

## بررسی روند تغییرات بارش، تبخیر و تعرق و دبی حوضه آبریز کن با توجه به تغییرات اقلیمی

دانیال ادیب طالقانی<sup>۱\*</sup>، بهنوش خوش‌منش<sup>۲</sup>

\*۱ - گروه محیط زیست، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران، ایران

۲- گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، پرند، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۸

### چکیده

یکی از اثرات تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر، تغییرات چرخه‌های آبی در مناطق مختلف زمین بوده است. از آنجا که این تغییرات می‌تواند اقتصاد و مهم‌تر از آن سلامت انسان را تحت تاثیر قرار دهد، مطالعه روند پارامترهای تاثیرگذار برای آمادگی انسان در برابر مشکلات اقتصادی، کمبود آب و غیره در آینده، امری بسیار مهم و ضروری شده است. لذا در این تحقیق، مطالعه روند تغییرات هیدرواقلیمی حوضه آبخیز کن مورد بررسی قرار گرفت که براساس نتایج این تحقیق که ابتدا دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ را تحت آزمون من-کندال و رگرسیون خطی مورد بررسی قرار داد، در این دوره میزان تغییرات اقلیمی به کندی پیش می‌رود که شامل کاهش اندک بارش و افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل و در نتیجه کاهش دبی رودخانه می‌شود. همچنین با مطالعه روند تغییرات در سه دوره آتی ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ توسط مدل GISS-AOM از سری مدل‌های گردش عمومی، نتایج حاکی از آن است که تبخیر و تعرق روند افزایشی خود را ادامه خواهد داد ولی بارش با وجود نوسانات در دوره‌های زمانی خاص روند کاهشی خواهد داشت و همچنین میانگین دمای منطقه که با تبخیر و تعرق رابطه مستقیم دارد، در مقایسه با میانگین دمای جهانی تا اواسط قرن ۲۱ کمتر و بعد از آن بیشتر می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** هیدرواقلیم، منابع آب، من-کندال، مدل گردش عمومی، حوضه آبخیز کن

## مقدمه

از نیمه قرن بیستم به دلیل استفاده بیش از حد سوخت‌های فسیلی و در نتیجه آن افزایش چشمگیر غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی زمین شدت یافته است (مساح بوانی و سادات آشفته، ۱۳۸۸). تغییرات دمایی و اقلیمی زمین بر چرخه و منابع آب منطقه تاثیرگذار است از طرفی دسترسی به آب برای سلامت انسان و همچنین فعالیت‌های اقتصادی و عملکرد اکوسیستم و فرایندهای ژئوفیزیک حیاتی است (Milly *et al.*, 1975; Sheikh, 2014). لذا در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی بر حوضه‌های آبخیز و دریاچه‌ها به منظور پایش میزان تغییرات آن و با استفاده از مدل‌ها و روابط آماری برای دوره‌های آتی انجام شده است.

از سال ۱۹۸۷ سازمان جهانی هواشناسی (WMO) بر لزوم تحقیق درباره اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب تأکید کرد (ابراهیمی و کردوانی، ۱۳۹۳). ازین رو تحقیقات بسیاری درباره تغییرات اقلیمی و هیدرو اقلیمی در جهان انجام شده است (Tiwari *et al.*, 2018; Naz *et al.*, 2016; Engstrom & Waylen, 2017; Velasco *et al.*, 2017; Zheng *et al.*, 2017; VanRheen *et al.*, 2014). از آنجا که بیشتر نواحی ایران در مناطق خشک واقع شده است، اهمیت این موضوع را دوچندان می‌کند از این رو تحقیقات بسیاری در داخل ایران انجام شده است. به‌طور مثال Sheikh در سال ۲۰۱۴ با تحلیل هیدرواقلیمی حوضه آبخیز اترک با استفاده از آزمون غیر پارامتریک من-کندال، سری داده‌های ۱۱ ایستگاه هواشناسی و ۸ ایستگاه هیدرومتری از سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۸ نتیجه گرفت که دبی در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها کاهش یکنواختی داشته اما بارش عامل موثری در کاهش دبی نبود بر این اساس با بررسی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل متوجه شد که به دلیل افزایش چشمگیر آن عامل عمده کاهش در دبی رودخانه بوده است. در تحقیقی دیگر، نگین بینش و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی میزان بارش بر آبدی رودخانه درکه در تهران از سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ با استفاده از رگرسیون خطی و آزمون من-کندال دریافتند که به‌جز

برخی دوره‌های زمانی، افزایش یا کاهش بارش و دبی همسو نبوده است. همچنین آن‌ها با استفاده از یکی از مدل‌های گردش عمومی با بررسی بارش در طی سه دوره ۱۱ ساله آینده از کاهش آن خبر دادند. از طرفی دیگر مهسافر و همکاران (۱۳۸۹) تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند که با استفاده از مدل HadCM3 از سری مدل‌های گردش عمومی و با استفاده از شبکه‌های نروفازی (ANFIS) برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ شبیه‌سازی کردند که از افزایش میانگین سالانه دما و کاهش میانگین سطح تراز آب دریاچه به ترتیب به اندازه ۲/۳۵ درجه و ۳/۳۹ متر در سناریو B<sub>2</sub> و کاهش دمای ۲/۸ درجه و کاهش سطح تراز آب ۴/۶۰ متر در سناریو A<sub>2</sub> و با مقایسه این دو سناریو نشان دادند که دریاچه تا اواخر قرن ۲۱ تحت سناریو A<sub>2</sub> خشک می‌شود. هم‌چنین قاسم عزیزی و محمود روشنی (۱۳۸۶) با مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از آزمون رتبه‌ای من-کندال در طی دوره ۴۰ ساله (۱۹۵۵ تا ۱۹۹۴) میزان تغییرات ناگهانی داده‌ها و زمان آن‌ها را شناسایی کردند. آن‌ها متوجه شدند که دامنه نوسانات دما در طول دوره کاسته شده و درصد تغییرات در فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز بیشتر است. در تحقیق دیگر نوسانات هیدرواقلیمی سطح آب دریاچه ارومیه تحلیل شدند (یاراحمدی، ۱۳۹۳) که در آن تحقیق داده‌های مربوط طی دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ را جمع‌آوری و با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال و پارامتری ضریب پیرسون و تحلیل رگرسیون متوجه شدند که ۳۰ درصد از تغییرات سطح آب دریاچه با تغییرات دما و بارش توجیه می‌شوند و ۴۲ درصد آن، از میزان دبی رودخانه‌های منتهی به دریاچه و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی منجر می‌شود و مقدار دما تأثیر بیشتری نسبت به بارش بر سطح آب دارد. از طرفی نوری و همکاران (۱۳۹۵) تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در قرن ۲۱ در برخی مناطق خشک ایران را بررسی کردند که با استفاده از آزمون روندیابی من-کندال طی سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۰ متوجه شدند که روند در اکثر ایستگاه‌ها در سطح ۹۵ درصد

استفاده اند و به نرمال بودن داده حساس نیستند. این آزمون به دنبال یک روند در یک سری زمانی بدون در نظرگیری خطی یا غیرخطی بودن آن می‌گردد (Chen *et al.*, 2000; Hisdal *et al.*, 2007). در این روش دو عامل  $U_i$  و  $U'_i$  محاسبه و برای بررسی روند، در کنار یکدیگر ترسیم می‌شوند تا با توجه به موقعیت آن‌ها از دو مقدار عددی آستانه  $\pm 2,58$  (در سطح احتمال ۱ درصد) یا  $\pm 1,96$  (در سطح احتمال ۵ درصد) و  $\pm 1,64$  (در سطح احتمال ۱۰ درصد) تجاوز کند، روند معنادار و در صورتی که میان این دو آستانه قرار گیرد، روند غیر معنادار است. در شرایطی که دو خط  $U_i$  و  $U'_i$  یکدیگر را قطع کنند، نقطه تقاطع، نقطه جهش (تغییر ناگهانی) محسوب می‌شود که اگر پس از این جهش، دو خط یاد شده در یک حریم و محدوده باشند، جهش معنادار نخواهد بود. اما چنانچه از حریم یکدیگر تجاوز و محدوده را به‌طور کل یا موقت ترک کنند، جهش معنادار خواهد بود. همچنین در صورت معناداری روند معمولاً دو نمودار در نقطه آغازین یکدیگر را قطع و در جهات مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند. در حالی که در شرایط نبود روند  $U_i$  و  $U'_i$  تقریباً به‌صورت موازی حرکت کرده و یا با چند بار برخورد، به‌طوری که به تغییر جهت آن‌ها منجر نشود، حرکت می‌کنند (خوشحال دستجردی و قویدل رحیمی، ۱۳۸۷). شایان ذکر است، اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی بارندگی به تنهایی نمی‌تواند دلیل قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد بلکه فرض رخ دادن آن را تقویت می‌کند (Serran *et al.*, 1999).

### مدل گردش عمومی

برای بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات بارش و تبخیر-تعرق از مدل GISS-AOM از سری مدل‌های جفت شده اتمسفر-اقیانوس (AOGCM) گردش عمومی مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌های گردش عمومی مدل‌های اقلیمی هستند که برای پیش‌بینی اقلیم در دوره‌های آتی به‌کار می‌روند. مدل GISS-AOM (Goddard Institute of Space Studies-Atmospheric Oceanic Model) توسط موسسه گودارد ناسا با رزولوشن

غیرمعنادار و صعودی بوده که احتمالاً بخاطر افزایش روند تشعشع خورشیدی و دما و کاهش رطوبت نسبی بوده است و همچنین آن‌ها با استفاده از مدل HadCM3 گردش عمومی از افزایش میزان تبخیر و تعرق طی سه دوره زمانی مختلف خبر دادند.

از این رو این تحقیق تغییرات هیدرواقليمی حوضه آبخیز کن واقع در شهر تهران، طی دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ و همچنین پیش‌بینی آن در طی سه دوره آینده با استفاده از سری مدل‌های گردش عمومی مورد بررسی قرار می‌دهد.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مطالعاتی

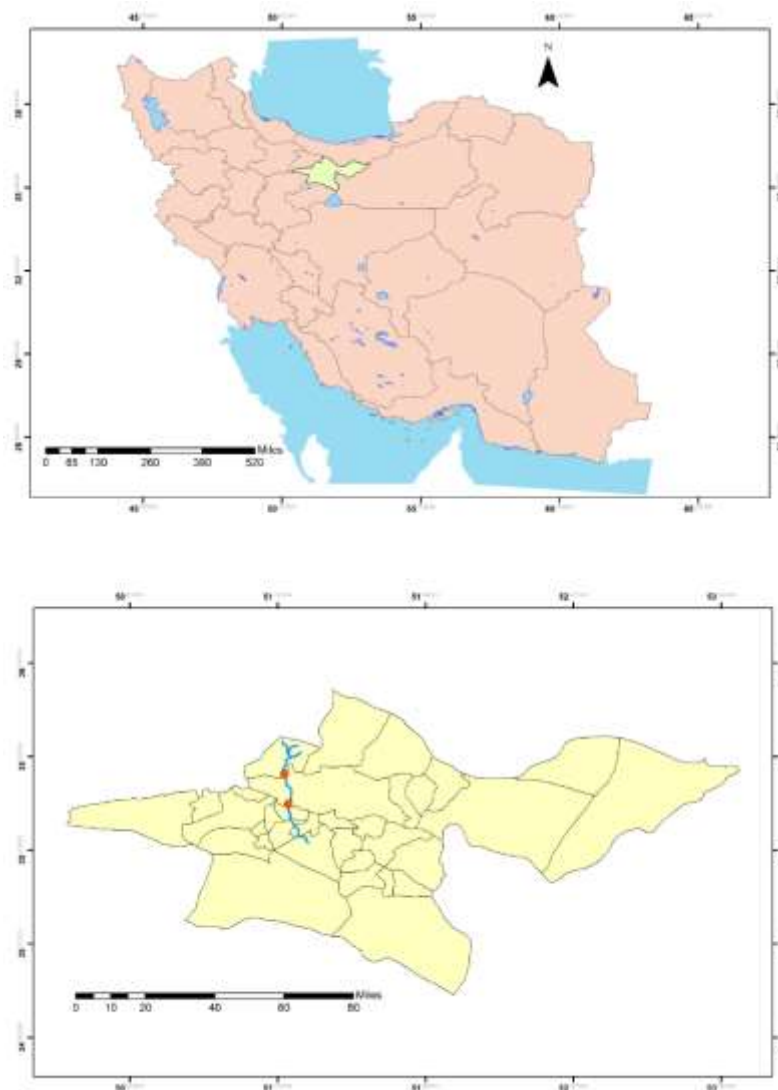
رودخانه کن پرآب‌ترین رودخانه تهران با طول ۳۳ کیلومتر است. این رودخانه از رشته کوه توچال در شمال تهران سرچشمه می‌گیرد و با گذر از کلان شهر تهران از سمت شمال به جنوب سرریز شده و در نواحی بایر جنوبی تهران خشک می‌شود (شکل ۱). داده‌های مربوط به جریان ایستگاه هیدرومتری سولقان واقع در شمال غرب تهران از شرکت مدیریت منابع آب استان تهران و داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد واقع در فرودگاه مهرآباد از سازمان هواشناسی اخذ (جدول ۱) و داده‌های میانگین دبی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۲) دوره آماری ۳۰ ساله و همچنین مجموع بارش ماهانه، متوسط دمای ماهانه از طریق این دو ایستگاه بدست آمدند.

### آزمون من-کندال

آزمون من-کندال یک روش غیر پارامتری برای بررسی روند سری‌های اقلیمی، هواشناسی و هیدرولوژیک که از پارامتر خاصی پیروی نمی‌کنند. این آزمون ابتدا در سال ۱۹۴۵ توسط من (Mann, 1945) معرفی گردید و سپس در سال ۱۹۷۵ توسط کندال (Kendall, 1975) توسعه پیدا کرد. با استفاده از این آزمون می‌توان تعداد، نوع و زمان تغییرات روند را شناسایی کرد و معنی‌دار یا غیر معناداری آن را تعیین کرد. من-کندال که یک آزمون غیر پارامتری است، در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل

مقیاس‌سازی کرد. عمل ریز مقیاس‌سازی در این تحقیق روش تغییر عامل یا روش دلتا است که در این روش با تقسیم داده‌های درشت مقیاس آتی GCM به سال‌های دوره پایه مشاهداتی ضریبی حاصل می‌شود که با ضرب دوره مشاهداتی در این ضریب برای بارش و جمع جبری دوره مشاهداتی دما، داده‌ها ریز مقیاس می‌شوند.

اتمفسری و اقیانوسی ۳\*۴ مربوط به گزارش چهارم هیأت بین‌الدولتی تغییرات اقلیمی (IPCC) منتشر شده است. بر این اساس سه دوره ۱۶ ساله نزدیک، متوسط و دور، به ترتیب ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ و ۲۰۴۵ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۷۵ تا ۲۰۹۰ بر اساس دوره پایه ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ برای بررسی انتخاب و تحت سناریو A1B صورت گرفت. با توجه به این که داده‌های GCM درشت مقیاس هستند و برای تحلیل منطقه‌ای کاربرد ندارند، لذا داده‌های آن‌ها را باید ریز



شکل ۱- استان تهران با رنگ زرد مشخص شده است که نقاط قرمز بالا و پایین به ترتیب، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری سولقان و سینوپتیک مهرآباد در حوضه آبریز کن می‌باشند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	ارتفاع (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
سولقان	۱۴۳۰	E ۵۱,۱۶	N ۳۵,۴۷
مهرآباد	۱۱۹۱	E ۵۱,۱۹	N ۳۵,۴۱

(رابطه ۱)

$$P = P' * \Delta P$$

$$T = T' * \Delta T$$

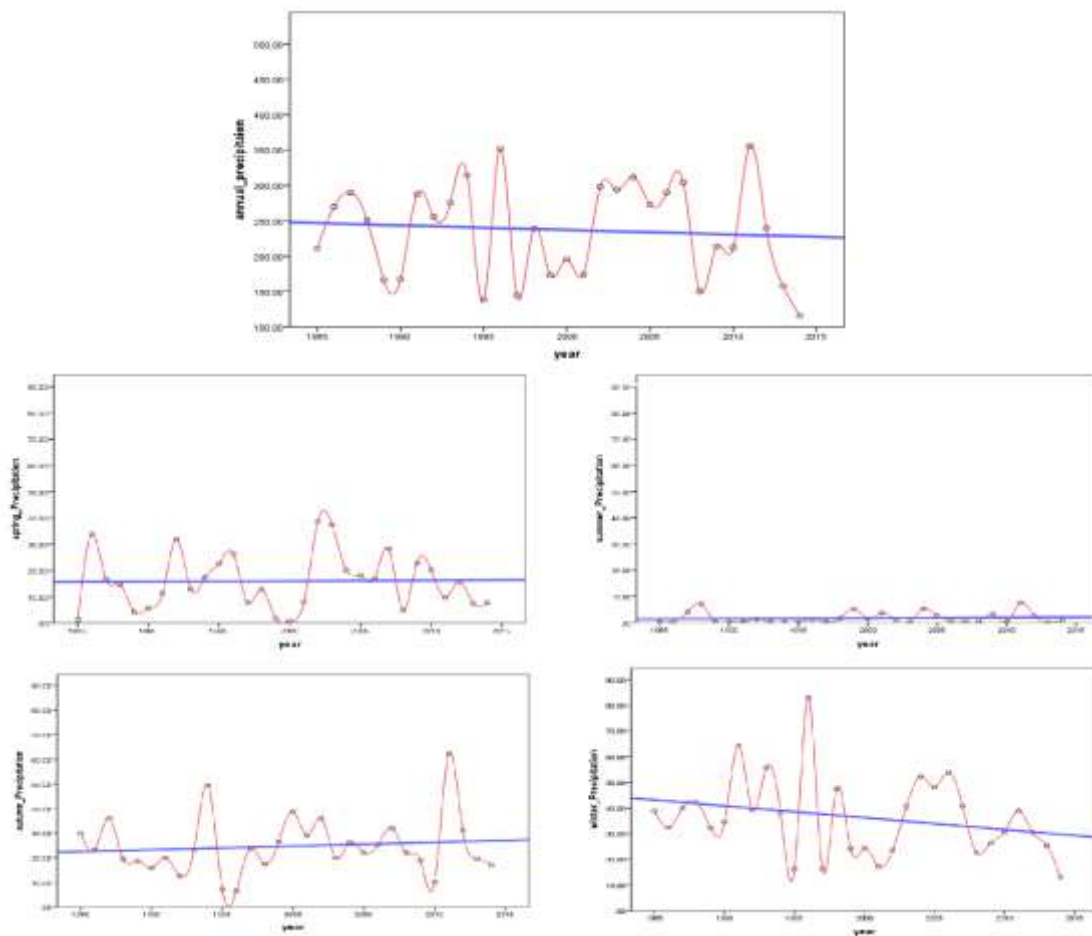
که در آن  $P$  مقدار بارش پیش‌بینی شده،  $P'$  مقدار بارش مشاهداتی و  $\Delta P$  عامل ریزمقیاس‌کننده بدست آمده می‌باشد که همین تعاریف برای دما نیز صادق می‌باشد.

## نتایج

برای بررسی میزان تغییرات، آمار مطالعاتی حوزه آبخیز در طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ با استفاده از رگرسیون خطی و من-کندال بررسی شدند و سپس پیش‌بینی سه دوره آتی توسط مدل GISS-AOM را مورد تحلیل قرار گرفت.

**بررسی روند بارش، دبی و تبخیر و تعرق دوره گذشته**  
 شکل ۲ مجموع بارش سالانه و میانگین فصلی را از ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است میزان بارش طی ۳۰ سال گذشته روند کاهشی داشته است. این میزان در فصل بهار و تابستان تقریباً تغییری نداشته، در فصل پاییز روند افزایشی اندکی داشته اما در فصل زمستان با کاهش چشمگیری روبرو بوده است. اما براساس تحلیل رگرسیون، مقدار بارش سالانه و هیچ‌کدام از میانگین فصول سال در سطح ۵ درصد معنادار نیستند. جدول ۲ میزان شیب خط رگرسیون، ضریب همبستگی

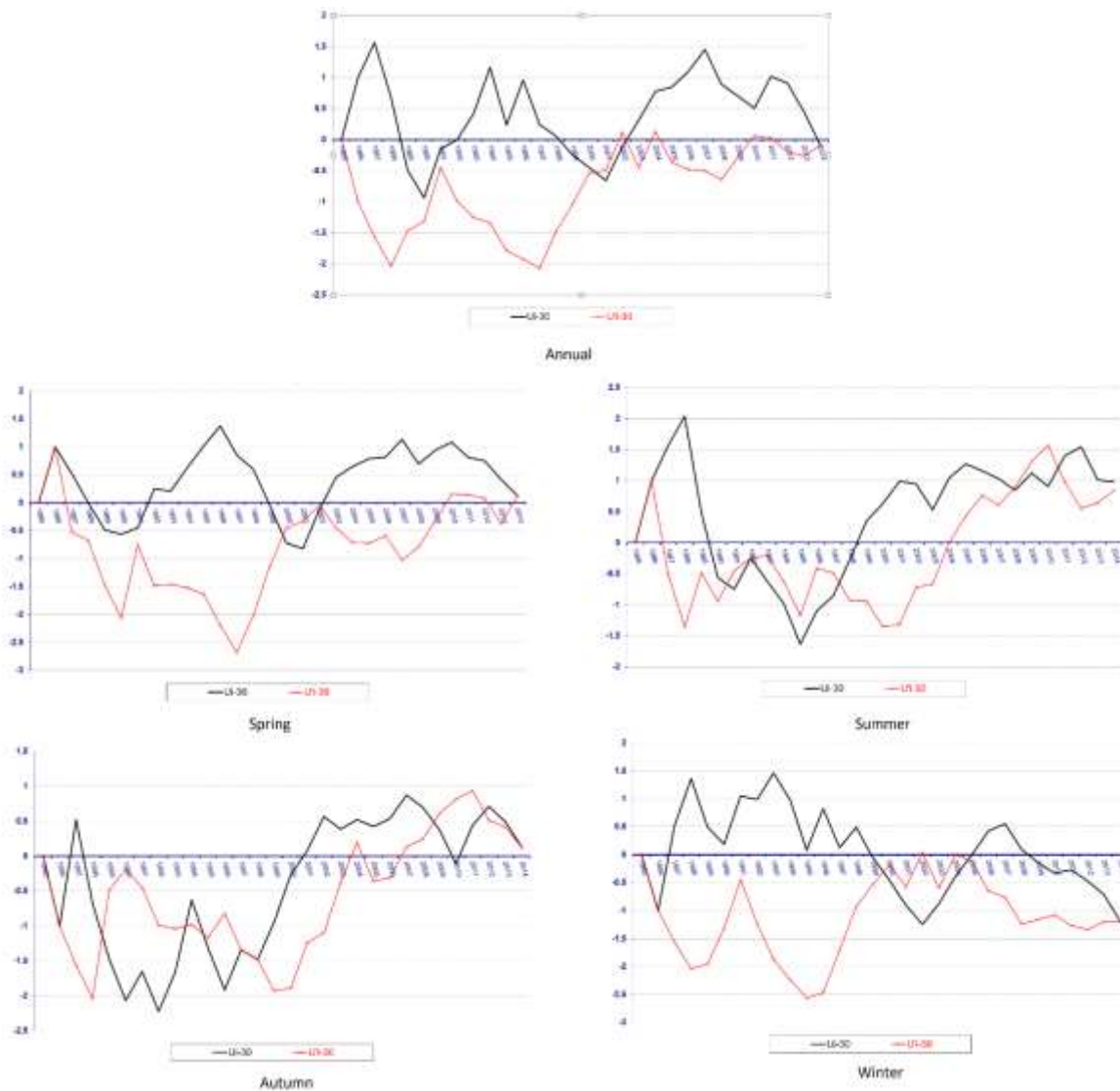
برای بارش را نشان می‌دهند. هم‌چنین شکل ۳ نتایج حاصله از آزمون من-کندال مربوط به بارش ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ برای هر دو مقدار سالیانه و میانگین فصلی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است روند بارش در هیچ یک از سال‌ها و فصول آماری معنی‌دار نبوده و فقط در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۰ برای مقدار سالیانه، ۱۹۹۳، ۱۹۸۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ برای فصل بهار، در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ برای فصل تابستان، برای فصل زمستان در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۵ و برای فصل پاییز در سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۳، ۱۹۹۴، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ جهش وجود داشته که به معنای تغییر در روند بارش است که بیشترین تغییرات مربوط به فصول بهار و پاییز هستند. طبق این آزمون، میزان بارش دچار نوسانات بسیاری بویژه در دو فصل بهار و پاییز بوده و روند کاهشی اندکی در این بازه زمانی داشته است. شکل ۴ میانگین دبی سالیانه و فصلی را از ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است میزان دبی رودخانه در طی ۳۰ سال گذشته روند کاهشی داشته است. در فصل بهار و زمستان روند کاهشی و در فصل تابستان و پاییز روند نسبتاً افزایشی بوده است.



شکل ۲- مجموع بارش سالیانه و میانگین فصلی مربوط به ایستگاه مهرآباد بر حسب میلی‌متر

جدول ۲- مقدار شیب خط رگرسیون و ضریب همبستگی برای بارش ایستگاه مهرآباد

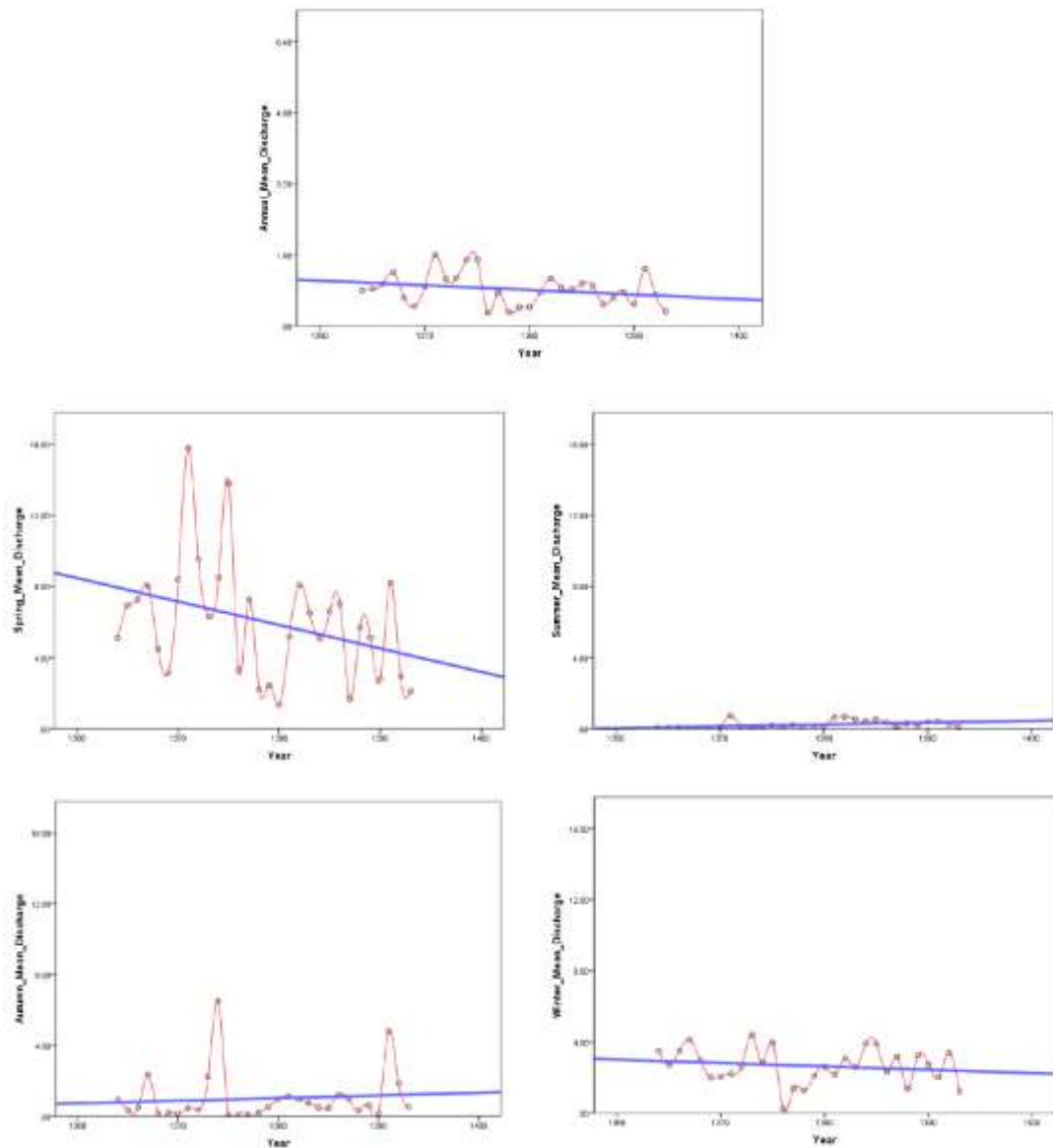
زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سالیانه	
-۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲	-۰/۶۵	شیب خط رگرسیون
۰/۰۶۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۷	ضریب همبستگی (R)



شکل ۳- تغییرات دو پارامتر  $U_1$  و  $U_2$  آزمون من-کندال برای بارش

فصل زمستان در سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۱، ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ جهش داشته‌ایم که به معنای تغییر در روند آبدی رودخانه در این سال‌ها بوده است که بیشترین مقدار تغییرات مربوط به فصل زمستان بوده است. با توجه به کاهش مقدار بارندگی در طی این دوره، کاهش مقدار در آبدی رودخانه می‌تواند توجیه شود.

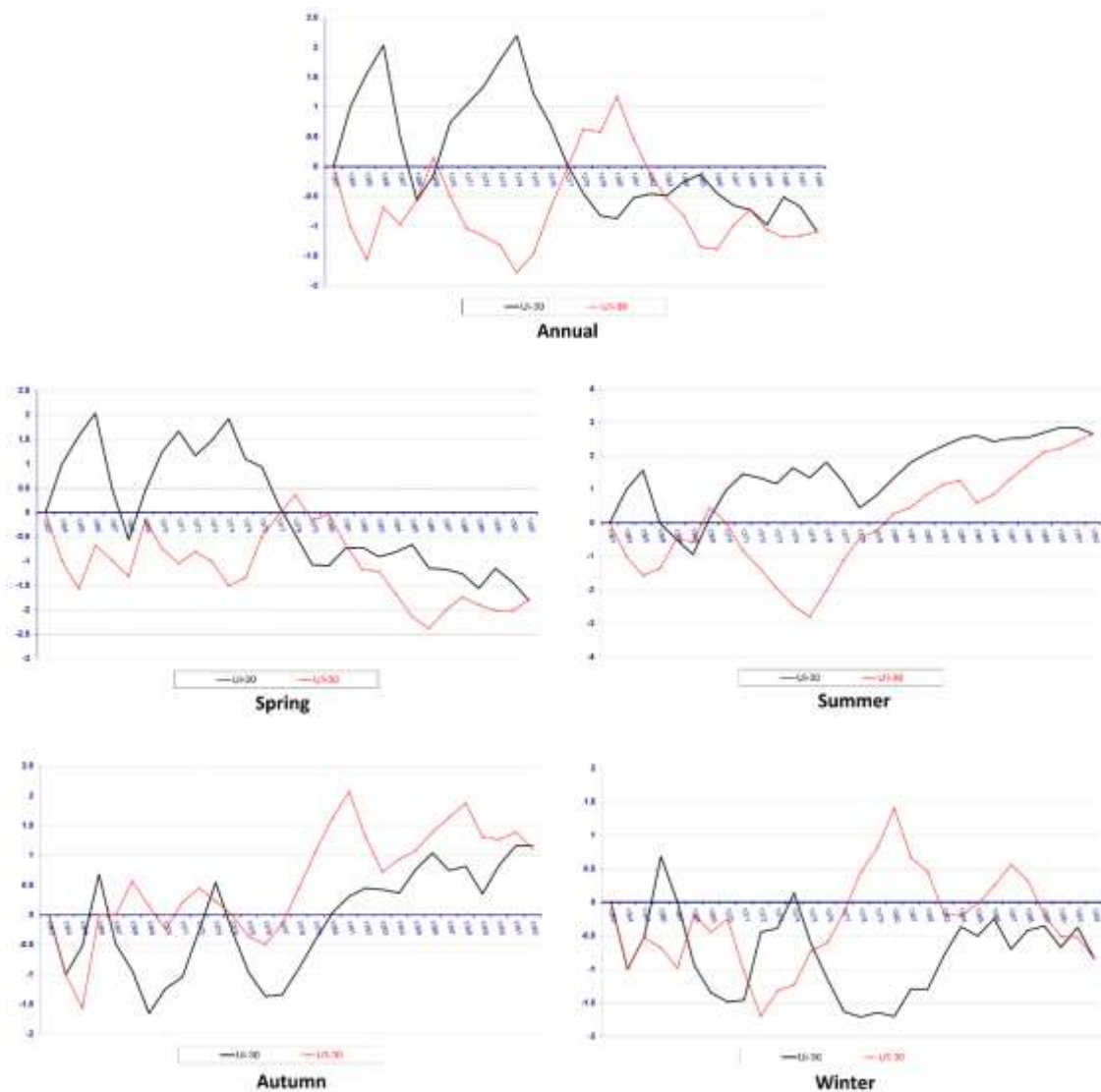
همچنان شکل ۵ آزمون من-کندال را برای دبی طی این دوره نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، روند در هیچ‌کدام از سال‌های آماری برای مقدار سالیانه و فصلی معنادار نبوده و فقط در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۳ برای میانگین دبی سالیانه، در سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۱ برای فصل بهار، در سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۶۹، در فصل پاییز در سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۴ و برای



شکل ۴- میانگین دبی سالیانه و فصلی رودخانه کن مربوط به ایستگاه هیدرومتری سولقان بر حسب مترمکعب بر ثانیه

جدول ۳- مقدار شیب خط رگرسیون و ضریب همبستگی برای دبی رودخانه کن ایستگاه هیدرومتری سولقان

سالیانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
شیب خط رگرسیون	-۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۲	-۰/۰۲
ضریب همبستگی (R)	۰/۰۶۷	۰/۱۷۶	۰/۰۰۹	۰/۰۲۹



شکل ۵- تغییرات دو پارامتر  $U_1$  و  $U_2$  برای رودخانه

### تبخیر و تعرق

یکی از عوامل مهم قابل تأثیر بخصوص در مناطق خشک و کویری در هیدرواقليم منطقه میزان تبخیر و تعرق آن منطقه است. معادله میزان توازن آبی یک حوضه آبخیز به این صورت است:

$$\text{بارش} = \text{رواناب} + \text{تبخیر و تعرق} \pm \text{ذخایر آبی}$$

که در مطالعات بلند مدت مانند یک دهه یا بیشتر ذخایر آبی قابل چشم پوشی است (Senay et al., 2011; Gao et al., 2010; Domokos & Sass, 1999).

تعرق پتانسیل یک مکان با استفاده از تشت تبخیر کلاس A که نسبت به سایر روش‌ها رایج تر است اندازه‌گیری میشود. هم‌چنین معادلات و روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری این پارامتر وجود دارد که هرکدام به دلیل پیچیدگی‌های خود از دقت‌های نسبی متفاوتی برخوردارند. در این تحقیق از روش تورنت وایت (Thorntwaite, 1931) استفاده شده است (رابطه ۲). از آن‌جا که میزان دما با میزان تبخیر و تعرق رابطه مستقیم دارد، تنها متغیر این معادله دمای میانگین ماهانه مورد نظر است.

(رابطه ۲)

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$\alpha = (6.75 * 10^{-7})I^3 - (7.71 * 10^{-5})I^2 - (1.792 * 10^{-2})I + 0.49239$$

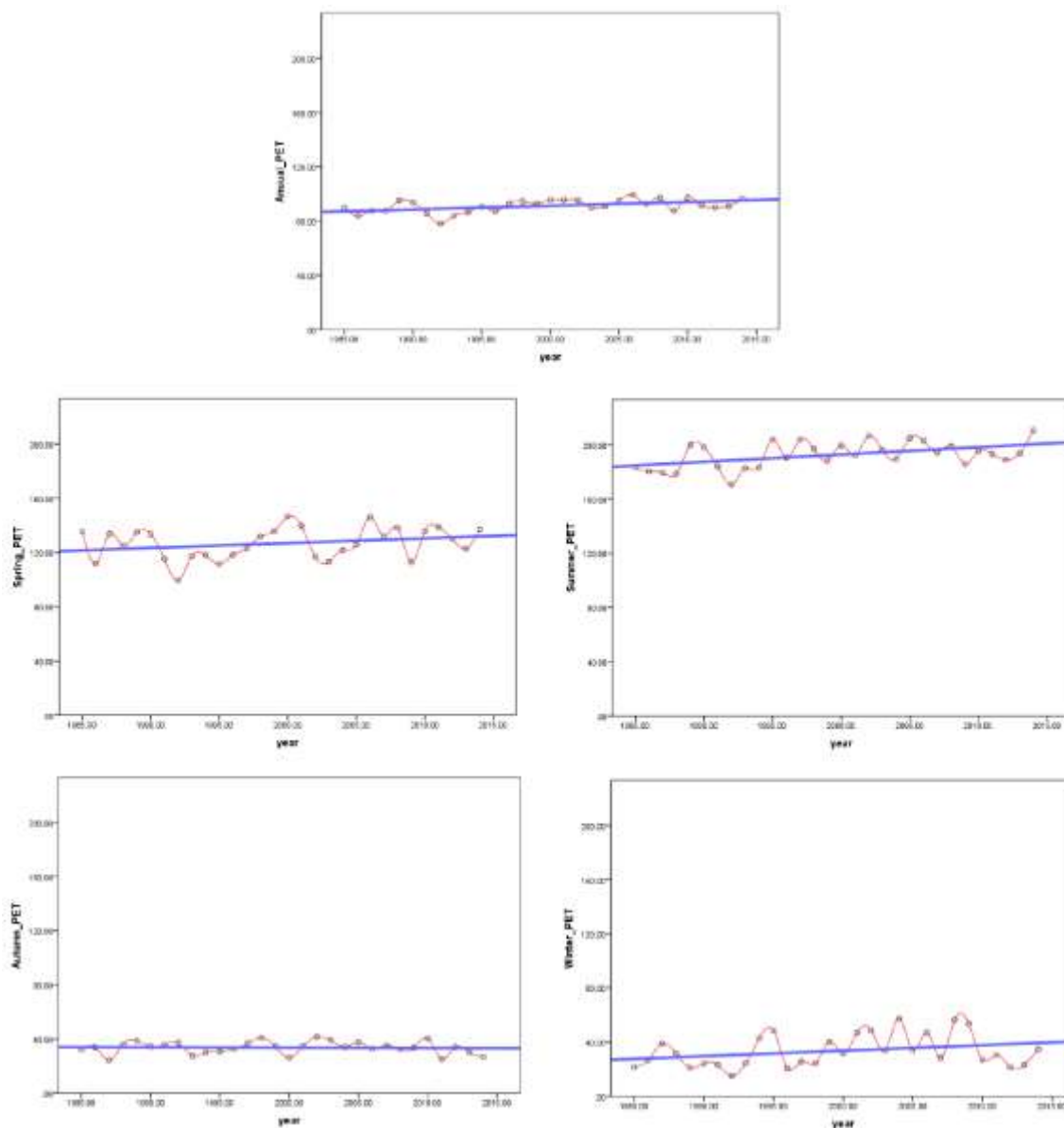
$$PET(not\ corrected) = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I}\right)^\alpha$$

$$PET(corrected) = PET(not\ corrected) * \frac{N}{12} * \frac{d}{30}$$

که در این رابطه  $t$  میانگین دمای ماهانه،  $i$  ضریب گرمایی تورنت وایت،  $I$  شاخص گرمای سالیانه،  $N$  تعداد ساعات آفتابی،  $d$  تعداد روزهای ماه مورد نظر،  $PET(not\ corrected)$  مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل اصلاح نشده و  $PET(corrected)$  تبخیر و تعرق پتانسیل اصلاح شده است. بر این اساس شکل ۶ میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ۳۰ ساله طی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ را نشان می‌دهد که روند صعودی داشته است. این بدین معناست که منطقه مطالعاتی با توجه به کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق طی ۳۰ سال گذشته رو به خشکی رفته است. بر اساس شکل ۶ در تمامی فصول سال این مقدار افزایشی بوده است. طبق تحلیل رگرسیون این پارامتر، روند سالیانه و تابستان در سطح ۹۵ درصد معنادار بوده است. شکل ۷ آزمون من-کندال را برای تبخیر و تعرق پتانسیل حوضه آبریز را طی ۳۰ سال نشان می‌دهد. طبق این آزمون هیچ یک سال‌های آماری در مقدار سالیانه و فصلی در سطح ۹۵ درصد معنادار نیست و جهش‌ها در سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۱، ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و ۲۰۱۲ برای مقدار سالیانه، سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۸۹، ۱۹۹۹

و ۲۰۰۳ برای فصل بهار، سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۳ و ۲۰۱۲ برای فصل تابستان و سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۲ برای فصل زمستان وجود دارد که نشان‌دهنده تغییر در روند تبخیر و تعرق پتانسیل است. شایان ذکر است که هیچ جهشی برای فصل پاییز وجود ندارد و با توجه به تعداد جهش‌ها برای فصل بهار و مقدار سالیانه، بیشترین نوسانات برای این دو پارامتر زمانی وجود دارد.

**پیش‌بینی بارش و تبخیر و تعرق برای دوره‌های آتی**  
 شکل ۸ تغییرات بارش را برای سه دوره زمانی ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، میانگین بارش ماه‌های سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ برای بعضی از ماه‌های سال از جمله زمستان و پاییز بیشتر است و کاهش میزان بارندگی چشمگیری را نشان نمی‌دهد. هم‌چنین این میزان برای سال ۲۰۴۵ تا ۲۰۶۰ به گونه‌ای است که تعداد ماه‌ها با بارندگی بیشتر نسبت به دوره گذشته ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰، به سه ماه در زمستان و پاییز کاهش یافته است. این مقدار برای دوره ۲۰۷۵ تا ۲۰۹۰ به دو ماه در فصل زمستان کاهش می‌یابد. با توجه به این روند می‌توان نتیجه گرفت که بارش در دوره‌های آتی تا اواسط قرن ۲۱ دچار نوسانات با افزایش بارندگی در چند ماه سال و کاهش در ماه‌های دیگر است که از اواسط قرن به بعد این روند با توجه به کاهش بودن آن، نوسانات آن کمتر می‌شود. هم‌چنین شکل ۹ میانگین بارش فصلی برای دوره‌های آینده را نشان می‌دهد که در فصل زمستان و پاییز روند کاهش چشمگیری را شاهد خواهیم بود.

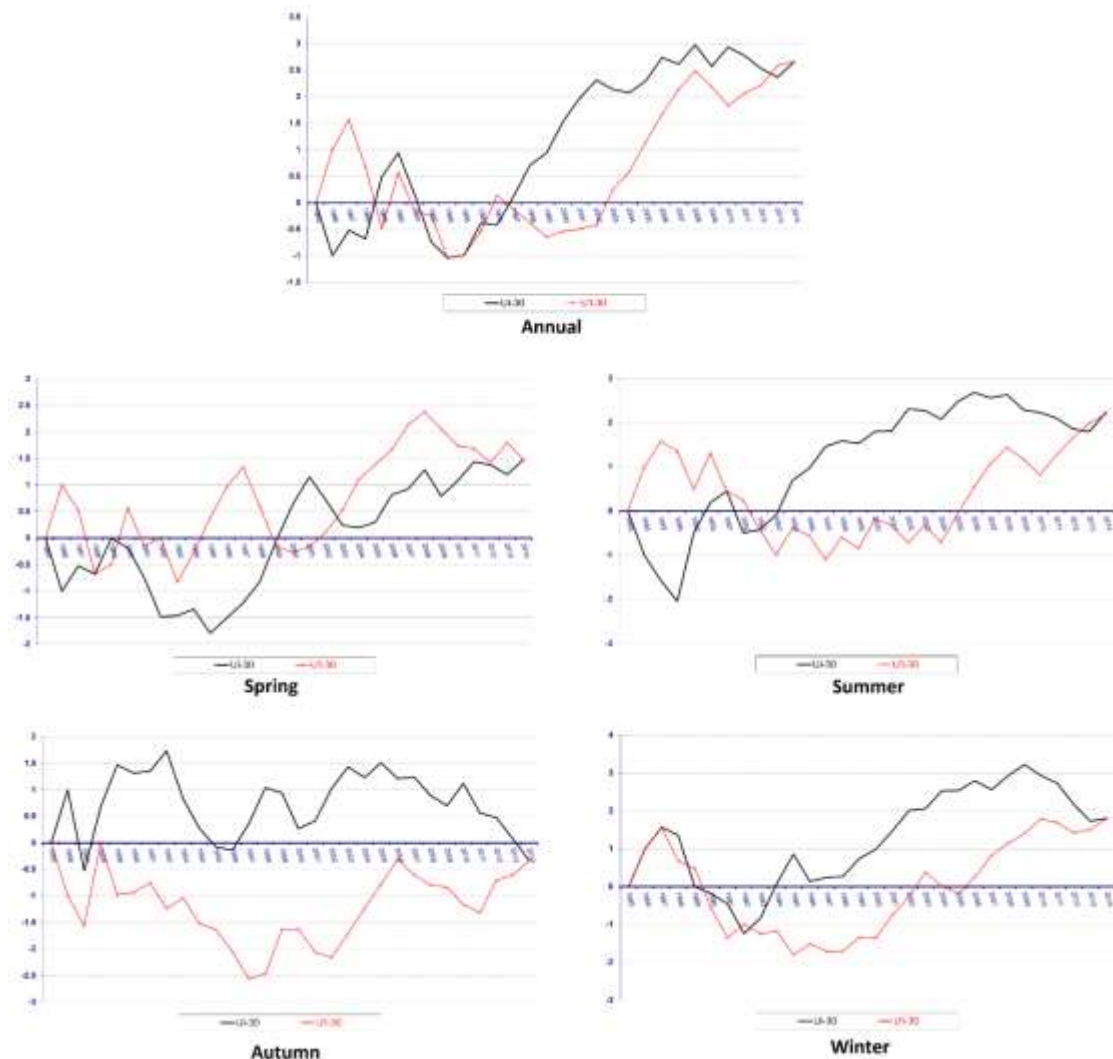


شکل ۶- روند تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه و فصلی حوضه آبخیز کن بر حسب میلی‌متر

جدول ۴- مقدار شب خط رگرسیون و ضریب همبستگی برای تبخیر و تعرق حوضه آبخیز کن

سالیانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	
۰/۲۸*	۰/۳۵	۰/۵۴*	۰/۰۲	۰/۰۴	شیب خط رگرسیون
۰/۲۵۴	۰/۰۷۳	۰/۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۹۱	ضریب همبستگی (R)

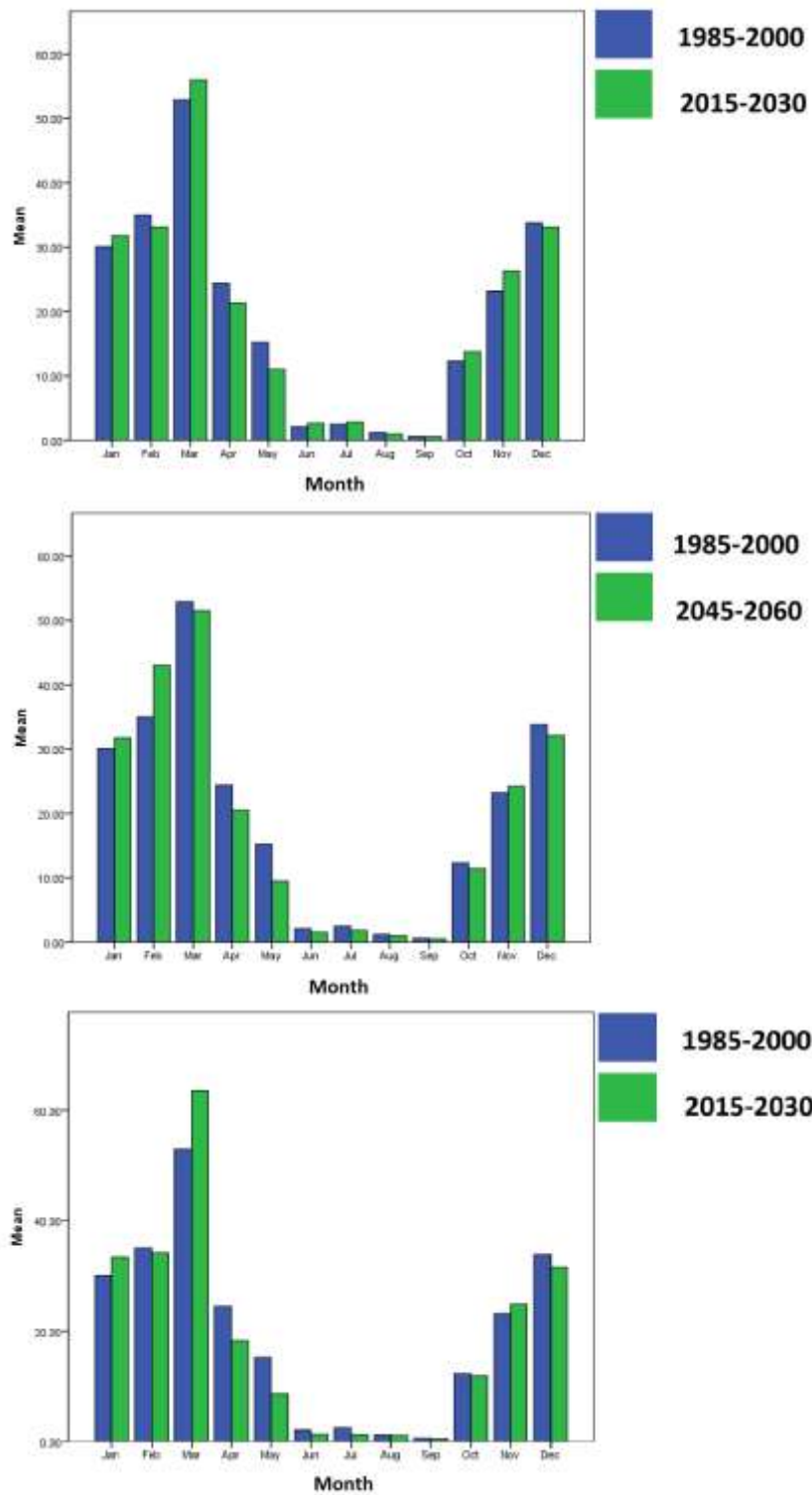
\* نشان دهنده معناداری در سطح ۹۵ درصد



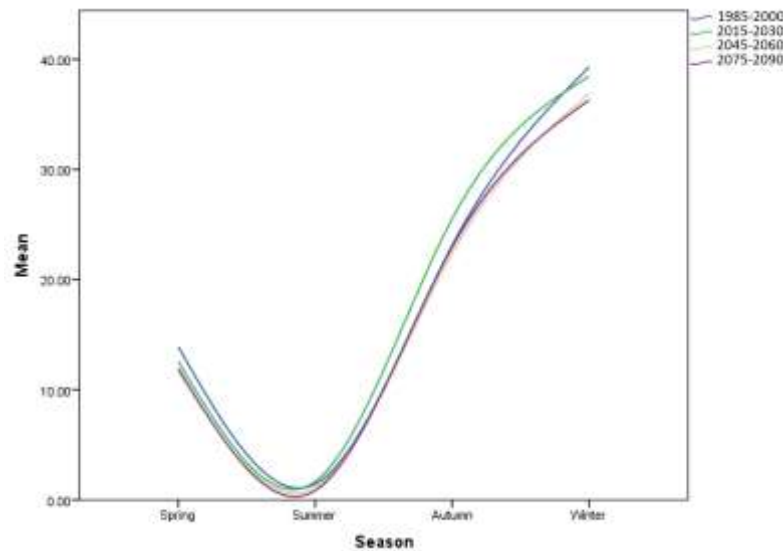
شکل ۷- تغییرات دو پارامتر  $U_i$  و  $U_e$  برای تبخیر و تعرق پتانسیل حوضه آبخیز کن به روش تورنت وایت

می‌دهد که بر اساس این نمودار، تبخیر و تعرق در دو فصل تابستان و بهار در دوره‌های آبی افزایش چشمگیری خواهد داشت. از طرفی با افزایش رو به رشد تبخیر و تعرق و کاهش دبی در دوره‌های آبی، بالا رفتن شاخص خشکی در منطقه و کاهش در دبی رودخانه را می‌توان برآورد کرد.

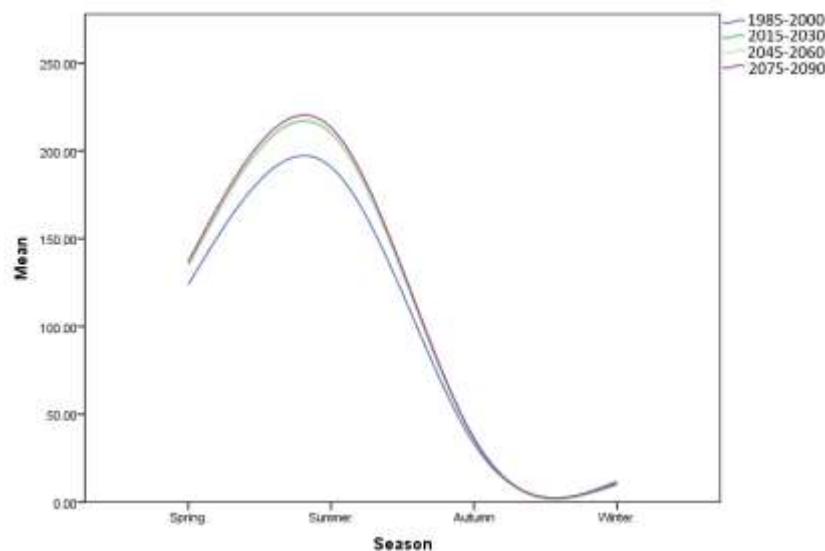
شکل ۱۱ میزان تغییرات تبخیر و تعرق را برای سه دوره آبی ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ که میانگین تبخیر و تعرق ماهانه را نشان می‌دهد، در تمامی ماه‌های سال نسبت این دوره به سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ بیشتر است. در سال‌های ۲۰۴۵ تا ۲۰۶۰ نیز همین افزایش برای تک تک ماه‌های سال به چشم می‌خورد و در سال‌های ۲۰۷۵ تا ۲۰۹۰ این افزایش با میزان بیشتری وجود خواهد داشت که می‌توان نتیجه گرفت بر اساس این مدل، تبخیر و تعرق تا اواخر قرن ۲۱ بیشتر و بیشتر می‌شود. هم‌چنین شکل ۱۲ تغییرات فصلی این پارامتر را برای دوره‌های آبی نشان



شکل ۸- میزان تغییرات بارش بر اساس مدل GISS-AOM برای سه دوره آبی بر حسب میلی‌متر



شکل ۹- تغییرات بارش فصلی برای دوره‌های آینده بر اساس مدل GISS-AOM



شکل ۱۰- تغییرات فصلی تبخیر و تعرق در دوره‌های آتی بر اساس مدل

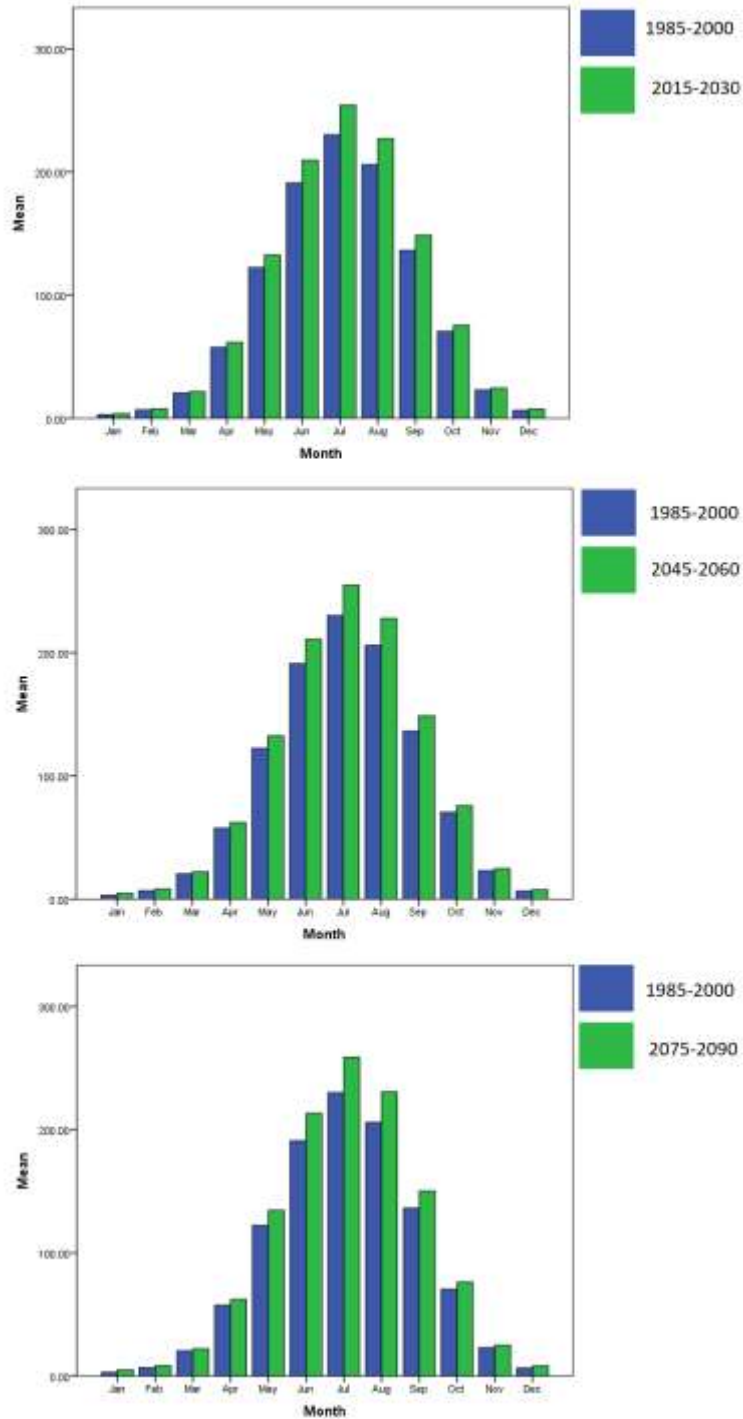
حاضر نسبت به میانگین جهانی بالاتر است اما به دلیل اینکه دما میانگین جهانی با نرخ بیشتری رو به افزایش است، این مقدار در اواسط قرن ۲۱ از مقدار دمای در منطقه مطالعاتی بیشتر می‌شود و از آنجا که تبخیر و تعرق رابطه مستقیم با دما، به‌ویژه در معادله تورنت وایت دارد می‌توان نتیجه گرفت که شاخص خشکی که با این رابطه مشخص می‌شود، بالاتر می‌رود:

$$AI = \frac{P}{PET}$$

که در این رابطه، P مجموع بارش، PET تبخیر و تعرق پتانسیل و AI شاخص خشکی است.

بنا به گزارش چهارم IPCC مربوط به سال ۲۰۰۷، بر اساس سناریو A1B میانگین دمای جهانی در طی سه دوره ۱۶ ساله آتی ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰، ۲۰۴۵ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۷۵ تا ۲۰۹۰ به ترتیب، ۰/۹۱۸، ۱/۸۲۴ و ۲/۴۰۵ درجه افزایش دما خواهیم داشت. با توجه به میانگین دماهای آتی در طی سه دوره آتی بدست آمده از طریق مدل GISS-AOM در منطقه مطالعاتی و میانگین دمای جهانی توسط IPCC، نسبت پیش‌بینی دما در این مدل به پیش‌بینی IPCC به ترتیب برابر با ۰/۱۵- تا ۰/۶۲۹- و ۱/۰۲۴- درجه سانتی‌گراد خواهد بود. با توجه به داده‌های بدست آمده، میانگین دما در منطقه مطالعاتی در حال

GISS-AOM



شکل ۱۱- تغییرات تبخیر و تعرق در دوره‌های آبی بر اساس مدل GISS-AOM بر حسب میلی‌متر

## بحث

در این مطالعه میزان بارش، دبی و تبخیر و تعرق حوضه آبریز کن تهران طی دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ از طریق دو روش من-کندال و رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس نتایج در این دوره میزان بارش روند کاهشی داشته است. (این میزان در فصل بهار و تابستان تقریباً تغییری نداشته، در فصل پاییز روند افزایشی اندکی داشته اما در فصل زمستان با کاهش چشمگیری روبرو بوده است). هم‌چنین میزان دبی رودخانه در طی این دوره گذشته روند کاهشی داشته است (در فصل بهار و زمستان روند کاهشی و در فصل تابستان و پاییز روند نسبتاً افزایشی بوده است). طبق نتایج، تبخیر و تعرق در تمامی فصول سال روند صعودی داشته است این بدین معناست که منطقه مطالعاتی با توجه به کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق طی ۳۰ سال گذشته رو به خشکی رفته است. در هر سه پارامتر بارش، دبی و تبخیر و تعرق، بجز در دوره سالیانه و فصل تابستان برای تبخیر و تعرق در تحلیل رگرسیون خطی، رابطه معناداری در سطح ۹۵ درصد وجود ندارد به عبارت دیگر میزان تغییرات اقلیمی به کندی پیش می‌رود. در ادامه میزان تغییرات در سه دوره آتی ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ توسط مدل GISS-AOM از سری مدل‌های گردش عمومی بررسی شدند که بر اساس نتایج، بارش در دوره‌های آتی با نوسانات همراه است به این معنی که در برخی ماه‌های سال با کاهش بارندگی روبرو خواهیم بود. اما در پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل، افزایش آن را در تک تک ماه‌های سال شاهد خواهیم بود، به این معنی که بر اساس این دو پارامتر در دوره‌های بلند مدت، میزان دبی رودخانه کمتر و کمتر می‌شود. هم‌چنین که دما با تبخیر و تعرق رابطه مستقیم دارد، با مقایسه افزایش دمای پیش‌بینی شده جهانی توسط IPCC و افزایش دمای پیش‌بینی شده توسط مدل GISS-AOM در این منطقه، تا اوسط قرن ۲۱ دمای منطقه از پیش‌بینی IPCC بیشتر می‌شود و به دلیل نرخ افزایش جهانی بیشتر نسبت به منطقه مطالعاتی، از اوسط قرن ۲۱ تا اواخر آن، میانگین جهانی با دمای بالاتری روبرو خواهد بود.

## منابع

۱. ابراهیمی، ه. و کردوانی، پ.، ۱۳۹۳. مطالعه تغییر اقلیم در تالاب بین‌المللی انزلی به روش من-کندال. فصلنامه علمی پژوهشی اکویولوژی تالاب. جلد ۶، شماره ۲۱.
۲. بینش، ن.، نیک سخن، م.ح. و سارنگ، ا.، ۱۳۹۵. مطالعه اثر تغییرات بارش بر آبدهی رودخانه درکه طی سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱. اکوهیدرولوژی. جلد ۳، شماره ۳.
۳. خوشحال دستجردی، ج. و قویدل رحیمی، ی.، ۱۳۸۷. کاربرد آزمون ناپارامتری من-کندال در برآورد تغییرات دمایی (مطالعه موردی: اصفهان). فضای جغرافیایی. جلد ۲۲، شماره ۱۸.
۴. عزیزی، ق. و روشنی، م.، ۱۳۸۷. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال. پژوهش‌های جغرافیایی.
۵. مساح بوانی، ع. و آشفته، پ.، ۱۳۸۸. تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی. فصلنامه دانش آب و خاک. جلد ۱۹، شماره ۲.
۶. مهسافر، ح.، مکنون، ر. و ثقفیان، ب.، ۱۳۸۹. اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه. تحقیقات منابع آب ایران. جلد ۷، شماره ۱.
۷. نوری، م.، همایی، م. و بنایان، م.، ۱۳۹۵. بررسی تغییرات تبخیر و تعرق مرجع طی سده بیست و یکم در برخی مناطق نیمه خشک ایران. تحقیقات آب و خاک ایران. جلد ۴۷، شماره ۲.
۸. یاراحمدی، د.، ۱۳۹۳. تحلیل هیدرو کليماتولوژیکی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. جلد ۴۶، شماره ۱.
9. Bibi S. N.; Shih-Chieh, K.; Moestasin, A.; Deeksha R.; Rui, M. and C. Bowling, L., 2016. Regional hydrologic response to climate change in the conterminous United States using high-resolution hydroclimate

19. **Serrano, A.; Mateos, V.L. and Garcia, J.A., 1999.** Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period 1921- 1995, *phys. Chem.* Vol. 24, pp: 1-2.
20. **Sheikh, V.B., 2014.** Analysis of hydroclimatic trend in the Atrak river basin, North Khoarsan, Iran (1975-2008). *Environmental Resources Research.* Vol. 2, No. 1.
21. **Thorntwaite, C.W., 1931.** The Climates of North America: According to a New Classification. *Geographical Review.* Vol. 21, No. 4.
22. **Tiwari, S.; Kar, S.C. and Bhatla, R., 2018.** Mid-21st century projections of hydroclimate in western Himalayas and Satluj river basin. *Global and Planetary Change.* 161 P.
23. **VanRheenen, N.T.; Wood, A.W.; Palmer, R.M. and Lettenmaier D.P., 2004.** Potential Implications of PCM Climate Change Scenarios for Sacramento–San Joaquin River Basin Hydrology and Water Resources, *Climatic Change*, Vol. 62, pp: 1-3.
24. **Velsaco, E.M.; Gurdak, J.J.; Dickinson, J.E.; Ferre, T.P.A. and Corrona, C.R., 2017.** Interannual to multidecadal climate forcings on groundwater resources of the U.S. West Coast. *Journal of Hydrology.* Vol. 11.
25. **Zheng, Z.; Ma, Z.; Li, M. and Xia, J., 2017.** Regional water budgets and hydroclimatic trend variations in Xinjiang from 1951 to 2000. *Climatic Change.* Vol. 144, No. 3.
- simulations. *Global and Planetary Change.* 143 P.
10. **Chen, H.; Guo, S.; Xu, C.Y. and Singh V.P., 2007.** Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. *Journal of Hydrology.* Vol. 344, pp: 3-4.
11. **Domokos, M. and Sass, J., 1990.** Long-term water balances for subcatchments and partial national areas in the Danube Basin, *Journal of Hydrology.* Vol. 112, pp: 3-4.
12. **Engstrom, J. and Waylen, P., 2017.** Changing Hydroclimatology of Southeastern U.S., *Journal of Hydrology.* 548 P.
13. **Gao, H.; Tang, Q.; Ferguson, C.R.; Wood, E.F. and Lettenmaier, D.P., 2010.** Estimating the water budget for major US river basin via remote sensing, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No. 14.
14. **Hisdal, H.; Stahl, K.; Tallaksen, L.M. and Demuth, S., 2000.** Have Streamflow Droughts in Europe Become More Severe or Frequent?, *International Journal of Climatology.* Vol. 21, No. 3.
15. **Kendall, M.G., 1975.** Rank correlation methods. 4th Edition. Charles Griffin. London.
16. **Mann, H.B., 1945.** Nonparametric tests against trend, *Econometrica.* Vol. 13, No. 3.
17. **Milly, P.C.D.; Dunne, K.A. and Vecchia, A.V., 2005.** Global pattern of trends in streamflow and water availability in changing climate. *Nature.* Vol. 438, No. 7066.
18. **Senay, G.B.; Leake, S.; Nagler, P.L.; Artan, G.; Dickinson, J. and Dorkova, J.T., 2011.** Estimating basic scale evapotranspiration (ET) by water balance and remote sensing methods. *Hydrological Processes.* Vol. 25, No. 26.

## Assessment of Precipitation, Evapotranspiration and Discharge Changes of Kan River Basin, with Regard to Climate Change

Danial Adib Taleghani<sup>1\*</sup>, Behnoush Khoshmanesh<sup>2</sup>

1\* - Department of Environment, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran

2- Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Parand Branch, Iran

### Abstract

One of the impacts of climate change is alteration in water cycles in the different parts of the world. Since the impacts can influence economy and importantly, human health, it is necessary to study effective parameters of human readiness against economic issues, water shortages and so forth in the future. Thus, the present research is conducted to study the process of hydro-climatic changes of Kan River basin. The research examined a 30-year period of 1985-2014 using Mann-Kendall test and linear regression. According to the research results, precipitation and discharge decreased slightly; whereas, evapotranspiration (evaporation and transpiration) followed an ascending trend. In addition, studying the changes within three prospective periods 2030, 2060, and 2090 through GISS-AOM of general circulation model series indicated that evapotranspiration maintains an ascending trend; while, precipitation declines despite volatility in particular periods. Moreover, the average temperature of the area, which is directly related to evapotranspiration, decreases to the mid-21st century, and then increases comparing to global mean temperature.

**Key words:** General Circulation Model, Hydro-climate, Kan River Basin, Mann-Kendall, Water Resources