

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت رواناب حوزه های مناطق خشک (مطالعه موردی: حوزه رودخانه اعظم هرات-یزد)

الهه گودرزی - دانش آموخته - دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی یزد -

elahe.goodarzi@gmail.com

محمدتقی دستورانی - دانشیار - عضو هیأت علمی دانشگاه یزد - mdastorani@yazduni.ac.ir

علیرضا مساح بوانی - استادیار - عضو هیأت علمی دانشگاه تهران - armassah@ut.ac.ir

علی طالبی - استادیار - عضو هیأت علمی دانشگاه یزد

talebisf@yazduni.ac.ir

تلفن نویسنده اصلی: 09163682694 ، پست الکترونیکی: elahe.goodarzi@gmail.com

چکیده

دما و بارش بعنوان دو عامل اصلی مؤثر بر تغییر اقلیم، در شکل گیریمناطق خشک نقش بسزایی را ایفا می کنند. این عوامل به نوبه خود با ایجاد تغییر در اقلیم منطقه تغییراتی را در وضعیت رواناب منطقه به جای می گذارند. در این تحقیق وضعیت رواناب حوزه رودخانه اعظم هرات در استان یزد که در یک منطقه خشک واقع شده است، در دوره آتی تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم مورد بررسی قرار می گیرد. به این منظور از روش ریز مقیاس نمایی تناسبی خروجی هایمدل CGCM3-AR4 تحت سناریوی انتشار A2 و یک مدل بارش - رواناب مفهومی IHACRES استفاده شده است. نتایج نشان از افزایش دما در همه ماهها و افزایش میزان رواناب در اکثر ماهها در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی داد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، IHACRES، CGCM3

اثرات پدیده تغییر اقلیم بر تغییرات هیدرولوژیکی در مناطق خشک دارای پیچیدگی هایی می باشد. دمای بالای هوا که موجب از دست رفتن رطوبت خاک و کاهش آب قابل دسترس در اراضی خشک می گردد، از یک طرف تأثیر منفی داشته و از طرفی دیگر با افزایش دی اکسید کربن جو در اثر بیابان زایی، می تواند رشد برخی گونه های گیاهی را در پی داشته باشد. تغییر اقلیم می تواند خطر بیابان زایی را در مناطق خشک افزایش دهد. خشکسالی بعنوان یکی از بلاهای طبیعی و پدیده اجتناب ناپذیر در کشورهای مختلف جهان به خصوص کشورهای استقرار یافته در مناطق خشک و نیمه خشک در اثر پدیده تغییر اقلیم تشدید یافته است. کشور ایران نیز با داشتن تنوع آب و هوایی بالا و همچنین دارا بودن وسعت بالای مناطق خشک و نیمه خشک از اثرات این پدیده در امان نمی باشد. میزان بارندگی در حوزه های مناطق خشک به کمتر از 300 میلیمتر در سال محدود می شود و اکثرا نیز بیش از 100 میلیمتر نیست که در مقایسه با تبخیر و تعرق پتانسیل که گاه به چندین متر می رسد، بسیار اندک است. در تحقیقی توسط مساح بوانی و همکاران (1384)، اثرات پدیده تغییر اقلیم را بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان تحت مدل HADCM3 و سناریو های انتشار A2 و B2 در دوره های آبی مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل ها نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما تا سال 2100 بخصوص در نیمه دوم قرن دارد. در این ارتباط شبیه سازی دبی ورودی به سد چادگان با استفاده از تکنیک شبکه عصبی، افت جریان ورودی به سد را تا 5/8 درصد نشان می دهد [1]. در تحقیق دیگری، سید قاسمی و همکاران (1385) تغییرات جریان رودخانه زاینده رود را تحت تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از داده های مدل CGCM2 تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 و یک مدل هیدرولوژیکی SWAT در آینده مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تغییرات جریان را در ماههای آوریل و می و انتقال پیک جریان را از این ماهها به ماههای مارس و ژانویه بدلیل افزایش بارش و دما نشان داد [2]. کمال و همکاران (1388) در تحقیقی عدم قطعیت مدل های AOGCM در تأثیر بر رواناب در دوره های آبی در حوزه قره سو تحت تأثیر تغییر اقلیم را مورد بررسی قرار دادند. در این راستا جهت کوچک مقیاس کردن داده های خروجی مدل های اقلیمی از روش ریز مقیاس نمایی تناسبی استفاده کردند. نتایج نشان از تأثیر بیشتر بارش و دما بر تغییرات هیدرولوژیکی حوزه و در نتیجه تغییرات رواناب در دوره آبی تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم داشته است [3]. Roulin و Gellen (1998) تأثیر تغییر اقلیم بر جریان آب در حوزه بلژیک با استفاده از خروجی های شش مدل AOGCM-TAR در هشت حوزه توسط جالز مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. تمامی مدل ها بجز دو مورد از آنها افزایش فراوانی سیلاب را نشان دادند [4]. با توجه به مطالعات اندک در زمینه بررسی وضعیت رواناب در مناطق خشک تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در تحقیق حاضر سعی شد تا تغییرات رواناب حوزه رودخانه اعظم هرات واقع در استان یزد با استفاده از خروجی های مدل CGCM3-AR4 تحت سناریوی انتشار A2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. به این منظور از روش ریز مقیاس نمایی تناسبی و یک مدل بارش - رواناب مفهومی (مدل IHACRES) استفاده شده است.

2- مواد و روشها

1-2- منطقه تحقیق و داده های مورد استفاده

حوزه رودخانه اعظم با وسعتی حدود 1017 کیلومتر مربع بین " 21'، 37°، 53 تا " 11'، 06°، 54 طول شرقی و " 59'، 47°، 29 تا " 58'، 11°، 30 عرض شمالی قرار گرفته است. این حوزه یکی از زیرحوزه های فرعی حوزه آبخیز هرات و مروست در استان یزد بوده و دارای ارتفاع متوسط حدود 2300 متر و متوسط بارندگی سالانه 291 میلی متر می باشد. در مطالعات تغییر اقلیم در ابتدا لازم است تا داده های دوره پایه

مشخص شوند. در این تحقیق داده های دوره پایه مورد استفاده شامل داده های دما و بارش متوسط روزانه حوزه و رواناب روزانه ایستگاه هیدرومتری بند پایین واقع در خروجی حوزه در دوره آماری 1982 تا 2008 می باشد. بعلت فقدان ایستگاههای مورد نظر در حوزه مطالعاتی، برای متغیر دما از داده های دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک مروست و برای متغیر بارش از داده های بارش روزانه ایستگاه بارانسنجی بند پایین و انتقال این داده ها به مرکز ثقل حوزه از طریق نسبت رقوم ارتفاع هر ایستگاه به ارتفاع متوسط حوزه استفاده شد.

2-2- مدل‌های اقلیمی و سناریوی انتشار

2-2- مدل‌های اقلیمی و سناریوی انتشار

مدل های اقلیمی از معتبرترین ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می باشند که بر پایه قوانین فیزیکی و توسط روابط ریاضی ارائه می شوند. مدل اقلیمی که در این تحقیق استفاده شده است، مدل CGCM3، زیر مجموعه ای از مدل های چهارمین گزارش ارزیابی IPCC (AR4) می باشد. خروجی های دما، بارش و رواناب حاصل این مدل در حوزه رودخانه اعظم هرات در سالهای 2010-2039 مورد بررسی و استفاده قرار گرفته است. جدول (1) مشخصات کلی این مدل را نشان می دهد (Kim و همکاران 2003) [5].

جدول (1): مشخصات مدل گردش عمومی جو موجود در پایگاه اطلاعات IPCC که در این تحقیق استفاده شده است

نام مدل	گروه مؤسس	سناریوهای شیشه	قدرت تفکیک		مرجع
			اتمسفری	اقیانوسی	
CGCM3	CCCMA (Canada)	A2 , B2	3.75°*3.75°	1.875°*1.875°	Kim,et,al(2002,2003)

2-3- ریزمقیاس نمایی تناسبی

محدودیت اصلی استفاده از خروجی مدل های AOGCM، بزرگ مقیاس بودن سلولهای محاسباتی آنها و عدم مطابقت با مدل های هیدرولوژی از لحاظ دقت زمانی و مکانی می باشد. روش های مختلفی جهت افزایش دقت زمانی و مکانی خروجی این مدل ها وجود دارد که به آنها ریزمقیاس نمایی گفته می شود. در این تحقیق از روش ریزمقیاس نمایی تناسبی جهت رفع این محدودیت استفاده شده است. در این روش به طور معمول نسبت های ماهانه برای سری های تاریخی به دست می آید. لذا ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم برای دما و بارش تولید می شود. سپس برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه 1) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه 2) برای متوسط درازمدت هر ماه در دوره آتی 2010-2039 و دوره شیشه سازی شده پایه توسط همان مدل (در اینجا دوره پایه 1982-2008 بوده است) برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می گردد (جونز و هولم¹ 1996) [6].

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM,FUT,i} - \bar{T}_{GCM,base,i}) \quad (1)$$

¹ Jones and Hulme

$$\Delta P_i = (\bar{P}_{GCM,FUT,i} / \bar{P}_{GCM,base,i}) \quad (2)$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین دراز مدت 30 ساله برای هر ماه $(1 \leq i \leq 12)$ ، $\bar{T}_{GCM, fut, i}$ میانگین 30 ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه (در اینجا 2010-2039)، $\bar{T}_{GCM, base, i}$ میانگین 27 ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (در اینجا 1982-2008) برای هر ماه می‌باشد. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار است.

پس از محاسبه سناریوهای تغییر اقلیم، از روش عامل تغییر² برای ریزمقیاس نمایی تناسبی داده‌های طرح استفاده می‌شود (دiaz نیتو و ویلیبی³ 2005، مینویل و همکاران⁴ 2008، تیر و ویلیامز⁵ 2010) [7 و 8 و 9]. در روش عامل تغییر برای به‌دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (1982-2008) افزوده می‌شود:

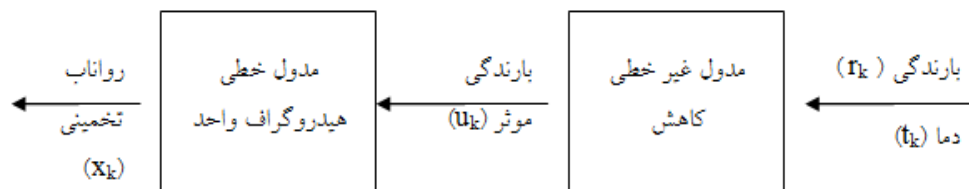
$$T = T_{obs} + \Delta T \quad (3)$$

$$P = P_{obs} * \Delta P \quad (4)$$

در رابطه (3) T_{obs} بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی (در اینجا روزانه) در دوره پایه (1982-2008)، T سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی دما در دوره آتی (2010-2039) و ΔT سناریوی تغییر اقلیم ریزمقیاس نمایی شده می‌باشد. در رابطه (4) برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد (همانند رابطه 3).

3- مدل هیدرولوژی مورد استفاده

به منظور شبیه‌سازی رواناب حوزه رودخانه اعظم با استفاده از متغیرهای اقلیمی دما و بارش حاصل از روش ریزمقیاس نمایی تناسبی، از یک مدل بارش - رواناب مفهومی بنام IHACRES که دارای قابلیت انجام محاسبات در حجم زیاد می‌باشد، استفاده گردید. این مدل توسط جکمن و هورنبرگر⁶ در سال 1993 ارائه شد [10]. اساس این روش از دو مدول غیرخطی کاهش یا تلفات و مدول خطی هیدروگراف تشکیل می‌شود. به این منظور در ابتدا بارندگی I_k و دما t_k در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی موثر u_k تبدیل شده و سپس به وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (شکل 1).



² Change Factor

³ Diaz-Nieto & Wilby

⁴ Minville, et al

⁵ Tabor and Williams

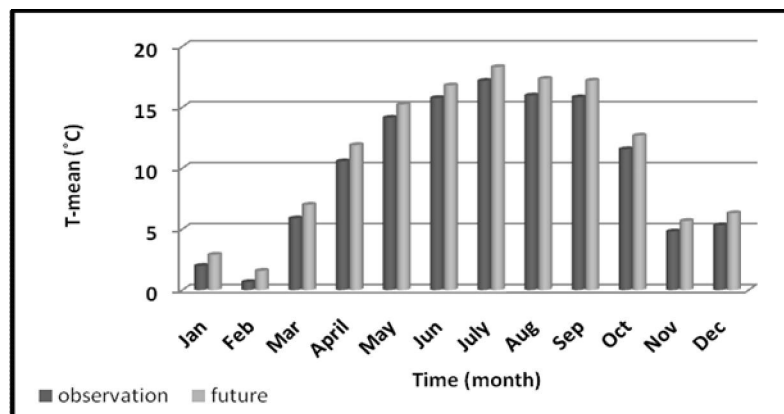
⁶ Jakeman and Hornberger

شکل 1: چگونگی شبیه‌سازی بارش - رواناب مدل IHACRES همراه با مدول‌های خطی و غیرخطی

4- نتایج و بحث

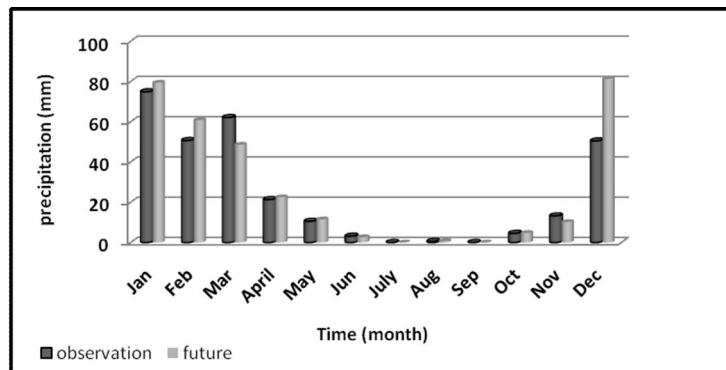
4-1- تغییرات دما و بارش

شکل‌های 2 و 3 به ترتیب نتایج حاصل از ریز مقیاس نمائی تناسبی داده‌های دما و بارش منطقه حاصل از خروجی مدل اقلیمی CGCM3 طبق روابط 3 و 4 برای دوره 2039- را 2010 نشان می‌دهد. با اضافه کردن این تغییرات به مقادیر مشاهداتی، داده‌ها به صورت روزانه برای دوره آتی ریز مقیاس شدند. در این سناریو، داده‌های روزانه در دوره آتی همان داده‌های مشاهداتی ولی تنها با یک گام افزایش نسبت به آنها هستند. همانطور که در شکل 2 ملاحظه می‌شود، مدل CGCM3 تحت روش ریز مقیاس نمایی، در همه ماه‌های دمای بیشتری را نسبت به دوره پایه تخمین می‌زند بطوری که انتظار می‌رود دمای حوزه در دوره 2039-2010، بطور متوسط حدود 1 تا 1/3 درجه سانتیگراد افزایش یابد. این افزایش برای ماه‌های زمستان و بهار حدود 1 و برای ماه‌های تابستان حدود 1/3 درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل 2: نتایج ریز مقیاس نمائی داده‌های دما به روش تناسبی در حوزه رودخانه اعظم برای دوره 2039-2010

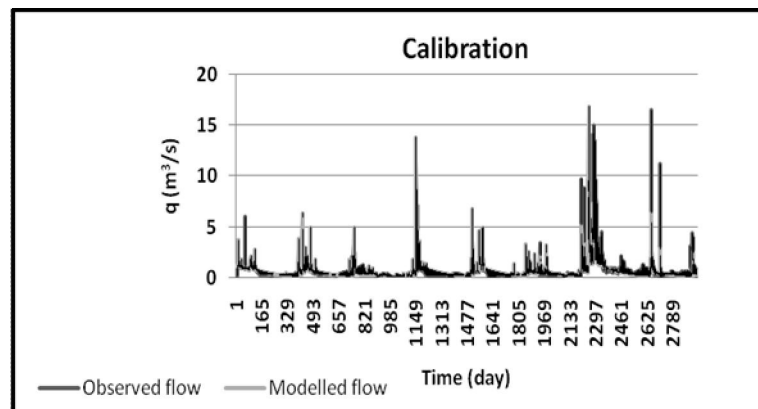
از طرف دیگر همانطور که در شکل 3 ملاحظه می‌شود، میزان تغییرات بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه از روند یکنواختی برخوردار نمی‌باشد. مدل CGCM3 در برخی ماه‌ها، میزان بارش دوره آتی را نسبت به دوره پایه بیشتر و در برخی دیگر کمتر از دوره پایه نشان می‌دهد. با این وجود می‌توان نتیجه گرفت که تحت مدل اقلیمی مورد مطالعه با روش تناسبی، حوزه در دوره 2039-2010 شاهد افزایش بارندگی عمدتاً "برای ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و آوریل و کاهش بارندگی برای سایر ماه‌های سال خواهد بود. بیشترین میزان کاهش بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه در ماه مارس اتفاق خواهد افتاد.



شکل 3: نتایج ریز مقیاس نمائی داده‌های بارش به روش تناسبی در حوزه رودخانه اعظم برای دوره 2010-2039

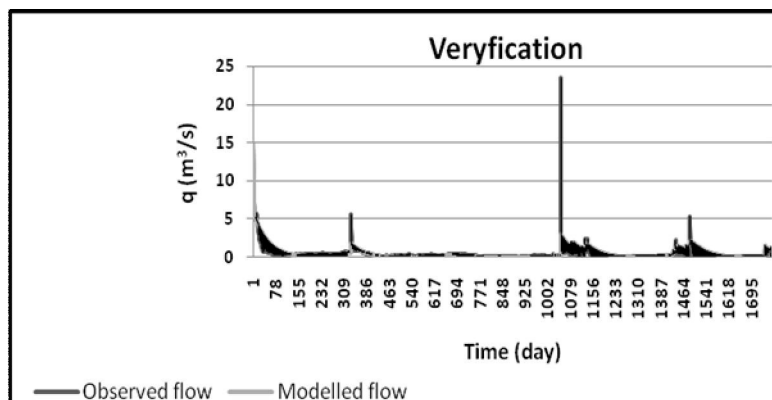
2-4- شبیه سازی رواناب

در شبیه سازی بارش- رواناب روزانه حوزه رودخانه اعظم توسط مدل IHACRES در دوره مشاهداتی (1982-2008)، بهترین دوره واسنجی و صحت سنجی برای به حداقل رساندن خطای شبیه سازی انتخاب گردید. این انتخاب براساس بالاترین ضریب تعیین R^2 و پایین ترین شاخص های خطا (RMSE و Bias) بین رواناب مشاهده ای و شبیه سازی شده صورت گرفت. اشکال 4 و 5 به ترتیب نتایج حاصل از واسنجی و صحت سنجی مدل IHACRES را نشان می دهد.



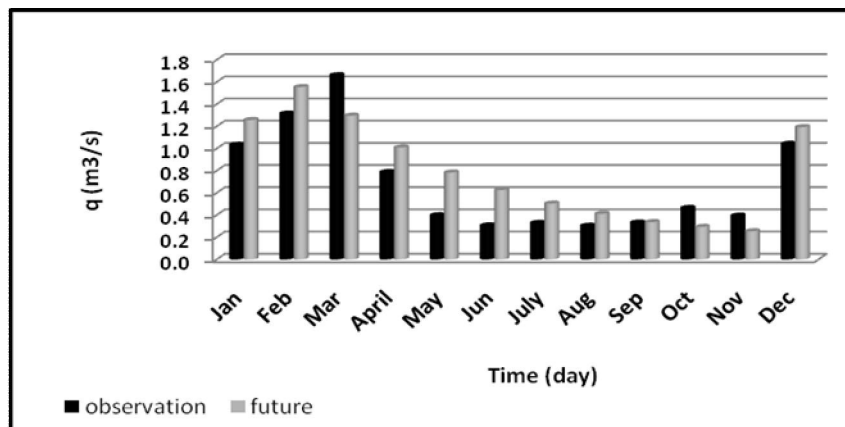
شکل 4: سری زمانی رواناب مشاهده ای و مدل شده توسط IHACRES در دوره واسنجی ($R^2=0.783$, RMSE

$=1.1$)



شکل 5: سری زمانی رواناب مشاهده ای و مدل شده توسط IHACRES در دوره صحت سنجی ($RMSE, R^2=0.687$)
($=1.3$)

با معرفی سری های زمانی مقادیر بارش و دمای حاصل از مدل CGCM3 تحت سناریوی تغییر اقلیم به مدل بارش - رواناب، سری زمانی رواناب حوزه رودخانه اعظم در دوره 2010-2039 تولید گردید. شکل 6 تغییرات بلند مدت ماهانه رواناب در دوره آتی نسبت به مقادیر دوره مشاهداتی را که حاصل از مدل بارش-رواناب IHACRES و براساس نتایج حاصل از مدل تغییر اقلیم است را نشان می دهد. در این سناریو، بجز ماههای اکتبر، نوامبر و مارس، در سایر ماههای سال افزایش میزان رواناب نسبت به دوره مشاهداتی مشاهده می شود. در فصل بهار علیرغم افزایش کم بارش تحت این سناریو، میزان افزایش رواناب در دوره آتی نسبت به دوره پایه با توجه به افزایش دما و ذوب برفها و میزان ظرفیت نفوذپذیری زمین، اتفاق می افتد.



شکل 6: روند بلند مدت میانگین رواناب ماهانه دوره 2010-2039 در مقایسه با دوره پایه تحت سناریو تغییر اقلیم ناشی از روش تناسبی

5 - نتیجه گیری

در این تحقیق وضعیت رژیم رواناب حوزه رودخانه اعظم تحت تأثیر تغییر اقلیم و با استفاده از سناریوی اقلیمی حاصل از ریزمقیاس نمائی تناسبی در دوره 2010-2039 میلادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه سازی های دما برای دوره آتی نشان از افزایش معنی دار میانگین دمای حوزه در دوره های آتی نسبت به مشاهداتی دارد. اما در رابطه با بارندگی، نتایج نشان می دهد که در تمام قسمتهای حوزه تحت سناریوی تغییر اقلیم، افزایشی در میزان بارندگی در ماههای سرد سال و برعکس کاهش در دیگر ماهها به چشم می خورد. در نهایت با توجه به شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی و خصوصیات حاکم بر حوزه مورد مطالعه که در منطقه خشک قرار گرفته است، بارندگی در کل حوزه بسته به شرایط جوی افزایش و کاهشی از خود نشان می دهد که این عامل باعث تغییراتی در میزان رواناب حوزه گردیده است. افزایش دما در

فصل زمستان و ذوب سریعتر برفها باعث افزایش میزان رواناب بیشتر در این فصل در دوره های آبی و همچنین انتقال دبی پیک جریان از اوایل بهار به اواسط فصل زمستان خواهد شد. از طرف دیگر با رشد فزاینده جمعیت و تغییرات کاربری اراضی زراعی، جنگلی و ... به مناطق مسکونی و صنعتی، احداث سازه ها و تأسیسات بدون در نظر گرفتن معیارهای فنی و نبود مدیریت کیفی و کمی منجر به مواجهه با کمبود منابع آب در دهه های آبی در منطقه خواهد شد.

6- مراجع

- [1] مساح بوانی، علیرضا و مرید، س. (1384). "اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره چهارم.
- [2] سید قاسمی، سمانه و همکاران. (1385). "ارزیابی تغییرات جریان زاینده رود بر اثر تغییر اقلیم"، دومین کنفرانس منابع آب.
- [3] کمال، علیرضا و همکاران (1388). "عدم قطعیت مدل های AOGCM و هیدرولوژیکی در تخمین رواناب تحت تاثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه قره سو)"، کنفرانس بین المللی منابع آب شاهرود.
- [4] Gellen, D. and Roulin, E. (1998). "Stream flow response of Belgian to IPCC climate change scenarios Journal of Hydrology, 210: 242-258.
- [5] Kim, S.-J., G.M. Flato, G.J. Boer, 2003: A coupled climate model simulation of the Last Glacial Maximum, Part 2: approach to equilibrium *Climate Dynamics*, **20**, 635-661.
- [6] Jones, P.D. and Hulme, M. (1996). Calculating regional climatic times series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International journal of climatology*, 16: 361-377.
- [7] Diaz-Nieto, J., Wilby, R.L., (2005), A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the River Thames, United Kingdom, *Climate change*, 2-3: 245-268.
- [8] Minville M, Brissette F, Leconte R, (2008), Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of the Nordic watershed, *Journal of Hydrology*, 358:70-83.
- [9] Tabor K and Willams J, (2010), Global downscaled climate projections for assessing the conservation impacts of climate change, *Ecological Applications* 20:554-565.
- [10] Jakeman, A. J. and Hornberger, G. M. (1993) How Much Complexity Is Warranted in a Rainfall-Runoff Model? *Water resources research.*, 29(8): 2637-2644.