

بررسی اثر تغییر اقلیم بر زمان حداکثر جریان رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه موردی رودهای کارون و دز به عنوان منابع اصلی آب کشاورزی شمال خوزستان)

حسین قربانی زاده خرازی^۱، حسین صدقی^۲، بهرام ثقفیان^۳، جهانگیر پرهمت^۴

چکیده

یکی از اثرات تغییر اقلیم، تغییر در زمان ذوب برف در حوضه‌های برف‌گیر و به دنبال آن تغییر در توزیع زمانی جریان آب در رودخانه‌هایی با رژیم برفی و هم‌چنین تغییرات برنامه‌ریزی آب آبیاری در کشاورزی است. در این تحقیق شاخص زمان پیک جریان رواناب ناشی از ذوب برف در رودخانه‌های کارون و دز که دارای رژیم بارانی و برفی هستند، محاسبه و بررسی روند آن با استفاده از آزمون روند من‌کندال انجام شد. سپس با استفاده از مدل‌های جهانی تغییر اقلیم GCM (مدل ECHAM4) با فرض دو سناریوی تغییر اقلیم، پیش‌بینی زمان پیک جریان رواناب ناشی از بارندگی و ذوب برف برای یک قرن آینده انجام شد. هدف اصلی تحقیق، مشخص کردن میزان تغییرات زمان پیک جریان رواناب ناشی از ذوب برف در رودخانه‌های کارون و دز در جهت برنامه‌ریزی مناسب برای تطبیق شرایط آینده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که زمان وقوع حداکثر دبی رودخانه‌های کارون و دز، از فصل بهار به فصل زمستان انتقال می‌یابد و این روند به طور متوسط در حوضه کارون بزرگ، حدود سه روز در هر دهه خواهد بود.

کلمه‌های کلیدی: تغییر اقلیم - ذوب برف - حوضه کارون - مدل تغییر اقلیم ECHAM4 - مدل GCM.

۱- دانشجوی دکترای تخصصی آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

E-Mail: h_ghorbanizadeh@yahoo.com

۲- استاد و مدیر گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- دانشیار مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، وزارت جهاد کشاورزی

۴- استادیار مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، وزارت جهاد کشاورزی

تاریخ دریافت: زمستان ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش: بهار ۱۳۸۷

در حوضه‌های کوهستانی و برف‌گیر، ذوب برف و رواناب ناشی از آن عامل مهم تغییرات رژیم جریان است و سهم عمده‌ای را در تولید جریان و منابع آب دارا می‌باشد. پیش بینی توزیع زمان پیک جریان رواناب ناشی از ذوب برف با توجه به اقلیم در عرصه‌های مختلفی کاربرد دارد از جمله تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، مدیریت مخازن تولید برقابی، پیش بینی خشک‌سالی، کیفیت آب و

تغییر اقلیم پدیده‌ای انکار ناپذیر است. بررسی تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب و به طور خاص بر رواناب حاصل از برف، می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های راهبردی آینده منابع آب و کشاورزی باشد. بدون توجه به این واقعیت که اقلیم در حال تغییر است نمی‌توان برنامه‌ریزی واقع بینانه‌ای را در زمینه بهره‌برداری از منابع آب انجام داد.

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که در اکثر نقاط دنیا تغییر اقلیم باعث افزایش دما و کاهش بارندگی و افزایش وقایع حدی و افزایش بی‌نظمی در این پدیده‌ها است. همچنین در اثر تغییر اقلیم مقادیر بارش برف کاهش می‌یابد و طول دوره ریزش برف زودتر به اتمام می‌رسد؛ به همین دلیل حجم رواناب در زمستان افزایش می‌یابد و دبی در بهار کاهش خواهد یافت.

Maurer (2006) زمان جریان رودخانه‌ای ناشی از ذوب برف که با شاخص CT (Centre Timing) نمایش داده می‌شود را در منطقه سریا نوادای آمریکا مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که تغییرات در شاخص زمان جریان رودخانه‌ای ناشی از ذوب برف در قرن ۲۱ متجاوز از ۴۵ روز خواهد بود.

Stewart (2004) زمان جریان رواناب حاصل از ذوب برف در شمال غربی آمریکا را تحت شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی کرد. طبق این پیش‌بینی با استفاده از مدل‌های اقلیمی با توجه به تغییر دما و بارش در قرن ۲۱ در مناطق مورد بررسی رواناب ناشی از ذوب برف که در رودخانه‌ها به جریان می‌افتد حدود ۳۰ تا ۴۰ روز زودتر جاری می‌شود.

Payen (2002) نتیجه گرفت که تغییرات اقلیم در حوضه رودخانه کلمبیا با استفاده از مدل RCM برای پیش‌بینی در دوره‌های ۲۰۴۰ - ۲۰۶۰، باعث افزایش دمای ۱/۲ و کاهش بارش به میزان ۳ درصد خواهد شد. همچنین افزایش رواناب در زمستان و کاهش رواناب در فصل‌های دیگر پیش‌بینی شد. Miller (2004) با در نظر گرفتن شرایط تغییر اقلیم در حوضه‌های رودخانه‌های ایالت کالیفرنیا آمریکا پیش‌بینی کرد که تا پایان قرن حاضر ذوب برف هر سال زودتر آغاز می‌شود و ذخایر برف زمستانه به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.

داده‌ها و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز کارون بزرگ در جنوب غربی ایران واقع است و شامل دو حوضه کارون و دز می‌باشد. رود کارون بزرگ از مرتفع‌ترین قله سلسله جبال زاگرس در زردکوه بختیاری و دنا سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه، منبع اصلی آب کشاورزی در بسیاری از اراضی مستعد خوزستان است و از این جهت دارای اهمیت بسیار می‌باشد.

دو شاخه عمده آن (کارون و دز) پس از طی مسیرهای پر پیچ و خم کوهستانی به طور جداگانه وارد دشت خوزستان شده و در محل بندقیق واقع در ۵۰ کیلومتری شمال اهواز در حوالی ملاثانی به هم متصل می‌شوند. پس از آن این رودخانه پس از پیمایش فاصله‌ای به طول ۲۰۰ کیلومتر در دشت خوزستان وارد خلیج فارس می‌شود. شاخه کارون تشکیل شده از سه شعبه عمده کارون علیا، بازفت و خرسان، مساحتی در حدود ۲۴ هزار کیلومترمربع را در محل پل شالو زهکشی می‌نماید. با توجه به این که هم اکنون در پایین دست پل شالو سد کارون ۳ احداث شده، جریان رودخانه‌ای از حالت طبیعی خارج شده است. ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه شامل ایستگاه پل شالو (تا زمان احداث سد) و سه ایستگاه بالادست بارز در خرسان، مرغک در بازفت و ارمند در کارون علیا می‌باشند.

شاخه دز متشکل از دو شاخه سزار و بختیاری مساحتی در حدود ۱۶ هزار کیلومترمربع را در محل ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ زهکشی می‌نماید. رود بختیاری از سمت کوه‌های بختیاری و رود سزار از لرستان سرچشمه می‌گیرند. ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه، ایستگاه تله‌زنگ و دو ایستگاه بالادست آن، تنگ پنج سزار و تنگ پنج بختیاری می‌باشند.

۲- داده‌ها: آمار بارش و دمای ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در حوضه کارون بزرگ و نواحی اطراف برای محاسبه متوسط دما و بارش حوضه، از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو تهیه و آمار مربوط به دبی رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه کارون بزرگ از وزارت نیرو (سازمان آب و برق خوزستان) تهیه شد. هم‌چنین سری‌های شاخص زمانی رواناب ذوب برف و بارندگی با استفاده از آمار دبی موجود ساخته شد.

۳- روش‌ها: برای بررسی زمان جریان رواناب ذوب برف از شاخص (Centre Timing) CT که در واقع نشان دهنده وضعیت زمانی پیک ذوب برف و جریان رودخانه‌ای است استفاده می‌شود. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CT = (\sum q_i \cdot t_i) / (\sum q_i) \quad (1)$$

که در آن t_i زمان بر حسب روز (day) از ابتدای سال آبی (اول مهر) تا انتهای سال از ۱ تا ۳۶۵ و q_i دبی متوسط روزانه رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری بر حسب مترمکعب بر ثانیه (m^3/s) است و در نتیجه CT شاخصی بر حسب روز (day) است که بیان کننده زمان پیک جریان رودخانه‌ای ناشی از ذوب برف است. بعد از محاسبه شاخص CT برای همه سال‌های دارای آمار در ایستگاه‌های مورد بررسی و تهیه سری زمانی تاریخی شاخص در آن ایستگاه‌ها، از آزمون روند "من کندال" برای ارزیابی وجود روند در شاخص CT استفاده شد.

آزمون‌های تعیین روند به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از: روش پارامتریک و ناپارامتریک. در آزمون‌های پارامتریک فرض بر این است که سری زمانی موجود، تابع یک توزیع آماری (به طور غالب خطی) می‌باشند. آزمون‌های پارامتریک علاوه بر تشخیص وجود روند، قابلیت تعیین شدت آن را نیز دارد. در آزمون‌های ناپارامتریک فرض بر آن است که سری‌ها دارای توزیع آماری مشخصی نیستند. این آزمون‌ها تنها وجود روند را تشخیص می‌دهند. به دلیل این که اکثر سری‌های هیدروکلیماتیک از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند، این آزمون‌ها از کاربرد بیش‌تری برخوردارند. آزمون ناپارامتریک من کندال وجود و یا عدم وجود روند را در سری‌های زمانی مورد بررسی قرار می‌دهد. در روش اول من کندال از رابطه‌های زیر استفاده می‌شود:

$$R = R^* / (S^{0.5}) \quad (2)$$

که هر کدام از پارامترهای فرمول بالا از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$R^* = (4M / n(n-1)) - 1 \quad (3)$$

$$S = 2(2n+5) / 9n(n-1) \quad (4)$$

در رابطه‌های بالا n تعداد داده‌ها و M تعداد مشاهداتی است که در آن‌ها $X_{i+1} > X_i$ می‌باشد (در سری زمانی

از دومین عدد به بعد). اکنون این رابطه‌ها را داریم:

$$R^* > 0 \quad \text{سری دارای روند مثبت است}$$

$$R^* < 0 \quad \text{سری دارای روند منفی است}$$

$$R^* = 0 \quad \text{سری بدون روند است}$$

بعد از محاسبه R :

اگر $|R| > 1/96$ دارای روند و معنی‌دار در سطح ۵٪

اگر $|R| > 2/575$ دارای روند و معنی‌دار در سطح ۱٪

همچنین با توجه به این که دو عامل دما و بارش بیشترین تأثیر را بر روی شاخص CT دارند، از این جهت تغییرات دو شاخص دما (TI) و بارش (PI) به عنوان عوامل اصلی تغییرات در شاخص CT فرض می‌شود. همبستگی شاخص‌های دما و بارش در دوره‌های مختلف فصل ریزش، فصل ذوب و متوسط ماهانه فصلی و سالانه با شاخص CT بررسی و مدل‌های رگرسیون خطی به شکل کلی زیر استخراج می‌شود:

$$CT(TI) = a_1 TI + E(TI) \quad (5)$$

$$CT(PI) = b_1 PI + E(PI) \quad (6)$$

$$CT(TI,PI) = a_2 TI + b_2 PI + E(TI,PI) \quad (7)$$

که در آن‌ها CT(TI) شاخص CT فقط تحت تأثیر شاخص دما، CT(PI) شاخص CT فقط تحت تأثیر شاخص بارش، CT(PI,TI) شاخص CT تحت تأثیر هر دو عامل دما و بارش و PI, TI به ترتیب شاخص‌های دما و بارش‌اند. a_1, a_2, b_1, b_2 ضریب‌های معادله رگرسیون خطی هستند و مقادیر E در واقع مقادیر خطا است. با استفاده از داده‌های تاریخی موجود در حوضه رابطه بین CT, TI, PI مشخص و از این رابطه برای پیش‌بینی CT در آینده استفاده می‌شود. همچنین با استفاده از مدل GCM در منطقه مورد نظر، تغییرات دما و بارش در دوره‌های آینده در اثر تغییر اقلیم برآورد می‌شود (ده دوره ده ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰).

در این تحقیق از داده‌های مدل ECHAM4 با فرض سناریوی پیش‌بینی A_2G و سناریوی B_2G از سناریوهای SRES (Special Report on Emission Scenarios) استفاده شده است. مدل ECHAM4 چهارمین نسخه از "مدل چرخش عمومی جو" هامبورگ است که توسط مرکز پیش‌بینی‌های هواشناسی اروپا اصلاح شده است. در سناریوی A با اهداف توسعه مسائل اقتصادی فرض بر این است که برنامه کنترلی بر صنایع تولید کننده گازهای گلخانه‌ای وجود نداشته باشد. در سناریوی B تأکید بر مسائل زیست محیطی و در واقع فرض بر کنترل منطقی آلاینده‌ها است.

با استفاده از رابطه‌های به دست آمده بین شاخص زمان پیک جریان با دما و بارش و نیز پیش‌بینی تغییرات دما و بارش آینده، مقادیر شاخص برای آینده مشخص می‌شود.

نتایج

در شکل ۱ تغییرات میانگین دبی روزانه ایستگاه تله‌زنگ در ۵۰ سال اخیر نشان داده شده است. اگر از رابطه ۱ برای محاسبه شاخص پیک جریان استفاده کنیم عدد ۲۰۰ به دست خواهد آمد. بنابراین روز ۲۰۰ از ابتدای سال آبی (اول مهر) را، که حدود دهه آخر فروردین است، به عنوان شاخص پیک جریان نشان خواهد داد. در شکل ۱ قله و پیک دبی از روز ۱۸۰ تا روز ۲۲۰ می‌باشد که شاخص CT در این دامنه قرار می‌گیرد.

نتایج محاسبه شاخص زمان پیک جریان رواناب (CT) برای هر سال در ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا در حوضه کارون بزرگ به شرح جدول ۱ است. بعد از بررسی تعیین روند شاخص زمان پیک ذوب برف در ایستگاه‌های هیدرومتری کارون بزرگ با استفاده از آزمون روند من‌کندال نتایج جدول ۲ به دست آمد. ارتباط شاخص زمان پیک جریان با آمار دما و بارش در مقیاس‌های ماهانه، فصلی (شامل فصل بارش و فصل ذوب برف) و همچنین سالانه بررسی شد و بهترین معادلات خطی مطابق زیر به دست آمد:

	حوضه کارون
$CT = 251 - 11/66 (T \text{ avg})$	(۸)
$CT = 160 + 0/05 (P \text{ sum})$	(۹)
$CT = 205 + 0/025 (P \text{ sum}) - 5/83 (T \text{ avg})$	(۱۰)
	حوضه دز
$CT = 211 - 17 (T \text{ fall})$	(۱۱)
$CT = 145 + 0/22 (P \text{ melt})$	(۱۲)
$CT = 178 + 0/11 (P \text{ melt}) - 8/5 (T \text{ fall})$	(۱۳)

که در آن‌ها $T \text{ avg}$ ، دمای متوسط حوضه در دو فصل بارش ($T \text{ fall}$) و ذوب برف ($T \text{ melt}$) می‌باشد و منظور از $P \text{ sum}$ ، مجموع بارندگی در دو فصل بارش ($P \text{ fall}$) و ذوب برف ($P \text{ melt}$) است (فصل بارش برف شامل ماه‌های آذر، دی و بهمن و فصل ذوب برف شامل ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت می‌باشد). از بین شش رابطه به دست آمده بالا، تنها از روابط ۱۰ و ۱۳ برای پیش بینی‌ها استفاده می‌شود، چون ضریب همبستگی آن‌ها بالاتر از ۰/۷۵ است و دو پارامتر دما و بارش را به صورت هم‌زمان دخالت می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی نتایج شاخص پیک جریان در همه ایستگاه‌های مبنا در حوضه کارون بزرگ نشان دهنده تغییر در زمان پیک جریان در دوره تاریخی نیم قرن گذشته است. این تغییر زمانی از بهار به سمت زمستان است. همچنین پیش‌بینی‌ها برای صد سال آینده نیز نشان دهنده همین روند انتقال حداکثر جریان رودخانه‌های کارون و دز از بهار به زمستان است. با توجه به سناریوهایی که برای پیش‌بینی تغییر اقلیم است، می‌توان نتیجه گرفت که در سناریوی دوم با کنترل آلاینده‌ها و در نظر گرفتن مسایل زیست محیطی در پایان قرن حاضر، تغییرات اقلیمی کم‌تر و به دنبال آن تغییرات کم‌تری در وضعیت جریانات رودخانه‌ای و در هر صورت روند منفی در زمان شاخص پیک جریان دیده خواهد شد. مقایسه نتایج حوضه کارون و دز نشان می‌دهد که تغییرات قرن آینده در زمان پیک جریان رواناب در حوضه دز بیش‌تر از حوضه کارون خواهد بود.

با فرض سناریوی اول ۳ روز در حوضه کارون و ۴ روز در حوضه دز در هر دهه و با فرض سناریوی دوم ۲ روز در حوضه کارون و ۳ روز در حوضه دز در هر دهه، انتقال زمان پیک جریان از بهار به زمستان به وقوع خواهد پیوست.

مقایسه کار با سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که شاخص زمان پیک جریان رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کارون و دز نیز مشابه تحقیقات گذشته در سایر نقاط دنیا کاهش خواهد یافت. مقایسه نتایج با تحقیق Maurer & all (2006) در آمریکا نشان می‌دهد که متوسط تغییرات شاخص زمان پیک جریان رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه کارون و دز کم‌تر از حوضه سرپا نوادای آمریکا می‌باشد.

به طور کلی این تغییرات زمانی در بیش‌ترین جریان لزوم برنامه‌ریزی واقع بینانه و قابل انعطاف در مصارف آب کشاورزی را برای صد سال آینده مشخص می‌کند.

جدول ۱- شاخص CT محاسبه شده در هر سال در ایستگاه‌های مبنا در حوضه کارون بزرگ

سال آبی	حوض کارون				حوضه دز		
	پل شالو	بارز	ارمند	مرغک	تل زنگ	سزار	بختیاری
۱۹۵۷-۵۸	۱۸۲	۱۸۱	۱۸۰		۱۸۶		۱۸۷
۱۹۵۸-۵۹	۱۸۷	۱۸۳	۱۹۹		۲۰۳		۱۹۱
۱۹۵۹-۶۰	۲۰۶	۲۰۵	۱۹۴		۲۰۷		۲۱۲
۱۹۶۰-۶۱	۲۰۱	۱۹۶	۲۰۸		۲۰۷		۱۹۶
۱۹۶۱-۶۲	۱۹۳	۱۷۹	۱۹۵		۲۰۵		۲۰۲
۱۹۶۲-۶۳	۱۸۳	۱۸۶	۲۰۰		۲۱۵		۱۸۸
۱۹۶۳-۶۴	۲۰۵	۲۱۰	۱۹۵		۱۹۹		۱۹۸
۱۹۶۴-۶۵	۱۹۲	۱۸۷	۲۰۵		۲۰۱		۱۹۸
۱۹۶۵-۶۶	۱۹۱	۱۹۷	۱۹۴		۱۹۲		۱۸۱
۱۹۶۶-۶۷	۲۰۳	۲۰۱	۱۹۴		۲۰۴		۲۱۳
۱۹۶۷-۶۸	۲۱۲	۲۰۸	۲۱۰		۲۱۶		۲۱۶
۱۹۶۸-۶۹	۱۷۳	۱۶۲	۲۰۶		۲۰۵		۱۶۸
۱۹۶۹-۷۰	۱۸۴	۱۸۴	۱۸۰	۱۹۲	۱۹۲		۱۹۹
۱۹۷۰-۷۱	۲۱۲	۲۱۲	۲۰۳	۲۰۲	۲۱۷		۲۱۸
۱۹۷۱-۷۲	۱۹۰	۱۸۶	۲۱۳	۲۰۴	۲۰۷		۱۷۷
۱۹۷۲-۷۳	۱۹۱	۱۹۳	۱۸۹	۱۸۴	۱۸۴		۱۹۶
۱۹۷۳-۷۴	۲۰۴	۲۰۸	۲۰۲	۲۰۳	۲۱۴		۲۰۵
۱۹۷۴-۷۵	۲۱۴	۲۱۲	۲۰۰	۱۹۳	۲۰۳		۲۰۸
۱۹۷۵-۷۶	۱۷۵	۱۷۰	۲۱۲	۲۰۴	۲۰۲		۱۷۶
۱۹۷۶-۷۷	۱۸۴	۱۹۲	۱۷۵	۱۷۸	۱۹۶		۱۹۷
۱۹۷۷-۷۸	۱۶۷	۱۶۰	۱۸۱	۱۶۵	۱۸۲		۱۷۷
۱۹۷۸-۷۹	۱۹۹	۱۹۳	۱۸۵	۱۷۹	۱۸۴		۱۹۷
۱۹۷۹-۸۰	۱۹۱	۱۸۴	۲۰۴	۱۹۸	۲۰۷	۲۰۱	۱۹۳
۱۹۸۰-۸۱	۱۸۷	۱۸۴	۱۹۵	۱۹۸	۱۹۹	۱۹۲	۱۸۶
۱۹۸۱-۸۲	۱۹۷	۱۹۶	۱۹۶	۱۹۷	۲۰۴	۲۰۰	۲۱۲
۱۹۸۲-۸۳	۱۷۳	۱۷۴	۱۹۵	۱۹۲	۲۰۷	۱۹۹	۱۸۰
۱۹۸۳-۸۴	۱۹۰	۱۹۶	۱۹۳	۱۹۱	۱۹۸	۱۸۹	۱۹۵
۱۹۸۴-۸۵	۲۰۰	۱۹۸	۱۸۵	۱۸۲	۱۸۵	۱۸۲	۲۰۷
۱۹۸۵-۸۶	۲۰۷	۱۹۹	۲۰۷	۲۰۱	۲۱۵	۲۱۰	۲۰۶
۱۹۸۶-۸۷	۱۷۸	۱۶۹	۱۹۱	۱۸۴	۲۰۳	۱۹۲	۱۹۱
۱۹۸۷-۸۸	۱۷۸	۱۷۸	۱۸۱	۱۸۷	۱۹۸	۱۷۸	۱۷۶
۱۹۸۸-۸۹	۱۶۶	۱۹۴	۱۸۸	۱۸۹	۲۰۶	۱۹۸	۲۰۱
۱۹۸۹-۹۰	۲۰۳	۱۶۴	۱۸۰	۱۷۳	۲۰۰	۱۸۶	۱۸۲

ادامه جدول ۱- شاخص CT محاسبه شده در هر سال در ایستگاههای مبنا در حوضه کارون بزرگ

سال آبی	حوض کارون				حوض دز		
	پل شالو	بارز	ارمند	مرغک	تل زنگ	سزار	بختیاری
۱۹۹۰-۹۱	۲۰۹	۲۰۴	۱۸۹	۱۹۳	۲۰۵	۱۹۵	۲۲۰
۱۹۹۱-۹۲	۲۰۲	۱۹۱	۲۰۰	۲۰۰	۲۱۴	۲۰۰	۲۱۴
۱۹۹۲-۹۳	۱۶۴	۱۵۷	۲۰۳	۱۹۴	۲۰۶	۲۰۱	۱۶۶
۱۹۹۳-۹۴	۱۸۴	۱۹۳	۱۶۷	۱۷۰	۱۸۰	۱۶۷	۱۸۷
۱۹۹۴-۹۵	۱۷۱	۱۷۱	۱۶۷	۱۶۴	۱۶۶	۱۴۷	۱۵۷
۱۹۹۵-۹۶	۱۹۰	۱۸۲	۱۹۹	۲۰۰	۲۱۴	۲۰۹	۲۰۱
۱۹۹۶-۹۷	۱۹۸	۲۰۳	۱۹۴	۲۰۱	۲۱۷	۲۰۵	۲۰۸
۱۹۹۷-۹۸		۱۷۹	۱۹۸	۱۸۷	۲۰۴	۱۹۸	۱۷۷
۱۹۹۸-۹۹		۱۶۰	۱۸۳	۱۸۱	۱۹۶	۱۹۰	۱۸۵
۱۹۹۹-۲۰۰۰		۱۷۲	۱۸۵	۱۸۴	۱۹۹	۱۹۰	۱۸۷
۲۰۰۰-۲۰۰۱		۱۵۷	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۸	۱۷۰	۱۹۹
۲۰۰۱-۲۰۰۲		۱۶۰	۱۸۶	۱۷۲	۱۹۵	۱۶۷	۱۸۵
۲۰۰۲-۲۰۰۳		۱۹۲	۱۹۱	۱۹۲	۲۰۶	۱۹۸	۱۹۸
۲۰۰۳-۲۰۰۴		۱۸۴	۱۹۱	۱۸۱	۲۰۰	۱۹۴	۱۹۶
۲۰۰۴-۲۰۰۵		۱۸۷	۱۹۹	۱۸۵	۱۹۵	۱۹۸	۱۹۶

(منبع: محاسبات نویسنده مقاله)

جدول ۲- نتایج آزمون روند من کندال در ایستگاههای هیدرومتری مبنا در حوضه کارون بزرگ

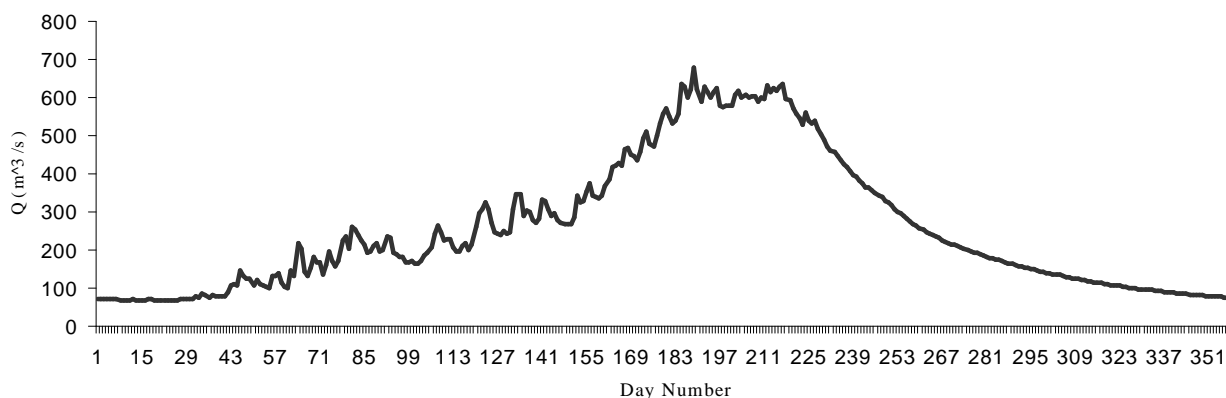
ایستگاه هیدرومتری	مقدار R^*	مقدار S	مقدار R	نتیجه	سطح/معنی دار
پل شالو	$R^* = -۰/۹۵$	$S = ۰/۰۱۲۱$	$R = -۸/۶۳۶$	روند منفی	%۹۹
مرغک	$R^* = -۰/۹۵$	$S = ۰/۰۱۴۴$	$R = -۷/۹۲$	روند منفی	%۹۹
بارز	$R^* = -۰/۹۴$	$S = ۰/۰۱۲$	$R = -۸/۵۴۵$	روند منفی	%۹۹
ارمند	$R^* = -۰/۹۵۶$	$S = ۰/۰۱$	$R = -۹/۵۶$	روند منفی	%۹۹
تله زنگ	$R^* = -۰/۹۶۴$	$S = ۰/۰۰۹۵$	$R = -۹/۹۳۸$	روند منفی	%۹۹
سزار	$R^* = -۰/۹۴۵$	$S = ۰/۰۰۹۷$	$R = -۹/۶۴۳$	روند منفی	%۹۹
بختیاری	$R^* = -۰/۹۵۶$	$S = ۰/۰۱۰۲$	$R = -۹/۴۶۶$	روند منفی	%۹۹

(منبع: محاسبات نویسنده مقاله)

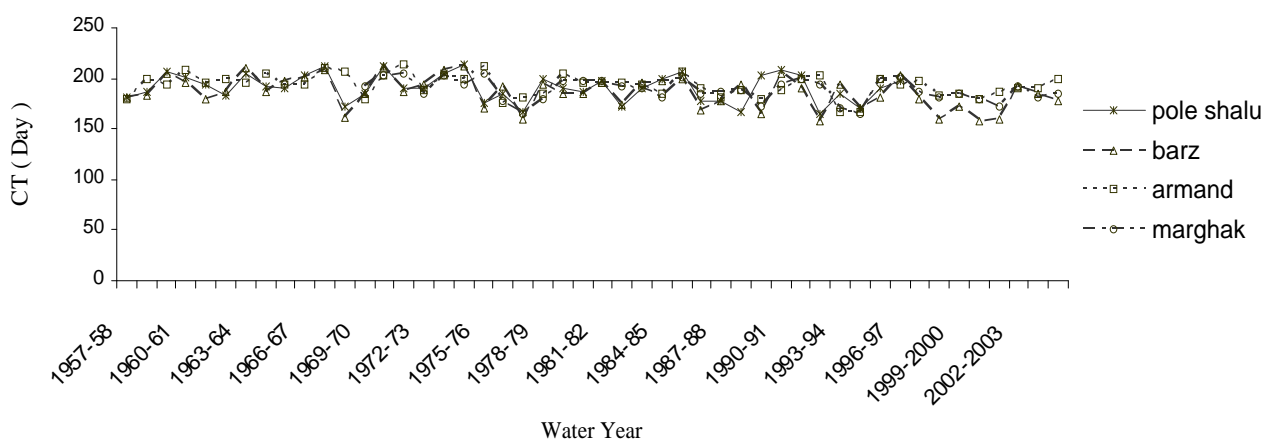
جدول ۳ - پیش‌بینی شاخص زمان پیک رواناب ناشی از ذوب برف بر اساس مدل تغییر اقلیم ECHAM4

حوضه دوره	کارون		کارون	
	ScenarioA	ScenarioB	ScenarioA	ScenarioB
۲۰۱۰-۲۰۰۱	۱۸۲	۱۸۲	۱۹۱	۱۹۱
۲۰۲۰-۲۰۱۱	۱۸۴	۱۸۱	۱۹۴	۱۹۰
۲۰۳۰-۲۰۲۱	۱۷۵	۱۷۵	۱۸۰	۱۸۰
۲۰۴۰-۲۰۳۱	۱۷۵	۱۷۵	۱۸۰	۱۸۰
۲۰۵۰-۲۰۴۱	۱۷۲	۱۷۰	۱۷۴	۱۷۳
۲۰۶۰-۲۰۵۱	۱۶۵	۱۷۱	۱۶۳	۱۷۴
۲۰۷۰-۲۰۶۱	۱۶۸	۱۶۹	۱۶۶	۱۷۳
۲۰۸۰-۲۰۷۱	۱۶۱	۱۶۳	۱۵۷	۱۶۲
۲۰۹۰-۲۰۸۱	۱۶۲	۱۶۶	۱۵۷	۱۶۶
۲۱۰۰-۲۰۹۱	۱۵۳	۱۵۹	۱۴۶	۱۵۶

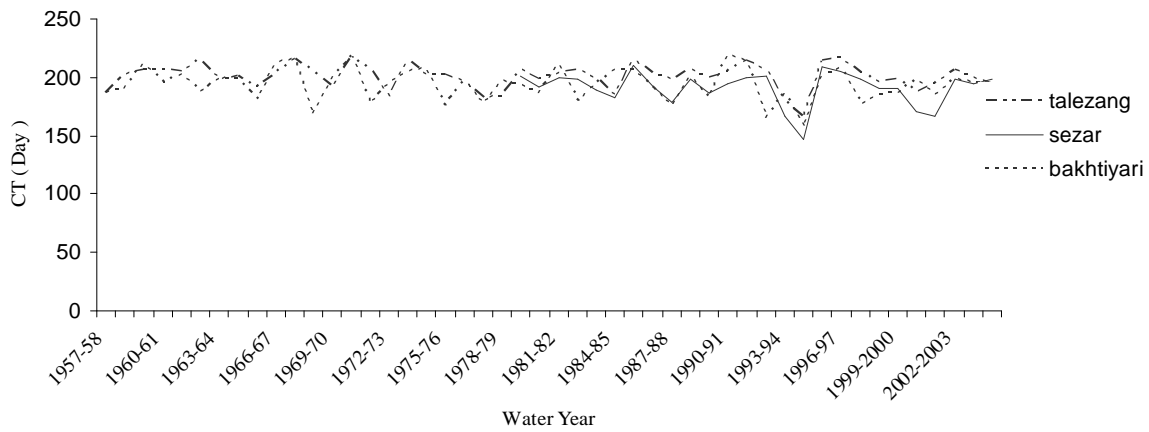
(منبع: محاسبات نویسنده مقاله)



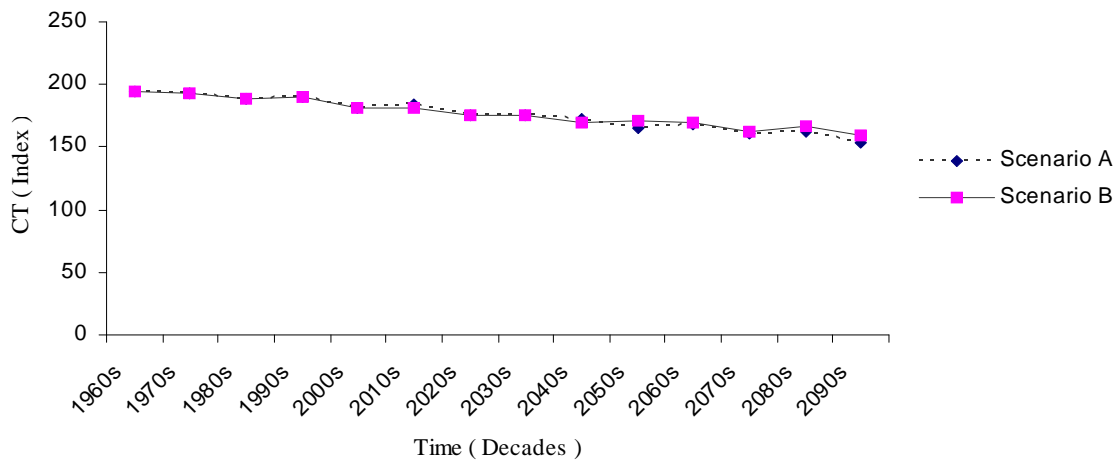
نمودار ۱ - تغییرات دبی متوسط روزانه در کل دوره آماری ۵۰ ساله در ایستگاه تله‌زنگ در حوضه دز



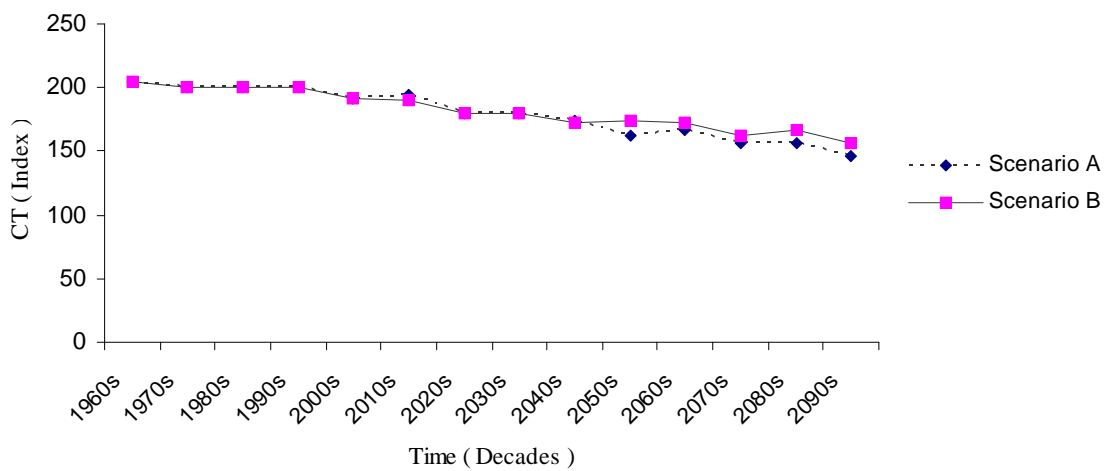
نمودار ۲ - تغییرات شاخص CT در طول دوره آماری در ایستگاه‌های هیدرومتری مینا در حوضه کارون



نمودار ۳- تغییرات شاخص CT در طول دوره آماری در ایستگاه‌های هیدرومتری مبنا در حوضه دز



نمودار ۴- پیش‌بینی تغییرات شاخص زمان بیک جریان در قرن ۲۱ در حوضه کارون



نمودار ۵- پیش‌بینی تغییرات شاخص زمان بیک جریان در قرن ۲۱ در حوضه دز

پرهمت، جهانگیر، (۱۳۸۱). "مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور". پایان‌نامه دکترای تخصصی هیدرولوژی و منابع آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

Bronstert, A., & all., 2002. "Effects of climate and land-use change on storm runoff generation : present knowledge and modelling capabilities" *Hydrol. Process.* 16, 509-529.

Chaponniere, A. and V. Smakhtin, 2006. "A review of climate change scenario and preliminary rainfall trend analysis in the oum er Rbia Basin, Morocco" Working paper 110 (Drought series: Paper 8) Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).

Dye, G.D., 2002. "Variability and trends in the annual snow-cover cycle in Northern Hemisphere land areas, 1972-2000" *Hydrol. Process. J.*, 16, 3065-3077.

Hardy, J.T., 2003. "Climate Change: Causes, Effects, and Solutions" John Wiley & Sons, Ltd. 247 P.

Jones, R.N. and C.M. Page, 2001. "Assessing the risk of climate change on the water resources of the Macquare river catchment" International Congress on modelling and simulation , Modelling and simulation society of Australia and New Zeland, Canberra ,PP: 673-678.

Kiparsky,M and P.h.,Gleick, 2003. "Climate change and california water resources: A survey and summary of the literature" Pier final project report, California Energy Commission, Pacific Institute. 56 P.

Maurer, E. P., Wood, A. W., 2006. "Along-term Hydrologically based data set of land surface fluxes and states for the conterminous united states" J.Climate 15: 3237-3251.

Miller, N.I., & all., 2004. "Potential impacts of climate change on California hydrology". J. of the American Water Resources Association (JAWRA) 39(4):771-784.

Payne, J.T., A.W. Wood , A.F.Hamlet , R.N. Palmer and D.P. Lettenmaier, 2002. "Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin," Climate Change 62: 233-256.

Rivington, M. & all., 2007. "An integrated assessment approach to conduct analyses of climate change impacts on whole-farm systems" Environmental Modelling & Software 22 : 202-210.

Stewart, I.T., & all., 2004. "Changes in snowmelt runoff timing in western north america under 'Business as usual' climate change scenario" Climate change Journal 62, 217-232.