

زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک در زیرحوضه نازلوچای

سهیل مشهدی حیدر^۱، مجید منتصری^۲، سمیه حجابی^{۳*}

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

DOI: 10.22103/nrswe.2023.20928.1021

چکیده

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که در هر اقلیمی ممکن است رخ دهد. خشکسالی هواشناسی در بلندمدت، کاهش منابع آب را از طریق کاهش جریان‌های سطحی و زیرزمینی به دنبال دارد. آگاهی از زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک دارای اهمیت زیادی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی است. در این مطالعه، تاخیر زمانی خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی در زیرحوضه نازلوچای در غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی شد. بدین منظور، از سه شاخص خشکسالی SPI، SDI و GRI بر مبنای داده‌های بارش و دبی ۳۰ ساله و داده‌های پیژومتری ۱۸ ساله استفاده شد. نتایج نشان داد که خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک دارای همبستگی معنی‌داری با خشکسالی‌های هواشناسی در محدوده مطالعاتی هستند. از طرف دیگر، زمان لازم برای انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژیک در محدوده مطالعاتی به‌طور متوسط ۶ ماه بوده و زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک ۱۷ ماه است. با این وجود در مورد خشکسالی‌های هیدرولوژیک، عامل بارش درصد کمی (۱۵ درصد) از واریانس شاخص خشکسالی هیدرولوژیک را تبیین نموده و لذا عوامل اقلیمی غیر از بارش (مانند دما)، ویژگی‌های حوضه و یا عوامل انسانی سهم بیشتری در تغییرات خشکسالی هیدرولوژیک داشتند.

واژگان کلیدی: انتشار خشکسالی، تاخیر زمانی، نازلوچای، همبستگی.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۲ - استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^{۳*} - نویسنده مسئول و استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. ایمیل: s.hejabi@urmia.ac.ir

مقدمه

خشکسالی یکی از مزمن‌ترین و از لحاظ اقتصادی زیانبارترین مخاطرات طبیعی به شمار می‌رود و مطالعه خشکسالی اهمیت زیادی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی دارد (Mishra and Singh 2010). این پدیده فیزیکی در بلندمدت موجب خشکسالی آبشناسی (هیدرولوژی) و آب‌زمین‌شناسی (هیدروژئولوژی) شده و کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی را به دنبال دارد. خشکسالی هواشناسی زمانی رخ می‌دهد که بارندگی سالیانه یا هر مقیاس زمانی معین (مثلاً ماهانه یا فصلی) کمتر از میانگین بلندمدت آن باشد. ضمناً (Whipple Jr 1996) سال خشک هیدرولوژیک را سالی تعریف می‌کند که در آن مقدار جریان سالیانه رودخانه کمتر از میانگین بلندمدت جریان سالیانه یا آستانه مشخصی از جریان سالیانه است. همچنین، خشکسالی هیدروژئولوژیک زمانی اتفاق می‌افتد که تراز آب زیرزمینی، از آستانه مشخصی مانند میانگین بلندمدت تراز آب زیرزمینی پایین‌تر باشد (Peters et al. 2005). با توجه به اهمیت متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه بارندگی و تأثیر آن بر منابع آب، لازم است ابتدا خشکسالی هواشناسی به وسیله یک شاخص مناسب بررسی و سپس تأثیر آن بر منابع آب منطقه مورد نظر تعیین گردد. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی به‌طور معنی‌داری همبستگی دارند.

(Lee et al. 2018) خشکسالی آب‌های زیرزمینی در حوضه رودخانه Mangyeong کره را ارزیابی کرده و نشان دادند بارندگی در فصل مرطوب عمدتاً بر ذخیره آب‌های زیرزمینی تا بهار سال بعد تأثیر می‌گذارد و با کاهش تراز آب زیرزمینی، به دلیل افزایش استفاده از آب کشاورزی، تا پایان فصل خشک (اکتبر تا می)، تراز آب زیرزمینی به زیر سطح بحرانی کاهش می‌یابد. (Mtilatila et al. 2020) خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوضه دریاچه مالاوی را ارزیابی کردند و دریافتند که سیستم هیدرولوژیکی دریاچه مالاوی حافظه‌ای بیش از ۲۴ ماه نسبت به شرایط هواشناسی دارد، زیرا شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده^۱ (SPEI) ۳۶ ماهه می‌تواند خشکسالی‌های هیدرولوژیک را از ۱۰ ماه قبل پیش‌بینی

کند. (Zhu et al. 2021) پاسخ مکانی و زمانی خشکسالی هیدرولوژیک به خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های مختلف زمانی را بررسی نموده و نشان دادند که زمان تأخیر خشکسالی هیدرولوژیک نسبت به خشکسالی هواشناسی در مناطق کوهستانی می‌تواند تا چند ماه یا حتی یک سال باشد.

(Chamanpira et al. 2014) نشان دادند ۶۴ درصد واریانس میانگین تراز آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی قرار می‌گیرد و ۳۶ درصد مابقی تحت تأثیر عوامل دیگر خواهد بود. (Jahanshahi and Shahedi 2018) شاخص‌های هواشناسی، هیدرولوژیک و منابع آب زیرزمینی را در مرکز ایران ارزیابی کرده و نشان دادند شاخص بارش استاندارد شده^۲ (SPI) در مقیاس‌های زمانی ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه، رابطه معنی‌داری با شاخص خشکسالی جریان رودخانه^۳ (SDI) و شاخص منابع آب زیرزمینی^۴ (GRI) دارد. (Razi and Shokouhi 2020) با استفاده از مدل بیلان آب برای تعیین زمان تأخیر بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک نشان دادند با احتمال بیش از ۷۰ درصد تأخیر زمانی یک‌ماهه و با احتمال بیش از ۲۳ درصد تأخیر زمانی دو ماهه بین دو خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک وجود دارد.

مطالعات پیشین نشان می‌دهد که واکنش جریان‌های رودخانه‌ای و آب‌های زیرزمینی به بی‌هنجاری‌های بارندگی دارای تأخیر زمانی بوده و چنین تأخیر زمانی تابعی از عوامل متعدد طبیعی در فرایند تبدیل بارش به جریان سطحی و زیرزمینی است. همچنین به علت سرعت بسیار پایین حرکت آب در لایه‌های زیرین خاک نسبت به سطح زمین، تأخیر زمانی اثرات بی‌هنجاری‌های بارندگی در آب زیرزمینی بسیار بیشتر از جریان‌های سطحی است (Doostan 2020). از طرف دیگر تعیین تأخیر زمانی خشکسالی‌های هیدرولوژی و هیدروژئولوژی نسبت به خشکسالی هواشناسی خصوصاً در مناطقی که کشاورزی نقش بسیار مهمی در اشتغال و درآمد مردم دارد، دارای اهمیت ویژه جهت برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری پایدار منابع آب برای مصارف مختلف کشاورزی، شرب و غیره در دوره‌های خشک یا کم آبی است.

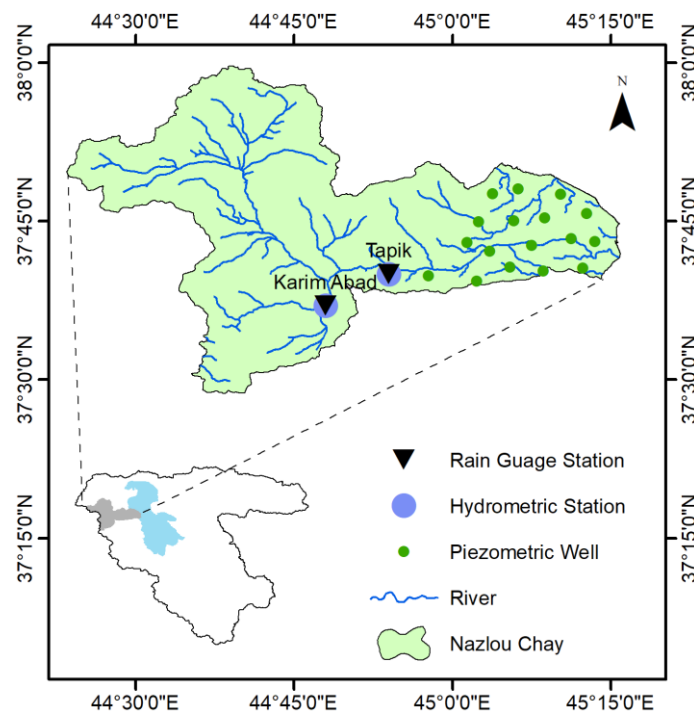
^۲ - Streamflow Drought Index^۴ - Groundwater Resource Index^۱ - Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index^۲ - Standardized Precipitation Index

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. این زیرحوضه با مساحت ۱۸۸۱ کیلومتر مربع، در محدوده $29^{\circ} 23' 44''$ و $45^{\circ} 15' 45''$ طول جغرافیایی و $37^{\circ} 41' 28''$ و $37^{\circ} 41' 59''$ عرض جغرافیایی، در غرب دریاچه ارومیه قرار دارد. این زیرحوضه با دمای میانگین سالانه $5/6$ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالانه $450/8$ میلیمتر بر اساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن گسترش یافته (Khalili et al. 1991) دارای اقلیم نیمه‌مرطوب سرد است (Esmailnezhad and Zeinalzadeh 2020). میانگین سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل در این زیرحوضه ۱۳۷۰ میلی‌متر است (Shahbazi Raz et al. 2007). شکل (۱) موقعیت زیرحوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

هدف از مطالعه حاضر پاسخ به این سوالات است که میزان شاخص خشکسالی هواشناسی SPI در چه پنجره زمانی معرف مناسب‌تری از وضعیت خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک است؟ به عبارت دیگر زمان انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک چقدر است؟ همچنین با توجه به اینکه علاوه بر عامل بارش، عوامل دیگری نیز می‌توانند بر نوسانات شاخص‌های خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک مؤثر باشند، شاخص خشکسالی هواشناسی چه میزان از تغییرات شاخص‌های خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک را تبیین می‌کند؟ بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، مطالعه همبستگی و تاخیر زمانی خشکسالی‌های هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی در زیرحوضه نازلوچای به صورت مطالعه موردی است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی زیرحوضه نازلوچای در حوضه دریاچه ارومیه، ایستگاه‌های هیدرومتری، ایستگاه‌های باران‌سنجی و چاه‌های پیرومتری

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی در زیرحوضه مورد مطالعه

کد ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۳۵۰۴۵	کریم‌آباد	$37^{\circ} 37'$	$44^{\circ} 48'$	۱۵۸۰
۳۵۰۳۱	تپیک	$37^{\circ} 40'$	$44^{\circ} 54'$	۱۴۵۰

در صورتی که مقدار ضریب همبستگی نزدیک به صفر باشد، رابطه خطی بین دو متغیر ضعیف است. معنی‌دار بودن ضریب همبستگی پیرسون توسط آماره توزیع t قابل بررسی است. در صورتی که مقدار آماره نمونه از مقدار حدی t در سطح معنی‌داری α و درجه آزادی $n-2$ بیشتر باشد، فرض صفر مبنی بر صفر بودن ضریب همبستگی رد شده و همبستگی معنی‌دار است. آماره این آزمون از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

در این مطالعه، همبستگی‌ها در سطح معنی‌داری ۵ درصد بررسی شد.

نتایج و بحث

برازش توزیع‌های احتمال نظری (شامل نمایی، گاما، لوگ نرمال، ویبول و مقدار حدی تعمیم‌یافته) بر مقادیر تجمعی بارش در پنجره‌های زمانی ۱ تا ۶۰ ماهه و همچنین سری-های زمانی جریان رودخانه و تراز آب زیرزمینی در پنجره زمانی یک ماهه با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. نتایج بررسی نشان داد که در مورد بارش و جریان رودخانه، توزیع لوگ نرمال و در مورد تراز آب زیرزمینی توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع قابل برازش بر داده‌ها است. در مورد هر یک از ایستگاه‌ها یا چاه‌های پیژومتری بر اساس توزیع احتمال منتخب برای هر یک از ماه‌های سال در هر یک از پنجره‌های زمانی مورد بررسی، شاخص‌های خشکسالی محاسبه شد.

شکل (۲) تغییرات شاخص خشکسالی SPI را در پنجره‌های زمانی مختلف در ایستگاه کریم‌آباد (۳۵۰۴۵) و ایستگاه تپیک (۳۵۰۳۱) در دوره ۳۰ ساله نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در مورد هر دو ایستگاه نوسانات شاخص در پنجره-های زمانی کوتاه‌تر بیشتر بوده و با افزایش پنجره زمانی از نوسانات کاسته می‌شود. با توجه به شکل (۳) با افزایش پنجره زمانی از تعداد دوره‌های خشکسالی کاسته می‌شود؛ اما تداوم آنها افزایش می‌یابد. به‌علاوه با افزایش پنجره زمانی شدت خشکسالی بیشتر می‌شود؛ اما تغییرات بزرگی خشکسالی بسته به شدت و تداوم خشکسالی متفاوت است. بخش‌های رنگی مورب در شکل (۲) حاکی از این است که وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در پنجره‌های زمانی بلندتر

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، شامل داده‌های بارش از سال آبی ۱۳۶۹-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۹-۱۳۹۸، داده‌های دبی از سال آبی ۱۳۶۹-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و داده‌های پیژومتری از سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹-۱۳۹۸ است. که از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی تهیه شد. دو ایستگاه کریم‌آباد و تپیک برای زیرحوضه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. موقعیت ایستگاه‌ها و چاه‌های پیژومتری در شکل (۱) و مشخصات ایستگاه‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. شایان ذکر است که خلاصه‌های آماری موجود در داده‌ها بررسی و به روش رگرسیون بازسازی و تکمیل شد. پس از بررسی و تکمیل داده‌ها، سه شاخص خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی شامل شاخص بارش استاندارد شده (SPI; McKee et al. 1993)، شاخص خشکسالی جریان رودخانه (SDI) و شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI; Mendicino et al. 2008) محاسبه شد. اساس محاسبه هر سه شاخص مبنی بر برازش یک توزیع احتمال مناسب بر مقادیر تجمعی بارش (یا جریان رودخانه یا تراز آب زیرزمینی) در یک پنجره زمانی دلخواه و انتقال هم‌احتمال به توزیع نرمال استاندارد است. شاخص SPI در پنجره‌های زمانی ۱ تا ۶۰ ماهه و شاخص‌های SDI و GRI در پنجره زمانی یک ماهه محاسبه شدند. شایان ذکر است که برای محاسبه هر سه شاخص ابتدا مقادیر تجمعی متغیر مربوطه در پنجره زمانی دلخواه محاسبه و مناسب‌ترین توزیع احتمال نظری بر اساس آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۱ (K-S) تعیین شد و بر اساس آن شاخص خشکسالی مربوطه محاسبه شد.

پس از محاسبه شاخص‌های خشکسالی، میزان همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی SDI و GRI با SPI (در پنجره-های زمانی مختلف) به روش ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد و تاخیر زمانی خشکسالی‌های هیدرولوژی و هیدروژئولوژی نسبت به خشکسالی هواشناسی بررسی شد. مقدار همبستگی بین دو متغیر X و Y از معادله زیر بدست می‌آید:

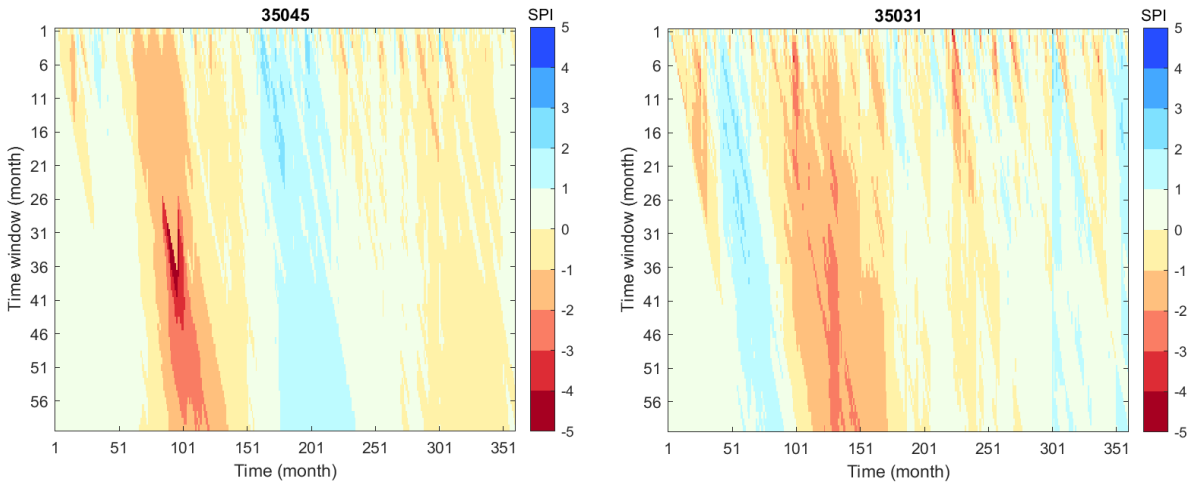
$$r(X,Y) = \frac{\sum(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_t - \bar{X})^2 \sum(Y_t - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

که X شاخص SPI و Y شاخص SDI یا GRI است.

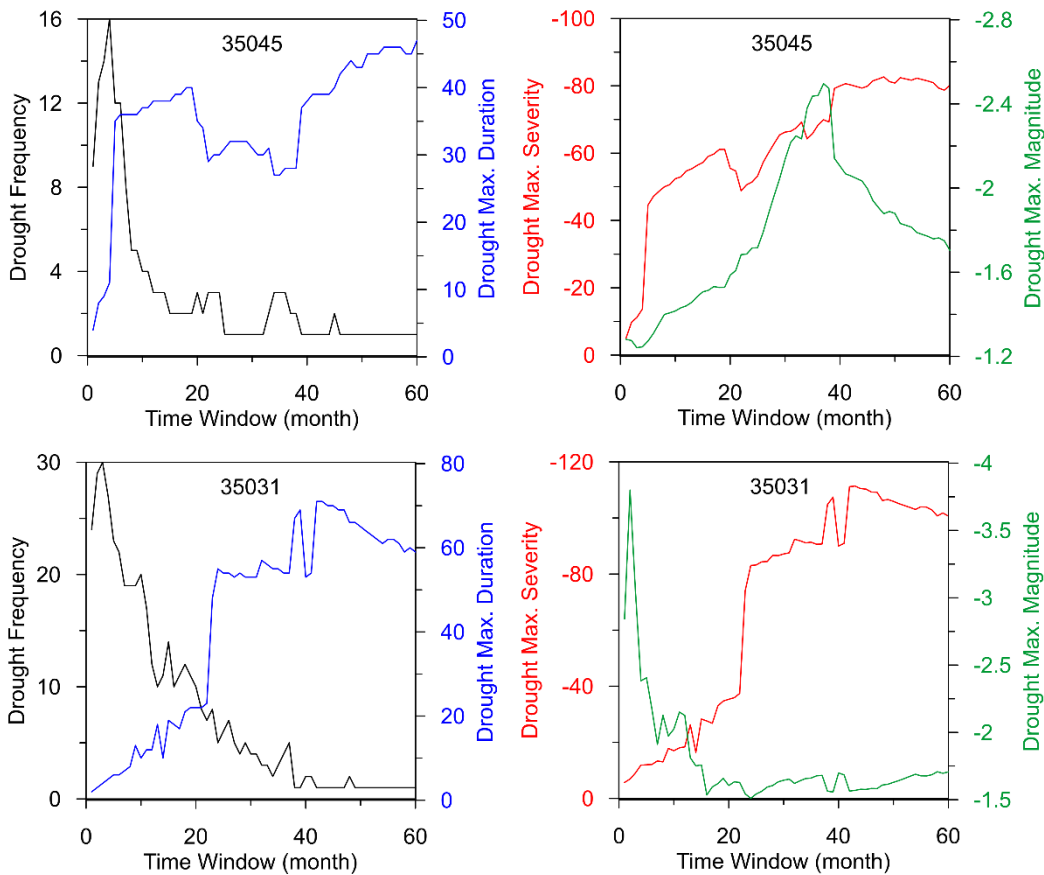
^۱ - Kolmogorov-Smirnov test

چند دوره خشکسالی خفیف متوالی در پنجره‌های زمانی کوتاه در ایستگاه کریم‌آباد منجر به یک خشکسالی خیلی شدید در پنجره‌های زمانی بلندتر شده است.

دارای تاخیر زمانی نسبت به پنجره‌های زمانی کوتاه‌تر است. به‌علاوه، ترکیب و اثر تجمعی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در دوره‌های زمانی کوتاه تعیین‌کننده وقوع خشکسالی یا ترسالی در پنجره‌های زمانی بلندتر است. به طوری که وقوع



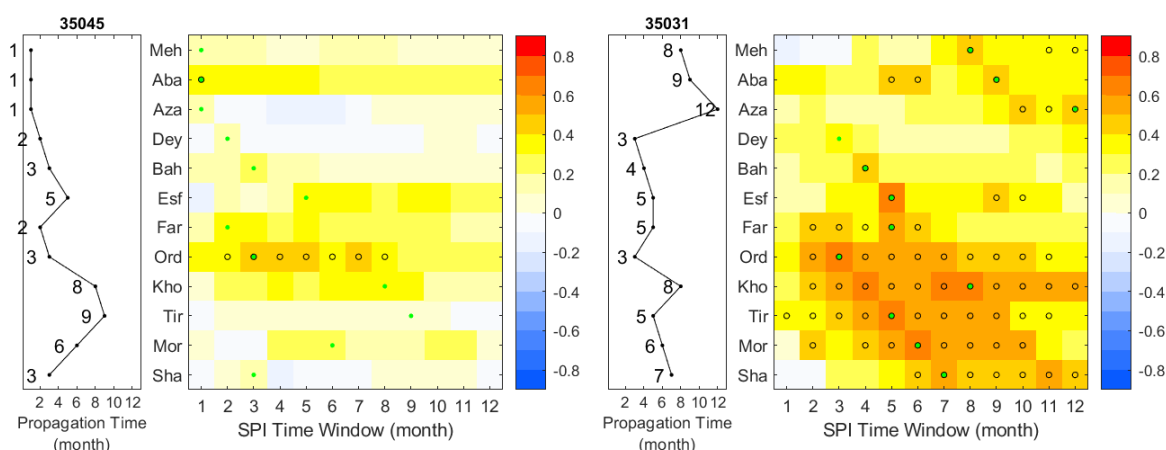
شکل (۲): تغییرات زمانی شاخص SPI-n در پنجره‌های زمانی مختلف (n=1-60) در ایستگاه کریم‌آباد (۳۵۰۴۵) و تپیک (۳۵۰۳۱) در زیرحوضه نازلوچای برای دوره آماری ۱۳۶۸/۷ تا ۱۳۹۸/۶.



شکل (۳): مشخصه‌های خشکسالی (فراوانی، تداوم، شدت و بزرگی) بر مبنای شاخص SPI-n در پنجره‌های زمانی مختلف (n=1-60) در ایستگاه کریم‌آباد (۳۵۰۴۵) و تپیک (۳۵۰۳۱) در زیر حوضه نازلوچای برای دوره آماری ۱۳۶۸/۷ تا ۱۳۹۸/۶.

خشکسالی‌ها/ترسالی‌های هواشناسی است. در حالی که پنجره‌های زمانی بلندتر که دارای نوسانات کمتری هستند، می‌توانند معیاری از خشکسالی‌ها/ ترسالی‌های هیدرولوژیک و در پنجره‌های زمانی بلندتر معیاری از خشکسالی‌ها/ ترسالی‌های هیدروژئولوژیک باشند. در ادامه، ارتباط شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک با خشکسالی‌های هواشناسی بررسی می‌شود.

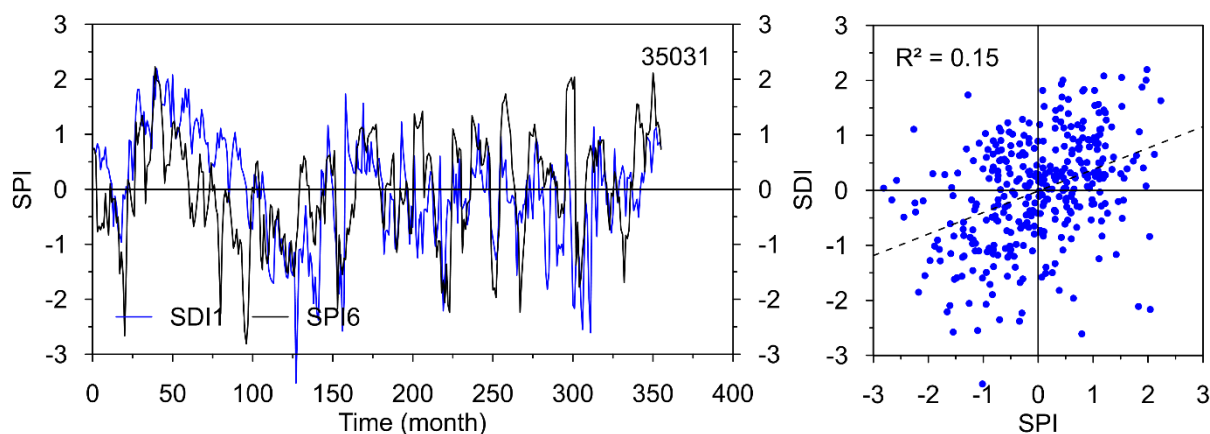
به طور کلی، دو ایستگاه از نظر زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها به ویژه در پنجره‌های زمانی بلند متفاوت هستند. همچنین، نوسانات شاخص در ایستگاه کریم‌آباد در مقایسه با ایستگاه تپیک کمتر است و این امر می‌تواند ناشی از تفاوت رژیم بارش دو ایستگاه و به دلیل اختلاف ارتفاع باشد. آنچه که در مورد هر دو نمودار شکل (۲) عمومیت دارد این است که میزان شاخص در پنجره‌های زمانی کوتاه‌تر معرف نوسانات کوتاه‌مدت بارش بوده و معیاری از



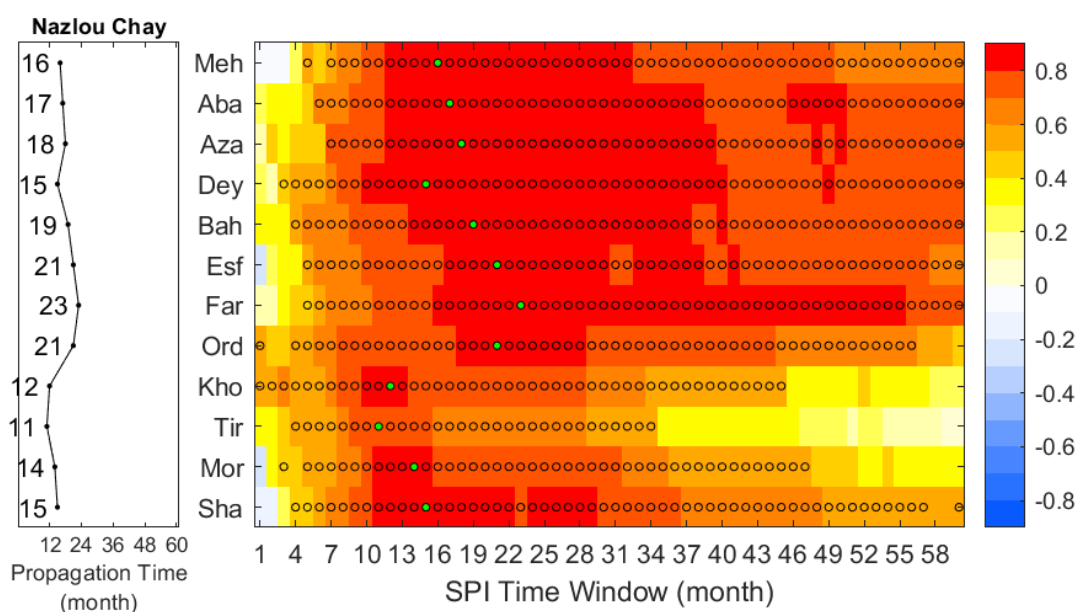
شکل (۴): ضرایب همبستگی بین سری‌های زمانی ماهانه SDI-1 و SPI-n در پنجره‌های زمانی مختلف (n=1-12) در ایستگاه کریم‌آباد (۲۵۰۴۵) و تپیک (۲۵۰۳۱) در زیر حوضه نازلوچای. دایره سیاه رنگ: معنی‌داری ضریب همبستگی در سطح معنی‌داری ۵ درصد، نقاط سبز رنگ: بیشترین مقدار ضریب همبستگی برای هر ماه. نمودار خط ممتد: مدت زمان لازم برای انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژیک برای هر ماه (بر حسب ماه).

به خشکسالی هیدرولوژیک برای هر ماه بدست می‌آید. با توجه به نمودار زمان انتشار خشکسالی، میانگین زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژیک در ایستگاه تپیک ۶ ماه است. با توجه به شکل (۵)، سری‌های زمانی SDI-1 و SPI-6 رفتار نسبتاً مشابهی داشته و ۱۵ درصد واریانس SDI-1 توسط SPI-6 ماهه تبیین می‌شود. لذا بخش زیادی از تغییرات شاخص خشکسالی هیدرولوژیک ناشی از عواملی غیر از بارش است. با توجه به شکل (۶) همبستگی بالا و معنی‌داری بین شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیک (GRI) و خشکسالی هواشناسی (SPI) وجود دارد. به طوری که با افزایش پنجره زمانی SPI میزان همبستگی‌ها افزایش می‌یابد و به طور میانگین در پنجره زمانی ۱۷ ماهه میزان همبستگی به بیشینه می‌رسد.

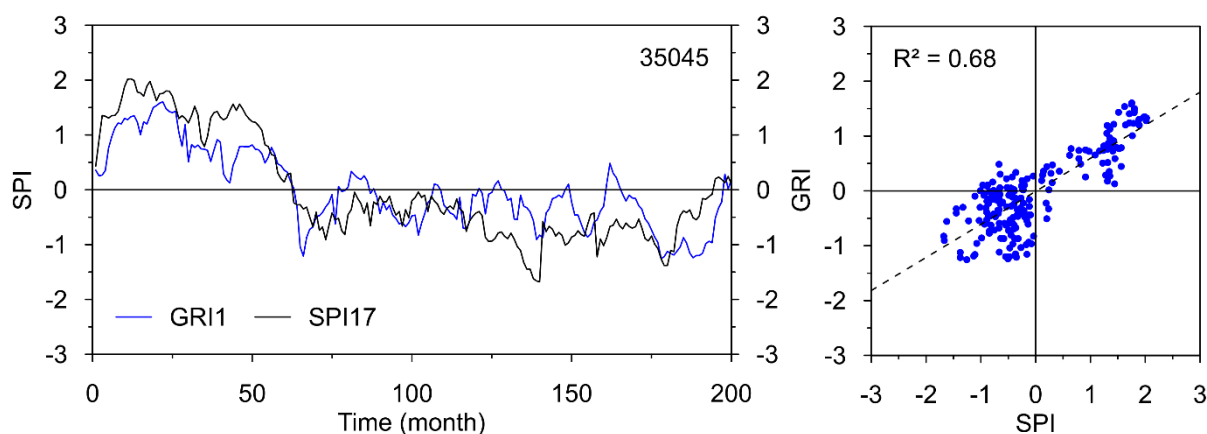
شکل (۴) ضرایب همبستگی بین سری‌های زمانی ماهانه شاخص خشکسالی هیدرولوژیک SDI-1 و شاخص خشکسالی هواشناسی SPI-n را در پنجره‌های زمانی مختلف (n=1:12) در ایستگاه کریم‌آباد و تپیک نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴)، در مورد ایستگاه کریم‌آباد تقریباً در همه ماه‌ها همبستگی‌های ضعیف و غیر معنی‌داری بین شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک مشاهده می‌شود و تنها در ماه آبان و اردیبهشت، شاخص SDI-1 به ترتیب با شاخص SPI-1 و SPI-3 بیشترین همبستگی معنی‌دار را نشان می‌دهد. اما در مورد ایستگاه تپیک، در اغلب ماه‌ها غیر از دی، همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری بین شاخص SDI-1 و شاخص SPI در پنجره‌های زمانی مختلف وجود دارد. با در نظر گرفتن بیشترین ضریب همبستگی برای هر ماه، زمان انتشار خشکسالی هواشناسی



شکل (۵): مقایسه سری‌های زمانی ماهانه SDI-1 و SPI-n (n متنظر با میانگین زمان انتشار خشکسالی) در ایستگاه تپیک (۳۵۰۳۱).



شکل (۶): ضرایب همبستگی بین سری‌های زمانی ماهانه SPI-n و GRI-1 در پنجره‌های زمانی مختلف (n=1-60) زیر حوضه نازلو چای. دایره سیاه رنگ: معنی‌داری ضریب همبستگی در سطح معنی‌داری ۵ درصد، نقاط سبز رنگ: بیشترین مقدار ضریب همبستگی برای هر ماه. نمودار خط ممتد: مدت زمان لازم برای انتشار خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدروژئولوژی برای هر ماه (بر حسب ماه).



شکل (۷): مقایسه سری‌های زمانی ماهانه GRI-1 و SPI-n (n متنظر با میانگین زمان انتشار خشکسالی) در ایستگاه کریم آباد (۳۵۰۴۵).

داشتند که خشکسالی‌های هواشناسی با افزایش دما (و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل) تشدید می‌شوند و این مسئله بر خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک اثرگذار است.

- میانگین زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک در زیرحوضه نازلوچای ۱۷ ماه است و ۶۸ درصد واریانس شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیک توسط شاخص خشکسالی هواشناسی تبیین می‌شود. لذا بخش دیگر تغییرات شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیک می‌تواند ناشی از عواملی غیر از بارش مانند دما یا عوامل غیر اقلیمی باشد. (Barker et al. 2016) نیز نشان دادند که علاوه بر بارندگی، ویژگی‌هایی از حوضه که معرف ذخیره‌سازی حوضه هستند (مانند شاخص جریان پایه و رطوبت معمولی خاک) تأثیر بیشتری بر ویژگی‌های خشکسالی هیدروژئولوژیک داشتند. (Chamanpira et al. 2014) نیز نشان دادند که ۶۴ درصد واریانس میانگین تراز آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی قرار می‌گیرد و ۳۶ درصد مابقی تحت تأثیر عوامل دیگر خواهد بود.

- زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک به‌طور محسوسی بیشتر و معنی‌دارتر از زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک است. این امر ناشی از پاسخ دیرتر منابع آب زیرزمینی به تغییرات بارش است. به‌طور کلی می‌توان در تایید سایر پژوهش‌ها (Mendicino et al. 2008; Edossa et al. 2010; Jahanshahi and Shahedi 2018; Razi and Shokouhi 2020) نتیجه گرفت که SPI در پنجره زمانی کوتاه‌تر معیار مناسبی برای ارزیابی خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک و در پنجره‌های زمانی بلندتر معیار مناسبی برای ارزیابی خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک است.

- زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک در ماه‌های فصل زمستان و بهار بیشتر است. یکی از دلایل این تأخیر، تغییر فاز بارش به برف در فصل زمستان و ذخیره آن در ارتفاعات است.

(Razi and Shokoohi 2020) اظهار نمودند که بررسی انتشار خشکسالی در دوره تاریخی کوتاه‌مدت نمی‌تواند همه شرایط محتمل در منطقه را آشکار سازد. بنابراین استفاده

مشخصه مهم نمودار شکل (۶)، همبستگی‌های بالا و معنی‌دار شاخص GRI با شاخص SPI و بیشتر بودن زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک در ماه‌های فصل زمستان و بهار است. یکی از دلایل این تأخیر، تغییر فاز بارش به برف در فصل زمستان و ذخیره آن در ارتفاعات است. زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک به‌طور محسوسی بیشتر و معنی‌دارتر از زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک است که این امر ناشی از پاسخ دیرتر منابع آب زیرزمینی به تغییرات بارش در حوضه است. با توجه به شکل (۷) حدود ۶۸ درصد تغییرات شاخص خشکسالی GRI-1 توسط شاخص خشکسالی SPI-17 تبیین می‌شود. لذا سهم بارش در تغییرات خشکسالی هیدروژئولوژیک به‌طور قابل توجهی زیاد است و بخش دیگر تغییرات شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیک می‌تواند ناشی از عواملی غیر از بارش مانند دما یا عوامل غیر اقلیمی باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی سری‌های زمانی SPI در پنجره‌های زمانی ۱ تا ۶۰ ماه و SDI و GRI در پنجره زمانی ۱ ماهه در زیرحوضه نازلوچای نشان داد که:

- وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در پنجره‌های زمانی بلندتر دارای تأخیر زمانی نسبت به پنجره‌های زمانی کوتاه‌تر است. به‌علاوه، ترکیب و اثر تجمعی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در دوره‌های زمانی کوتاه تعیین‌کننده وقوع خشکسالی یا ترسالی در پنجره‌های زمانی بلندتر است. (Alvarez-Garreton et al. 2021) اظهار داشتند که تشدید در تداوم خشکسالی‌های چندساله منعکس‌کننده حافظه هیدروژئولوژیک در یک حوضه است.

- میانگین زمان انتشار خشکسالی‌های هواشناسی به خشکسالی‌های هیدروژئولوژیک در زیرحوضه نازلوچای ۶ ماه است و ۱۵ درصد واریانس شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیک توسط شاخص خشکسالی هواشناسی تبیین می‌شود. لذا بخش زیادی از تغییرات شاخص خشکسالی هیدروژئولوژیک ناشی از عواملی غیر از بارش است. (Mtilatila et al. 2020) نیز اظهار

برای بررسی عدم قطعیت انتشار خشکسالی، برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود.

از روش‌های تولید اعداد تصادفی برای تولید سری‌های زمانی بلندمدت بارش و شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیک و هیدروژئولوژیک زیرحوضه با استفاده از مدل‌های بیلان آب،

منابع

1. Alvarez-Garreton C., Boisier J.P., Garreaud R., Seibert J. and Vis M. 2021. Progressive water deficits during multiyear droughts in basins with long hydrological memory in Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(1):429-446.
2. Barker L.J., Hannaford J., Chiverton A. and Svensson C. 2016. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6):2483-2505.
3. Chamanpira G., Zehtabian G., Ahmadi H. and Malekian A. 2014. Effect of drought on groundwater resources in order to optimize utilization management, case study: Plain Alashtar, *Watershed Engineering and Management*, 6(1):10-20 (In Persian).
4. Doostan R. 2020. Analysis of Drought Researches of Iran. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 6 (4):53-94 (In Persian).
5. Edossa D.C., Babel M.S. and Das Gupta A. 2010. Drought analysis in the Awash river basin, Ethiopia. *Water resources management*, 24(7):1441-1460.
6. Esmailnezhad R., Zeinalzadeh K. 2020. Evaluation of Land Use Changes using Remote Sensing and GIS in Nazlou Chai sub basin, *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(4):159-172 (In Persian).
7. Jahanshahi A. and Shahedi K. 2018. Evaluation of meteorological, hydrological and groundwater resources indicators for drought monitoring and forecasting in a semi-arid climate. *Desert*, 23(1):29-43.
8. Khalili A., Hajjam S. and Irannejad P. 1991. Comprehensive water plan of the country, Climate divisions, Ministry of Energy, Iran (In Persian).
9. Lee J.M., Park J.H., Chung E. and Woo N.C. 2018. Assessment of groundwater drought in the Mangyeong river basin, Korea. *Sustainability*, 10(3):831.
10. McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22):179-183.
11. Mendicino G., Senatore A. and Versace P. 2008. A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357(3-4):282-302.
12. Mishra A.K. and Singh V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2):202-216.
13. Mtilatila L., Bronstert A., Bürger G. and Vormoor K. 2020. Meteorological and hydrological drought assessment in Lake Malawi and Shire River basins (1970–2013). *Hydrological Sciences Journal*, 65(16):2750-2764.
14. Peters E., Van Lanen H.A.J., Torfs P.J.J.F. and Bier G. 2005. Drought in groundwater-drought distribution and performance indicators. *Journal of Hydrology*, 306(1-4):302-317.
15. Razi F., Shokouhi A. 2020. Determining and Estimating the Lag time between Meteorological and Hydrological Drought Using a Water Balance Model, *Watershed Engineering and Management*, 12(3):712-724 (In Persian).

16. Shahbazi Raz E., Rezaei H. and Hessari B. 2007. Use of GIS in the estimation of potential evapotranspiration by Priestly-Taylor method in Nazlou chay Basin, 9th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Iran (In Persian).
17. Whipple Jr W. 1966. Regional drought frequency analysis. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 92(2):11-32.
18. Zhu N., Xu J., Zeng G. and Cao X. 2021. Spatiotemporal response of hydrological drought to meteorological drought on multi-time scales concerning endorheic basin. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(17):9074.

Propagation Time of the Meteorological Droughts to the Hydrological and Hydrogeological Droughts in Nazlou Chay Subbasin

Soheil Mashhadi Heydar¹, Majid Montaseri², Somayeh Hejabi^{3*}

DOI: 10.22103/nrswe.2023.20928.1021

Abstract

Drought is a situation of lack of rainfall and an increase in temperature that can occur in any climate. Meteorological drought in the long term leads to the reduction of water resources through the reduction of surface and groundwater flows. Knowledge of the propagation time of meteorological droughts to hydrological and hydrogeological droughts is very important in managing and planning water resources. This study investigated the time delay of hydrological and hydrogeological droughts compared to meteorological droughts in the Nazlou Chay sub-basin in the west of the Lake Urmia basin. For this purpose, three drought indices SPI, SDI, and GRI were used based on 30-year rainfall and discharge data and 18-year piezometric data. The results showed that hydrological and hydrogeological droughts have a significant correlation with meteorological droughts in the study area. On the other hand, the time required for the propagation of meteorological drought to hydrological drought in the study area is 6 months on average, and the propagation time of meteorological droughts to hydrogeological droughts is 17 months. However, in the case of hydrological droughts, the precipitation factor explained a small percentage (15 percent) of the variance of the hydrological drought index, and therefore climatic factors other than precipitation (such as temperature), basin characteristics, or human factors contributed more to the changes in hydrological drought.

Keywords: Drought Propagation, Time Delay, Nazlou Chay, Correlation.

¹- M.Sc. student in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

² - Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

^{3*} - Corresponding author, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: s.hejabi@urmia.ac.ir