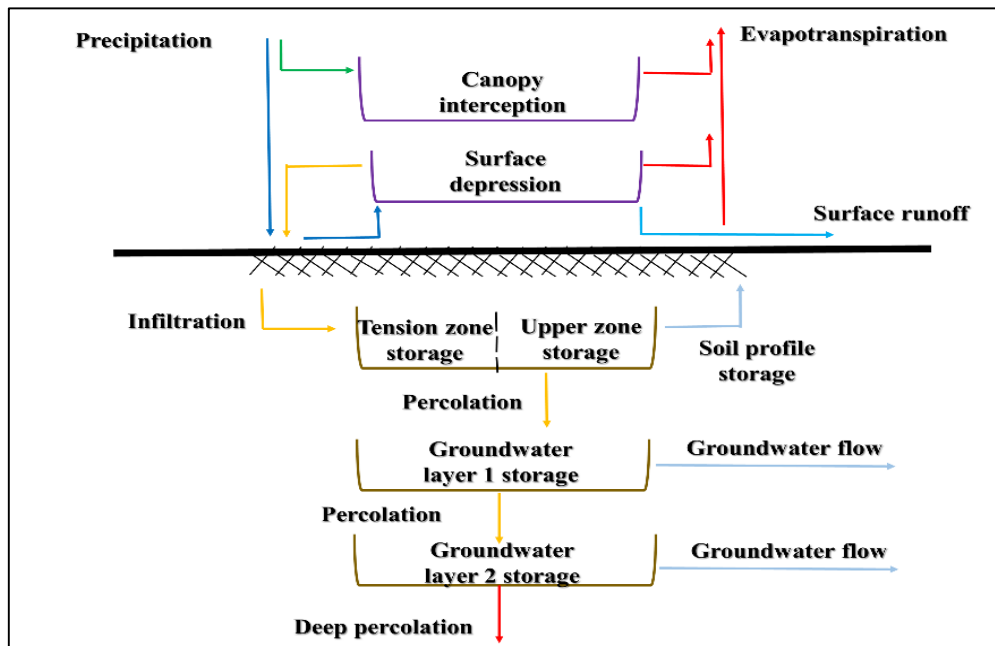
هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود (Xu et al., 2005; Van Roosmalen et al., 2007). در روش عامل تغییر برای به دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (۲۰۰۰-۱۹۷۱) در بارش ضرب و به دما اضافه یا کم می‌شوند (Zahabiyouun et al., 2013).

مدل HEC-HMS

مدل HEC-HMS جهت شبیه سازی بارش-رواناب به عنوان مدل مفهومی و نیمه توزیعی است که به صورت تک واقعه ای و پیوسته کاربرد دارد. مدل های تک واقعه‌ای در طی زمان بارندگی خاصی، سیستم هیدرولوژیکی را شبیه سازی کرده، رواناب را محاسبه می‌کنند و پس از پایان آن زمان دیگر روانابی مشاهده نمی‌شود. اما در مقابل مدل هایی نیز وجود دارد که می‌تواند رفتار شرایط خشک و تر حوضه را شبیه سازی می‌کند، در هیدرولوژی مهندسی، چنین مدل هایی، به مدل های پیوسته معروف‌اند. مدل پیوسته موجود در HEC-HMS مدل احتساب کننده رطوبت خاک^۱ می‌باشد که قادر است تغییرات مقدار رطوبت خاک را بین رویداد های بارندگی در زمان های مختلف شبیه سازی کند (Bennett, 1998). این مدل حرکت آب و ذخیره آن را در گیاهان، سطح خاک، عمق خاک و لایه های زیرزمینی شبیه سازی کرده و با داشتن مقدار بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل، مدل جریان سطحی، جریان آب زیرزمینی و تلفات ناشی از آن را روی کل حوضه آبریز محاسبه می‌کند (موسوی ندوشنی و داننده فر، ۱۳۸۱). در این تحقیق شبیه سازی پیوسته مدنظر بوده است و بنابراین برای محاسبه با تلفات از روش SMA که شامل الگوریتم محاسبه رطوبت خاک است و برای شبیه سازی ارتباط طولانی مدت بین بارش، رواناب، ذخیره، تبخیر و تعرق و تلفات خاک در حوضه است، استفاده می‌شود (HEC-HMS manual, 2013; 2007) (شکل ۲). از روش هیدروگراف کلارک برای تبدیل بارش به رواناب استفاده شد و برای محاسبه جریان پایه از روش فروافتادگی استفاده می‌شود. به علت محدودیت مدل در شبیه سازی پیوسته برای واسنجی خودکار مدل، واسنجی به صورت دستی

ریزترین مقیاس نیاز به ریز مقیاس نمایی و یا پس پردازش آماری می‌باشد. بدین منظور در این مطالعه از دو روش ریز مقیاس نمایی آماری SDSM و عامل تغییر استفاده شد. با استفاده از مدل‌های آماری، متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس مانند میانگین تراز سطح دریا، باد منطقه‌ای، دما، ارتفاع ژئو پتانسیل و ... به متغیرهای اقلیمی محلی مانند دما، بارش و رطوبت مشاهداتی ارتباط داده می‌شود، این هدف با روابط آماری و تجربی حاصل می‌شود (Wetterhall et al., 2006). مدل SDSM در تحقیقات بسیاری جهت ریز مقیاس نمایی برخی متغیرهای مهم نظیر دما و بارش برای چشم انداز پاسخ‌های هیدرولوژیکی در مطالعات تغییر اقلیم به کار برده شده است (برای مثال Saraf and Regulwar, 2016 و کوهی ثنائی نژاد، ۱۳۹۲). این مدل با ترکیب میان رگرسیون چندگانه خطی و مولدهای آب و هوایی تصادفی گسترش داده شده است (Wilby and Harris, 2006). در ابتدا به منظور واسنجی و صحت یابی مدل SDSM، متغیرهای بزرگ مقیاس منطقه مطالعاتی در مقیاس روزانه در دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ (متغیرهای حاصل از NCEP) به عنوان متغیرهای مستقل و بارندگی و میانگین دما روزانه مشاهداتی، به عنوان متغیرهای وابسته بطور جداگانه وارد مدل می‌شوند. سپس نتایج بدست آمده از مدل با مقادیر مشاهده شده مقایسه و نحوه عملکرد مدل ارزیابی می‌شود. با استفاده از نتایج بدست آمده در دوره تنظیم مدل و با استفاده از داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های GCM، سناریوهای بارش و دمای منطقه برای دو دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تولید می‌شوند. با استفاده از این سناریوها می‌توان به تخمین تغییرات اقلیمی دوره مطالعاتی آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰) منطقه مطالعاتی پرداخت (Wilby and Dawson, 2007). در روش عامل تغییر به طور معمول نسبت‌های ماهانه برای سری‌های تاریخی به دست می‌آید. ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم برای دما و بارش تولید می‌شود. لذا برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر اختلاف برای دما و نسبت برای بارندگی متوسط بلند مدت هر ماه در دوره آینده ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و دوره شبیه سازی شده پایه با استفاده از همان مدل (۲۰۰۰-۱۹۷۱) برای

صورت گرفت و پارامترها به صورت سعی و خطا وارد مدل شدند.



شکل ۲. الگوریتم کاری مدل احتساب کننده رطوبت خاک (Bennett, 1998)

تولید و تامین آب، طرح و برنامه ریزی های آبیاری و مدیریت کیفی و کمی آب، تولید برق و بررسی افزایش جریان های کمی می باشد. مهم ترین شاخص های جریان کمینه که از منحنی تداوم جریان به دست می آیند، عبارتند از: Q75، Q80، Q90 و Q95. به طور مثال شاخص Q95 دبی است که ۹۵ درصد دوره آماری دبی ها بزرگ تر از آن هستند (اسلامیان و همکاران، ۱۳۹۰). جزئیات ساخت منحنی های تداوم جریان و مفاهیم و تفسیر آنها در بسیاری از منابع بیان شده است (e.g. Searcy, 1959; McMahon and Mein, 1986).

شاخص های سری جریان کمینه سالانه

برعکس منحنی تداوم جریان که نسبت زمانی است که یک جریان فراتر رفته است، یک منحنی فراوانی جریان کمینه (LFFC)^۲ نسبت سال‌هایی که یک جریان فراتر می‌رود را نشان می‌دهد (یا میانگین بازه‌ها در سال که یک رودخانه زیر یک دبی مشخص می‌افتد). در آمریکا معمول ترین شاخص

شاخص منحنی تداوم جریان

یک منحنی تداوم جریان (FDC)^۱ یکی از مفیدترین روش های نمایش محدوده‌ی کاملی از دبی های جریان کمینه تا جریان های سیلابی است، منحنی تداوم جریان رابطه بین مقدار دبی معین و درصد زمانی را که این دبی برابر یا از حد معینی فراتر می‌رود، نشان می‌دهد و شکل منحنی تداوم جریان، شاخصی از شرایط هیدرولوژیک حوضه آبریز است، اگر شیب بخش جریان کم منحنی تداوم جریان کوچک باشد جریان کم پایدار بوده و شیب تندتر بیانگر جریان پایه متغیر و کم است (Reilly and Kroll, 2003). می‌توان منحنی تداوم جریان را با استفاده از زمان‌های ثبت داده‌های جریان مختلف به صورت سالانه، ماهانه و روزانه ساخت (اسلامیان و همکاران، ۱۳۹۰). منحنی تداوم جریان ساخته شده بر اساس داده‌های روزانه جزئیات بیشتری از مشخصه تداوم جریان را در یک رودخانه فراهم می‌کند. از کاربردهای فراوان منحنی تداوم جریان در کارهای مهندسی، مدیریت منابع آب،

^۲ Low Flow Frequency Curve

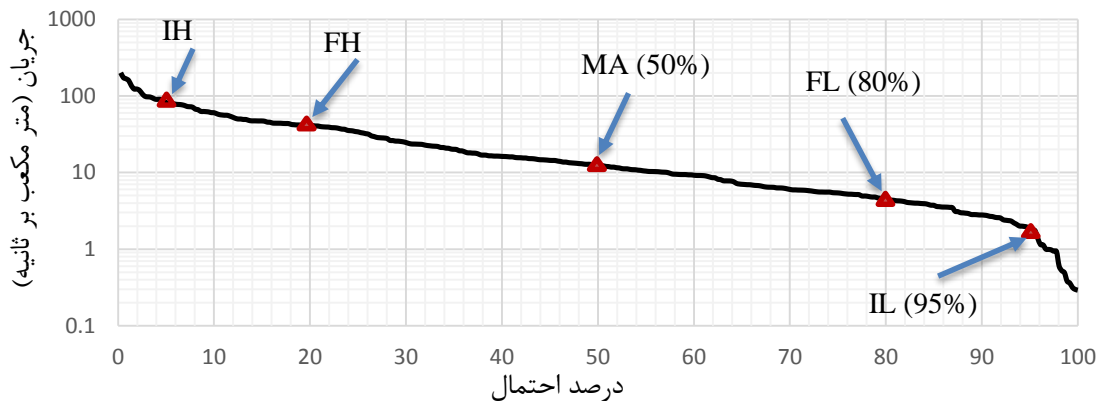
^۱ Flow Duration Curve

کمینه و اشکال توابع توزیع شامل انواع توزیع‌های ویبول، گامبل، پیرسون تیپ ۳ و لوگ نرمال دارند.

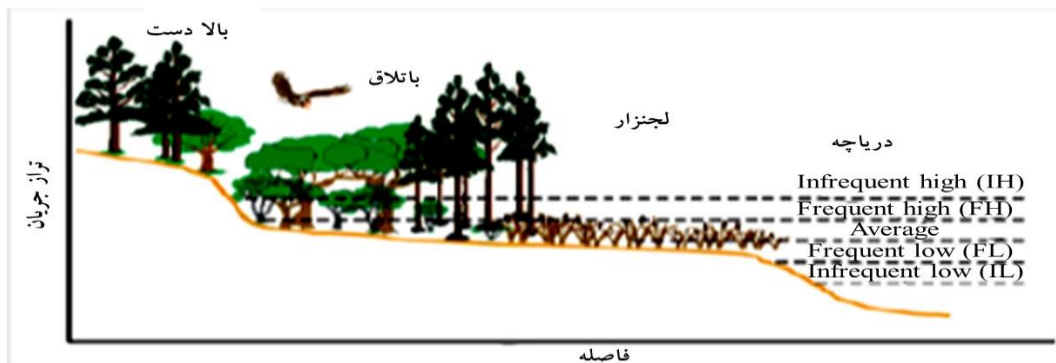
انتخاب جریان کمینه

انتخاب جریان کمینه با دو روش متفاوت انجام می‌گیرد که یکی از آنها روش 7Q10 (Riggs et al., 1980; Telis, 2007) و دیگری روش FL (Ouyang, 2012). در اصل روش FL یکی از ۵ گروهی است که برای مینم جریان‌ها و یا ترازهای مدیریت رودخانه St. Johns در فلوریدا استفاده شده است. MFLs^۱ حداقل جریان‌ها یا ترازهایی هستند که احتیاج است تا از آسیب‌های جدی به منابع آب در نتیجه برداشت آب ممانعت کنند و به پنج گروه جریان زیر تقسیم شده است (Neubauer et al., 2008) (شکل ۳ و ۴). اولین گام در انتخاب جریان کمینه با روش FL فراهم کردن داده دبی بلند مدت است و سپس ایجاد منحنی FDC است. وقتی منحنی FDC ساخته شود یک جریان کمینه از آن بدست می‌آید. این جریان کمینه در دامنه پیشنهادی Laaha و Bloschi (۲۰۰۷) است. این محققان بیان کرده‌اند که جریان کمینه می‌تواند از منحنی FDC در محدوده ۷۰ تا ۹۹٪ انتخاب شود. در این تحقیق از گروه‌هایی MFLs روش FL به عنوان معیاری برای انتخاب جریان‌های کمینه بر اساس دلایل زیر استفاده شده است: ۱. روش 7Q10 برای شرایط شدید جریان کمینه که بین ۹۵ تا ۹۹٪ زمان منحنی تداوم جریان مناسب است. این شرایط معمولاً در طی خشکسالی شدید با مدت کوتاه و دوره بازگشت بسیار زیاد اتفاق می‌افتد. ۲. روش FL در دامنه انتخاب جریان کمینه است و گروه‌های FL اثرات جریان کمینه روی دشت سیلابی، زندگی جانوری و گیاهی و اکوسیستم‌ها را به روشنی معین می‌کنند.

مورد استفاده شده، جریان کمینه ۷روزه ۱۰ ساله (7Q10) و جریان کمینه ۷روزه ۲ ساله (7Q2) هستند که به عنوان کمترین میانگین جریان‌هایی که برای ۷ روز پی در پی اتفاق می‌افتد در دوره بازگشت‌های ۲ و ۱۰ ساله معرفی می‌شوند، برخی مطالعات به دیگر شاخص‌هایی مثلاً 3Q20 (Hutson, 1988) اشاره می‌کنند. برای به حداقل رساندن تاثیر نوسانات جریان کمینه اغلب آنرا به صورت کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی در طول یک سال تعریف می‌کنند (میرزاحسینی و همکاران، ۱۳۸۹). یعنی جریان کم d روزه در یک سال، کمترین مقدار میانگین های متحرک d روزه جریان های روزانه در آن سال است (Smakhtin, 2001). شبیه منحنی تداوم جریان، LFFC هم با استفاده از مینیمم بازه‌های میانگین مختلف سری‌های جریان ساخته می‌شود، در نمونه داده‌های روزانه، مینیمم ۱، ۳، ۷، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ یا ۱۸۳، ۲۷۳ و ۲۸۴ روزه می‌تواند تحلیل شود (Riggs et al., 1980; Musiaka et al., 1984; McMahan and Mein, 1986; FRENDA, 1989; Zalants, 1992; Harris and Middleton, 1993). داده‌های جریان مشاهده شده در دسترس برای قابلیت اعتماد فراوانی رویدادهای جریان کمینه، ناکافی هستند و بنابراین از انواع مختلف توابع توزیع تئوریک به منظور برون یابی فراتر از محدوده داده‌های مشاهده شده و ارتقاء صحت تخمین جریان کمینه استفاده می‌شود. توزیع‌های احتمالاتی مناسب برای جریان‌های کمینه ناشناخته و نامعلوم هستند و مشکلات معمول، تعیین یک تابع توزیع منطقی و کمی کردن پارامترهای آن است (Smakhtin, 2001). این فرایند شامل برازش چندین تابع توزیع تئوریک به داده‌های مشاهده شده جریان کمینه و تصمیم گیری بر اساس آزمون‌های آماری و گرافیکی می‌باشد که بهترین توزیع را به داده‌ها ارتباط دهد. در میان توابع توزیع، تعداد مقالاتی اشاره پرتکراری به جریان‌های



شکل ۳- منحنی تداوم جریان (FDC) مربوط به برنامه ریزی مینیمم جریان یا ترازها (MFLs) (Ouyang, 2012)



شکل ۴- ترازهای جریان و MFLs (Neubauer et al., 2008)

بارش ۴ ایستگاه موجود و داده‌های دمای ایستگاه کرمانشاه و همچنین داده‌های مشاهداتی دبی ایستگاه هیدرومتری قره باغستان استفاده شد. مدل برای دوره ۱۹۹۳-۱۹۹۶ (سال‌های ۹۳، ۹۴، ۹۵ و ۹۶) واسنجی و برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۸ (سال‌های ۸۸، ۸۹ و ۹۰) مورد صحت سنجی قرار گرفت. مقادیر ضریب تعیین (R^2) و نش (ENS) شبیه سازی جریان روزانه، میانگین ماهانه و میانگین فصلی در جدول ۴ آمده است. همچنین هیدروگراف جریان مربوط به دوره‌های

بحث و نتایج

نتایج واسنجی و ارزیابی مدل HEC-

HMS

پارامترهای متعددی جهت واسنجی مدل انتخاب گردیده است این پارامترها با توجه به تحقیقات قبلی در زمینه واسنجی مدل HEC-HMS انتخاب گردیده‌اند. جدول ۳ مقدار بدست آمده برای پارامترهای بهینه شده در مرحله واسنجی را نشان می دهد. برای واسنجی مدل از داده‌های

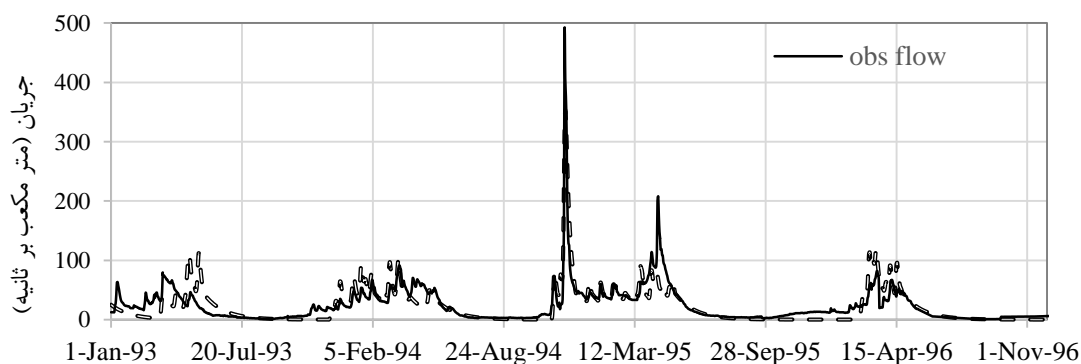
واسنجی و صحت سنجی مدل در شکل‌های ۵ و ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۳- مقدار نهایی پارامترهای بهینه شده برای حوضه قره سو

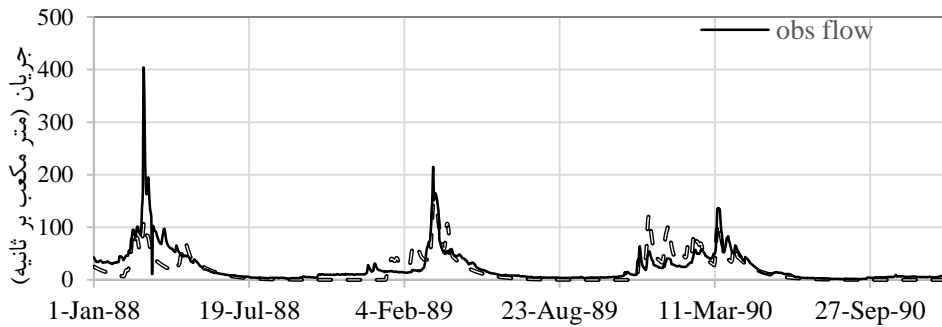
پارامتر	مقدار بهینه شده	پارامتر	مقدار بهینه شده
Baseflow Initial Flow (m ³ /s)	۲۵/۹۸۶	Groundwater 2 Initial Storage (%)	۳۰
Baseflow Threshold Flow (m ³ /s)	۴۴/۳۴	Groundwater 2 Percolation Rate (mm/hr)	۰/۰۱۰۳۵
Canopy Capacity (mm)	۱۴۱/۶۶	Groundwater 2 Storage Coefficient (hr)	۳۸۸/۲۴
Canopy Initial Storage (%)	۰/۴۳۸۱۶	Recession Constant (cte)	۰/۹۶۶۳۷
Clark Storage Coefficient (hr)	۱۵۹/۹۳	Soil Capacity (mm)	۱۱۴/۵
Clark Time of Concentration (hr)	۸۱/۴۲۴	Soil Infiltration Rate (mm/hr)	۴/۳۶۱
Groundwater 1 Capacity (mm)	۶۶/۱۱۲	Soil Initial Storage (%)	۵
Groundwater 1 Initial Storage (%)	۲۰	Soil Percolation Rate (mm/hr)	۳/۶۳۸
Groundwater 1 Percolation Rate (mm/hr)	۰/۶۴۲۹	Surface Capacity (mm)	۱۳/۱۲
Groundwater 1 Storage Coefficient (hr)	۴۰/۱۳۳	Surface Initial Storage (%)	۰/۸۰۱
Groundwater 2 Capacity (mm)	۹/۹۷۷۳	Tension Zone Capacity (mm)	۶۷/۳۲

جدول ۴- نتایج حاصل از واسنجی و ارزیابی مدل HEC-HMS برای حوضه قره سو

دوره	معیار	روزانه	ماهانه	فصلی
واسنجی ۱۹۹۳-۱۹۹۶	R ²	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۸۰
	E _{NS}	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۷۴
صحت سنجی ۱۹۸۸-۱۹۹۰	R ²	۰/۶	۰/۶۷	۰/۷۱
	E _{NS}	۰/۵۷	۰/۶۴	۰/۶۵



شکل ۵- نتایج واسنجی مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی جریان روزانه حوضه



شکل ۶- نتایج صحت‌سنجی مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی جریان روزانه حوضه

مناسب‌تر دوره آینده با توجه به ایستگاه‌های مطلوب می‌باشد. همچنین در جدول ۷ عملکرد شبیه‌سازی جریان روزانه حوضه در دوره پایه با مدل CanESM2 بررسی شده‌است. ذکر این نکته خالی از لطف نیست که این ارزیابی فقط برای مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM قابل اجراست، چرا که در روش عامل‌تغییر داده‌ها بارش و دما به صورت میانگین ماهانه هستند و نمی‌توان داده‌های جریان روزانه حوضه را در دوره تاریخیچه‌ای برای مدل گردش کلی تعیین کرد.

بررسی عملکرد مدل CanESM2 در شبیه‌سازی داده‌های گذشته

کارایی مدل CanESM2 در چشم‌انداز هر دو پارامتر دما و بارش با استفاده از هر دو روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM و عامل‌تغییر در جدول ۵ و ۶ ارائه شده‌است، با توجه به مدل SDSM دو ایستگاه روانسر و جلوگیره به علت داشتن مقادیر ضرایب نامطلوب در دوره صحت‌سنجی، برای تصویر شبیه‌سازی آینده حذف شده‌اند. علت این امر کمک به شبیه‌سازی

جدول ۵- عملکرد مدل CanESM2 با مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM

ایستگاه	بارش			
	R^2 (واسنجی)	ENS (واسنجی)	R^2 (صحت‌سنجی)	ENS (صحت‌سنجی)
کرمانشاه	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۷۰
ماهیدشت	۰/۵۱	-۲/۰۹	۰/۷۱	۰/۵۶
روانسر	۰/۴۹	-۲/۶۶	۰/۱۹	-۷/۴
جلوگیره	۰/۰۱	-۹۶	۰/۰۰۱	-۱۴۳
دما				
کرمانشاه	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸

جدول ۶- عملکرد مدل CanESM2 با روش عامل‌تغییر

ایستگاه	بارش	
	R^2	ENS
کرمانشاه	۰/۹۴	۰/۹۲
ماهیدشت	۰/۸۶	۰/۷۹
روانسر	۰/۹۱	۰/۷۵
جلوگیره	۰/۸۹	۰/۷۸
دما		
کرمانشاه	۰/۹۹	۰/۹۹

جدول ۷- عملکرد مدل CanESM2 در شبیه سازی جریان روزانه تاریخچه‌ای حوضه با مدل SDSM

مدل	R ²	ENS	میانگین مشاهداتی	میانگین شبیه سازی شده
CanESM2	۰/۶۷	۰/۶۴	۲۳/۸	۲۰/۲

نتایج سناریوهای تغییر اقلیم

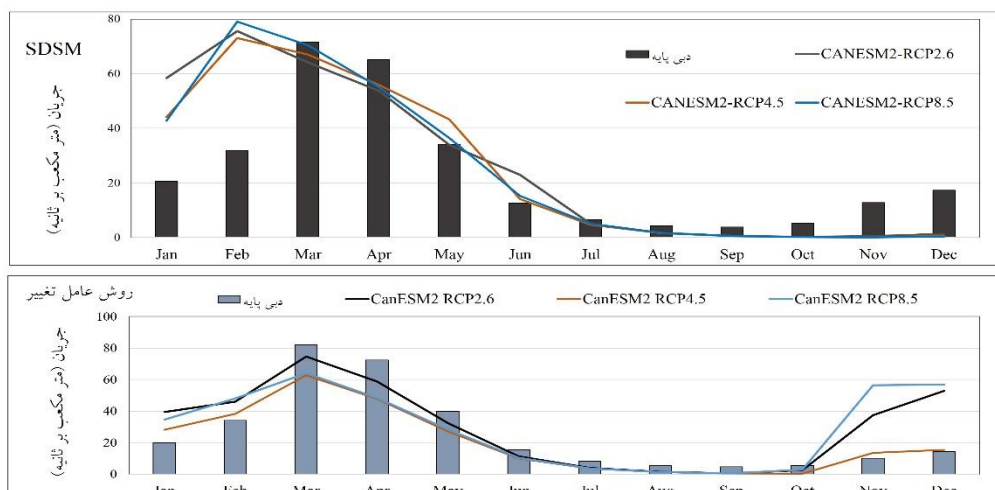
شکل ۷ مقایسه‌ای را بین میانگین جریان ماهانه آینده و دوره مشاهداتی پایه با دو روش ریز مقیاس نمایی مختلف نمایش می‌دهد. خروجی‌های بارش و دمای مدل CanESM2 حاصل از روش آماری SDSM به مدل بارش-رواناب واسنجی شده HEC-HMS خورانده شد و مقادیر رواناب دوره آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰) در ایستگاه هیدرومتری قره باعستان بدست آمد که نتایج و تغییرات میانگین ماهانه جریان آینده و جریان دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۰) در جدول ۸ آمده

است. از خروجی‌های این جدول می‌توان به این موضوع پی برد که همه‌ی سناریوها کاهش جریان را در فصول خشک شامل ماه‌های جولای، اوت و سپتامبر (تابستان) شبیه سازی نموده‌اند. در هر سه سناریو میانگین جریان سالانه با کاهش مواجه خواهد شد، همچنین کاهش جریان در طی دوره‌های جریان کمینه (تابستان و پاییز) برای همه‌ی سناریوها مشهود است، این موضوع تایید کننده نتایج تحقیقات ریو و همکاران (Ryu et al., 2011) و هوانگ و همکاران (Huang et al., 2013) می‌باشد. علاوه بر این در فصول زمستان (ژانویه و فوریه) جریان با افزایش مواجه خواهد شد.

جدول ۸- تغییرات میانگین ماهانه جریان (متر مکعب بر ثانیه) در دوره آینده با مدل SDSM

ماه	جریان پایه	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
ژانویه	۲۰/۵	۵۸/۴ (۱۸۴)	۴۴/۱ (۱۱۵)	۴۲/۷ (۱۰۸)
فوریه	۳۱/۹	۷۵/۶ (۱۳۷)	۷۳ (۱۲۹)	۷۹ (۱۴۸)
مارس	۷۱/۴	۶۴/۱ (-۱۰)	۶۷ (-۶)	۷۰/۴ (-۱)
آوریل	۶۵/۱	۵۳/۷ (-۱۸)	۵۵/۹ (-۱۴)	۵۵/۱ (-۱۵)
می	۳۴/۲	۳۳/۹ (-۱)	۴۳/۳ (۲۷)	۳۶/۵ (۷)
ژوئیه	۱۲/۵	۲۲/۹ (۸۳)	۱۴/۱ (۱۳)	۱۵/۳ (۲۲)
جولای	۶/۵	۵ (-۲۳)	۴/۷ (-۲۷)	۵ (-۲۳)
اوت	۴/۳	۱/۷ (-۶۰)	۱/۶ (-۶۲)	۱/۷ (-۶۰)
سپتامبر	۳/۸	۰/۶ (-۸۴)	۰/۶ (-۸۴)	۰/۶ (-۸۴)
اکتبر	۵/۳	۰/۲ (-۹۶)	۰/۲ (-۹۶)	۰/۲ (-۹۶)
نوامبر	۱۲/۸	۰/۵ (-۹۶)	۰/۱ (-۹۹)	۰/۱ (-۹۹)
دسامبر	۱۷/۳	۱/۳ (-۹۳)	۰/۶ (-۹۶)	۰/۴ (-۹۸)
سالانه(%)		-۶/۵	-۱۷	-۱۶

واحد داخل پرانتزها درصد (%) می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه میانگین جریان ماهانه آینده و دوره پایه با دو روش ریز مقیاس نمایی

فصل‌ها (تابستان و بهار) با کاهش روبرو خواهد شد در بین سناریوها، RCP 4.5 سناریوی شدیدتری می‌باشد و کاهش بیشتر سالانه جریان را شبیه سازی کرده است. در کل تغییرات میانگین سالانه جریان بین ۱۷- تا ۶/۵- درصد با روش آماری SDSM و ۳۰- تا ۴۰+ درصد با روش عامل تغییر می‌باشد.

همچنین جدول ۹ تغییرات میانگین ماهانه جریان دوره آینده با روش عامل تغییر را نشان می‌دهد، خروجی‌های روش عامل تغییر، تغییرات بیشتر جریان را در دوره آینده (۲۰۵۲-۲۰۴۰) نسبت به مدل SDSM در پی دارند. چنانچه جریان در ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه با افزایش و در باقی

جدول ۹- تغییرات میانگین ماهانه جریان (متر مکعب بر ثانیه) در دوره آینده با روش عامل تغییر

ماه	جریان پایه	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
ژانویه	۱۹/۹	۳۹/۴ (۹۷/۱)	۲۸/۲ (۴۰/۸)	۳۴/۶ (۷۳/۶)
فوریه	۳۴	۴۶ (۳۴/۹)	۳۸/۳ (۱۲/۴)	۴۸ (۴۰/۷)
مارس	۸۲/۱	۷۴/۵ (-۹/۲)	۶۲/۵ (-۲۳/۸)	۶۴ (-۲۲/۱)
آوریل	۷۲/۲	۵۸/۸ (-۱۸/۷)	۴۷/۸ (-۳۳/۸)	۴۸/۴ (-۳۳/۱)
می	۳۹/۹	۳۲/۴ (-۱۹)	۲۷/۱ (-۳۲/۱)	۲۸/۳ (-۲۹)
ژوئیه	۱۵/۴	۱۱/۳ (-۲۶/۷)	۹/۹ (-۳۵/۷)	۱۰/۳ (-۳۳/۵)
جولای	۸	۴ (-۵۰/۴)	۳/۵ (-۵۶/۵)	۳/۶ (-۵۵)
اوت	۵/۲	۱/۴ (-۷۳/۷)	۱/۲ (-۷۷)	۱/۳ (-۷۶)
سپتامبر	۴/۶	۰/۴ (-۹۱)	۰/۴ (-۹۱)	۰/۴ (-۹۱)
اکتبر	۵/۶	۲/۶ (-۵۴/۴)	۰/۲ (-۹۵/۳)	۲/۸ (-۵۰)
نوامبر	۱۰/۱	۳۷/۵ (۲۶۹)	۱۳/۵ (۳۳/۴)	۵۶/۳ (۴۵۵)
دسامبر	۱۴/۲	۵۲/۸ (۲۷۱)	۱۵/۴ (۸/۷)	۵۶/۸ (۳۰۰)
	سالانه (%)	۲۷/۵	-۳۰	۴۰

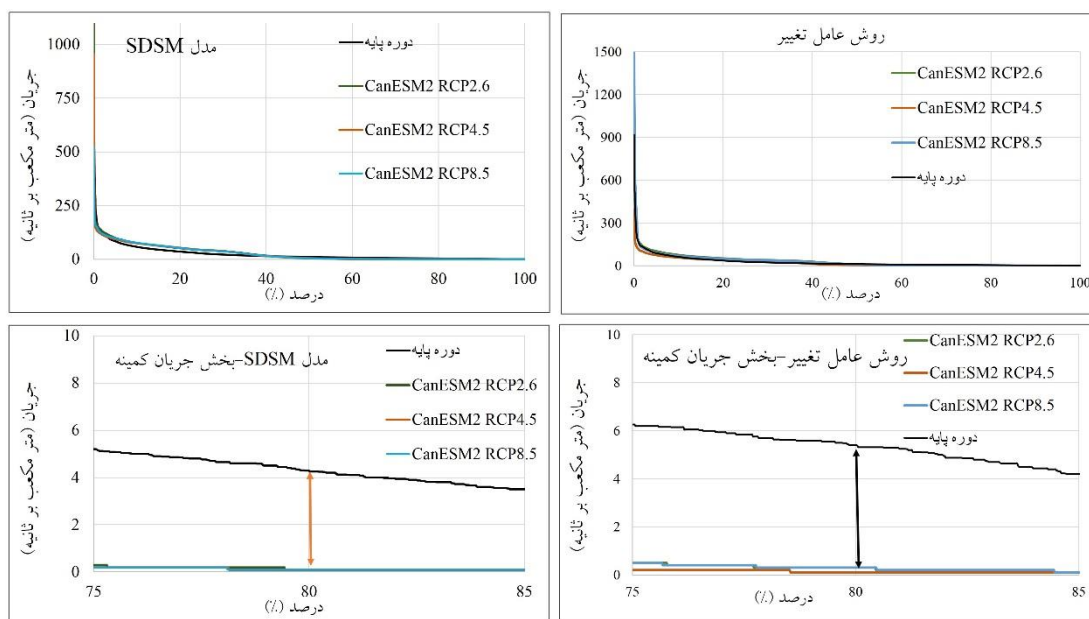
واحد داخل پرانتزها درصد (%) می‌باشد.

اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های جریان کمینه

تعیین شاخص Q80 (روش FL)

از بین شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق شاخص Q80 از منحنی تداوم جریان به دست می‌آید و بقیه شاخص‌ها به کمک تحلیل فراوانی محاسبه می‌شوند. همانطور که اشاره شد منحنی بر پایه دبی روزانه جزییات بیشتری را فراهم می‌کند. شکل ۸ منحنی FDC با جریان روزانه حاصل از دو روش ریز مقیاس نمایی را نمایش می‌دهد. همچنین بخش جریان کمینه هر منحنی به جهت نمایش جزییات بیشتر در زیر آن نمایش داده شده است. پس از اجرای مدل بارش-رواناب و حاصل شدن رواناب روزانه

حوضه برای دوره آینده مقدار شاخص Q80 با توجه به هر منحنی FDC بدست آمده است که در جدول ۱۰ این شاخص با هر دو روش ریز مقیاس نمایی با مقدار شاخص دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطور که قابل انتظار است نتایج شاخص Q80 شرایط جریان کمینه شدیدی را در دوره آینده ترسیم می‌کند چرا که این شاخص در تمامی سناریوها به مقدار ۰/۱ تا ۰/۳ متر مکعب بر ثانیه خواهد رسید، این شرایط در صورتی است که مقدار این شاخص در دوره پایه برای مدل SDSM (دوره پایه متناظر ۱۹۷۱-۲۰۰۰) ۴/۲۷ و برای روش عامل تغییر (دوره پایه متناظر ۱۹۸۳-۱۹۷۱) ۵/۴ متر مکعب بر ثانیه بود.



شکل ۸. منحنی تداوم جریان (FDC) و بخش جریان کمینه حاصل از هر دو روش ریز مقیاس نمایی

جدول ۱۰. مقایسه شاخص Q80 (متر مکعب بر ثانیه) برای دوره آینده و پایه

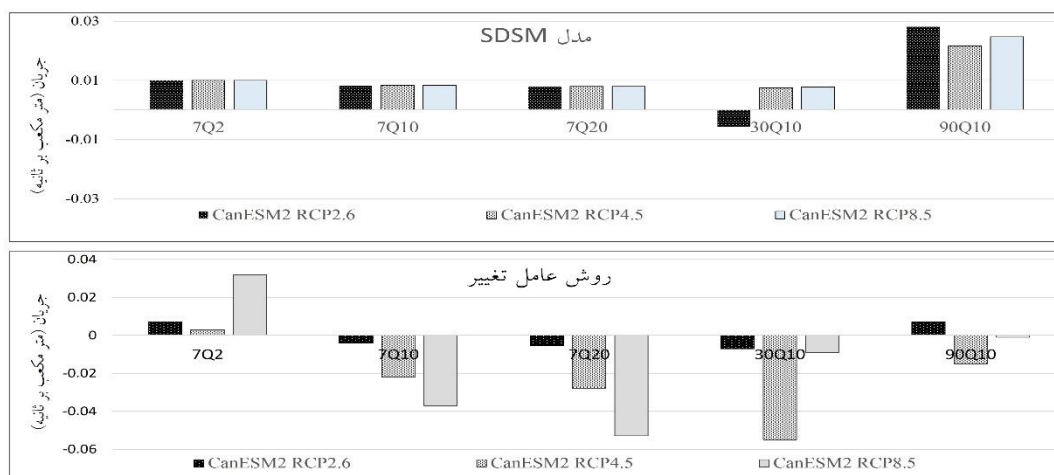
Q80	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	مقدار پایه
مدل SDSM	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۴/۲۷
روش عامل تغییر	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۵/۴

تغییرات شاخص‌های فراوانی جریان کمینه

در دوره آینده

رایج‌ترین شاخص‌های فراوانی جریان کمینه که در مطالعات مختلف آمده است در شکل ۹ با هر دو روش ریز مقیاس نمایی ارائه شده است. نتایج نشان از کاهش شدید این شاخص‌ها در دوره آینده است. بر اساس شکل ۹، شاخص‌های جریان کمینه برای دوره آینده به شدت کاهش خواهد یافت، برای مثال یکی از پرکاربردترین این شاخص‌ها، 7Q10 می‌باشد که در دوره آینده به حدود ۰/۰۰۸ متر مکعب بر ثانیه با مدل SDSM و حدود زیر صفر با روش عامل تغییر خواهد رسید، در حالی که مقدار این شاخص برای

دوره پایه مدل SDSM برابر ۰/۷۲۴ و روش عامل تغییر ۱/۴۹۳ متر مکعب بر ثانیه بود. این مقادیر نشان دهنده شرایط بسیار شدید و خشک در حوزه رودخانه در آینده است. در ادامه دوره بازگشت جریان کمینه با تداوم ۷ روزه در جدول ۱۱ ارائه شده است. مقادیر این جدول کاهش در شاخص‌ها را نمایش می‌دهند به طور مثال جریان ۷ روزه با دوره بازگشت ۲ ساله (7Q2) با مدل ریز مقیاس نمایی SDSM، در دوره پایه برابر ۲/۳۳ متر مکعب بر ثانیه بوده است که در دوره آینده به حدود ۰/۰۱ متر مکعب بر ثانیه خواهد رسید که این نتایج برای حوضه در دوزه آینده یک شرایط بحرانی و شدید را بیان می‌کنند.



شکل ۹- شاخص‌های رایج جریان کمینه دوره آینده با هر دو روش ریز مقیاس نمایی

جدول ۱۱- دوره بازگشت جریان کمینه ۷ روزه در آینده با هر دو روش ریز مقیاس نمایی

دوره بازگشت (سال)	مدل SDSM-7Q		روش عامل تغییر-7Q			
	همه RCP ها	پایه 7Q	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	پایه 7Q
۱	۰/۰۱۶	۵/۹۷	۰/۴۰۲	۰/۰۹۴	۰/۲۸۱	۷/۲۵
۲	۰/۰۱	۲/۳۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۳۲	۳/۰۴
۵	۰/۰۰۸۸	۱/۲۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۱۵	-۰/۰۱۶	۱/۹۷
۱۰	۰/۰۰۸۳	۰/۷۲۴	-۰/۰۰۴	-۰/۰۲۲	-۰/۰۳۷	۱/۴۹۳
۲۰	۰/۰۰۷۹	۰/۳۷	-۰/۰۰۵	-۰/۰۲۸	-۰/۰۵۳	۱/۱۲
۵۰	۰/۰۰۷۵	۰/۰۶۱	-۰/۰۰۶	-۰/۰۳۴	-۰/۰۶۸	۰/۷۵
۱۰۰	۰/۰۰۷۳	-۰/۱۰۶	-۰/۰۰۷	-۰/۰۳۷	-۰/۰۷۸	۰/۵۱

نتیجه گیری

ایجاد خواهد نمود. همچنین بر اساس روش FL که بر پایه حفاظت از زندگی جانوری و محیط زیست می‌باشد و بر اساس شاخص Q80 نیز باید اقدامات مدیریتی صحیح در جهت تخفیف یا از بین بردن آسیب‌ها به این جوامع زیستی صورت پذیرد. به هر حال هنوز یک ارتباط گمشده میان تغییر اقلیم و مدیریت منابع آب وجود دارد که نیازمند ارتباط بیشتر این دو موضوع است با تفسیر این جمله که "ما چه اطلاعاتی در اختیار داریم و حال چه اقداماتی باید انجام دهیم" نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان یک رویه برای مدیریت بهتر منابع آب کنونی و برنامه ریزی صحیح برای آینده کمک نماید و جوامع بشری و زیست محیطی را از آسیب‌های شدید آینده محافظت نماید یا از این مضرات بکاهد. مطالعات آینده می‌توانند بر روی عدم قطعیت مربوط به مدل‌های بارش-رواناب و پدیده جریان کمینه تحت اثر تغییر اقلیم انجام شوند و مطالعات بر روی سازگاری با تغییر اقلیم یا تخفیف بر این پدیده می‌تواند راهگشای بسیاری از مشکلات آتی باشد، همچنین تحقیق بر روی شاخص‌های جدید جریان کمینه امری جالب می‌باشد چرا که در اکثر مناطق مقادیر شاخص‌های حاضر با شدت به سوی خشکی گرایش پیدا خواهند کرد.

منابع

1. Arnell, N.W., 2004, Climate-change impacts on river flows in Britain: The UKCIP02 scenarios. *J. Chartered Inst. Water Environ. Manage.*, No. 18, pp. 112-117.
2. Babaeian, I., 2014, SRES and RCPs scenarios introduction and their characteristics, (<http://climate.mihanblog.com/post/16>) [accessed: 14 October 2016].
3. Babaeian, I., M. Zarghami, M. Kouhi, O. Babaeian, M. Karimian and R. Modirian, 2013, Water Resources Assessment over Gharaghom Catchment under Climate Change, Case Study of Daregaz Sub-basin. *Journal of Water and Soil*, Vol. 27, No. 5, pp. 907-918.
4. Bennett, T. H. and J. C. Peters, 2000, Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), ASCE Technical Publication, Volume 104, pp. 149-159.

هدف از این پژوهش، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی جریان حوضه و فراوانی جریان کمینه بود. در این راستا از مدل بارش-رواناب HEC-HMS استفاده شد تا پاسخ‌های هیدرولوژیکی به پدیده تغییر اقلیم آینده با سناریوهای RCP و مدل CanESM2 سنجیده شود. واسنجی و صحت سنجی مدل نیز انجام شد تا عملکرد مدل بارش-رواناب سنجیده شود، برای این امر شاخص‌های ضریب Nash-Sutcliffe و ضریب تعیین محاسبه شدند تا عملکرد شبیه سازی جریان ارزیابی گردد. سپس خروجی مدل CanESM2 به مدل بارش رواناب واسنجی شده خوراندند شد تا سری جریان‌های دوره آینده تولید گردد. در این پژوهش چشم انداز تغییر اقلیم در حوضه قره سو با مدل CanESM2 و سناریوهای مختلف RCP و با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی SDSM و همچنین با روش ریز مقیاسی عامل تغییر سنجیده شد. همچنین شاخص‌های فراوانی جریان کمینه و روش FL بر روی جریان‌های دوره آینده تحلیل و بررسی شدند. همچنین برای تحلیل فراوانی از توابع احتمال مختلف بهره برده شد. نتایج مهم این مطالعه به شرح زیر می‌باشد.

- نتایج نشان از کاهش شدید در شاخص 7Q10 دارد به طوری که مقدار این شاخص به حدود ۰/۰۰۸ متر مکعب بر ثانیه در مدل ریز مقیاس نمایی SDSM و حدود صفر در روش عامل تغییر در دوره آینده خواهد رسید، در حالی که مقدار این شاخص در دوره پایه برای مدل SDSM ۰/۷۲۴ و در روش عامل تغییر ۱/۴۲۹ متر مکعب بر ثانیه بود.
- همچنین شاخص Q80 که از روش FL و از منحنی FDC بدست می‌آید، به حدود ۰/۱ تا ۰/۳ متر مکعب بر ثانیه با هر دو روش ریز مقیاس نمایی در دوره آینده خواهد رسید. مقدار پایه این شاخص برای مدل SDSM ۴/۲۷ و برای روش عامل تغییر ۵/۴ متر مکعب بر ثانیه بود. در کل نتایج تاکید بر اطلاع مدیریت آب در دوره آینده از این تغییرات در رژیم جریان حوضه دارد، چرا که پدیده تغییر اقلیم بر اعتماد پذیری و کمیت منابع آب چالش‌های شدیدی

- Regional Hydrological Model. *Acta Geophysica*, Vol. 61, No. 1, pp. 151-193.
14. Hutson, S.S., 1988, Instream flow analysis and monitoring procedure for little river in eastern Tennessee. In *Water-Use Data for Water Resources Management. Proceedings of a Symposium*. American Water Resources Association, Bethesda, Maryland. 1988. pp 67-75.
 15. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual, 2000, US Army Corps Engineers Hydrologic Engineering Center, CA 95616 USA, 152 pp.
 16. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Quick Start Guide, 2013, US Army Corps Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, CA 95616 USA, 52 pp.
 17. IPCC, 2007, Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 18 pp.
 18. IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and L.A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
 19. Kouhi, M. and H. Sanaei Nejad, 2014, Evaluation of Climate Change Scenarios based on Two Statistical Downscaling Methods for Reference Evapotranspiration in Urmia Region. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, Vol. 7, No. 4, pp. 559-574.
 20. Laaha, G. and G. Blöschl, 2007, A national low flow estimation procedure for Austria. *Hydrol. Sci. J*, No. 52, pp. 625-644.
 21. Mahmood, R., S. Jia and M.S. Babel, 2016, Potential Impacts of Climate Change on Water Resources in the Kunhar River Basin, Pakistan, *Water*, Vol. 23, No. 8, pp. 1-24.
 22. McMahon, T.A., and R.G. Mein, 1986, *River and reservoir yield*, Water Resource Publication, CO., 368 pp.
 23. Mirzahoseini, M., M. Mohseni Saravi and Gh. Zehtabian, 2010, Regional analysis of low flow by hybrid method in Mazandaran
 5. Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fife, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner, 2013, Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility, In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1045-1047.
 6. De Wit, M.J.M., B. van den Hurk, P.M.M. Warmerdam, P.J.J.F. Torfs, E. Roulin and W.P.A. van Deursen, 2007, Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. *Climatic Change*, No. 82, pp. 351-372.
 7. Diaz-Nieto, J. and R. L. Wilby, 2005, A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: Impacts on low flows in the River Thames, UK. *Climate Change*, No. 69, pp. 245-268.
 8. Eslamian, S. S., M. Ghasemi and S. Soltani Gerdefaramarzi, 2012, Computation and regionalization of low flow indices and determination of hydrological drought durations in Karkhe watershed. *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci.*, Vol. 16, No. 59, pp. 1-14.
 9. Frederick, K.D., D.C. Major and E.Z. Stakhiv, 1997, *Climate Change and Water Resources Planning Criteria*, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 313 pp.
 10. FRENED, 1989, *Flow Regimes From Experimental And Network Data*, I: Hydrological Studies; II: Hydrological Data, Wallingford, UK.
 11. Hardy, J.T., 2008, *Climate change (Causes, Effects, and solutions)*, 340pp. [Editors: Khazanedari, L., M. Kouhi, Sh. Ghandhari and M. Asiaee], Papeli Publications, Mashahad.
 12. Harris, J. and B.J. Middleton, 1993, Calculations of low flows for selected South African rivers and implications for water quality, In: *Proceedings of the Sixth South African National Hydrological Symposium : "Hydrology in developing regions--the road ahead"*, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 8-10 September 1993, vol. 2, pp. 655-664.
 13. Huang, S.H., V. Krysanova and F. Hattermann, 2013, Projection of Low Flow Conditions in Germany under Climate Change by Combining Three RCMs and a

- SWAT Conference, Boulder, Colorado, August 3-7.
34. Ryu, J.H., J.H. Lee, S. Jeong, S.K. Park and K.H. Han, 2011, The impacts of climate change on local hydrology and low flow frequency in the Geum River Basin, Korea. *Hydrological Processes*, No. 25, pp. 3437-3447.
 35. Saraf, V.R. and D.G. Regulwar, 2016, Assessment of Climate Change for Precipitation and Temperature Using Statistical Downscaling Methods in Upper Godavari River Basin, India. *Journal of Water Resource and Protection*, No. 8, pp. 31-45.
 36. Searcy, J.C., 1959, Flow duration curves. United States Geological Survey, Washington, DC, Water Supply Paper 1542A, 38 pp.
 37. Smakhtin, V.U., 2001, Low flow hydrology: a review. *J. Hydrol.*, No. 240, pp. 147-186.
 38. Telis, P.A., 1992, Techniques for estimating 7-day 10-year low flow characteristics for ungauged sites on streams in Mississippi, USGS Water-Resources Investigations Report 91-4130, 143 pp.
 39. Van Roosmalen, L., B.S.B. Christensen and T.O. Sonnenborg, 2007, Regional differences in climate change impacts on groundwater and stream discharge in Denmark. *Vadose Zone Journal*, No. 6, pp. 554-571.
 40. Van Vuuren, D.P.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi and J. Weyant, 2011, A special issue on the RCPs. *Climate Change*, No. 109, pp. 1-4.
 41. Wetterhall F., A. Bardossy, D. Chen, S. Halldin and C.Y. Xu, 2006, Daily precipitation-downscaling techniques in three chinese regions. *Journal of Water Resources Research*, No. 42, pp. 1-13.
 42. Wilby R.L. and C.W. Dawson, 2007, SDSM 4.2 -A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, User Manual, 94pp.
 43. Wibly, R.L. and I. Harris, 2006, A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, Vol. 42, pp. 1-10.
 44. Xu, C.Y., 1999, Climate Change and Hydrologic Models: A Review of Existing Gaps and Recent Research Developments. *Water Resources Management*, No. 13, pp. 369-382.
 24. Musavi nadushan, S. S. and A. Danandeh mehr, 2005, Hydrologic system modeling HEC-HMS. First publication, DibaGaran Tehran art and cultural anstitute, Tehran, 280 pp.
 25. Musiake, K., Y. Takahasi and Y. Ando, 1984, Statistical analysis on effects of basin geology on river flow regime in mountainous areas of Japan, Proc, Fourth Cong. Asian and Pacific Reg. Div. Int. Assoc. Hydraul. Res., Bangkok, APD-IAHR/Asian Institute Technology, 1984, vol. 2, pp. 1141-1150.
 26. NCAR, 2008, Climate Research. The National Center for Atmospheric Research. <http://www.ncar.ucar.edu/research/climate/> [accessed: 2 February 2016].
 27. Neubauer, C.P., G.B. Hall, E.F. Lowe, C.P. Robison, B.R. Hupalo and L.W. Keenan, 2008, Minimum flows and levels method of the St. Johns River Water Management District, Florida, USA. *Environ. Manage.*, No. 42, pp. 1101-1114.
 28. Ouyang, Y., 2012, A potential approach for low flow selection in water resource supply and management. *Journal of Hydrology*, No. 454, pp. 56-63.
 29. Pyrce, R.S., 2004, Hydrological Low Flow Indices and their Uses. WSC Report No.04-2004. Watershed Science Centre, Peterborough, Ontario, 33 pp.
 30. Reilly, C.F. and C.N. Kroll, 2003, Estimation of 7-day, 10-year low-stream flow statistics using baseflow correlation. *Water Resour. Res.*, Vol. 39, No. 9, pp. 1-10.
 31. Riahi, K., S. Rao, V. Krey, C. Cho, V. Chirkov, G. Fischer, G. Kindermann, N. Nakicenovic and P. Rafaj, 2011, RCP 8.5— A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, No. 109, pp. 33-57.
 32. Riggs, H.C., J.E. Caffey, J.F. Orsborn, J.C. Schaake, K.P. Singh and J.R. Wallace, 1980, (Task Committee of Low-Flow Evaluation, Methods, and Needs of the Committee on Surface-Water Hydrology of the Hydraulics Division), Characteristics of low flows. *Journal of the Hydraulics Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, No. 106, pp. 717-731.
 33. Ryu, J.H., S.J. Jeong, S.K. Park, J.H. Lee and K.H. Han, 2009, Application of SWAT to climate-driven low flow (drought) frequency analysis, 5th International

- Impact on the Gharesou River Basin Using SWAT Hydrological Model. *Clean – Soil, Air, Water*, Vol. 41, No. 6, pp. 601-609.
47. Zalants, M.G., 1992, Low-flow frequency and flow duration of selected south Carolina streams through 1987. USGS Water- Resources Investigations Report 91-4170, 87 pp.
45. Xu, C.Y., E. Widen and S. Halldin, 2005, Modeling hydrological consequences of climate change Progress and challenges. *Adv. Atmos. Sci Journal*, No. 22, pp. 789-797.
46. Zahabiyoun, B., M.R. Goodarzi, A.R. Massah Bavani and H.M. Azamathulla, 2013, Assessment of Climate Change