



دانشگاه ارومیه

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره پنجم، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

پایش توزیع مکانی و زمانی شدت خشکسالی با استفاده از isoSDI و isoSPI در غرب دریاچه ارومیه

ستار قبادی^۱، * هیراد عبقری^۲ و مهدی عرفانیان^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

چکیده

سابقه و هدف: خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از نوسانات اقلیم است. اگرچه بسیاری به اشتباه آن را واقعه‌ای طبیعی و نادر می‌دانند، اما این پدیده در واقع از ویژگی‌های اصلی و تکرارشونده اقلیم‌های متفاوت به‌شمار می‌آید. از دیدگاه هواشناسان، تفاوتی بین مناطقی با توزیع زمانی متفاوت بارندگی در یک یا چند فصل وجود ندارد، و تنها میزان کل بارش در طول یک سال آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. غالباً خشکسالی‌ها از خشکسالی هواشناسی شروع شده و به‌ترتیب خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی و سرانجام خشکسالی اقتصادی-اجتماعی را در پی دارد. یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های امروزه در بسیاری از کشورهای جهان به‌خصوص کشورهای خاورمیانه تأمین آب در راستای تداوم توسعه پایدار می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که بشر به‌خصوص در سال‌های اخیر با آن مواجه شده است، بحران آب و وقوع خشکسالی می‌باشد، بر این اساس تقریباً هر پنج سال یک دوره خشکسالی دو تا سه‌ساله را در کشور شاهد هستیم. این خشکسالی‌ها باعث کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و کاهش میزان آب قابل استفاده می‌گردد و به همین دلیل بررسی وضعیت خشکسالی در مدیریت بهینه منابع آب دارای اهمیت خواهد بود و هدف از این مطالعه پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SDI و SPI در غرب دریاچه ارومیه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش پس از بررسی‌های لازم و تکمیل خلأهای آماری موجود، تعداد ۱۰ ایستگاه هواشناسی و پنج ایستگاه هیدرومتری و با طول دوره آماری ۳۲ سال استفاده شد. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای تعیین مناسب‌ترین توزیع و بررسی نرمال بودن بر روی داده‌های حجم جریان و بارندگی انجام گرفت. پس از تعیین همبستگی، انطباق طبقات شاخص بارندگی استاندارد شده و شاخص خشکسالی جریان رودخانه با دادن کدهای یک تا هشت به طبقات مختلف اقلیمی و محاسبه مجموع، توان دوم قدر مطلق، تعیین گردید. توزیع مکانی شدت خشکسالی‌های به‌دست آمده از شاخص‌های SDI و SPI در سری‌های زمانی مهر-آذر (سه ماهه)، مهر-اسفند (شش ماهه) و مهر-شهریور سال ۱۳۷۸-۱۳۷۹ نشان داده شده است. از آزمون همبستگی اسپیرمن برای مشخص کردن روابط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی براساس سری‌های زمانی شاخص‌های SDI و SPI استفاده شد. در سری زمانی سه ماهه، حالت‌های مختلف بدون تأخیر، تأخیر یک ماهه، تأخیر دو ماهه و تأخیر سه‌ماهه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در نظر گرفته شد.

* مسئول مکاتبه: h.abghari@urmia.ac.ir

یافته‌ها: نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان می‌دهد که همه سری‌های زمانی از توزیع نرمال پیروی می‌کند. نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان می‌دهد که در بیش‌تر ایستگاه‌های هیدرومتری برای دوره‌های مهر-آذر مناسب‌ترین توزیع نرمال و در سایر دوره‌های زمانی توزیع لوگ نرمال و در ایستگاه‌های هواشناسی توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع برای برازش داده‌ها می‌باشند. نتایج ارزیابی همبستگی اسپیرمن و عدم انطباق طبقات شاخص‌های SPI و SDI برای کل منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که بیش‌ترین همبستگی این دو شاخص در دوره‌های مهر-شهریور می‌باشد. براساس تجزیه و تحلیل همبستگی اسپیرمن بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی، بیش‌ترین مقدار همبستگی در دوره فروردین-خرداد SPI با شهریور-مرداد SDI برابر ۰/۶۷ می‌باشد.

نتیجه‌گیری: این پژوهش با هدف پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI و لحاظ کردن تأخیرهای متفاوت در غرب دریاچه ارومیه انجام گرفت. توزیع‌های نمایی، گاما، یکنواخت، لوگ نرمال و نرمال مورد تست قرار گرفت و از توزیع لوگ نرمال و گاما به‌ترتیب برای تولید SDI و SPI انتخاب شد. توجه به نوسانات شدید میزان بارندگی در سال‌های اخیر و تأثیراتی که بر حجم جریان عبوری دارد، تدوین و اجرای مؤثر برنامه‌ها و بهره‌برداری بهینه از منابع آب و آگاهی از تأثیر زمانی خشکسالی هواشناسی بر نوسانات حجم جریان عبوری می‌تواند خسارات وارده بر منابع آب را تا حد زیادی کاهش داده و گام موثری در احیاء دریاچه ارومیه باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، دشت ارومیه، آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، SDI، SPI

مقدمه

می‌شود و در صورتی که خشکسالی هیدرولوژی دبی رودخانه‌ها را مدنظر قرار می‌دهد و خشکسالی هواشناسی مربوط به دوره‌هایی است که در آن مقدار بارندگی کم‌تر از نرمال باشد (۲).

از دیدگاه هواشناسان، تفاوتی بین مناطقی با توزیع زمانی متفاوت بارندگی در یک یا چند فصل وجود ندارد و تنها میزان کل بارش در طول یک سال آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (۲۰). غالباً خشکسالی‌ها از خشکسالی هواشناسی شروع شده و به‌ترتیب خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی و سرانجام خشکسالی اقتصادی-اجتماعی را در پی دارد (۲). یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های امروزه در بسیاری از کشورهای جهان به‌خصوص کشورهای خاورمیانه تأمین آب در راستای تداوم توسعه پایدار می‌باشد. آب برای بسیاری از جنبه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی، مصارف کشاورزی،

خشکسالی حالتی نرمال و مستمر از نوسانات اقلیم است. اگرچه بسیاری به اشتباه آن را واقعه‌ای طبیعی و نادر می‌دانند، اما این پدیده در واقع از ویژگی‌های اصلی و تکرارشونده اقلیم‌های متفاوت به‌شمار می‌آید (۶). همه مناطق دنیا ممکن است هر از گاهی درگیر پدیده خشکسالی شوند، اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی به‌طور نامنظم و تصادفی توسط سامانه‌های مختلف آب و هوایی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند، بیش‌تر مشاهده می‌شود (۱۹).

خشکسالی یک پدیده مطلق نبوده بلکه معرف کمبود نسبی رطوبت است. در این صورت تقاضای زیاد برای آب نیز می‌تواند خشکسالی ایجاد کند در حالی‌که بارندگی ممکن است به‌صورت طبیعی بوده باشد. در هر حال برای تعریف خشکسالی باید ابتدا هدف مشخص شود. مثلاً وقتی صحبت از خشکسالی کشاورزی می‌شود بیش‌تر بر رطوبت خاک توجه

به‌خصوص در سال‌های اخیر با آن مواجه شده است، بحران آب و وقوع خشکسالی می‌باشد، بر این اساس تقریباً هر پنج سال یک دوره خشکسالی دو تا سه‌ساله را در کشور شاهد هستیم (۱). این خشکسالی‌ها باعث کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و کاهش میزان آب قابل استفاده می‌گردد (۳) و به همین دلیل بررسی وضعیت خشکسالی در مدیریت بهینه منابع آب دارای اهمیت خواهد بود، و هدف از این مطالعه پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI در غرب دریاچه ارومیه می‌باشد. در این پژوهش علاوه بر روش‌های معمول بررسی همبستگی بین شاخص‌ها از روش عدم انطباق طبقات شاخص‌های SPI و SDI استفاده گردید و همچنین برای بررسی توزیع مکانی خشکسالی نقشه‌های isoSPI و isoSDI تولید شدند.

مواد و روش‌ها

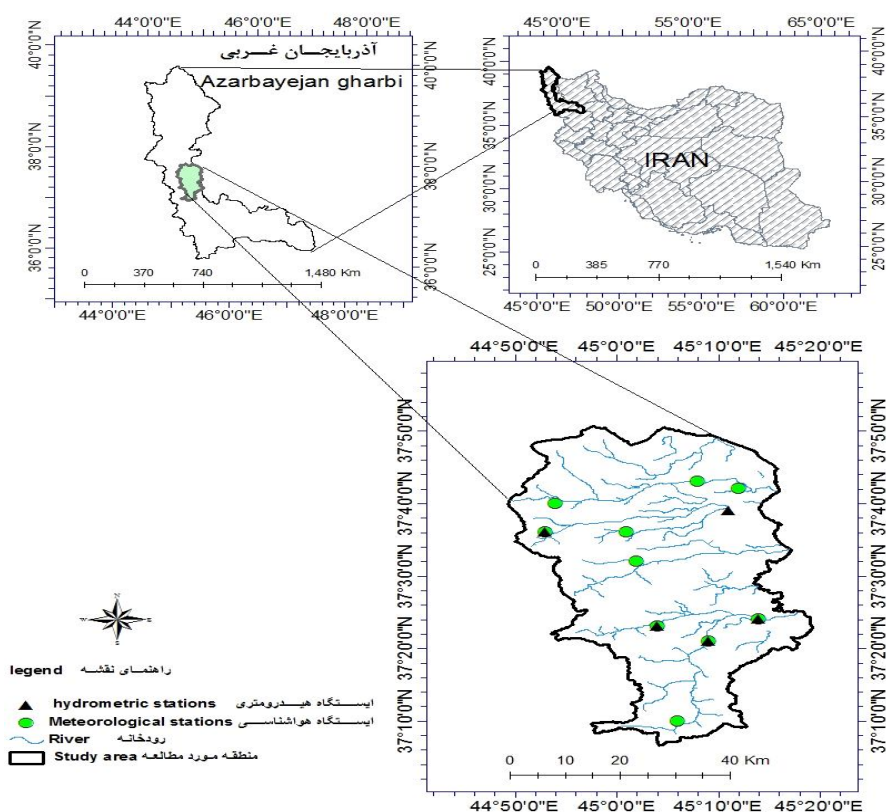
معرفی منطقه مورد مطالعه: دشت ارومیه در استان آذربایجان غربی و غرب دریاچه ارومیه واقع شده است. حد شمالی آن را نمکزارهای جنوب دشت کهریز، حد جنوبی آن را کوهستان‌های حوزه آبریز رودخانه‌های دشت نقده و اشنویه، حد غربی آن را ارتفاعات تغذیه‌کننده رودخانه‌های نالوچای، شهرچای، روضه‌چای، باراندوزچای و بالانوش‌چای تشکیل می‌دهد. منطقه مورد مطالعه در عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و طول‌های جغرافیایی ۴۴ درجه و ۲۰ دقیقه و ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه و با مساحت ۲۱۶۴ کیلومتر مربع و محیط ۳۰۹ کیلومتر در اراضی ساحلی و کم‌شیب ضلع غربی دریاچه ارومیه واقع شده است که ۹۶۲ کیلومتر آن مربوط به دشت ارومیه می‌باشد. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شهری، صنعتی و تولید برق آبی ضروری و مؤلفه مهمی از محیط زیست محسوب می‌گردد. با توجه به اهمیت تأثیر خشکسالی بر منابع آب و لزوم شناخت دقیق این اثرات، پدیده خشکسالی به‌طور بسیار گسترده‌ای در سطح جهان و ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و نتایج حاصله نیز به‌صورت مقالات و کتب مختلف ارائه گردیده است. از جمله این نتایج می‌توان به دستورالعمل بانک جهانی در رابطه با خشکسالی و اثرات آن اشاره نمود که به‌عنوان یک راهنمای کلی تدوین شده است.

در پژوهشی مفیدی‌پور و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز اترک پرداختند. بدین‌منظور از شاخص خشکسالی بارش استاندارد SPI^۱ و شاخص خشکسالی جریان رودخانه SDI^۲ جهت ارزیابی و تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین ضریب همبستگی در بررسی نظم زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه در بازه ۶ ماهه رخ می‌دهد (۱۷). طبری و نیکبخت (۲۰۱۲) به ارزیابی خشکسالی جریان رودخانه در چهار دوره اکتبر- دسامبر، اکتبر- مارس، اکتبر- ژوئن و اکتبر- سپتامبر، در شمال‌غرب ایران، استان آذربایجان غربی در ۱۴ ایستگاه هیدرومتری در دوره آماری (۱۹۷۵-۲۰۰۹) پرداختند. نتایج نشان داد که اکثریت ایستگاه‌ها در دوره آماری موردنظر، شدت خشکسالی شدید تخمین زده شد (۲۱). کوشکی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در روخانه کرخه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی با تاخیر زمانی خیلی کوتاه پس از خشکسالی هواشناسی رخ می‌دهد (۱۲). یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که بشر

1- Standardized Drought Index

2- Stream-flow Drought Index



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی.

Figure 1. Geographic location of the study area and spatial distribution of the hydrometric stations.

۳۴ ایستگاه هواشناسی و ۱۱ ایستگاه هیدرومتری، تعداد ۱۰ ایستگاه هواشناسی و پنج ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری ۳۲ سال (۶۱-۱۳۶۰ تا ۹۲-۱۳۹۱) انتخاب گردید. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای تعیین مناسب‌ترین توزیع از میان توزیع‌های نرمال، لوگ نرمال، یکنواخت و نمایی بر روی داده‌های حجم جریان و توزیع‌های نرمال، یکنواخت، نمایی و گاما بر روی داده‌های بارندگی انجام گرفت. ضریب همبستگی اسپیرمن و عدم تطابق طبقات شاخص‌های SPI و SDI در سری‌های زمانی مهر-آذر، مهر-اسفند، مهر-خرداد و مهر-شهریور، تعیین گردید. برای مشخص کردن روابط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حالت‌های مختلف بدون تأخیر، تأخیر یک‌ماهه، تأخیر دو‌ماهه و تأخیر سه‌ماهه همبستگی بین شاخص‌ها تعیین گردید. برای بررسی

روش انجام پژوهش: اولین ضرورت پژوهش، بررسی کیفیت و طول دوره آماری به‌علت اهمیت زیاد آن‌ها در نتایج شاخص‌های خشکسالی است. وجود اشتباه و کوتاه بودن طول دوره‌های آماری موجب نتیجه نادرست می‌شود. در این پژوهش برای اطمینان از صحت و همگنی داده‌های بارش و حجم جریان از آزمون ران تست و روش جرم مضاعف استفاده شد. با توجه به این‌که داده‌های مربوط به شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی در بعضی از سال‌ها ناقص بودند نیاز به بازسازی و تخمین داده‌های ناقص مشهود بود. برای بازسازی داده‌ها رابطه خطی یا غیرخطی برقرار و معادله آن مشخص گردید و بازسازی صورت گرفت. با توجه به سه شرط طول دوره آماری کافی، پراکنش مناسب در سطح منطقه و ایستگاه‌هایی با جریان کنترل نشده، در نهایت از میان

توزیع مکانی خشکسالی نقاطی که دارای SDI و SPI یکسان می‌باشند به یکدیگر وصل و توسط آن نقشه‌های isoSPI و isoSDI تولید شدند. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری انتخابی در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در دوره آماری ۳۲ ساله.

Table 1. Properties of the Meteorological stations used in the 32 year's period.

ارتفاع از سطح دریا Elevation (ma.s.l.)	عرض جغرافیایی Longitude (E)	طول جغرافیایی Latitude (N)	ایستگاه stations
1252	37° 36'	45° 01'	گلمخانه آبشور (gholamkhane abeshoor)
1450	37° 40'	44° 54'	تپیک (Tapik)
1250	37° 43'	45° 08'	آباجالو سفلی (Abajaloo soffla)
1310	37° 42'	45° 12'	موش‌آباد (mosh Abad)
1380	37° 21'	45° 09'	قاسملو (Ghasemloo)
1500	37° 36'	45° 53'	کلهر (Kalhoor)
1297	37° 24'	45° 14'	بابارود (Babarood)
1321	37° 23'	45° 04'	دیزج (Dizaj)
1381	37° 32'	45° 02'	کمپ (Kamp)
1780	37° 10'	45° 00'	آغبلاق (Aghbolagh)

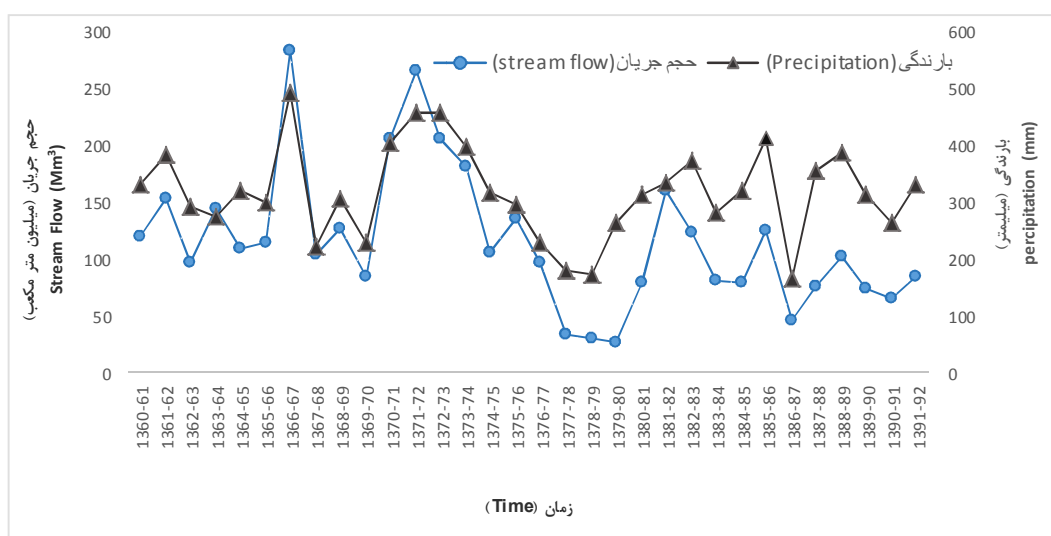
جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در دوره آماری ۳۲ ساله.

Table 2. Properties of the hydrometric stations used in the 32 year's period.

ارتفاع از سطح دریا Elevation (ma.s.l.)	عرض جغرافیایی Longitude (E)	طول جغرافیایی Latitude (N)	رودخانه River	ایستگاه stations
1500	37° 36'	44° 53'	روضه‌چای (Roze Chai)	کلهر (Kalhoor)
1285	37° 24'	45° 14'	باراندوزچای (Barandooz Chai)	بابارود (Babarood)
1320	37° 23'	45° 04'	باراندوزچای (Barandooz Chai)	دیزج (Dizaj)
1380	37° 21'	45° 09'	بالانچ‌چای (Balanj Chai)	قاسملو (Ghasemloo)
1285	37° 39'	45° 11'	بالانچ‌چای (Balanj Chai)	گویجلی (Goijali)

جریان در طول دوره آماره می‌باشند و کم‌ترین مقادیر بارندگی دوره نیز مربوط به سال‌های ۱۳۷۸-۷۹ و ۱۳۷۸-۸۷ بوده است.

شکل ۲، مقدار متوسط بارش و حجم جریان سالانه دوره آماری ۳۲ ساله منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و سال‌های آبی ۱۳۷۸-۷۹ و ۱۳۸۰-۱۳۷۹ به‌عنوان دو سال متوالی دارای کم‌ترین مقدار حجم



شکل ۲- مقدار متوسط بارندگی و حجم جریان سالانه دوره آماری ۳۲ ساله در غرب دریاچه ارومیه.

Figure 2. Annual average precipitation amounts and stream flow 32 years period at West Lake Uremia.

مضاعف خود نیز نوعی آزمون همگنی است که تغییرات فصلی، دوره‌ای و یا روند صورت گرفته در طول دوره آماری را نشان می‌دهد (۱۴).

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI): شاخص بارندگی استاندارد شده ابتدا توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) برای طبقه‌بندی خشکسالی منطقه کلورادو توسعه داده شد (۱۶). برای محاسبه این شاخص از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$SPI = \frac{(p_i - \bar{p})}{SD} \quad (1)$$

که در آن، SPI شاخص بارش استاندارد شده برای هر ایستگاه یا منطقه، P_i مجموع بارش ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در هر سال آبی، \bar{p} میانگین مجموع بارش ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در بلندمدت و SD انحراف معیار مجموع بارش ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در بلندمدت است. این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف قابل استخراج است. مطابق این شاخص خشکسالی زمانی روی می‌دهد که به‌طور مستمر SPI منفی و به مقدار منفی یک یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که

آزمون ران‌تست: در تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی فرض بر این است که داده‌ها ماهیت تصادفی داشته باشند. ساده‌ترین روش برای آزمون تصادفی بودن داده‌ها ران‌تست می‌باشد که یک آزمون ناپارامتری است و ابتدا توسط والد-ولفویتس^۱ پیشنهاد گردید (۲). در این آزمون فرض اولیه این است که داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شده‌اند (همگن‌اند)، در معیار پذیرش یا رد فرضیه اولیه، مقدار سطح معنی‌داری دوطرفه است، اگر $sig > a$ باشد، فرضیه اولیه رد نمی‌شود و اگر $sig \leq a$ باشد، آن‌گاه فرض اولیه رد می‌شود و داده‌ها ناهمگن تشخیص داده می‌شوند (۴).

آزمون جرم مضاعف: پس از انجام آزمون همگنی اکثراً مشاهده می‌شود که داده‌های هیدرولوژی همگن نیستند. در این صورت لازم است که داده‌ها اصلاح شوند، معمولی‌ترین روشی که در این مورد به‌کار برده می‌شود مقایسه داده‌های یک ایستگاه با ایستگاه مجاور یا مجموعه‌ای از ایستگاه‌های مجاور است که به روش موسوم به جرم مضاعف انجام می‌شود. روش جرم

1- Wald-wolfowitz

توزیع بارندگی دارای مقادیر صفر باشد، در این حالت احتمال تجمعی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$H(X) = q + (1-q)G(X) \quad (6)$$

که در آن، q احتمال بارندگی صفر است و $H(x)$ مقادیر انتقال داده شده به نمره Z با میانگین صفر و انحراف معیار یک که با استفاده از تقریب آبراموتیز و استرگان به دست می‌آید. این تقریب احتمالات تجمعی را به متغیر تصادفی نرمال استاندارد SPI تبدیل می‌نماید. که متغیرهای مربوطه توضیح داده شده است.

$$z = SPI = - \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (7)$$

$$0 < H(x) \leq 0.5$$

$$z = SPI = + \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (8)$$

$$0.5 < H(x) \leq 1$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{H(x)^2} \right]} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (9)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (10)$$

و سایر پارامترها ضرایب ثابت می‌باشند. بدین ترتیب SPI نمره Z را نشان می‌دهد و آن نرمالیزه شده است و مقدار انحرافات بالاتر و یا پایین‌تر از میانگین را نشان می‌دهد (۱۵).

SPI مثبت شود. وضعیت خشکسالی به صورت جدول ۳ در نظر گرفته می‌شود.

امروزه این شاخص از یک مقبولیت قابل قبول و به نسبت عمومی برخوردار است اما متأسفانه بر خلاف کاربرد زیاد آن در فعالیت‌های داخل کشور، عده‌ای آن را فقط در رابطه توزیع نرمال استاندارد خلاصه می‌کنند و از تشکیل سری زمانی و برازش توزیع گاما غافل می‌شوند (۹). از این رو ابتدا تابع توزیع احتمالاتی مناسب بر آمار بلندمدت بارندگی برازش می‌شود، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال (با میانگین صفر و انحراف معیار یک) تبدیل می‌گردد. تابع توزیع گاما به صورت تابع احتمال تجمعی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$G(X) = \int_0^X g(x) dx = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} \int_0^X x^{-a-1} e^{-x/\beta} dx \quad (2)$$

آلفا پارامتر شکل و بتا پارامتر مقیاس می‌باشد، که از معادلات زیر به دست می‌آیند.

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{a} \quad (5)$$

که در آن، n تعداد مشاهدات و \bar{X} میانگین تجمعی برای یک ماه مشخص در طی دوره آماری و زمانی که تابع گاما برای x برابر با صفر تعریف نشده باشد و

جدول ۳- طبقه‌بندی شدت خشکسالی شاخص بارندگی استاندارد شده (۱۳)، شاخص خشکسالی جریان رودخانه (۱۸) و شماره کلاس.

Table 3. Classification of drought severity Standardized Drought Index (13), Stream-flow Drought Index (18) and class number.

معیار Criterion	معیار Criterion	طبقات شدت خشکسالی Drought Severity classes	شماره کلاس Class number
$SDI > 2$	$SPI > 2$	ترسالی بسیار شدید (Extreme Wet)	1
$1.5 < SDI \leq 2$	$1.5 < SPI \leq 2$	ترسالی شدید (Severe Wet)	2
$1 < SDI \leq 1.5$	$1 < SPI \leq 1.5$	ترسالی متوسط (Moderate wet)	3
$0.0 < SDI \leq 1$	$0.0 < SPI \leq 1$	ترسالی خفیف (Mild wet)	4
$-1.0 < SDI \leq 0.0$	$-1.0 < SPI \leq 0.0$	خشکسالی خفیف (Mild drought)	5
$-1.5 < SDI \leq -1.0$	$-1.5 < SPI \leq -1.0$	خشکسالی متوسط (Moderate drought)	6
$-2.0 < SDI \leq -1.5$	$-2.0 < SPI \leq -1.5$	خشکسالی شدید (Severe drought)	7
$SDI \leq -2$	$SPI \leq -2$	خشکسالی بسیار شدید (Extreme drought)	8

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - V_k}{S_k} \quad (12)$$

که در آن، V_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم تجمعی برای دوره مینا (K) در دوره ۳۲ ساله می‌باشد. طبقه‌بندی شدت خشکسالی این شاخص همانند جدول ۳، در نظر گرفته می‌شود. دلیل انتخاب این شاخص استفاده از تنها متغیر جریان سطحی رودخانه بود، که در واقع ویژگی و قابلیت خوب این شاخص است. شاخص SDI که به نوعی برگرفته از منطق شاخص خشکسالی هواشناسی SPI می‌باشد (۸).

تهیه نقشه وضعیت خشکسالی: روش‌های عمده پهنه‌بندی خشکسالی‌ها را می‌توان شامل روش‌های درونیابی در چهار گروه اصلی IDW، Kriging، GPI، RBF^۳ طبقه‌بندی کرد (۷). که در این بین تکرار استفاده از روش پهنه‌بندی IDW بیش‌تر بوده است (۱۱). با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه در

شاخص خشکسالی جریان رودخانه (SDI): این شاخص توسط نالبانتیس و زاکیریس (۲۰۰۸) توسعه داده شد (۱۸). چنان‌چه سری‌های زمانی از حجم جریانات رودخانه‌ها (Q_{ij}) موجود باشد، در این صورت i سال هیدرولوژیکی و j ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی را مشخص می‌کند. این سری‌ها را می‌توان با استفاده از روابط زیر به‌دست آورد.

$$V_{i,K} = \sum_{j=1}^K Q_{i,j} \quad (11)$$

$$i = 1, 2, \dots, \quad j = 1, 2, \dots, 12, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

که در آن، $V_{i,K}$ حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای در سال هیدرولوژیکی i و دوره مینای k است. در این پژوهش مقادیر k برابر ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب بیانگر دوره‌های زمانی مهر- آذر، مهر- اسفند، مهر- خرداد، مهر- شهریور می‌باشد. شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) بر اساس حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای (V_{ik})، برای دوره‌های مینا مربوط به ۳۲ سال هیدرولوژیکی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

- 1- Inverse Distance Weighting
- 2- Global Polynomial Interpolation
- 3- Basis Function Interpolation

نتایج و بحث

آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع برای برازش داده‌های بارندگی و حجم جریان با نرم‌افزار Easy Fit انجام گرفت. فرض صفر آزمون کلموگراف-اسمیرنوف این است که داده‌ها از توزیع پیشنهادی پیروی می‌نمایند. بنابراین هرچه مقدار سطح معنی‌داری بیش‌تر باشد، نشان از تمایل بیش‌تر برای پذیرش فرض صفر می‌باشد. جداول‌های ۴ و ۵ مقادیر p-value مربوط به آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای سری‌های بارندگی و حجم جریان رودخانه را نشان می‌دهد. مطابق نتایج حجم جریان رودخانه و بارندگی در هر چهار سری زمانی با مقدار p-value بیش‌تر از ۰/۱۹۰ دارای توزیع نرمال می‌باشند.

اراضی ساحلی و کم‌شیب ضلع غربی دریاچه ارومیه واقع شده است روش IDW مورد استفاده قرار گرفت.

عدم تطابق طبقات بین شاخص‌ها: برای بررسی تطابق طبقات اقلیمی بین شاخص‌ها از روش عدم تطابق طبقات استفاده می‌شود. عدم تطابق طبقات با دادن کدهای یک تا هشت به طبقات مختلف اقلیمی و محاسبه مجموع، توان دوم قدرمطلق اختلاف طبقات شاخص‌های تعیین می‌گردد. هرچه عدد کوچک‌تر و به صفر نزدیک‌تر باشد نشان از انطباق بیش‌تر شاخص‌ها در سری‌های زمانی مورد بررسی می‌باشد. جدول ۳ طبقات مختلف اقلیمی و شماره کلاس‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر p-value مربوط به آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای داده‌های بارندگی.

Table 4. The p-value of the Kolmogorov-Smirnov test for precipitation data.

مهر- شهریور (Oct-Sep)	مهر- خرداد (Oct-Jun)	مهر- اسفند (Oct-Mar)	مهر- آذر (Oct-Dec)	ایستگاه (Stations)
0.980	0.827	0.679	0.630	فاسملو (Ghasemloo)
0.897	0.833	0.949	0.955	بابارود (Babarood)
0.941	0.980	0.866	0.990	دیزج (Dizaj)
0.840	0.972	0.761	0.787	کلهر (Kalhoor)
0.406	0.342	0.997	0.435	گلمخانه آبشور (gholamkhane abeshoor)
0.894	0.890	0.558	0.582	تپیک (Tapik)
0.996	0.978	0.940	0.883	کمپ (Kamp)
0.761	0.832	0.775	0.959	آغبلاق (Aghbolagh)
0.954	0.994	0.586	0.191	موش‌آباد (mosh Abad)
0.996	0.971	0.978	0.840	آباجالو سفلی (Abajaloo sofla)

جدول ۵- مقادیر p-value مربوط به آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای داده‌های حجم جریان.

Table 5. The p-value of the Kolmogorov-Smirnov test for stream flow volume data.

مهر- شهریور (Oct-Sep)	مهر- خرداد (Oct-Jun)	مهر- اسفند (Oct-Mar)	مهر- آذر (Oct-Dec)	ایستگاه (Stations)
0.264	0.362	0.870	0.943	قاسملو (Ghasemloo)
0.680	0.756	0.861	0.823	بابارود (Babarood)
0.911	0.786	0.845	0.714	دیزج (Dizaj)
0.190	0.258	0.670	0.631	کلهر (Kalhoor)
0.369	0.607	0.369	0.332	گویجعلی اصلان (Goijali aslan)

زمانی مهر- اسفند و مهر- خرداد در بیشتر ایستگاه‌ها توزیع لوگ نرمال مناسب‌ترین توزیع بوده و برای دوره مهر- شهریور نیز در همه ایستگاه‌ها توزیع لوگ نرمال مناسب‌ترین توزیع بوده است. نتایج درصدی مناسب‌ترین توزیع در سری‌های زمانی بارندگی نشان می‌دهد که در بیش‌تر دوره‌ها توزیع گاما مناسب‌تری توزیع بوده است. جدول‌های ۶ و ۷ درصد مناسب‌ترین توزیع در هر سری‌های زمانی حجم جریان و بارندگی براساس حداکثر مقدار p-value را نشان می‌دهد.

در این پژوهش برای کاهش چولگی و انتخاب مناسب‌ترین توزیع براساس بیشترین مقدار p-value از توزیع‌های لوگ نرمال، نرمال، یکنواخت و نمایی برای برازش داده‌های حجم جریان و توزیع‌های گاما، نرمال، یکنواخت و نمایی برای برازش داده‌های بارندگی برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع استفاده گردید. که مطابق نتایج در دوره مهر- آذر در ۴۰ درصد ایستگاه‌های هیدرومتری توزیع نرمال مناسب‌ترین توزیع برای برازش داده‌ها و هر کدام از سه توزیع یکنواخت و نمایی و لوگ نرمال نیز در ۲۰ درصد از داده‌ها مناسب‌ترین بوده‌اند. در سری

جدول ۶- درصد مناسب‌ترین توزیع در سری‌های زمانی حجم جریان براساس حداکثر مقدار p-value.

Table 6. Percentage of the stream flow volume series in which each probability distribution shows the best fit.

مهر- شهریور (Oct-Sep)	مهر- خرداد (Oct-Jun)	مهر- اسفند (Oct-Mar)	مهر- آذر (Oct-Dec)	توزیع (Distribution)
100	80	60	20	لوگ نرمال (Log-normal)
0	20	40	40	نرمال (Normal)
0	0	0	20	یکنواخت (Uniform)
0	0	0	20	نمایی (Exponential)

جدول ۷- درصد مناسب‌ترین توزیع در سری‌های زمانی بارندگی براساس حداکثر مقدار p-value

Table 7. Percentage of the precipitation series in which each probability distribution shows the best fit.

مهر- شهریور (Oct-Sep)	مهر- خرداد (Oct-Jun)	مهر- اسفند (Oct-Mar)	مهر- آذر (Oct-Dec)	توزیع (Distribution)
70	60	80	80	لوگ نرمال (Log-normal)
30	40	20	20	نرمال (Normal)
0	0	0	0	یکنواخت (Uniform)
0	0	0	0	نمایی (Exponentials)

زمانی از سه‌ماهه (مهر- آذر) به سمت ۱۲ ماهه (مهر- شهریور) در متغیر وابسته، همبستگی‌ها بین شاخص‌ها افزایش پیدا می‌کند.

ضریب همبستگی اسپیرمن در SPSS تعیین گردید. جدول ۸ نتایج ارزیابی همبستگی شاخص‌های SPI و SDI منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براساس نتایج با افزایش طول دوره در سری‌های

جدول ۸- ماتریس ضریب همبستگی اسپیرمن بین شاخص‌های SPI و SDI برای محدوده مطالعاتی.

Table 8. Spearman correlation coefficients between indices SPI and SDI for the study area.

SPI (مهر- شهریور) (Oct-Sep)	SPI (مهر- خرداد) (Oct-Mar)	SPI (مهر- اسفند) (Oct-Jun)	SPI (مهر- آذر) (Oct-Dec)	شاخص‌ها و سری‌های زمانی (Indices and time series)
0.477**	0.468**	0.497**	0.539**	SDI (مهر- آذر) Oct- Dec
0.497**	0.493**	0.555**	0.593**	SDI (مهر- اسفند) Oct-Jun
0.711**	0.716**	0.602**	0.566**	SDI (مهر- خرداد) Oct-Mar
0.696**	0.705**	0.595**	0.550**	SDI (مهر- شهریور) Oct-Sep

** همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ و * همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵.

** Correlated significantly 0.01 and * Correlated significantly 0.05.

تطابق طبقات اقلیمی دو شاخص در دوره‌های بلندمدت مهر- خرداد و مهر- شهریور رخ داده است، در این دوره‌ها احتمال این‌که دو شاخص در یک زمان یک طبقه خاص را نشان دهند بیشتر است. نزدیک بودن اعداد برای دوره‌های مهر- خرداد و مهر- شهریور نشان از انطباق درون شاخصی از لحاظ نشان

جدول ۹ عدم تطابق طبقات اقلیمی معرفی شده توسط شاخص‌های SPI و SDI در دوره‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد، با توجه به این‌که هرچه عدد کوچک‌تر و به صفر نزدیک‌تر باشد نشان از انطباق بیشتر شاخص‌ها در سری‌های مورد نظر می‌باشد. مطابق نتایج بیش‌ترین

می‌یابد که نشان از افزایش تطابق طبقات در این حالات می‌باشد.

دادن طبقات در این دوره‌ها دارد. مطابق نتایج با افزایش طول سری‌های زمانی متغیر اصلی، از ۳ ماهه به سمت ۱۲ ماهه مقدار عددی عدم تطابق کاهش

جدول ۹- عدم تطابق طبقات اقلیمی شاخص‌های SPI و SDI برای منطقه مورد مطالعه.

Table 9. Mismatched climate classes indices SPI and SDI for the region.

SPI (مهر - شهریور) (Oct-Sep)	SPI (مهر - خرداد) (Oct-Mar)	SPI (مهر - اسفند) (Oct-Jun)	SPI (مهر - آذر) (Oct-Dec)	شاخص‌ها و سری‌های زمانی (Indices and time series)
61	64	57	66	SDI (مهر - آذر) Oct-Dec
58	61	52	61	SDI (مهر - اسفند) Oct-Jun
30	31	42	57	SDI (مهر - خرداد) Oct-Mar
30	31	42	57	SDI (مهر - شهریور) Oct-Sep

SDI و SPI در سری‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد. بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی‌های محدوده مورد مطالعه نشان داد که روند خشکسالی‌های رخ داده از الگوی منظمی تبعیت نمی‌کند. به طوری که با توجه به میزان بارش شدت خشکسالی در سال‌های مختلف متغیر می‌باشد. خشکسالی سال ۱۳۷۸-۷۹ دارای وسعت و شدت بیش‌تری در محدوده مورد مطالعه بوده است. وسعت خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی کاهش یافته است و شدت خشکسالی در زمان‌های مختلف و در بخش‌های مختلف متغیر بوده است که با نتایج یافته‌های سایر پژوهشگران مانند فاتحی‌مرج و حیدریان (۲۰۱۲) و بذرافشان و همکاران (۲۰۱۱) نیز مطابقت دارد (۵ و ۹).

از آزمون همبستگی اسپیرمن برای مشخص کردن روابط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی براساس سری‌های زمانی شاخص‌های SPI و SDI استفاده شد. در سری زمانی سه ماهه، حالت‌های مختلف بدون تأخیر، تأخیر یک‌ماهه، تأخیر دو ماهه و تأخیر سه‌ماهه بین شاخص‌های SPI و SDI در نظر گرفته شد. براساس نتایج به‌دست آمده از جدول ۱۰ بیش‌ترین همبستگی در تأخیر یک‌ماهه رخ داده است که با نتایج پژوهشی که کاظم‌زاده و ملکیان (۲۰۱۵) در شمال غرب ایران انجام دادند، همخوانی دارد (۱۰). براساس تجزیه و تحلیل همبستگی، بیش‌ترین مقدار همبستگی در دوره فروردین - خرداد SPI با شهریور - مرداد SDI برابر ۰/۶۷ می‌باشد.

شکل ۳، توزیع مکانی شدت خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی به‌دست آمده از شاخص‌های

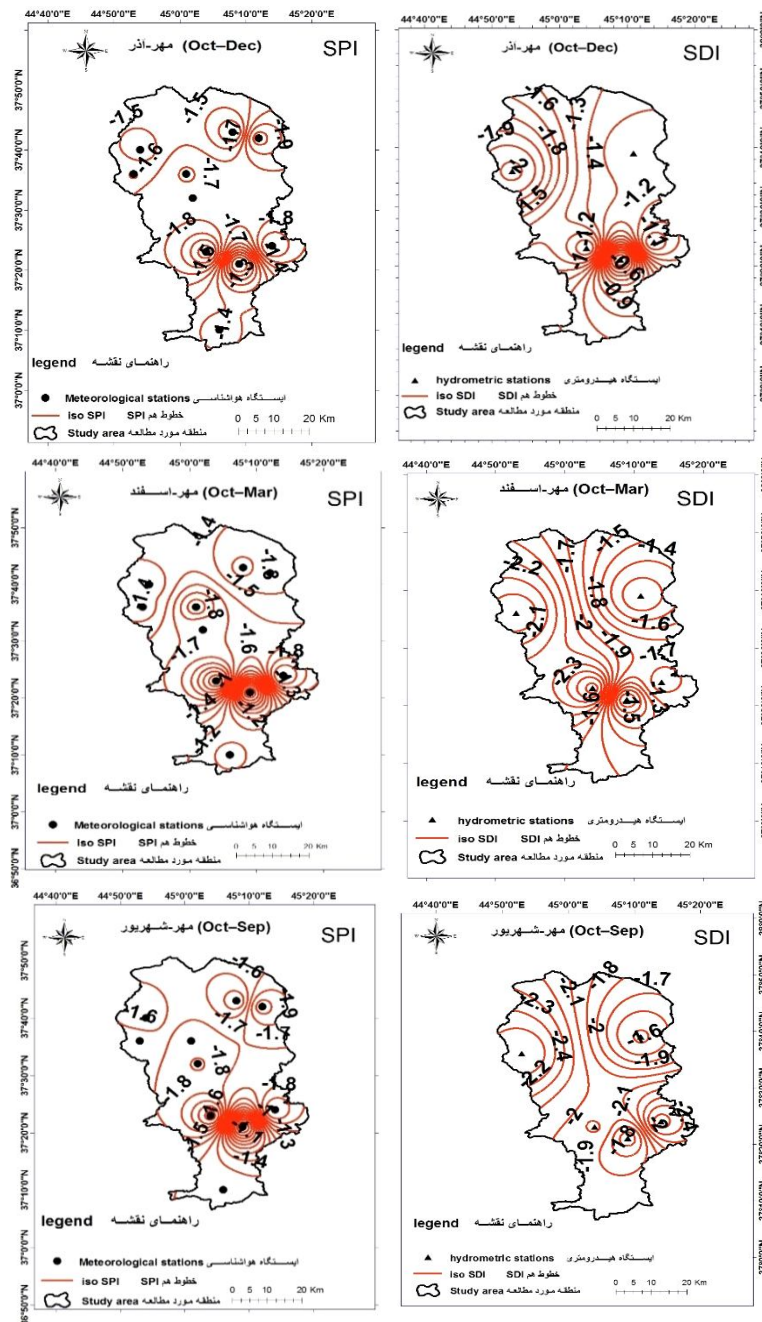
جدول ۱۰- ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و SDI با تاخیرهای مختلف زمانی.

Table 10. The correlation coefficient between SPI and RDI indicators at different time delays.

SDI	تأخیر ۱ ماهه 1 montgh-lag	تأخیر ۲ ماهه 2 montgh-lag	تأخیر ۳ ماهه 3 montgh-lag	بدون تأخیر No-lag	SPI
مهر- آذر (Oct-Dec)				0.539**	مهر- آذر (Oct-Dec)
دی- اسفند (Jan-Mar)				0.084	دی- اسفند (Jan-Mar)
فروردین- خرداد (Apr-Jun)				0.648**	فروردین- خرداد (Apr-Jun)
تیر- شهریور (Jul-Sep)				0.174	تیر- شهریور (Jul-Sep)
دی- اسفند (Jan-Mar)			0.558**		مهر- آذر (Oct-Dec)
فروردین- خرداد (Apr-Jun)			0.189		دی- اسفند (Jan-Mar)
تیر- شهریور (Jul-Sep)			0.446*		فروردین- خرداد (Apr-Jun)
مهر- آذر (Oct-Dec)			0.395*		تیر- شهریور (Jul-Sep)
آذر- بهمن (Dec-Feb)		0.446*			مهر- آذر (Oct-Dec)
بهمن- فروردین (Feb-Apr)		0.202			آذر- بهمن (Dec-Feb)
فروردین- خرداد (Apr-Jun)		0.348			بهمن- فروردین (Feb-Apr)
خرداد- مرداد (Jun-Aug)		0.555**			فروردین- خرداد (Apr-Jun)
مرداد- مهر (Aug-Oct)		0.275			خرداد- مرداد (Jun-Aug)
مهر- آذر (Oct-Dec)		0.375*			مرداد- مهر (Aug-Oct)
آبان- دی (Jul-Sep)	0.555**				مهر- آذر (Oct-Dec)
آذر- بهمن (Dec-Feb)	0.457**				آبان- دی (Jul-Sep)
دی- اسفند (Jan-Mar)	0.224				آذر- بهمن (Dec-Feb)
بهمن- فروردین (Feb-Apr)	0.248				دی- اسفند (Jan-Mar)
اسفند- اردیبهشت (Mar-May)	0.266				بهمن- فروردین (Feb-Apr)
فروردین- خرداد (Apr-Jun)	0.604**				اسفند- اردیبهشت (Mar-May)
اردیبهشت- تیر (May-Jul)	0.670**				فروردین- خرداد (Apr-Jun)
خرداد- مرداد (Jun-Aug)	0.599**				اردیبهشت- تیر (May-Jul)
تیر- شهریور (Jul-Sep)	0.356*				خرداد- مرداد (Jun-Aug)
مرداد- مهر (Aug-Oct)	0.638**				تیر- شهریور (Jul-Sep)

** همبستگی در سطح معنی داری ۰/۰۱ و * همبستگی در سطح معنی داری ۰/۰۵.

** Correlated significantly 0.01 and * Correlated significantly 0.05.



شکل ۳- توزیع مکانی شدت خشکسالی شاخص SPI و SDI در سری‌های زمانی مختلف در سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۷۸.

Figure 3. SPI and SDI spatial distribution of drought severity index in different time series in water years 1999-2000.

اسمیرونوف براساس حداکثر مقدار P-value در ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع در دوره آماری نشان می‌دهد، که در بیش‌تر ایستگاه‌ها تابع توزیع لوگ نرمال برای برازش داده‌های حجم جریان در سری‌های زمانی

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف پایش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI و لحاظ کردن تأخیرهای متفاوت در غرب دریاچه ارومیه انجام گرفت. نتایج آزمون کلموگروف-

متفاوت است. از طرفی در زمان‌های مشترک درصد طبقات اقلیمی در شاخص‌های متفاوت به هم نزدیک است، که نشان می‌دهد رخداد خشکسالی هیدرولوژی حاصل از خشکسالی هواشناسی است. در این پژوهش از ضریب همبستگی اسپیرمن برای کشف روابط بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد بیش‌ترین همبستگی‌های بین شاخص SPI و SDI در تأخیر یک‌ماهه رخ می‌دهد. با توجه به نوسانات شدید میزان بارندگی در سال‌های اخیر و تأثیراتی که بر حجم جریان عبوری دارد، تدوین و اجرای مؤثر برنامه‌ها و بهره‌برداری بهینه از منابع آب و آگاهی از تأثیر زمانی خشکسالی هواشناسی بر نوسانات حجم جریان عبوری می‌تواند خسارات وارده بر منابع آب را تا حد زیادی کاهش داده و گام مؤثری در احیاء دریاچه ارومیه باشد.

مختلف و برای داده‌های بارندگی توزیع نرمال در سری زمانی مهر-آذر و توزیع گاما در سرهای زمانی مهر-اسفند، مهر-خرداد و مهر-شهریور مناسب‌ترین هستند. اما باید به این نکته توجه داشت که در هر سری زمانی با تغییر یک یا چند داده احتمال دارد توزیعی که از آن پیروی می‌کند تغییر کند. الگوی مکانی واضحی در توزیع‌های احتمالاتی وجود ندارد و توزیع‌های احتمالاتی که بهترین تطابق را برای ایستگاه‌های واقع بر روی یک رودخانه نشان می‌دهند، اغلب تغییر می‌یابند (۲۲). پس بهتر است در هر سری زمانی براساس مناسب‌ترین توزیعی که آزمون کلموگروف-اسمیرنوف معرفی می‌کند، شاخص موردنظر براساس آن توزیع تولید شود. نتایج پژوهش نشان داد که بیش‌ترین همبستگی بین شاخص‌ها مربوط به دوره مهر-خرداد بوده و با توجه به میزان بارندگی، شدت خشکسالی‌ها در سال‌های مختلف

منابع

1. Abbasi, L. 2007. Investigation and assessment the drought in Khuzestan province in 2003-2004 years. 01st National Conference on Mitigation of Water Crises. The University of Zabol, Iran, Pp: 155-168. (In Persian)
2. Alizadeh, A. 2009. Principles of Applied Hydrology. Imam Reza University. Press, 912p. (In Persian)
3. Askari Lafmjani, S. 2007. Environmental practices to prevent water crisis. 01th national conference examining ways of dealing with the water crisis. The University of Zabol, Iran, Pp: 373-385. (In Persian)
4. Bayazidi, A., Oladi, B., and Abbasi, N. 2011. A questionnaire analysis with the help of SPSS software. Publishing Abed, Tehran, 332p. (In Persian)
5. Bazrafshan, A., Saroy, M., Malekian, A., and Moini, A. 2011. Drought Status in Golestan Province Using Standard Precipitation Index (SPI). Iran. J. Range. Des. Res. 18: 3. 395-407. (In Persian)
6. Dracup, J.A., Lee, K.S., and Paulson, E.G.Jr. 1980. On the definition of drought. Water Resource Research. 16: 2. 297-302.
7. Eivazi, M., and Favorable, A. 2011. Measurement and spatial analysis of meteorological drought in Golestan province using statistical methods. Past. Water. J. Iran. J. Natur. Resour. 64: 1. 65-78. (In Persian)
8. Eslami, A.R., and Shokoohi, A.R. 2013. Analysis of the flow using a drought indices hydrological-Environmental. J. Water. Engin. Manage. 5: 124-133. (In Persian)
9. Fatehi Marj, A., and Heidarian, A. 2012. Drought Analysis of Meteorology. Agriculture and Hydrology Using Gis in Khuzestan Province. Iran. J. Water. Manage. Sci. Engin. 7: 23. 19-32. (In Persian)

10. Kazemzadeh, M., and Malekian, A. 2015. Spatial characteristics and temporal trends of meteorological and hydrological droughts in northwestern Iran. *Natural Hazards*. 80: 1. 191-210.
11. Khosravi, M., Movaghari, A.R., and Mansouri Daneshvar, M.R. 2012. Evaluating the PNI, RAI, SIP and SPI Indices in Mapping Drought Intensity of Iran, Comparing the Interpolation Method and Digital Elevation Model (DEM). *Quarterly Geography and environmental sustainability have*, 2: 5. 53-70. (In Persian)
12. Kooshki, M., Rahimi, M., Amiri, M., Mohammadi, M., and Dastorani, J. 2017. Assessment of the relationship between drought time and meteorological and hydrological drought in Karaj watersheds. *J. Ecohydrol*. 4: 3. 687-698. (In Persian)
13. Loyd-Haghes, B., and Saunders, M. 2002. A drought climatology for Europe. *Inter. J. Climatol*. 22: 1571-1592.
14. Mahdavi, M. 2011. *Applied Hydrology: Vol. 1*. Tehran University Press, 339p. (In Persian)
15. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. 9th Conference on Applied Climatology, 15–20 Jan. Dallas, Texas. Pp: 233-236.
16. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 Jan, Anaheim, California. Pp: 179-1840.
17. Mofidipoor, N., Bordi Sheikh, V., Ownagh, M., and Sadodin, A. 2012. The Analysis of Relationship between Meteorological and Hydrological Droughts in Atrak Watershed. *J. Water. Manage. Res*. 3: 5. 16-26. (In Persian)
18. Nalbantis, I., and Tsakiris, G. 2008. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resource Management*, 23: 5. 881-897.
19. Razinei, T., Shokoohi, A.R., and Safgafian, B. 2009. Predication of drought severity, Duration and frequency using probabilistic and time series methods (Case study: system and Baluchistan province). *Des. J*. 8: 2. 292-310. (In Persian)
20. Salamat, A.R., and Alyasin, M.R. 2007. *Ways of Drought Response (translation)*. Iranian national committee of irrigation and drainage Iran, Tehran. (In Persian)
21. Tabari, H., and Nikbakht, K. 2012. Hydrological Drought Assessment in Northwest Iran Based on Stream flow Drought index (SDI). *Water Resource Management*. 27: 137-151.
22. Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J.I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., and Morán-Tejeda, E. 2012. Accurate Computation of a stream flow Drought Index. *J. Hydrol. Engin*. 17: 2. 318-332.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(5), 2018
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Monitoring the spatial and temporal distribution of the intensity droughts using the isoSDI and isoSPI in the West of Lake Urmia

S. Ghobadi¹, *H. Abghari² and M. Erfanian²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management, Urmia University,

²Associate Prof., Dept. of Range and Watershed Management, Urmia University

Received: 10/05/2016; Accepted: 12/30/2017

Abstract

Background and Objectives: Drought is a normal and continuous feature of climate. Although, Most of people consider as a rare and random event, But this phenomenon are main features and iterative in the different climate. From the perspective of meteorologists, there is no difference between Regions and temporal distribution rainfall in one or several seasons, only the amount of precipitation during the water year is especially important. Droughts often started from meteorological drought and hydrological drought and goes to socio-economic drought. One of the problems that humanity is facing, especially in recent years, is the water crisis and drought. Almost every five years, a period of two or three-year drought in the country have been seen. This droughts reduced the groundwater and surface water resources and leading to reduce the amount usable water. This shows important of water resources management, the aim of this study is drought monitoring in the meteorological and hydrological aspect using the SPI and SDI indices in the West of Lake Urmia.

Materials and Methods: In this study, inspections and completing of the statistical gaps considered and the number ten meteorological stations and five hydrometric stations with a length of 32 years selected. The Kolmogorov–Smirnov (K–S) used to check the goodness of fit for the precipitation and stream flow data using means of an adjusted normal distribution. After determine the correlation, Determined compliance classes between Standardized Drought Index and Stream-flow Drought Index with giving codes between one to eight climatic different classes introduced and calculate the sum of The Square for absolute value the difference between classes. The spatial distribution of drought severity obtained from the SDI and SPI indices in October–December (3-month), Oct–March (6-month) and 12-month (Year) of the 1999-2000 was shown. The Spearman correlation test was further applied to explore the relationships between meteorological droughts and hydrological droughts based on the SPI and SDI series respectively. Different combinations of periods including no-lag, 1 month-lag, 2 month-lag and 3 month-lag between the meteorological and hydrological droughts considered.

Results: Kolmogorov-Smirnov test results, showed that all of the series follow a normal distribution. The results of the goodness-of-fit K-S test showed that the log-normal distribution was the best fit probability distribution for the stream flow series and normal distribution for the period October-December and in other period's gamma distribution, was the best fit probability distribution for the precipitation series. The results of Spearman correlation and non-compliance between indices SPI and SDI For the entire study area shows, the highest correlation is related to the period of October-June. The Spearman correlation analysis was applied to explore the relationships between meteorological and hydrological droughts which indicated a strong correlation between Apr–Jun -SPI series and the May–Jul -SDI series with a value of 0.67.

Conclusion: This study aimed at Monitoring droughts meteorological and hydrological using the SPI and SDI indices by considering the different delays in the West of Lake Urmia the K–S test was applied to all time series to test which distribution fitted the time series best. The exponential, gamma, uniform, log-normal and normal distributions were tested and ultimately, the latter was used log-normal and gamma distributions, respectively to calculate the SDI and SPI. Considering to fluctuations intense in rainfall in recent years, its impact is evident in the volume flow of passing, so the effective development and implementation of programs and utilization of water resources and of the effects of drought when the flow volume fluctuations can greatly Reduction transmission losses incurred.

Keywords: Drought, Kolmogorov-Smirnov test, SDI, SPI, Urmia plain

* Corresponding Author; Email: h.abghari@urmia.ac.ir

