ارزیابی اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه

اشکان فرخ‌نیا[1] سعید مرید[2]

(دریافت ۹۱/۸/۲ پذیرش ۹۱/۱۲/۱)

چکیده

تحلیل روند، یکی از روشهای مناسب به‌منظور ارزیابی شرایط هیدروکلیماتولوژیکی در حوضه‌های آبریز است که به‌صورت متداول برای بررسی تغییرات یک متغیر در طول زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر چند در شرایط واقعی، بسیاری از پدیده‌های هیدرولوژیکی نظیر جریان رودخانه‌ها، متأثر از عوامل اقلیمی و محیطی هستند که این وابستگی‌ها عمدتاً در تحلیلهای معمول روند مورد توجه قرار نمی‌گیرد. هدف تحقیق حاضر، بررسی روند تغییر جریان رودخانه‌های حوضه آبریز ارومیه در ۲۵ ایستگاه هیدرومتری، با و بدون لحاظ نمودن تغییرات دما و بارش بود که به این منظور روشهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفت. به‌طور خلاصه، نتایج تحقیق نشان دهنده وجود روند کاهشی دبی در کلیه ایستگاههای مورد بررسی بود که نه مورد آنها معنی‌دار بود. همچنین با در نظر گرفتن روندهای موجود در بارش و دمای ایستگاهها، روند کاهشی دبی در هفت ایستگاه معنی‌دار بود که نشان دهنده کم بودن تأثیر این عوامل بر روند کاهش دبی ایستگاههای مربوطه است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت تغییرات دما و بارش تأثیر مستقیمی بر استنباط وجود روندهای معنی‌دار در دبی‌ها دارد، به نحوی که در نظر گرفتن تغییرات این مولفه‌ها، می‌تواند منجر به نتایج کاملاً متفاوتی در تشخیص وجود و معنی‌داری روند در دبی شود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل روند، جریان رودخانه، تغییرات اقلیمی، حوضه آبریز دریاچه ارومیه

Assessment of the Effects of Temperature and Precipitation Variations on the Trend of River Flows in Urmia Lake Watershed

A. Farokhnia [1] *S. Morid[2]*

(Received Oct. 23, 2012 Accepted Feb. 19, 2013)

Abstract

Trend analysis is one of the appropriate methods to assess the hydro-climatic condition of watersheds, which is commonly used for analysis of change pattern in a single variable over time. However, in real cases, many hydrological variables such as river flow are directly affected by climate and environmental factors, which usually go unnoticed in routine analyzes. The aim of the present research is to investigate the trend of river discharge in 25 hydrometric stations in Lake Urmia river basin with and without consideration of temperature and rainfall variability. Briefly, the results showed that there is a decreasing trend in all stations, which is significant in 9 cases. Also, it has been shown that regarding to trends in precipitation and temperature, the number of stations with significant decreasing trend will reduce to 7, which shows low impact of climate factors on the reduction rate of discharge in these stations. Based on the results, it can be concluded that climate variations have direct effect in inferring significant trends in river flow, so that considering these variables in studying of river discharge can lead to different results in the detection of significant trends.

Keywords: Trend Analysis, River Flow, Climate Variations, Lake Urmia Watershed.

۱- دانشجوی دکترای گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران (نویسنده مسئول) (۰۲۱) ٤٤١٩٦٥٢٢ morid_sa@modares. ac.ir

1. Ph.D. Student of Hydraulic Structures, Tarbiat Modares University, Tehran
2. Prof., College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran (Correspondig Author) (+98 21) 44196522 morid_sa@modares. ac.ir

۱- مقدمه

دریاچه ارومیه طی سالهای اخیر دچار افت تراز شدیدی شده که بخش عمده آن در اثر کاهش جریان‌های سطحی ورودی به آن بوده است. در این خصوص، عواملی از قبیل تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی و افزایش بهره‌برداری از منابع آب، به‌عنوان دلایل اصلی مطرح می‌باشند [۱]. بررسی دقیق این موارد، راهکارهای خاص خود را دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، ارزیابی روند[1] در سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی و جریان رودخانه‌ها با استفاده از روشهای معتبر آماری است. این مهم هدف تحقیق حاضر را رقم زده است و در آن تلاش شده تا طیف متنوعی از این روشها روی سری‌های زمانی بارش، دما و دبی در تعدادی از ایستگاههای واقع در حوضه دریاچه اعمال شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.

از نظر کلی، روند به معنی مؤلفه بسامد کوتاه یک سری زمانی و به بیان ساده‌تر، تغییر میانگین آماری آن در طول زمان است و به دو گروه یکنواخت و تغییرات سریع قابل تقسیم است [۲ و ۳].

روند نوع اول معمولاً تحت تأثیر عواملی تدریجی، نظیر توسعه مناطق کشاورزی و شهری، از بین رفتن پوشش‌های جنگلی و بیابان‌زایی و تغییر اقلیم صورت می‌گیرد. اما، عامل به‌وجود آمدن تغییرات سریع مواردی مانند سدسازی، اجرای پروژه‌های انحراف آب و اقدامات غیرسازه‌ای گسترده است. البته در برخی موارد، نوسانات اقلیمی و تغییر اقلیم نیز به‌علت ارتباط پیچیده و غیرخطی فرایندهای حاکم می‌تواند منجر به وقوع تغییرات سریع در سری‌های زمانی هیدروکلیماتولوژی گردد [۴].

روشهای آماری متنوعی برای تشخیص و کمّی‌سازی این‌گونه روندها در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی و حتی تعیین زمان وقوع آنها در مراجع مختلف پیشنهاد شده که مروری بر متداول‌ترین آنها در نشریه فنی شماره ۱۰۱۳ سازمان جهانی هواشناسی آمده است [۵]. عمده‌ترین تقسیم‌بندی این روشها، شامل روشهای پارامتری و ناپارامتری است. تفاوت اصلی روشهای مذکور در عدم نیاز به پیروی داده‌های مورد بررسی از یک توزیع خاص در روشهای ناپارامتری است. همچنین این روشها در مقایسه با روشهای پارامتری، حساسیت کمتری به مقادیر حدی و داده‌های پرت سری زمانی مورد مطالعه دارند که این ویژگی‌ها موجب شده تا بیشتر مورد توجه باشند [۶].

از جمله پرکاربردترین روشهای ناپارامتری در تحلیل روندهای یکنواخت می‌توان به روشهای من-کندال[2] و اسپیرمن[3] اشاره نمود [۷]. اگرچه روشهای اشاره شده، وجود روند در سری‌های زمانی را مشخص می‌نمایند، اما قادر به کمّی‌سازی مقدار آن نیستند (مقدار تغییرات دما، شدت افزایش دما در هر سال) که برای این منظور می‌توان از روش پارامتری شیب رگرسیون خطی و یا روش ناپارامتری شیب سن[4] (SS) استفاده نمود. کاربرد این روشها در بررسی روند متغیرهای هیدروکلیماتولوژی در مراجع مختلفی قابل مشاهده است [۳، ۶-۹]. همچنین، توصیه شده است که برای تأیید روند در یک سری زمانی، حداقل دو روش وجود آن را تأیید کنند [۱۰].

تحلیلهای قوی‌تری نیز برای تعیین معنی‌دار بودن روند متغیرهای وابسته در صورت وجود متغیرهای مستقل توسعه داده شده است. به‌عنوان مثال، با توجه به اینکه مهم‌ترین مؤلفه اثرگذار بر مقدار جریان رودخانه (متغیر وابسته)، میزان بارش (متغیر مستقل) در حوضه آبریز آن است، می‌توان با استفاده از این روشها، معنی‌دار بودن روند در دبی را با حذف اثر روند بارش بررسی نمود. این‌گونه تحلیلها، خصوصاً زمانی که تفکیک نقش عوامل طبیعی و دخالتهای انسانی در روند یک متغیر هیدروکلیمایی مد نظر باشد، بسیار مطلوب خواهد بود. در این خصوص، گزارشهای مثبتی از کاربرد روش آزمون من-کندال جزئی[5] ارائه شده که یک مرحله‌ای بودن، مزیت اصلی آن است [۱۱ و ۱۲]. به‌این معنی که عمدتاً در سایر روشها، ابتدا اثر متغیرهای مستقل با استفاده از یک مدل رگرسیونی از متغیر وابسته حذف شده و سپس روند سری باقیمانده با استفاده از روشهای مرسوم بررسی می‌شود که این رویکرد می‌تواند منجر به نتیجه‌گیری اشتباه در تشخیص روند شود [۱۳].

برای بررسی وقوع روند سریع در سری‌های زمانی نیز روشهایی پیشنهاد شده که از آن جمله می‌توان به آزمون‌های تغییر نقطه میانه[6] (آزمون پتی[7]) و تحلیل نقطه تغییر[8] اشاره نمود که هر دو جزو روشهای ناپارامتری بوده و در مطالعه روند متغیرهای هیدروکلیماتولوژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۹ و ۱۴-۱۶]. مزیت اصلی این روشها، قابلیت آن‌ها در تعیین زمان وقوع این تغییرات در سری زمانی مورد بررسی است [۵].

بررسی روند در متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه آبریز دریاچه ارومیه پیش از این نیز در تحقیقاتی مد نظر قرار گرفته است. فتحیان و مرید روند تغییرات بارش، دما و دبی را با استفاده از چهار آزمون ناپارامتری تحلیل روند در تعدادی از ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری نمودند که دما و دبی به‌ترتیب در سطح حوضه دارای روند غالب افزایشی و کاهشی می‌باشند، اما بارش عمدتاً فاقد روند است [۱۷].

[1] Trend Analysis
[2] Mann-Kendall (MK)
[3] Spearman (SR)
[4] Sen's Slope (SS)
[5] Partial Mann-Kendall (PMK)
[6] Median Change Point
[7] Pettitt Test (PT)
[8] Change Point Analysis (CP)

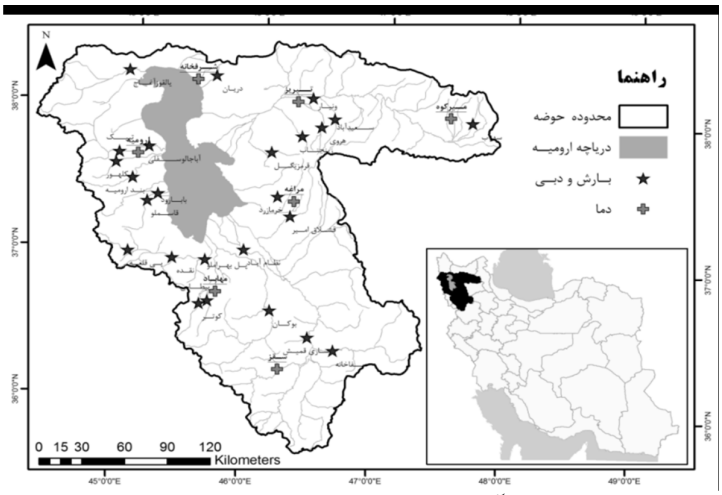
دلجو و همکاران نیز تغییرات متغیرهایی نظیر دمای خشک، دمای حداکثر و حداقل، بارش و تعداد روزهای بارانی و برفی را در مقیاس سالانه برای این حوضه مورد تحقیق قرار داده و نتیجه‌گیری نمودند که در ۴۰ سال گذشته، بارش حدود ۹ درصد کاهش و دما در حدود ۰/۸ درجه افزایش یافته و دوره‌های خشکسالی حوضه در دهه اخیر با شدت بیشتری به وقوع پیوسته است[۱۸]. اما در تحقیقات پیشین، بررسی روند متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه به‌طور منفرد مورد بررسی قرار گرفته و اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته مورد توجه قرار نداشته است. همچنین در سایر تحقیقات بررسی زمان وقوع روندهای معنی‌دار و تأثیر تغییر طول دوره بررسی روند با استفاده از روشهای آماری نیز مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در این مقاله تلاش شد تا علاوه بر موارد قبل، به‌طور خاص به معنی‌دار بودن روند سری زمانی دبی رودخانه‌ها با در نظر گرفتن تغییرات دما و بارش، تخمین زمان وقوع آن‌ها و همچنین اثر تغییر طول دوره در تحلیل روند پرداخته شود که پیش از این کمتر مورد توجه قرار گرفته بود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

دریاچه ارومیه در شمال غربی کشور، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و یکی از دریاچه‌های فوق شور جهان است. مساحت حوضه آبریز آن حدود ۵۲۰۰۰ کیلومتر مربع است و تعداد زیادی رودخانه در آن جریان دارد که زرینه‌رود، سیمینه‌رود و آجی‌چای از مهم‌ترین آن‌ها هستند (شکل ۱).

در این تحقیق از داده‌های سالانه بارش و دبی در ۲۵ ایستگاه هیدرومتری و باران‌سنجی و داده‌های دمای ۷ ایستگاه سینوپتیک و تبخیرسنجی که علاوه بر کفایت طول دوره آماری، از توزیع مکانی مناسبی نیز در سطح حوضه برخوردار هستند، استفاده شد. در شکل ۱ موقعیت ایستگاههای مذکور نشان داده شده و مشخصات کلی آنها نیز در جدولهای ۱ و ۲ آمده است. لازم به ذکر است که



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق

جدول ۱- مشخصات ایستگاههای اندازه‌گیری دمای مورد استفاده در تحقیق

ردیف	مشخصات ایستگاه				داده‌های دما (درجه سلسیوس)		
	نام	نوع	ارتفاع	موقعیت نسبت به دریاچه ارومیه	طول دوره	متوسط	انحراف معیار
۱	تبریز	سینوپتیک	۱۳۶۰	شرق	۵۳	۱۲/۶	۰/۹۸
۲	میرکوه	تبخیرسنجی	۱۸۳۰	شرق	۳۷	۹/۱	۱/۱۰
۳	مراغه	سینوپتیک	۱۴۸۰	جنوب شرقی	۳۷	۱۳/۱	۱/۱۷
۴	سقز	سینوپتیک	۱۵۲۰	جنوب	۴۸	۱۱/۲	۱/۱۴
۵	مهاباد	سینوپتیک	۱۳۹۰	جنوب غربی	۵۳	۱۲/۴	۱/۱۵
۶	ارومیه	سینوپتیک	۱۳۳۰	غرب	۴۸	۱۱/۳	۱/۰۴
۷	شرفخانه	تبخیرسنجی	۱۲۸۰	شمال	۴۳	۱۱/۶	۱/۰۵

جدول ۲- مشخصات ایستگاههای اندازه‌گیری دبی و بارش مورد استفاده در تحقیق

ردیف	مشخصات ایستگاهها			داده‌های بارش (میلی‌متر)			داده‌های دبی (متر مکعب بر ثانیه)		
	نام	رودخانه	ارتفاع	موقعیت نسبت به دریاچه ارومیه	طول دوره	متوسط	انحراف معیار	طول دوره	متوسط	انحراف معیار
۱	سهزاب	آغمیون چای	۱۹۰۰	شرق	۳۵	۲۹۴	۹۹	۳۵	۰/۸۸	۰/۲۸
۲	سعیدآباد	سعیدآباد	۱۸۰۰	شرق	۴۲	۳۹۳	۱۳۴	۳۹	۰/۳۰	۰/۱۵
۳	ونیار	آجی چای	۱۴۵۰	شرق	۳۰	۲۸۲	۸۰	۶۰	۱۲/۳۰	۷/۲۷
۴	هروی	لیقوان چای	۱۹۸۰	شرق	۳۷	۲۶۸	۹۸	۳۸	۰/۶۳	۰/۲۳
۵	زینجناب	سرد رود	۲۱۵۰	شرق	۴۳	۳۰۵	۸۷	۴۲	۰/۳۰	۰/۱۳
۶	قرمزیگل	گمبرچای	۱۸۰۰	شرق	۴۳	۳۰۴	۹۰	۴۷	۱/۱۲	۱/۱۶
۷	خرمازرد	ماهپری	۱۵۵۰	جنوب شرق	۳۱	۲۸۴	۹۳	۳۳	۰/۳۱	۰/۱۸
۸	قشلاق امیر	مردوق چای	۱۴۵۰	جنوب شرق	۳۷	۳۴۲	۱۰۵	۳۳	۲/۴۹	۰/۹۶
۹	صفاخانه	ساروق چای	۱۴۷۵	جنوب	۳۶	۳۸۳	۱۴۱	۳۸	۹/۴۸	۵/۲۹
۱۰	ساری قمیش	زرینه‌رود	۱۳۸۰	جنوب	۴۳	۳۴۵	۱۳۸	۵۴	۵۱/۹۷	۲۵/۹۰
۱۱	بوکان	سیمینه‌رود	۱۳۵۰	جنوب	۴۳	۴۰۴	۱۶۶	۵۹	۱۵/۳۸	۹/۸۳
۱۲	نظام‌آباد	زرینه‌رود	۱۲۸۰	جنوب	۴۳	۲۵۳	۷۶	۴۵	۵۳/۰۰	۳۶/۳۹
۱۳	کوتر	مهاباد چای	۱۳۸۰	جنوب غرب	۳۹	۳۷۳	۱۱۸	۳۷	۶/۸۰	۲/۷۳
۱۴	بیطاس	مهاباد چای	۱۳۵۰	جنوب غرب	۴۳	۴۰۷	۱۴۳	۴۶	۱/۵۴	۰/۸۳
۱۵	پی قلعه	گادارچای	۱۵۰۰	جنوب غرب	۴۳	۵۱۳	۱۳۷	۴۴	۸/۹۲	۳/۱۲
۱۶	نقده	گادارچای	۱۳۴۰	جنوب غرب	۴۳	۳۴۸	۱۲۵	۴۴	۱۱/۰۰	۴/۷۲
۱۷	پل بهراملو	گادارچای	۱۲۸۵	جنوب غرب	۴۳	۲۵۴	۹۶	۵۲	۱۱/۲۸	۶/۰۸
۱۸	قاسملو	بالانج چای	۱۳۸۰	غرب	۴۱	۳۳۴	۱۲۷	۳۶	۱/۲۵	۰/۷۷
۱۹	باباورد	باراندوز چای	۱۲۸۵	غرب	۴۳	۳۵۴	۱۰۶	۶۰	۷/۹۴	۳/۸۰
۲۰	بند ارومیه	شهرچای	۱۳۹۰	غرب	۴۳	۴۱۶	۱۱۱	۶۰	۵/۰۴	۲/۱۰
۲۱	تپیک	نازلوچای	۱۴۵۰	غرب	۴۳	۳۷۶	۱۴۰	۵۹	۱۱/۷۹	۵/۸۴
۲۲	آباجالوسفلی	نازلوچای	۱۲۹۰	غرب	۴۱	۲۷۰	۹۵	۴۵	۷/۴۳	۴/۸۳
۲۳	کلهور	روضه چای	۱۵۰۰	غرب	۳۳	۲۸۸	۱۲۳	۳۳	۱/۲۳	۰/۷۰
۲۴	یالقوز آغاج	زولاچای	۱۳۰۰	شمال غرب	۳۲	۱۷۲	۶۳	۳۵	۱/۸۳	۱/۳۴
۲۵	دریان	دریان چای	۱۶۰۰	شمال شرق	۳۷	۳۳۹	۸۷	۳۹	۰/۴۶	۰/۲۴

دوره آماری کلیه ایستگاههای مذکور منتهی به سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ بود. کنترل کیفیت آمار ایستگاهها و رفع نواقص آماری از دیگر مراحل کاری بود که با استفاده از روشهای معتبر مربوط به انجام رسید. همچنین با توجه به اینکه خود همبستگی[1] در سری‌های زمانی می‌تواند موجب بروز خطا در تشخیص روند گردد، وجود آن نیز بررسی شد که نتایج مؤید عدم این ساختار در سری‌های زمانی مورد مطالعه بود [۱۹].

۲-۲- تحلیل روندهای یکنواخت

همانطور که پیش از این ذکر شد، روند یکنواخت به معنی تغییرات تدریجی در خصوصیات آماری (متوسط، انحراف معیار و غیره) یک متغیر تصادفی است. در ادامه شرح مختصری در خصوص روشهای مورد استفاده برای تحلیل این نوع روند در تحقیق حاضر ارائه می‌شود.

۲-۳- آزمون تحلیل روند MK

این آزمون یکی از متداول‌ترین روشهای ناپارامتری تحلیل روند است که ابتدا توسط مان ارائه شد و سپس توسط کندال توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است [۲۰، ۲۱ و ۲۲]. برای محاسبه آماره این آزمون ابتدا پارامتر S با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\mathrm{sgn}(x_j-x_k) \qquad (۱)$$

که در آن

n تعداد مشاهدات سری و xj و xk به‌ترتیب داده‌های jام و kام سری هستند. تابع علامت نیز برابر است با:

$$\mathrm{sgn}(x_j-x_k)=\begin{bmatrix}+1 & if\ \ (x_j-x_k)>0\\ 0 & if\ \ (x_j-x_k)=0\\ -1 & if\ \ (x_j-x_k)<0\end{bmatrix} \qquad (۲)$$

[1] Auto-Correlation

سپس آماره آزمون با استفاده از رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$Z=\begin{bmatrix}\frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & if\ \ S>0\\ 0 & if\ \ S=0\\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & if\ \ S<0\end{bmatrix} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق واریانس S برابر است با:

$$Var(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{t=1}^{m}(t(t-1)(2t+5)}{18} \qquad (۴)$$

که در آن

m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است. آماره آزمون MK تقریباً از توزیع نرمال استاندارد تبعیت می‌کند.

۲-۴- آزمون تحلیل روند SR

این آزمون یکی دیگر از آزمون‌های ناپارامتری متداول برای تعیین وجود روند است که بر اساس همبستگی رتبه-پایه[1] بین دو دسته‌بندی از سری زمانی تعریف می‌شود. برای سری زمانی X_i که در آن I_i اندیس ترتیب وقوع و R_i اندیس مرتبه باشد، ضریب همبستگی اسپیرمن برابر خواهد بود با:

$$r_S=1-\frac{6\sum d_i^{\,2}}{n^3-n} \qquad (۵)$$

که در آن $d_i=I_i-R_i$ می‌باشد [۲۳]. آماره این آزمون طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۸]:

$$T_S=r_S\sqrt{\frac{n-2}{(1-r_S^{\,2})}} \qquad (۶)$$

که در آن مقدار T_S از توزیع استیودنت-تی[2] با درجه آزادی v=n-2 تبعیت می‌کند.

۲-۵- روش SS در تعیین شیب روند

در این روش تغییرات در مقادیر سری زمانی بر اساس محاسبه شیب تغییرات بین کلیه جفت داده‌های مشاهداتی (به ازای n داده تعداد کل شیب‌ها برابر با n×(n-1)/2 می‌باشد) محاسبه شده و میانه آن‌ها به‌عنوان مقدار متوسط شیب سری زمانی مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود. مقدار مثبت شیب میانه حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن آن است.

۲-۶- روش PMK برای آزمون روند متغیر وابسته در صورت حذف اثر متغیر مستقل

در این روش مقدار آماره آزمون معمولی MK برای سری زمانی مورد نظر با حذف اثر سایر سری‌های زمانی اثرگذار محاسبه می‌شود و مورد آزمون قرار می‌گیرد. لیبیسلر و گریموال نشان دادند که آماره آزمون PMK برای متغیر وابسته Y در صورت وجود متغیر مستقل X به‌صورت زیر قابل محاسبه است [۱۲]:

$$Z_{PMK}=\frac{S_Y-r_S S_X}{\sqrt{(1-r_S^{\,2})n(n-1)(2n+5)/18}} \qquad (۷)$$

که در آن r_s بیانگر ضریب همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای X و Y است و تعریف سایر پارامترها مشابه آزمون MK است.

۲-۷- تحلیل تغییرات سریع سری‌های زمانی

تغییرات سریع در سری‌های زمانی به مفهوم کاهش و یا افزایش ناگهانی در خصوصیات آماری یک سری زمانی طی یک گام زمانی کوتاه است. در این تحقیق آزمون‌های PT و CP به‌منظور تحلیل تغییرات سریع در سری‌های زمانی بارش و دبی رودخانه مورد استفاده قرار گرفته که در ادامه توضیحات مختصری در خصوص هر یک از آن‌ها ارائه می‌شود.

۲-۸- آزمون PT

این آزمون یک آزمون ناپارامتری مستخرج از آزمون مان-ویتنی[3] است که برای تشخیص تغییرات سریع در سری‌های زمانی، در شرایط مشخص نبودن زمان وقوع تغییر قابل استفاده است [۱۴]. برای محاسبه آماره این آزمون، ابتدا سری زمانی پارامتر U_t با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

(۸)

$$U_t=\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=t+1}^{n}\mathrm{sgn}(x_i-x_j)\quad \text{for } X: x_1,x_2,\ldots,x_n$$

$$K_T=\max\left|\frac{U_t}{\sqrt{n.t-t^2}}\right| \qquad (۹)$$

[1] Rank-based
[2] t-Student's Distribution
[3] Mann-Whitney

معنی‌دار بودن این آماره در سطح مورد نظر معمولاً بر اساس روشهای نمونه‌گیری، نظیر روش بوتستراپ[1] انجام می‌شود [۵].

۲-۹ آزمون CP

این آزمون یکی از انواع آزمون کلی نمودار جمع تجمعی[2] (CUSUM) است که به‌صورت ناپارامتری و رتبه‌پایه توسط تایلور[3] ارائه شده است [۱۵]. در این روش ابتدا سری زمانی رتبه مقادیر سری زمانی مورد بررسی تشکیل داده می‌شود (R_t: $R_1, R_2, \ldots, R_T$) که طی آن درسری زمانی (X_t: $X_1, X_2, \ldots, X_T$)، به جای بزرگترین مقدار سری عدد T و به جای مقدار بزرگ بعدی عدد T-1 و به همین ترتیب برای کمترین مقدار سری اصلی مقدار ۱ قرار داده می‌شود. سپس سری زمانی پارامتر S بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_t = S_{t-1} + (R_t - \overline{R}) \qquad (۱۰)$$

که در آن

R_t مقدار سری زمانی رتبه‌های سری اولیه و $\overline{R}$ مقدار متوسط آن است. سپس آماره آزمون این روش بر اساس رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$S_{diff} = S_{max} - S_{min} \qquad (۱۱)$$

معنی‌دار بودن این آماره نیز بر اساس روش بوتستراپ انجام می‌شود و طریقه انجام آن مشابه روش اشاره شده در بخش قبلی (آزمون PT) است.

۳- نتایج و بحث

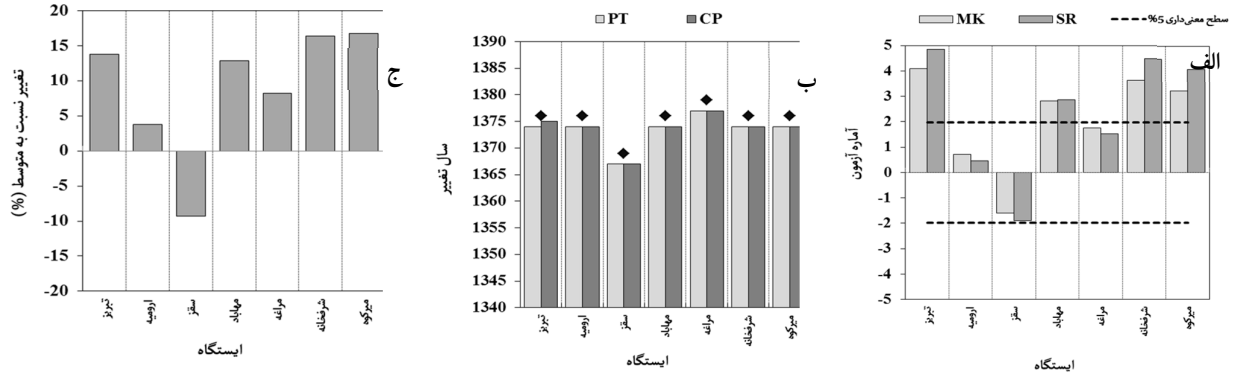
نتایج حاصل از بررسی روند در ایستگاههای منتخب حوضه دریاچه ارومیه در دو بخش ارائه شد. ابتدا روند به‌طور مستقل در سری‌های زمانی دما، بارش و دبی رودخانه‌ها در ایستگاهها بررسی شد و سپس تأثیر روند در بارش و دما بر روند دبی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۱- بررسی منفرد روندهای دما، بارش و دبی

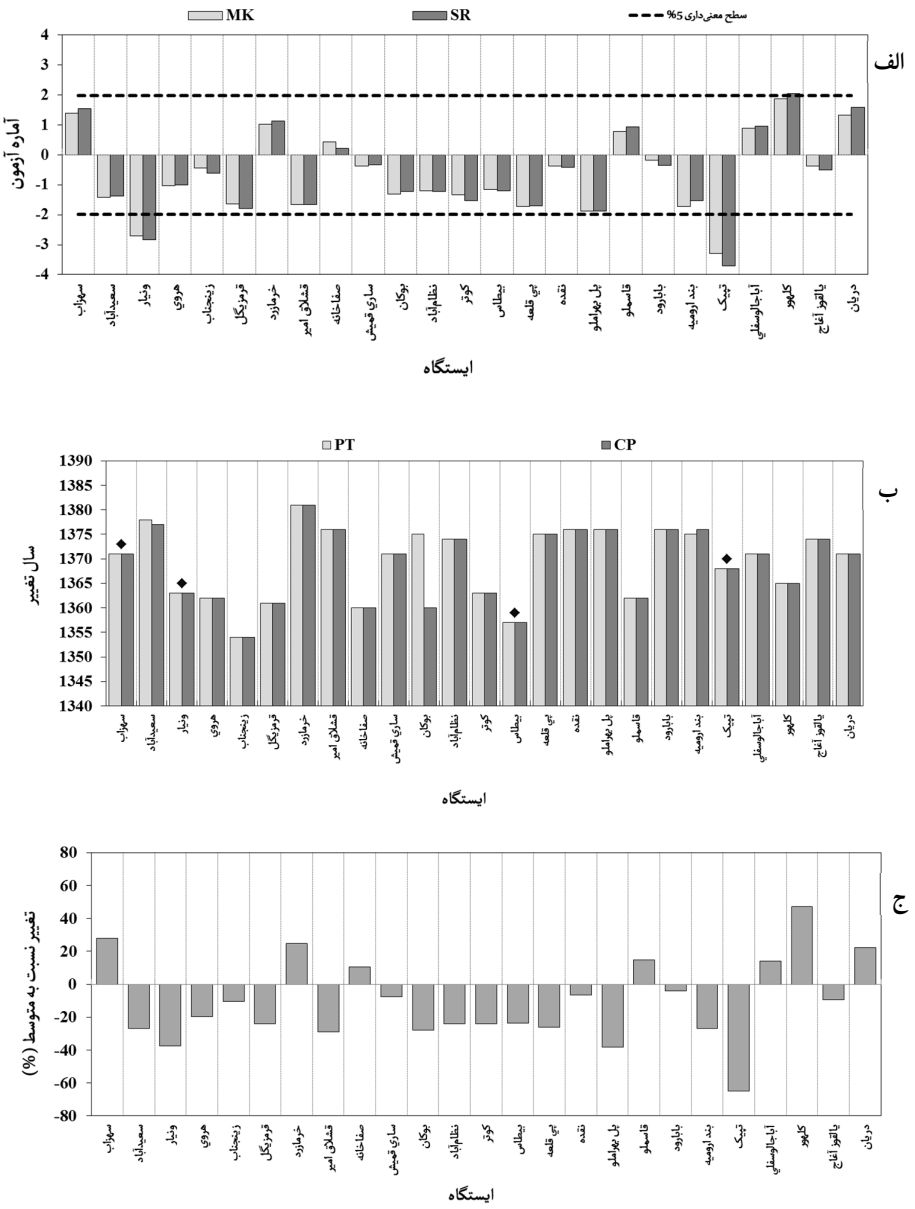
۳-۱-۱- دما

نتایج اعمال آزمون‌های MK و SR بر دمای متوسط سالانه ۷ ایستگاه مورد بررسی در شکل ۲-الف ارائه شده است. از مجموع این ایستگاهها، در ۶ مورد روند افزایشی قابل مشاهده است که در ۴ مورد، این تغییرات معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) می‌باشد. نتایج حاصل از روشهای PT و CP نیز معنی‌دار بودن تغییرات در دمای کلیه ایستگاهها را نشان می‌دهد. اما نکته قابل توجه، معنی‌دار بودن تغییرات عمده آنها از اواسط دهه ۱۳۷۰ است (شکل ۲-ب). بررسی میزان تغییرات دما با استفاده از روش SS نیز در شکل ۲-ج آمده است که نشان دهنده درصد کل تغییرات دما در دوره آماری نسبت به متوسط مقدار دمای هر ایستگاه می‌باشد ($\frac{SS \times N}{\overline{X}}$ = درصد تغییر نسبت به متوسط). بر این اساس بیشترین مقدار تغییرات کاهشی و افزایشی دما نسبت به میانگین به ترتیب برابر ۱۰ و ۱۷ درصد می‌باشد که مقدار متوسط آن در ۷ ایستگاه مورد بررسی نشان‌دهنده افزایش حدود ۹ درصدی در دمای متوسط سالانه در سطح حوضه می‌باشد.

[1] Bootstrap
[2] Cumulative Sum Charts
[3] Taylor



شکل ۲- تحلیل سری‌های زمانی دما در ایستگاه‌های منتخب، الف- نتیجه آزمون‌های MK و SR؛ ب- نتیجه آزمون‌های PT و CP (علامت لوزی نشان دهنده معنی‌دار بودن تغییرات در ایستگاه است)؛ و ج- درصد تغییرات نسبت به متوسط در طول دوره آماری بر اساس SS



شکل ۳- تحلیل سری‌های زمانی بارش در ایستگاه‌های منتخب، الف- نتیجه آزمون‌های MK و SR؛ ب- نتیجه آزمون‌های PT و CP (علامت لوزی نشان دهنده معنی‌دار بودن تغییرات در ایستگاه است)؛ و ج -درصد تغییرات نسبت به متوسط در طول دوره آماری بر اساس SS

۳-۱-۲- بارش

نتایج مربوط به اعمال روشهای مورد نظر بر سری‌های زمانی بارش ایستگاههای منتخب در شکل ۳ نشان داده شده است.

به‌طور کلی رونـد تغییـرات بـارش از الگوهـای مکـانی خاصـی پیروی نمی‌کند، به نحوی‌که در بخش‌های مختلف حوضه، روندهای افزایشی و کاهشی مشاهده می‌شود. امـا بـا ملاحظـه شـکل ۳-الـف می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات عمـدتاً کاهشـی اسـت (۱۸ از ۲۵ ایستگاه)، اما نکته قابل توجه در این است که تنها در دو مورد آنها، تغییرات معنی‌دار است.

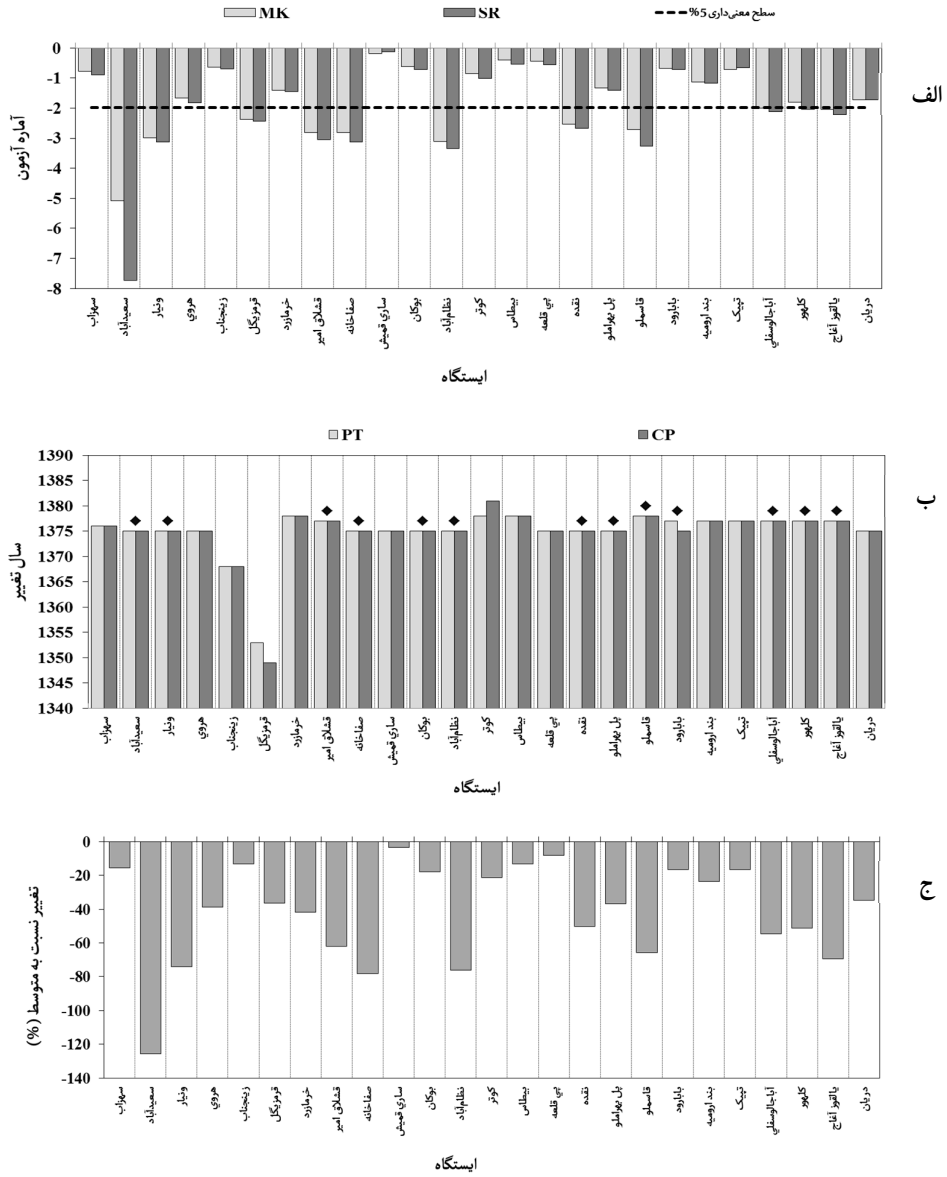
نتایج آزمون‌های PT و CP نیز مؤید نتـایج قبـل اسـت و ملاحظـه می‌گردد که از مجموع ۲۵ ایستگاه، تغییرات معنی‌دار تنها در چهـار ایستگاه گزارش شده است که ۳ مورد از آنها کاهشـی اسـت (شـکل ۳-ب). بررسی میزان تغییرات بارش بر اساس روش SS نیز نشـان دهنده بـروز تغییـرات کاهشـی تـا ۶۵ درصـد (ایسـتگاه تپیـک) و

افزایشی تا حدود ۴۵ درصد (ایستگاه کلهور) نسبت به مقدار متوسط بارش است و در مجموع نشان دهنده کاهشی به میزان ۱۰ درصد در متوسط بارش سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه است.

۳-۱-۳- دبی

نتایج این بخش در شکل ۴-الف ارائه شده است. قابل ملاحظه است که روند تغییرات دبی در تمامی ایستگاهها کاهشی بوده که معنی‌داری ۹ مورد از آن‌ها بر اساس روشهای MK و SR تأیید شده است. در این بین، ایستگاههای ونیار و نظام‌آباد که برروی دو رودخانه مهم آجی‌چای و زرینه‌رود قرار دارند، روند کاهشی شدیدی از خود نشان می‌دهند.

نتایج بررسی، زمان وقوع تغییرات در جریان رودخانه‌ها نیز نشان دهنده وقوع این تغییرات در اکثر ایستگاهها در نیمه دوم دهه ۱۳۷۰ است که ۱۳ مورد از آنها معنی‌دار بوده و همگی نیز در همین بازه زمانی به وقوع پیوسته‌اند (شکل ۴-ب). لازم به ذکر است این محدود زمانی با زمان تغییرات دما هماهنگی قابل توجهی دارد. در ادامه، تغییرات مقدار دبی در دوره آماری هر ایستگاه با استفاده از روش SS نشان دهنده کاهش شدید آن در برخی از ایستگاهها است.



شکل ۴- تحلیل سری‌های زمانی دبی در ایستگاه‌های منتخب، الف- نتیجه آزمون‌های MK و SR؛ ب- نتیجه آزمون‌های PT و CP (علامت لوزی نشان دهنده معنی‌دار بودن تغییرات در ایستگاه است)؛ و ج- درصد تغییرات نسبت به متوسط در طول دوره آماری بر اساس SS

شکل ۵- نتایج تحلیل روند دما، بارش و دبی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری مشترک سه متغیر

در مجموع، مقدار کاهشی برابر با ۴۰ درصد در دبی رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه قابل مشاهده است که عمدتاً در اواسط دهه ۱۳۷۰ به بعد اتفاق افتاده است.

۳-۲- بررسی روند دبی با در نظر گرفتن تغییرات بارش و دما

در این بخش نتیجه آزمون PMK به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن روند در سری‌های زمانی دبی با در نظر گرفتن روندهای احتمالی در متغیرهای اثرگذار بر آن یعنی بارش و دما که در این تحقیق بررسی شده، ارائه می‌گردد. لازم به‌ذکر است در تحلیل‌های این بخش، برای هریک از ایستگاههای هیدرومتری، یکی از ایستگاههای دماسنجی با توجه به موقعیت مکانی آن به‌عنوان ایستگاه شاخص شرایط دمایی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با توجه به طول دوره آماری مشترک بین متغیرها (بین ۳۱ تا ۴۳ سال)، انجام آزمون PMK با دو متغیر مستقل (دما و بارش به صورت توأم)، عدم قطعیت در نتایج حاصله را افزایش می‌دهد [۱۲]؛ لذا در تحقیق حاضر اثر متغیرهای مذکور بر دبی به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

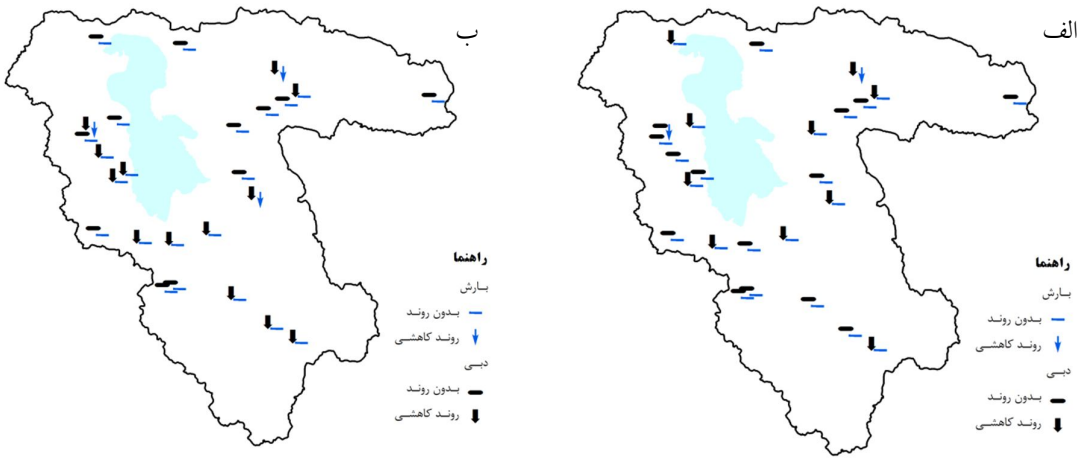
۳-۲-۱- نتایج آزمون MK در دوره مشترک

با توجه به اینکه تحلیل PMK برای دوره مشترک بین متغیرها انجام می‌گردد [۱۲]، ابتدا باید آزمون MK برای دوره آماری مشترک بین دبی، بارش و دما در هر ایستگاه انجام شود که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است. همانند تحلیلهای قبلی (در کل دوره آماری هر سری)، روند کاهشی دبی در کلیه ایستگاهها و برای بارش و دما، به‌ترتیب روند کاهشی و افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها قابل مشاهده است (بدون توجه به معنی‌دار بودن یا نبودن آنها). نکته قابل تأکید در این تحلیل، تأثیر تغییر طول دوره بر نتایج وجود روندهای معنی‌دار است. به‌عنوان مثال در مورد دمای ایستگاه ارومیه که در کل دوره آماری (۴۸ سال) روند افزایشی غیر معنی‌دار از خود نشان می‌داد، برای دوره‌های کمتر از ۴۰ سال، روند افزایشی آن معنی‌دار بود. همچنین دبی ایستگاههای ساری‌قمیش و بوکان (معرف جریان رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود) که در کل دوره آماری موجود (به‌ترتیب ۵۴ و ۵۹ سال) روند کاهشی غیرمعنی‌دار داشتند، در این حالت (دوره‌های آماری ۴۳ سال) روند کاهشی آنها معنی‌دار شد. به‌منظور مقایسه بهتر نتایج این بخش با حالت قبلی، در شکل ۶ روندهای معنی‌دار بارش و دبی برای دو حالت مختلف تحلیل نشان داده شده است.

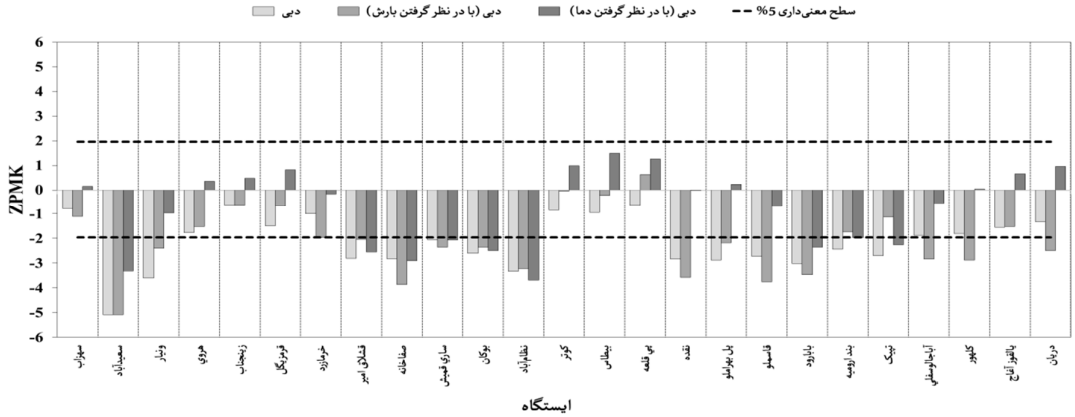
۳-۲-۲- نتایج آزمون PMK

نتایج تحلیل معنی‌دار بودن روند در سری‌های زمانی دبی با در نظر گرفتن روندهای موجود در سری‌های زمانی دما و بارش با استفاده از آزمون PMK در شکل ۷ آمده است. این نتایج نشان دهنده تأثیر قابل توجه تغییرات متغیرهای مستقل و به‌خصوص دما بر روند کاهش جریان رودخانه‌های حوضه است، به نحوی که روند کاهشی معنی‌دار مشاهده شده در برخی از ایستگاهها با در نظر گرفتن تغییرات دما و یا بارش غیرمعنی‌دار خواهد بود و حتی در برخی از موارد، به روند افزایشی جزئی تبدیل می‌گردد که از نمونه‌های بارز آن می‌توان به ایستگاههای نقده و پل بهراملو اشاره نمود. با توجه به نتایج شکل ۷، در مجموع از نظر آماری، کاهش دبی تنها در دو ایستگاه بند ارومیه و تپیک را می‌توان ناشی از کاهش بارش‌ها قلمداد نمود و بقیه موارد مربوط به افزایش دما است. شکل ۸-الف نتایج معنی‌دار بودن آزمون PMK را برای دبی با در نظر گرفتن بارش و دما نشان می‌دهد.

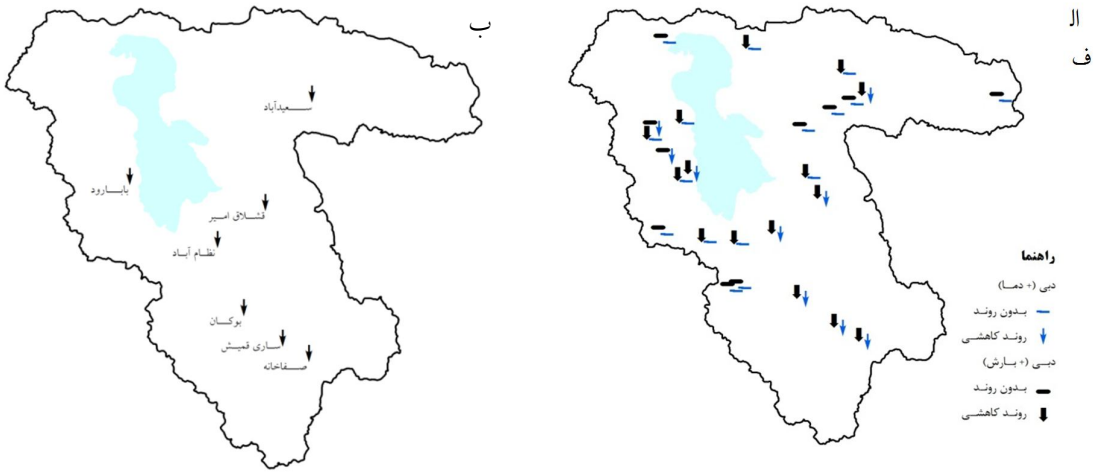
برای تعیین ایستگاههایی که روند کاهشی دبی در آنها خارج از کنترل تغییرات بارش و دما است، باید نتیجه آزمون PMK در هر دو حالت حاکی از وجود روند معنی‌دار باشد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که روند کاهشی معنی‌دار مشاهده شده از دبی هفت ایستگاه در اثر عواملی غیر از تغییرات بارش و دمای آنها اتفاق



شکل ۶- معنی‌داری روند بارش و دبی در ایستگاه‌های مورد بررسی، الف- کل دوره آماری و ب- دوره آماری مشترک



شکل ۷- نتایج تحلیل روند دبی به صورت منفرد و با در نظر گرفتن اثرات دما و بارش در طول دوره آماری مشترک ۳ متغیر برای هر ایستگاه



شکل ۸- الف- معنی‌داری روند دبی در ایستگاهها با در نظر گرفتن بارش و دما و
ب- موقعیت ایستگاههای دارای دبی کاهشی مستقل از دما و بارش

افتاده که موقعیت آنها در شکل ۸-ب نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نیز مشاهده می‌شود، ایستگاههای واقع بر روی دو رودخانه مهم زرینه‌رود و سیمینه‌رود که در مجموع بیش از ۵۰ درصد جریانات سطحی ورودی به دریاچه ارومیه را تأمین می‌نمایند، همگی در این گروه قرار می‌گیرند.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق به‌صورت زیر است:

۱- بررسی روند تغییرات دما در سطح حوضه نشان دهنده وجود روند افزایشی آن در اکثر نواحی حوضه است. همچنین تحلیل زمان بروز تغییر در متوسط سری‌های زمانی دما نیز نشان دهنده غالب بودن وقوع این روند در سطح حوضه در اواسط دهه ۱۳۷۰ است. اما بررسی نتایج مربوط به بارش نشان داد که عمدتاً کاهشی است، هر چند روند تنها در تعداد معدودی از ایستگاهها معنی‌دار است. زمان وقوع تغییرات در بارش ایستگاههای مختلف از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. در خصوص دبی، روند کاهشی در کلیه ایستگاهها مشاهده شد که در نه ایستگاه معنی‌دار بود. نکته قابل توجه، مشابهت زمان کاهش دبی رودخانه‌ها با تغییرات دما است که همان اواسط دهه ۱۳۷۰ بوده است.

۲- نتایج تحلیل روند در سری‌های زمانی دما، بارش و دبی در دوره آماری مشترک هر ایستگاه بعضا به نتیجه‌گیری متفاوتی نسبت به نتایج مربوط در حالت استفاده از کل دوره آماری منجر گردید که این امر نشان دهنده حساسیت روشهای مورد استفاده به طول دوره آماری مورد استفاده در تحلیل است و باید در تحلیل‌های روند، بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

۳- تحلیل اثر روند موجود در بارش و دما بر دبی رودخانه‌های حوضه نشان دهنده تأثیر قابل توجه آن‌ها در روند دبی‌هاست، به نحوی که بعضا موجب معنی‌دار شدن روندهای بدون معنی (و برعکس) و حتی در مواردی منجر به تغییر جهت روند از کاهشی به افزایشی گردید. لذا، می‌توان اذعان داشت که به جز موارد معدودی که روند کاهشی دبی تحت تأثیر کاهش بارش به وقوع پیوسته، در تعداد قابل توجهی از ایستگاهها، افزایش دما اثر غالب‌تری در کاهش جریان داشته است.

۴- در مجموع و با در نظر گرفتن روند کاهشی معنی‌دار دبی در ایستگاههایی که تأثیر تغییرات دو مولفه بارش و دما در آنها حذف شد (شامل ایستگاههای سعیدآباد، قشلاق امیر، ساری قمیش، بوکان، نظام‌آباد، صفاخانه و بابارود)، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نقش عوامل غیر اقلیمی و دخالت‌های انسانی در کاهش دبی آن‌ها غالب‌تر است.

۵- در انتها لازم به ذکر است از آنجایی‌که روشهای مورد استفاده به‌صورت فیزیکی، ارتباط بین دبی و متغیرهای اقلیمی را تحلیل نمی‌نماید، اظهار نظر کامل‌تر در خصوص عوامل تغییرات جریان، نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. در این زمینه استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی، یک راهکار مناسب خواهد بود که هم اکنون توسط مؤلفین مقاله در حال انجام است.

۵- مراجع

1. Fathian, F. (2012). "Assessment of land use changes using remote sensing techniques and hydroclimatic variable trends of Urmia river basin." M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University (In Persian).
2. Chandler, R. E., and Scott, E. M. (2012). *Statistical methods for trend detection and analysis in the environmental sciences*, John Wiley and Sons, West Sussex, UK.
3. Xiong, L. and Guo, S. (2004). "Trend test and change-point detection for the annual discharge series of the Yangtze river at the Yichang hydrological station." *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 99-112.
4. Kundzewicz, Z. W., and Robson, A. J. (2004). "Change detection in hydrological records—a review of the methodology." *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 7-19.
5. Kundzewicz, Z. W., and Robson, A. J. (2000). *Detecting trend and other changes in hydrological data*, World Climate Program-Data and Monitoring, Geneva, 158.
6. Xu, Z. X., Takeuchi, K., and Ishidaira, H. (2003). "Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation." *J. of Hydrology*, 279(1-4), 144-150.
7. Wang, W., Shao, Q., Peng, S., Zhang, Z., Xing, W., An, G., and Yong, B. (2011). "Spatial and temporal characteristics of changes in precipitation during 1957-2007 in the Haihe River basin, China." *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(7), 881-895.
8. Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J., Gachon, P., Sushama, L., and St-Hilaire, A. (2009). "Identification of

hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian rivers." *J. of Hydrology*, 368(1-4), 117-130.

9. Mavromatis, T., and Stathis, D. (2011). "Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends." *Theoretical and Applied Climatology*, 104 (1-2), 13-24.
10. Kahya, E., and Kalaycı, S. (2004). "Trend analysis of streamflow in Turkey." *J. of Hydrology*, 289(1-4), 128-144.
11. Libiseller, C. (2004). "Comparison of methods for normalisation and trend testing of water quality data." *15th Annual Conference of The International Environmetrics Society*, Portland, USA.
12. Libiseller, C., and Grimvall, A. (2002). "Performance of partial Mann–Kendall tests for trend detection in the presence of covariates." *Environmetrics*, 13(1), 71-84.
13. Smith, E. P., and Rose, K. A. (1991). "Trend detection in the presence of covariates: Stagewise versus multiple regression." *Environmetrics*, 2(2), 153-168.
14. Pettitt, A. N. (1979). "A Non-parametric approach to the change-point problem." *J. of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126-135.
15. Taylor, W. (2000). *Change-Point Analyzer 2.0 shareware program*, Taylor Enterprises, Libertyville, Illinois.
16. Love, D., Uhlenbrook, S., Twomlow, S., and Zaag, P. V. D. (2010). "Changing hydroclimatic and discharge patterns in the northern Limpopo Basin, Zimbabwe." *Water SA*., 36, 335-350.
17. Fathian, F., and Morid, S. (2012). "Study of climate and hydrologic trends in Lake Urmia watershed using non-parametric methods." *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43(3), 259-269. (In Persian).
18. Delju, A. H., Ceylan, A., Piguet, E., and Rebetez, M. (2013). "Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran." *Theoretical and Applied Climatology*, 111, 285-296.
19. Hamed, K. H., and Rao, A. R. (1998). "A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data." *J. of Hydrology*, 204(1-4), 182-196.
20. Mann, H. B. (1945). "Nonparametric tests against trend." *Econometrica*, 13(3), 245-259.
21. Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*, Charles Griffin, London.
22. WMO. (1966). *Climatic Change*, WMO Technical Note No. 79, 79 pp.
23. Dahmen, E. R., and Hall, M. J. (1990). *Screening of hydrological data*, Netherlands, 58 pp.