

پایش زمانی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی در استان اردبیل

مجید کاظم‌زاده^۱، آرش ملکیان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۱۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Malekian@ut.ac.ir

چکیده

امروزه با رشد روزافزون جمعیت و افزایش روند خشک‌سالی‌های اخیر، توجه علمی به پدیده خشک‌سالی امری اجتناب‌ناپذیر است. در این تحقیق، به‌منظور تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیکی از شاخص خشک‌سالی جریان سطحی در شمال غرب ایران (استان اردبیل) طی ۳ دههٔ اخیر (۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹) استفاده شد. جهت تحلیل و پایش زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی بازه‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و همچنین ۵ و ۱۰ ساله در نظر گرفته شد. تحلیل زمانی خشک‌سالی نشان داد که بیشینه خشک‌سالی‌ها در ۱۵ ساله گذشته بوده و به‌عبارت‌دیگر، در ۱۵ سال اول دوره مطالعاتی خشک‌سالی‌های قابل‌توجهی نبوده و بیشتر ایستگاه‌ها حالت نرمال داشته‌اند. شدیدترین خشک‌سالی هیدرولوژیکی در بازه ۳ و ۶ ماهه، در ایستگاه‌های پل الماس واقع بر رودخانه بالخلوچای و پل‌سلطانی واقع بر رودخانه خیاوچای در سال ۱۳۸۹ بوده است. نتایج نشان داد که شدیدترین دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی در سال ۱۳۸۹ اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی: اثرات خشک‌سالی، دبی، شمال‌غرب ایران، SDI

Temporal Monitoring of Hydrological Droughts in Ardebil Province

M Kazemzadeh¹, A Malekian^{*2}

Received: 21 May 2014

Accepted: 3 May 2015

1- M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources, Univ. of Tehran, Iran

2- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Univ. of Tehran, Iran

* Corresponding Author, Email: Malekian@ut.ac.ir

Abstract

Nowadays, with a growing population and the increasing trend of recent droughts, scientific attention to the mentioned drought phenomenon is inevitable. In this study the Stream flow Drought Index (SDI) was used for analyzing the hydrological droughts over the last three decades in the northwest of Iran (Ardebil province). The periods of 3, 6, 9, and 12 months and also 5 and 10 years were selected for the spatiotemporal monitoring of the hydrological droughts. The temporal drought analysis showed that the most of drought events over the reference periods have occurred in the last 15 years. In other words, there was an approximately normal status in the most of stations in the first study period of 15 years. The most severe hydrological droughts occurred in the Poleh Almas and Poleh Soltani on the Balokhlo-Chai and Khiav-Chai gauging stations, respectively, at the 3- and 6-month scales in 2010. The results revealed that the most severe hydrological drought periods occurred in 2010.

Keywords: Discharge, Drought impacts, Northwest of Iran, SDI

مقدمه

امروزه با رشد روزافزون جمعیت و افزایش روند خشکسالی‌های اخیر، توجه علمی به پدیده خشکسالی امری اجتناب‌ناپذیر است. چرا که افزایش جمعیت سبب افزایش نیاز آبی جهت شرب و تأمین مواد غذایی می‌شود که این مسئله باعث تشدید اثرات خشکسالی می‌گردد (طبری و همکاران ۲۰۱۳). تاکنون تعریف‌های مختلفی از خشکسالی ارائه شده است که هر کدام از نقطه نظرهای خاصی آن را بررسی کرده‌اند. در یک تعریف کلی، خشکسالی به صورت کمبود شدید در منابع آب نسبت به شرایط نرمال متناظر با مکان و زمان تعریف می‌گردد (کارآموز و عراقی نژاد ۱۳۸۹). دراکوپ و همکاران (۱۹۸۰) خشکسالی را در سه نوع

هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی دسته‌بندی کرده است. به ترتیب زمانی خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی اتفاق می‌افتد که در نهایت این پدیده‌ها سبب خشکسالی اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌شود. خشکسالی هواشناسی زمانی که مقدار بارش طی یک دوره معین کمتر از متوسط بلندمدت باشد، اتفاق می‌افتد و این می‌تواند ماهانه یا سالانه و ... باشد. خشکسالی هیدرولوژیکی باعث کاهش جریان‌های سطحی و زیرزمینی و منابع آب می‌شود و خشکسالی کشاورزی در اثر کاهش رطوبت خاک اتفاق می‌افتد که در نتیجه باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. در نهایت این پدیده باعث خشکسالی اجتماعی می‌شود که اجتماع را تحت تأثیر قرار داده و

نشان داد که شدت و مدت خشک‌سالی‌ها به‌ویژه خشک‌سالی هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر افزایش یافته است. همچنین آن‌ها بیان کردند که تأخیر زمانی متفاوتی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود داشته است. مفیدی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) جهت بررسی تأخیر زمانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک از دو شاخص SPI و SDI استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که همبستگی بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است و این همبستگی در بازه ۳ ماهه حدبیشینه بود.

طبری و همکاران (۲۰۱۳) از شاخص خشک‌سالی جریان سطحی (SDI) جهت تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیکی در استان آذربایجان غربی استفاده کردند. شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی نشان داد که تمام ایستگاه‌ها شدیدترین دوره‌های خشک‌سالی را تجربه کرده‌اند و بیشترین فراوانی خشک‌سالی شدید در ۱۰ سال گذشته از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ اتفاق افتاده است. نیک‌بخت و همکاران (۲۰۱۲) شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی را در شمال غرب ایران با استفاده از شاخص PNI^۵ در ۱۴ ایستگاه هیدرومتری بررسی کردند. نتایج نشان داد که شدیدترین خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی در اغلب ایستگاه‌ها در سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و ۲۰۰۱-۲۰۱۱ اتفاق افتاده است و همچنین شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در طول ۳۴ سال گذشته افزایش یافته است.

اسلامی و شکوهی (۱۳۹۲) نتایج دو روش SDI و FDCI^۶ را جهت تحلیل وضعیت جریان رودخانه‌های چالوس، جویستان و فریزی با هم مقایسه کردند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از وجود همبستگی بالا بین آن‌ها بود. هدف از این تحقیق، تحلیل و پایش زمانی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی استان اردبیل با استفاده از شاخص خشک‌سالی آب سطحی بود.

باعث بروز خسارت‌های جدی می‌شود (میشرا و سینگ ۲۰۱۰).

برای مقابله با خشک‌سالی‌ها که یک پدیده طبیعی و تکرارپذیر هست، بسته به شدت، مدت و وسعت خشک‌سالی نیاز به مدیریت محلی، منطقه‌ای و ملی هست. جهت مدیریت خشک‌سالی بعد از جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های موردنیاز پایه‌ای، در گام اول تحلیل خشک‌سالی در گذشته را می‌طلبد تا بدین‌وسیله بتوان خشک‌سالی‌های آینده را پیش‌بینی کرد. برای تحلیل خشک‌سالی از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که بسته به هدف، داده و اطلاعات تعریف می‌شود. یکی از انواع خشک‌سالی‌ها، خشک‌سالی هیدرولوژیکی هست که با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی قرار می‌گیرد. خشک‌سالی هیدرولوژیکی توسط شاخص‌های مختلف هیدرولوژیکی از جمله SDI^۱ (نالبانتیس و تسکیریس ۲۰۰۹)، PHDI^۲ (پالمر ۱۹۶۵) و ... محاسبه می‌شود.

انصاری و داوری (۱۳۸۶) جهت پایش دوره‌های خشک در استان خراسان شمالی از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI^۳) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در سال‌های اخیر تکرار و تداوم خشک‌سالی‌ها افزایش یافته است ولی از شدت آن کاسته شده است. همچنین بر اساس نتایج، دوره‌های خشک به وقوع پیوسته در مناطق جنوبی تداوم و شدت بیشتری نسبت به مناطق مرکزی و شمالی استان داشتند. مرادی و همکاران (۱۳۸۸) جهت ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از روش‌های SPI و SDI در خرم‌شهر استفاده کردند. نتایج نشان داد که در این منطقه حالت غالب، تقریباً حالت نرمال هست. ملکی‌نژاد و سلیمانی مطلق (۱۳۹۰) دوره‌های متوالی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه چغلوندی را با استفاده از دو روش SPI و SWI^۴، موردبررسی قرار دادند و تأخیر زمانی این دو خشک‌سالی را مشخص کردند. نتایج

1 - Stream flow drought index

2- Palmer hydrological drought index

3 - Standardized precipitation index

4 - Standardized water level index

5 - Percent normal index

6- Flow duration curve index

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در قسمت شمال غربی ایران واقع شده و اقلیم آن بیشتر تحت تأثیر توده هوای مدیترانه‌ای هست. این استان با مساحت ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع، ۱/۱ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. مرتفع‌ترین نقطه استان، قله سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر از سطح دریا هست.

جهت مطالعه و پایش دوره‌های تر و خشک هیدرولوژیکی از ۱۱ ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری ۳۰ سال (۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹) استفاده شده است. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه بر روی نقشه ایران و استان اردبیل در شکل ۱ آورده شده

است. پس از انتخاب طول دوره مشترک آماری، سال‌های فاقد آمار با روش همبستگی بازسازی شد. سپس آزمون داده‌های پرت برای تشخیص داده‌های پرت انجام شد. همچنین جهت بررسی همگنی داده‌ها از روش جرم مضاعف استفاده شد.

شاخص خشک‌سالی آب سطحی (SDI)

شاخص SDI شبیه شاخص SPI هست که جهت تحلیل خشک‌سالی هواشناسی استفاده می‌شود. این شاخص اولین بار توسط نالبانتیس و تسکیریس (۲۰۰۹) جهت مشخص کردن خشک‌سالی هیدرولوژیکی ارائه شد. در روش شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای، حجم جریان در سال i و ماه j رودخانه‌ای ($Q_{i,j}$) نشان داده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در منطقه مورد مطالعه.

ایستگاه	رودخانه	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه-ثانیه)	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه-ثانیه)	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین دبی سالانه (m^3s^{-1})
نیر	نیرچای	۴۸-۲۸-۵۹	۳۸-۰۲-۰۲	۱۶۲۴	۱/۸۰
گیلانده	بالوخلوچای	۴۸-۲۱-۴۳	۳۸-۱۸-۲۶	۱۳۳۲	۲/۲۳
مشیران	دره رود	۴۸-۳۲-۰۱	۳۸-۴۱-۱۰	۷۰۵	۱۲/۹۰
سامیان	قره سو	۴۸-۱۴-۴۸	۳۸-۲۲-۵۳	۱۲۹۰	۴/۶۰
پل الماس	بالوخلوچای	۴۸-۱۱-۱۹	۳۸-۲۲-۵۳	۱۴۴۰	۳/۲۰
دوست بیگلر	قره سو	۴۸-۳۲-۱۸	۳۸-۳۳-۰۲	۷۸۰	۶/۹۹
کوزه توپراقی	قوری سو	۴۸-۲۲-۰۱	۳۸-۰۷-۲۸	۱۳۹۴	۰/۸۲
لای	لای چای	۴۸-۵۴-۰۳	۳۸-۰۷-۰۰	۲۰۶۸	۰/۱۱
پل سلطانی	خیاوچای	۴۸-۴۱-۳۹	۳۸-۲۳-۵۶	۱۴۲۰	۰/۵۶
هیر	هیرچای	۴۸-۳۰-۲۸	۳۸-۰۴-۵۵	۱۵۷۵	۰/۳۰
شمس آباد	آق چای	۴۸-۱۵-۱۴	۳۷-۵۹-۵۳	۱۴۹۳	۰/۳۲

خشک‌سالی هیدرولوژیکی (۳ ماهه، ۶ ماهه، ۹ ماهه و ۱۲ ماهه) هست. $V_{i,k}$ حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای در سال هیدرولوژیکی i و دوره مبنای k ماهه هست. شاخص خشک‌سالی آب سطحی بر اساس حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای ($V_{i,k}$) برای دوره مبنای k مربوط به سال هیدرولوژیکی i به صورت رابطه ۲ هست:

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

امتیاز این روش نسبت به سایر روش‌ها استفاده از یک پارامتر (حجم آب رودخانه) می‌باشد. این شاخص با استفاده از رابطه ۱ و ۲ محاسبه شد (نالبانتیس و تسکیریس ۲۰۰۹):

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

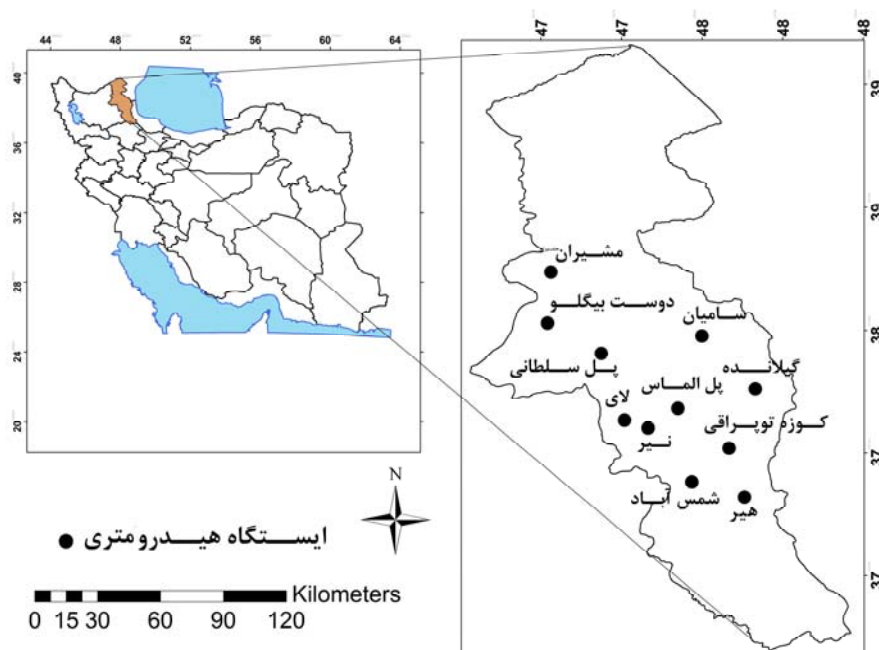
که در آن اندیس‌های i مشخصه سال هیدرولوژیکی، j مشخصه ماه، و k دوره بررسی

دهد (نالبانتیس و تسکیریس ۲۰۰۹). طبقات مختلف خشک‌سالی هیدرولوژیکی در جدول ۲ آورده شده - است.

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

[۲]

$\bar{x}$ و S_k به ترتیب انحراف معیار و میانگین داده-های حجمی تجمعی جریان برای دوره مبنای k می-باشند. مقادیر مثبت شاخص شرایط مرطوب و مقادیر منفی آن شرایط خشک‌سالی هیدرولوژیکی را نشان می-



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در منطقه مورد مطالعه.

زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی، بازه‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و همچنین ۵ و ۱۰ ساله در نظر گرفته شد. جهت محاسبه دوره‌های ۵ و ۱۰ ساله شاخص جریان آب سطحی از روش میانگین‌گیری استفاده شد.

با توجه به فرمول ۲، که در آن داده‌ها به صورت استاندارد محاسبه می‌شود، نیاز به نرمال بودن سری-های زمانی بود. بنابراین برای آزمودن نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در این تحقیق جهت تحلیل و پایش

جدول ۲- طبقات مختلف خشک‌سالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SDI (نالبانتیس و تسکیریس ۲۰۰۹).

وضعیت خشک‌سالی	محدوده شاخص
فاقد خشک‌سالی	$SDI \leq 0$
خشک‌سالی ملایم	$0 < SDI \leq 1$
خشک‌سالی متوسط	$1 < SDI \leq 1/5$
خشک‌سالی شدید	$1/5 < SDI \leq 2$
خشک‌سالی خیلی شدید	$SDI > 2$

نتایج و بحث

در جدول ۳ نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف آورده شده است که نشان می‌دهد در سطح ۵ درصد داده‌ها نرمال می‌باشند و همچنین کمترین مقادیر معنی‌داری در دوره ۳ ماهه و بیشترین مقادیر معنی‌داری در دوره ۱۰ ساله مشاهده شد. به عبارتی داده‌ها شرایط تجزیه و تحلیل به روش شاخص خشک

سالی آب سطحی را دارند و لازم نیست هیچ‌گونه تبدیلی در داده‌ها برای محاسبه شاخص اعمال گردد. طبری و همکاران (۲۰۱۲) برای بررسی نرمال بودن سری‌ها قبل از محاسبه شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی در استان آذربایجان غربی، از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشتر سری‌های زمانی نرمال بوده و تعداد کمی از سری‌ها از توزیع نرمال پیروی نکرده‌اند.

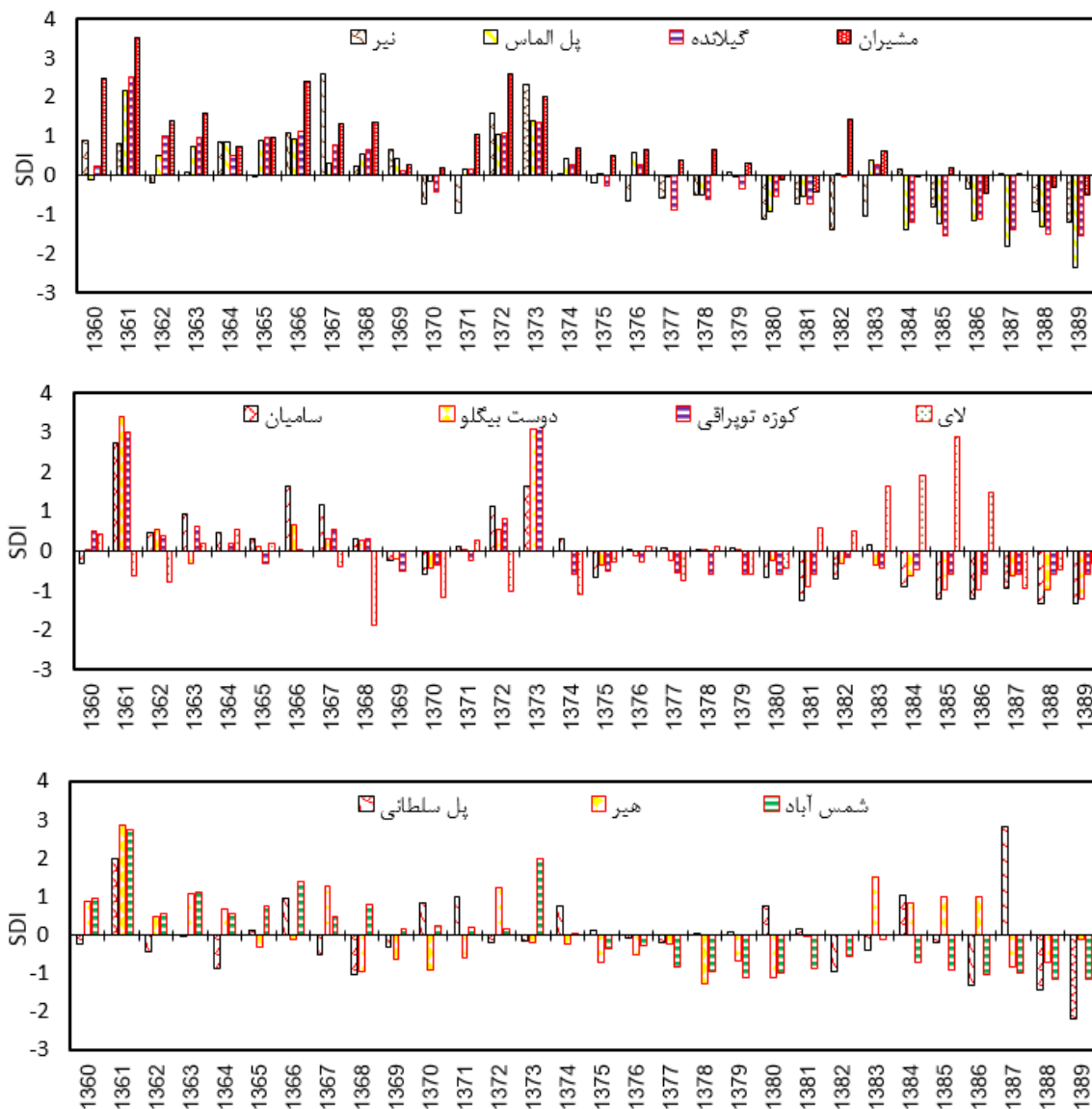
جدول ۳- نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف.

رودخانه	ایستگاه	۳ ماهه	۶ ماهه	۹ ماهه	۱۲ ماهه	۵ ساله	۱۰ ساله
نیرچای	نیر	۰/۵۷	۰/۶۶	۰/۵۶	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۷۰
بالوخلوچای	پل الماس	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۳۰	۰/۴۹	۰/۹۸	۰/۹۹
دره رود	گیلانده	۰/۹۹	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۹۲	۰/۹۳
قره سو	کوزه توپراقی	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۹۳	۰/۹۴
بالوخلوچای	دوست بیگلو	۰/۰۸	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۹۰
قره سو	مشیران	۰/۵۰	۰/۹۶	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۹۲
قوری سو	سامیان	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۸۲	۰/۸۶
لای چای	لای	۰/۵۶	۰/۳۲	۰/۷۳	۰/۴۹	۰/۹۹	۰/۹۹
خیاوچای	پل سلطانی	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۸۴	۰/۳۷	۰/۹۹	۰/۹۹
هیرچای	هیر	۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۹۶	۰/۵۹	۰/۹۳	۰/۹۶
آق چای	شمس آباد	۰/۶۶	۰/۲۲	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۹۹	۰/۹۹

سری‌های شاخص خشک‌سالی آب سطحی برای بازه زمانی ۳ ماهه مهر تا آذر و ۶ ماهه مهر تا اسفند طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹) به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است. با توجه به شکل‌ها، شاخص در بیشینه ایستگاه‌ها از سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۹ از حالت نرمال خارج شده (در طول ۱۵ سال گذشته) و مقدار منفی را نشان می‌دهد. به عبارتی بیشتر دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی در طول پانزده سال اخیر بوده است. با توجه به نتایج، در بیشینه ایستگاه‌ها در بازه‌های ۳ و ۶ ماهه مورد مطالعه، کمینه یک دوره خشک ملایم وجود داشت. به غیر از ایستگاه کوزه توپراقی در بازه ۳ ماهه و ایستگاه‌های مشیران و هیر در بازه ۶ ماهه، در بقیه ایستگاه‌ها، هر کدام دوره-های خشک‌سالی متوسط را تجربه کرده‌اند.

تقریباً قبل از سال ۱۳۷۴ بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه حالت نرمالی را داشتند و به عبارتی در

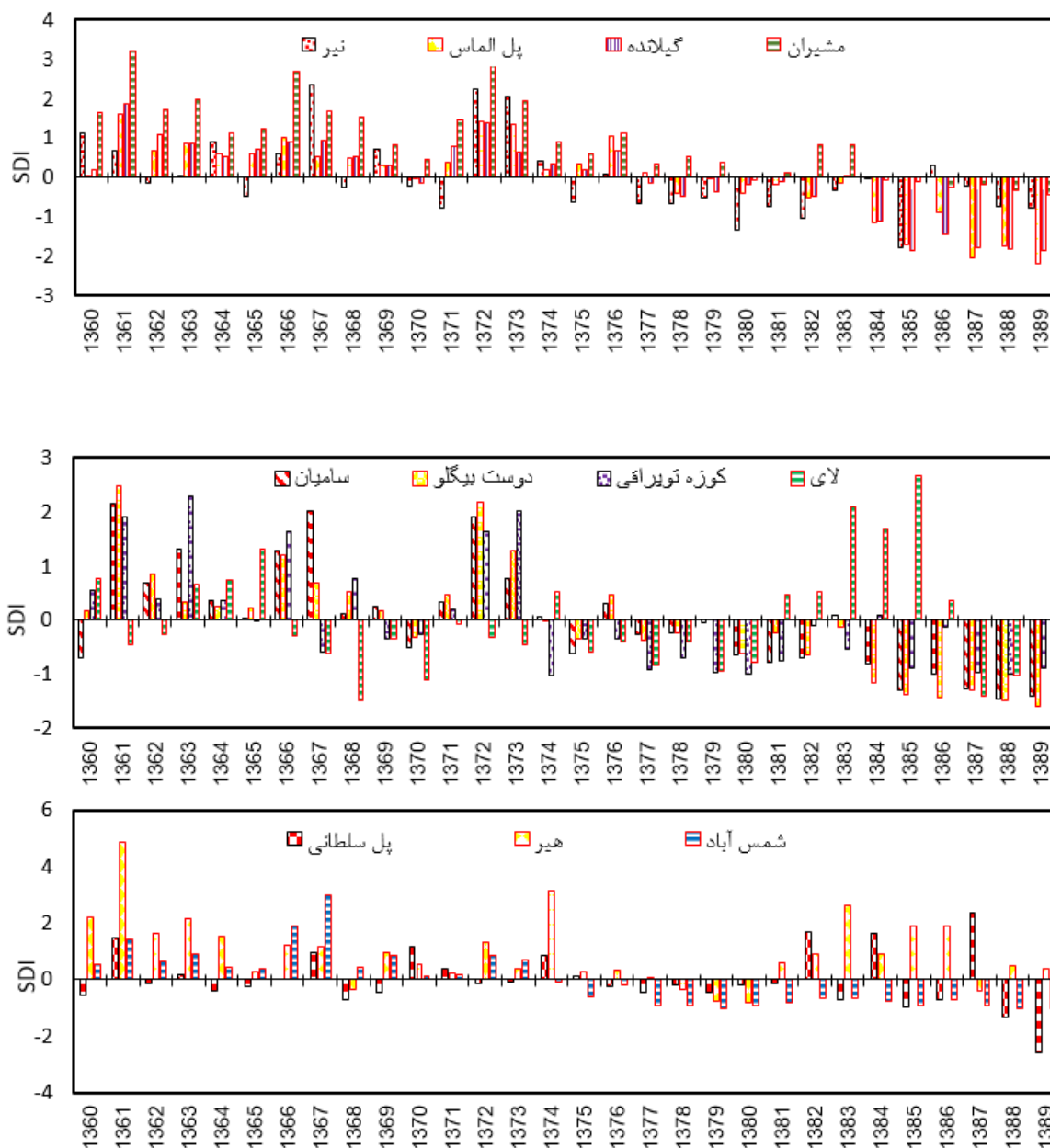
سال‌های اخیر روند خشک‌سالی‌های منطقه افزایش یافته است. شدیدترین خشک‌سالی هیدرولوژیکی طی بازه ۳ و ۶ ماهه مورد مطالعه، در ایستگاه پل الماس (بر روی رودخانه بالوخلوچای) با مقدار ۲/۳۶- و ایستگاه پل سلطانی (بر روی رودخانه خیاوچای) با مقدار ۲/۶۱- در سال ۱۳۸۹ مشاهده شد. شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر شاخص خشک‌سالی آب سطحی را برای بازه‌های ۹ ماهه (مهر تا خرداد) و ۱۲ ماهه (مهر تا شهریور) نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که همه رودخانه‌ها در دهه اخیر خشک-سالی‌های شدیدی را پشت سر گذاشته‌اند. همچنین بررسی نتایج شاخص خشک‌سالی آب سطحی نشان می‌دهد که در این بازه‌ها نیز در بعضی ایستگاه‌ها خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی از سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۷۵ شروع شده است و در بقیه ایستگاه‌ها سال-های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ شروع خشک‌سالی هیدرولوژیکی هست.



شکل ۲- شاخص SDI به دست آمده در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای بازه زمانی ۳ ماهه (مهر-آذر).

و همکاران (۲۰۱۲) و همچنین طبری و همکاران (۲۰۱۳) در شمال غرب ایران (استان آذربایجان غربی) که نشان دادند شدیدترین دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی در سال ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ اتفاق افتاده است.

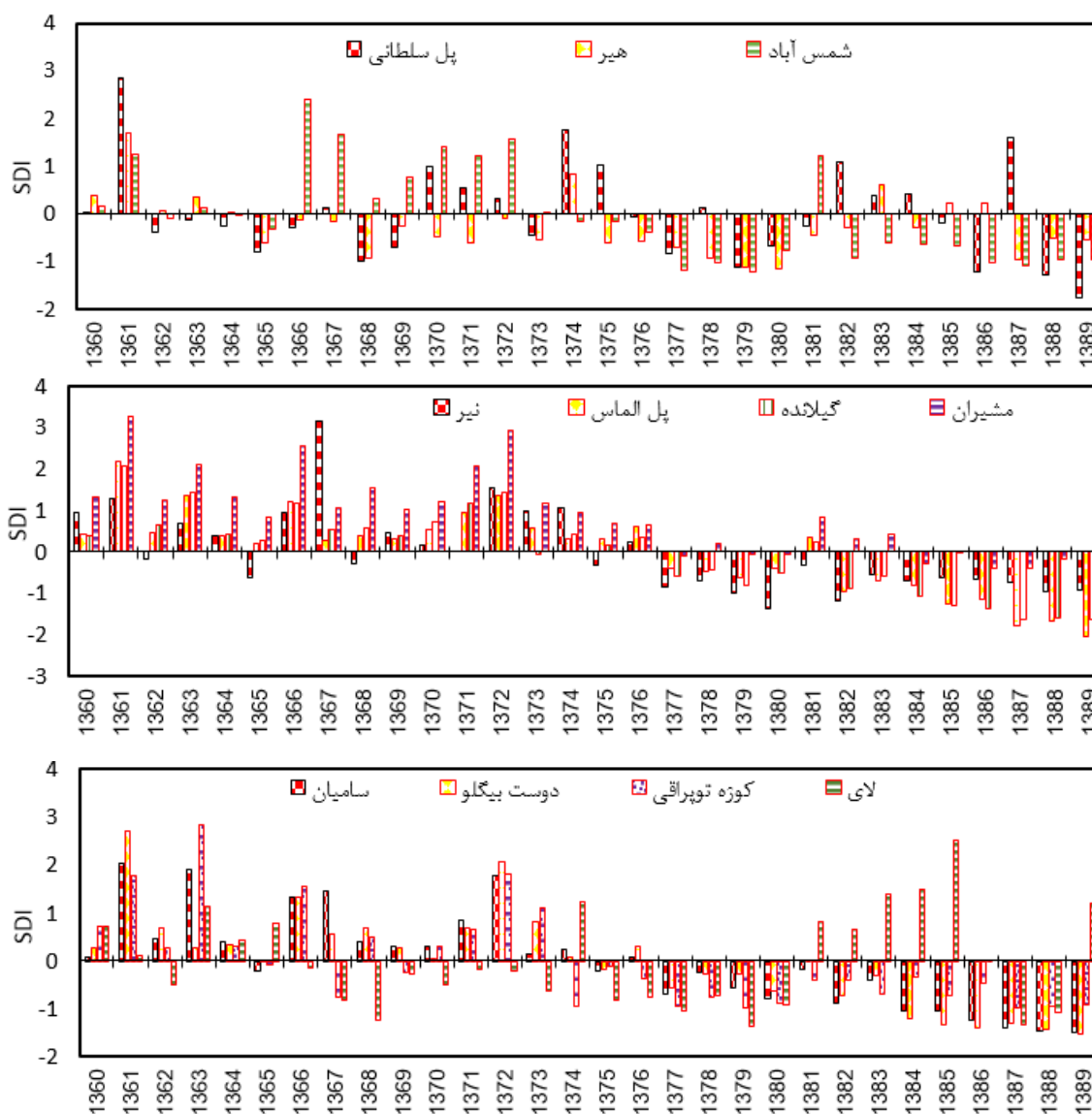
بیشینه کشورهای آسیایی در سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ شاهد خشک‌سالی‌های شدیدی بوده‌اند (یزدانی و حق‌شنو ۱۳۸۷). در این بازه‌ها نیز ایستگاه پل الماس شدیدترین دوره خشک‌سالی هیدرولوژیکی را در سال ۱۳۸۹ تجربه کرده است. برخلاف نتایج تحقیق نیک‌بخت



شکل ۳- شاخص SDI در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای بازه زمانی ۶ ماهه (مهر- اسفند).

سال ۱۳۷۵ شروع شده است. مطالعات نشان داد که خشک‌سالی سال ۱۹۹۹ خسارت زیادی بر کشاورزی و منابع آب کشور وارد آورده و سبب مهاجرت توده عظیمی از مردم از مناطق روستایی به شهری شده است (یزدانی و حق‌شنو ۱۳۸۷).

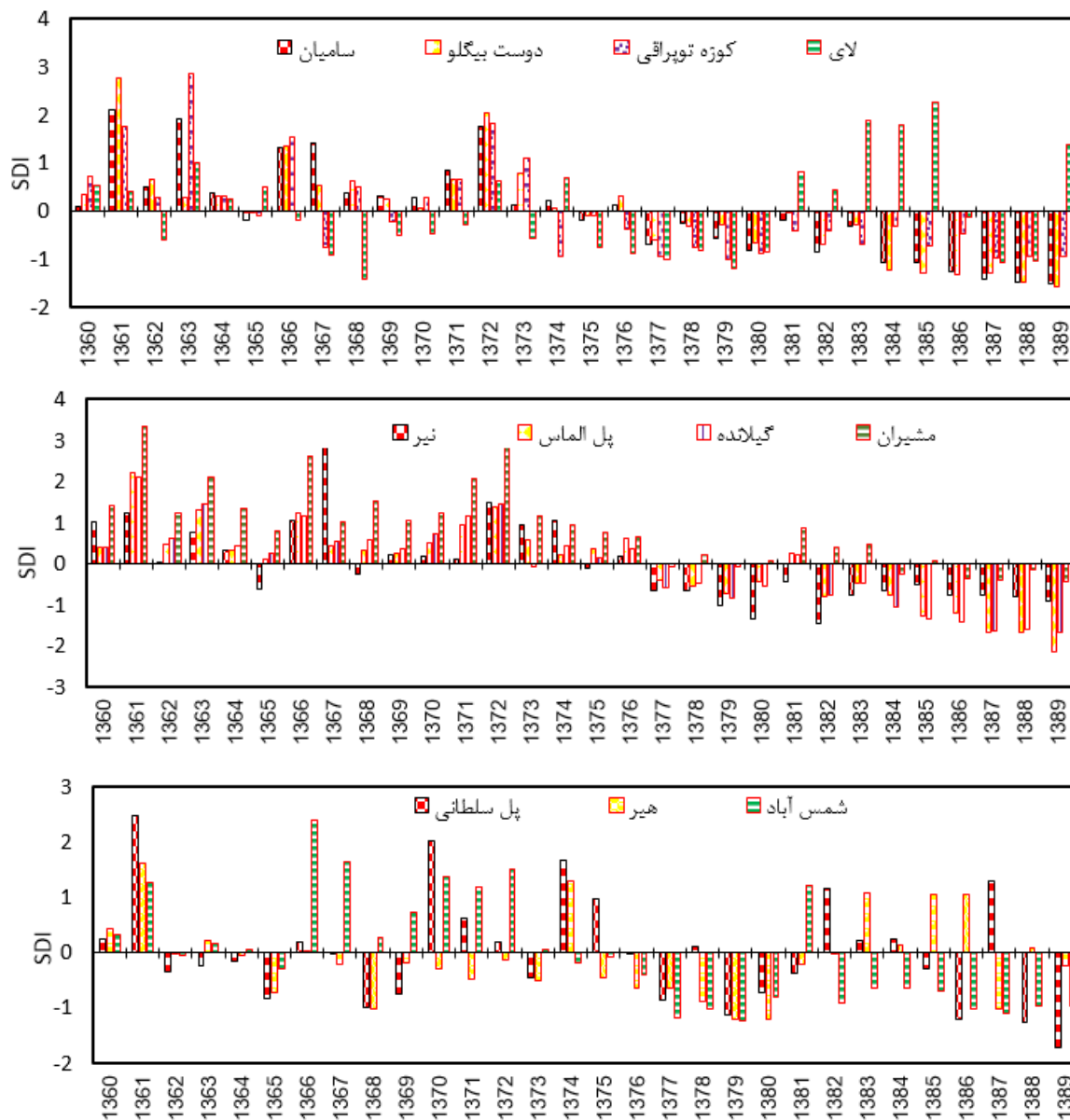
بنابراین، در این مطالعه نتایج نشان داد که شدیدترین دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی در سال ۱۳۸۹ اتفاق افتاده است. اما می‌توان گفت که در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ استان اردبیل هم در خشک‌سالی به سر می‌برده چرا که بیشترین تغییرات سری‌ها تقریباً از



شکل ۴- شاخص SDI در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای بازه زمانی ۹ ماهه (مهر- خرداد).

و هیر (جنوب استان) مقدار شاخص بین صفر و ۱- بود که خشک‌سالی ملایم را نشان می‌دهد. در بازه سوم از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۴، همه ایستگاه‌ها به‌طور میانگین در طی پنج سال حالت نرمالی را نشان می‌دهند. بازه چهارم که از ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۹ (که مصادف با شدیدترین دوره-های سالی در کشورهای آسیایی است) شامل می‌شود مقادیر شاخص خشک‌سالی آب سطحی در همه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، بیشتر از بقیه بازه‌های زمانی پنج‌ساله هست.

نتایج شاخص خشک‌سالی آب سطحی برای بازه‌های ۵ ساله و ۱۰ ساله در شکل ۶ آورده شده است. با توجه به این‌که هر چه طول بازه زمانی بیشتر در نظر گرفته شود نوسانات شاخص و خشک‌سالی‌های جزئی حذف می‌شوند، خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی در این بازه‌ها نسبت به بازه‌های ماهانه بیشتر به واقعیت نزدیکتر می‌باشند. بر اساس شاخص ۵ و ۱۰ ساله، در طول بازه ۱۳۶۰ تا ۱۳۶۴ در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها، خشک‌سالی هیدرولوژیکی دیده نشد. در بازه دوم ۱۳۶۵ تا ۱۳۶۹ در ایستگاه‌های لای، پل سلطانی (حوضه‌های شرق استان)



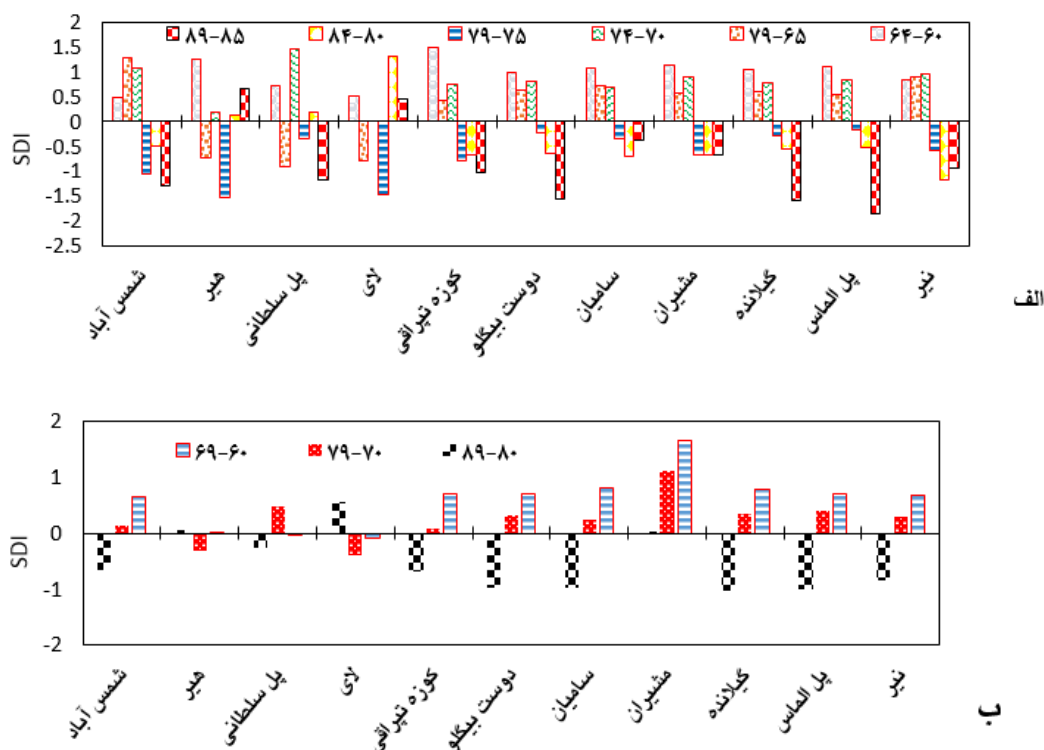
شکل ۵- شاخص SDI در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۲ ماهه (مهر- شهریور).

به علت افزایش دمای هوا در سال‌های اخیر که ناشی از عوامل مختلف محلی و منطقه‌ای شامل فعالیت‌های انسانی (صنعتی شدن و افزایش گازهای گلخانه‌ای) و عوامل طبیعی از جمله لکه‌های خورشیدی، اقلیمی و ... هست، این پدیده در حال افزایش است. به علت نبود تعادل بین عرضه و تقاضای منابع آبی و همچنین به خاطر افزایش فراوانی، شدت و مدت خشکسالی‌ها، اثرات خشکسالی‌ها قابل ملاحظه شده است (ویلایت و

در بازه پنجم ایستگاه‌های لای، پل سلطانی و هیر حالتی نرمال را نشان می‌دهند که این ایستگاه‌ها در بازه ۱۳۶۵ تا ۱۳۶۹ در دوره خشکسالی بودند. در این ایستگاه‌ها تقریباً هر ۱۰ سال یکبار دوره خشکی رخ داده است. در بازه نهایی به غیر از ایستگاه‌های لای و هیر، بقیه ایستگاه‌های هیدرومتری حالت غیرنرمال داشتند. با توجه به نتایج فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که خشکسالی یک پدیده طبیعی و تکرارپذیر هست.

آتش‌سوزی‌های طبیعی، کاهش زنده‌مانی درختان و ... باشند (تاگر و همکاران ۲۰۱۳).

همکاران (۲۰۱۴). بر اساس مطالعات انجام‌شده، اثرات خشک‌سالی ممکن است به‌صورت تنش فیزیکی مهمی برای اکوسیستم‌ها، شامل کاهش رشد گیاهان، افزایش



شکل ۶- شاخص SDI در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای بازه‌های زمانی ۵ (الف) و ۱۰ ساله (ب).

مدیریت در بخش‌های مختلف صورت گیرد. نتایج تحقیق حاضر هم نشان داد که منطقه مورد مطالعه طی سه دهه گذشته تحت تأثیر خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک قرار داشته است و این می‌تواند اثرات گوناگونی بر بخش‌های مختلف داشته باشد. به‌عنوان مثال، ایستگاه پل الماس که بر رودخانه بالخلو چای قرار داشته دوره‌های خشکی بیشتری را تجربه کرده است. این رودخانه تأمین‌کننده آب سد یامچی است و آب این سد هم تأمین‌کننده آب شرب بیشتر قسمت‌های استان اردبیل هست. لذا لازم است با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر در این منطقه مدیریت بهینه عرضه و تقاضا آب انجام گیرد که در صورت مواجهه شدن دوباره با این خشک‌سالی‌ها بتوان با این پدیده طبیعی کنار آمد.

همچنین این پدیده طبیعی خسارت‌های زیادی بر قشر کشاورز، جامعه روستایی و ... از لحاظ تأمین غذایی وارد می‌سازد که می‌تواند یکی از عوامل تحریک مهاجرت بی‌رویه کشاورزان و تولیدکنندگان اولیه جامعه به مناطق شهری باشد. این مهاجرت در سال‌های اخیر افزایش یافته است و با مهاجرت این قشر جامعه مشکلات زیادی را هم در مناطق شهری و هم در مناطق روستایی به دنبال داشته است (یزدانی و حق‌شنو ۲۰۰۸). بنابراین برای کاهش تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی، مخازن، سدها و محصولات کشاورزی که خسارت زیادی بر این منابع وارد می‌سازد، باید مطالعات دقیق درباره خشک‌سالی‌ها انجام داد. چرا که به توان پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از این پدیده طبیعی به‌دست آورد و با توجه به این پیش‌بینی‌ها،

نتیجه‌گیری کلی

چنین جهت بررسی همگنی داده‌ها از روش جرم مضاعف استفاده شد. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها در سطح ۵ درصد نرمال می‌باشند. برای پایش زمانی خشک‌سالی هیدرولوژیکی بازه‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و ۵ و ۱۰ ساله در نظر گرفته شد. تحلیل زمانی خشک‌سالی نشان داد که بیشینه خشک-سالی‌های هیدرولوژیکی در ۱۵ ساله گذشته رخ داده است. نتایج نشان داد که شدیدترین خشک‌سالی هیدرولوژیکی طی بازه ۳ و ۶ ماهه در ایستگاه پل الماس بر روی رودخانه بالخلوچای و ایستگاه پل سلطانی بر روی رودخانه خیاوچای، در سال ۱۳۸۹ اتفاق افتاده است.

با توجه به رشد روزافزون جمعیت نیاز آبی افزایش‌یافته و باعث تشدید اثرات زیان‌بار خشک‌سالی می‌شود. بنابراین، باید این پدیده طبیعی در دوره‌های قبل تحلیل و بر اساس آن پیش‌بینی‌هایی صورت گیرد تا بتوان با مدیریت مناسب، اثرات زیان‌بار آن را کاهش داد. در این تحقیق خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده شاخص آب سطحی در شمال‌غرب کشور (استان اردبیل) طی ۳ دهه اخیر (۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹) مطالعه شد. پس از گرفتن طول دوره مشترک آماری، سال‌های فاقد آمار با روش همبستگی بازسازی شد. آزمون داده‌های پرت برای تشخیص داده‌های پرت بکار گرفته شد و هم-

منابع مورد استفاده

- اسلامی ع و شکوهی ع، ۱۳۹۲. تحلیل وضعیت جریان رودخانه‌ای با استفاده از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی-زیست‌محیطی. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۵، شماره ۲، صفحه‌های ۱۲۵ تا ۱۳۳.
- انصاری ح و داوری ک، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صفحه‌های ۹۷ تا ۱۰۸.
- کارآموز م و عراقی نژاد ش، ۱۳۸۹. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران.
- مرادی ح، سپهوند الف و خضایی م، ۱۳۸۸. ارزیابی خشک‌سالی هیدرولوژیکی و هواشناسی با استفاده از شاخص SPI و SDI. صفحه‌های ۱۱۰ تا ۱۱۷. پنجمین کنفرانس بین‌المللی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۲-۳ اردیبهشت ماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.
- مفیدی پور ن، بردی شیخ و، اونق م و سعدالدین و، ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز اترک. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۵، صفحه‌های ۱۶ تا ۲۶.
- ملکی نژاد ح و سلیمانی مطلق م، ۱۳۹۰. بررسی شدت خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه چغلوندی. مجله پژوهش آب ایران، شماره ۹، صفحه‌های ۶۱ تا ۷۲.
- یزدانی س و حق شنو م، ۱۳۸۷. مدیریت خشک‌سالی و ارائه راهکارهایی برای مقابله با خشک‌سالی. صفحه‌های ۱ تا ۱۹. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی. ۸-۹ آبان، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- Dracup JA, Lee KS and Paulson EG Jr, 1980. On the definition of droughts. *Water Resour Res* 16(2): 297-302.
- Mishra AK and Singh VP, 2010. A review of drought concepts. *J Hydrol* 391(1-2): 202-216.
- Nalbantis I and Tsakiris G, 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resour Manag* 23: 881-889.
- Nikbakht J, Tabari H and Hosseinzadeh Talaei P, 2012. Streamflow drought severity analysis by Percent of Normal Index (PNI) in Northwest Iran. *Theor Appl Climatol*. doi: 10.1007/s00704-012-07507.
- Palmer WC, 1965. Meteorological Drought Research paper, No. 45, U.S. weather Bureau. Washington, D. C. Feb., 58p.
- Tabari H, Nikbakht J and Hosseinzadeh Talaei P, 2013. Hydrological Drought Assessment in Northwest Iran Based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water Resour Manag* 27: 137-151.
- Taeger S, Zang C, Liesebach M, Schneck V and Menzel A, 2013. Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*L.) provenances. *Forest Ecol Manag* 307: 30-42.
- Wilhite D A, Mannava Sivakumar MVK and Pulwarty P, 2014. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes* 3: 4-13.
- Yazdani S and Haghsheno M, 2008. Drought management and recommended solutions on how to deal with droughts. *Am-Eurasian J Agric Environ Sci* 2: 64-68.