

## ارزیابی تغییرات جریان رودخانه زاینده رود بر اثر تغییر اقلیم

سمانه سیدقاسمی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب - دانشگاه صنعتی شریف، تهران-خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران  
احمد ابریشم چی؛ استاد دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شریف، تهران-خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران  
مسعود تجریشی؛ دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شریف، تهران-خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران  
تلفن: ۰۹۱۲-۶۱۲-۶۰۶۵ ، پست الکترونیکی: [ghasemi@mehr.sharif.ir](mailto:ghasemi@mehr.sharif.ir)

### چکیده:

در این مقاله، اثر تغییرات اقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای بر جریان رودخانه زاینده رود در دهه های آینده ارزیابی شده تا بتوان تصمیمات لازم جهت سیاستهای تطبیقی اتخاذ کرد. اجزای هیدرولوژیکی مورد استفاده در این تحقیق عبارت اند از بارش و دمای محاسبه شده براساس روشهای منطقه ای کردن داده های جهانی تغییرات اقلیم. به بیان دیگر، خروجی های مدل کوچک مقیاس کردن تغییرات اقلیم جهانی به عنوان ورودیهای نرم افزار هیدرولوژیکی SWAT مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از این نرم افزار تغییرات رواناب این حوضه برای دو دوره ۳۰ ساله ۲۰۵۰-۲۰۲۱ (آینده نزدیک) و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ (آینده دور) برای دو سناریوی A<sub>2</sub> و B<sub>2</sub> (سناریوهای کوچک مقیاس کردن داده های اقلیمی) شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی شده توسط این مدل در هر دو دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و (۲۰۷۱-۲۱۰۰) کاهش جریان را در ماههای آوریل و می نشان می دهد که ناشی از کاهش بارش در این ماهها و افزایش دما می باشد، در این دوره ها همچنین با انتقال پیک جریان از ماههای مارس و آوریل به ماه های ژانویه و مارس روبرو هستیم که این افزایش در ماه ژانویه می تواند ناشی از افزایش بارش و در ما مارس در نتیجه افزایش دما ناشی از ذوب زود هنگام برف باشد. در دوره اول (۲۰۲۱-۲۰۵۰) جریان در ماه دسامبر افزایش می یابد که می تواند ناشی از افزایش بارش بوده و به علت افزایش دما در دوره دوم این افزایش مشاهده نمی شود.

کلید واژه ها: ۱- تغییرات اقلیم ۲- شبیه سازی ۳- SWAT ۴- جریان رودخانه

### ۱- مقدمه

رشد گازهای گلخانه ای در جو به تغییرات اقلیم همراه با تغییراتی در تعادل هیدرولوژیکی و نیز منابع آب منتهی می گردد. این تغییرات باعث افزایش دمای سطح زمین در طول قرن گذشته شده است و پیش بینی می شود که تا سال ۲۱۰۰ میلادی دمای زمین ۱،۴ تا ۵،۸ درجه سانتیگراد افزایش یابد [۱]. تحقیقات متعددی برای تعیین افزایش گازهای گلخانه ای و اثرات

آن بر عوامل مختلف هیدرولوژیکی ارائه شده است. این افزایش باعث افزایش درجه حرارت و رطوبت مطلق در لایه های نزدیک سطح زمین می گردد. رشد و تمرکز دی اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه ای می تواند به تغییرات اقلیم همراه با تغییراتی در منابع آب منتهی شود. این پدیده به طور جدی بر زمان و بزرگی دبی اوج سیل، رطوبت خاک، سطح آب خلیج ها و کیفیت آب تاثیر می گذارد. این اثرات، احتمال بروز مشکلات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی را افزایش می دهد و می تواند مشکلات زیادی را برای تصمیم گیری درباره منابع آب و مدیریت آن به همراه داشته باشد [۲].

Loukas در سال ۱۹۹۶ نشان داد که تغییرات اقلیم باعث تغییرات وضعی جریان رودخانه می شود که ناشی از ذوب زود هنگام برف و کاهش بارش در منطقه کلمبیا می باشد. وی نشان داد در این منطقه جریان در زمستان افزایش و در تابستان کاهش خواهد داشت [۲]. De Wall , Swistock در سال ۲۰۰۰ بر اساس تحقیقی که پیرامون اثرات تغییرات اقلیم بر جریان رودخانه های حوضه های شهری ایالت متحده (۳۹ حوضه شهری و ۲۱ حوضه روستایی) انجام دادند، نشان دادند که در دهه های آتی، جریان رودخانه تحت اثر تغییرات اقلیم در حدود ۲۴+ تا ۴۹+ درصد در حوضه های مختلف تغییر خواهد نمود. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ بر روی حوضه رودخانه می سی سی پی انجام شد [۳]، Pan و Jha نشان دادند که این منطقه در دوره های آبی تحت اثر اقلیم با افزایش ۲۱٪ بارش باران و ۱۸٪ بارش برف و در نتیجه ۵۱٪ افزایش رواناب سطحی مواجه خواهد بود [۴]. Clark , Hay نیز با استفاده از خروجی های مدل تغییر اقلیم، رواناب روزانه را برای سه حوضه در ایالت متحده (Animas River در کلرادو، east fork در نوادا و Cle Elum در واشنگتن) شبیه سازی نمودند. در هر سه حوضه، تغییرات اقلیم باعث تغییرات فصلی بارش و دما شده و جریان رواناب روزانه شبیه سازی شده تغییراتی بین ۴۱، ۰ تا ۷۶، ۰ درصد را برای تمام حوضه ها نشان می دهد [۵]. S.Christersen در سال ۲۰۰۵ در تحقیقی اثرات تغییرات اقلیم را بر روی حوضه رودخانه کلرادو در سه دوره ۳۰ ساله از (۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰) تخمین زد. در این تحقیق با استفاده از داده های خروجی مدل کوچک مقیاس کردن داده به عنوان ورودی مدل VIC، رواناب حاصل در این سه دوره شبیه سازی شده و به ترتیب کاهش ۱۴، ۱۸، ۱۷ درصد را در سه دوره نشان می دهد [۶]. Vananou نیز با استفاده از مدل SWAT تغییرات کیفیت و کمیت رواناب در حوضه Ali Efenti در یونان مرکزی را بررسی نمود که نشان دهنده کاهش جریان و افزایش غلظت نیتروژن بود [۷].

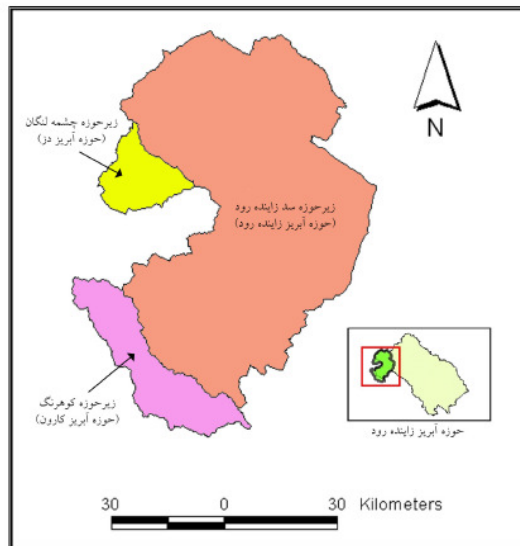
تحقیقات فوق نشان می دهند که تغییرات اقلیم تأثیرات متفاوتی را بر بارندگی و رواناب مناطق مختلف جهان خواهد داشت. تغییرات ناشی از گازهای گلخانه ای و تغییرات اقلیم و پوشش زمین، رژیم جریان رودخانه و قابلیت تنظیم حوضه آبریز را تغییر می دهد؛ در نتیجه نگرانیهایی در مورد زمان وقوع سیل و نیز آب قابل دسترس افزایش یافته است. در این تحقیق از داده های بارش و دما تحت تاثیر تغییرات اقلیم برای منطقه زاینده رود به عنوان ورودی های مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده شده است. این مدل با گرفتن خروجی های مدل کوچک مقیاس کردن تغییرات جهانی اقلیم به عنوان ورودی، تغییرات را در رواناب حوضه شبیه سازی می نماید.

## ۲- مواد و روشها

### منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز زاینده رود واقع در منطقه مرکزی ایران، حوضه کاملاً بسته ای است. رودخانه زاینده رود مهمترین و حیاتی ترین رودخانه این منطقه به منظور توسعه کشاورزی، تأمین آب بخش شرب و صنعت و کلیه فعالیت های اقتصادی می باشد. این رودخانه از دامنه های شرقی کوه های زاگرس میانی سرچشمه گرفته و با طولی بالغ بر ۳۵۰ کیلومتر در جهت عمومی غرب به شرق جریان می یابد و به باتلاق گاوخونی می رسد.

محدوده مطالعاتی در حوضه آبریز زاینده رود، منطقه بالادست سد چادگان را شامل می‌شود. تقریباً تمام آب وارد شده به سد از این محدوده تأمین می‌گردد. این محدوده شامل مناطق بالادست سد زاینده رود در حوضه آبریز زاینده رود می‌باشد. مناطق بالا دست، محل احداث تونل سوم کوهرننگ در حوضه آبریز کارون علیا و بخشهایی از حوضه دز که محدود به چشمه لنگان می‌شود را نیز شامل می‌شود. قسمتهای بالا دست حوضه حدود ۴۰۰۰ کیلومتر را تشکیل می‌دهد که مساحتی کمتر از ۱۰٪ کل حوضه می‌باشد. شکل ۱ موقعیت این محدوده را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - محدوده منطقه مطالعاتی

این منطقه را می‌توان به سه قسمت کلی تقسیم کرد. بخش نخست شامل قسمتهایی می‌باشد که در زیر حوضه کارون واقع شده و رواناب آن قسمت که عمدتاً به رودخانه کوهرننگ وارد می‌شود از طریق تونلهای ۱ و ۲ وارد رودخانه زاینده رود شده و در نهایت وارد دریاچه زاینده رود می‌شود. بخش دوم شامل طرح انتقال آب چشمه لنگان و رودخانه‌های سرداب و سیبک به حوضه زاینده رود می‌شود. آب انتقالی در این بخش از طریق تونلهای انحرافی از حوضه آبریز رودخانه دز، وارد پلاسبحان در حوضه زاینده رود شده و از آنجا به سمت دریاچه سد زاینده رود جریان می‌یابد. بخش سوم، حوضه آبریز سد زاینده رود در حوضه آبریز زاینده رود می‌باشد.

### مدل هیدرولوژیکی SWAT

مدل هیدرولوژیکی SWAT (Soli and Water Assessment Tool) [Arnold et al ۱۹۹۸] یک مدل فراگیر و طولانی مدت (Long - term) برای شبیه سازی تعادل آب حوضه بر اساس گامهای زمانی روزانه می‌باشد. SWAT از نظر زمانی یک مدل پیوسته است و برای شبیه سازی رخدادهای سیلابی منفرد طراحی نشده است. این مدل به صورت یک extension تحت نرم افزار Arc View می‌باشد و از قابلیت‌های آن بهره می‌گیرد. برای ایجاد یک فایل SWAT، نیاز به تهیه و وارد کردن نقشه ها و جداول در محیط Arc View می‌باشد که شامل اطلاعاتی در مورد حوضه مورد مطالعه است. اساس شبیه سازیهای هیدرولوژیکی این مدل بر اساس معادله تعادل آب پایه ریزی شده است. در این مدل فیزیک حرکت آب، رسوب، ریشه گیاه، چرخه عناصر متعددی و ... جهت شبیه سازی به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شود [۸].

این مدل نیازمند داده‌های بسیاری نظیر نقشه‌های ارتفاع رقومی منطقه (DEM)، نقشه‌های خاکشناسی و پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، داده‌های اقلیمی روزانه شامل حداقل و حداکثر درجه حرارت، بارش، تبخیر و تعرق، سرعت باد، تشعشع و رطوبت نسبی می باشد.

با توجه به داده های خاکشناسی و اقلیمی، این مدل قادر خواهد بود تا بسته به نوع و خصوصیات خاک حوضه مورد مطالعه و زیر حوضه های مربوطه و پوشش گیاهی آنها، تبخیر و تعرق و رواناب را به صورت جداگانه برای هر واحد هیدرولوژیکی HRU (هر حوضه شامل چندین زیر حوضه بوده و هر زیر حوضه با توجه به نوع پوشش گیاهی و خاک آن منطقه به ۱ تا ۱۰ واحد هیدرولوژیکی تقسیم بندی می شود) شبیه سازی نماید.

داده های هواشناسی جزو مهمترین داده های ورودی به این مدل می باشد؛ زیرا این داده ها پایه و اساس شبیه سازیهای حوضه ای این نرم افزار قرار می گیرد. به منظور مدل سازی حوضه زاینده رود از ایستگاه‌های هواشناسی و باران سنجی طبق جدول ۱ استفاده شده است. به منظور مقایسه دبی های شبیه سازی شده توسط نرم افزار و دبی های مشاهداتی، از ایستگاههای هیدرومتری سازمان تباب استفاده شده است (جدول ۲).

جدول ۱ - مشخصات ایستگاههای هواشناسی و باران سنجی

ایستگاههای هواشناسی				ایستگاههای باران سنجی			
ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه
۲۳۰۰	۳۳°، ۰۱'	۵۰°، ۲۹'	دامنه فریدن	۲۴۰۰	۳۲°، ۲۷'	۵۰°، ۰۸'	چلگرد
۲۳۰۰	۳۲°، ۵۵'	۵۰°، ۱۰'	بادیجان	۲۳۰۰	۳۳°، ۰۱'	۵۰°، ۲۹'	دامنه فریدن
۲۳۰۰	۳۲°، ۵۸'	۵۰°، ۲۲'	داران	۱۵۷۸	۳۲°، ۴۹'	۵۰°، ۲۶'	اسکندری
۲۴۰۰	۳۲°، ۲۶'	۵۰°، ۰۷'	کوه‌رنگ	۱۴۴۰	۳۲°، ۳۹'	۵۰°، ۲۸'	قلعه شاهرخ

جدول ۲ - مشخصات ایستگاههای هیدرومتری

نام ایستگاه	نام رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
چلگرد	تونل کوه‌رنگ (۱)	۵۰°، ۰۸'	۳۲°، ۲۷'
قلعه شاهرخ	زاینده رود	۵۰°، ۲۸'	۳۲°، ۳۹'
اسکندری	پلاسجان	۵۰°، ۲۶'	۳۲°، ۴۹'
آب کوه‌رنگ	تونل دوم (دره در)	۵۰°، ۱۰'	۳۲°، ۲۷'
مندرجان	مندرجان	۵۰°، ۳۶'	۳۲°، ۳۸'

#### سناریوهای مورد استفاده

مدلهای چرخش عمومی GCM<sup>۱</sup> دارای بهترین اطلاعات را در مورد افزایش تمرکز گازهای گلخانه ای و اثرات آنها بر جو هستند. این مدلها در مراکز مختلفی اجرا شده اند، به عنوان نمونه، مدل‌های ECHAM<sup>۳</sup> و ECHAM<sup>۴</sup> در مرکز تحقیقاتی در آلمان، مدل HADCM<sup>۲</sup> و HADCM<sup>۳</sup> در مرکز تحقیقاتی HCCPR در انگلیس، مدل‌های CGCM<sup>۲</sup> و CGCM<sup>۱</sup> در مرکز CCCMA در کانادا [۹].

در این تحقیق از نتایج کوچک مقیاس شده خروجیهای مدل CGCM<sup>۲</sup> تحت دو سناریوی A<sup>۲</sup> و B<sup>۲</sup> از مجموعه سناریوهای SRES<sup>۲</sup> استفاده شده است. در این سناریو ها میزان رشد گازهای گلخانه ای بر اساس داده های

<sup>۱</sup> General Circulation Model

<sup>۲</sup> Special Report on Emission Scenarios

تاریخی موجود از سال ۱۸۵۰ تا سال ۱۹۹۰ پایه ریزی شده و با توجه به موارد در نظر گرفته شده در این سناریوها روند افزایشی گاز CO<sub>2</sub> برای سالهای آینده مشخص شده است. مقادیر افزایشی گاز CO<sub>2</sub> برای سناریوهای A<sub>2</sub> و B<sub>2</sub> بر حسب ppmv<sup>۳</sup> در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳) - روند افزایشی گاز CO<sub>2</sub> برای سناریوهای A<sub>2</sub> و B<sub>2</sub> بر حسب ppmv

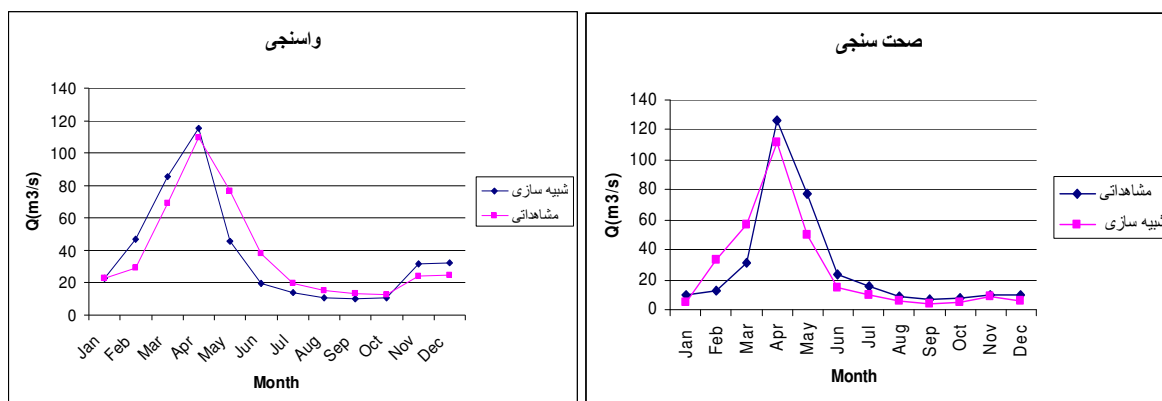
	۱۸۵۰	۱۸۶۰	۱۸۷۰	۱۸۸۰	۱۸۹۰	۱۹۰۰	۱۹۱۰	۱۹۲۰	۱۹۳۰	۱۹۴۰	۱۹۵۰	۱۹۶۰	۱۹۷۰
A <sub>2</sub>	۳۳۰	۳۴۳	۳۴۵	۳۴۷	۳۴۹	۳۵۱	۳۵۷	۳۶۳	۳۷۰	۳۷۶	۳۸۲	۳۸۸	۴۰۸
B <sub>2</sub>	۳۳۰	۳۴۳	۳۴۵	۳۴۷	۳۴۹	۳۵۱	۳۵۷	۳۶۳	۳۷۰	۳۷۶	۳۸۲	۳۸۸	۴۰۸

	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰	۲۰۵۰	۲۰۶۰	۲۰۷۰	۲۰۸۰	۲۰۹۰	۲۱۰۰
A <sub>2</sub>	۴۳۷	۴۷۶	۵۰۴	۵۴۰	۵۸۵	۶۴۲	۷۰۷	۷۷۹	۸۶۰	۹۵۰	۱۰۵۰	۱۱۸۰	۱۳۲۰
B <sub>2</sub>	۴۳۷	۴۷۶	۵۰۴	۵۳۹	۵۷۸	۶۱۹	۶۵۹	۷۰۰	۷۴۰	۷۸۱	۸۲۳	۸۶۷	۹۱۵

در سناریوی A<sub>2</sub>، این سناریو بر اساس تقویت نیروهای جمعیتی منطقه ای، رشد زیاد جمعیت (۱۵ میلیارد نفر تا سال ۲۱۰۰) و سرعت کمتر در پیشرفت اقتصادی می باشد. ولی سناریو B<sub>2</sub> بر راه حل‌های منطقه ای برای تقویت مسایل اقتصادی، اجتماعی، و محیط زیستی تاکید داشته و بر اساس سرعت رشد جمعیت کمتر (۴،۱۰ میلیارد نفر تا سال ۲۱۰۰) با سرعت تغییرات تکنولوژی بیشتر می باشد.

### نتایج و بحث

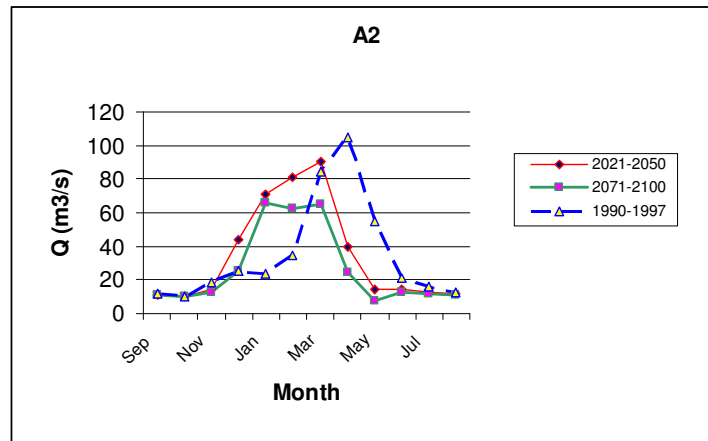
به منظور برآورد و شبیه سازی جریان توسط مدل از داده‌های مشاهداتی روزانه در بازه زمانی ۶ ساله (۱۹۹۶-۱۹۹۰) برای واسنجی مدل استفاده شده است. ضریب همبستگی میانگین دبی ماهانه شبیه سازی شده توسط مدل به میانگین دبی واقعی در مرحله واسنجی  $R^2 = 0.83$  می باشد. شکل ۲، مقایسه میانگین دبی ماهانه واقعی و شبیه سازی شده در مرحله واسنجی و صحت سنجی مدل را نشان می دهد. در مرحله بعد، از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های فوق الذکر در بازه زمانی ۲ ساله (۱۹۹۶-۱۹۹۸) برای صحت سنجی مدل استفاده شده است. ضریب همبستگی میانگین دبی ماهانه شبیه سازی شده توسط مدل به دبی واقعی در مرحله صحت سنجی  $R^2 = 0.897$  می باشد.



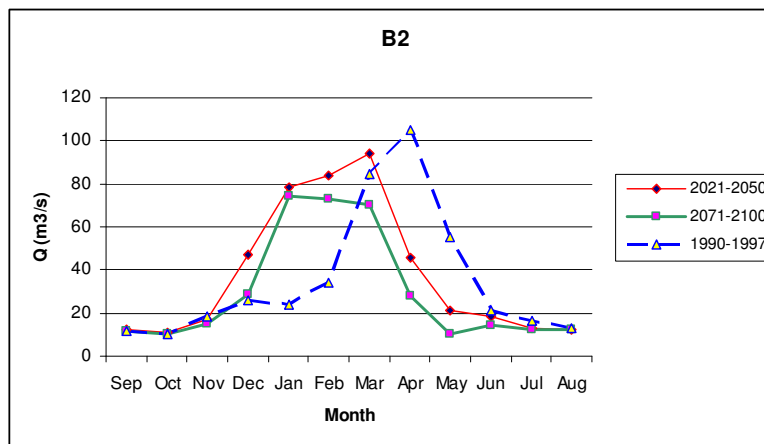
شکل ۲- مقایسه میانگین دبی ماهانه شبیه سازی شده با دبی مشاهده ای در مرحله واسنجی و صحت سنجی

<sup>۳</sup> part per million volume

بعد از مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل برای داده‌های مشاهداتی، مدل برای دو دوره ۳۰ ساله آماری ۲۰۲۱-۲۰۵۰ (آینده نزدیک) و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ (آینده دور) بدست آمده از مدل‌های کوچک مقیاس کردن تغییرات اقلیم تحت دو سناریو A۲ و B۲، اجرا شد. در این مرحله فرض شده است که پوششی گیاهی منطقه و خاک‌شناسی آن ثابت بوده و داده‌های مورد نیاز سرعت باد، تبخیر و تعرق و نیز تشعشع توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌شود. نتایج مدل سازی تحت سناریوهای A۲ و B۲ برای دوره‌های آماری مذکور در شکل‌های ۳ و ۴ و جداول ۳ و ۴ آورده شده است، این نتایج با فرض ثابت بودن پوشش گیاهی منطقه در دوره‌های مذکور تحت اثر تغییرات اقلیم می‌باشد.



شکل ۳- میانگین متوسط ماهانه دراز مدت دبی، طی دوره مشاهده شده و دوره‌های تغییر اقلیمی سناریوی A۲



شکل ۴- میانگین متوسط ماهانه دراز مدت دبی طی دوره مشاهده شده و دوره‌های تغییر اقلیمی سناریوی B۲

دبی شبیه‌سازی شده برای دوره ۳۰ ساله اول (۲۰۲۱-۲۰۵۰)، در هر دو سناریو بجز در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل و دسامبر کاهش‌ی در حدود ۱۰ تا ۱۱ درصد و برای دوره ۳۰ ساله دوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰)، بجز ماه‌های ژانویه، فوریه و آوریل کاهش‌ی حدود ۱۱ تا ۱۳ درصد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، پیک جریان در دوره‌های آماری ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ تغییر کرده و به ماه‌های ژانویه و مارس انتقال یافته است که می‌تواند ناشی از افزایش بارش در این ماه‌ها باشد. در ماه مارس با افزایش جریان روبرو هستیم که ناشی از افزایش دما در این ماه‌ها و در نتیجه ذوب زود هنگام برف می‌باشد. همچنین با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که دبی جریان در ماه

دسامبر در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ افزایش داشته است که به دلیل افزایش بارش در این ماه در این دوره زمانی می باشد، این افزایش دبی در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ مشاهده نمی شود، که می تواند به دلیل افزایش دما در این دوره زمانی نسبت به دوره زمانی قبلی باشد.

Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	A <sub>2</sub>
۱۱,۶۲	۱۲,۲۸	۱۴,۵۸	۱۴,۳۸	۳۹,۳۷	۹۰,۷	۸۱,۴	۷۱,۴	۴۴,۳	۱۳,۹۸	۱۰,۱	۱۱,۲	۲۰۲۱-۲۰۵۰
۱۱,۱۵	۱۱,۴۸	۱۲,۵	۷,۸	۲۴,۹	۶۴,۸	۶۲,۶	۶۶,۱	۲۵,۳۵	۱۲,۸۵	۱۰,۰۴	۱۱,۰۱	۲۰۷۱-۲۱۰۰

جدول ۴- میانگین متوسط ماهانه دراز مدت دبی، طی دوره مشاهده شده و دوره های تغییر اقلیمی سناریوی A<sub>2</sub>

Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	B <sub>2</sub>
۱۲,۵۲	۱۳,۰۳	۱۸,۳۵	۲۱,۲۴	۴۶,۰۲	۹۳,۸	۸۳,۶	۷۸,۱	۴۶,۷۸	۱۷,۲۱	۱۰,۹	۱۱,۹۸	۲۰۲۱-۲۰۵۰
۱۱,۹۵	۱۱,۹۹	۱۴,۲۵	۱۰,۰۳	۲۷,۸۹	۷۰,۰۴	۷۳,۱۵	۷۴	۲۸,۳	۱۵,۰۴	۱۰,۵	۱۱,۵	۲۰۷۱-۲۱۰۰

جدول ۵- میانگین متوسط ماهانه دراز مدت دبی، طی دوره مشاهده شده و دوره های تغییر اقلیمی سناریوی B<sub>2</sub>

### ۳- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از مدل سازی دبی جریان در حوضه زاینده رود توسط نرم افزار SWAT، برای دوره های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ (آینده دور) و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ (آینده نزدیک)، مشاهده می شود که در هر دو حالت سناریوهای تغییر اقلیم (A<sub>2</sub> و B<sub>2</sub>)، دبی جریان کاهش می یابد، البته این نتایج همچنین نشاندهنده تغییر زمانی پیک جریان از ماههای مارس و آوریل به ماههای ژانویه و مارس می باشد، که ناشی از افزایش بارش و دما در این ماهها و در نتیجه ذوب زود هنگام برف در این ماهها می باشد. در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نیز شاهد افزایش دبی در ماه دسامبر می باشیم که به دلیل افزایش بارش در این ماه در دوره زمانی مذکور می باشد. ولی در حالت کلی حتی با در نظر گرفتن پیکهای جریان دبی در هر دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ کاهش داشته است، این کاهش برای دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۱) (۱۰ تا ۱۱ درصد) کمتر و برای دوره آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰) (۱۱ تا ۱۳ درصد) بیشتر است، که نشاندهنده کاهش جریان با گذشت زمان تحت اثر افزایش دما و تغییرات بارش می باشد، این امر لزوم بررسی راههای تطبیق با اثرات هیدرولوژیکی ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای را بیان می کند.

### ۴. مراجع

- [۱] Norman L. Miller, Kathy E. Bashford, Eric Strem (۲۰۰۱). "Climate Change Sensitivity Study of California Hydrology, A Report to the California Energy Commission", LBNL Technical Report No. ۴۹۱۱۰, November.
- [۲] Athanasios Loukav, Michael C. Quick (۱۹۹۶) "Effect of Climate Change on Hydrologic Regime of two Climatically Different Watersheds", Journal of Hydrologic Engineering, April, ۷۷-۸۷
- [۳] David R. De walle, Brgan R. Swistock, thomas E. Johnson, Kevin J. Meguine, (۲۰۰۰). "Potential Effeds of Climate Change and Urbanization on Meam Annual Stream Flow in the United Statas", Water Resources Research, September, Vol. ۳۶, No. ۹, pages ۲۶۵۵-۲۶۶۴.

[ε] Manoj Jha, Zaitaopan, Eugene S. Takle, Roy Gu, (2003). "The Impacts of Climate Change on Stream flow in the Upper Mississippi River Basin" Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, May-June, 234-246.

[ο] L.E. HAY, M.P. Clark, R. L. Wilby, W.J. Gutowski, G.H. Leavesley, Z. Pan, R.W. Arritt, E.S. Takle, (2002). "Use of Regional Climate Model Output for Hydrologic Simulations" Journal of Hydrometeorology, October, 571-590.

[ϛ] Niklas S. Christensen, Andrew W. Wood, Nathalie Voisin, Dennis P. Lettenmaier, Richard N. Palmer, (2005), "The Effects of Climate Change on the Hydrology and Water Resources of the Colorado River Basin".

[Ϝ] Ekaterini Varanou, Eleni Gkouvatsou, Evangelos Baltas, Maria Mimikou, (2002), "Quantity and Quality Integrated Catchment Modeling Under Climate Change with Use of Soil and Water Assessment Tool Model" Journal of Hydrologic Engineering, May-June, 228-244.

[λ] S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, (2005), "Soil and Water Assessment Tool users Manual, version 2005".

[ϙ] Drucup, J.A., Vicuna S., (2005), "An Overview of Hydrology and Water Resources Studies on Climate Change: the California Experience" Proc. EWRI 2005: Impact of Global Climate Change.