

GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 13 (51), Autumn 2024 https://sanad.iau.ir/journal/ges ISSN: 2008-7845 Doi: 10.71740/ges.2024.979123
-----	---

Research Paper

Received: 07 January 2024

Revised: 11 April 2024

Accepted: 19 June 2024

Urban Development and the Characteristics of Short and Medium-Term Hydrological Drought in the Samian Watershed of Ardabil Province

Hadi Izadifard¹, Saeed Rasinezami^{*2}, Raoof Mostafazadeh³, Hasan Khavarian⁴

1. M.Sc. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (Corresponding author)
Email: rasinezami@uma.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Natural Resources and Member of Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Abstract

Hydrological drought is affected by many factors and is quantified using SDI index. The purpose of this research is to evaluate the urban development with satellite images between 1992 and 2016 and to evaluate its effect on the characteristics of hydrological drought events in the Samian area of Ardabil province. Land use change assessment shows that the agricultural and residential areas have been increased. Examination of the one-month SDI index in all stations shows an increase in droughts in different periods. The highest number of dry months is related to the last period (2017-2008) of Samian station for 80 months. The highest increase in the number of dry months is related to Gilande station, which has increased from 1 month in the first period to 66 months in the last period. The study of the quarterly SDI index in all stations except Atashghah station shows the increase of drought in different periods. The highest increase in the number of dry quarters is related to Gilande station, which has increased from zero in the first period to 36 in the last period. Despite the increase in rainfall during the period and the presence of wet climatic months, as well as the relative increase in temperature in the region and due to increased agricultural use and residential areas that have increased the harvest of surface water, the number of dry months in the region has increased.

Keywords: Hydrological drought, SDI Index, DrinC software, Samian Watershed.

Citation: Izadifard, H., Rasinezami, S., Mostafazadeh, R., Khavarian, H. (2024), Urban Development and the Characteristics of Short and Medium-Term Hydrological Drought in the Samian Watershed of Ardabil Province. Journal of Geography and Environmental Studies, 13 (51), 46-60. Doi: 10.71740/ges.2024.979123

Copyrights: Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



توسعه شهری و ویژگی‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک کوتاه و میان‌مدت در حوضه سامیان استان اردبیل

هادی ایزدی‌فرد^۱، سعید راثی‌نظامی^{۲*}، رئوف مصطفی‌زاده^۳، حسن خاوریان^۴

۱. کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳. دانشیار، گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴. استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

خشک‌سالی هیدرولوژیک از عوامل متعددی تأثیر می‌پذیرد و برای کمی‌نمودن آن از شاخص SDI استفاده می‌شود. هدف این پژوهش ارزیابی توسعه شهری با تصاویر ماهواره‌ای در فاصله سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۱۶ و ارزیابی خشک‌سالی هیدرولوژیک در محدود حوضه سامیان اردبیل استفاده شده است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که کاربری‌های اراضی کشاورزی و مسکونی افزایش یافته است. بررسی شاخص SDI یک ماهه در همه ایستگاه‌ها نشان‌دهنده افزایش خشک‌سالی در دوره‌های مختلف است. بیش‌ترین تعداد ماه‌های خشک مربوط به دوره آخر (۱۳۸۷-۱۳۹۶) ایستگاه سامیان است. بیش‌ترین افزایش تعداد ماه‌های خشک مربوط به ایستگاه گیلانده است که از ۱ ماه در دوره اول به ۶۶ ماه در دوره آخر رسیده است. تعداد ماه‌های خشک ایستگاه سامیان در دوره اول مطالعاتی (۱۳۶۹-۱۳۷۸) از ۱۹ ماه به ۸۰ ماه در دوره مطالعاتی آخر افزایش یافته است. بررسی شاخص SDI سه ماهه در همه ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه آتشگاه نشان‌دهنده افزایش خشک‌سالی هیدرولوژیک در دوره‌های مختلف است. بیش‌ترین افزایش تعداد سه ماه‌های خشک مربوط به ایستگاه گیلانده است که از صفر در دوره اول به ۳۶ در دوره آخر رسیده است. به‌رغم افزایش مقدار بارندگی در طول دوره و وجود ماه‌های تر سالی اقلیمی هم‌چنین افزایش نسبی دمای در منطقه و با توجه به افزایش کاربری کشاورزی و مناطق مسکونی که باعث افزایش برداشت از آب‌های سطحی شده است، تعداد ماه‌های خشک در منطقه افزایش پیدا کرده است.

کلمات کلیدی: خشک‌سالی هیدرولوژیک، شاخص SDI، نرم افزار DRINC، حوضه آبخیز سامیان.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

نویسنده مسئول: سعید راثی‌نظامی، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. rasinezami@uma.ac.ir

مقدمه

توسعه شهری به فرآیند گسترش و پیشرفت مناطق شهری از نظر ساختارهای فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی اشاره دارد که معمولاً در اثر افزایش جمعیت و توسعه زیرساخت‌ها بر کمیت و کیفیت آب تأثیر می‌گذارد (Hassanalipour et al. 2022). این توسعه می‌تواند بر منابع آب و محیط زیست تأثیر بگذارد، به ویژه در شرایط خشک‌سالی هیدرولوژیک که با توسعه مناطق نفوذناپذیر، کاهش تغذیه و کاهش سطح آب زیرزمینی را به همراه دارد (Zhang et al. 2019; ul Haq et al. 2021). خشک‌سالی هیدرولوژیک کوتاه‌مدت معمولاً چند ماه تا یک سال طول می‌کشد و بر تأمین آب شهری تأثیر مستقیم می‌گذارد، در حالی که خشک‌سالی میان‌مدت ممکن است چندین سال ادامه یابد و باعث کاهش ذخایر آبی بلندمدت شود. توسعه شهری ناپایدار می‌تواند با افزایش مصرف آب و کاهش نفوذپذیری خاک، اثرات خشک‌سالی را تشدید کند. بنابراین، برنامه‌ریزی شهری باید با مدیریت پایدار عرصه‌های فضای سبز و نیز سازگاری با شرایط خشک‌سالی همراه باشد (Alaei et al. 2024). خشک‌سالی به معنای بارش کم‌تر از بارش متوسط سالانه و توزیع ناهمگون بارندگی در منطقه است که با مفهوم خشکی تفاوت دارد. در واقع خشکی پدیده غالب با حاکم بودن شرایط آب و هوایی خشک در منطقه در طول سالیان متمادی است ولی خشک‌سالی انحراف از شرایط متوسط و عادی در زمینه بارش برای مدتی در منطقه است. حال این که منطقه می‌تواند دارای آب و هوای خشک باشد یا مرطوب. خشکی در حقیقت همان خشکی آب و هوا در مناطقی است که میانگین بارش سالانه و آب قابل دسترس در منطقه همیشه کم باشد و در مناطقی مشاهده می‌شود که متوسط بارش سالانه کم‌تر از میزان تبخیر و تعرق منطقه باشد و بارندگی در تمام ماه‌های سال اتفاق نیافتد (حسینی، ۱۳۹۵). پژوهش‌های خشک‌سالی در چهار طبقه عمده خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی بررسی می‌شود (Van Loon and Laaha, 2015). در این بین، سه مورد اول شامل روش‌های اندازه‌گیری خشک‌سالی به‌عنوان یک پدیده فیزیکی است در حالی که در مورد آخر شامل ردیابی کمبود آب و اثرات تأمین آن از طریق سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی است. نکته مهم در میان این تعریف‌ها، اهمیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی به‌دلیل وابستگی زیاد آن به فرایندهایی مانند تأثیر آبرسانی شهری و تولید برق از منابع آبی سطحی است. برای نظارت بر خشک‌سالی، شاخص‌های مختلف خشک‌سالی به‌عنوان روشی کمی برای تعیین وقایع خشک‌سالی ارائه شده که با استفاده از متغیرهای هیدرولوژیکی تهیه می‌شوند. در واقع ساده‌ترین روش برای نظارت بر شرایط خشک‌سالی، همین شاخص‌ها هستند زیرا مقدار این شاخص‌ها میزان شدت خشک‌سالی را نشان می‌دهند (Tabari et al. 2013). مشابه با شرایط خشک‌سالی، شاخص‌های مربوط به خشک‌سالی مانند بارندگی، جریان هوا، ذخیره مخزن، رطوبت خاک و آب‌های زیرزمینی، بر اساس مجموعه داده‌های فیزیکی مورد استفاده قرار گرفته و به‌عنوان شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی طبقه‌بندی می‌شوند (Wable et al. 2019). شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای (SDI^1) با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و کاربردهایش، توسط شوکلا و وود توسعه یافته است. از آنجایی که رودخانه‌ها در مناطق خشک اغلب فصلی بوده و در اکثر مواقع سال خشک هستند، فعالیت‌های کشاورزی در اکثر این مناطق وابسته به استفاده از منابع آب زیرزمینی است و در نتیجه کاربرد شاخصی که بر مبنای جریان سطحی باشد چندان مناسب نیست. لازم است در کنار این شاخص از شاخصی استفاده شود که منابع آب زیرزمینی را لحاظ کند تا بدین صورت نوسانات سفره‌های آب زیرزمینی مورد بررسی واقع شود (Mendicino et al. 2008). کمبود جریان‌ات آب ارتباط مستقیم با خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه دارد و عمدتاً ناشی از اختلالات هواشناسی و فعالیت‌های انسانی در حوضه‌ها است. خشک‌سالی اثرات منفی را بر تأمین آب پایدار هیدرولوژیکی و کشاورزی می‌گذارد (امینی و همکاران، ۱۳۹۸). شاخص دیگر که توسط

ویسته-سرانو و همکاران پیشنهاد شده است، شاخص استاندارد جریان (SSI^1) است و شامل روشی برای تعیین انواع توابع توزیع احتمال (PDF^2) برای هر مقیاس زمانی به منظور ایجاد تضاد رژیم‌های هیدرولوژیکی و ویژگی‌های آن است. برخلاف رویه‌های محاسباتی، (Nalbantis and Tsakiris, 2009) شاخص خشک‌سالی جریان (SDI) را برای پیش‌بینی شروع و مدت زمان خشک‌سالی با استفاده از حجم‌های تجمعی جریان محاسبه کردند. شاخص‌های خشک‌سالی مقادیر کمی وضعیت را ارائه می‌دهد و درکی از توسعه یافتگی یا به اصطلاح گسترش خشک‌سالی در منطقه ندارد (جهانگیر و همکاران، ۱۴۰۰). مطالعات زیادی در نقاط مختلف جهان با استفاده از شاخص SDI بر روی حوضه‌های مختلف انجام شده است. نتیجه اصلی این مطالعات این است که پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی غالباً تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی قرار گرفته‌اند. توصیه می‌شود در ارزیابی شاخص‌های خشک‌سالی، مجموعه داده‌ها با کیفیت بالا حداقل برای یک دوره ۲۵ ساله در محاسبات به دلیل در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های نمونه‌گیری مورد استفاده قرار گیرند (Montano et al. 2015). مطالعات در مورد خشک‌سالی هیدرولوژیکی عمدتاً با استفاده از مجموعه داده‌های تحت شرایط طبیعی انجام شده است. با این حال ساخت سازه‌هایی هم‌چون سدها، سرریزها، تغییر الگوهای زهکشی در حوضه و استخراج آب از منابع آب و رژیم‌های طبیعی جریان در حوضه‌ها قادر به تغییر ویژگی‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی هستند (Li et al. 2013).

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

کاربری اراضی را می‌توان به عنوان عامل تغییردهنده بیش‌تر فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس‌های مکانی و زمانی در نظر گرفت (Cho et al. 2009). حوضه‌های رودخانه‌ها به دلیل آن که همواره میزان کمیت و کیفیت آب عبوری در آن‌ها وابسته به تغییرات انجام شده در منطقه است، بهترین مناطق برای انجام بررسی بر روی کاربری اراضی هستند. در صد سال گذشته و در اثر گرمایش جهانی، دمای زمین بیش از ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته که نرخ افزایش آن در ۲۵ سال گذشته در حدود ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد در هر دهه بوده است (Grover, 2015) و پیش‌بینی می‌شود تا پایان قرن ۲۱ دمای هوا در سطح جهانی از ۱/۸۱ به ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Wang et al. 2009). این افزایش دمای کره زمین و تغییر اقلیم سبب افزایش بخار آب در جو زمین شده است. هم‌چنین تغییر الگوهای آب و هوایی، منجر به تغییر در فراوانی و شدت بارش و در نتیجه تأثیرات شدید در چرخه هیدرولوژیکی گردیده است (Zuo et al. 2016). با افزایش درجه حرارت هوا، ظرفیت بخار آب موجود در هوا بیش‌تر شده که باعث می‌شود گرمایش جهانی بیش‌تر تشدید پیدا کند (Van oldenborgh et al. 2013). تحقیقات ثابت کرده است که تغییرات مقادیر بارش در تمامی کره زمین به صورت یکنواخت نخواهد بود، یعنی به عبارتی تأثیر تغییر اقلیم در دسترسی به آب در مناطق مختلف متفاوت خواهد بود. این بدان معنا است که در برخی مناطق با کاهش بارندگی، فشار بر تامین منابع آبی بیش‌تر خواهد شد و در مناطق دیگر با افزایش بارش‌ها و بالا آمدن سطح آب دریا منطقه با خطر سیلاب و به زیر آب رفتن مواجه خواهد شد (Grover, 2015). بر اساس گزارش‌های IPCC³، افزایش خشک‌سالی در عرض‌های پایین و میانی کره زمین در تابستان بسیار محتمل‌تر است (پور علی حسین و مساح‌بوانی، ۱۳۹۴). هم‌چنین با توجه به رابطه نزدیک بین دبی رودخانه و کیفیت آب رودخانه نیز می‌تواند در یک دوره پس از خشک‌سالی کاهش یابد (Yevenes et al. 2018). در کل می‌توان نتیجه گرفت خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها با دوره‌های کم آبی و پر آبی تأثیرات مهمی در کیفیت منابع آب دارند به‌صورتی که در مواقع خشک‌سالی و کم آبی، غلظت املاح مختلف افزایش یافته و در نتیجه کیفیت آب با کاهش همراه خواهد بود و در مواقع ترسالی

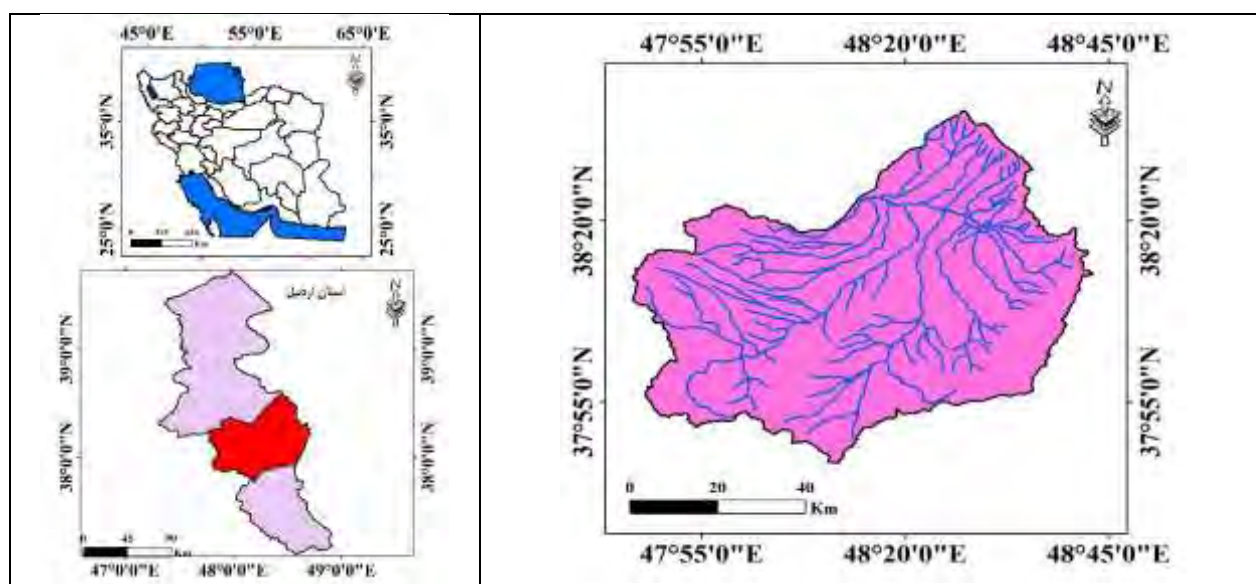
1. Standardized Streamflow Index
2. Probability Distribution Functions
3. Intergovernmental Panel on Climate Change

و پر آبی، غلظت املاح موثر در کیفیت آب کاهش یافته و افزایش کیفیت منابع آبی را در پی خواهد داشت (پیرنیا و همکاران، ۱۳۹۶). در واقع رشد جمعیت، محدود بودن منابع و برهم خوردن تعادل اکولوژیکی در اثر بهره برداری بی رویه انسان باعث بروز مشکلاتی در محیط زیست شده است. در نتیجه می توان گفت که تغییرات اقلیمی و فعالیت های انسانی، فاکتورهای در هم تنیده در سیستم اکولوژیکی در حوضه های آبخیز بزرگ هستند (Li et al. 2018). با این که تحقیقات فراوانی در مورد تاثیرات تغییرات آب و هوایی بر آب قابل دسترس انجام شده است ولی به دلیل وجود عدم قطعیت نمی توان به این نتیجه رسید که آیا این تغییرات سبب افزایش آب قابل دسترس باشد یا کاهش آن. با این حال، شواهد حاکی از آن است که این تغییرات در مناطق مختلف متفاوت بوده است. به این صورت که بر اساس مدل های اقلیم جهانی، آب در دسترس و میانگین رواناب رودخانه ها در عرض های جغرافیایی بالاتر افزایش خواهد یافت در حالی که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان با کاهش مواجه خواهد شد (Singh et al. 2014). طبق تحقیقات انجام شده توسط (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵) در شمال شرق ایران بر روی تغییرات تبخیر و تعرق، مقادیر تبخیر و تعرق با توجه به عرض جغرافیایی متغیر است. این نکته به صورتی است که در مناطق شمالی استان خراسان رضوی، مقادیر تغییرات تبخیر و تعرق با کاهش مواجه شده است. جهانگیر و همکاران (۱۳۹۸) شاخص SDI را برای ۱۰ ایستگاه هیدرومتری در یک دوره ۳۱ ساله (۱۳۶۰-۱۳۹۰) در استان کرمانشاه به دست آوردند. نتایج نشان داد که ترسالی در منطقه از سال ۱۳۶۳ شروع و سال ۱۳۷۷ به پایان می رسد و بعد از آن به مدت ۱۳ سال تا سال ۱۳۹۰ خشک سالی در منطقه حاکم بوده است. امینی و همکاران (۱۳۹۸) از داده های ۳۳ ایستگاه آب سنجی استان اردبیل برای ارزیابی شاخص SDI در یک دوره ۴۰ ساله (۱۳۹۲-۱۳۵۳) استفاده کردند. بیشترین و کمترین خشک سالی هیدرولوژیکی در ایستگاه پل الماس و عنبران بود. هم چنین تغییرات ماهانه خشک سالی نشان داد که کمترین وقوع خشک سالی جریان در ایستگاه های بالادست و دامنه های سبلان بود. داودی و نییونی، (۱۳۹۹) در پژوهشی تاثیر سد کرخه بر خشک سالی در منطقه را بررسی کردند. برای انجام این پژوهش داده های آماری ۱۴ ایستگاه هیدرومتری و ۱۹ ایستگاه باران سنجی را در یک دوره ۳۰ ساله مورد استفاده قرار دادند و شاخص های SDI و SPI برای منطقه را به دست آوردند. نتایج پژوهش نشان داد در حالی که قبل از احداث سد خشک سالی های هیدرولوژیکی بالادست سد بیش تر بوده است ولی با احداث سد بزرگی و تداوم خشک سالی ها در پایین دست سد بیش تر شده که نشان دهنده تاثیر منفی سد بر منطقه بوده است. جوان (۱۳۹۹) روند خشک سالی هیدرولوژیکی بلند مدت را در حوزه دریاچه ارومیه با استفاده از داده های ۳۲ سال در ۸ ایستگاه مورد بررسی قرار داده است که در ۵ ایستگاه روند کاهشی معنی دار وجود دارد. هم چنین جان بزرگی و همکاران (۱۴۰۰) میزان شدت، مدت و وسعت خشک سالی را برای استان گیلان با به دست آوردن شاخص های SDI و SPI بوسیله داده های ماهانه و متوسط بارندگی سالانه ۱۷ ایستگاه بررسی کردند. نتایج حاصل از پهنه بندی شدت خشک سالی طی دوره آماری مورد مطالعه نشان داد منطقه رو به ترسالی است ولی در دوره های ۶، ۹ و ۱۲ ماهه اکثر شهرهای استان گیلان رو به وضعیت نرمال بوده است. زینالی و فرید پور، (۱۴۰۰) برای محاسبه شاخص های SDI و SPI در ۵ مقیاس زمانی از داده های مربوط به ۲۲ ایستگاه باران سنجی و ۱۴ ایستگاه هیدرومتری در طول یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۵) و هم چنین تصاویر ماهواره ای ۱۵ ساله استفاده کردند. نتایج سری های زمانی نشان داد که خشک سالی های (۲۰۰۱-۲۰۰۶، ۲۰۰۵-۲۰۰۸، ۲۰۰۷-۲۰۱۳ و ۲۰۱۴-۲۰۱۶) به صورت فراگیر اتفاق افتاده است. به طوری که بیشترین پهنه های درگیر خشک سالی مربوط به نواحی شمال و شمال شرق حوضه (ایستگاه های نمین و ابرکوه) بوده است. کاظمی و همکاران (۱۴۰۱) برای ارزیابی و تحلیل پاسخ هیدرولوژیک حوضه به وقوع خشک سالی ها، دوره ای ۳۵ ساله ۱۳۶۱-۱۳۹۵ در ۵ ایستگاه هیدرومتری در حوضه کشکان در نظر گرفتند. سپس شاخص های SDI و SPI برای ۵ مقیاس زمانی به دست آوردند. در

انتها روابط متقابل همبستگی SPI و SDI، نشان داد که در بیش تر مدت زمان دوره مطالعه وضعیت خشکسالی هواشناسی در حالت نرمال بوده است. Khosravi و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی روند خشکسالی در حوزه دو رود کرخه و دز در استان لرستان با استفاده از شاخص SDI داده‌های آبدهی ماهانه ۲۱ ایستگاه آب‌سنجی در دوره ۱۹۷۵-۲۰۱۱ را به کار برد. نتایج با به کار بردن روش من-کندال و شیب خط سن نشان گر بیش ترین میزان خشکسالی هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های مارابار، تایر و مرمر در حوزه دز و ایستگاه‌های دواب، هورو و سنگ سیاب در حوزه کرخه بود. (Nalbantis, 2008) برای ارزیابی شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه‌های دو رودخانه در غرب و شرق یونان را با استفاده از شاخص جریان رودخانه‌ای مورد بررسی قرار داد. این شاخص به خوبی توانست ۳ خشکسالی اتفاق افتاده در منطقه را توجیه کند. در پژوهشی Malik و همکاران (۲۰۲۱) شرایط خشکسالی را در حوضه رامگانگا در کشور هند با شاخص SDI مورد بررسی قرار دادند. برای این کار آن‌ها ۶ مقیاس زمانی را برای شاخص SDI به دست آوردند. نتایج تحقیق برای بازه ۳۳ ساله از ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۷ در ایستگاه‌های Naula و Kedar نشان‌دهنده تغییر شرایط نرمال و وقوع خشکسالی به مقدار ۷۰ درصد در ایستگاه Naula و ۶۹ درصد در ایستگاه Kedar در دو ایستگاه مهم حوضه بوده است. در مطالعه‌ای دیگری، Abro و همکاران (۲۰۲۲) روی حوضه Qinhuai در کشور چین شاخص‌های خشکسالی SPI، RDI و SDI را به دست آوردند. آن‌ها با بررسی این تحلیل‌ها به این نتیجه رسیدند که ۱۹۹۳ و ۲۰۱۳ سال‌های خشکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده است. Boonrawd و همکاران (۲۰۲۳) وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی را در منطقه لامپائو با استفاده از شاخص SDI مورد بررسی قرار دادند. برای این کار آن‌ها ۴ مقیاس زمانی SDI را به دست آوردند. نتایج تحلیل ایستگاه‌های انتخاب شده نشان داد که درصد ماه‌هایی که در آن‌ها خشکسالی شدید رخ داده است بین ۴۰/۲ و ۴۸/۱ درصد بوده، همچنین درصد ماه‌هایی که در آن‌ها خشکسالی خفیف رخ داده است بین ۲۲/۸ تا ۳۴/۹ درصد بوده است. با توجه با این که پژوهش‌های منطقه‌ای برای شناخت و آگاهی بهتر از وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی لازم است، هدف پژوهش حاضر بررسی روند خشکسالی حوزه آبخیز سامیان است.

مواد و روش تحقیق

حوزه آبخیز سامیان در قسمت مرکزی استان اردبیل پایین تر از دشت مغان با مساحت ۳۹۰۶/۳۶۹ کیلومتر مربع شامل شهرستان‌های اردبیل، نیر، نمین و سرعین قرار گرفته است. ارتفاع حداکثر این منطقه حدود ۴۴۰۰ متر و ارتفاع متوسط این منطقه ۱۷۴۳/۰۷ متر از سطح دریای آزاد و بیش ترین گستره آب و هوایی در منطقه مورد مطالعه، اقلیم نیمه خشک و پس از آن اقلیم مدیترانه‌ای است. بیش ترین سطوح اراضی کشاورزی (دیم و آبی) نیز در این دو اقلیم مشاهده می شود. این حوضه دارای سه رودخانه اصلی است. رودخانه بالیخلوچای از بارش باران، ذوب برف‌ها و چشمه‌های موجود در دامنه سبلان سرچشمه می گیرد. این رود پس از عبور از وسط شهر اردبیل در محل روستای انزاب پایین در نزدیکی روستای سامیان به رودخانه قره‌سو می ریزد. لازم به ذکر است که رودخانه قره‌سو از دامنه غربی کوه‌های تالش سرچشمه می گیرد و سرشاخه اصلی آن شامل رودخانه‌های بالیخلوچای، قره‌سو و سقزچی چای است که در جهت شمال غربی و پس از عبور از دشت اردبیل از حوضه خارج شده و در محدوده شهرستان اصلاندوز به رود ارس می ریزد (فتائی و محمدی، ۱۳۹۷). متوسط بارش سالانه در حوضه ۳۱۲ میلی متر و میانگین دمای سالانه ۸ درجه سانتی گراد است (مهری و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده های مورد استفاده

در این پژوهش از تصاویر ماهواره های لندست ۵ و ۸ برای سال های ۱۹۹۲ و ۲۰۱۶ استفاده شده است. این تصاویر از سایت زمین شناسی آمریکا دریافت شده و از تفکیک طیفی بالایی برخوردار هستند و برای تهیه نقشه های تغییرات کاربری اراضی بسیار مناسب هستند. در این پژوهش داده های ایستگاه های هیدرومتری حوضه مربوط به ۵ ایستگاه جمع آوری شده است. داده های هیدرومتری مربوط به سال های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۵ است که از سازمان آب منطقه ای استان اردبیل تهیه شده است. در جدول (۱) نقاط نمونه برداری حوضه بر اساس سیستم متریک UTM مشخص شده است.

جدول (۱): ایستگاه های هیدرومتری دارای آمار دبی روزانه مورد استفاده در این پژوهش

نام ایستگاه	کد ایستگاه	نام رودخانه	UTMX	UTMY
سامیان	۱۹۱۰۱	قره سو	۳۹۲۵۹۴۹۷	۴۲۵۱۶۰۲
آلادیزگه	۱۹۱۴۹	قره سو	۳۹۲۸۹۱۷۲	۴۲۳۹۹۹۳
نیر	۱۹۰۵۱	نیر چای	۳۸۷۶۲۷۶۴	۴۲۱۳۷۹۹
آتشگاه	۱۹۱۴۴	نوران چای	۳۹۲۸۹۱۷۲	۴۲۳۹۹۹۳
گیلانده	۱۹۰۵۵	بالیخو چای	۳۹۲۶۹۳۳۷	۴۲۴۳۲۰۷

در تحلیل وضعیت تغییرات دبی جریان از داده های بارش ماهانه حوضه نیز در ۳۲ ایستگاه استفاده شده است. برای به دست آوردن SDI اگر سری های زمانی جریان رودخانه ای (Qij) موجود باشد، و i سال هیدرولوژیکی و j ماه مربوط به سال باشد، می توان از رابطه (۱) استفاده نمود:

$$v_{ik} = \sum_{j=1} Q_{ij} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots$$

$$j = 1, 2, \dots, 12$$

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

که در آن V_{ik} حجم تجمعی جریان‌های رودخانه در سال هیدرولوژیکی i و دوره مبنای k ماهه است. شاخص SDI نیز از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{ik} - V_k}{sk} \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots$$

$$k = 1, 2, 3, 4$$

که در آن V_k و sk نشان‌دهنده میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریان‌ات تجمعی برای دوره مبنای k خواهد بود (امینی و همکاران، ۱۳۹۸). شدت‌های مختلف خشکسالی با استفاده از جدول ۲ به دست خواهند آمد.

جدول ۲- حالت‌های مختلف خشکسالی در روش SDI

طبقه بندی	مقدار شاخص SDI
نرمال	$SDI \geq 0$
خشکسالی ملایم	$0 > SDI \geq -1$
خشکسالی متوسط	$-1 > SDI \geq -1/5$
خشکسالی شدید	$-1/5 > SDI \geq -2$
خشکسالی خیلی شدید	$SDI < -2$

نرم افزار DrinC جهت ارائه یک رابط کاربری مناسب، به منظور محاسبه شاخص‌های خشکسالی جهت تحلیل خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی است. شاخص‌های خشکسالی که در نرم افزار محاسبه می‌شوند شامل شاخص استاندارد شده بارش (SPI)، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI^1)، شاخص خشکسالی جریان رودخانه (SDI)، شاخص استاندارد شده بارش کشاورزی ($aSPI^2$)، شاخص شناسایی موثر خشکسالی ($eRDI^3$) و جابجایی‌های باران (PD^4) است. شاخص‌های گفته شده دارای داده‌های نسبتاً کوچکی هستند که نتایج به دست آمده از آن‌ها را می‌توان در برنامه‌ریزی‌های استراتژیک و کاربردهای عملیاتی استفاده کرد. فرایند محاسبه در نرم افزار DrinC از طریق رابطه کاربری گرافیکی انجام می‌شود. گزینه‌های موجود را می‌توان به منظور متناسب سازی اهداف در نظر گرفته شده، برای تحلیل خشکسالی در هر مورد تنظیم کرد و علاوه بر موارد ذکر شده شامل ابزارهای اضافی مانند برآورده تبخیر و تعرق بالقوه از طریق روش‌های مبتنی بر دما و ارزیابی شاخص خشکی نیز هستند.

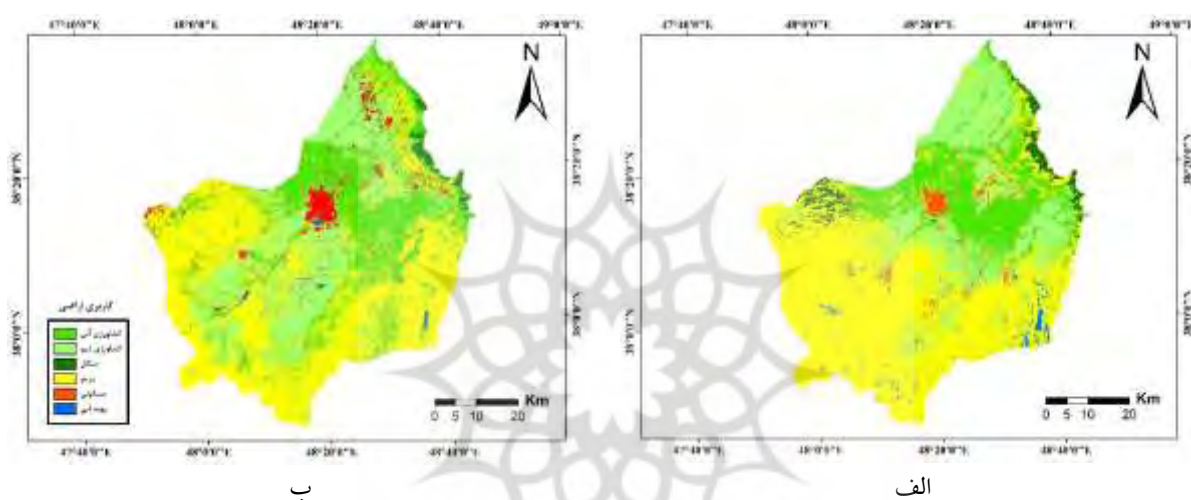
یافته‌های تحقیق

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از طبقه‌بندی نظارت شده و روش حداکثر احتمال استفاده شده است (Talebi Khiavi and Mostafazadeh, 2021). صحت این تصاویر با ضریب کاپا بررسی شده که این ضریب برای سال ۱۹۹۲، ۰/۷۳ و برای سال ۲۰۱۶، ۰/۶۸ است. در سال‌های مورد مطالعه (۱۹۹۲ و ۲۰۱۶)، کاربری مرتع با ۹/۷۵ درصد کاهش بیش‌ترین تغییر را داشته است هم‌چنین کاربری کشاورزی آبی با ۸/۴۵ درصد افزایش، بیش‌ترین افزایش را در میان کاربری‌ها داشته است. کاربری مسکونی ۱/۴۲ درصد و کشاورزی دیم نیز با ۳/۲۹ درصد با افزایش رو به رو بوده است هم‌چنین کاربری جنگل با کاهشی برابر ۲/۲۵ درصد و کاربری پهنه آبی با ۱/۱۶ درصد کاهش روبرو بوده است (جدول ۳). در شکل (۲) نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های مورد مطالعه آورده شده است. شکل نشان می‌دهد که در طول دوره مطالعه بیش‌تر مساحت کاربری مرتع به کاربری کشاورزی آبی و دیم تغییر یافته است.

1. Reconnaissance Drought Index
2. Agricultural Standardised Precipitation Index
3. Effective Reconnaissance Drought Index
4. Precipitation Deciles

جدول (۳): تغییرات مساحت طبقات کاربری اراضی در طول دوره مطالعاتی

درصد تغییر	مساحت ۲۰۱۶ (km ²)	مساحت ۱۹۹۲ (km ²)	طبقات کاربری
+۸/۴۵	۸۸۶/۸۶	۵۵۶/۹۳	کشاورزی آبی
+۳/۲۹	۱۰۶۵/۸۱	۹۳۷/۵۰	کشاورزی دیم
-۲/۲۵	۳۸/۱۱	۱۲۶/۰۶	جنگل
-۹/۷۵	۱۷۶۵/۷۳	۲۱۴۶/۰۳	مرتع
+۱/۴۲	۱۴۲/۵۶	۸۶/۸۰	مسکونی
-۱/۱۶	۷/۲۹	۵۳/۰۴	پهنه آبی
-	۳۹۰۶/۳۶۹		جمع

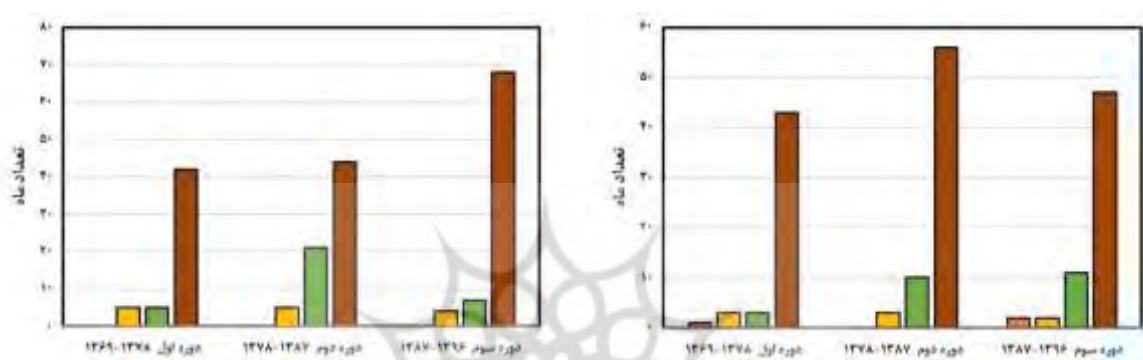


شکل (۲): نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (الف) ۱۹۹۲ (ب) ۲۰۱۶

برای بررسی وضعیت خشک‌سالی، دبی ایستگاه‌ها به دوره‌های مساوی ۹ ساله تقسیم شده هر دوره با استفاده از نمودار میله‌ای با دوره‌های دیگر مقایسه شده است. مقدار عددی شاخص SDI یک ماهه در ایستگاه‌ها بیانگر خشک‌سالی هیدرولوژیکی کوتاه مدت است. بررسی شاخص SDI یک ماهه در همه ایستگاه‌ها نشان‌دهنده افزایش انواع خشک‌سالی در دوره‌های مختلف است. افزایش ماه‌های خشک‌سالی ناشی از کاهش دبی در همه ایستگاه‌ها است. بیش‌ترین تعداد ماه‌های خشک مربوط به دوره آخر (۱۳۸۷-۱۳۹۶) ایستگاه سامیان به مدت ۸۰ ماه است. تعداد ماه‌های خشک ایستگاه سامیان در دوره اول مطالعاتی (۱۳۷۸-۱۳۶۹) از ۱۹ ماه به ۸۰ ماه در دوره مطالعاتی آخر افزایش یافته است. بیش‌ترین افزایش تعداد ماه‌های خشک مربوط به ایستگاه گیلانده است که از ۱ ماه در دوره اول به ۶۶ ماه در دوره آخر رسیده است. در بین ایستگاه‌ها کم‌ترین تفاوت بین تعداد ماه‌های خشک مربوط به ایستگاه آتشگاه با ۶ ماه تفاوت است. دو ایستگاه نیر و ایستگاه آلاذیزگه در دوره دوم بیش‌ترین تعداد ثبت شده ماه‌های خشک را دارند که تعداد این ماه‌ها در دوره آخر نسبت به دوره دوم کاهش یافته است. در جدول ۴ و شکل ۳ به تفکیک تعداد ماه‌های خشک ایستگاه‌ها آورده شده است.

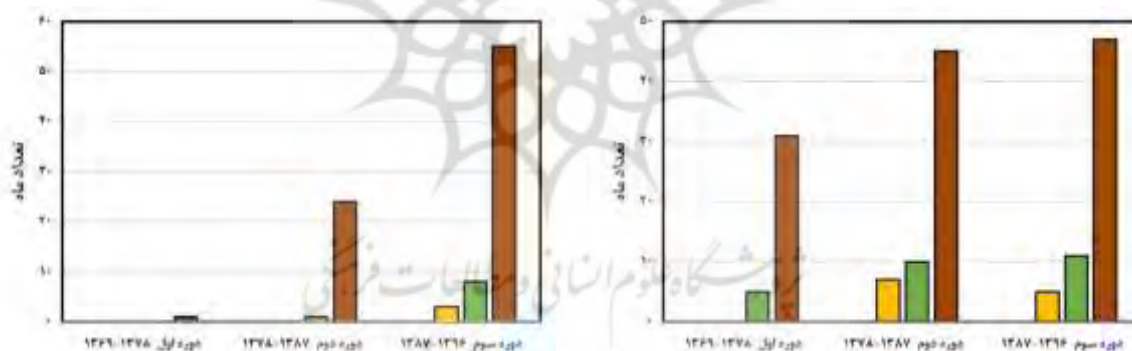
جدول (۴): تعداد ماه‌های خشک سالی هیدرولوژیکی کوتاه مدت در حوضه

ایستگاه آلودیزگه	ایستگاه آتشگاه	ایستگاه سامیان	ایستگاه گیلانده	ایستگاه نیر
۶۸ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۴۴ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۴۲ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۴۷ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵۶ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۷ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۲۱ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۴ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۱ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۴ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۳ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۷۹ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۷۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵۲ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵۲ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵۶ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۸۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵۲ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۹ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۶۶ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۲۵ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۱ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۷ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۲۱ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۴ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۱ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۰ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۴ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۳ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱ ۱۳۸۷-۱۳۹۶
۶۸ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۴۴ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۴۲ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۴۷ ۱۳۸۷-۱۳۹۶	۵۶ ۱۳۸۷-۱۳۹۶



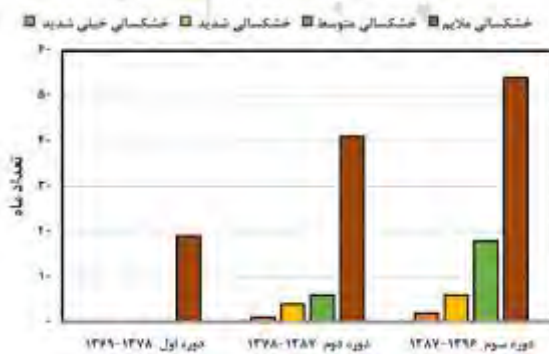
(ب) آلادیزگه

الف) آتشگاه



(د) گیلانده

(ج) فیر



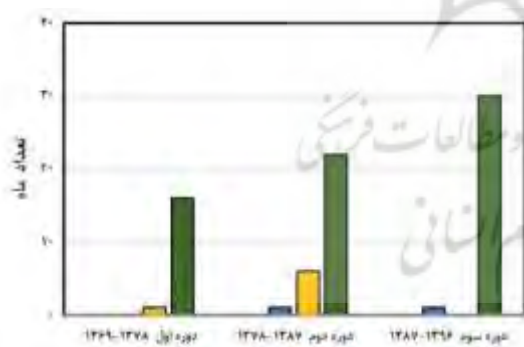
(۵) سامیان

شکل (۳): مقادیر شاخص خشک سالی هیدرولوژیک یک ماهه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

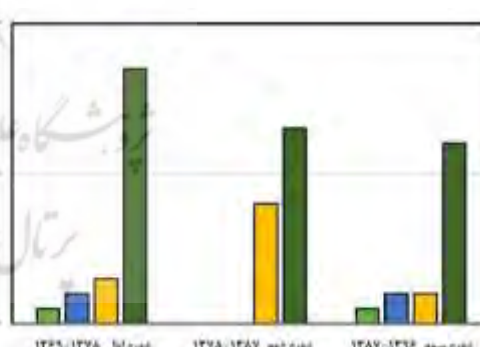
مقدار عددی شاخص SDI سه ماهه در ایستگاه‌ها بیانگر خشک‌سالی هیدرولوژیکی میان‌مدت یا خشک‌سالی کشاورزی در منطقه است. بررسی شاخص SDI سه ماهه در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه آتشگاه نشان‌دهنده افزایش انواع خشک‌سالی در دوره‌های مختلف است. افزایش ماه‌های خشک‌سالی کشاورزی ناشی از کاهش دبی ثبت شده در ایستگاه‌ها است. بیش‌ترین تعداد سه ماه‌های خشک مربوط به دوره آخر (۱۳۸۷-۱۳۹۶) ایستگاه گیلانده با ۳۶ دوره سه ماهه است. تعداد سه ماه‌های خشک ایستگاه سامیان در دوره اول مطالعاتی (۱۳۷۸-۱۳۶۹) از ۵ به ۳۲ در دوره مطالعاتی آخر افزایش یافته است. بیش‌ترین افزایش تعداد سه ماه‌های خشک مربوط به ایستگاه گیلانده است که از صفر در دوره اول به ۳۶ در دوره آخر رسیده است. در ایستگاه آتشگاه تعداد سه ماه‌های خشک از ۲۳ در دوره اول به ۱۶ سه ماهه در دوره آخر کاهش یافته است. دو ایستگاه نیر و آلاذیزگه نیز از نظر تعداد در طول دوره افزایش داشته‌اند. در جدول ۵ و شکل ۴ به تفکیک تعداد سه ماه‌های خشک ایستگاه‌ها آورده شده است.

جدول (۵): تعداد ماه‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی میان‌مدت در حوضه

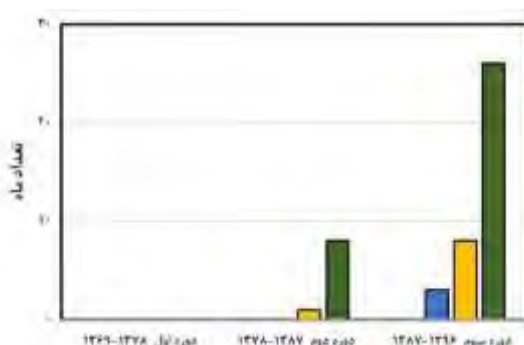
ایستگاه آلاذیزگه	ایستگاه آتشگاه	ایستگاه سامیان	ایستگاه گیلانده	ایستگاه نیر	
۶۹۸۱-۱۳۷۸	۷۸۸۱-۱۳۷۸	۶۹۸۱-۱۳۷۸	۷۸۸۱-۱۳۷۸	۶۹۸۱-۱۳۷۸	
۱۳۷۸-۱۳۸۷	۱۳۷۸-۱۳۸۷	۱۳۷۸-۱۳۸۷	۱۳۷۸-۱۳۸۷	۱۳۷۸-۱۳۸۷	
۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۳۸۷-۱۳۹۶	۱۳۸۷-۱۳۹۶	
۳۰	۲۲	۸	۰	۲۰	خشک‌سالی ملایم
۰	۶	۱	۰	۳	خشک‌سالی متوسط
۱	۱	۰	۰	۰	خشک‌سالی شدید
۱	۱	۰	۰	۰	خشک‌سالی خیلی شدید
۳۲	۳۰	۹	۰	۲۳	جمع



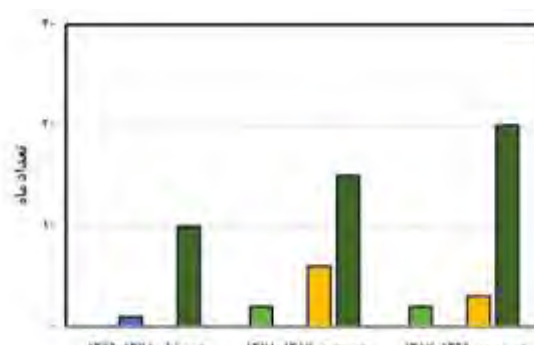
ب) آلاذیزگه



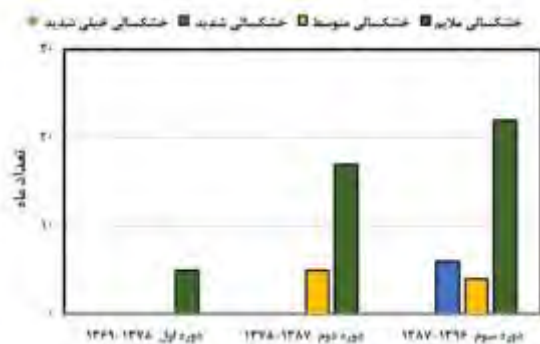
الف) آتشگاه



د) گیلانده



ج) نیر



(۵) سامیان

شکل (۴): مقادیر شاخص خشکسالی هیدرولوژیک سه ماهه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ذکر شده و شکل‌های ارائه شده، می‌توان نتیجه گرفت در طول دوره مورد مطالعه خشکسالی هیدرولوژیکی با یک روند صعودی بر منطقه سامیان حاکم بوده است که یک خطر بزرگ برای این منطقه و مخصوصاً شهر اردبیل است. بررسی شاخص SDI یک ماهه در همه ایستگاه‌ها نشان‌دهنده افزایش خشکسالی در دوره‌های مختلف است. بیش‌ترین تعداد ماه‌های خشک مربوط به دوره آخر (۱۳۸۷-۱۳۹۶) ایستگاه سامیان به مدت ۸۰ ماه است. بیش‌ترین افزایش تعداد ماه‌های خشک مربوط به ایستگاه گیلانده است که از ۱ ماه در دوره اول به ۶۶ ماه در دوره آخر رسیده است. بررسی شاخص SDI سه ماهه در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه آتشگاه نشان‌دهنده افزایش خشکسالی در دوره‌های مختلف است. بیش‌ترین افزایش تعداد سه ماه‌های خشک مربوط به ایستگاه گیلانده است که از صفر در دوره اول به ۳۶ در دوره آخر رسیده است. به رغم افزایش مقدار بارندگی در طول دوره و هم‌چنین وجود ماه‌های ترسالی اقلیمی در منطقه، افزایش سطح زیر کشت کشاورزی و افزایش مناطق مسکونی و در نهایت افزایش نسبی دمای منطقه در کنار افزایش برداشت از آب‌های سطحی باعث افزایش تعداد ماه‌های خشک در منطقه شده است. با توجه به دلایل گفته شده می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات پوشش/کاربری اراضی و افزایش نسبی دما باعث تشدید خشکسالی کوتاه‌مدت و میان‌مدت در منطقه شده است. بیش‌ترین میزان خشکسالی در فصل تابستان می‌باشد که دلایلی از قبیل کمبود بارندگی، درجه حرارت بالا و به تبع آن تبخیر بالا می‌تواند داشته باشد. مطالعات محققان دیگری در سراسر کشور در این بازه‌های زمانی نشان‌دهنده این است که با خشکسالی مواجه هستیم. در تحقیقی که (Tabari et al. 2013)، شاخص‌های SDI، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ۱۴ ایستگاه هیدرومتری در شمال غرب کشور برای داده‌های بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۹ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های SDI تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها در طول دوره مطالعه نشانگر خشکسالی می‌باشند هم‌چنین خشکسالی‌های شدید اغلب در ۱۲ سال آخر مطالعه بین ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ و ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بوده است. هم‌چنین در پژوهشی (عینی و سبحانی، ۱۴۰۰) برای پایش خشکسالی طی دوره پوشش مرتعی با استفاده از داده‌های ۴ ایستگاه سینوپتیک و تصاویر لندست برای محاسبه شاخص فازی (SEPI) انجام داده‌اند به این نتیجه رسیدند که وسعت مراتع استان اردبیل در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۷۷، هم در بخش مراتع قشلاقی و هم در بخش مراتع ییلاقی کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد، هم‌چنین شاخص SEPI نشان‌دهنده وضعیت بد خشکسالی در منطقه از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۵ می‌باشد. در این پژوهش‌ها همه محققان به این نتیجه رسیده‌اند که در دهه اخیر اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی دارای افت دبی بوده و منطقه با خشکسالی هیدرولوژیک مواجه شده است. تقریباً نتایج همه ایستگاه‌های مورد بررسی در این پژوهش همسو با نتایج سایر پژوهش‌های ذکر شده است. هم‌چنین با توجه به نتایج به دست آمده پژوهش حاضر چون در طول دوره، بیشتر در منطقه خشکسالی ملایم رخ داده است پس نمی‌توان آن را به احداث سازه‌های آبی در منطقه نسبت داد، چرا

که احداث سدهای اگر غیر اصولی باشد باعث ایجاد خشکسالی های هیدرولوژیکی شدیدتری می شود. در حالت کلی می توان گفت که روند خشکسالی متوسط و شدید در منطقه برای دوره دوم از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۷ نسبت به دوره های دیگر مورد مطالعه شدیدتر بوده است و خشکسالی ملایم در دوره آخر ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ در منطقه تشدید شده است پس می توان ادعا کرد که این خشکسالی ادامه خواهد داشت و روز به روز به بحران کم آبی نزدیک تر خواهیم شد. برای کاهش معضل خشکسالی در منطقه می توان به تغییر الگوی کشت در ساله ای خشک جهت کاهش بهره برداری از آب های سطحی و زیر زمینی و حفظ تعادل آبخوان اشاره کرد.

منابع

- احمدی، حمزه؛ فلاح قاله‌ری، غلامعباس؛ شامی، اکبر (۱۳۹۵). برآورد و ارزیابی روند تغییرات تبخیرتغرق مرجع سالانه براساس پارامترهای اقلیمی مؤثر در شمال شرق ایران. *دانش آب و خاک*. ۲۶ (۲/۳)، ۲۶۹-۲۵۷.
- امینی، حامد و دیگران (۱۳۹۸). ارزیابی خشکسالی آب‌شناختی و تحلیل ویژگی‌های آن با شاخص جریان رودخانه‌یی (SDI) در ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل. *پژوهش‌های آبخیزداری*. ۳۲ (۱۲۴)، ۳۶-۲۱.
- پورعلی حسین، سیده شیماء؛ مساح‌بوانی، علیرضا (۱۳۹۴). پیش‌بینی خشکسالی استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۲۲-۲۰۱۳ میلادی. *جغرافیا و توسعه*. ۱۳ (۳۸)، ۲۰۴-۱۸۹.
- پیرنیا، عبدالله و دیگران (۱۳۹۶). ارزیابی کارکرد تغییرپذیری اقلیم و تغییر کاربری اراضی در تغییرات کیفیت آب رودخانه‌ی هراز (استان مازندران). *آکوهیدرولوژی*. ۴ (۴)، ۱۱۶۳-۱۱۵۱.
- جان بزرگی، محمد؛ حنیفه‌پور، مهین؛ خسروی، حسن (۱۴۰۰). تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی-هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: استان گیلان). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۱ (۲)، ۱۳-۱.
- جهانگیر، محمد حسین؛ بابایی، سحر؛ نوروزی، اقبال (۲۰۱۹). ارزیابی وضعیت خشکسالی استان کرمانشاه با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه (SDI). *آبیاری و زهکشی ایران*. ۱۳ (۱)، ۲۰۲-۱۹۰.
- جهانگیر، محمد حسین؛ حسین دوست، محمد صادق؛ ارست، مینا (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص کچ بایرام (KBDI) در انطباق با شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۱ (۴)، ۶۷-۵۷.
- جوان، خدیجه (۱۳۹۹). بررسی روند خشکسالی هیدرولوژیک در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *هیدروژئومورفولوژی*. ۷ (۲۵)، ۱۳۸-۱۱۹.
- حسینی، سیده زهره (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات کمیت و کیفیت منابع آب سطحی و ارتباط آن با کاربری اراضی و خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گلوگاه بابل). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه یزد. یزد. ایران.
- داودی، محمود؛ نبیونی، سیروس (۱۳۹۹). تاثیر سدسازی بر تداوم و بزرگی خشکسالی (نمونه موردی: رود کرخه). *مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی*. ۱ (۳)، ۱۱۸-۹۹.
- زینالی، بتول؛ فریدپور، مجتبی (۲۰۲۲). ارزیابی خشکسالی در حوضه قره‌سو با استفاده از شاخص های هواشناسی، هیدرولوژیکی و سنجش از دور. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۱۱ (۳۱)، ۱۰۶-۸۵.
- عینی، سعیده؛ سبحانی، بهروز (۲۰۲۱). پایش خشکسالی طی دوره رشد پوشش مرتعی، استان اردبیل. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. ۲۱ (۶۰)، ۱۹-۱.

محمدی، جعفر؛ فتائی، ابراهیم (۱۳۹۷، بهمن). اثرات کاربری اراضی بر روی کیفیت آب‌های سطحی حوضه آبخیز رودخانه قره‌سو. دانشگاه محقق اردبیلی، سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران و سومین همایش ملی صیانت از طبیعت و محیط زیست. اردبیل. ایران.

کاظمی، رحیم؛ پرهمت، جهانگیر؛ قرمزچشمه، باقر (۱۴۰۱). بررسی پاسخ هیدرولوژیک حوضه به خشک‌سالی هواشناسی در زیرحوضه‌های کارستی کشکان. محیط زیست و مهندسی آب. ۸ (۳)، ۱۱۵۱-۱۱۶۳.

مهری، سونیا و دیگران (۱۳۹۶). تغییرات زمانی و مکانی شاخص جریان پایه در رودخانه‌های استان اردبیل. فیزیک زمین و فضا. ۴۳ (۳)، ۶۳۴-۶۲۳.

Abro, M. I. et al (2022). Estimation of a trend of meteorological and hydrological drought over Qinhuai River Basin. *Theoretical and Applied Climatology*. 147 (3), 1065-1078.

Alaei, N. et al (2024). Assessing spatiotemporal urban green space per capita and its connectivity in a small size city in Northwest Iran. *GeoJournal*. 89 (4), 148.

Boonrawd, K.; Supakosol, J. & Prasanchum, H. (2023). Hydrological drought evaluation on streamflow drought index (SDI) in upstream and downstream area of Lampao Reservoir, Northeast of Thailand. *5th International Conference on Water Resources (ICWR)*. Springer, Singapore.

Cho, J.; Barone, V. A. & Mostaghimi, S. (2009). Simulation of land use impacts on groundwater levels and streamflow in a Virginia watershed. *Agricultural water management*. 96 (1), 1-11.

Grover, V.I. (2015). Impact of climate change on the water cycle. *Managing Water Resources under Climate Uncertainty*. pp. 3-30. Springer: Cham.

Hassanalipour, Y. et al (2022). Evaluation of the effects of urban development on the quantity and quality of surface and groundwater in Ardabil plain. *Journal of Environmental Science Studies*. 7 (3), 5374-5385.

Khosravi, H. et al (2018). Drought trend assessment in riverheads of Karkheh and Dez Basins based on streamflow drought index (SDI). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 1 (2), 45-54.

Li, C. et al (2018). An analytical approach to separate climate and human contributions to basin streamflow variability. *Journal of Hydrology*. 559, 30-42.

Li, S. et al (2013). Effects of the three gorges reservoir on the hydrological droughts at the downstream Yichang station during 2003–2011. *Hydrological Processes*. 27 (26), 3981-3993.

Malik, A. et al (2021). Hydrological drought investigation using streamflow drought index. *Intelligent Data Analytics for Decision-Support Systems in Hazard Mitigation*. 63-88. Springer, Singapore.

Mendicino, G.; Senatore, A. & 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.

Montano, B.Q. et al (2015). Characterising droughts in Central America with uncertain hydro-meteorological data. *Theoretical and Applied Climatology*. 137, 3-4. DOI:10.1007/s00704-018-2730-z.

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.

Singh, V. P. et al (2014). Climate change and its impact on water resources. *Modern Water Resources Engineering*. 525-569. Humana Press, Totowa, NJ.

Tabari, H.; Nikbakht, J. & Hosseinzadeh Talaei, P. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water Resources Management*. 27 (1), 137-151.

Talebi Khiavi, H. & Mostafazadeh, R. (2021). Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, The hillside of Sabalan mountainous area. *Arabian Journal of Geosciences*. 14, 1-15.

Ul Haq, F. et al (2021). Impact of urbanization on groundwater levels in Rawalpindi City, Pakistan. *Pure and Applied Geophysics*. 178 (2), 491-500.

Van Loon, A. F. & Laaha, G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of hydrology*. 526, 3-14.

IPCC (2013). *Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections*. van Oldenborgh, G.J., M. Collins, J. Arblaster, J.H. Christensen, J. Marotzke, S.B. Power, M. Rummukainen and T. Zhou (eds.). In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K.

- Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge,
- Wable, P.S.; Jha, M. K. & Shekhar, A. (2019). Comparison of drought indices in a semi-arid river basin of India. *Water Resources Management*. 33 (1), 75-102.
- Wang, G.; Xia, J. & Chen, J. (2009). Quantification of effects of climate variations and human activities on runoff by a monthly water balance model: a case study of the Chaobai River basin in northern China. *Water Resources Research*. 45, W00A11.
- Yevenes, M.A.; Figueroa, R. & Parra, O. (2018). Seasonal drought effects on the water quality of the Biobío River, Central Chile. *Environmental Science and Pollution Research*. 25 (14), 13844-13856.
- Zhang, X. et al (2019). Urban drought challenge to 2030 sustainable development goals. *Science of the Total Environment*. 693, 133536.
- Zuo, D. et al (2016). Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*. 544, 238-2

نحوه ارجاع به مقاله:

ایزدی‌فرد، هادی؛ رائی نظامی، سعید؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ خاوریان، حسن (۱۴۰۳)، توسعه شهری و ویژگی‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک کوتاه و میان‌مدت در حوضه سامیان استان اردبیل، جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۳ (۵۱)، ۴۶-۶۰،
Doi: 10.71740/ges.2024.979123

Copyrights: Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

