

بررسی تغییرات سیگنال‌های کمبود منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه

محمد ناظری تهرودی^۱، یوسف رمضانی^{۲*}، کارلو دی‌میکله^۳، رسول میرعباسی نجف‌آبادی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۵

چکیده

بررسی تغییرات بلندمدت منابع آب در هر حوضه به‌عنوان سیستم پایش عمل می‌کند. بررسی تغییرات منابع آب، نحوه تغییرات و درصد آن در هر حوضه کمک به سزایی به بخش مدیریت منابع آب خواهد داشت. در این مطالعه ضمن معرفی سیگنال‌های کمبود منابع آب، به بررسی روند تغییرات این سیگنال‌ها با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح‌شده با حذف اثرات خودهمبستگی داخلی پرداخته شده است. در این مطالعه از مقادیر سیگنال‌های کمبود بارش، کمبود دبی جریان و کمبود سطح آب زیرزمینی در مدت دوام‌های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزه موجود در ۱۲ زیرحوضه در حوضه دریاچه ارومیه استفاده شده است. در مورد مقادیر بارش و دبی جریان از ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری و جهت انتخاب پیرومتر معرف حوضه از تئوری بی‌نظمی استفاده شد. نتایج بررسی تغییرات مقادیر سیگنال‌های کمبود نشان داد که تغییرات کلی، افزایشی می‌باشد که این افزایش در برخی موارد معنی‌دار و در برخی موارد غیر معنی‌دار می‌باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که به‌طور متوسط در دوره آماری مورد بررسی، سیگنال‌های کمبود بارش، کمبود دبی جریان و کمبود سطح آب زیرزمینی در زیرحوضه‌های مورد بررسی به ترتیب ۵۲، ۳۵ و ۲۳ درصد نسبت به میانگین بلندمدت افزایش یافته‌اند. این تغییرات برای حوضه دریاچه ارومیه بیانگر افزایش میزان خشک‌سالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و آب زیرزمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، بارش، خشکی، دبی جریان، کندال

مقدمه

برای بررسی روند یکنواخت داده‌ها می‌باشد (Xu et al., 2003). احمدی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی روند تغییرات بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه نیمه شمالی ایران را در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه، هشت ایستگاه (۴۴ درصد ایستگاه‌ها) از ۱۸ ایستگاه مورد بررسی، روند کاهشی معنی‌دار، شش ایستگاه روند کاهشی غیرمعنی‌دار و فقط چهار ایستگاه (ایستگاه‌های بابلسر، قزوین، سبزوار و تهران) افزایش غیرمعنی‌دار در بارش را تجربه کرده‌اند. ناظری تهرودی و خزیمه‌نژاد (۱۳۹۶) با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح‌شده روند تغییرات بارش‌های فصلی و سالانه ایران و کشورهای همسایه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی روند تغییرات سالانه مقادیر بارش منطقه نشان داد که از بین کشورهای مورد بررسی، روند تغییرات دو کشور عراق و ایران نسبت به سایر کشورها بحرانی‌تر بوده و به ترتیب حدود ۱/۲ و ۱/۰۳ میلی‌متر از مجموع بارش‌های سالانه در هر سال کاهش یافته است. لینز و اسلاک خصوصیات فصلی و منطقه‌ای روند جریان‌های ۴۳۵ ایستگاه هیدرومتری در ایالات متحده را در دوره آماری ۱۹۹۹-۱۹۴۰ مورد بررسی قرار دادند (Lins and Slack., 2005). نتایج نشان داد که روند افزایشی جریان‌های کم تا متوسط در طول دوره مذکور در دو

ایستایی سری‌های زمانی یکی از فرضیات اصلی در تحلیل فراوانی متغیرهای هیدرولوژیکی است و بیشتر مسائل مهندسی آب، بر مبنای این فرضیه مورد مطالعه قرار می‌گیرند. عوامل مهمی نظیر روند، پرش و فصلی بودن در غیر ایستا شدن سری‌های زمانی نقش دارند. از طرف دیگر، اثرات احتمالی گرمایش جهانی بر سیستم‌های منابع آب نیز از عواملی است که بر طبق مطالعات اخیر محققان، ممکن است بر ایستایی فرآیندهای هیدرولوژیکی تأثیرگذار باشد. بنابراین، داشتن آگاهی و بینش کافی در مورد تحلیل روند و ایستایی در سری‌های زمانی ضروری بوده و در درک ارتباط احتمالی بین فرآیندهای هیدرولوژیکی و تغییرات محیط‌زیست جهانی بسیار مفید می‌باشد. آزمون‌های آماری ناپارامتری بسیاری برای تعیین روند در سری داده‌ها تاکنون بسط داده شده‌اند. از بین آزمون‌های ناپارامتری، آزمون من-کندال (MK) بهترین انتخاب

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳- استاد گروه عمران و مهندسی محیط زیست، دانشگاه پلی تکنیک میلان

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد

*- نویسنده مسئول: (Email: y.ramezani@birjand.ac.ir)

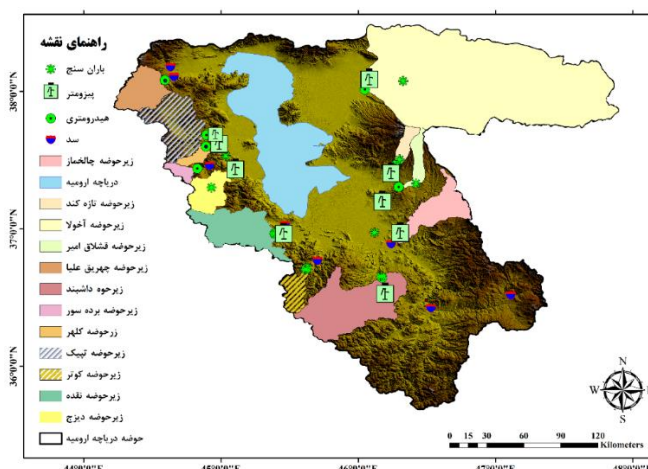
(Khozeymehzhad and Tahroudi, 2019) در این مطالعه ضمن معرفی سیگنال‌های کمبود منابع آب، به بررسی تغییرات کمبودهای منابع آبی در زیرحوضه‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شده است. لذا هدف از مطالعه حاضر، بررسی تغییرات سیگنال‌های کمبود بارش، کمبود دبی جریان و کمبود سطح آب زیرزمینی در ۱۲ زیرحوضه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح‌شده با حذف اثرات کامل خودهمبستگی داخلی می‌باشد. در این مطالعه به‌جای پرداختن به تغییرات مقادیر مشاهده شده به بررسی تغییرات کمبود این متغیرها پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه که حدود ۱۲۶۷ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و در طول ۱۳۰ کیلومتر، آب ارتفاعات اطراف را به‌سوی خود جلب می‌کند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز دریاچه ارومیه و رودخانه‌های موجود در حوضه می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های بارش، دبی و سطح آب زیرزمینی موجود در زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه استفاده گردید. در این میان از ۱۲ زیرحوضه در اطراف دریاچه ارومیه به شرح شکل ۱ استفاده شد. سه زیرحوضه در استان آذربایجان شرقی و نه زیرحوضه در استان آذربایجان غربی قرار دارد. در این مطالعه از مقادیر بارش و دبی جریان در دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۷۹ و سطح آب زیرزمینی در دوره آماری ۱۳۹۴-۱۳۵۲ استفاده شد. در هر زیرحوضه یک ایستگاه باران‌سنجی برای معرفی مقادیر بارش، یک ایستگاه هیدرومتری برای معرفی مقادیر دبی جریان و یک چاه پیزومتر برای نشان دادن تغییرات سطح آب زیرزمینی انتخاب گردید. خلاصه مشخصات آماری داده‌های مورد بررسی در این تحقیق نیز به شرح جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

سوم مرکز ایالات متحده تجربه شده و این روند با وسعت کمتر در قسمت‌های شرقی نواحی ساحلی نیز تجربه شده است. همچنین روندهای نسبتاً کمی هم در سری داده‌های جریان‌های حداکثر سالانه این نواحی مشاهده شده است. وانگ و همکاران اثرات تغییرپذیری اقلیمی بر خصوصیات جریان یک حوضه آبریز در شمال غربی چین را مورد بررسی قرار دادند (Wang et al., 2008). آن‌ها برای تعیین وجود روند در داده‌های جریان و متغیرهای اقلیمی و نیز بررسی ارتباط بین آن‌ها از آزمون MK و رگرسیون گام‌به‌گام استفاده نمودند. نتایج نشان داد که جریان، بارش و تبخیر تفرق در سطح پنج درصد در طول دوره مورد مطالعه (۲۰۰۳-۱۹۸۲) فاقد روند معنی‌دار است. خلیلی و همکاران روند تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های ۵۰ ساله ایران را با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح‌شده و شاخص تراکم بارش مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصله، شاخص PCI در مناطق مرکزی و جنوبی کشور نشان‌دهنده وجود بی‌نظمی زیاد و پراکندگی بالا در ریزش‌های جوی می‌باشد (Khalili et al., 2016). احمدی و همکاران روند تغییرات نقطه‌ای و منطقه‌ای بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک ایران در طی نیم‌قرن اخیر از رون من‌کندال اصلاح‌شده و کندال منطقه‌ای استفاده کردند (Ahmadi et al., 2018). زمانی و همکاران تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های ایالت جاکاند هندوستان را در مقیاس‌های زمانی روزانه، فصلی و سالانه با استفاده از شاخص‌های تراکم و تراکم بارش مورد بررسی قرار دادند (Zamani et al., 2018). تهرودی و همکاران با توسعه شاخصی مبنی بر TCI به بررسی تغییرات و توزیع الگوی دمایی در کشور ایران پرداختند (Tahroudi et al., 2018). خزیمه‌نژاد و تهرودی به بررسی تغییرات الگوی بارش‌های ایران و کشورهای همسایه با محوریت ایران در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۷۰ پرداختند. با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان مشاهده کرد که تغییرات مورد بررسی همگی در مورد پارامترهای هواشناسی یا هیدرولوژی در هر حوضه بوده است



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌های مورد بررسی در حوضه دریاچه ارومیه

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های مورد بررسی در مقیاس سالانه

زیرحوضه/ایستگاه هیدرومتری	ایستگاه باران‌سنجی	چاه پیزومتر	متوسط بارش (mm)	متوسط دبی (m ³ /s)	متوسط سطح آب زیرزمینی (m)
برده‌سور	کمپ ارومیه	---	۴۰۰/۰۷	۴/۱۱	---
چهریق علیا	چهریق علیا	---	۳۴۰/۲۴	۳/۵۲	---
دانشبند	دانشبند	میرآباد	۳۵۴/۵۲	۱۴/۰۵	۶/۲۶
دیزج	هاشم آباد	دیدان	۵۴۴/۵۹	۷/۹۴	۳/۰۴
کلهر	کلهر	درزم	۴۲۳/۴۲	۱/۱۰	۴۹/۹۹
کوثر	کوثر	---	۳۷۵/۲۷	۶/۲۳	---
نقده	نقده	تازه قلعه	۳۲۸/۱۵	۱۰/۴۴	۵/۲۲
چالخماز	پل میان‌دوآب	ظلم آباد	۳۸۶/۴۳	۱۸/۶۶	۱۸/۰۸
تپیک	تپیک	نازلو	۳۹۴/۳۵	۱۱/۳۷	۳۴/۰۸
قشلاق امیر	مغانجیق	شیخ بابا	۳۲۷/۱۶	۲/۲۹	۵/۳۰
تازه‌کند علویان	خرمازرد	مراغه	۲۹۰/۷۰	۳/۶۳	۱۰/۳۵
آخولا	تبریز	مایان	۲۳۵/۷۶	۱۰/۵۳	۵/۸۸

انتخاب ایستگاه‌های باران‌سنجی و پیزومتری

در این مطالعه جهت انتخاب ایستگاه‌های باران‌سنجی و چاه‌های پیزومتری در هر زیرحوضه از تئوری آنتروپی استفاده می‌شود. از آنجایی که در زیرحوضه‌های مورد مطالعه ایستگاه‌های باران‌سنجی و پیزومترهای متعددی موجود است و هم‌چنین پراکندگی ایستگاه‌ها در کل زیرحوضه یکنواخت می‌باشد، لذا به جای استفاده از پلیگون‌های تیسس و یا میانگین وزنی از روش آنتروپی استفاده شده و ایستگاهی که بیشترین شباهت را با زیرحوضه مورد مطالعه دارد، به‌عنوان ایستگاه برتر انتخاب می‌گردد. جهت اطلاع بیشتر از تئوری آنتروپی و نحوه رتبه‌بندی چاه‌های پیزومتر به تحقیقات (Tahroudi et al., 2019b) مراجعه شود. تئوری آنتروپی با استفاده از شاخصی موسوم به شاخص اطلاعات خالص تبدیلی به طبقه‌بندی ایستگاه‌ها یا چاه‌های

پیزومتر می‌پردازد. این شاخص با رتبه‌بندی چاه‌های پیزومتر، بهترین چاه از نظر انتقال اطلاعات با سایر چاه‌ها را معرفی می‌کند. در بین ۱۲ حوضه مورد بررسی، سه حوضه فاقد چاه در محدوده‌های مناسب بوده و تنها نه پیزومتر برای نه زیرحوضه معرفی می‌گردد. جدول ۲ تعداد چاه‌های موجود در هر زیرحوضه را نشان می‌دهد. حال با توجه به این که هدف از انتخاب چاه پیزومتر در هر زیرحوضه، نمایش سطح آب زیرزمینی نسبت داده شده به زیرحوضه است، در انتخاب چاه پیزومتر باید دقت کافی داشت. موجود در جدول ۲ با استفاده از تئوری آنتروپی مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت و با توجه به شاخص‌های آنتروپی، از نظر کمبود یا افزودنی اطلاعات، چاه‌های پیزومتر موجود طبقه‌بندی خواهد شد و در نهایت با توجه به رتبه‌های کسب کرده، چاه‌های برتر معرفی خواهد شد.

جدول ۲- تعداد چاه‌های پیزومتری موجود در محدوده زیرحوضه‌های مورد بررسی

زیرحوضه	تعداد چاه	چاه‌های پیزومتر موجود
برده‌سور	صفر	ندارد
چهریق علیا	صفر	ندارد
دانشبند	۵	عباس آباد، حمامیان، میرآباد، گورستان، مهاباد
دیزج	۴	باراندوز، دیدان، کاروانسرا، ساعتلو
کلهر	۶	درزم، ولینده، جهاد کشاورزی، سلیم آقا، شورکند، توپراق قلعه
کوثر	صفر	ندارد
نقده	۷	آقا بیگلر، تازه قلعه، چشمه گل، کهنه قلعه، دربند، آلاگوز، نقده
چالخماز	۷	ظلم آباد، سه راهی، قه سقال، باروق، چالخماز، میرزانظام، آیدیشه
تپیک	۱۲	هورسین، پمپ بنزین، گنبد، خرگوش، گنکچین، سرو، سران، جنیزه، نازلو، کک، ساعتلو، ارزلو
قشلاق امیر	۴	شیخ بابا، شیخ بابا قدیم، قلعه جوق، قلعه جوق قدیم
تازه‌کند	۶	مراغه، خواجه نصیر، ورجوی، بهرآباد، کنارشهر، ملکی
آخولا	۱۴	مایان، ینگن کند، باغ معروف، جاده، بغل، کاواب، شرق نوجه، رب مایان، مایان سفلی، مایان علیا، آخولا، سفره، آخولا کاواب، نوجه ده، ساعتلو

استخراج مقادیر سیگنال‌های منابع آب

مقادیر کمبود بارش، دبی جریان و سطح آب زیرزمینی که در این تحقیق به‌عنوان سیگنال‌های منابع آب یاد می‌شوند، تا مدت دوام پیوسته شصت روزه بر اساس رابطه پیشنهادی ناظری تهرودی و همکاران استخراج گردید (Tahroudi et al., 2019a). مقادیر تولید شده از این پس با نام "سیگنال" یاد می‌شوند. سیگنال کمبود

به‌عنوان یک بازه یاد می‌شود که در آن پارامتر مورد نظر نسبت به میانگین بلندمدت خود، کمتر می‌باشد. میانگین بلندمدت روزانه (MIDL¹) برای مقادیر بارش، دبی و سطح آب زیرزمینی برای هر ۳۶۵ روز سال (به‌عنوان مثال: داده‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵) به شرح رابطه ۱ استخراج می‌گردد:

$$(1) \text{ مقدار پارامتر مورد بررسی در ۱ مهر ۱۳۸۲} + \dots + \text{ مقدار پارامتر مورد بررسی در ۱ مهر ۱۳۹۵}$$

MIDL¹=

تعداد سال‌های مورد بررسی

که در آن x_j مقادیر داده‌های متوالی، n طول مجموعه داده‌ها و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده که به‌صورت زیر تعریف گردید:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (3)$$

من (۱۹۴۵) و کندال (۱۹۶۳) نشان دادند که وقتی $n \geq 8$ باشد، آماره S تقریباً به‌طور نرمال توزیع شده و میانگین و واریانس آن به‌صورت زیر می‌باشد:

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (5)$$

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام و m برابر با تعداد گروه‌های جفتی می‌باشند. آماره آزمون استاندارد شده Z به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

آماره آزمون MK1 استاندارد شده Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ پیروی می‌کند. فرض صفر به شرطی پذیرفته می‌شود که $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2}$ قرار گیرد. لازم به ذکر است که α برابر با سطح معنی‌داری می‌باشد. در شرایطی که $s=0$ باشد داده‌ها فاقد روند بوده و هیچ روند معنی‌دار یا غیر معنی‌داری در داده‌ها وجود ندارد که این شرایط ایده آل برای داده‌های هیدرولوژیکی به‌ندرت ممکن است اتفاق بیفتد. اما برای داده‌هایی که

برای هر پارامتر، ۳۶۵ مقدار MIDLP استخراج شده و سپس این مقادیر از داده‌های متناظر خود کسر شده و سری جدید محاسبه می‌شود. با محاسبه مجموع متحرک ۱ تا ۶۰ روزه این مقادیر، سیگنال‌های کمبود در مدت دوام‌های مختلف حاصل می‌شود.

بررسی روند تغییرات زمانی داده‌ها

در این تحقیق روند تغییرات سری‌های زمانی موجود با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال اصلاح‌شده مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون به‌طور وسیعی در مطالعات هیدرولوژی، کلیماتولوژی و متئورولوژی مورد استفاده قرار گرفته است (Mann., 1945; Kendall., 1963; Khalili et al., 2016; Khozeynezhad and Tahroudi., 2019; Ahmadi et al., 2018; Tahroudi et al., 2019b) شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود خودهمبستگی در سری زمانی داده‌ها می‌باشد، با این حال ممکن است داده‌ها دارای خودهمبستگی معنی‌دار باشند. بنابراین باید ابتدا اثر خودهمبستگی داده‌ها حذف گردد تا بتوان از آزمون من-کندال استفاده نمود (ناظری تهرودی و شهیدی، ۱۳۹۶). بدین منظور در مطالعه حاضر به‌جای آزمون من-کندال مرسوم (MK1) از ویرایش دیگر آن شامل آزمون من-کندال با حذف کامل ساختار خودهمبستگی (MK3) استفاده شد. در ادامه روش‌های آزمون من-کندال شرح داده می‌شود.

آزمون من-کندال بدون در نظر گرفتن خودهمبستگی داده‌ها

در آزمون MK1 هر مقدار در سری زمانی به‌صورت پیوسته و پشت سرهم با بقیه مقادیر سری، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. آماره S به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

1- Mean individual daily long-term period

انجام می‌شود در غیر این صورت اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول داده‌ها بر روی روند آن‌ها به صورت زیر حذف خواهد شد. لازم به ذکر است در صورتی که r_k در رابطه صدق کند، داده‌ها مستقل از هم بوده و نیازی به حذف اثر خودهمبستگی نخواهد بود اما در غیر این صورت بایستی برای تک‌تک مرتبه‌های خودهمبستگی (k) این شرط بررسی شود و در صورت عدم برقراری شرط بالا، داده‌ها مستقل نبوده و بایستی اثر خودهمبستگی از داده‌ها حذف می‌گردد.

۳- شیب خط روند یا β برای سری داده‌ها از رابطه ۷ محاسبه و سری جدیدی به شرح زیر به دست می‌آید.

$$x'_i = x_i - (\beta \times i) \quad (9)$$

۴- ضریب r_1 داده‌های سری جدید مجدداً محاسبه می‌شود:

۵- مؤلفه ضریب خودهمبستگی مرتبه اول $AR(1)$ ، از سری

جدید به شرح زیر حذف و سری باقیمانده‌ها (y'_i) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$y'_i = x'_i - r_1 \times x'_{i-1} \quad (10)$$

۶- بار دیگر مقدار روند $(\beta \times i)$ به سری اخیر افزوده شد و

سری نهایی (y_i) به شرح زیر به دست می‌آید:

$$y_i = y'_i + (\beta \times i) \quad (11)$$

اکنون با اعمال آزمون من - کندال (MK1) به سری داده‌های ترکیبی، وجود روند در آن‌ها بررسی می‌شود. این کار با محاسبه آماره Z (من-کندال (رابطه ۶) برای سری اخیر انجام می‌گیرد. اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از رقم $1/645$ شود، روند داده‌ها در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار فرض و اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از ارقام $1/96$ و $2/33$ شود، روند داده‌ها به ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد معنی‌دار فرض خواهد شد. در غیر این صورت فرض صفر مبنی بر وجود روند در داده‌ها در سطح معنی‌داری موردنظر رد می‌شود.

آزمون من-کندال با حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار (MK3)

همان‌طوری که در قسمت معنی‌داری ضرایب شرح داده شد (بخش مربوط به آزمون من - کندال با حذف ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (MK2)) اثر خودهمبستگی ضرایب در تأخیرهای مختلف بررسی شده و ممکن است در مرتبه اول یا مرتبه‌های دیگر داده‌ها مستقل نبوده و نیاز به حذف اثر خودهمبستگی در مرتبه اول یا برای باقی ضرایب صورت گیرد (Khalili et al., 2016). آزمون من-کندال اصلاح شده به منظور حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار توسط حامد و راثو ارائه گردید (Hamed and Rao, 1998). در این آزمون همه ساختار خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی

روند افزایشی دارند مقدار S صفر نبوده و مقداری مثبت دارد و در رابطه ارائه شده توسط من-کندال آماره Z با کسر یک واحد از S مثبت تقسیم بر انحراف معیار S به دست می‌آید و برای داده‌هایی که روند کاهشی دارند مقدار S صفر نبوده و مقداری منفی دارد و در رابطه ارائه شده توسط من-کندال آماره Z با اضافه کردن یک واحد به S منفی تقسیم بر انحراف معیار S حاصل می‌گردد (خزیمه‌نژاد و تهرودی، ۲۰۱۹).

تخمین گر شیب سن

یک شاخص بسیار مفید در آزمون من-کندال شیب خط روند یا به اصطلاح شیب Sen می‌باشد که بزرگی روند یکنواخت را نشان می‌دهد. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارائه شده توسط تیل و سن با رابطه زیر محاسبه می‌شود (Theil., 1950; Sen., 1968):

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad \forall i < j \quad (7)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و x_j, x_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می‌باشند. مقادیر مثبت β نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهند. این روش در مطالعات هیدرولوژیکی به طور وسیعی استفاده شده است. لازم به ذکر است که برآورد مقدار شیب سن جهت محاسبات آزمون من - کندال اصلاح شده مورد نیاز می‌باشد.

آزمون من-کندال با حذف ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (MK2)

این روش توسط کومار و همکاران شرح داده شده است. در این روش اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (r_1) محاسبه و در صورتی که معنی‌دار باشد، از سری داده‌ها حذف می‌گردد. برای این کار مراحل زیر انجام می‌شود (Kumar et al., 2009):

۱- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول، r_1 ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r_k = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x}) \quad (8)$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

۲- سری داده‌ها در صورتی (در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد) مستقل از هم فرض می‌شود که در شرط

$$\frac{-1 - 1.645\sqrt{n-2}}{n-2} \leq r_1 \leq \frac{-1 + 1.645\sqrt{n-2}}{n-2}$$

می‌شود که در این حالت آزمون MK با روش کلاسیک (یا MK1)

نتایج و بحث

همان‌طور که ذکر گردید، در این مطالعه از داده‌های بارش، دبی جریان و سطح آب زیرزمینی در ۱۲ زیرحوضه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه استفاده شده است. در مرحله اول، پیژومترهای ارائه شده در جدول ۲ با استفاده از تئوری آنتروپی مورد بررسی قرار گرفتند نتایج بررسی شاخص آنتروپی در تعیین چاه‌های برتر در زیرحوضه داشبند به‌عنوان نمونه به شرح جدول ۳ ارائه گردید. با توجه به شاخص اطلاعات خالص تبدیلی آنتروپی، که به‌عنوان شاخصی جهت رتبه‌بندی چاه‌ها استفاده می‌شود، می‌توان مشاهده کرد که پیژومتر میرآباد در زیرحوضه داشبند بیشترین ارتباط را با سایر چاه‌ها داشته و اطلاعات این چاه معرف بهتری از دشت می‌باشد. در واقع اطلاعات این چاه به‌خوبی بیانگر وضعیت آبخوان دشت می‌باشد و با اطمینان بالا می‌توان به مقادیر این چاه اعتماد کرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، انتقال اطلاعات این چاه نیز از سایر چاه‌ها بیشتر می‌باشد. چاه‌های منتخب با استفاده از تئوری آنتروپی در هر زیرحوضه نیز به شرح جدول ۴

جدول ارائه گردید.

بررسی و حذف می‌گردد. ابتدا واریانس اصلاح شده که با $V(S)^*$ معرفی شده است، به شرح زیر می‌باشد:

$$V(S)^* = V(S) \cdot \frac{n}{n^*} \quad (12)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \cdot r_i \quad (13)$$

که در آن n^* اندازه مؤثر نمونه بوده و از طریق رابطه (۱۳) قابل

محاسبه می‌باشد، $V(S)$ از رابطه (۵) محاسبه می‌شود. **Error! Reference source not found.** r_i ضریب خودهمبستگی با تأخیر i در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد از رابطه (۸) محاسبه می‌شوند. برای محاسبه Z من-کندال، در رابطه (۵) مقدار عبارت $V(S)$ با $V(S)^*$ جایگزین می‌گردد. حامد و راثو نشان دادند که در این روش، معنی‌داری روند دقیق‌تر از روش من - کندال مرسوم بوده و اثری بر توان (قدرت) آزمون ندارد (Hamed and Rao, 1998).

جدول ۳- نتایج بررسی شاخص‌های آنتروپی در زیرحوضه داشبند

UTM-x	UTM-y	شاخص اطلاعات خالص تبدیلی	پیژومتر
۵۹۸۳۵۰	۴۱۱۳۷۵۰	-۰/۰۹۰	عباس آباد
۶۰۶۸۹۵	۴۰۴۵۱۰۵	-۰/۰۱۶	حمامیان
۶۰۷۰۴۶	۴۰۴۲۹۱۰	۰/۰۴۰	میرآباد
۶۰۹۱۵۹	۴۰۴۴۷۸۰	-۰/۰۸۴	گورستان
۶۰۵۰۳۰	۴۰۴۴۵۱۵	-۰/۰۴۵	مهاباد

جدول ۴- چاه‌های پیژومتری منتخب در زیرحوضه‌های مورد مطالعه در این تحقیق

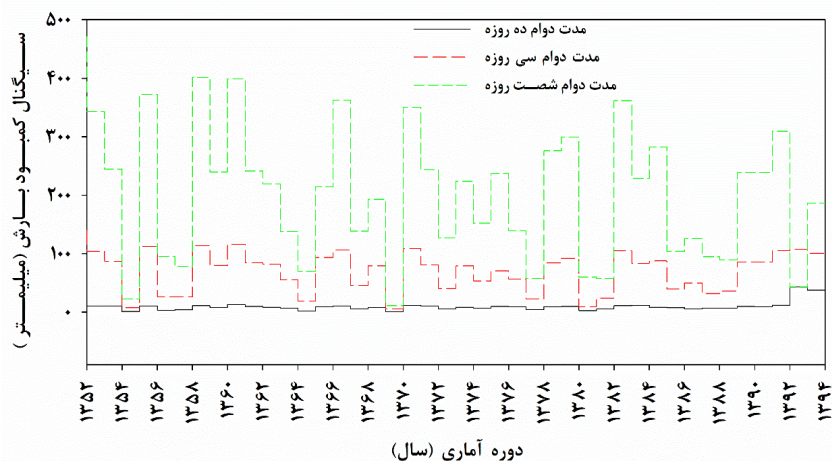
زیرحوضه	پیژومتر منتخب با استفاده تئوری آنتروپی
داشبند	میرآباد
دیزج	دیدان
کلهر	درزم
نقده	تازه قلعه
چالخماز	ظلم آباد
تپیک	نازلو
قشلاق امیر	شیخ بابا
تازه کند	مراغه
آخولا	مایان

زیرزمینی که از این پس به‌عنوان سیگنال کمبود بارش، سیگنال کمبود دبی و سیگنال کمبود سطح آب زیرزمینی یاد می‌شوند، با

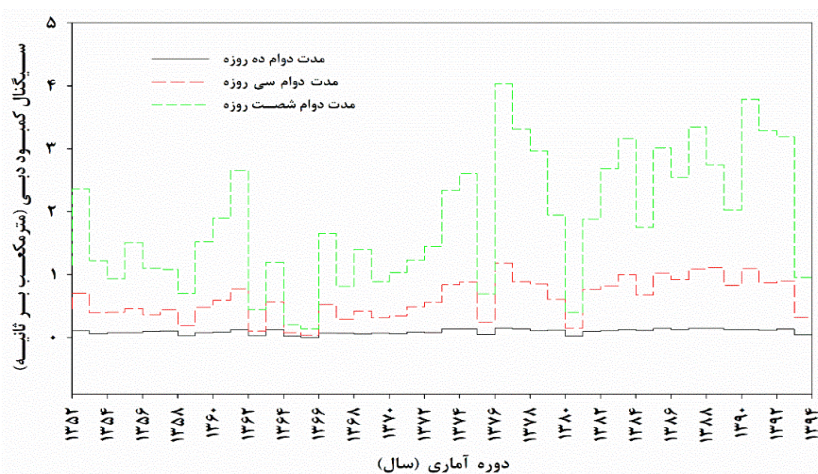
استخراج سیگنال‌های منابع آب

مقادیر کمبود بارش، کمبود دبی جریان و کمبود سطح آب

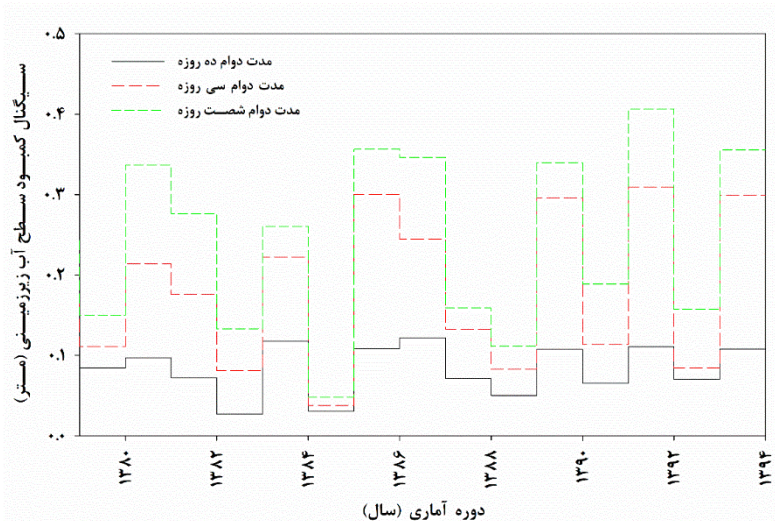
استفاده از رابطه مورد نظر استخراج و تا مدت دوام پیوسته ۶۰ روزه تصحیح و تکمیل گردید. نتایج استخراج مقادیر سیگنال کمبود در زیرحوضه داشبند به عنوان نمونه در مدت دوام‌های پیوسته ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزه به شرح شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است.



شکل ۲- نتایج استخراج سیگنال کمبود بارش در ایستگاه هواشناسی داشبند در دوره آماری ۱۳۵۲-۱۳۹۴ در مدت دوام‌های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزه



شکل ۳- نتایج استخراج سیگنال کمبود دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری داشبند در دوره آماری ۱۳۵۲-۱۳۹۴ در مدت دوام‌های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزه



شکل ۴- نتایج استخراج سیگنال کمبود سطح آب زیرزمینی در بیرومتر میرآباد در دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۴ در مدت دوام‌های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزه

استخراج مقادیر سیگنال‌های کمبود بارش در سطح منطقه مورد مطالعه نشان داد که الگوی تغییرات مدت دوام‌های مختلف تقریباً یکسان می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، تغییرات این سیگنال در طی سال‌های اخیر شدت بیشتری پیدا کرده است. تغییر شکل بارش‌ها در سال‌های اخیر و از بین رفتن ذخایر برف مناطق شمالی حوضه دریاچه ارومیه و همچنین تغییرات اقلیمی سبب کاهش بارش و کاهش دبی جریان شده است. در طی سال‌های اخیر کمبود دبی جریان باعث تغییر رژیم رودخانه‌ها شده و رودخانه‌های دائمی به رودخانه‌های فصلی و حتی مسیبل تبدیل شده است. این موضوع برای استان آذربایجان غربی و دریاچه ارومیه که وابستگی شدیدی به آب‌های سطحی دارند، مشکلات عدیده‌ای را به دنبال خواهد داشت. کاهش جریان رودخانه‌ها و محدود شدن دور آبیاری مزارع در این حوضه سبب گرایش کشاورزان به برداشت از آب‌های زیرزمینی و حفر چاه‌های غیرمجاز می‌شود که این موضوع نیز سبب آسیب جدی به آبخوان خواهد شد. جریان‌ات ورودی به دریاچه ارومیه علاوه بر جریان سطحی، جریان آب زیرزمینی که چشمه‌های آب شیرین را نیز در بر می‌گیرد. با کاهش ورودی‌ها از طرف آب‌های سطحی و همچنین کاهش جریان‌ات آب زیرزمینی به دلیل افزایش تعداد چاه‌های غیر مجاز سبب افزایش شوری آب دریاچه ارومیه می‌شود.

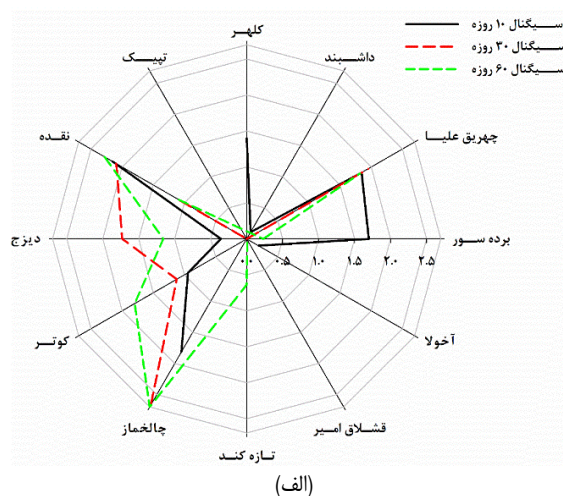
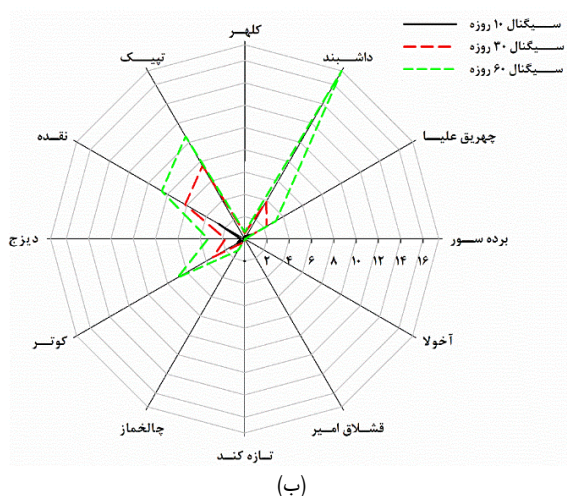
همچنین با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، بارش و دبی جریان تأثیر مستقیم بر آن دارد و تأخیر چندانی بین این سه پارامتر وجود ندارد. افزایش سطح دسترسی به آب زیرزمینی و یا افزایش کمبود سطح آب زیرزمینی با توجه به وسعت آبخوان، حجم زیادی از آب زیرزمینی را شامل می‌شود که جبران این کسری مخزن بسیار دشوار است. از طرفی با کاهش سطح آب زیرزمینی و افزایش بارش‌های حدی در منطقه مورد مطالعه، بافت

سیگنال‌های مورد بررسی در مدت دوام‌های پیوسته ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزه استخراج شده و مورد بررسی قرار گرفت. تمام سیگنال‌های مورد بررسی تا مدت دوام پیوسته ۶۰ روزه تصحیح و تکمیل گردید. به دلیل عدم وجود کمبود بارش پیوسته بیش از شصت روز، این مدت دوام به‌عنوان مدت دوام نهایی انتخاب گردید. همان‌طور که از شکل‌های فوق قابل مشاهده می‌باشد، توزیع الگوی پراکندگی هر سه مدت دوام ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزه یکسان می‌باشد. ایستگاه هیدرومتری دانشند یکی از قدیمی‌ترین ایستگاه‌های فعال در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد که به دلیل اهمیت آن از سال ۱۳۹۲ دارای داده‌های ثبت شده می‌باشد، اما به دلیل تغییرات اقلیمی صورت گرفته در این منطقه با کاهش شدید دبی جریان مواجه شده است. در این زیرحوضه (دانشند) می‌توان تغییرات سیگنال کمبود بارش را در بازه صفر تا ۵۰ میلی‌متر در مدت دوام‌های مختلف مشاهده کرد. با توجه به نتایج این مطالعه و مطالعات صورت گرفته در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (Khalili et al., 2016; Tahroudi et al., 2019a) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقادیر سیگنال کمبود بارش در منطقه دو حالت را نتیجه می‌دهد: نخست، کاهش بارش‌های حوضه دریاچه ارومیه در طی سال‌های اخیر و دوم، تغییر الگوی بارش و توزیع آن که باعث افزایش مقادیر حدی بارش و سیلاب می‌شود. با توجه به این‌که ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در محدوده بالادست سد قرار دارند و تأثیر سد بر داده‌ها وجود ندارد، لذا تغییرات ایجاد شده همگی در اثر کاهش بارش‌ها و تغییر شکل بارش‌ها می‌باشد. با توجه به تغییرات دبی جریان در حوضه دریاچه ارومیه که در مطالعات مختلف از جمله (Khalili et al., 2016; Tahroudi et al., 2019b)، نیز بدان اشاره شده است، می‌توان افزایش سیگنال کمبود دبی جریان را در بیشتر ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی مشاهده کرد. به‌طور کلی نتایج

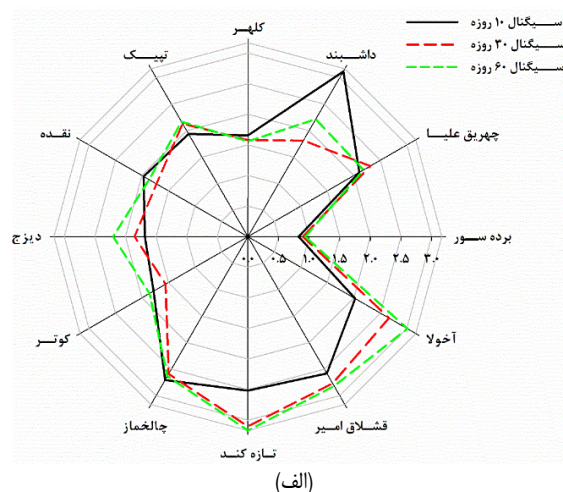
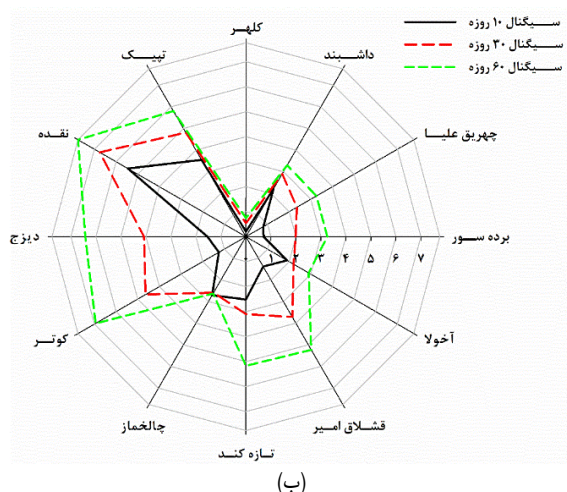
کمبود به صورت شکل‌های ۵ تا ۷ ارائه گردید. از آنجا که تغییرات مدت دوام‌های مختلف سیگنال‌های کمبود از یک توزیع پیروی می‌کنند، لذا بررسی روند صرفاً با سه مدت دوام ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزه انجام شد.

نتایج بررسی روند تغییرات مقادیر کمبود سیگنال‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی در سطح حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح شده با حذف اثرات خودهمبستگی داخلی انجام شد. نتایج نشان داد که مقادیر کمبود بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد بررسی افزایش بوده و این تغییرات در برخی ایستگاه‌ها در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار و برخی غیرمعنی‌دار می‌باشد.

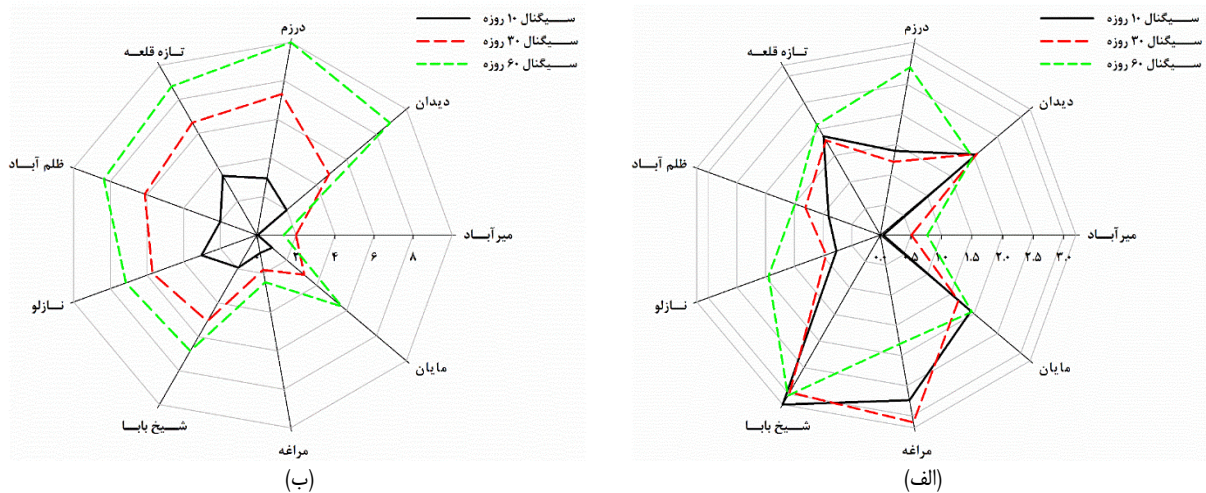
خاک آسیب دیده و ساختمان خاک به مرور حالت احیای خود را از دست می‌دهد. این موضوع به افزایش پتانسیل سیل خیزی حوضه کمک خواهد کرد. یکی از دلایل مهم کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، کاهش مقادیر بارش در طی سال‌های اخیر می‌باشد. ناظری تهرودی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی تغییرات دبی جریان در حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۳، روند کاهش بارش و دبی را در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد بررسی تأیید کردند. جهت بررسی معنی‌داری یا غیر معنی‌داری تغییرات سیگنال‌های مورد بررسی از آزمون من-کندال اصلاح شده و شیب خط روند (شیب سن) استفاده شده و نتایج بررسی روند تغییرات و شیب خط روند این تغییرات در مورد سیگنال‌های



شکل ۵- تغییرات سیگنال‌های کمبود بارش ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در دوره آماری مورد بررسی در مدت دوام‌های ۱ تا ۶۰ روزه (الف): آماره من-کندال اصلاح شده، ب: شیب خط روند (شیب سن)



شکل ۶- تغییرات سیگنال‌های کمبود دبی جریان ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در دوره آماری مورد بررسی در مدت دوام‌های ۱ تا ۶۰ روزه (الف): آماره من-کندال اصلاح شده، ب: شیب خط روند (شیب سن)



شکل ۷- تغییرات سیگنال‌های کمبود سطح آب زیرزمینی ایستگاه‌های منتخب در دوره آماری مورد بررسی در مدت دوام‌های ۱ تا ۶۰ روزه (الف): آماره من-کندال اصلاح شده، ب: شیب خط روند (شیب سن)

طی دوره آماری نشان می‌دهد. افزایش مقادیر این پارامتر، بیانگر زیاد شدن این فاصله می‌باشد. تغییرات این سیگنال به دلیل مقایسه مقادیر بارش با متوسط درازمدت خود، بهتر می‌تواند تغییرات کاهش بارش‌ها را نشان دهد. تغییرات مقادیر بارش، شکل و توزیع آن در طی سال‌های اخیر، میزان افزایش سیگنال کمبود بارش را معنی‌دار کرده است. این افزایش سیگنال کمبود بارش در گام دوم تأثیرات منفی بر مقادیر دبی جریان دارد. نتایج بررسی سیگنال کمبود دبی جریان یکی از مؤلفه‌های اصلی خشک‌سالی هیدرولوژیکی می‌باشد، نشان داد که تغییرات این سیگنال نیز در طی دوره آماری مورد بررسی در تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری افزایش می‌باشد. این افزایش در مقادیر سیگنال کمبود دبی جریان نتیجه تغییرات افزایشی مقادیر سیگنال کمبود بارش در حوضه می‌باشد. تغییر الگوی بارش‌ها نیز در مطالعات مختلف نظیر (Khalili et al., 2016; Khozaymehzhad and Tahroudi, 2019; Tahroudi et al., 2018) تأیید و گزارش شده است. البته تغییر شکل بارش‌ها و از دست رفتن ذخایر برفی نیز از مؤلفه‌های مهم دیگری در افزایش سیگنال کمبود در جریان در زیر حوضه‌های مورد بررسی می‌باشد. با افزایش مقادیر سیگنال کمبود دبی جریان در منطقه مورد مطالعه بسیاری رودخانه‌های موجود فصلی شده و تقریباً به مسیل تبدیل شده‌اند.

حدی شدن بارش‌ها، افزایش سیگنال کمبود بارش و تأثیرات آن بر روی جریان در حوضه مورد مطالعه، خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژی را در آینده بر منطقه حاکم می‌کند. زیرا با افزایش این دو سیگنال در منطقه از میزان نفوذپذیری خاک کاسته شده و همچنین بافت و ساختمان خاک تخریب می‌گردد. این تخریب از احیای دوباره سفره‌ها جلوگیری می‌کند. تأثیر افزایش دو سیگنال یاد شده را می‌توان به خوبی در تغییرات سیگنال کمبود سطح آب زیرزمینی در

تغییرات افزایشی مقادیر کمبود بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی نرده، دیزج، کوتر، چالخماز، برده سور و چهریق علیا معنی‌دار و مابقی غیرمعنی‌دار می‌باشد. با توجه به سطح معنی‌داری ۵ درصد، مقادیر آزمون من-کندال اصلاح شده بین $+1/96$ و $-1/96$ بیانگر تغییرات معنی‌دار و مقادیر خارج از این محدوده، بیانگر تغییرات غیرمعنی‌دار می‌باشد. در مورد سیگنال کمبود دبی جریان نیز نتایج بررسی‌ها نشان داد که به غیر از ایستگاه هیدرومتری برده‌سور، روند تغییرات افزایشی سیگنال کمبود دبی جریان سایر ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح معنی‌داری ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. تغییرات افزایشی کمبود سطح آب زیرزمینی نیز با توجه به آماره من-کندال اصلاح شده در پیرومترهای میرآباد، نازلو، ظلم آباد و تازہ کند غیر معنی‌دار و در سایر پیرومترها معنی‌دار می‌باشد. مقدار تغییرات این سیگنال در هر سال با استفاده از آزمون شیب خط روند (شیب سن) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصله می‌توان تغییرات هر ساله مقادیر کاهش سیگنال‌های مورد بررسی را مشاهده کرد. با توجه به شیب خط روند می‌توان مشاهده کرد که بیشترین تغییرات هر ساله مقادیر کمبود سیگنال بارش مربوط به ایستگاه باران‌سنجی داشبند با تغییرات کاهش ۱۸ میلی‌متر در هر سال است. بیشترین افزایش سیگنال کمبود دبی جریان نیز در بین ایستگاه‌های هیدرومتری مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری تپیک، نرده، دیزج و کوتر می‌باشد.

نتایج بررسی روند تغییرات سیگنال کمبود بارش در زیرحوضه‌های مورد بررسی نشان از افزایشی بودن این پارامتر در طی دوره آماری مورد بررسی می‌باشد. افزایش سیگنال کمبود بارش یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های خشک‌سالی هواشناسی هر منطقه می‌باشد. افزایش مقادیر این سیگنال، افزایش خشک‌سالی‌ها را در پی خواهد داشت. سیگنال کمبود بارش، فاصله گرفتن مقادیر بارش از میانگین درازمدت را در

ناظری تهرودی، م.، و خزیمه‌نژاد، ح. ۱۳۹۶. بررسی روند تغییرات بارش‌های منطقه جنوب غرب آسیا. آب و خاک مشهد، ۳۱(۵): ۱۱۲۵-۱۱۵۱.

ناظری تهرودی، م.، و شهیدی، ع. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر احداث سد گتوند بر تغییرات سری زمانی پارامترهای کیفی جریان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۳): ۱۸۰-۱۷۵.

Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., Mirabbasi, R., Khalili, K., and Jhajharia, D. 2018. Spatiotemporal trend and abrupt change analysis of temperature in Iran, *Meteorological Applications*, 25(2), 314-321.

Hamed, K. H., and Rao, A. R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data, *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 182-196.

Kendall, M. G. 1963. *The advanced theory of statistics: in 3 volumes*. C. Griffin.

Khalili, K., Tahoudi, M. N., Mirabbasi, R., and Ahmadi, F. 2016. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30(4), 1205-1221.

Khozeymehzad, H., and Tahroudi, M. N. 2019. Annual and seasonal distribution pattern of rainfall in Iran and neighboring regions, 12(8), 271.

Kumar, S., Merwade, V., Kam, J., and Thurner, K. 2009. Streamflow trends in Indiana: effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains, *Journal of Hydrology*, 374(1-2), 171-183.

Lins, H. F., and Slack, J. R. 2005. Seasonal and regional characteristics of US streamflow trends in the United States from 1940 to 1999, *Physical Geography*, 26(6), 489-501.

Mann, H. B. 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.

Sen, PK. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.

Tahroudi, MN., Khalili, K., Ahmadi, F., Mirabbasi, R., and Jhajharia, DJ. 2018. Development and application of a new index for analyzing temperature concentration for Iran's climate, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(6), 2693-2706.

Tahroudi, MN., Pourreza-Bilondi, M., and Ramezani, Y. 2019a. Toward coupling hydrological and meteorological drought characteristics in Lake Urmia Basin, Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, 1-13.

Tahroudi, MN., Siuki, AK., and Ramezani, Y. 2019b. Redesigning and monitoring groundwater quality and quantity networks by using the entropy

منطقه مورد مطالعه مشاهده کرد. افزایش مقادیر سیگنال کمبود سطح آب زیرزمینی، بیانگر افزایش میزان خشک‌سالی‌های آب زیرزمینی در منطقه می‌باشد. تغییرات افزایشی مقادیر این سیگنال در تمامی زیر حوضه‌های مورد بررسی مشاهده می‌شود. مقادیر افزایشی که شیب خط روند (شیب سن) در مورد سیگنال کمبود سطح آب زیرزمینی در منطقه نشان می‌دهد، کاهش عظیم منابع آب زیرزمینی در هر سال را رقم می‌زند.

نتیجه گیری

در این تحقیق روند تغییرات سیگنال‌های کمبود منابع آب مورد بررسی قرار گرفت. در این خصوص از مقادیر بارش، دبی جریان و سطح آب زیرزمینی در زیرحوضه‌های مورد بررسی استفاده گردید. جهت بررسی دقیق‌تر تغییرات مؤلفه‌های منابع آب در حوضه مورد بررسی، از سیگنال‌های کمبود استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تغییرات سیگنال‌های کمبود منابع آب در سطح حوضه مورد بررسی، کاهش مؤلفه‌های منابع آبی حوضه را به خوبی نمایان می‌کند. نتایج بررسی تغییرات سیگنال‌های مورد بررسی در سطح حوضه نشان داد که در تمامی زیرحوضه‌های مورد بررسی، تغییرات افزایشی در مورد سه سیگنال کمبود سطح آب زیرزمینی، کمبود بارش و کمبود دبی جریان به‌وضوح مشاهده می‌شود. کلیه تغییرات مورد بررسی افزایشی بوده که در برخی زیرحوضه‌ها، این مقدار افزایش معنی‌دار است. تغییرات اقلیمی دهه‌های اخیر، مقادیر بارش زیرحوضه‌های مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داده است که در پی آن روند افزایشی سیگنال‌های کمبود دبی جریان و کمبود سطح آب زیرزمینی را می‌توان مشاهده کرد. شاخص کمبود، با توجه به تعریف آن، بدترین حالت ممکن و بیشترین مقدار کمبود را در نظر می‌گیرد. بر این اساس با توجه به شیب خط روند (شیب سن)، می‌توان تغییرات مقادیر کمبود را در طی دوره آماری مورد بررسی را برآورد کرد. با توجه به شیب خط سن می‌توان مشاهده کرد که در طی دوره آماری مورد بررسی، درصد تغییرات سیگنال‌های کمبود دبی و (بارش) در ایستگاه‌های برده‌سور، چهریق علیا، داشبند، کله‌هر، تپیک، نقده، دیزج، کوتر، چالخماز، تازه‌کند، قشلاق امیر و آخولا به ترتیب ۶ (۳۴)، ۵۴ (۴۰)، ۵۶ (۳۵)، ۳۸ (۷)، ۵۵ (۵۸)، ۵۷ (۶۸)، ۲۸ (۴۹)، ۵۸ (۴۷)، ۳ (۲۸)، ۲ (۳۴)، ۱ (۱۷) و ۱ (۴۱) درصد افزایش یافته است.

منابع

احمدی، ف.، رادمنش، ف.، و میرعباسی نجف آبادی، ر. ۱۳۹۵. تحلیل روند بارندگی نیمه شمالی کشور در نیم قرن اخیر. نشریه دانش آب و خاک، ۲۶(۲): ۲۲۴-۲۰۷.

- 1098-1107.
- Xu, Z., Schumann, A., and Li, J. 2003. Markov cross-correlation pulse model for daily streamflow generation at multiple sites, *Advances in Water Resources*, 26(3), 325-335.
- Zamani, R., Mirabbasi, R., Nazeri, M., Meshram, SG., and Ahmadi, F. 2018. Spatio-temporal analysis of daily, seasonal and annual precipitation concentration in Jharkhand State, India, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(4), 1085-1097.
- theory, *Environmental monitoring and assessment*, 191(4), 250.
- Theil, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, 3; confidence regions for the parameters of polynomial regression equations, *Indagationes Mathematicae*, 1(2), 467-482.
- Wang, S., Zhang, Z., Sun, G., McNulty, S. G., Zhang, H., Li, J., and Zhang, M. 2008. Long-Term Streamflow Response to Climatic Variability in the Loess Plateau, China 1, *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 44(5),

Investigation of the Trend of Water Resources Deficiency Signatures in Lake Urmia Basin

M. Nazeri Tahroudi¹, Y. Ramezani^{2*}, C. De Michele³, R. Mirabbasi-Najafabadi⁴

Received: Jan.24, 2020

Accepted: Feb.24, 2020

Abstract

Study of long-term changes in water resources in each basin acts as a monitoring system. Investigating the trend of water resources, how to change and their percentage in each basin will greatly contribute to the water resources management. In this study, after introducing water deficiency signatures, the trend of these signatures were investigated using modified Mann-Kendall test with removing all of self-autocorrelation. In this study, the sinatures of rainfall deficiency, river flow discharge deficiency and groundwater level deficiency were used for 10-, 30- and 60-day durations in 12 sub basins in Lake Urmia Basin. Rain gauge and hydrometric stations were used for rainfall and flow discharge values and the entropy theory was used to select the piezometric wells. The results of changes in deficiency signatures values showed that the overall changes are increasing, which in some cases is significant and in some cases not significant. In general, the results indicated that, the signatures of rainfall deficiency, flow discharge deficiency and groundwater level deficiency increased by 52, 35 and 23 percent, respectively, over the mean long-term in the studied sub-basins. These changes for Lake Urmia Basin indicate an increase the meteorological, hydrological and groundwater droughts.

Keywords: Dryness, Flow Discharge, Groundwater, Kendall, Rainfall

1- Ph.D. Candidate of water Resources, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
3- Professor, Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy
4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
(* - Corresponding Author Email: y.ramezani@birjand.ac.ir)