



دوره ۳۲، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۲۴، پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۳۶-۲۱
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.124502.1178

پژوهش‌های آبخیزداری

ارزیابی خشک‌سالی آب‌شناختی و تحلیل ویژگی‌های آن با شاخص جریان رودخانه‌یی (SDI) در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل

حامد امینی

دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

اباذر اسمعیلی عوری

دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

رئوف مصطفی‌زاده*

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

معراج شرری

استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

محسن ذبیحی

دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: raooofmostafazadeh@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰ آذر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۲۸ خرداد ۱۳۹۸

چکیده

خشک‌سالی آب‌شناختی باعث کاهش یافتن جریان رود و افت کردن کیفیت اکوسیستم‌های آن می‌شود و استفاده‌ی انسان از آب‌های سطحی را نیز محدود می‌کند. در این تحقیق، برای ارزیابی خشک‌سالی آب‌شناختی در ۳۳ ایستگاه آب‌سنجی استان اردبیل (۱۳۵۳-۱۳۹۲) شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌یی (SDI) به کار رفت. شاخص SDI با نرم‌افزار DrinC محاسبه، ویژگی‌های خشک‌سالی آب‌شناختی طبقه‌بندی و تحلیل، ارتباط مولفه‌های مختلف خشک‌سالی با هم بررسی، و آب‌دهی متوسط جریان تحلیل شد. برخی از ویژگی‌های خشک‌سالی آب‌شناختی برای نمایش تغییرات مکانی درون‌یابی شد. نتایج نشان داد که خشک‌سالی در همه‌ی ایستگاه‌ها بود، و بیشینه‌ی تداوم دوره‌ی خشک ۶۲ ماه در ایستگاه سامیان بود. نتایج طبقه‌بندی معیار SDI در ۱۴ ایستگاه (آلادیزگه، پل الماس، عنبران، باروق، بوران، دوست‌بیگلو، گیلانده، ایریل، کوزه‌تپراقی، مشیران، نئور، سامیان، شمس‌آباد و سولا) نشان داد که تعداد ماه‌های ترسالی از تعداد ماه‌های خشک‌سالی بیش‌تر بود. بیش‌ترین شدت خشک‌سالی جریان (۱/۰۵-) و بیش‌ترین تعداد ترسالی رخ داده در ایستگاه پل الماس دیده شد. متوسط شدت بیش‌ترین و کم‌ترین خشک‌سالی آب‌شناختی در ایستگاه پل الماس و عنبران به ترتیب ۱/۰۵- و ۰/۵۷- بود. تغییرات مکانی ماه‌های خشک‌سالی نشان داد که کم‌ترین وقوع خشک‌سالی جریان در ایستگاه‌های بالادست و دامنه‌های سیلان بود. خشک‌سالی‌های شدید و خیلی‌شدید در رودخانه‌هایی اتفاق می‌افتد که آب‌دهی آن کم است. هر چه اندازه‌های آب‌دهی رودخانه بیش‌تر باشد، وقوع خشک‌سالی‌های شدید کاهش می‌یابد و ثبات جریان آن از رودخانه‌یی با آب‌دهی کم بیش‌تر است.

واژگان کلیدی: تداوم خشک‌سالی، خشک‌سالی آب‌شناختی، شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌یی، شدت خشک‌سالی،

DrinC

مقدمه

اقتصادی-اجتماعی بررسی می‌شود (دلپا و همکاران ۲۰۰۹؛ ون لون و لاه ۲۰۱۵). یکی از انواع خشک‌سالی‌ها، خشک‌سالی آب‌شناختی است که در ادامه‌ی خشک‌سالی هواشناسی و با تاخیر زمانی روی می‌دهد. خشک‌سالی آب‌شناختی با کاهش میزان ذخیره‌ی آب دریاچه‌ها، پایین رفتن تراز آب‌های زیرزمینی و کاهش آب‌دهی جریان رودخانه‌ی تشخیص داده می‌شود و معمولاً بر منطقه‌ی وسیعی تاثیر می‌گذارد (اسلامیان و همکاران ۲۰۰۴؛ وفاخواه و بشری ۲۰۱۲). برای تعیین و تشخیص خشک‌سالی هواشناسی شاخص‌های مختلفی داده شده، که عامل‌های به‌کاررفته در مقیاس زمانی آن‌ها متفاوت است. از جمله‌ی این شاخص‌ها PDSI^۱ (شاخص شدت خشک‌سالی پالمر)، و شاخص‌های PN^۲، SPI^۳، DI^۴، و RI^۵ است. شاخص جریان رودخانه‌ی SDI^۶ در ارتباط با خشک‌سالی آب‌شناختی است که بی‌بعد و از شاخص‌های پرکاربرد و مناسب است، و براساس آب‌دهی به‌معیارشده‌ی رودخانه‌ها و جریان‌های سطحی به‌دست می‌آید، و اصول محاسبه‌ی آن مشابه شاخص بارش به‌معیارشده (SPI) است (شوکل و وود ۲۰۰۸؛ نلینتیس و ساکاریس ۲۰۰۹). شاخص جریان رودخانه‌ی را بن‌زای (۱۹۸۷) معرفی کرد و نالبانیتیس (۲۰۰۸) و نالبانیتیس و ساکاریس (۲۰۰۹) برای مشخص کردن خشک‌سالی آب‌شناختی توسعه دادند. کاهش جریان‌های رودخانه‌ها، مخزن‌های آب، دریاچه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی از آشکارترین نشانه‌های این مرحله از خشک‌سالی است (هائو و همکاران ۲۰۱۵).

نلینتیس (۲۰۰۸) به ارزیابی شاخص خشک‌سالی آب‌شناختی با استفاده از دوره‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در حوزه‌های دو رودخانه در غرب و شرق یونان با استفاده از شاخص جریان رودخانه‌ی پرداخت و نشان داد که خشک‌سالی‌های رخ داده در ۱۹۷۷-۱۹۷۶، ۱۹۹۵-۱۹۸۸ و ۲۰۰۱-۱۹۹۹ را در ۴ دوره‌ی سه‌ماهه به‌خوبی توجیه می‌کند. نلینتیس و ساکاریس (۲۰۰۹) با بررسی خشک‌سالی آب‌شناختی با استفاده از روش‌های شاخص بارش به‌معیارشده و توسعه‌ی شاخص جریان رودخانه‌ی در یونان به این نتیجه رسیدند که می‌توان با استفاده از بررسی بارش‌ها خشک‌سالی آب‌شناختی را پیش‌بینی کرد. تیکاس و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از دو شاخص RDI^۷ و SDI تاثیر شرایط آب و هوایی را بر خشک‌سالی‌های هواشناسی و آب‌شناختی در مقیاس

رودخانه‌ها از منابع آب مصرفی که برای مدیریت بهتر، اطلاع از روند آب‌دهی و عوامل موثر بر شکل‌گیری آن‌ها ضروری است (حسینی و همکاران ۲۰۱۲؛ بایزیدی و ثقفیان ۲۰۱۱). تغییرپذیری آب‌دهی رودخانه‌ها در مقیاس زمانی و مکانی زیاد است. بخش عمده‌ی این تغییرات بر اثر عوامل جوی است، بنابراین تغییرپذیری جزء ذاتی جریان رودها است (یوسفی و همکاران ۲۰۱۱). از آن‌جا که تغییرات عوامل اقلیمی می‌تواند بر آب‌دهی رودخانه موثر باشد، بررسی تغییرات آب‌دهی آن در طول زمان می‌تواند آثار تغییر یا ثبات در شرایط اقلیمی منطقه را مشخص کند (معروفی و طبری ۲۰۱۱؛ گاربرجت و همکاران ۲۰۰۴). از طرفی، ساخت سدها، انحراف جریان، جریان‌های برگشتی و کاهش جریان پایه با استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی و توسعه‌ی شهری بر جریان رودخانه‌ی اثر می‌گذارد و منجر به مشکل‌های مختلفی از جمله وقوع خشک‌سالی، کاهش آب‌دهی و آسیب‌های زیست-محیطی می‌شود. بنابراین، شناسایی روی داده‌های خشک‌سالی و ویژگی‌های آن از اطلاعات ضروری مدیریت منابع آب است (خدون و همکاران ۲۰۱۱). منابع آب دیرباز موضوعی بااهمیت به‌ویژه در مناطق خشک و کم‌آب جهان بوده است. ایران نیز به‌دلیل کم‌بود بارندگی و پراکنش نامناسب آن، جز این کشورها است (مفیدی‌پور و همکاران ۲۰۱۲). خشک‌سالی به‌سبب تعداد، فراوانی، گستردگی و تبعات کوتاه و بلندمدت اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیستی، از مهم‌ترین حوادث طبیعی است (باقری و محمدی ۲۰۱۲) و نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی برای رسیدن به هدف‌های توسعه‌ی پایدار دارد. جامع‌ترین تعریف خشک‌سالی هواشناسی، «کم‌بود آب مستمر و غیرطبیعی رطوبت در دوره‌ی زمانی» (معمولاً یک سال) است (پالمر ۱۹۶۵، لشنی‌زند و همکاران ۲۰۱۲). خشک‌سالی اقلیمی اساساً با کم‌بود بارش یا در برخی موارد با تبخیر و تعرق در منطقه مرتبط است. بارندگی، دما، تبخیر، باد و رطوبت نسبی نقش مهمی در وقوع، شدت و تداوم خشک‌سالی دارد. با وجود این، بارش مهم‌ترین عامل در تعیین آغاز، شدت و خاتمه‌ی خشک‌سالی‌ها است (چانگ و کلنوپا ۱۹۹۸؛ هیم ۲۰۰۲؛ سلطانی و سعادت ۲۰۰۷؛ مصطفی‌زاده و همکاران ۲۰۱۵). پژوهش‌های خشک‌سالی در چهار طبقه‌ی عمده‌ی خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی، آب‌شناختی و

- 1- palmer drought severity index (PDSI)
- 2- percent of normal (PN)
- 3- standardized precipitation index (SPI)
- 4- deciles index (DI)
- 5- Rainfall Index (RI)
- 6- streamflow drought index (SDI)
- 7- Reconnaissance drought index (RDI)

ایران با استفاده از شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌ی داده‌های آبدهی ماهانه‌ی ۲۱ ایستگاه آب‌سنجی در دوره‌ی ۱۹۷۵-۲۰۱۱ را به‌کاربردند. روش Mann-Kendall و Sens برای بررسی روند در گروه زمانی ۱۲ ماهه به‌کاررفت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان شدت خشک‌سالی آب‌شناختی در ایستگاه‌های دارکنه (مارابار)، دورود (تایر) و دورود (مرمر) در حوزه‌ی سد دز است. بیش‌ترین شدت خشک‌سالی آب‌شناختی در ایستگاه‌های دوآب، هورو و تنگ سیاب در حوزه‌ی سد کرخه بود.

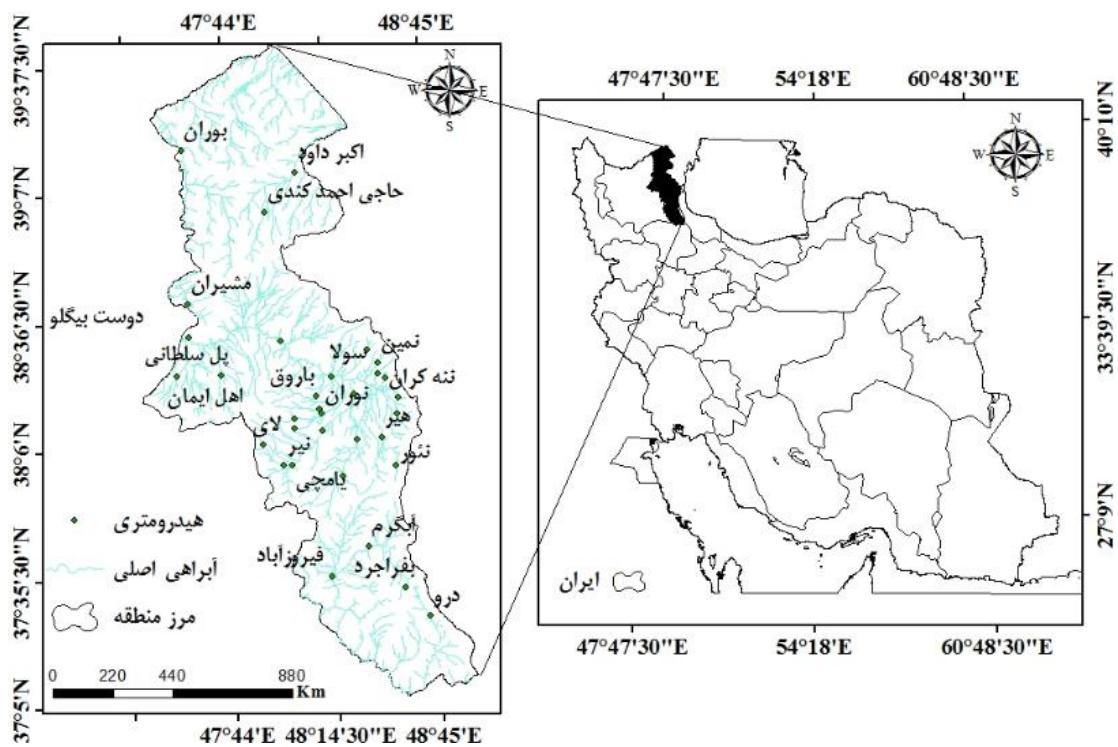
با توجه به این ضرورت‌ها، پژوهش‌های محلی و منطقه‌ی برای شناخت و آگاهی بهتر از وضعیت خشک‌سالی آب‌شناختی، با توجه به ویژگی‌های هر منطقه لازم است. هدف از این پژوهش بررسی خشک‌سالی آب‌شناختی در ایستگاه‌های آب‌سنجی در استان اردبیل بر اساس شاخص جریان رودخانه‌ی در نرم‌افزار Drin C است. علاوه بر تعیین خشک‌سالی آب‌شناختی و طبقه‌بندی آن، ارتباط مولفه‌های مختلف خشک‌سالی با یکدیگر و آبدهی متوسط جریان نیز بررسی شده است. تحلیل تغییرات مکانی مولفه‌های مختلف خشک‌سالی آب‌شناختی از دیگر اهداف این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه‌ی پژوهش

منطقه‌ی بررسی‌شده در استان اردبیل از استان‌های مرزی کشور در شمال‌غربی ایران (37° و 45° تا 39° و 42° عرض شمالی و 47° و 30° تا 48° و 55° طول شرقی) است. استان اردبیل از نواحی سردسیر کوهستانی است و میانگین بارش در آن ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال است که در بخش‌های مختلف استان نوسان دارد (خروشی و همکاران ۲۰۱۷). ایستگاه‌های بررسی‌شده‌ی استان شامل سه حوزه‌ی اصلی ارس، بالهارود و قزل‌اوزن است که حدود ۹۰٪ از مساحت استان اردبیل را شامل می‌شود. مبنای انتخاب ایستگاه‌ها در این تحقیق پراکنش مناسب براساس استفاده‌ی بیشینه از داده‌های آبدهی ثبت‌شده بوده است. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی منتخب در استان اردبیل نشان داده شده است.

زمانی ۳ تا ۱۲ ماهه بررسی کردند و نشان دادند که بیش‌ترین همبستگی بین RDI ۹ ماهه و SDI ۱۲ ماهه بوده است. سلطانی و مهربانی (۲۰۱۲) با ارزیابی خشک‌سالی با استفاده از شاخص جریان رودخانه‌ی SPI در حوزه‌ی سد درودزن در استان فارس و مقایسه‌ی نتایج دو شاخص نتیجه گرفتند که در سال‌های ۶۴-۶۸ دوره‌ی کوتاه‌مدت خشک‌سالی، و پس از آن خشک‌سالی در وضعیت طبیعی بود، اما در سال‌های اخیر وضعیت تغییر کرده و خشک‌سالی در وضعیت شدیدتری قرار گرفته است. طبری و همکاران (۲۰۱۳) خشک‌سالی آب‌شناختی را با استفاده از شاخص خشک‌سالی آب‌شناختی SDI در شمال غرب ایران ارزیابی کردند و نشان دادند که تقریباً در تمام ایستگاه‌ها خشک‌سالی است. تب‌وزاده و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تطبیقی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی در حوزه‌ی آبریز بختگان نشان دادند که همه‌ی ایستگاه‌ها دچار خشک‌سالی است و وقوع خشک‌سالی اثر خود را به‌صورت آبی یا با تأخیر یک‌ماهه بر منابع آب سطحی نشان داد. سلیمانی ساردو و بهره‌مند (۲۰۱۴) در ارزیابی خشک‌سالی آب‌شناختی با استفاده از شاخص جریان رودخانه‌ی در حوزه‌ی هلیل‌رود ایران همبستگی زیادی بین شاخص بارش به‌معیار (شاخص هواشناسی) با شاخص آب‌شناختی نشان دادند. تیکاس و همکاران (۲۰۱۵) نرم‌افزاری برای تحلیل خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های محاسباتی به نام DrinC^۱ معرفی کردند و به این نتیجه رسیدند که این نرم‌افزار در جاهای مختلف، به ویژه خشک و نیمه خشک کاربرد دارد و برای تحلیل خشک‌سالی مفید و کاربردی است. اقتدارنژاد و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی تطبیقی شاخص‌های بارش به‌معیار شده، RDI و جریان رودخانه‌ی در تحلیل مشخصه‌های خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی در دشت بم پرداختند و نتایج آنان نشان داد که بیش‌ترین شباهت در بین شاخص جریان رودخانه‌ی RDI است. نتایج آزمون همبستگی متقاطع نشان داد که ضریب زیاد همبستگی به‌صورت همزمان در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه بود و ضریب همبستگی ارتباط بین SDI-RDI، SPI-RDI و SPI-SDI به ترتیب ۱، ۱ و ۰/۵۳ در تراز ۹۵٪ است. خسروی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی روند خشک‌سالی در حوزه‌ی دو رود کرخه و دز در استان لرستان



شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی ایستگاه‌های آب‌سنجی بررسی شده در منطقه.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های آب‌سنجی بررسی شده در ارزیابی خشک‌سالی آب‌شناختی در رودخانه‌های استان اردبیل.

ردیف	محدوده‌ی پژوهش	رودخانه	ایستگاه	مساحت حوزه (کیلومتر مربع)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱		بالخلوچای	پل الماس	۱۰۷۰	۴۸-۰۸-۱۶	۴۸-۱۱-۱۹
۲		قره‌سو	سامیان	۴۰۰۴	۳۸-۲۲-۵۳	۴۸-۱۴-۴۸
۳		نوران چای	آتشگاه	۴۴	۳۸-۱۳-۰۵	۴۸-۰۳-۲۳
۴		بالخلوچای	یامچی	۷۱۰	۳۸-۰۲-۰۵	۴۸-۰۲-۱۱
۵		نیر چای	نیر	۲۵۶	۳۸-۰۲-۰۲	۴۷-۵۹-۳۸
۶		قره‌سو	آلادیزگه	۲۲	۳۸-۱۷-۰۰	۴۸-۳۵-۲۲
۷		نوران چای	نوران	۱۲۶	۳۸-۱۳-۵۹	۴۸-۱۱-۳۷
۸		نمین چای	نمین	۴۴	۳۸-۲۵-۴۵	۴۸-۲۹-۰۶
۹		قوریچای	کوزه‌تپراقی	۵/۸۱۲	۳۸-۰۷-۲۸	۴۸-۲۲-۰۱
۱۰		بالخلوچای	گیلانده	۱۶۳۸	۳۸-۱۸-۲۶	۴۸-۲۱-۴۳
۱۱	اردبیل	هیرچای	هیر	۱۷۸	۳۸-۰۴-۵۵	۴۸-۳۰-۲۸
۱۲		لای چای	لای	۳۶	۳۸-۰۷-۰۰	۴۷-۵۴-۰۳
۱۳		ویلادرق چای	ویلادرق	۹۴	۳۸-۱۰-۳۸	۴۸-۰۳-۱۹
۱۴		شهریورچای	باروق	۹۶	۳۸-۱۸-۱۷	۴۸-۱۰-۰۶
۱۵		سقرچی چای	ایریل	۸	۳۸-۱۳-۲۳	۴۸-۳۴-۳۰
۱۶		نرگس چای	ننه‌کران	۴۰	۳۸-۲۲-۱۷	۴۸-۳۱-۳۲
۱۷		سولاچای	سولا	۴۴	۳۸-۲۳-۱۴	۴۸-۲۹-۰۴
۱۸		خروجی سد	نئور	۴۴	۳۸-۰۰-۵۳	۴۸-۳۳-۴۳
۱۹		یدی بولیک چای	عموقین	۱۱۰	۳۸-۱۵-۰۷	۴۸-۱۰-۴۰
۲۰		آغ چای	شمس آباد	۱۲۸	۳۷-۵۹-۵۳	۴۸-۱۵-۱۴
۲۱		عنبران چای	عنبران	۳۶	۳۸-۲۹-۴۰	۴۸-۲۹-۰۶
۲۲		قره‌سو	دوست بیگلو	۷۳۱۱	۳۸-۳۳-۰۲	۴۷-۳۲-۱۸
۲۳	مشکین شهر	قره‌سو	ارباب کندی	۴۸۰۰	۳۸-۲۹-۴۱	۴۸-۰۱-۵۸
۲۴		خیاوچای	پل سلطانی	۹۸	۳۸-۲۳-۵۶	۴۷-۴۱-۳۹
۲۵		هندالوچای	اهل ایمان	۹۸	۳۸-۲۴-۰۲	۴۷-۲۸-۰۵
۲۶		برزندچای	حاجی احمدکندی	۱۵۷	۳۹-۰۲-۱۰	۴۷-۵۶-۱۷
۲۷	مغان	ساریقمیش	اکبرداود	۷۱۰	۳۹-۱۱-۴۵	۴۸-۰۵-۳۱
۲۸		دره رود	بوران	۱۳۶۷۰	۳۹-۱۷-۴۱	۴۷-۳۱-۸
۲۹		دره رود	مشیران	۱۱۲۶۷	۳۸-۴۱-۱۰	۴۷-۳۲-۰۱
۳۰		شاهرود	درود	۱۵۸	۳۷-۲۴-۳۸	۴۸-۴۱-۴۸
۳۱	خلخال	هروچای	آبگرم	۵۹۰	۳۷-۴۱-۴۵	۴۸-۲۴-۲۵
۳۲		بفراجرد چای	بفراجرد	۳۶	۳۷-۳۲-۱۵	۴۸-۳۴-۳۷
۳۳		فیروزآبادچای	فیروزآباد	۱۵۱۵	۳۷-۳۵-۰۸	۴۸-۱۳-۳۵

روش تحقیق

داده‌های آب‌دهی روزانه‌ی ۳۳ ایستگاه آب‌سنجی با بیشینه‌ی دوره‌ی داده‌برداری موجود هر ایستگاه (۱۳۹۲-۱۳۵۳) به‌کاررفت. پس از بررسی صحت داده‌ها، اندازه‌های آب‌دهی روزانه در نرم‌افزار اکسل و پیوست PivotTable به‌صورت داده‌های ماهانه مرتب شد. خشک‌سالی جریان رودخانه‌یی با نرم‌افزار ۵.۷ DrinC (ابزار محاسبه‌ی خشک‌سالی) محاسبه شد. این نرم‌افزار ابزاری کاربرپسند برای محاسبه‌ی شاخص‌های مختلف خشک‌سالی با تاکید بر محاسبه‌ی RDI (شاخص خشک‌سالی مقدماتی)، و SDI (شاخص خشک‌سالی رودخانه‌یی) و شاخص به‌معیار شده‌ی بارش و دهک‌های بارشی است (تیکاس و همکاران ۲۰۱۵).

رابطه‌ی ۳

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}) \quad i = 1,2, \dots, \quad k = 1,2,3,4$$

اگر رابطه‌ی ۴ برقرار باشد:

رابطه‌ی ۴

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_{y,k}} \quad i = 1,2 \dots, \quad k = 1,2,3,4$$

که در آن لگاریتم طبیعی ابددهی‌های تجمعی با متوسط \bar{V}_k و انحراف معیار با $S_{y,k}$ نشان داده می‌شود؛ این داده‌ها در بازه-های زمانی طولانی برآورد می‌شود (نلبنتیس ۲۰۰۸؛ نلبنتیس و ساکیریس ۲۰۰۹). بر اساس شاخص جریان رودخانه‌یی، حالت‌های خشک‌سالی آب‌شناختی تعریف شد. در شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی بارش به‌معیار شده و RDI برای دسته‌بندی خشک‌سالی آب‌شناختی با شاخص جریان رودخانه‌یی، ۵ دسته در نظر گرفته شد.

شاخص خشک‌سالی جریان‌های رودخانه‌یی (SDI) برای محاسبه‌ی این شاخص فرض شد که برای داده‌های ابددهی، گروه زمانی ماهانه‌ی $Q_{i,j}$ مناسب است، در حالی که i مشخص‌کننده‌ی سال آب‌شناختی و j بیان‌گر ماه در سال آب‌شناختی است. بر این اساس گروهی به‌دست آمد که با رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود (نلبنتیس و ساکیریس ۲۰۰۹).

رابطه‌ی ۱

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i=1,2, \dots, \quad j=1,2, \dots, 12 \quad k=1,2,3,4$$

$V_{i,k}$ مقدار تجمعی ابددهی سال آب‌شناختی i ام و دوره‌ی آن، و K بیان‌گر دوره‌های سه‌ماهه است. بر اساس مقدار تجمعی ابددهی $V_{i,k}$ ، شاخص جریان رودخانه‌یی بر اساس ۴ دوره‌ی (K) همان سال آب‌شناختی (i) به صورت رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود (نلبنتیس و ساکیریس ۲۰۰۹).

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k} \quad i = 1,2 \dots, \quad k = 1,2,3,4 \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

جدول ۲- طبقه‌بندی حالت‌های خشک‌سالی آب‌شناختی با شاخص SDI (نلبنتیس و ساکیریس ۲۰۰۹).

حالت	شرح	مقیاس (بازه)	احتمال وقوع (%)
۰	بی‌خشک‌سالی	$SDI \geq 0$	۵۰
۱	خشک‌سالی ملایم یا جزئی	$-1 \leq SDI < 0$	۳۴/۱
۲	خشک‌سالی متوسط	$-1/5 \leq SDI < -1$	۹/۲
۳	خشک‌سالی شدید	$-2 \leq SDI < -1/5$	۴/۴
۴	خشک‌سالی خیلی شدید	$SDI < -2$	۲/۳

آب‌شناختی (بیشینه‌ی شاخص خشک‌سالی و ترسالی، متوسط شدت خشک‌سالی و ترسالی، تعداد تداوم ترسالی و خشک‌سالی، بیشینه‌ی تداوم دوره‌ی خشک و مرطوب (ماه)، تعداد تغییر وضعیت، ماه‌های بی‌خشک‌سالی، ماه‌های خشک‌سالی ملایم، ماه‌های خشک‌سالی متوسط، ماه‌های خشک‌سالی شدید، ماه‌های

تحلیل مکانی ویژگی‌های خشک‌سالی آب‌شناختی اندازه‌های شاخص جریان رودخانه‌یی با ابددهی‌های ۳۳ ایستگاه آب‌سنجی محاسبه شد. با توجه به مشخص شدن بازه‌های شاخص خشک‌سالی (جدول ۲) که نشان‌دهنده‌ی شدت‌های وقوع خشک‌سالی آب‌شناختی است، مشخصات خشک‌سالی

طبیعی چرخه‌ی آبی اقلیمی است. در این پژوهش شدت و تداوم دوره‌های خشکی، و به‌صورت جزئی دوره‌های ترسالی بر اساس شاخص‌های مبتنی بر جریان رودخانه‌ی (آب‌دهی) بررسی و تحلیل شد. نتایج طبقه‌بندی داده‌های شاخص SDI (جدول ۲) در جدول ۳ و ۴ آورده شد.

خشک‌سالی خیلی شدید) در نرم‌افزار اکسل تعیین شد. مشخصات خشک‌سالی آب‌شناختی و تغییرات مکانی آن در ایستگاه‌های مختلف تحلیل شد.

نتایج و بحث

وقوع دوره‌های خشک و مرطوب از مشخصه‌های نوسان‌های

جدول ۳- تعداد ماه‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس جدول معیار SDI در ایستگاه‌های بررسی‌شده‌ی استان اردبیل.

ایستگاه‌ها	بی‌خشک‌سالی	خشک‌سالی جزئی	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	خشک‌سالی خیلی شدید
آبگرم	۷۸	۷۳	۲۰	۹	۰
اهل ایمان	۴۱	۴۱	۹	۵	۰
احمدکندی	۱۱۵	۹۱	۱۸	۹	۵
اکبرداود	۸۵	۱۲۴	۱۶	۳	۰
آلادیزگه	۱۲۵	۷۷	۲۴	۱۳	۲
پل‌الماس	۳۰۶	۹۰	۳۳	۲۷	۲۴
عموقین	۱۰۲	۷۱	۱۹	۶	۶
عنبران	۹۷	۲۷	۷	۱	۰
اریاب‌کندی	۷۰	۸۱	۲۱	۵	۰
آتشگاه	۷۵	۹۷	۱۵	۴	۱
بفراجرد	۴۳	۲۲	۱۵	۳	۱
باروق	۱۳۲	۸۹	۷	۸	۳
بوران	۲۵۴	۱۲۶	۵۰	۲۷	۱۱
درو	۱۴۹	۱۰۹	۲۴	۱۱	۷
دوست‌بیگللو	۲۵۹	۱۱۹	۵۳	۳۲	۵
فیروزآباد	۸۸	۷۳	۱۹	۹	۳
گیلانده	۳۰۷	۱۱۷	۴۳	۱۰	۰
هیر	۱۸۹	۱۳۶	۳۵	۱۳	۱۱
ایریل	۱۳۷	۹۶	۹	۴	۵
کوزه‌تپراقی	۲۶۶	۱۱۲	۵۶	۲۱	۱
لای	۱۸۵	۱۵۵	۳۶	۱۷	۳
مشیران	۲۵۰	۱۴۶	۵۱	۲۶	۷
نمین	۱۳۶	۱۲۶	۱۹	۶	۰
ننه‌کران	۱۱۴	۹۲	۱۱	۹	۲
نئور	۲۸۴	۳۰	۳	۵	۱
نیر	۲۳۲	۱۸۱	۴۴	۱۵	۸
نوران	۸۴	۵۱	۲۲	۵	۶
سامیان	۲۶۰	۱۴۲	۳۹	۱۹	۸
شمس‌آباد	۱۹۰	۱۰۰	۲۳	۸	۳
سولا	۱۵۹	۱۰۲	۳۲	۵	۱
پل‌سلطانی	۲۵۶	۱۳۸	۲۷	۲۰	۳
ویلادرق	۱۳۲	۱۰۳	۲۹	۷	۵
یامچی	۸۶	۶۶	۱۸	۳	۷

تعداد ماه‌های بی‌خشک‌سالی از تعداد رخداد خشک‌سالی بیش‌تر بود، فقط می‌توان گفت که در این ایستگاه‌ها اگر خشک‌سالی هم باشد، شدت آن کم است. از طرفی می‌توان دریافت که بیش‌ترین تعداد ماه‌های ترسالی در دو ایستگاه پل‌الماس و گیلانده بود که اندازه‌های عددی آن به ترتیب ۳۰۶ و ۳۰۷ ماه است. برخی از ویژگی‌های خشک‌سالی آب‌شناختی با شاخص جریان رودخانه‌یی در جدول ۴ آورده شده است.

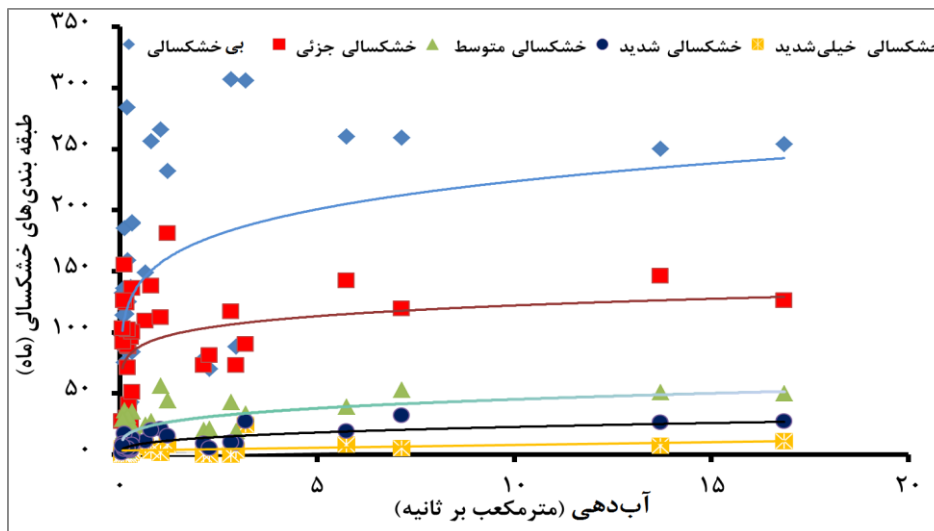
در ۱۴ ایستگاه (آلادیزگه، پل‌الماس، عنبران، باروق، بوران، دوست‌بیگلو، گیلانده، ایریل، کوزه‌تپراقی، مشیران، نئور، سامیان، شمس‌آباد و سولا) تعداد ماه‌های بی‌خشک‌سالی از تعداد ماه‌های خشک‌سال بیش‌تر بود و در ۳ ایستگاه ننه‌کران، نوران و عموقین تعداد ماه‌های بی‌رخداد خشک‌سالی با تعداد ماه‌های خشک‌سال برابر بود. در ۶ ایستگاه (آبگرم، اهل‌ایمان، عنبران، ارباب‌کندی، گیلانده و نمین) تعداد ماه‌های خشک‌سال خیلی شدید صفر بود (جدول ۳). این صرفاً بدین معنی نیست که در این ۶ ایستگاه

جدول ۴- ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص SDI، در ایستگاه‌های بررسی‌شده‌ی استان اردبیل.

ایستگاه‌ها	بیشینه‌ی شاخص ترسالی	بیشینه‌ی شاخص خشک‌سالی	متوسط شدت خشک‌سالی	تعداد تداوم ترسالی	تعداد تداوم خشک‌سالی	بیشینه‌ی تداوم مرطوب (ماه)	بیشینه‌ی تداوم دوره‌ی خشک (ماه)	تعداد تغییر وضعیت
آبگرم	۲/۶۶	-۱/۹۷	-۰/۷۳	۷۷	۱۰۲	۲۳	۱۷	۷۷
اهل‌ایمان	۲/۳۳	-۱/۸۷	-۰/۷۳	۴۱	۵۵	۹	۱۶	۴۱
احمدکندی	۲/۳۵	-۳/۳۵	-۰/۷۸	۱۱۵	۱۲۳	۳۲	۱۲	۱۱۵
اکبرداود	۳/۳۷	-۱/۸۵	-۰/۶۱	۷۷	۱۴۳	۱۱	۲۴	۷۷
آلادیزگه	۳/۲۲	-۲/۵۹	-۰/۷۷	۱۲۴	۱۲۷	۷	۷	۱۲۴
پل‌الماس	۳/۳۷	-۳/۲۵	-۱/۰۵	۳۰۶	۱۷۴	۴۳	۲۱	۳۰۶
عموقین	۲/۸۱	-۲/۲۴	-۰/۷۷	۹۶	۱۰۲	۱۲	۱۶	۹۶
عنبران	۲/۴۹	-۱/۶۷	-۰/۵۷	۹۷	۳۵	۲۰	۶	۹۷
ارباب‌کندی	۲/۵۳	-۱/۷۹	-۰/۶۴	۷۰	۱۰۷	۱۰	۲۴	۷۰
آتشگاه	۳/۱۳	-۲/۲۱	-۰/۶۶	۷۵	۱۱۷	۹	۹	۷۵
بفراجرد	۲/۱۳	-۲/۰۴	-۰/۸۵	۴۳	۴۱	۸	۷	۴۳
باروق	۲/۵۸	-۲/۹۳	-۰/۷۱	۱۱۵	۱۰۷	۱۹	۱۱	۱۱۵
بوران	۳/۰۸	-۳/۳۱	-۰/۸۶	۲۵۴	۲۱۴	۳۷	۳۹	۲۵۴
درو	۳/۹۰	-۲/۳۳	-۰/۷۸	۱۴۹	۱۵۱	۱۸	۱۸	۱۴۹
دوست‌بیگلو	۳/۴۹	-۲/۴۱	-۰/۸۹	۲۵۱	۲۰۹	۳۴	۳۴	۲۵۱
فیروزآباد	۲/۹۱	-۲/۲۱	-۰/۷۵	۸۸	۱۰۴	۱۶	۱۹	۸۸
گیلانده	۲/۱۴	-۱/۹۶	-۰/۷۱	۲۶۹	۱۷۰	۴۸	۴۸	۲۶۹
هیر	۳/۱۹	-۳/۰۴	-۰/۷۸	۱۸۷	۱۹۵	۱۷	۲۹	۱۸۷
ایریل	۲/۳۴	-۴/۳۷	-۰/۷۴	۱۲۸	۱۱۴	۱۲	۱۴	۱۲۸
کوزه‌تپراقی	۲/۶۰	-۲/۰۹	-۰/۸۵	۲۰۵	۱۹۰	۴۸	۳۰	۲۰۵
لای	۳/۳۹	-۳/۰۳	-۰/۷۴	۱۸۵	۲۱۱	۳۱	۲۰	۱۸۵
مشیران	۳/۳۸	-۲/۲۱	-۰/۸۳	۲۴۱	۲۳۰	۲۲	۲۶	۲۴۱
نمین	۲/۱۴	-۱/۸۰	-۰/۵۹	۱۲۰	۱۵۱	۳۶	۲۶	۱۲۰
ننه‌کران	۳/۰۵	-۲/۵۹	-۰/۶۸	۹۸	۱۱۴	۷	۱۲	۹۸
نئور	۲/۴۴	-۲/۰۶	-۰/۷۰	۱۹۱	۳۹	۲۵	۳	۱۹۱
نیر	۴/۶۲	-۳/۴۱	-۰/۷۴	۲۳۲	۲۴۸	۲۲	۱۵	۲۳۲
نوران	۲/۳۳	-۲/۲۰	-۰/۸۲	۸۴	۸۴	۸	۱۱	۸۴
سامیان	۲/۷۹	-۲/۳۷	-۰/۷۷	۲۲۵	۲۰۸	۳۹	۶۲	۲۲۵
شمس‌آباد	۲/۸۰	-۲/۴۱	-۰/۷۰	۱۵۳	۱۳۴	۴۱	۱۷	۱۵۳
سولا	۳/۲۳	-۲/۰۷	-۰/۷۷	۱۲۶	۱۴۰	۲۷	۱۸	۱۲۶
پل‌سلطانی	۳/۲۵	-۳/۰۳	-۰/۷۱	۲۲۴	۱۸۸	۲۳	۹	۲۲۴
ویلادرق	۴/۱۴	-۳/۱۳	-۰/۷۴	۱۳۲	۱۴۴	۱۴	۱۵	۱۳۲
یامچی	۲/۵۵	-۲/۶۹	-۰/۷۷	۸۶	۹۴	۱۰	۱۱	۸۶

در پایین دست سد سقزچی نسبت داد. ساخت این سد باعث کاهش یافتن جریان و در نتیجه وقوع خشک سالی آب شناختی در آب دهی رودخانه شده است. متوسط شدت خشک سالی در ایستگاه پل الماس بیش تر از سایر ایستگاه های بررسی شده بود. بیش ترین تداوم ترسالی در کوزه تپراقی و گیلانده با مقدار ۴۸ ماه بود. کم ترین تداوم خشک سالی در دو ایستگاه نور و عنبران به ترتیب با تداوم سه و شش ماه بود. بیش ترین تغییر وضعیت (تغییر از ترسالی به خشک سالی) در ایستگاه پل الماس بود، که علت آن را می توان رها سازی جریان خروجی از سد یامچی در رودخانه ی بالیخلوچای دانست. تنظیم جریان رودخانه باعث شده است که اندازه های آب دهی بیشینه و کمینه تعدیل شود و تغییرات پیرامون اندازه های میانگین باشد. نمودار برخی از ویژگی ها و طبقه بندی های خشک سالی جریان در اندازه های مختلف آب دهی جریان در رودخانه های بررسی شده در شکل های ۲، ۳ و ۴ آورده شده است.

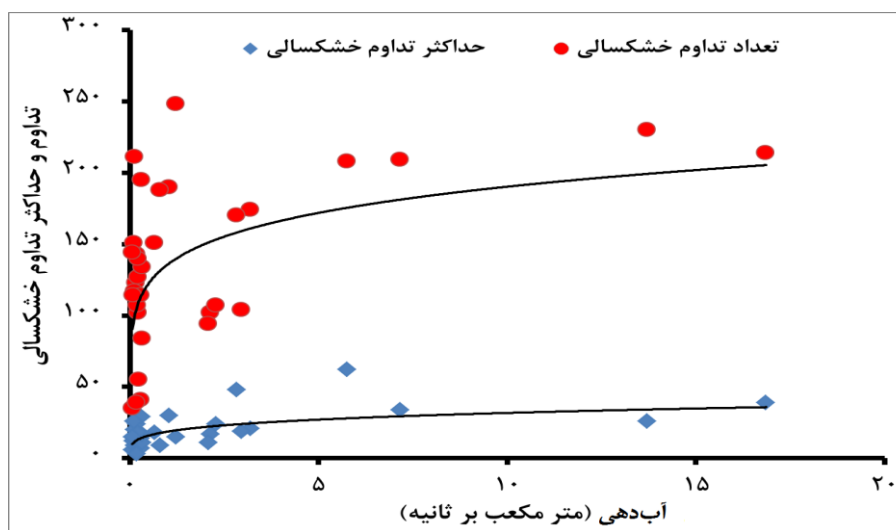
بیش ترین شدت خشک سالی جریان به مقدار ۱/۰۵- در ایستگاه پل الماس مشاهده شد (جدول ۴)، در حالی که هم زمان بیش ترین تعداد وقوع ترسالی در این ایستگاه بود. شدت خشک سالی و تداوم ترسالی می تواند مستقل از هم اتفاق بیافتد. چون این ایستگاه در پایاب سد یامچی است، ممکن است این شدت کاهش جریان ناشی از ذخیره شدن آب در مخزن سد در دوره ی زمانی کوتاه و تاثیر سد آن بر جریان رودخانه باشد. از طرفی زیاد بودن تعداد ترسالی ها در این ایستگاه را می توان با اثر تنظیمی سد یامچی بر جریان رودخانه مرتبط دانست که باعث شده است جریان رودخانه در دوره های جریان کم تابستانه نیز تداوم داشته باشد. بیشینه ی شاخص ترسالی در دو ایستگاه نیر و ویلادرق با اندازه های ۴/۶۲ و ۴/۱۳ ثبت شده است. این صرفاً بیان گر این است که بیشینه ی اندازه های ترسالی رخ داده در دوره ی بررسی شده در این ایستگاه ها ثبت شد. شدیدترین مقدار خشک سالی در ایستگاه ایریل با مقدار ۴/۳۷- رخ داده است. علت را می توان به موقعیت ایستگاه ایریل



شکل ۲- نمودار ارتباط اندازه های آب دهی با خشک سالی های طبقه بندی شده.

کم ترین بوده باشد، یا آب دهی آن ها فصلی و کم باشد؛ و کم ترین رخداد خشک سالی در رودخانه های با آب دهی های بیش تر رخ می دهد. هر چه اندازه ی آب دهی رودخانه بیش تر باشد، وقوع خشک سالی های شدید کاهش می یابد و ثبات جریان در آن ها از رودخانه های با آب دهی کم، بیش تر است.

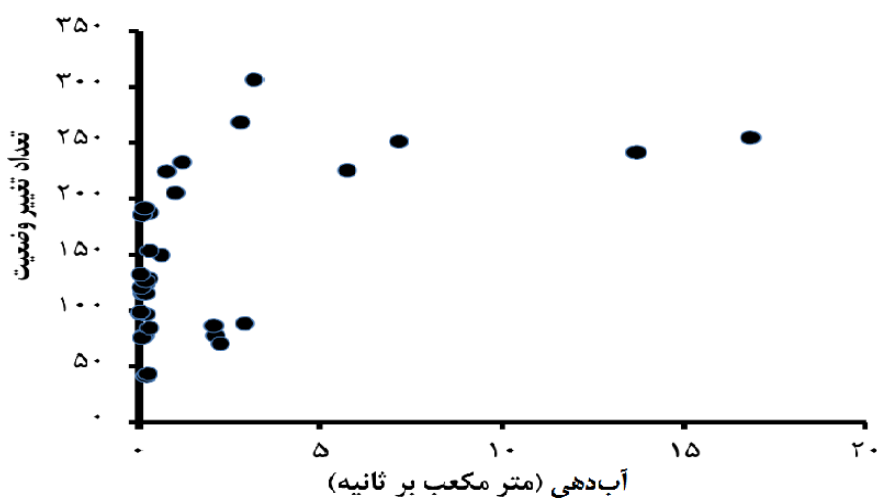
محور عمودی شکل ۲ طبقه بندی خشک سالی در ۵ دسته بر اساس نظر نلبنیس و ساکیریس (۲۰۰۹) بر اساس اندازه های آب-دهی رودخانه ها است. خشک سالی های شدید و خیلی شدید در رودخانه هایی اتفاق می افتد که آب دهی های آن ها کم است، به عبارتی خشک سالی آب شناختی با شدت های زیاد در رودخانه هایی رخ می دهد که آب دهی آن ها در دوره ی بررسی شده



شکل ۳- ارتباط تعداد تداوم ماهانه‌ی خشک‌سالی در اندازه‌های مختلف آب‌دهی.

خشک‌سالی در رودخانه‌هایی با آب‌دهی کم رخ داده است، پس در رودخانه‌هایی با آب‌دهی جریان کم‌تر، خشک‌سالی بیش‌تر رخ می‌دهد.

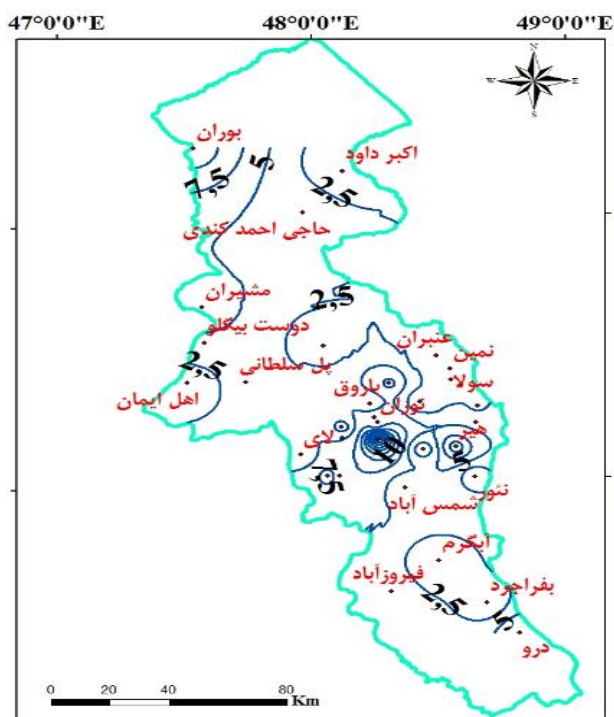
در خصوص ارتباط اندازه‌های آب‌دهی با دو ویژگی تعداد تداوم و بیشینه‌ی تداوم خشک‌سالی، مشاهده می‌شود که با افزایش اندازه‌های آب‌دهی جریان، بیشینه‌ی تداوم خشک‌سالی و تعداد تداوم‌ها کاهش می‌یابد (شکل ۳). هم تعداد و هم بیشینه‌ی تداوم



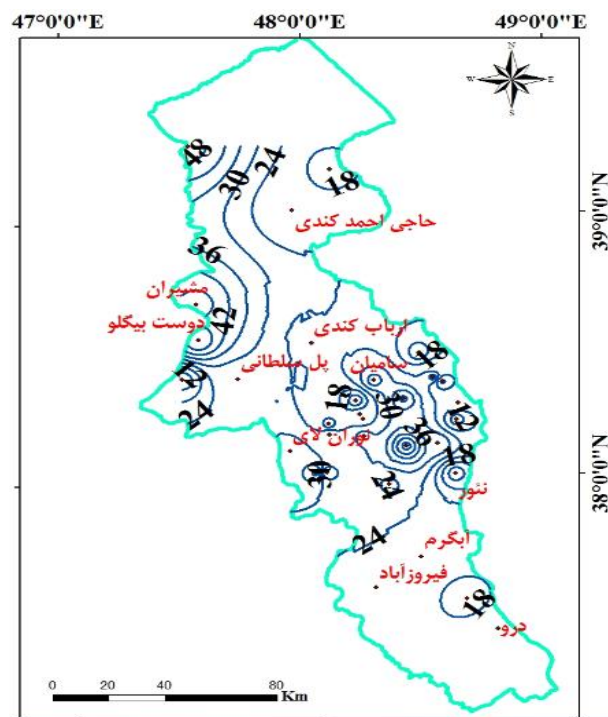
شکل ۴- نمودار ارتباط اندازه‌های آب‌دهی با تعداد تغییر وضعیت‌های رخ داده.

مکانی برخی از ویژگی‌های خشک‌سالی در شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ نشان داده شد.

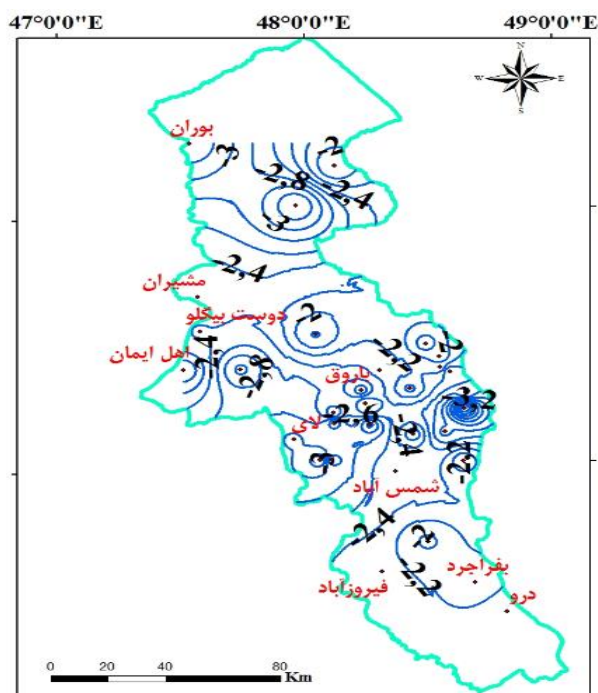
بیش‌ترین تغییر وضعیت‌های رخ داده (تغییر وضعیت از ترسالی به خشک‌سالی) در رودخانه‌هایی با آب‌دهی کم بود و در رودخانه‌هایی با آب‌دهی زیاد، کم‌تر اتفاق افتاد (شکل ۴). تغییر



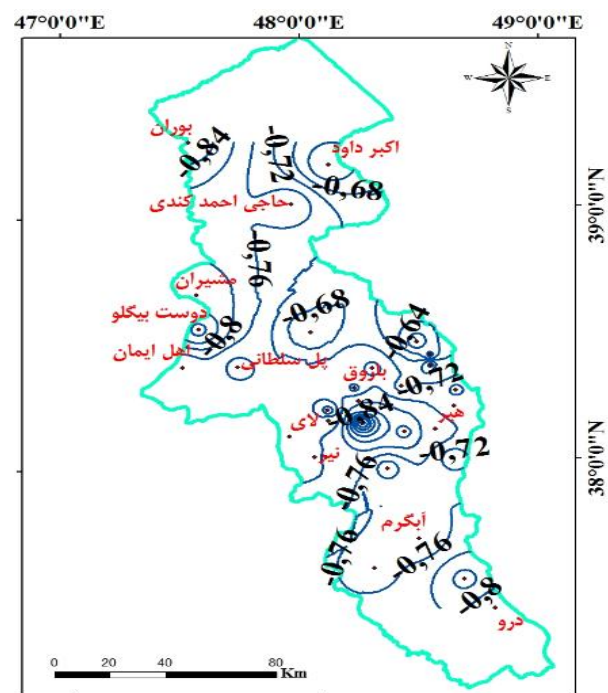
شکل ۵ (ب) - تغییرات مکانی تداوم ماهانه‌ی خشک‌سالی‌های خیلی‌شدید جریان در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل.



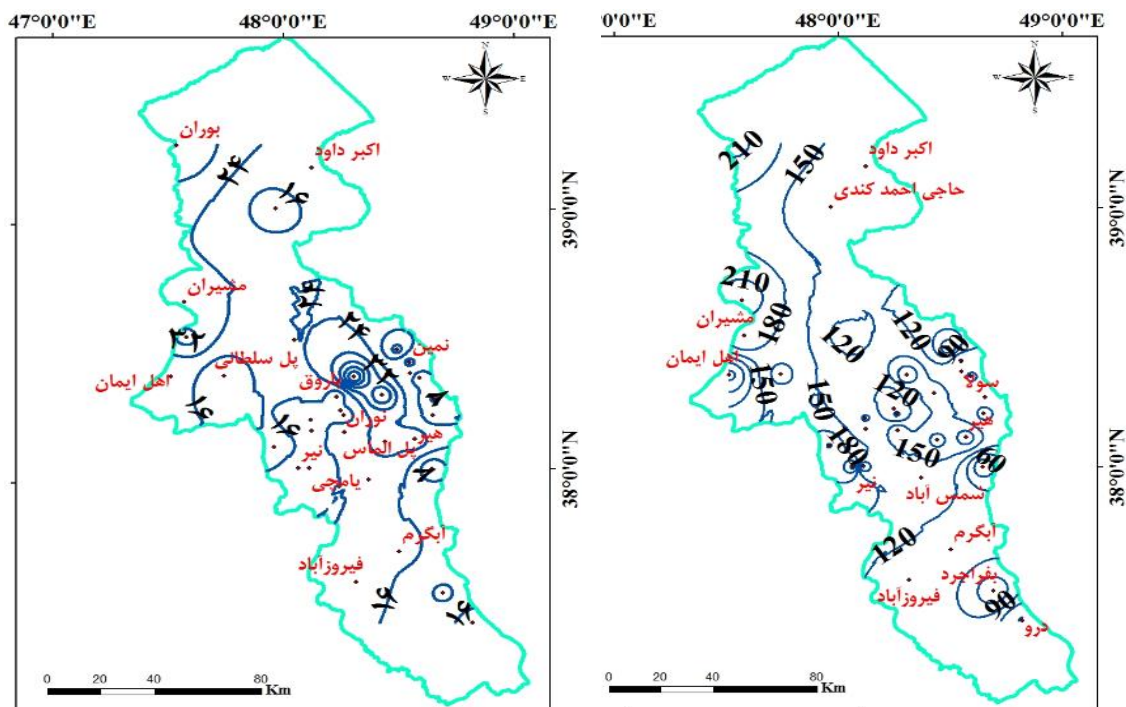
شکل ۵ (الف) - تغییرات مکانی تداوم ماهانه‌ی خشک‌سالی‌های متوسط جریان در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل.



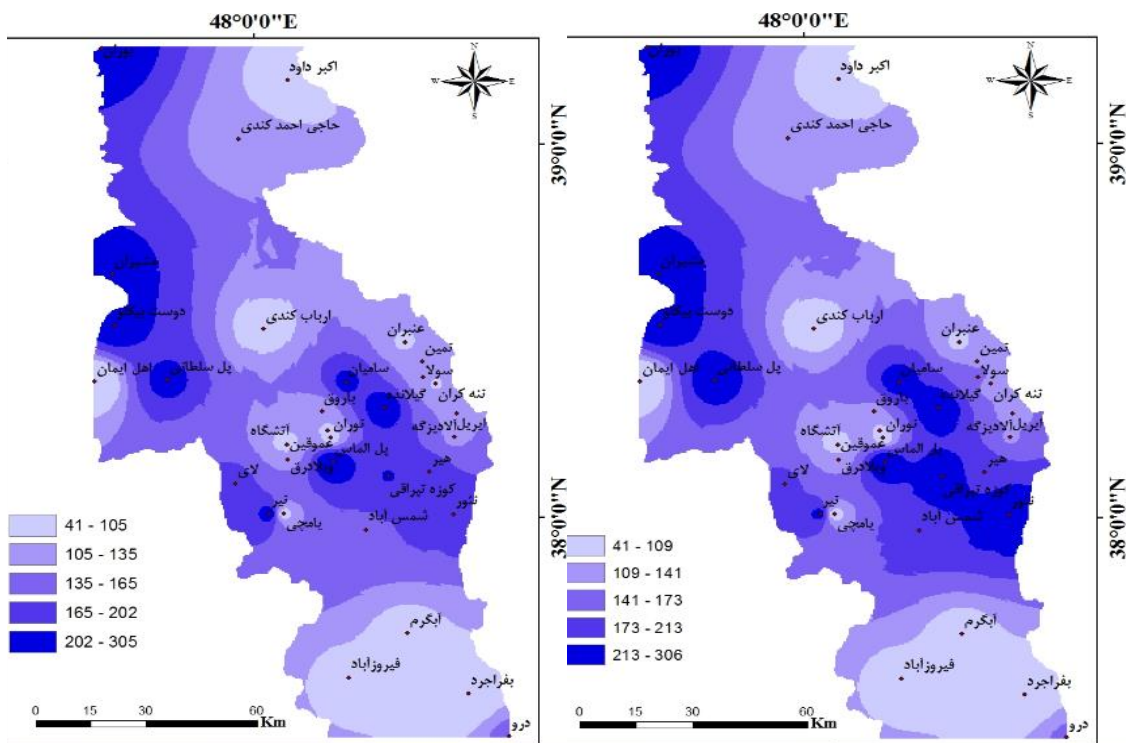
شکل ۶ (ب) - تغییرات مکانی بیشینه‌ی شاخص خشک‌سالی جریان در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل.



شکل ۶ (الف) - تغییرات مکانی متوسط شدت خشک‌سالی جریان در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل.



شکل ۷ الف) - تغییرات مکانی بیشینه‌ی تداوم ماهانه‌ی دوره‌ی خشک جریان ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل. شکل ۷ ب) - تغییرات مکانی تداوم ماه‌های خشک‌سالی جریان در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل.



شکل ۸ الف) - تغییرات مکانی ماه‌های ترسالی در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل. شکل ۸ ب) - تغییرات مکانی تعداد تغییرات ترسالی به خشک‌سالی در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل.

آب‌شناختی در همه‌ی ایستگاه‌های بررسی‌شده‌ی استان مشهود بود. شدیدترین خشک‌سالی در ایستگاه پل الماس مشاهده شد. به‌طور کلی در ۱۴ ایستگاه (آلادیزگه، پل الماس، عنبران، باروق، بوران، دوست‌بیگللو، گیلانده، ایریل، کوزه‌تپراقی، مشیران، نفور، سامیان، شمس‌آباد و سولا) تعداد ماه‌های بی‌خشک‌سالی از تعداد ماه‌های خشک‌سالی بیش‌تر بود، و در ۳ ایستگاه ننه‌کران، نوران و عموقین تعداد ماه‌های بی‌رخ‌داد خشک‌سالی با تعداد ماه‌های خشک‌سالی برابر بود. خشک‌سالی با شدت وقوع خیلی شدید خیلی کمتر از سایر طبقه‌بندی‌ها مشاهده شد و در ۶ ایستگاه (آبگرم، اهل ایمان، عنبران، ارباب‌کندی، گیلانده و نمین) تعداد ماه‌های وقوع خشک‌سالی خیلی شدید صفر بود. یکی از عوامل تغییر در گروه زمانی داده‌های آب‌دهی جریان، اثر ساخت سد‌ها بر رودخانه‌ها است، که در این تحقیق نیز در ایستگاه‌های ایریل و پل‌الماس کاملاً مشهود بود. خشک‌سالی‌های شدید و خیلی شدید در رودخانه‌هایی اتفاق می‌افتد که آب‌دهی‌های آن‌ها کم است، و تداوم خشک‌سالی در رودخانه‌هایی با آب‌دهی جریان کم، بیش‌تر رخ می‌دهد. بیش‌تر ایستگاه‌هایی که در آن‌ها ماه‌هایی با خشک‌سالی شدید است روی رودخانه‌ی اصلی است، که در آن‌ها برداشت آب بیش‌ازحد است، یا از سد تاثیر گرفته است. در ایستگاه‌های بالادست با جریان طبیعی، تعداد ماه‌هایی با خشک‌سالی شدید بسیار اندک است.

در شکل‌های ۵ تا ۷ تغییرات مکانی ویژگی‌های مختلف خشک‌سالی آب‌شناختی بررسی‌شده، بر اساس خط‌های هم‌ارزش رسم، و به‌صورت نقشه آورده شد. خشک‌سالی‌های خیلی شدید در ایستگاه آب‌سنجی پل‌الماس و اطراف آن و خشک‌سالی‌های متوسط در اطراف ایستگاه‌های کوزه‌تپراقی و مشیران اتفاق افتاد (شکل ۵- الف و ب). بیشینه‌ی اندازه‌های شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌یی و بیش‌ترین اندازه‌های متوسط شدت خشک‌سالی به‌ترتیب در ایستگاه‌های ایریل و پل‌الماس مشاهده شد (شکل ۶- الف و ب). بیش‌ترین تعداد تداوم خشک‌سالی در ایستگاه نیر و مشیران ثبت شد. بیشینه‌ی تداوم دوره‌ی خشک در ایستگاه سامیان (۶۲ ماه) بود (شکل ۷- الف و ب). با توجه به درون‌یابی برای دو ویژگی ماه‌های بی‌خشک‌سالی و تعداد تغییرها، بیش‌ترین تعداد ماه‌های ترسالی در ایستگاه آب‌سنجی پل‌الماس بود (شکل ۸- الف و ب).

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که تغییرات عوامل اقلیمی و انسانی می‌تواند بر آب‌دهی رودخانه موثر باشد، بررسی تغییر آب‌دهی رودخانه در طول زمان می‌تواند آثار تغییرکردن یا تغییرنکردن آن در شرایط اقلیمی منطقه را مشخص کند. در این پژوهش خشک‌سالی آب‌شناختی با کاربرد شاخص جریان رودخانه‌یی در ۳۳ ایستگاه آب‌سنجی استان اردبیل بررسی شد. در مجموع می‌توان گفت که خشک‌سالی

- Bagheri R, Mohammadi M. 2012. Investigation on spatial variations of drought using geo-statistics in Kerman province over a 30-year statistical period (1970-200). *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 2(19): 296–283 (In Persian).
- Bayazidi M, Saghafeian B. 2011. Regional analysis of hydrological drought in the South West of Iran. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 5(14): 37–52 (In Persian).
- Ben-Zvi A. 1987. Indices of hydrological drought in Israel. *Journal of Hydrology*. 92(1–2):179–191
- Chang TJ, Cleopa XA. 1998. A proposed method for drought monitoring. *Water Resources Bulletin*. 27(2): 275–281.
- Delpla I, Jung AV, Baures E, Clement M, Thomas O. 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environmental International*. 35(8): 1225–1233.
- Eghtedarneshad M, Bazrafshan O, SadeghiLari A. 2016. Adaptive evaluation of SPI, RDI and SDI indices in analyzing the meteorological and hydrological drought characteristics (Case study: Bam Plain). *Water and Soil Science*. 26(2): 69–81 (In Persian).
- Eslamian SS, Zarei A, Abrishamchi A. 2004. Regional estimation of low flow in Mazandaran Basin. *Journal of Water and Soil Science*. 8(1): 27–37. (In Persian).
- Garberchet J, Van Liew M, Brown GO. 2004. Trends in precipitation, streamflow, and evapotranspiration in the great plains of the United States. *Hydrologic Engineering*. 9(5): 360–367.
- Hao C, Zhang, J, Yao F. 2015. Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 35: 270–283.
- Hasani M, Malekian A, Rahimi M, Samee M, Khamoush MR. 2012. Study of efficiency of various base flow separation methods in arid and semi-arid rivers (Case study: Hablehroud basin). *Arid Biome*. 2(2): 10–22. (In Persian).
- Heim RR. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83: 1149–1165.
- Khedun CP, Chowdhary H, Giardino JR, Mishra A, Singh VP. 2011. Analysis of drought severity and duration based on runoff derived from the Noah Land Surface Model. *Symposium on Data- Driven Approaches to Droughts*. West Lafayette, Indiana, 42 pp.
- Khorooshi S, Mostafazadeh R, Esmali-Ouri A, Raoof M, 2017. Spatiotemporal assessing the hydrologic river health index variations in Ardabil Province watersheds, *Ecology*. 4(2): 393–379. (In Persian).
- Khosravi H, Eskandari Dameneh H, Eskandari Dameneh H, Borji M, Nakhaee Nejadfard, S. 2018. Drought trend assessment in riverheads of Karkheh and Dez basins based on Streamflow Drought Index (SDI). *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 7(2): 45–54 (In Persian).
- Leshnizand M, Parvaneh B, Payamani K, Sepahvand A. 2012. Assessment of the meteorological and hydrological drought adaptation in the Sarab Ali watershed. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 3(1):1–11. (In Persian).
- Maroofi S, Tabari H. 2011. Detection of the process of changes in discharge of Maroun River using parametric and nonparametric methods. *Geographical Research*. 26(2): 125–146. (In Persian).
- Mehri S, Mostafazadeh R, Esmali-ouri, Ghor-

- bani A. 2017. Spatial and temporal variations of base flow index (BFI) for the Ardabil Province River, Iran. *Earth and Space Physics*. 43(3): 623–634. (In Persian).
- Mofidipour N, Sheikh VB, Ownegh M, Sadoddin A. 2012. The analysis of relationship between meteorological and hydrological droughts in Atrak Watershed. *Watershed Management Research*. 3(5): 16–26. (In Persian).
- Mostafazadeh R, Haji Kh, Esmali-Ouri A, Mirzaei Sh. 2019. Estimating the Monthly Flow Deficit during Hydrological Drought Periods in Gorganroud River Basin. *Journal of Watershed Management Research*. 9(18): 190–196 (In Persian).
- Mostafazadeh R, Shahabi M, Zabihi M. 2015. Meteorological drought analysis in Kordestan Province using triple diagram model. *Geographical Planning of Space*. 5(17): 129–140. (In Persian).
- Nalbantis I. 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*. 23(24): 67–77.
- Nalbantis I, Tsakiris G. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*. 23(5): 881–897.
- Shukla S, Wood AW. 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysics Research Letter*. 35(2): 1–8.
- Palmer. 1965. *Meteorological Drought*, Office of Climatology. US Weather Bureau, Research Paper No. 45, Washington DC, 58 p.
- Soleimani-Sardou F, Bahremand A. 2014. Hydrological drought analysis using SDI index in Halilrud Basin of Iran. *International Journal of Environmental Resources Research*. 1(3): 279–288.
- Soltani S, Mehrabi M. 2012. Drought assessment using stream flow drought index (SDI) and the standardized precipitation index (SPI) (case study Dorodzan dam watershed). First National Conference of Desert, International Desert Research Center. Tehran. 17–18 August. (In Persian).
- Soltani S, Saadati SS, 2007. Drought mapping over Isfahan Province using standardized precipitation index (SPI). *Iranian Journal of Watershed Management Sciences and Engineering*. 1(2): 64–67. (In Persian).
- Tabari H, Nikbakht J, Talae PH. 2013. Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water Resources Management*. 27(1): 137–151.
- Tabuzadeh SH, Zarei H, Bazrafshan. 2013. Analysis of severity, duration, frequency and zoning map of meteorological drought of Bakhtegan River basin. *Irrigation Sciences and Engineering*. 38(4): 109–123. (In Persian).
- Tigkas D, Vangelis H, Tsakiris G. 2012. Drought and climate change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment*. 440: 33–41.
- Tigkas D, Vangelis H, Tsakiris G. 2015. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*. 8(3):697–709.
- Vafakhah M, Bashari M, 2012. Probability study of hydrological drought and wet periods occurrence using Markov Chain in Kashafrud Watershed, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1(94): 1–9.
- Van Loon AF, Laaha G. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and Catchment Characteristics. *Journal of Hydrology*. 526: 3–14.
- Yousefi Y, Rourdeh H, Razavi SM. 2011. Spatial and temporal variability of river flow in Mazandaran province. *Geographical Planning of Space*. 1(2): 75–88. (In Persian).



Watershed Management Research

VOL. 32, No. 3, Ser. No: 124, Autumn 2019, pp.21 -36

DOI: 10.22092/wmej.2019.124502.1178

Hydrological Drought Assessment and Analysis of its Characteristic Using the Stream flow Drought Index (SDI) at Hydrometry Stations in the Province of Ardabil

Hamed Amini

M.Sc. Student in Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abazar Esmali Ouri

Associate Professor, Department Natural Resources and member of Water Management Research Institute, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Raof Mostafazadeh*

Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management and member of Water Management Research Institute, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Mearaj Sharari

Assistant Professor, Department Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Mohsen Zabihi

Ph.D Student in Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tarbiat Modares, Iran

*Corresponding Author Email: raofmostafazadeh@yahoo.com

Received: 11 December 2018

Accepted: 18 June 2019

Abstract

Hydrological drought can lead to a decrease in river flow and loss of the river ecosystem quality, which limits human use of the surface water. The stream flow drought index (SDI) has been used to assess the hydrological droughts in 33 hydrometry stations of the Province of Ardabil. The SDI was calculated using the DrinC software; subsequently, characteristics of the hydrological drought were classified and analyzed. The inter-relationship of the different components of hydrological drought with those of the flow rate were also examined. Subsequently, some of the hydrological drought characteristics were interpolated to detect the spatial variations. The results indicated that all of the studied stations experienced drought events. The maximum dry-period was 62 months at the Samian Station. The results of the standard classification of the SDI in 14 stations (Aladizge, Pole-Almas, Anbaran, Baroogh, Boran, Doštbeýglu, Gilandeh, Iril, Koozetopraghi, Mashiran, Neour, Samian, Shamsabad and Sola) indicated that the number of wet-months were larger than that of the dry-months. The severest drought was observed at the Pole-Almas Station (-1.05), while the highest frequency of wet-months had been recorded at the same station. The average intensity of the highest and lowest hydrological drought events at the Pole-Almas and Anbaran Stations were -1.05 and -0.57, respectively. The spatial variations of drought occurrence showed that the stations located in the upstream areas and the Sabalan piedmonts had the lowest drought occurrence in the study area. The severe and severest drought events had been occurred in small rivers with low discharge.

■ **Keywords:** DrinC, drought duration, drought intensity, hydrological drought, stream flow drought index ■