

بررسی اثر خشکسالی و پدیده انسو بر تغییرات جریان آب‌های سطحی در دو استان همدان و زنجان

مریم بیات ورکشی^{*}، نرگس شیرمحمدی^۱

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۳/۲۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۸/۲۵

چکیده

نقش پدیده انسو و خشکسالی بر دبی ایستگاه‌های هیدرومتری دو استان همدان و زنجان طی دوره آماری ۳۲ ساله) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) و ۹ شاخص انسو شامل SST, SOI, PNA, MEI, NINO₃, NINO₄, NINO₁₊₂, NINO_{3,4}, TNI از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۲ میلادی مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه اثر شاخص‌های مختلف انسو بر تغییرات دبی نشان داد که بیشترین همبستگی به شاخص نوسان جنوبی (SOI) تعلق داشت. همچنین اثر انسو بر تغییرات دبی ایستگاه‌های هیدرومتری به مراتب بیش از اثر خشکسالی بود. به طوری که میانگین درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص SOI در استان‌های همدان و زنجان به ترتیب ۳۶/۵ و ۴۲/۴۲ درصد بود. در حالی که متوسط درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص SPI برای استان‌های همدان و زنجان به ترتیب ۲۴/۵ و ۲۴/۸۳ بدست آمد. ضمن آن که اثر فاز ال‌نینو نیز افزایش دبی ایستگاه‌های هیدرومتری را به دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: ال‌نینو، ایستگاه هیدرومتری، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص نوسانات جنوبی انسو.

مقدمه

اقلیم را می‌توان شرایط متوسط آب و هوایی تلقی نمود که تحت تأثیر گازهای گلخانه‌ای در جو زمین و همچنین برهم خوردن توازن تابشی خورشید، در حال تغییر بوده و تحت عنوان تغییر اقلیم^۱ نامیده می‌شود. تغییر اقلیم از جمله مهم‌ترین عوامل چالش برانگیزی است که بخش‌های مختلف زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است (Karamooz and Araghi, 2005). تغییر اقلیم باعث بروز تغییراتی در مقادیر و الگوهای بارش و دما در سطح حوضه آبخیز می‌گردد که در کمیت تولید رواناب و به دنبال آن الگوی زمانی تأثیرپذیر از این پدیده، بسیار مؤثر می‌باشد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). رودخانه یکی از سیستم‌های هیدرولوژیکی است که مقدار افت و خیزهای آبدی جریان آن ناشی از دگرگونی‌های اقلیمی و سیگنال‌های بزرگ مقیاس جوی می‌باشد (خالقی، ۱۳۹۵؛ قانقرمه و بیرودیان، ۱۳۹۱). عموماً مطالعاتی که بر روی تغییرات جریان آب‌های سطحی انجام می‌پذیرد به دو دسته طبقه‌بندی می‌شود: دسته اول پرداختن به اثر عوامل هواشناسی و خشکسالی بر جریان رودخانه و دسته دوم بررسی نمودن تأثیر سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی بر جنبه‌های مختلف جریان رودخانه می‌باشند (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). پدیده انسو^۲ در قالب سیگنال‌های بزرگ مقیاس، به‌عنوان یک متغیر اقلیمی بر عوامل هواشناسی، نوسانات اقلیمی و هیدرولوژیکی اثر می‌گذارد. در سال‌های اخیر شناخت متغیرهای محیطی و درجه تأثیر آن‌ها در بخش هیدرولوژی به شکل‌های مختلف مورد توجه محققین بوده است. در این معادله، پایش بارندگی و دما به‌عنوان عناصر مهم اقلیمی و تأثیرپذیر از پدیده انسو، نقش مؤثری در تغییرات

جریان‌ات سطحی ایفا می‌کند. تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه بررسی اثر این پدیده بر مشخصه‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی صورت گرفته است. لیکن بیشتر مطالعات معطوف به متغیرهای هواشناسی و اقلیمی بوده است. از آن جمله می‌توان به مطالعه اثر انسو، بر دمای هوا (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ زارع‌ابیانه و بیات‌ورکش، ۱۳۹۱؛ حلییان و محمدی، ۱۳۹۱)، تعداد روزهای بارانی (زارع‌ابیانه و بیات‌ورکشی، ۱۳۹۱)، خشکسالی (حسین‌پورنیکنام و همکاران، ۱۳۹۱؛ خدقلی و همکاران، ۱۳۹۲)، تبخیر و تعرق (سبزی‌پرور و تنیان، ۱۳۹۲؛ سبزی‌پرور و شادمانی، ۱۳۹۰) و بارندگی فصلی (شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ روغنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ فرج‌زاده‌اصل و همکاران، ۱۳۹۲) اشاره داشت. علی‌رغم اهمیت منابع آب سطحی و لزوم بررسی‌های جزئی عوامل مؤثر بر تغییرات آن، اثر انسو بر نوسانات منابع آب سطحی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که آگاهی از تغییرات عوامل اقلیمی و ارتباط آن با جریان سطحی، در شناخت فاکتورهای محدودکننده جریان سطحی و تعیین سیاست‌های مدیریت آن ضروری است. بررسی هم‌زمان اثر انسو بر تغییرات منابع آب سطحی، اطلاعات جامع و کافی جهت شناخت رابطه آن با الگوهای پیوند از دور ارائه می‌دهد که در بازه زمانی بلند مدت می‌تواند در خصوص مدیریت این منابع اقدام لازم را به عمل آورد. اهمیت این امر در مناطقی با محدودیت آب بیشتر، بیش از سایر مناطق احساس می‌گردد. فاتحی‌مرج و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی ارتباط بین جریان‌های رودخانه‌ای با عوامل بزرگ مقیاس آب و هوایی در قالب الگوهای پیوند از دور، برتری شاخص نوسان دهه‌ای

درخصوص کاهش خسارات ناشی از خشکسالی می‌تواند از دیگر دلایل لزوم بررسی خشکسالی باشد. زانگ و همکاران (۲۰۰۹) Zhang et al., (2009) با بررسی فصلی دوره‌های تر و خشک براساس شاخص بارش استانداردشده (SPI) حوضه رودخانه پارل در چین، اظهار داشتند که این حوضه در فصول پرباران گرایش به خشکی و در فصل زمستان گرایش به ترسالی دارد. اثر خشکسالی بر منابع آب سطحی در مناطق جنوب‌شرق دریاچه ارومیه (واعظی‌هیر و همکاران، ۱۳۹۵)، رودخانه درکه استان تهران (بینش و همکاران، ۱۳۹۵) و حوضه رودخانه خرم‌آباد (شاهرخ‌وندی و همکاران، ۱۳۸۸)، ایستگاه‌های آب‌سنجی استان اردبیل (کاظم‌زاده و ملکیان، ۱۳۹۴) و حوضه آبریز بختگان استان فارس (تبوزاده و همکاران، ۱۳۹۴) بررسی شده است که همگی بر کاهش منابع آب سطحی در دوره‌های خشک اشاره داشته‌اند. با توجه به کمبود بارش و افزایش بهره‌برداری از منابع آبی به خصوص آب‌های سطحی، مدیریت این منابع امری ضروری است. از طرفی برای شناخت و آگاهی بهتر از اثر خشکسالی و سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی بر متغیرهای هیدرولوژیکی، پژوهش‌های محلی و منطقه‌ای، با توجه به ویژگی‌های هر منطقه لازم می‌باشد. مطالعه حاضر به منظور بررسی هم‌زمان اثر خشکسالی و پدیده انسو بر منابع آب سطحی طراحی، و تأثیر این دو پدیده بر دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی دو استان همدان و زنجان مورد ارزیابی قرار گرفت.

منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در این تحقیق دو استان همدان و زنجان می‌باشد. استان همدان با موقعیت

اقیانوس آرام^۳ (PDO) در پیش‌بینی جریان رودخانه‌های دریاچه ارومیه را گزارش نمودند. در مطالعه فتاحی و همکاران (۱۳۹۱) که به منظور پیش‌بینی جریان‌های رودخانه‌های کارون شمالی با استفاده از شاخص‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی انجام گرفت، دو شاخص نینو+۲ (NINO₁₊₂) و نینو₃ (NINO₃) به عنوان مؤثرترین سیگنال بر تغییرات جریان رودخانه‌های کارون شمالی معرفی شدند. زارع‌ایبانه (۱۳۹۲) با مطالعه اثر انسو بر دبی آب‌های سطحی استان همدان اظهار داشت، تغییرات جریان ۱۱ ماه از سال‌های مورد مطالعه با شاخص تکاملی ال‌نینو یا شاخص انتقالی انسو^۴ (TNI) و ۱۰ ماه از سال‌های مورد مطالعه با شاخص چند متغیره انسو^۵ (MEI)، توجیه می‌گردد. به اعتقاد سن و همکاران (۲۰۱۱) Sen et al., 2011)، فازهای مثبت و منفی الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر با تغییراتی که در دما و بارش حوضه‌های آبریز رودهای دجله و فرات به وجود می‌آورد، بر دبی رودهای مذکور به شدت تأثیرگذار می‌باشد. تغییر عوامل اقلیمی می‌تواند در قالب پدیده خشکسالی نیز بیان گردد. خشکسالی یک رخداد طبیعی است که ناشی از کاهش بارش نسبت به میانگین بلندمدت آن می‌باشد که می‌تواند در هر اقلیم رخ دهد. یکی از تبعات خشکسالی به حداقل رسیدن آب رودخانه‌هاست که از نظر زیست‌محیطی باعث افزایش نسبی غلظت آلودگی و وارد شدن خسارات شدید به محیط‌زیست رودخانه‌ها می‌گردد (Vyas et al., 2015). در بیان اهمیت بررسی خشکسالی بر منابع آب‌های سطحی، می‌توان اظهار داشت که با داشتن چشم‌اندازی از وضعیت خشکسالی هر منطقه می‌توان گامی موثر در مدیریت منابع آب منطقه برداشت. ضمن آن که اقدامات لازم

آب‌سنجی استان همدان طی دوره آماری مشترک ۳۲ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۲ میلادی) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی مستقر در سطح دو استان طی دوره آماری متناظر به منظور پایش خشکسالی بهره گرفته شد. کلیه اطلاعات از سازمان مدیریت منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کل کشور اخذ گردید. جدول ۱ مشخصات و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه هر استان را نشان می‌دهد.

جغرافیایی ۳۴' ۴۷° تا ۳۶' ۴۹° طول شرقی و ۵۹' ۳۳° تا ۴۸' ۳۵° عرض شمالی و استان زنجان با موقعیت جغرافیایی ۱۰' ۴۷° تا ۵' ۵۰° طول شرقی و ۲۵' ۳۵° تا ۱۰' ۳۷° عرض شمالی در منطقه غرب و شمال غرب کشور واقع می‌باشند. اقلیم هر دو استان طبق طبقه‌بندی اقلیمی یونسکو نیمه‌خشک و سرد می‌باشد (غفاری و همکاران، ۱۳۹۴).

مواد و روش‌ها

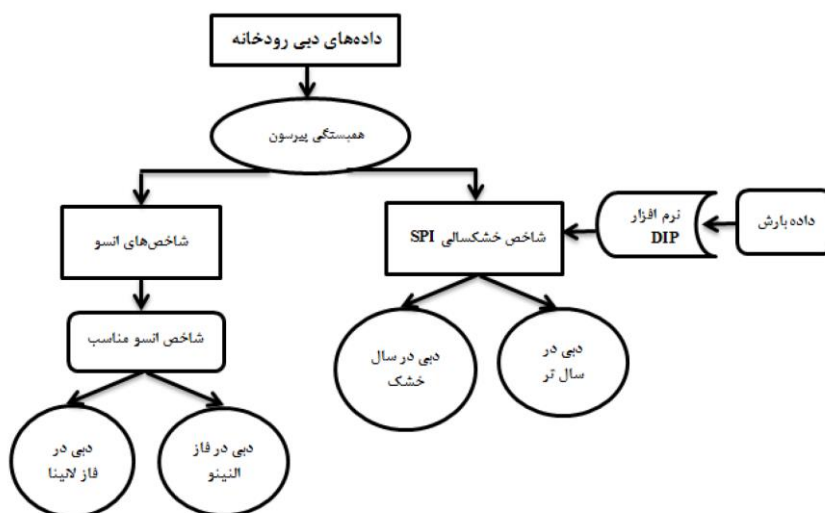
به منظور انجام مطالعه حاضر، اطلاعات ماهانه ۶ ایستگاه آب‌سنجی استان زنجان و ۵ ایستگاه

جدول ۱: مشخصات و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

استان	نوع ایستگاه	ایستگاه	رودخانه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
همدان	بهدریگ آق کهریز	بهدریگ آق کهریز	بهدریگ	۴۸/۳۳	۳۵/۰۱	۱۷۹۶
		بوجین	شهاب	۴۸/۰۲	۳۴/۴۸	۱۶۱۱
		کوشک آباد	سیمینه رود	۴۸/۲	۳۴/۵۷	۱۶۹۸
		تقسیم آب	عباس آباد	۴۸/۲۷	۳۴/۴۵	۲۰۸۸
		وسج	آب ملایر	۴۸/۱۳	۳۴/۱۹	۱۵۲۸
	آق کهریز	آق کهریز	بهدریگ	۴۸/۲۰	۳۴/۵۹	۱۸۴۴
		آقاجنبلاغی	شهاب	۴۸/۰۳	۳۴/۵۰	۱۸۰۲
		نوژه		۴۸/۴۱	۳۵/۱۲	۱۶۷۴
		سد اکباتان	سد اکباتان	۴۸/۳۶	۳۴/۴۵	۱۹۵۷
		وسج	وسج	۴۸/۱۳	۳۴/۱۹	۱۵۲۸
زنجان	مهرآباد	مهرآباد	تالوار	۴۷/۵۳	۳۵/۵۱	۱۶۵۰
		قره‌گونی	قزل اوزون	۴۷/۵۷	۳۶/۱۴	۱۴۵۰
		سرچم	زنجان رود	۴۷/۵۴	۳۷/۰۷	۱۲۰۰
	پالتی	پالتی	تهم‌چای	۴۷/۲۷	۳۶/۴۶	۱۷۰۰
		قروه	ابهرود	۴۹/۲۲	۳۶/۰۳	۱۴۳۳
	موتورخانه	موتورخانه		۴۷/۳۷	۳۶/۳۷	
		سلامت‌آبد مهرآباد	تلوار	۴۷/۵۳	۳۵/۵۱	۱۶۵۰
زنجان	قلتوق	قلتوق	سجاسرود	۴۸/۰۴	۳۶/۳۰	۱۸۰۰
		جنگ الماس	ابهرود	۴۹/۰۵	۳۶/۰۱	۱۹۱۰
	دندی	دندی	انگوران	۴۷/۳۶	۳۶/۳۳	۱۶۰۰
		مشم‌پا	قزل اوزون	۴۷/۴۰	۳۶/۵۶	۱۲۰۰
	تکمه‌داش	تکمه‌داش	زنجان رود	۴۸/۱۲	۳۷/۰۳	۱۷۵۰

انسو بر تغییرات دبی رودخانه‌ها گردید. شکل ۱ تصویر کلی از مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

پس از بررسی و اطمینان از صحت و سقم داده‌ها و بازسازی خلاءهای آماری با استفاده از روش میان‌یابی، اقدام به بررسی اثر خشکسالی و پدیده



شکل ۱: فلوچارت روش انجام تحقیق

دارای همبستگی‌های معنی‌دار به این صورت بود که با محاسبه ضریب همبستگی پیرسون در مقیاس زمانی ماهانه بین سری زمانی دبی و سری زمانی شاخص‌های انسو، تعداد همبستگی‌های با سطح اطمینان ۹۵ درصد و بالاتر شمارش گردید. سپس مقدار جریان ماهانه تک تک ایستگاه‌ها به تفکیک فازهای ال‌نینو و لاینو برای شاخص برتر انجام گرفت. برای مشخص نمودن فازهای ال‌نینو و لاینو، از روش ترنبرس (Trenberth, 1997) استفاده گردید. بدین ترتیب میانگین مقدار جریان هر ماه از سال در فازهای گرم (ال‌نینو) و سرد (لاینو) برای هر ایستگاه جداگانه بدست آمد. به‌منظور بررسی اثر خشکسالی بر مقدار جریان آب رودخانه‌های مورد مطالعه، در گام نخست، مقدار شاخص خشکسالی براساس شاخص بارش استاندارد شده^۴ (SPI) در نرم‌افزار DIP محاسبه گردید. شاخص بارش استاندارد شده برای اولین

اطلاعات شاخص‌های انسو شامل ۹ شاخص نوسانات جنوبی^۵ (SOI)، اقیانوس آرام آمریکای شمالی^۶ (PNA)، شاخص چند متغیره انسو^۷ (MEI)، شاخص دمای سطح آب در ناحیه نینو۳^۸ (NINO₃)، دمای سطح آب در ناحیه نینو۴^۹ (NINO₄)، دمای سطح آب در منطقه نینو۱+۲^۹ (NINO₁₊₂)، دمای سطح آب در منطقه نینو۳/۴^۹ (NINO_{3,4})، شاخص انتقالی انسو^{۱۰} (TNI) و دمای سطح اقیانوسی انسو^{۱۱} (SST) بود که طی دوره آماری متناظر از سایت سازمان هواشناسی استرالیا^{۱۲} و پایگاه الکترونیکی مرکز آب و هوایی آمریکا^{۱۳} استخراج گردید. تأثیر پدیده انسو بر دبی رودخانه در دو مرحله انجام شد. ابتدا تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار بین شاخص‌های انسو و دبی رودخانه، مشخص و شاخص انسو با تعداد همبستگی‌های بالا شناسایی گردید. روش محاسبه و تعیین تعداد ایستگاه‌های

می‌باشد، جهت بررسی نتایج، از مقدار درصد همبستگی استفاده شد. به طوری که مقدار همبستگی شاخص انسو موردنظر یا خشکسالی در هر ماه برای کلیه ایستگاه‌ها محاسبه و سپس درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار در هر استان محاسبه شد. عملیات حاضر جهت مقایسه بهتر نتایج و تاثیرپذیری دبی هر ماه از شاخص‌های مورد مطالعه بود. در پایان اثر پدیده انسو و خشکسالی با تغییرات دبی رودخانه‌های هر یک استان‌های مورد مطالعه، بررسی شد.

نتایج

جدول ۲، ویژگی‌های بارش و دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی هر دو استان را نشان می‌دهد. در تنظیم این جدول مقادیر میانگین ماهانه هر یک از مشخصه‌ها مدنظر قرار گرفت. براساس نتایج جدول ۲ بیشترین دبی مربوط به ایستگاه قره‌گونی از استان زنجان با مقدار دبی ماهانه ۲۸/۲۱ مترمکعب بر ثانیه و کمترین مقدار دبی ماهانه مربوط به ایستگاه تقسیم آب استان همدان با مقدار جریان ماهانه ۰/۵۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. میانگین دبی رودخانه‌های استان همدان ۱/۷۴ مترمکعب بر ثانیه و در استان زنجان برابر ۷/۵۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیان‌گر بالا بودن دبی آب رودخانه‌های استان زنجان می‌باشد. اگرچه متوسط بارندگی ماهانه استان زنجان برابر ۲۴/۳۱ میلی‌متر می‌باشد که به میزان ۶/۲۷ میلی‌متر کمتر از استان همدان است. در مطالعه بینش و همکاران (۱۳۹۵) نیز به عدم همسویی تغییرات بارش و دبی جریان رودخانه اشاره شده است که همسو با این مطالعه می‌باشد. به اعتقاد آنان سری‌های زمانی هیدرولوژیکی، روند و تغییرپذیری بلندمدت دارند که می‌تواند ناشی از

بار توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۳) (McKee et al., 1993) ارائه گردید. هدف از ارائه شاخص بارندگی استاندارد شده، بررسی و تحلیل نمودن آنومالی‌ها و بارندگی‌های سنگین بود. این شاخص ضمن دارا بودن قابلیت محاسبه برای بازه‌های زمانی متفاوت، در ارزیابی شدت خشکسالی نیز از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. شاخص بارندگی استاندارد شده برای هر منطقه براساس آمار بارش طولانی مدت در یک دوره آماری مشخص تعیین می‌شود.

رابطه (۱)

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

که در آن SPI: شاخص معیار بارش سالانه، P_i : مقادیر بارش در زمان i ، \bar{P} : میانگین متوسط درازمدت بارش، SD: انحراف معیار داده‌ها می‌باشند. پس از محاسبه شاخص خشکسالی SPI، به منظور یکسان‌سازی داده‌های شاخص SPI با داده‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی، اقدام به مرتب نمودن داده‌های شاخص SPI و دبی رودخانه گردید. داده‌های شاخص SPI در ۱۲ ستون (به تعداد ۱۲ ماه) و در ۳۲ ردیف که برابر با تعداد سال‌های مورد مطالعه می‌باشد، در نرم‌افزار SPSS 19 تنظیم گردید. مشابه شاخص‌های انسو، به منظور بررسی رابطه بین شاخص SPI با دبی ایستگاه‌های هیدرومتری، از روش همبستگی پیرسون استفاده گردید (Fowler and Kilsby, 2002؛ زارع‌ایبانه، ۱۳۹۳). پس از محاسبه همبستگی بین شاخص SPI با ایستگاه‌های مورد مطالعه، سال‌های خشک و تر براساس طبقه‌بندی شاخص‌ها برای دوره‌های ترسالی و خشکسالی تفکیک و مقدار دبی جریان رودخانه در هر یک از دوره‌های خشک و تر تعیین گردید. از آنجایی که رفتار دبی هر ایستگاه متفاوت از ایستگاه دیگر

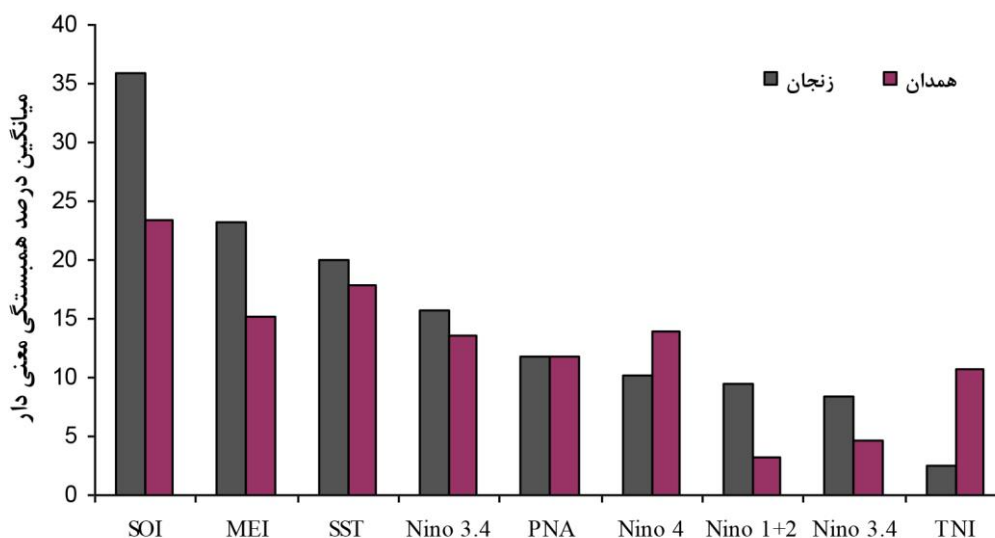
همبستگی معنی دار بین دبی رودخانه و هر یک از شاخص‌ها به تفکیک دو استان همدان و زنجان در شکل ۲ آورده شد. هدف از ارائه این شکل، معرفی مؤثرترین شاخص انسو بر تغییرات دبی رودخانه هر یک از استان‌های مورد مطالعه بود (جدول ۲).

تغییرات فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های آب و هوایی کره زمین باشد. همان‌گونه که در داده‌ها و روش بیان شد، در این مطالعه ۹ شاخص مختلف انسو مورد مطالعه قرار گرفت. پس از محاسبه ضریب همبستگی بین دبی هر یک از ایستگاه‌ها با شاخص‌های انسو، تعداد ایستگاه‌های دارای

جدول ۲: مشخصات بارش و دبی ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه دو استان همدان و زنجان طی دوره ۳۲ ساله

استان	ایستگاه	میانگین دبی ماهانه (متر مکعب بر ثانیه)	میانگین بارش ماهانه (میلی‌متر)
همدان	بهدر بیگ آق کهریز ^a - آق کهریز ^b	۰/۶۸	۲۶/۲۸
	بوجین - آقاجان بلاغی	۱/۰۴	۲۷/۲۴
	کوشک آباد - نوژه	۲/۲۸	۲۶/۹۶
	تقسیم آب - سد اکباتان	۰/۵۳	۲۹/۲۰
	وسج - وسج	۴/۱۸	۴۳/۲۰
زنجان	مهرآباد - سلامت آباد مهرآباد	۶/۸۳۲	۲۲/۶۶
	قره‌گونی - قلتوق	۲۸/۲۱	۲۹/۰۳
	سرچم - تکمه داش	۳/۸۸	۲۷/۰۴
	پالتی - مشم‌پا	۰/۶۴	۲۰/۲۲
	قروه - حنگ‌الماس	۱/۱۶	۲۳/۳۶
	موتورخانه - دندی	۴/۵۱	۲۳/۵۵

a و b: به ترتیب ایستگاه آب‌سنجی و باران‌سنجی



شکل ۲: درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی دار بین دبی رودخانه و هر یک از شاخص‌های انسو

استان زنجان دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص SOI هستند. مقدار فوق برای استان همدان برابر ۲۳/۳۳ درصد می‌باشد که در مقایسه با شاخص‌های دیگر بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. به منظور بررسی جزئی‌تر، نتایج همبستگی ماهانه شاخص SOI با دبی رودخانه هر یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی به تفکیک هر دو استان در جدول ۳ آورده شد. نتایج این بخش از مطالعه به صورت درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد و بالاتر به تفکیک هر ماه می‌باشد.

همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، اثر شاخص‌های انسو بر تغییرات جریان رودخانه هریک از ایستگاه‌ها متفاوت می‌باشد. زارع‌ایبانه (۱۳۹۳) و کانلی (۲۰۰۱) (Kaneli, 2001) نیز ضمن تایید همبستگی جریان رودخانه‌ای با پدیده انسو، تاثیرات متفاوتی از شاخص‌های انسو بر مقادیر جریان رودخانه‌ای را گزارش نمودند. براساس نتایج شکل ۲، در هر دو استان، شاخص SOI بیشترین درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار با دبی رودخانه را دارد. بر این اساس ۳۵/۸۹ درصد از ایستگاه‌های آب‌سنجی

جدول ۳: درصد همبستگی معنی‌دار ایستگاه‌های دو استان همدان و زنجان با شاخص SOI

استان	ماه	شاخص SOI												
		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
همدان	JAN	۲۰	۲۰	۲۰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۲۵
زنجان	JAN	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۲۲
همدان	FEB	—	۲۰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۲۰
زنجان	FEB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۱۷
همدان	MAR	۲۰	۲۰	۲۰	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۲۰
زنجان	MAR	۳۳	۳۳	۱۷	—	—	—	—	—	—	—	—	—	۲۴
همدان	APR	۸۰	۴۰	۶۰	۲۰	—	—	—	—	—	—	—	—	۳۸
زنجان	APR	۶۷	۶۷	۸۳	۵۰	۸۳	۵۰	۶۷	۸۳	۵۰	۶۷	۵۰	۵۰	۶۳
همدان	MAY	—	۶۰	—	۸۰	۸۰	—	—	—	—	—	—	—	۴۹
زنجان	MAY	—	۱۷	—	۳۳	۳۳	۶۷	۸۳	۳۳	—	—	—	—	۴۰
همدان	JUNE	—	—	۶۰	۲۰	۴۰	—	—	—	—	—	—	—	۳۲
زنجان	JUNE	۵۰	۳۳	۱۰۰	۶۷	۶۷	۵۰	۶۷	۶۷	۱۰۰	۳۳	۵۰	—	۵۰
همدان	JULY	۸۰	۴۰	۶۰	۲۰	۴۰	—	—	—	—	—	—	—	۴۴
زنجان	JULY	۱۷	۵۰	۸۳	۱۷	۸۳	۸۳	۱۷	۸۳	۱۷	۵۰	۱۷	—	۴۶
همدان	AUG	—	۲۰	۴۰	۴۰	۶۰	۲۰	—	—	—	—	—	—	۳۳
زنجان	AUG	۱۷	۱۷	۱۳	۵۰	۶۷	۶۷	۵۰	۱۷	۱۷	—	—	—	۳۳
همدان	SEP	۴۰	۲۰	۴۰	۸۰	۸۰	۶۰	—	—	—	—	—	—	۴۲
زنجان	SEP	۵۰	۳۳	۱۰۰	۶۷	۸۳	۱۰۰	۸۳	۶۷	۵۰	۳۳	۵۰	—	۶۲
همدان	OCT	—	—	۲۰	۸۰	۸۰	۱۰۰	—	—	—	—	—	—	۴۷
زنجان	OCT	۸۳	۶۷	۵۰	۸۳	۸۳	۱۰۰	۸۳	۸۳	۵۰	۶۷	۸۳	—	۶۱
همدان	NOV	—	—	۶۰	۶۰	۸۰	۴۰	—	—	—	—	—	—	۴۳
زنجان	NOV	—	۱۷	—	۶۷	۸۳	۸۳	۶۷	—	—	—	—	—	۴۶
همدان	DEC	—	—	۲۰	۸۰	۸۰	۶۰	—	—	—	—	—	—	۴۵
زنجان	DEC	—	۱۷	۳۳	۸۳	۳۳	۱۰۰	۱۰۰	۸۳	۳۳	۱۷	—	—	۴۵

استان، مقدار SOI ماه فوریه کمترین تأثیر را بر تغییرات ماهانه دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی دارد. در گام بعدی با هدف تعیین تأثیرپذیری جریان ماهانه رودخانه‌های دو استان همدان و زنجان از مقدار شاخص SOI اقدام به بررسی تغییرات دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی در دو فاز ال‌نینو و لانینا می‌شود. براساس معیار ترنبرس (Trenberth, 1977) (۱۹۷۷)، فاز گرم انسو در SOI مربوط به مقادیر منفی ($SOI < -5$) و فاز سرد انسو برای مقادیر مثبت ($SOI > +5$) تعریف گردیده است. بدین منظور پس از تعیین فازهای گرم و سرد انسو، مقادیر دبی متناظر با شاخص در هر یک از فازها به‌طور جداگانه مشخص گردید. جدول ۴ میانگین دبی هر یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی به تفکیک فازهای شاخص SOI را نشان می‌دهد.

براساس نتایج جدول ۳، ایستگاه‌های آب‌سنجی هر دو استان، تأثیرپذیری متفاوتی از شاخص SOI دارند. همان‌طور که از جدول ۳ استنباط می‌گردد، مقدار انسو ماه‌های اکتبر، سپتامبر، جولای، ژوئن و آوریل با تغییرات رودخانه کلیه ماه‌های استان زنجان همبستگی معنی‌دار دارند. بیشترین تعداد همبستگی‌های معنی‌دار به مقدار انسو ماه آپریل تعلق دارد که به‌طور متوسط ۶۳ درصد از ایستگاه‌ها را شامل می‌شود. درحالی که تغییرات دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی استان همدان، همبستگی کمتری با مقدار شاخص SOI دارد. همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، بیشترین تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار به مقدار SOI ماه می تعلق دارد که برابر ۴۹ درصد است که بیش از سایر ماه‌ها می‌باشد. برای هر دو

جدول ۴: میانگین دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی در هر یک از فازها

استان	ایستگاه	ال‌نینو	لانینا	درصد تغییرات ال‌نینو به لانینا
زنجان	بهداربیگ	۰/۹۹	۰/۳۹	۱۵۴/۱۳
	آق‌کهریز	۱/۱۸	۰/۹۶	۲۳/۳۸
	کوشک‌آباد	۳/۰۲	۰/۷۱	۳۲۶/۰۳
	تقسیم‌آب	۰/۶۲	۰/۴۵	۳۶/۱۶
همدان	وسج	۶/۵۹	۱/۴۸	۳۴۵/۱۲
	مهرآباد	۸/۷۹	۴/۳۱	۱۰۴/۰۸
	قره‌گونی	۳۷/۴۴	۱۷/۶۷	۱۱۱/۸۶
	سرچم	۵/۱۴	۲/۴۲	۱۱۱/۹۵
	پالتی	۰/۸۲	۰/۳۸	۱۱۶/۷۷
	قروه	۱/۶۳	۰/۵۹	۱۷۳/۱۹
	موتورخانه	۵/۹۹	۲/۷۵	۱۱۷/۴۸

دبی به ایستگاه وسج استان همدان تعلق دارد که با وقوع فاز ال‌نینو مقدار دبی نسبت به فاز لانینا ۳۴۵ درصد افزایش یافته است. این نتیجه همسو

همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است با وقوع فاز ال‌نینو مقدار دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی در هر دو استان، افزایش یافته است. بیشترین درصد افزایش

افزایش معنی‌دار بارش‌های پاییزی منطقه اهر با شاخص SOI در فاز ال‌نینو و خشکسالی در فاز لانینا به‌واسطه کاهش بارندگی‌ها بود. خدافلی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به وقوع بارش‌های بیشتر در فاز ال‌نینو در حوزه آبریز زاینده‌رود اشاره داشتند. فتاحی‌مرج و همکاران (۱۳۸۵) نیز تغییرات جریان فصل بهار اکثر رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه را تحت تأثیر مقادیر منفی شاخص SOI که معادل فاز ال‌نینو می‌باشد، دانستند. به‌منظور بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی، اقدام به محاسبه همبستگی ماهانه بین شاخص SPI با دبی رودخانه‌های مورد مطالعه گردید. جدول ۵ تعداد همبستگی‌های معنی‌دار دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی هر یک از استان‌ها با مقدار SPI ماهانه را نشان می‌دهد.

با گزارش ناظم السادات و همکاران (۱۳۸۵)، مبنی بر افزایش جریان‌های سطحی در فاز ال‌نینو می‌باشد. زارع‌ایبانه و بیات‌ورکشی (۱۳۹۱) با بررسی اثر انسو بر تعداد روزهای بارانی کشور اظهار داشتند که وقوع فاز ال‌نینو منجر به افزایش تعداد روزهای بارانی می‌گردد. از آنجا که افزایش بارندگی منجر به افزایش دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی می‌گردد، بنابراین می‌توان نتایج جدول ۴ را همسو با گزارش زارع‌ایبانه و بیات‌ورکشی (۱۳۹۱) دانست. بیشتر مطالعات انجام شده در نواحی غرب و شمال غربی کشور نیز بیان‌گر آن است که فاز گرم (ال‌نینو) موجب افزایش بارش و فاز سرد (لانینا) موجب کاهش بارش می‌گردد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳). مطالعه خورشیددوست و قویدل‌رحیمی (۱۳۸۵) بیانگر

جدول ۵: درصد همبستگی معنادار ایستگاه‌های هیدرومتری دو استان با شاخص SPI

استان	شاخص SPI												ماه
	DEC	NOV	OCT	SEP	AUG	JULY	JUNE	MAY	APR	MAR	FEB	JAN	
همدان	—	—	—	—	۲۰	—	—	—	۲۰	—	۲۰	—	JAN
زنجان	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	FEB
همدان	۳۴	۴۰	۲۰	۴۰	۲۰	—	—	—	۲۰	—	—	۴۰	MAR
زنجان	۱۷	—	—	—	۱۷	—	—	—	—	—	—	—	—
همدان	۳۰	—	—	—	۴۰	—	۲۰	۲۰	۴۰	۴۰	—	—	MAR
زنجان	۳۰	—	۱۷	۱۷	۳۳	۳۳	۱۷	—	۳۳	۶۷	۵۰	۱۷	۱۷
همدان	۲۵	۲۰	—	—	—	—	—	—	—	—	۲۰	۲۰	APR
—	۱۷	—	—	—	—	—	—	—	—	۱۷	—	—	—
همدان	۳۰	—	—	—	—	—	۲۰	۴۰	—	—	—	—	MAY
زنجان	۳۱	۱۷	۱۷	۱۷	—	۱۷	—	۶۷	۶۷	—	—	۱۷	—
همدان	۲۷	۴۰	—	—	۲۰	۲۰	۲۰	—	—	—	۲۰	۴۰	JUNE
زنجان	۲۸	۵۰	۱۷	—	۳۳	۱۷	۳۳	۳۳	۳۳	—	—	۱۷	۱۷
همدان	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	JULY
زنجان	۲۵	—	—	—	—	۳۳	—	—	—	—	—	—	—
همدان	۲۰	—	—	—	۲۰	—	—	—	—	—	۲۰	—	AUG
زنجان	۲۵	—	—	—	—	۳۳	—	—	—	—	۱۷	—	—
همدان	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	SEP
زنجان	۲۴	—	۱۷	—	—	—	—	—	—	—	۱۷	۱۷	۱۷
همدان	۴۰	—	—	۴۰	—	۲۰	—	—	—	—	—	—	OCT
زنجان	۳۵	۳۳	۵۰	۶۷	۱۷	—	۱۷	۳۳	۳۳	۱۷	—	—	—
همدان	۴۳	۶۰	۶۰	۴۰	۲۰	—	—	—	—	—	۲۰	۴۰	NOV
زنجان	۲۵	۳۳	۱۷	—	—	—	—	—	—	۱۷	۳۳	۳۳	—
همدان	۲۰	۲۰	۲۰	—	—	—	۲۰	—	۲۰	—	—	—	DEC
زنجان	۲۴	۳۳	۳۳	۱۷	۱۷	۱۷	—	۱۷	۱۷	۱۷	۳۳	۳۳	۳۳

زنجان کمتر از استان همدان می‌باشد، لیکن برخلاف استان همدان، مقدار SPI کلیه ماه‌ها با تغییرات دبی ایستگاه آب‌سنجی استان زنجان همبستگی معنی‌دار دارد. به‌طور میانگین، ۲۵ درصد از ایستگاه‌های آب‌سنجی استان زنجان همبستگی معنی‌دار با شاخص SPI دارند. با استناد به طبقه‌بندی مک کی و همکاران (۱۹۹۳) (McKee et al, 1993)، اقدام به بررسی تغییرات دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی در سال‌های خشک و تر براساس آماره SPI گردید. جدول ۶ میانگین دبی هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه را در سال‌های خشک و تر و درصد تغییرات دبی در سال‌های خشک نسبت به سال‌های تر را نشان می‌دهد.

از جدول ۵ این‌گونه استنباط می‌گردد که مقدار SPI ماه‌های جولای و سپتامبر با دبی ماهانه هیچ یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی استان همدان همبستگی معنی‌دار ندارد. در مقابل، مقدار SPI ماه نوامبر بیشترین تأثیر را بر دبی ماهانه ایستگاه‌های آب‌سنجی استان همدان دارد که برابر ۴۳ درصد می‌باشد. به‌طور متوسط، شاخص SPI تغییرات ۲۹ درصد ایستگاه‌های آب‌سنجی استان همدان را توجیه می‌نماید. مقایسه اثر شاخص SPI بر تغییرات دبی رودخانه‌های استان زنجان نشان می‌دهد که مقدار SPI ماه اکتبر بیشترین تأثیر را بر تغییرات ماهانه ایستگاه‌های آب‌سنجی استان زنجان دارد که برابر ۳۵ درصد می‌باشد. اگرچه تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار شاخص SPI با دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی استان

جدول ۶: میانگین دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی در هر یک از سال‌های خشک و تر

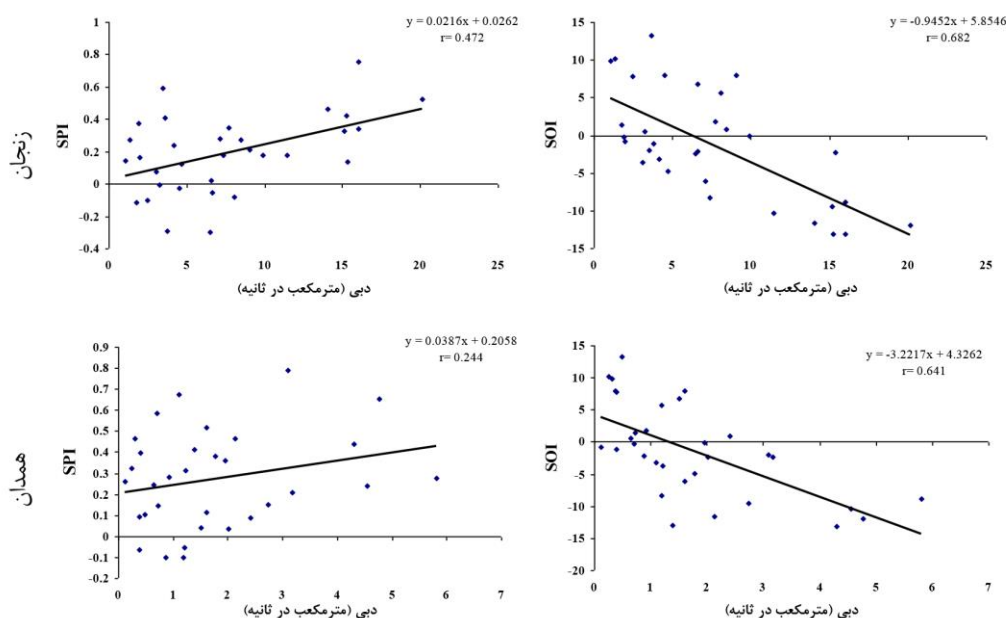
استان	ایستگاه	خشکسالی	ترسالی	درصد تغییرات دبی خشکسالی به ترسالی
۴ زنجان	بهداربیگ آق‌کهریز	۰/۶۷	۰/۸۵	-۲۰/۴۹
	بوجین	۱/۳۸	۱/۱۱	۲۵/۲۴
	کوشک آباد	۲/۴۶	۲/۴۵	۰/۶۱
	تقسیم‌آب	۰/۵۷	۰/۵۹	-۲/۳۴
	وسج	۴/۸۹	۴/۵۶	۷/۲۴
۵ همدان	مهرآباد	۶/۸۵	۸/۳۱	-۱۷/۵۹
	قره‌گونی	۲۷/۰۴	۳۳/۴۳	-۱۹/۰۹
	سرچم	۲/۶۱	۵/۲۱	-۴۹/۹۳
	پالتی	۰/۶۱	۰/۷۸	-۲۱/۷۲
	قروه	۱/۳۷	۱/۲۶	۸/۷۳
	موتورخانه	۴/۸۰	۵/۱۹	-۷/۵۱

در سال‌های خشک مقدار دبی ایستگاه‌های بهار دبیگ و تقسیم‌آب در استان همدان کاهش و در سایر ایستگاه‌های این استان مقدار دبی در سال‌های خشک بیش از سال‌های تر بوده است. دلیل این امر را می‌توان به تأثیرپذیری تغییرات

بررسی اثر سال‌های خشک و تر بر تغییرات دبی هر یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه در جدول ۶ نشان می‌دهد که اثر سال‌های خشک و تر شاخص SPI بر نوسانات دبی جریان رودخانه‌ای هر یک از ایستگاه‌ها متفاوت می‌باشد. به‌طوری‌که

خشکسالی استان همدان به ایستگاه بهادریگ تعلق دارد که معادل ۲۰/۴۹- می‌باشد. این مقدار در استان زنجان برابر ۴۹/۹۳- درصد است که در ایستگاه سرچم قابل مشاهده است. به‌منظور مقایسه بیشتر نتایج، ارتباط بین دبی هر استان با مقادیر شاخص SOI و SPI ایستگاه متناظر به‌صورت نمودار در شکل ۳ آورده شد. در ترسیم این نمودار، میانگین سالانه دبی هر استان در مقابل میانگین سالانه شاخص SOI و شاخص SPI مدنظر قرار گرفت.

هیدرولوژیکی از سایر پارامترهای غیربارشی از جمله فعالیت‌های انسانی، ویژگی‌های توپوگرافی و پوشش گیاهی دانست (پناهی و همکاران، ۱۳۹۸؛ بینش و همکاران، ۱۳۹۵). ضمن آن‌که مقیاس زمانی وقوع خشکسالی نیز در تغییرات دبی موثر می‌باشد. به‌طوری که اثر خشکسالی در گام‌های زمانی بلند مدت می‌تواند در تغییرات متغیرهای هیدرولوژی نمایان گردد. در استان زنجان، به‌جز ایستگاه قره، مقدار دبی سایر ایستگاه‌ها در سال‌های خشک نسبت به سال‌های تر کاهش یافته است. بیشترین کاهش دبی با وقوع



شکل ۳: ارتباط بین مقادیر دبی با مقادیر شاخص‌های SOI و SPI در هر استان

به‌ترتیب برابر ۰/۶۴۱ و ۰/۲۴۴ می‌باشد. این نتیجه همسو با نتایج جداول ۳ و ۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان اثر انسو بر تغییرات دبی هر دو استان را بیش از اثر خشکسالی دانست. در مطالعه فاتحی‌مرج و همکاران (۱۳۸۵) نیز اثر انسو بر تغییرات دبی رودخانه بیش از اثر خشکسالی بود که همسو با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. از آنجا

همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، مقدار ضریب همبستگی بین دبی در هر دو استان با شاخص SOI بیش از همبستگی بین دبی با شاخص SPI است. براساس نتایج شکل ۳، مقدار همبستگی بین دبی در استان زنجان با شاخص SOI برابر ۰/۶۸۲ و با شاخص SPI برابر ۰/۴۷۲ است، در حالی که مقادیر فوق در استان همدان

بابایی‌فینی و فتاحی (۱۳۹۴) شاخص SOI کمترین تأثیر را بر تراز آب دریاچه ارومیه داشت. تفاوت نتایج را می‌توان ناشی از تفاوت نوع اقلیم دانست که در مطالعه ایلدرومی و همکاران (۱۳۹۶) نیز بدان اشاره شده است. در حالی که جلیلی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیرپذیری تغییرات تراز دریاچه ارومیه از شاخص SOI را گزارش نمودند. از طرفی مقدار SOI ماه آپریل در استان زنجان و مقدار SOI ماه می استان همدان پوشش زمانی بیشتری با ایستگاه‌های آب‌سنجی داشتند. به اعتقاد قوبدل‌رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) بارش مناطق شمال‌غربی کشور بیشتر متأثر از الگوهای مختلف پیوند از دور بوده و این تأثیر در بارش‌های ماه دسامبر ملموس‌تر می‌باشد. اختلاف بازه زمانی بین وقوع بارش و افزایش دبی را می‌توان ناشی از زمان تأخیر دانست که بسته به ویژگی‌های خاک-شناسی و زمین‌شناسی هر منطقه متفاوت می‌باشد. در مطالعه بابایی‌فینی و فتاحی (۱۳۹۴) نیز ضمن تایید ارتباط معنی‌دار بین سیگنال‌های اقلیمی و مقدار دبی، همبستگی در تأخیر ۶ ماهه را بیش از تأخیر ۳ ماهه گزارش نمودند. با بررسی تغییرات دبی در هر دو فاز النینو و لانینا، افزایش دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی در هر دو استان، با وقوع فاز ال‌نینو مشاهده شد. مقایسه اثر انسو و خشکسالی بر تغییرات دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی استان‌های مورد مطالعه نیز بیان‌گر آن بود که تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص انسو به مراتب بیش از خشکسالی می‌باشند. به طوری که میانگین درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص SOI در استان‌های همدان و زنجان به ترتیب ۳۶/۵ و ۴۲/۴۲ مشاهده شد. در حالی که متوسط درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص

که اقلیم هر دو استان مورد مطالعه سرد می‌باشد، این نتیجه را می‌توان در راستای گزارش پیره و فاتحی‌مرج (۱۳۹۰) دانست. آنان به تأثیرگذاری بیشتر علایم بزرگ‌مقیاس اقلیمی نقاط مرتفع و نواحی سرد و نیمه‌سرد بر متغیرهای هیدرولوژیکی اشاره داشتند. اگرچه در مطالعات آذره و همکاران (۲۰۱۴) (Azareh et al., 2014) و ویسنت سرانو و لوپز مورنر (۲۰۰۵) (Vicente-Serrano and Lopez-Moreno, 2005) به اثر خشکسالی بر تغییرات جریان آب سطحی اشاره شده است، لیکن همان‌گونه که وکیلی فرد و همکاران (۱۳۹۶) اظهار داشتند چگونگی اثر خشکسالی بر جریان آب سطحی متأثر از عوامل متعدد از جمله فاصله از ایستگاه بارانسنجی، مشخصات جغرافیایی و توپوگرافی هر منطقه می‌باشد، بنابراین نتایج هر منطقه قابل تعمیم نمی‌باشند.

نتیجه‌گیری

بررسی اثر شاخص‌های مختلف انسو بر تغییرات دبی رودخانه‌های استان زنجان و همدان نشان داد که شاخص SOI بیشترین همبستگی را با دبی هر دو استان داشت. برتری شاخص SOI در توجیه تغییرات جریان رودخانه در مطالعه کنعانی و اردبیلی اصل (۱۳۸۵) نیز گزارش شده است که همسو با مطالعه فوق می‌باشد. فاتحی‌مرج و همکاران (۱۳۸۵) نشان دادند شاخص SOI مناسب‌ترین شاخص در بارش‌های پاییزه است. روغنی و همکاران (۱۳۹۱) استفاده از میانگین SOI جهت پیش‌بینی برخی از بارش‌ها را مناسب ارزیابی نمودند. ایلدرومی و همکاران (۱۳۹۶) شاخص SOI را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص در بررسی خشکسالی کشور دانستند. اگرچه در مطالعه بیطارخی‌خالدری و فتاحی (۱۳۹۲) و

همدان را بیش از اثر خشکسالی دانست. این امر می‌تواند در توجیه لزوم مطالعات بیشتر در سایر ایستگاه‌های آب‌سنجی استان‌های مختلف باشد.

SPI برای استان‌های همدان و زنجان به ترتیب ۲۴/۵ و ۲۴/۸۳ بدست آمد. در مجموع می‌توان اثر انسو بر تغییرات دبی رودخانه‌های استان زنجان و

پانوش

- 1-Climate Change
- 2-El-Niño Southern Oscillation
- 3-Pacific Decadal Oscillation
- 4-Trans-Niño Index
- 5-Multivariable Enso Index
- 6-South Oscillation Index
- 7-Pacific North American Index

- 8-Multivariable Enso Index
- 9-Extreme Eastern Tropical Pacific SST
- 10-Trans-Niño Index
- 11-Sea Surface Temperature
- 12-<http://www.bom.gov.au/index.shtm>
- 13-Climate Diagnostics Center
- 14-Standardized Precipitation Index

منابع

اقلیمی بر بارش نواحی مختلف ایران توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی، اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم، ص ۱۱-۱۸.

-تبوزاده، ش.، زارعی، ح. و بذرافشان، ا.، ۱۳۹۴. تحلیل شده، مدت، فراوانی و گسترع خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان، علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی-پژوهشی)، جلد ۳۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴، ص ۱۰۹-۱۲۳.

-جلیلی، ش.، مرید، س.، بناکار، ا. و نامدارقنبری، ر.، ۱۳۹۰. ارزیابی تأثیر شاخص‌های اقلیمی NAO و SOI بر تغییرات تراز دریاچه ارومیه، کاربرد روش‌های آنالیز طیفی سری‌های زمانی، نشریه آب و خاک (علوم و منابع کشاورزی) جلد ۲۵، شماره ۱، ص ۱۴۰-۱۴۹.

-حسین پورنیکنام، ح.، اژدري مقدم، م. و خسروی، م.، ۱۳۹۱. پیش‌بینی خشکسالی یکساله با استفاده از مدل فازی-عصبی، سری‌های زمانی خشکسالی و شاخص‌های اقلیمی (مطالعه موردی: زاهدان)، مجله آب و فاضلاب، شماره ۲، ص ۲۲-۵۱.

-حلبیان، ا.ح. و محمدی، ب.، ۱۳۹۱. ارتباط دمای ماهانه چند ایستگاه نمونه ایران با شاخص‌های مختلف انسو، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۲، شماره ۳۸، ص ۱-۱۹.

-ایلدرومی، ع.، نوری، ح. و بیات‌ورکش، م.، ۱۳۹۶. بررسی ارتباط بین پدیده انسو و وقوع خشکسالی در ایران، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۷، شماره ۲، ص ۱۴۳-۱۵۶.

-بابایی‌فینی، ا. و فتاحی، ا.، ۱۳۹۴. پیش‌آگاهی فصلی دبی ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۴۰، ص ۱۰۹-۱۲۴.

-بیطاری‌خالدري، م. و فتاحی، ا.، ۱۳۹۲. تحلیل رابطه تراز آب دریاچه ارومیه با سیگنال‌های اقلیمی، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال دهم، شماره ۳۷، ص ۹۱-۱۰۷.

-بینش، ن.، نیک‌سخن، م.ح. و سارنگ، ا.، ۱۳۹۵. مطالعه اثر تغییرات بارش بر میزان آبدهی رودخانه درکه طی سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۱، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۳، شماره ۳، ص ۴۶۵-۴۷۶.

-پناهی، ر.، حسین‌زاده، م.م. و خالقی، س.، ۱۳۹۸. تعیین حریم کمی رودخانه گاماسیاب، کرمانشاه، پژوهش‌های دانش زمین، سال ۱۰، شماره ۳۸، ص ۱۰۴-۱۲۱.

-پیره، ع.ر. و فتاحی‌مرج، ا.، ۱۳۹۰. بررسی میزان توان تأثیرگذاری سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس

- خالقی، س.، ۱۳۹۵. تعیین دبی مقطع پر و توان جریان رودخانه ليقوان چای براساس ویژگی‌های موفومتری کانال، پژوهشهای دانش زمین، سال ۷، شماره ۲۸، ص ۱۳۹-۱۵۲.
- خداقلی، م.، کاوسی، م.، آروین، ع.ع. و صبحی، ر.، ۱۳۹۲. بررسی ارتباط علامت‌های از دور SOI و NAO با خشکسالی حوزه آبخیز زاینده‌رود، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۷، شماره ۲۱، ص ۴۱-۵۲.
- خورشیددوست، ع.م. و قویدلرحیمی، ی.، ۱۳۸۵. شبیه‌سازی آثار دو برار شدن دی‌اکسید کربن جو بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از «مدل آزمایشگاه گویایی سیالات ژئوفیزیکی» (GFDL)، مجله محیط‌شناسی، شماره ۳۹، ص ۱-۱۰.
- روغنی، ر.، سلطانی، س. و بشری، ح.، ۱۳۹۱. بررسی روابط شاخص نوسانات جنوبی و دمای سطح آب اقیانوس‌های آرام و هند با بارش فصلی و ماهانه ایران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۶، شماره ۶۱، ص ۲۷۳-۲۸۹.
- زارع‌ایبانه، ح. و بیات‌ورکش، م.، ۱۳۹۱. تأثیر پدیده انسو بر تغییرات دمای ماهانه و فصلی نیمه‌جنوبی کشور، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲، پیاپی ۸۰، ص ۶۷-۸۴.
- زارع‌ایبانه، ح. و بیات‌ورکش، م.، ۱۳۹۱. مطالعه تأثیرپذیری تعداد روزهای بارانی از پدیده انسو در ایران، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۹، ص ۲۱-۳۹.
- زارع‌ایبانه، ح.، ۱۳۹۳. تأثیر پدیده انسو بر تغییرپذیری منابع آب‌های سطحی استان همدان، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، ص ۱۵۳-۱۶۷.
- سبزی‌پرور، ع.ا. و تنیان، س.، ۱۳۹۲. تأثیر پدیده انسو بر نوسانات تبخیر و تعرق مرجع در چند اقلیم نمونه سرد کشور، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۷، شماره ۱، ص ۱۳۱-۱۴۴.
- سبزی‌پرور، ع.ا. و شادمانی، م.، ۱۳۹۰. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۴، ص ۸۲۳-۸۳۴.
- شاهرخ‌وندی، م.، لشنی‌زند، م. و خاکپور، م.، ۱۳۸۸. بررسی خشکیالی هیدرولوژیک و ارتباط آن با بارش در حوضه رودخانه خرم‌آباد، نشریه آمایش محیط، دوره ۲، شماره ۶، صص ۱۴۰-۱۵۵.
- شیرمحمدی، ز.، خانی، ع.ا.، انصاری، ح.، علیزاده، ا. و محمدیان، آ.، ۱۳۹۱. بررسی ارتباط پدیده انسو (ENSO) با مقادیر حدی بارش‌های فصلی در استان‌های خراسان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد نوزدهم، شماره ۱، ص ۶۱-۷۹.
- فاتحی‌مرج، ا.، برهانی‌داریان، ع. و مهدیان، م.ح.، ۱۳۸۵. پیش‌بینی فصلی جریان رودخانه‌های دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص‌های اقلیمی، نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۱، ص ۴۱-۵۱.
- فاتحی‌مرج، ا.، برهانی‌داریان، ع. و مهدیان، م.ح.، ۱۳۸۵. پیش‌بینی بارش فصلی با استفاده از پیوند از دور: مطالعه موردی حوزه آبریز دریاچه ارومیه، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۰، شماره ۳ (الف)، ص ۴۵-۵۷.
- فاتحی، ا.، دلاور، م. و نوحی، ک.، ۱۳۹۱. پیش‌بینی جریان رودخانه‌های کارون شمالی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه

- تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۱، شماره پایایی ۱۰۴، ص ۵۱-۷۷.
- فرج‌زاده اصل، م.، احمدی، م.، علیجانی، ب.، قویدل رحیمی، ی.، مفیدی، ع. و بابائیان، ا.، ۱۳۹۲. بررسی وردایی الگوهای پیوند از دور و اثر آن‌ها بر بارش ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۴، شماره ۱۵، ص ۳۱-۴۵.
- قانقرمه، ع. و بیرودیان، ن.، ۱۳۹۱. دگرگونی‌های اقلیمی و نوسانات آبدی رودخانه‌های بزرگ سواحل جنوبی دریای خزر، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان، سال ۲، شماره مسلسل ۴، ص ۴۳-۵۵.
- قربانی، خ.، سهرابیان، ا.، سالاری جزی، م. و عبدالحسینی، م.، ۱۳۹۵. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر روند دبی رودخانه با بکاربردن مدل هیدرولوژیکی IHACRES (مطالعه موردی: حوضه آبریز گالیکش). نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ۵، شماره ۴، ص ۱۹-۳۴.
- قویدل رحیمی، ی.، فرج‌زاده، م. و کاکاپور، س.، ۱۳۹۳. بررسی اثر الگوهای پیوند از دور دریای شمال-خزر بر نوسانات بارش‌های پاییزی مناطق غرب و شمال‌غرب ایران، نشریه پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ۴۹، ص ۲۱۷-۲۳۰.
- عرفانیان، م.، انصاری، ح. و علیزاده، ا.، ۱۳۹۲. پیش‌بینی بارش و دمای متوسط ماهانه با استفاده از الگوهای پیوند از دور به کمک شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد)، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۳، شماره ۱۱، ص ۵۳-۷۳.
- غفاری، ع.ع.، قاسمی، و.ر. و دپائو، ا.، ۱۳۹۴. پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی ایران با استفاده از روش یونسکو، نشریه زراعت دیم ایران، دوره ۴، شماره ۱، ص ۶۳-۷۵.
- کاظم‌زاده، م. و ملکیان، آ.، ۱۳۹۴. پایش زمانی خشکسالی‌های هیدرولوژیک در استان اردبیل، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۴/۲، ص ۱-۱۲.
- کنعانی، ر. و اردبیلی‌اصل، ب.، ۱۳۸۵. بررسی اثرات پدیده ال‌نینو در بارش و جریان ایستگاه‌های منتخب استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، ص ۱-۸.
- ناظم‌السادات، م.ج.، رحیمی، م. و کشاورزی، ع.، ۱۳۸۵. ارزیابی تأثیر پدیده ال‌نینو-نوسانات جنوبی (ENSO) بر آبدی و خشکسالی (ترسالی) هیدرولوژیکی رودخانه‌های مهم استان فارس، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۷، شماره ۲، ص ۳۶۱-۳۶۹.
- واعظی‌هیر، ع.، ساری‌صراف، ب. و والائی، ا.، ۱۳۹۵. بررسی علل کاهش جریان در رودخانه‌های شاخص جنوب‌شرق دریاچه ارومیه، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۶، شماره ۵۳، ص ۱۲۳-۱۵۰.
- وکیلی‌فرد، ع.، اسدی، ا.، ابراهیمی، ک.، فخری‌فرد، ا. و دربندی، ص.، ۱۳۹۶. بررسی ارتباط زمانی رخداد خشکسالی هواشناختی و خشکسالی آب‌های سطحی (مطالعه موردی: حوضه بیلوردی-دوزدوزان)، نشریه دانش آب‌و‌خاک، جلد ۲۷، شماره ۲، ص ۱-۱۵.

-Azareh, A., Rahdari, M.R., Rafiei Sardoi, E. and Azariya Moghadam, F., 2014. Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam

Basin. Journal of Experimental Biology, 2014, v. 4(3), p. 102-107.

-Fowler, H.J. and Kilsby, C.G., 2002. Precipitation and the North Atlantic Oscillation: a study of climatic

- variability in northern England, *International Journal of Climatology*, v. 22(7), p. 843-966.
- Kaneli, K.B., 2001. Final report: phase II long-range streamflow forecasting using climate information, Utah State University, Utah Water Research Laboratory. Logan, Utah, 24 p.
- Karamooz, M. and Araghi, Sh., 2005. *Advanced Hydrology*, Amirkabir University, Press, 464 p.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993. The relation of drought frequency and duration to time scale, *Proceeding, 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, p. 379-384
- Sen, O., Unal, A., Bozkurt, D. and Kindap, T., 2011. Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections, *Environmental Research Letter*, v. 6(2), p. 1-9.
- Trenberth, K.E., 1997. The Definition of El-Nino, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78(12), p. 2771-2777.
- Vicente-Serrano, S.M. and Lopez-Moreno, J.I., 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 9, p. 523-533.
- Vyas, S.S., Bhattacharya, B.K., Nigam, R., Guhathakurta, P., Ghosh, K., Chattopadhyay, N. and Gairola, R.M., 2015. A combined deficit index for regional agricultural drought assessment over semi-arid tract of India using geostationary meteorological satellite data, *international journal of applied earth observation and geoinformation*, v. 39, p. 28-39.
- Zhang, Q., Xu, C.Y. and Zhang, Z., 2009. Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index, *Theoretical and Applied Climatology*, v. 98, p. 89-99.