

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2024.22214.2029](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2024.22214.2029)

## ارزیابی شدت خشکسالی در جلگه بین‌النهرین و تغییرات بارش‌های ناشی از آن در نواحی غرب و جنوب‌غرب ایران (مقاله پژوهشی)

۱- پروانه سبحانی، استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲- افشین دانه‌کار\*، استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

danehkar@ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱

### چکیده

جلگه بین‌النهرین از جمله حوضه‌های آبی مشترک در منطقه خاورمیانه می‌باشد که در دهه‌های اخیر تغییرات اکولوژیک و هیدرولوژیکی عمده‌ای را شاهد بوده است. از این‌رو، خشک شدن گسترده پهنه‌های آبی این جلگه تخریب وسیع اکوسیستم منطقه و گسترش بی‌سابقه بیابان را به دنبال داشته است. بر این اساس، در این مطالعه به بررسی روند تغییرات پهنه‌های آبی جلگه بین‌النهرین در طی چهار دهه اخیر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی شدت خشکسالی و تغییرات بارش‌های ناشی از آن با استفاده از شاخص‌های SPI، RAI و PNI در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ پرداخته شد. همان‌طور که نتایج نشان داد در طی این سال‌ها، به دلیل عوامل مختلفی از جمله تغییرات اقلیم، کاهش بارندگی‌ها، خشکسالی، سدسازی‌های صورت گرفته توسط کشور ترکیه و غیره منجر به افزایش روند کاهش پهنه‌های آبی و در نتیجه گسترش خشکسالی‌ها در این جلگه شده است که بیشترین مساحت پهنه‌های آبی با مقدار ۱۵۳۵۷۳ هکتار مربوط به سال ۱۹۸۰ و همچنین کمترین مساحت آبی با مساحت ۹۸۷۶۵ هکتار به سال ۲۰۲۲ اختصاص یافته است. بر اساس نتایج به دست آمده از شاخص‌های SPI، RAI و NPI، خشکسالی در سال‌های ۱۹۸۰-۱۹۹۹ در سه مرحله و با کاهش بارندگی ۴۴٪، در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۰ در دو مرحله و با کاهش بارندگی ۱۷/۵٪، در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۵ با ۳۴٪ کاهش بارندگی نسبت به میانگین بلندمدت و در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۲۲ ادامه خشکسالی در بعضی مناطق کشور نظیر مناطق جنوب و جنوب‌شرقی و تا حدودی جنوب‌غرب کشور قابل مشاهده است. بدین ترتیب بیشترین خشکسالی‌ها در دهه‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۷-۲۰۱۵ ثبت و گزارش شده است. از این‌رو، برنامه‌ریزی صحیح در راستای کنترل خشکسالی در منطقه و به دنبال آن پیامدهای محیط زیستی هم‌چون افزایش گردوغبار و سایر پیامدهای زیستی در کشور امری ضروری است.

واژگان کلیدی: شدت خشکسالی، جلگه بین‌النهرین، شاخص‌های SPI، RAI و PNI، غرب و جنوب‌غرب ایران.

### مقدمه

و جایگاه خاصی بنابر موقعیت ژئوپلیتیکی حاکم برخوردار است [۲۵]. علاوه بر آن، در دوره‌های مختلف تاریخی روابط دو کشور همسایه ایران و عراق متأثر از نحوه بهره‌برداری و مالکیت این حوضه آبی بوده است. متأسفانه در طی دهه‌های اخیر به دلیل احداث سدهای متعدد در بالادست این جلگه، انواع بهره‌برداری‌های بی‌رویه فعالیت‌های انسانی در بخش صنعت و کشاورزی منجر به وقوع خشکسالی و کمبود منابع آبی در منطقه شده است [۲۷].

ضعف در مدیریت صحیح منابع آبی به‌خصوص در حوضه‌های آبی مشترک بین‌المللی، نداشتن دیپلماسی آبی کارآمد، و شیوه نامناسب بهره‌برداری از این منابع آبی در قرن ۲۱ به خشکسالی و کاهش کیفیت روز افزون نقش و اهمیت آب و منابع آبی در روند زندگی جوامع به‌خصوص در منطقه خاورمیانه شده است که ادامه این روند می‌تواند زمینه ساز بحران‌های محیط زیستی و تنش‌های کم آبی در منطقه گردد [۳۶]. جلگه بین‌النهرین از جمله حوضه‌های آبی مشترک در منطقه خاورمیانه می‌باشد که از حساسیت

(کاهش تولیدات کشاورزی، رویشگاه‌های طبیعی، کاهش تولیدات دامی و زنبوداری) و در بخش انسانی (افزایش مهاجرت، نرخ بیکاری، کاهش امید به زندگی و مشکلات اقتصادی) را به دنبال دارد [۸].

در مناطق حساس خشک و نیمه‌خشک که کمبود بارندگی اثرات شدیدی بر منابع آبی می‌گذارد، در اغلب موارد خشکسالی‌های اقلیمی رخ داده که منجر به گسترش انواع خشکسالی‌ها شده است [۷]. بارش یکی از پارامترهای مهم و ضروری برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی می‌باشد که مطالعه و بررسی آن از اهمیت بالایی برخوردار است [۳]. از این رو به منظور پایش خشکسالی، از شاخص‌های مختلفی از جمله SPI، NPI، RAI و ... توسط محققان زیادی در ایران و جهان [۲۵، ۳۱، ۳۳] مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج به دست آمده نشان دهنده افزایش خشکسالی‌ها در طی دهه‌های اخیر می‌باشد.

با توجه به چالش‌های جهانی ناشی از خشکسالی و پدیده گردوغبار، مطالعاتی در خصوص تحلیل فرایند خشکسالی و بررسی شدت آن با استفاده از شاخص‌های مختلف خشکسالی گسترش یافته است که به برخی از آن‌ها در این مطالعه اشاره شده است. در مطالعه‌ای [۱۸] به ارزیابی تغییرات خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص‌های SPEI و SC-PDSI پرداخته شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که تمرکز هسته‌های بیشینه نرمال در نیمه شرقی کشور، و کمترین درصد سال‌ها در طبقه خشکسالی بسیار شدید با تمرکز بیشینه در نیمه غربی، مرکز و جنوب کشور بوده است.

در مطالعه‌ای دیگر [۲۸] خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های مختلف بر اساس داده‌های زمینی و سنجش از دور در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که نتایج نشان داد نمایه سنجش از دور از دقت خوبی در برآورد پراکندگی مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی برخوردار است، به طوری که ضریب همبستگی بین نمایه VHI و SPI برابر ۰/۸۶ حاصل شده و نشان‌دهنده تطابق این شاخص با شاخص هواشناسی SPI می‌باشد. همچنین در مطالعه‌ای [۴] ارزیابی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی استان آذربایجان غربی با استفاده از شاخص‌های PNI، SPI، CZI و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد

از طرفی دیگر، افزایش خشکسالی‌های رخ داده منجر به تغییر در الگوهای اقلیمی و اختلال در حجم بارش‌ها در کشور می‌باشد. بر این اساس، تغییر در الگوهای گردش جوی می‌تواند باعث توقف مسیرهای طوفان برای ماه‌ها یا سال‌ها شود و همچنین این اختلال می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای بر میزان بارشی که معمولاً یک منطقه دریافت می‌کند تأثیرگذار باشد. همچنین تغییر در الگوی باد می‌تواند میزان جذب رطوبت در مناطق مختلف را کاهش دهد [۱۵].

از این رو، خشکسالی‌های اخیر و همچنین گرمایش جهانی، منجر به تغییرات آب‌وهوایی و در نهایت کاهش حجم بارندگی‌ها در حوضه آبخیز مورد مطالعه شده است. در این راستا، رویکردهای اخیر در زمینه مدیریت منابع آب در منطقه، منجر به سدسازی، تغییر در فرآیند زهکشی، حجم آب حوضه رودخانه‌ها و در نهایت اثرات محیط زیستی شده است [۱۳].

حوضه آبریز رودخانه‌های دجله و فرات (بین‌النهرین) یکی از حوضه‌های آبریزی که در دهه‌های اخیر تغییرات اکولوژیک و هیدرولوژیکی عمده‌ای را شاهد بوده است. متأسفانه خشک شدن گسترده پهنه‌های آبی این جلگه تخریب وسیع اکوسیستم منطقه و گسترش بی‌سابقه بیابان را به دنبال داشته است. از این رو بیابان‌ها که کانون آلودگی دراز گردوغبار می‌باشند، خود باعث تشدید طوفان‌ها در کشور می‌شوند [۳۶]. بر این اساس، گردوغبار ناشی از خشک شدن پهنه‌های آبی جلگه بین‌النهرین پیامدهایی هم‌چون کاهش کیفیت هوا، از بین رفتن پوشش‌های گیاهی به ویژه جنگل‌های زاگرس در غرب کشور و در نهایت تهدید سلامت انسان و سایر گونه‌های زیستی را به همراه داشته است. از طرفی تداوم روند خشکسالی‌ها منجر به اثرگذاری و آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی جوامع شده است که نتیجه آن تهدید سلامت و رفاه زندگی انسان می‌باشد. پیامدهای اجتماعی و اقتصادی خشکسالی منجر به افزایش مهاجرت، شیوع بیماری‌ها، افزایش شاخص بی‌کاری، کاهش تولیدات کشاورزی و دامی، کاهش رضایت شغلی و سایر تهدیدات حیات انسانی شده است [۳۷].

بنابراین، خشکسالی یک زنجیره به هم پیوسته از تغییرات آب‌وهوایی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و همچنین تأثیرات منفی بر زیست‌بوم منطقه‌ای در زمینه طبیعی

بررسی ارتباط بین تغییرات پهنه‌های آبی و وضعیت بارش‌های رخ داده یکی از موضوعات بسیار مهم در فرآیند خشکسالی و شدت وقوع آن می‌باشد که در این مطالعه به این موضوع در طی سال‌های مختلف پرداخته شد. لازم به ذکر است که انتخاب سال‌های مورد مطالعه به دلیل افزایش سریع رشد جمعیت، توسعه انقلاب صنعتی و گسترش فعالیت‌های مختلف انسانی در طی این سال‌ها بوده است که منجر به تغییر در الگوهای اقلیمی و در نهایت کاهش حجم بارش‌ها و خشکسالی‌های اخیر شده است. بر این اساس عمده‌ترین سوالات پژوهش عبارتند از: (۱) روند تغییرات پهنه‌های آبی جلگه بین‌النهرین در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ از چه وضعیتی برخوردار است؟ (۲) شدت خشکسالی‌های رخ داده با توجه به بارش‌ها و شاخص‌های خشکسالی SPI، RAI و PNI چه تغییراتی را نشان می‌دهد؟

## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش محدوده مورد مطالعه شامل پهنه‌های آبی جلگه بین‌النهرین می‌باشد که رودخانه دجله با ۱۹۰۰ کیلومتر طول از کوه‌های شرق ترکیه سرچشمه گرفته و به سمت کوه‌های جنوب‌شرقی جریان پیدا می‌کند و ضمن تشکیل بخشی از مرز سوریه و ترکیه وارد عراق شده و پس از پیوستن به فرات و تشکیل شط‌العرب به خلیج فارس می‌ریزد. نزدیک ۵۱ درصد از سرچشمه‌های دجله از ترکیه و بقیه آن از ایران، سوریه و عراق می‌باشد [۲۰].

رود فرات نیز طولانی‌ترین رودهای جنوب‌غربی آسیا است که از ترکیه سرچشمه گرفته و تا خلیج فارس امتداد دارد. طول این رودخانه ۲۷۰۰ کیلومتر است که پس از عبور از سوریه وارد عراق شده و نهایتاً به خلیج فارس سرریز می‌شود (۹۴ درصد از سرچشمه‌های این رود در ترکیه قرار گرفته است) [۲۹].

جلگه بین‌النهرین در واقع، در میان دو رود دجله و فرات واقع شده و بیش‌ترین محدوده آن به ترتیب در کشورهای عراق، سوریه و ترکیه قابل مشاهده است. در سال‌های اخیر سدهای متعددی در طی اجرای پروژه گاپ بر روی رودهای دجله و فرات احداث شده است که شامل سدهای موصل،

تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تحلیل فراوانی شاخص‌های خشکسالی، شاخص PNI در سال‌های نرمال و شاخص SPI در ترسالی‌های ضعیف در استان، کارایی بیشتری داشته است و در مورد خشکسالی‌های ضعیف تا متوسط هر سه شاخص نتایج و کارایی تقریباً یکسانی را نشان می‌دهند.

در پژوهشی [۱۷] دوره‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از GPCDDI در بازه زمانی ۱۹۵۲-۲۰۱۹ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که روند و شدت خشکسالی‌ها افزایش یافته است. از طرفی دیگر الگوی تغییرات فضایی شدت خشکسالی نشان‌دهنده دو کانون اصلی خشکسالی در جنوب‌شرقی و مرکز ایران است که تعداد مراکز خشکسالی در ایران نیز با گذشت زمان افزایش یافته است. همچنین در مطالعه‌ای دیگر [۱۲] روند تغییرات خشکسالی هواشناسی (۱۹۰۱-۲۰۰۸) در هند با استفاده از شاخص SPEI و آزمون من-کندال مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج به دست آمده نشان‌دهنده وقوع خشکسالی و کاهش بارش‌ها در طی این دوره می‌باشد.

یکی دیگر از پژوهش‌ها [۳۰] به بررسی بزرگ‌ترین وقایع خشکسالی در اروپا پرداخته است که نتایج به دست آمده حاکی از آن است که اروپای شمالی و شرقی از اوایل ۱۹۵۰ تا اواسط ۱۹۷۰ بزرگ‌ترین خشکسالی را از نظر فراوانی و شدت تجربه کرده است و به‌طورکلی در دهه ۵۰، کل اروپا تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژی طولانی و شدید قرار گرفته است.

مطابق با سوابق مطالعاتی و پژوهشی فوق، اکثر مطالعات شدت و مدت خشکسالی‌های رخ داده در بازه‌های زمانی متفاوت را مورد بررسی قرار داده‌اند، که در هیچ‌یک از مطالعات به بررسی روند تغییرات خشکسالی در بلندمدت و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل آن با استفاده از شاخص‌های خشکسالی پرداخته نشده است. از این‌رو مطالعه حاضر سعی بر این داشته است که به بررسی روند تغییرات پهنه‌های آبی جلگه بین‌النهرین در طی چهار دهه اخیر (طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی شدت خشکسالی و تغییرات بارش ناشی از آن با استفاده از شاخص‌های SPI، RAI و PNI در غرب و جنوب‌غرب ایران بپردازد.

از یک سو تحت تأثیر سامانه‌های آب‌وهوایی مناطق حاره و جنب حاره‌ای و از سوی دیگر متأثر از عناصر آب‌وهوایی عرض‌های میانی به‌ویژه بادهای غربی می‌باشد.

حدیثه، طبقه و دو سد ایلی سو و آتاترک می‌باشند (شکل ۱). علاوه بر این، محدوده مورد مطالعه در ایران دربرگیرنده استان‌های غربی کشور می‌باشد که این سرزمین کوهستانی



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

### داده‌های مورد استفاده

در مطالعه حاضر به منظور بررسی و ارزیابی خشکسالی جلگه بین‌النهرین و تغییرات بارش ناشی از آن در غرب و جنوب غرب ایران، به تهیه تصاویر ماهواره‌ای لندست TM ۵ برای سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۲ و از لندست OLI-TIRS ۸ برای سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ اقدام گردید. سپس به منظور بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI، RAI و PNI به گردآوری داده‌های بارندگی از ۱۸ ایستگاه همدید و انتخابی در منطقه، توسط سازمان هواشناسی کشور پرداخته شد.

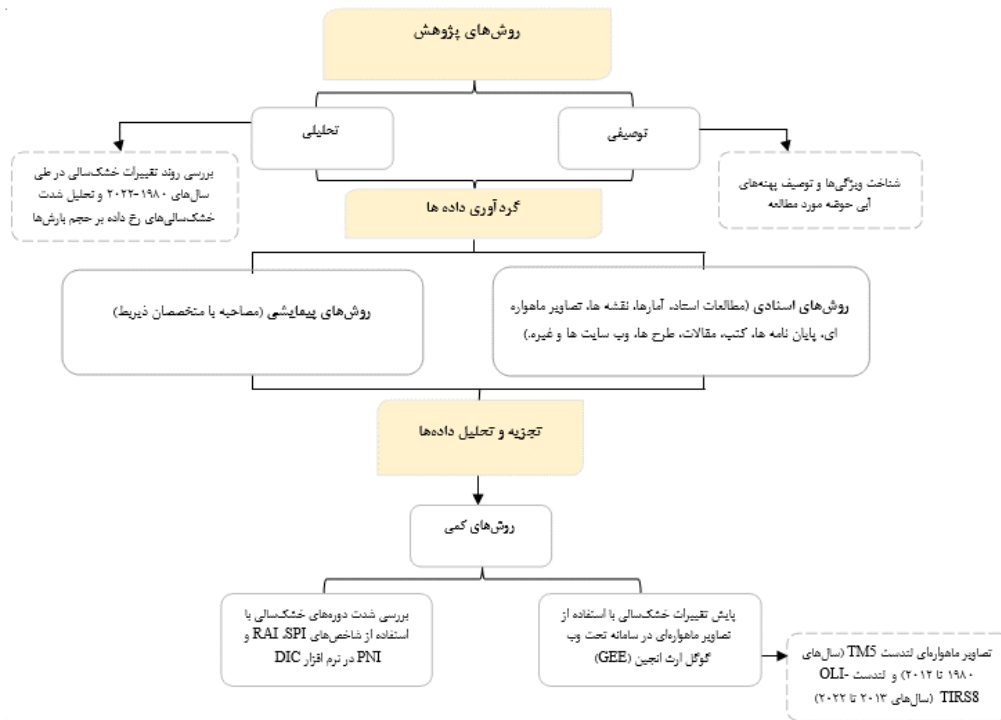
همان‌طور که در جدول ۱ قابل مشاهده است، ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل تبریز، ارومیه، اصفهان، کاشان، ایلام، تهران، شهرکرد، اهواز، آبادان، زنجان، قم، قزوین، سنندج، سقز، کرمانشاه، خرم‌آباد، اراک و همدان می‌باشد که طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع هر یک از ایستگاه‌ها نیز بر حسب متر ذکر شده است. از این‌رو داده‌های مذکور بر اساس میانگین سالانه بارش در هر ایستگاه، در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲ استخراج و مورد تحلیل قرار گرفته است.

### روش تحقیق

روش انجام پژوهش در این مطالعه، مبتنی بر روش توصیفی-تحلیلی است. بدین ترتیب که بر اساس روش توصیفی به شناخت ویژگی‌ها و توصیف پهنه‌های آبی حوضه مورد مطالعه پرداخته شد. در روش تحلیلی نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی روند تغییرات خشکسالی در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲ و همچنین تحلیل شدت خشکسالی‌های رخ داده بر حجم بارش‌ها با استفاده از شاخص‌های SPI، RAI و PNI اقدام گردید.

در این مطالعه، گردآوری داده‌ها نیز به روش اسنادی و پیمایشی بوده است؛ در روش اسنادی، از ابزارهای نقشه، تصاویر ماهواره‌ای آمارهای سازمانی، طرح‌ها و گزارش‌ها، اسناد و پایان‌نامه‌ها استفاده شد. روش پیمایشی نیز از طریق مصاحبه با متخصصان ذی‌ربط انجام گرفت. در این مطالعه، تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات، به روش کمی و شامل پایش تغییرات خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین (GEE)<sup>۱</sup> و بررسی شدت دوره‌های خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI، RAI و PNI در نرم‌افزار DIC می‌باشد. در شکل ۲، فلوچارتی از مراحل انجام تحقیق نمایش داده شده است.

<sup>۱</sup>- Google Earth Engine



شکل ۲- فلوجارت مراحل انجام تحقیق

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تبریز	۴۶ ۱۷	۳۸ ۰۵	۱۳۶۱
ارومیه	۴۵ ۰۵	۳۷ ۳۲	۱۳۱۵/۹
اصفهان	۵۱ ۴۰	۳۲ ۳۷	۱۵۵۰/۴
کاشان	۵۱ ۲۶	۳۳ ۵۹	۹۸۲/۳
ایلام	۴۶ ۲۶	۳۳ ۳۸	۱۳۳۷
تهران	۵۱ ۱۹	۳۵ ۴۱	۱۱۹۰/۸
شهرکرد	۵۰ ۵۱	۳۲ ۱۷	۲۰۴۸/۹
اهواز	۴۸ ۴۰	۳۱ ۲۰	۲۲/۵
آبادان	۴۸ ۱۵	۳۰ ۲۲	۶/۶
زنجان	۴۸ ۲۹	۳۶ ۴۱	۱۶/۶۳
قم	۵۰ ۵۱	۳۴ ۴۲	۸۷۷/۴
قزوین	۵۰ ۰۳	۳۶ ۱۵	۱۲۷۹/۲
سنندج	۴۷ ۰۰	۳۵ ۲۰	۱۳۷۳/۴
سقز	۴۶ ۱۶	۳۶ ۱۵	۱۵۲۲/۸
کرمانشاه	۴۷ ۰۹	۳۴ ۲۱	۱۳۱۸/۶
خرم‌آباد	۴۸ ۱۷	۳۳ ۲۶	۱۱۴۷/۸
اراک	۴۹ ۴۶	۳۴ ۰۶	۱۷۰۸
همدان	۴۸ ۴۳	۳۵ ۱۲	۱۶۷۹/۷

### شاخص‌های خشکسالی

نمایش مطلوب خشکسالی تابعی از شاخص‌های به کار گرفته شده در تعیین شدت یا تداوم خشکسالی‌ها و تحلیل فضایی انجام شده برای نمایش پهنه‌بندی آن می‌باشد. با

توجه به نظر برخی از پژوهشگران دوره‌های خشک نمی‌توانند تنها تابعی از پارامترهای معمول مانند ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی باشند؛ بنابراین، برای بررسی دوره‌های خشک سعی می‌گردد تا از شاخص‌های موجود،

کاربرد صحیح SPI را می‌توان در پژوهش‌های متعددی [۵، ۱۹، ۲۶] جستجو کرد. این شاخص براساس میانگین متحرک زمانی از داده‌های بارش محاسبه می‌گردد. به عبارت دیگر، متغیر بارش هر سال بر اساس میانگین بارش آن سال و دو سال قبل در نظر گرفته می‌شود، تا به این ترتیب سری زمانی بارش در بلند مدت ساخته شود. سپس برای محاسبه آن توزیع احتمالاتی مبتنی بر سری‌های تجمعی بارش برازش داده می‌شود، که معمولاً از توزیع گاما استفاده می‌گردد. پس از محاسبه احتمال تجمعی گاما در سری زمانی، متغیر نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک برای بارش سالانه محاسبه می‌شود، که همان شاخص SPI خواهد بود. بر این اساس طبقه‌بندی شاخص SPI مطابق با جدول ۲ است. در این راستا محاسبات این شاخص با برازش تابع توزیع گاما بر داده‌های بلندمدت بارش مطابق با رابطه ۱ و ۲ می‌باشد.

برای پایش مدت و شدت خشکسالی‌های رخ داده استفاده شود [۶]. از این‌رو، در مطالعه حاضر با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI، RAI و PNI در نرم‌افزار DIC، به پایش دوره‌های خشک در بلند مدت (۲۰۲۲-۱۹۸۹) پرداخته شد.

### شاخص استاندارد بارش (SPI)

شاخص SPI همان شاخص بارش استاندارد شده می‌باشد، که توسط McKee در سال ۱۹۹۳ برای طبقه‌بندی خشکسالی در منطقه کلرادو توسعه یافت [۲۴]. امروزه این شاخص از یک مقبولیت قابل قبول و به نسبت عمومی برخوردار است؛ اما متأسفانه برخلاف کاربرد زیاد آن در فعالیت‌های داخل کشور، عده‌ای آن را فقط در رابطه توزیع نرمال استاندارد خلاصه می‌کنند و از تشکیل سری زمانی و برازش توزیع گاما غافل می‌شوند.

جدول ۲- طبقات شاخص خشکسالی SPI [۲۴]

شاخص (%)	طبقه خشکسالی
> ۱/۰	نرمال
۱/۰ - ۱/۰	نزدیک به نرمال
- ۱/۰ - ۱/۵	خشکسالی متوسط
- ۱/۵ - ۲/۰	خشکسالی شدید
< - ۲/۰	خشکسالی بسیار شدید

$$SPI = + \left[ t - \frac{c_0 + c_1^t + c_2^{t^2}}{1 + d_1^t + d_2^{t^2} + d_3^{t^3}} \right] \text{ if } : 0.5 < H(X) < 1 \quad t = \sqrt{\text{Ln} \left[ \frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad (1)$$

$$SPI = - \left[ t - \frac{c_0 + c_1^t + c_2^{t^2}}{1 + d_1^t + d_2^{t^2} + d_3^{t^3}} \right] \text{ if } : 0 < H(X) < 0.5 \quad t = \sqrt{\text{Ln} \left[ \frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad (2)$$

بارش سالانه  $P$  باشد و از طرفی ناهنجاری مربوطه مثبت باشد، به منظور انجام محاسبات از رابطه ۳، و اگر ناهنجاری منفی باشد از رابطه ۴ استفاده می‌گردد. علاوه بر این طبقه‌بندی شاخص RAI مطابق با جدول ۳ می‌باشد.

$$RAI = + 3 \times \left[ \frac{p - \bar{p}}{\bar{m} - \bar{p}} \right] \quad (3)$$

### شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

اساس این شاخص، محاسبه انحراف از نرمال بارندگی بلند مدت می‌باشد. برای محاسبه این شاخص ابتدا میانگین بلند مدت بارش  $\bar{p}$  در ایستگاه‌های مورد نظر به دست می‌آید. سپس ده مورد از بزرگ‌ترین بارش‌های اتفاق افتاده در دوره آماری به منزله  $\bar{m}$  و ده مورد از کمترین مقادیر بارش‌های دوره آماری به منزله  $\bar{x}$ ، مشخص می‌گردد. چنانچه متغیر

## نرم‌افزار DIC

در این نرم‌افزار که تحت ویندوز اجرا می‌شود می‌توان با استفاده از داده‌های بارندگی حاصل از ایستگاه‌های سینوپتیک به محاسبه و بررسی شاخص‌های خشکسالی ( $Z_i$ )، پرداخت (DI, PNPI, SIAP, RAI, SPI, EDI, BMDI) و نتایج به دست آمده را به صورت نمودار روند تغییرات مثبت/ منفی به نمایش گذاشت. همچنین این نرم‌افزار قابلیت انتقال داده‌ها به نرم‌افزار اکسل و تهیه خروجی با فرمت‌های قابل بازخوانی را دارا می‌باشد که سری‌های زمانی قابل محاسبه در این نرم‌افزار شامل روز، ماه، فصل و سال است.

## پایش تغییرات پهنه‌های آبی

در این بخش به منظور بررسی روند تغییرات پهنه‌های آبی در طی سال‌های مورد مطالعه، ابتدا به تهیه تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۲) و لندست ۸ (سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۲۲) اقدام گردید و در ادامه به پردازش و تحلیل این تصاویر بر اساس روند تغییرات سالانه و ماهانه پرداخته شد. سپس از شاخص آبی نرمال (NDWI)<sup>۱</sup> برای تفکیک پهنه‌های آبی از سایر پارامترهای خاک و پوشش گیاهی استفاده گردید.

شاخص NDWI برای استخراج پهنه‌های آبی بر روی تصاویر ماهواره‌ای به کار می‌رود. این شاخص از باند مادون قرمز نزدیک و باند سبز مرئی برای بارزسازی پهنه‌های آبی و حذف پوشش گیاهی و خاک استفاده می‌نماید. دامنه تغییرات این شاخص بین +۱ و -۱ قرار دارد که هرچه ارزش پیکسل به +۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وجود پهنه آبی و هرچه به -۱ نزدیک‌تر گردد نشان‌دهنده عدم وجود پهنه آبی می‌باشد [۲۳]. این شاخص با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌گردد:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (6)$$

در این مطالعه به منظور کاهش و حذف متغیرهای ورودی و بهبود در تفسیرپذیری تصاویر، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)<sup>۲</sup> استفاده شد. در تصاویر ماهواره‌ای معمولاً

$$RAI = -3 \times \left[ \frac{p - \bar{p}}{\bar{x} - \bar{p}} \right] \quad (4)$$

جدول ۳- طبقات شاخص خشکسالی RAI [۳۴]

شاخص (%)	طبقه خشکسالی
> ۰/۳	نرمال
۰/۳ - ۰/۳	نزدیک نرمال
۰/۳ - ۱/۲	خشکسالی ضعیف
۱/۲ - ۲/۱	خشکسالی متوسط
۲/۱ - ۳/۰	خشکسالی شدید
< ۳/۰	خشکسالی بسیار شدید

## شاخص درصد نرمال بارش (PNI)

شاخص PNI بر اساس اندازه‌گیری داده‌های بلندمدت بارش برای هر ایستگاه و سپس تغییرات درصدی آن‌ها از نرمال بارش بلندمدت بر مبنای داده‌های ماهانه یا سالانه می‌باشد و محاسبه این شاخص از رابطه ۵ صورت می‌گیرد:

$$PNI = \frac{P_i}{\bar{p}} \times 100 \quad (5)$$

که در این رابطه،  $PNI$  شاخص درصد نرمال بارش برای هر ایستگاه؛  $P_i$  بارش سالانه و  $\bar{p}$  میانگین بارش در دوره آماری ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۲ است. سپس به طبقه‌بندی این شاخص مطابق با جدول ۴ اقدام گردید.

جدول ۴- طبقات شاخص خشکسالی PNI [۳۵]

شاخص (%)	طبقه خشکسالی
> ۹۰	نرمال
۹۰-۸۰	نزدیک به نرمال
۸۰-۷۰	خشکسالی ضعیف
۷۰-۵۵	خشکسالی متوسط
۵۵-۴۰	خشکسالی شدید
< ۴۰	خشکسالی بسیار شدید

<sup>۲</sup> - Principal Component Analysis<sup>۱</sup> - Normalized Difference Water Index

مرحله طبقه‌بندی تصاویر، از ضریب کاپا و صحت کلی به منظور صحت‌سنجی و ارزیابی دقت طبقه‌بندی استفاده گردید.

## نتایج

### روند تغییرات سالانه پهنه‌های آبی

بسیاری از روش‌های متداول در ارزیابی خشکسالی به واسطه آن‌که بر مبنای داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استوار می‌باشند، برآوردی نقطه‌ای از این پدیده دارند. از این رو، در مطالعه حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ به پیش تغییرات پهنه‌های آبی در محدوده مورد مطالعه پرداخته شد.

همان‌طور که نتایج نشان داد پهنه‌های آبی در طی سال‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی می‌باشند. از این رو مطابق جدول ۵ بیشترین مساحت پهنه‌های آبی با مقدار ۱۵۳۵۷۳ هکتار مربوط به سال ۱۹۸۰ و همچنین کمترین مساحت آبی با مساحت ۹۸۷۶۵ هکتار به سال ۲۰۲۲ اختصاص یافته است. بر این اساس در طی این سال‌ها روند کاهشی در پهنه‌های آبی و در نتیجه گسترش خشکسالی‌ها در محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده می‌باشد. در شکل ۳ نیز، روند تغییرات پهنه‌های آبی در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد تغییرات پهنه‌های آبی در طی سال‌های مورد مطالعه از روند کاهنده‌ای برخوردار است و از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ سیر نزولی را نشان می‌دهد که در طی این سال‌ها، بیشترین روند کاهشی مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ بوده است.

جدول ۵- مساحت و درصد تغییرات پهنه‌های آبی در طی

سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲

سال	مساحت (هکتار)
۱۹۸۰	۱۵۳۵۷۳
۱۹۹۰	۱۴۳۷۶۸
۲۰۰۰	۱۱۴۵۲۴
۲۰۱۰	۱۰۳۲۷۱
۲۰۲۲	۹۸۷۶۵

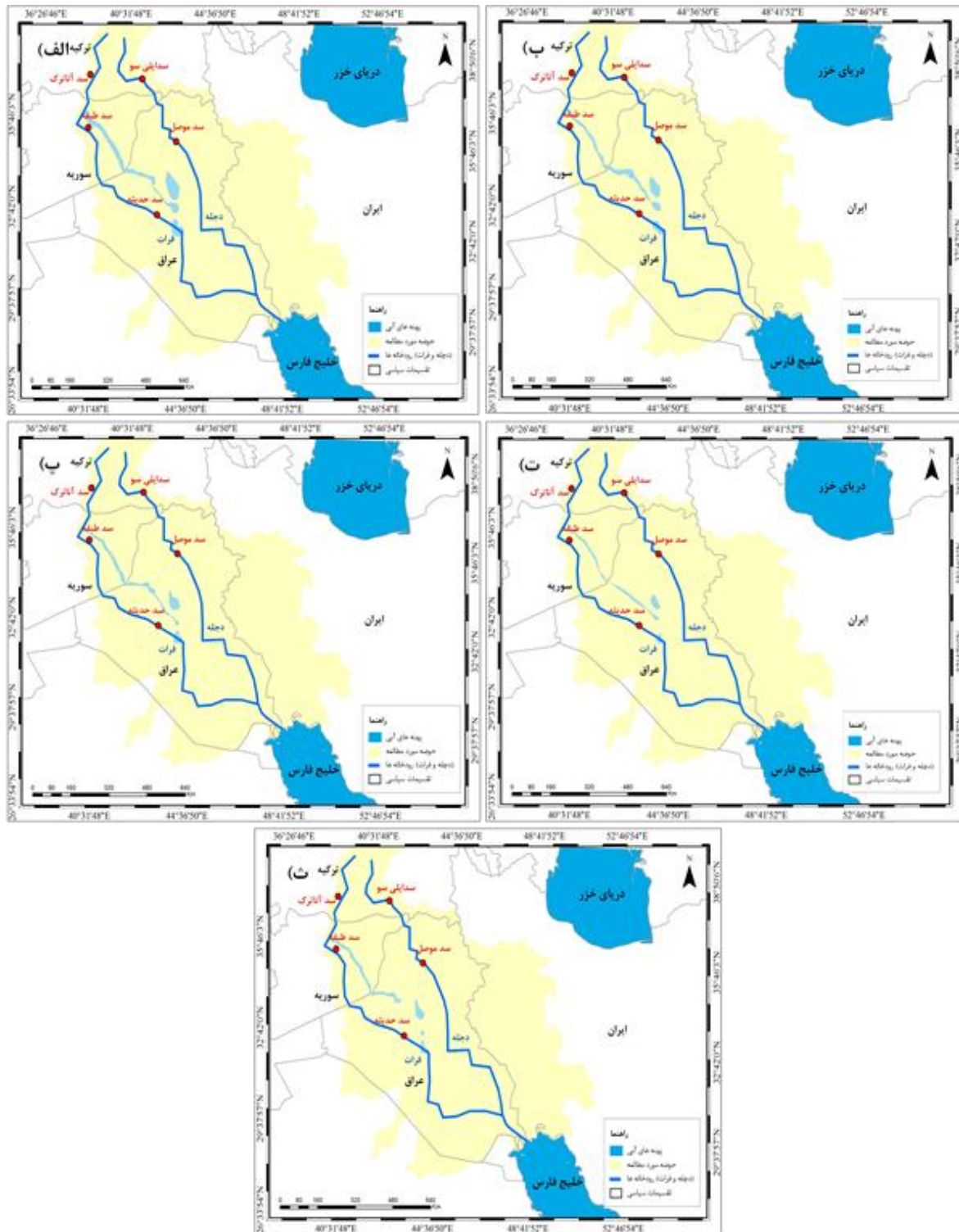
همبستگی (از خیلی کم تا خیلی شدید) بین باندهای چند طیفی به خصوص باندهای مجاور وجود دارد. روش PCA به طور کلی روشی آماری می‌باشد و داده‌هایی را که با یکدیگر همبستگی دارند به داده‌هایی بدون همبستگی تبدیل می‌کند [۱۶].

از آن‌جا که هدف اصلی سنجش از دور شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی و قراردادن آن‌ها در گروه‌ها و طبقات معین است، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به عنوان مهم‌ترین بخش تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای به شمار آورد [۳۸]. طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای به دو صورت کلی نظارت‌نشده و نظارت‌شده می‌باشد. در طبقه‌بندی نظارت نشده طبقه‌ها به طور خودکار و بر اساس خوشه‌بندی آماری ارزش پیکسل‌های تصویر تعیین می‌شود و مفسر دخالتی در فرآیند طبقه‌بندی ندارد. در طبقه‌بندی نظارت‌نشده تحلیل‌گر طبقه‌هایی که باید از تصویر استخراج شود را تعیین می‌کند. از این رو به دلیل دقت بالا و صحت نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی نظارت شده، در پژوهش حاضر از روش جنگل‌های تصادفی استفاده گردید.

جنگل تصادفی (RF)<sup>۱</sup> متعلق به روش‌های طبقه‌بندی ترکیبی است [۱۰]. جنگل تصادفی یک روش طبقه‌بندی نظارت‌شده می‌باشد، که در آن مجموعه‌ای از درخت‌ها به منظور تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی استفاده می‌شود. در این روش ابتدا تعدادی درخت تصمیم‌گیری که نسبت به هم بیشترین تمایز را دارند تشکیل و در مورد هر یک از این درخت‌ها روند مربوط به تصمیم‌گیری به صورت جداگانه انجام می‌شود. سپس با توجه به نتایج به دست آمده از بین درخت‌های تعریف شده، کلاسی که بیش‌ترین رأی به آن تعلق گرفته است به عنوان کلاس برنده مورد انتخاب قرار می‌گیرد. جنگل تصادفی یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که به دلیل سرعت بالای آن در مورد داده‌هایی با حجم بالا و عدم نیاز آن به داده‌های آموزشی زیاد مورد توجه قرار گرفته است. در این روش ابتدا پارامترهای شبکه که شامل تعداد درخت‌ها و گره‌های مربوط به هر درخت می‌باشد، مشخص می‌شوند و سپس در هر درخت از میان داده‌های ورودی، تعدادی از این داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد [۲۳]. در نهایت در پژوهش حاضر پس از پایان

<sup>۱</sup> - Random Forest



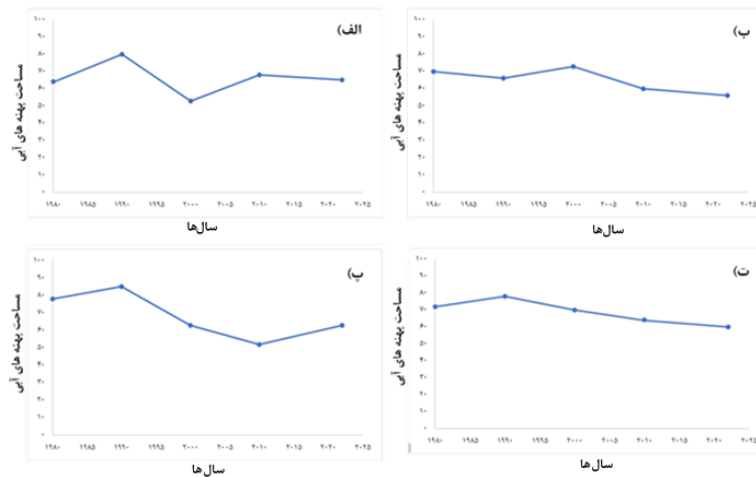


شکل ۳- روند تغییرات پهنه‌های آبی در طی سال‌های مورد مطالعه؛ (الف) ۱۹۸۰، (ب) ۱۹۹۰، (پ) ۲۰۰۰، (ت) ۲۰۱۰، (ث) ۲۰۲۲

### تحلیل تغییرات فصلی پهنه‌های آبی

علاوه بر این، بررسی‌های آماری پهنه‌های آبی در فصل‌های مختلف سال (در بازه زمانی ۱۹۸۰-۲۰۲۲) حاکی از آن است که بیشترین و کمترین تغییرات وسعت پهنه‌های آبی با توجه به میانگین بارش‌ها در فصل بهار به ترتیب در

سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰، در فصل تابستان در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۲، در فصل پاییز در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ و در نهایت در فصل زمستان در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۲ می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴- روند تغییرات فصلی پهنه‌های آبی؛ الف) بهار، ب) تابستان، پ) پاییز، ت) زمستان

نظر شدت خشکسالی نیز دارای وضعیت نزدیک به نرمال است. در حالی که در این مطالعه کمترین شاخص SPI به طبقه خشکسالی بسیار شدید با دامنه عددی بزرگتر از ۲- اختصاص یافته است.

#### شاخص RAI

مطابق جدول ۷ نتایج حاکی از آن است که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه اراک دارای خشکسالی بسیار شدید؛ ایستگاه‌های اصفهان و کاشان دارای خشکسالی شدید؛ ایستگاه آبادان دارای خشکسالی متوسط؛ و سایر ایستگاه‌ها دارای خشکسالی نرمال می‌باشند. بر اساس نتایج به دست آمده بیش‌ترین فراوانی شاخص RAI مربوط به طبقه نرمال و با دامنه عددی کمتر از ۰/۳ می‌باشد، و همچنین کمترین فراوانی شاخص RAI در طبقات خشکسالی بسیار شدید (با مقدار ۱/۹۵-) و خشکسالی متوسط (با مقدار ۰/۹۷-) قابل مشاهده است. در شکل ۶ نیز تغییرات زمانی شاخص RAI در طی سال‌های مورد مطالعه نمایش داده شده است.

#### شاخص NPI

نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در این دوره آماری، یک مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه اراک مشاهده شده و بیش‌ترین فراوانی خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه مربوط به طبقه نرمال می‌باشد. از این‌رو در جدول ۸ به ترتیب مقادیر شاخص خشکسالی NPI و تغییرات زمانی

#### تحلیل وضعیت خشکسالی

در این مرحله به بررسی وضعیت خشکسالی منطقه با استفاده از شاخص‌های SPI، RAI و PNI و بر اساس آمار ۴۰ ساله بارش (۱۹۸۰-۲۰۲۲) به تفکیک ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در نرم‌افزار DIC پرداخته شد. از این‌رو به ترتیب نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها به شرح زیر می‌باشد:

#### شاخص SPI

با بررسی آمار هواشناسی در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲ و تغییرات زمانی شاخص SPI، وضعیت خشکسالی در این مطالعه در شکل ۵ نمایش داده شده است (در این شکل محور عمودی نمودار نمایش دهنده مقادیر شاخص SPI و محور افقی میانگین سری زمانی بارش‌ها در هر ایستگاه را نمایش می‌دهد).

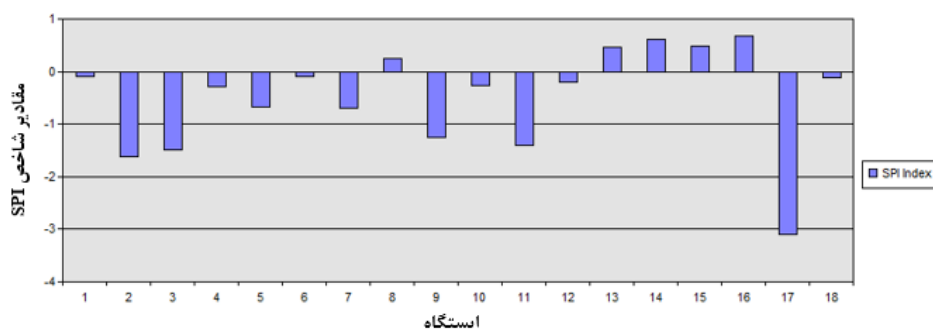
مطابق نتایج به دست آمده شاخص SPI، از اکتبر سال ۱۹۸۰ تا ژوئن سال ۲۰۲۲ محاسبه و ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که شرایط خشکسالی و ترسالی طی ۴۰ سال اخیر به تناوب در کشور وجود داشته است. از این‌رو مطابق با جدول ۶ بیش‌ترین شدت خشکسالی مربوط به ایستگاه اراک و اصفهان می‌باشد. همچنین ایستگاه‌های کاشان، آبادان و قم دارای خشکسالی‌های متوسط و سایر ایستگاه‌ها نیز دارای شدت خشکسالی نزدیک به نرمال می‌باشند. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین شاخص SPI مربوط به دامنه عددی ۱ تا ۱- می‌باشد و از

خشکسالی بسیار شدید (با مقدار ۱۱/۵۵) اختصاص یافته است. در شکل ۷ نیز تغییرات زمانی شاخص NPI در طی سال‌های مورد مطالعه قابل مشاهده می‌باشد.

آن در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین فراوانی شاخص NPI مربوط به طبقه نرمال (با مقدار  $>90$ ) و کمترین فراوانی به طبقات خشکسالی متوسط (با مقدار ۵۵/۹۸) و

جدول ۶- مقادیر شاخص خشکسالی SPI در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	بارندگی (میلی متر)	شاخص SPI	شدت خشکسالی
۱	تبریز	۲۷۷/۵۸	-۰/۴۴	نزدیک به نرمال
۲	ارومیه	۳۳۶/۹۸	-۰/۰۹	نزدیک به نرمال
۳	اصفهان	۱۲۶/۶۲	-۱/۶۱	خشکسالی شدید
۴	کاشان	۱۳۹/۳۲	-۱/۴۹	خشکسالی متوسط
۵	ایلام	۳۰۱/۲۳	-۰/۲۹	نزدیک به نرمال
۶	تهران	۲۴۴/۸۲	-۰/۶۷	نزدیک به نرمال
۷	شهرکرد	۳۳۸/۶۵	-۰/۰۸	نزدیک به نرمال
۸	اهواز	۲۴۱/۷۴	-۰/۶۹	نزدیک به نرمال
۹	آبادان	۱۶۶/۶۹	-۱/۲۴	خشکسالی متوسط
۱۰	زنجان	۳۰۷/۵۹	-۰/۲۵	نزدیک به نرمال
۱۱	قم	۱۴۸/۶۵۰	-۱/۴۰	خشکسالی متوسط
۱۲	قزوین	۳۱۶/۵۱	-۰/۲۰	نزدیک به نرمال
۱۳	سنندج	۴۵۷/۴۷	۰/۴۶	نزدیک به نرمال
۱۴	سقز	۴۹۷/۹۸	۰/۶۱	نزدیک به نرمال
۱۵	کرمانشاه	۴۶۲/۰۹	۰/۴۷	نزدیک به نرمال
۱۶	خرم‌آباد	۵۱۴/۸۴	۰/۶۷	نزدیک به نرمال
۱۷	اراک	۳۴/۳۹	-۳/۰۹	خشکسالی بسیار شدید
۱۸	همدان	۳۳۳/۳۲	-۰/۱۱	نزدیک به نرمال



شکل ۵- تغییرات زمانی شاخص SPI در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲

و NPI در طبقات خشکسالی بسیار شدید، شدید و متوسط، به شرح زیر می‌باشد:

خشکسالی ۱۹۸۰-۱۹۹۹ (سه مرحله و کاهش بارندگی

۰/۴۴)

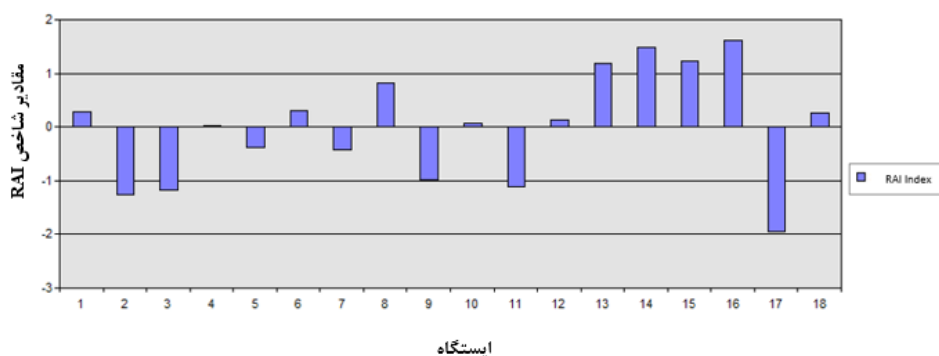
به‌طور کلی بر اساس نتایج به دست آمده، وضعیت خشکسالی در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ بر اساس میانگین بارش‌ها و همچنین درصد شاخص‌های SPI، RAI

خشکسالی ۲۰۱۰-۲۰۰۰ (دو مرحله و کاهش بارندگی  
خشکسالی ۲۰۱۶-۲۰۲۲ (ادامه خشکسالی در بعضی  
مناطق کشور نظیر مناطق جنوب و جنوب شرقی و تا  
حدودی جنوب غرب کشور)

خشکسالی ۲۰۱۰-۲۰۰۰ (دو مرحله و کاهش بارندگی  
خشکسالی ۲۰۱۱-۲۰۱۵ (۳۴٪ کاهش بارندگی نسبت  
به میانگین بلند مدت)

جدول ۷- مقادیر شاخص خشکسالی RAI در طی سال های ۱۹۸۰-۲۰۲۲

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	بارندگی (میلی متر)	شاخص RAI	شدت خشکسالی
۱	تبریز	۲۷۷/۵۸	-۰/۱۴	نرمال
۲	ارومیه	۳۳۶/۹۸	۰/۲۹۱	نرمال
۳	اصفهان	۱۲۶/۶۲	-۱/۲۶	خشکسالی شدید
۴	کاشان	۱۳۹/۳۲	-۱/۱۷	خشکسالی شدید
۵	ایلام	۳۰۱/۲۳	۰/۰۲	نرمال
۶	تهران	۲۴۴/۸۲	-۰/۳۹	نرمال
۷	شهرکرد	۳۳۸/۶۵	۰/۳۰	نرمال
۸	اهواز	۲۴۱/۷۴	-۰/۴۱	نرمال
۹	آبادان	۱۶۶/۶۹	-۰/۹۷	خشکسالی متوسط
۱۰	زنجان	۳۰۷/۵۹	۰/۰۷	نرمال
۱۱	قم	۱۴۸/۶۵۰	-۱/۱۰	خشکسالی شدید
۱۲	قزوین	۳۱۶/۵۱	۰/۱۳	نرمال
۱۳	سنندج	۴۵۷/۴۷	۱/۱۹	نرمال
۱۴	سقز	۴۹۷/۹۸	۱/۴۸	نرمال
۱۵	کرمانشاه	۴۶۲/۰۹	۱/۲۱	نرمال
۱۶	خرم آباد	۵۱۴/۸۴	۱/۶۱	نرمال
۱۷	اراک	۳۴/۳۹	-۱/۹۵	خشکسالی بسیار شدید
۱۸	همدان	۳۳۳/۳۲	۰/۲۶	نرمال



شکل ۶- تغییرات زمانی شاخص RAI در طی سال های ۱۹۸۰-۲۰۲۲

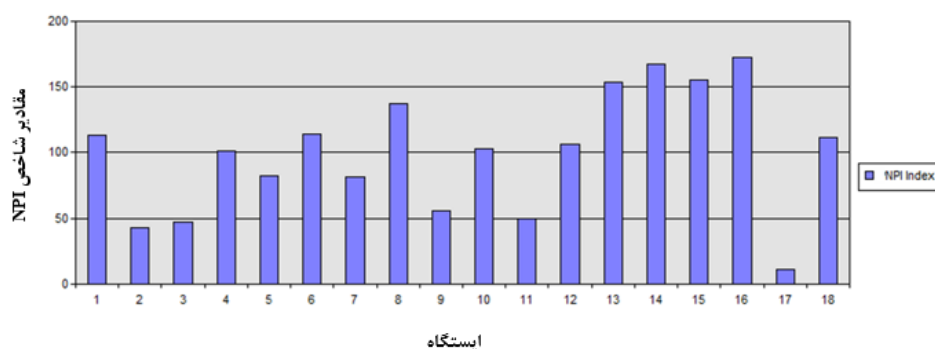
## بحث و نتیجه گیری

پهنه های آبی در طی سال های ۱۹۸۰-۲۰۲۲ با استفاده از تصاویر ماهواره ای پرداخته شد. همان طور که نتایج نشان داد پهنه های آبی در طی سال های مورد مطالعه دارای روند کاهشی می باشند.

یکی از موضوعات بسیار مهم در فرآیند خشکسالی، بررسی ارتباط بین تغییرات پهنه های آبی و وضعیت بارش های رخ داده می باشد. از این رو در مطالعه حاضر، به بررسی تغییرات

جدول ۸- مقادیر شاخص خشکسالی NPI در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	بارندگی (میلی‌متر)	شاخص NPI	شدت خشکسالی
۱	تبریز	۲۷۷/۵۸	۹۳/۲۲	نرمال
۲	ارومیه	۳۳۶/۹۸	۱۱۳/۱۸	نرمال
۳	اصفهان	۱۲۶/۶۲	۴۲/۵۲	خشکسالی شدید
۴	کاشان	۱۳۹/۳۲	۴۶/۷۹	خشکسالی شدید
۵	ایلام	۳۰۱/۲۳	۱۰۱/۱۷	نرمال
۶	تهران	۲۴۴/۸۲	۸۲/۲۲	نرمال
۷	شهرکرد	۳۳۸/۶۵	۱۱۳/۷۳	نرمال
۸	اهواز	۲۴۱/۷۴	۸۱/۱۹	نرمال
۹	آبادان	۱۶۶/۶۹	۵۵/۹۸	خشکسالی متوسط
۱۰	زنجان	۳۰۷/۵۹	۱۰۳/۳۰	نرمال
۱۱	قم	۱۴۸/۶۵۰	۴۹/۹۲	خشکسالی شدید
۱۲	قزوین	۳۱۶/۵۱	۱۰۶/۳۰	نرمال
۱۳	سنندج	۴۵۷/۴۷	۱۵۳/۹۸	نرمال
۱۴	سقز	۴۹۷/۹۸	۱۶۷/۲۵	نرمال
۱۵	کرمانشاه	۴۶۲/۰۹	۱۵۵/۱۹	نرمال
۱۶	خرم‌آباد	۵۱۴/۸۴	۱۷۲/۹۱	نرمال
۱۷	اراک	۳۴/۳۹	۱۱/۵۵	خشکسالی بسیار شدید
۱۸	همدان	۳۳۳/۳۲	۱۱۱/۹۴	نرمال



شکل ۷- تغییرات زمانی شاخص NPI در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۲

است، که نتایج حاکی از کاهش پهنه‌های آبی و گسترش خشکسالی در طی سال‌های مورد مطالعه می‌باشد. علاوه بر این، بررسی‌های آماری پهنه‌های آبی در فصل‌های مختلف سال (در بازه زمانی ۱۹۸۰-۲۰۲۲) نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات وسعت پهنه‌های آبی با توجه به میانگین بارش‌ها در فصل بهار به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰، در فصل تابستان در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۲، در فصل پاییز در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ و در نهایت در فصل زمستان در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۲

براین اساس، بیشترین مساحت پهنه‌های آبی با مقدار ۱۵۳۵۷۳ هکتار مربوط به سال ۱۹۸۰ و همچنین کمترین مساحت آبی با مساحت ۹۸۷۶۵ هکتار به سال ۲۰۲۲ اختصاص یافته است. در طی این سال‌ها به دلیل عوامل مختلفی از جمله تغییرات اقلیم، کاهش بارندگی‌ها، خشکسالی، سدسازی‌های صورت گرفته توسط کشور ترکیه و غیره منجر به افزایش روند کاهش پهنه‌های آبی و در نتیجه گسترش خشکسالی‌ها در این جلگه شده است. این نتایج توسط سایر مطالعات [۱۱، ۲۹، ۳۳] نیز، تأیید شده

در نهایت، نتایج شاخص NPI نشان داد که بیشترین فراوانی خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه مربوط به طبقه نرمال (با مقدار  $>90$ ) و کمترین فراوانی به طبقات خشکسالی متوسط (با مقدار ۵۵/۹۸) و خشکسالی بسیار شدید (با مقدار ۱۱/۵۵) اختصاص یافته است.

به‌طور کلی بر اساس نتایج فوق، وضعیت خشکسالی در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ بر اساس میانگین بارش‌ها و همچنین درصد شاخص‌های SPI، RAI و NPI حاکی از آن است که بیشترین خشکسالی مربوط به دهه ۱۹۹۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۷-۲۰۱۵ می‌باشد و همچنین ادامه خشکسالی‌ها تا سال ۲۰۲۲ در مناطق جنوب و جنوب‌شرقی و تا حدودی غرب و جنوب‌غرب کشور مشاهده می‌گردد.

مطابق با گزارش UNEP سدسازی و احداث شبکه‌های زهکشی و آبیاری، ۹۰ درصد از بزرگ‌ترین و زیباترین تالاب خاورمیانه را به بیابان و نم‌زار تبدیل کرده است. تالاب‌های بین‌النهرین در منتهی‌الیه رودخانه کرخه و دجله و فرات قرار دارند و در ۴۰ سال گذشته ترکیه و عراق بیش از ۳۲ سد بزرگ روی دو رودخانه دجله و فرات احداث کرده‌اند. کشور ترکیه با دو سد کیبان و آتاتورک، سوریه با تشرین و طبقه و عراق با سدهای دوکان، دربندیخان، حمزین، موصل و حدیثه بر روی رودخانه فرات جمعاً ۱۲۳ میلیارد مترمکعب از حجم سالانه آب ورودی به اروندرود از طریق رود فرات را کاهش می‌دهند، که این سدها مهم‌ترین عامل خشکسالی و کاهش پهنه‌های آبی در طی سال‌های اخیر بوده است. با این حال، روند سدسازی‌ها توسط کشور ترکیه همچنان ادامه دارد. سدهای متعدد در دست اجرا در ترکیه بر روی فرات در قالب پروژه بزرگی به نام «گاپ» با هدف توسعه کشاورزی در وسعت یک میلیون و ۶۰ هزار هکتار، و سد «ایلیسو» با حجم مخزن ۴۳ میلیارد مترمکعب از تهدیدهای قابل مشاهده در این زیست‌بوم می‌باشد.

بدین ترتیب، سدسازی‌ها و عوامل انسانی تأثیر قابل توجهی بر کاهش میزان آب ورودی اروندرود داشته‌اند. توسعه سدهای ساخته شده بر روی رودخانه‌های کارون و کرخه، به‌ویژه با بهره‌برداری از آن‌ها، موجب کاهش حجم آب ورودی به اروندرود شده است. این کاهش به علت ذخیره‌سازی آب در سدها و همچنین تغییرات اقلیمی و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی است که به از دست

می‌باشد. در این راستا، مطابق مطالعات انجام شده [۱۴، ۲۱]، عمده‌ترین بارش‌های غرب و جنوب‌غرب کشور، مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان می‌باشد.

دوره مطالعه خشکسالی بیش از ۳۰ سال، بر اساس مستندات سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، به‌عنوان یک مطالعه ایده‌آل در تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود [۲۳]. بنابراین در این مطالعه به منظور بررسی وضعیت خشکسالی، یک دوره ۴۰ ساله جهت ارزیابی اثرات بلندمدت خشکسالی بر میزان حجم بارش‌های منطقه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

مطابق نتایج به‌دست آمده شرایط خشکسالی و ترسالی طی ۴۰ سال اخیر به تناوب در کشور وجود داشته است، که بیشترین شدت خشکسالی مربوط به ایستگاه اراک و اصفهان می‌باشد. همان‌طور که نتایج نشان داد بیشترین شاخص SPI مربوط به دامنه عددی ۱ تا -۱ می‌باشد و از نظر شدت خشکسالی نیز دارای وضعیت نزدیک به نرمال است. در حالی که در این مطالعه کمترین شاخص SPI به طبقه خشکسالی بسیار شدید با دامنه عددی بزرگتر از -۲ اختصاص یافته است. بر این اساس، مطابق با مطالعات سازمان هواشناسی کشور می‌توان بیان نمود که از سال ۲۰۰۷ به بعد وضعیت خشکسالی با شدت و ضعف در کشور حاکم بوده است. از این‌رو، ایران در طی سال‌های اخیر در وضعیت نرمال قرار داشته و آخرین ترسالی کشور مربوط به سال ۲۰۰۶-۲۰۰۷ بوده است، همچنین شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و ۲۰۰۷-۲۰۱۵ به وقوع پیوسته است.

علاوه بر این، نتایج شاخص RAI حاکی از آن است که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه اراک دارای خشکسالی بسیار شدید، ایستگاه‌های اصفهان و کاشان دارای خشکسالی شدید، ایستگاه آبادان دارای خشکسالی متوسط و سایر ایستگاه‌ها دارای خشکسالی نرمال می‌باشند. مطابق با سایر مطالعات انجام شده بر اساس شاخص RAI، طی سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵ بیشترین خشکسالی‌ها در محدوده مورد مطالعه گزارش شده است، که بیشترین فراوانی این خشکسالی‌ها مربوط به طبقه خشکسالی شدید می‌باشد [۲، ۳۲].

از طرفی با بهره‌برداری از این سدهای جدید، بحران ریزگردها در استان خوزستان و استان‌های غربی کشور تشدید شده است [۹]. از این‌رو برنامه‌ریزی صحیح در راستای کنترل خشکسالی در منطقه و به دنبال آن پیامدهای محیط زیستی هم چون افزایش گردوغبار و سایر پیامدهای زیستی در کشور امری ضروری است.

رفتن کیفیت آب و نابودی اکوسیستم‌های آبی منجر می‌گردد. همچنین نتایج مطالعه‌ای دیگر [۷]، نشان داد که کیفیت منابع آبی اروند رود به دلیل فعالیت‌های انسانی و پروژه‌های منابع آب در خطر تهدید قرار گرفته است و همچنین پروژه‌های مدیریت آب عراق و ایران در داخل حوضه رودخانه باعث کاهش جریان آب شیرین شده و سطح شوری رودخانه را افزایش داده است

## References

- [1]. Abdullah, A.Y.M., Masrur, A., Adnan, M.S.G., Baky, M., Al, A., Hassan, Q.K., & Dewan, A. (2019). Spatio-Temporal Patterns of Land Use/Land Cover Change in the Heterogeneous Coastal Region of Bangladesh between 1990 and 2017. *Remote Sensing*, 11(7), 790. doi: 10.3390/rs11070790
- [2]. Adib, A., & Gorgizadeh, A. (2017). Evaluation and Monitoring of drought using of drought Indexes; Case study the Dez watershed. *Irrigation and Water Engineering*, 7(2), 173-185. [in Farsi]
- [3]. Ahmadi, M., Nosrati, K., & Solki, H. (2013). Drought and its relationship with soil moisture. *Geography (Journal of Iranian Geographical association)*, 11(38), 77-92. [in Farsi].
- [4]. Aligolinia, T., Majd, N. R., & Jaribi, A. H. (2019). Evaluation and Comparison of Drought in West Azerbaijan Using the SPI, CZI, PNI Indices and Geographic Information System (GIS). *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(1), 175-188. doi: 20.1001.1.25885952.1398.42.1.13.6 [in Farsi]
- [5]. Alizadeh, S., Mohammadi, H., & Kardovani, P. (2017). Modeling the distribution of droughts caused by climate change in Iran by using the dynamic system. *Spatial planning*, 9(1), 169-188. [in Farsi].
- [6]. Ansari, H., & Davari, K. (2007). Dry season zoning using standardized rainfall index in GIS environment "Case study: Khorasan Province". *Geographical Researches*, 39(60), 108-97. [in Farsi]
- [7]. Al-Asadi, S. A., & Muttashar, W. R. (2022). Impact of the environmental degradation of rivers on the reappraisal of international agreements related to the transboundary watercourse, Shatt Al-Arab River (Southern Iraq): a case study. *Sustainable Water Resources Management*, 8(3), 84. doi: 10.1007/s40899-022-00669-2
- [8]. Bahrami, R. and Separi, M. (2021). Investigating the Socio-Economic and Environmental Effects of Drought on Rural Areas of Kurdistan Province of Iran. *Village and Development*, 24(1), 173-194. doi: 10.30490/rvt.2021.341691.1194 [in Farsi]
- [9]. Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F., & Bazrafshan, J. (2017). Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. *Desert Management*, 4(8), 54-69. doi: 10.22034/JDMAL.2017.24662 [in Farsi]
- [10]. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32. doi: 10.1023/A:1010933404324
- [11]. Darvishi Bolorani, A. (2018). Reports and notes of dust storms in Tigris and Euphrates watersheds in the country.
- [12]. Das, P.K., Dutta, D., Sharma, J. R & Dadhwal, V. K. (2016). Trends and behavior of meteorological drought (1901–2008) over Indian region using standardized precipitation–evapotranspiration index. *International Journal of Climatology*, 36(2), 909-916. doi: 10.1002/joc.4392.
- [13]. Dehghani, S., Banihabib, M. A., & Golabi, M. (2020). Water Governance in Iran: challenges and approaches. *Journal of Water Engineering (Islamic Azad University Shushtar Branch)*, 7(4), 238-254. [in Farsi]
- [14]. Farahani, F. (2018). *Explanation of changes in circulation patterns affecting precipitation in western Iran*. Doctoral thesis, Department of Natural Geography, University of Tehran. [in Farsi]
- [15]. Fatahi, A., & Rezie, T. (2009). Daily atmospheric circulation patterns over Iran.



- Journal of Geographical Research*, 24(2), 45-74. [in Farsi]
- [16]. Hematpour, S., & Hashemi, H. (2011). Using principal component analysis (PCA) and parameterized discriminant analysis (RDA) dimensionality reduction techniques in the ranking of seismic indicators. *Journal of Earth and Space Physics*, 37(4), 217-227. doi: 10.22059/JESPHYS.2012.24311 [in Farsi]
- [17]. Hosseini, A., Ghavidel, Y., Khorshiddoust, A. M., & Farajzadeh, M. (2021). Spatio-temporal Analysis of Dry and Wet Periods in Iran by Using Global Precipitation Climatology Center - Drought Index (GPCC -DI). *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 1035-1045. doi: 10.1007/s00704-020-034643-2
- [18]. Kheyri, R., Mojarrad, F., Masompour, J., & Farhadi, B. (2021). Evaluation of drought changes in Iran using SPEI and SC-PDSI. *Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 25(1), 143-174. [in Farsi]
- [19]. Khosravi, M., & Nazaripour, H. (2012). *Determining the climatic seasons of Zahedan to manage energy consumption with the cluster analysis method*, 4th International Congress of The Islamic World Geographers. <https://civilica.com/doc/82749>
- [20]. Kor, T. E. (1997). Tigris -Euphrates Dispute. ICE Case Studies.
- [21]. Lashkari, H., Jafari, M., & Mohammadi, Z. (2021). Why does the rainfall in the south and southwest of Iran decrease in February compared to other winter months? *Geography and Environmental Planning*, 83(3), 81-104. doi: 10.22108/GEP.2021.125832.1370 [in Farsi]
- [22]. Mathivha, F.I., Tshipala, N. N., & Nkuna, Z. (2017). The relationship between drought and tourist arrivals: A case study of Kruger National Park, South Africa. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies*, 9(1), 1-8. doi: 10.4102/jamba.v9i1.471
- [23]. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17, 1425-1432. doi: 10.1080/01431169608948714.
- [24]. McKee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of drought frequency and duration to time scales. Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, 379-384.
- [25]. Mendicino, G., Alfonso, S., & Pasquale, V. (2008). A groundwater Resources Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357(3-4), 282-302. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.05.005
- [26]. Montazeri, M., & Ghayor, H. (2009). Comparative analysis of precipitation and drought trends in the Caspian basin. *Geography and Development*, 7(16), 92-71. doi: 10.22111/GDIJ.2009.1176 [in Farsi]
- [27]. Nami, M., & Mohammadpour, A. (2008). *The geography of Iraq with an emphasis on geopolitical issues*, Armed Forces Geographical Organization. [in Farsi]
- [28]. Navabi, N., Moghadesi, M., & Ganji Khoram, N. (2021). Assessment of Agricultural Drought Monitoring Using Various Indices based on Ground-based and Remote Sensing Data (Case Study: Lake Urima Basin). *Watershed Engineering and Management*, 13(1), 1-12. doi: 10.22092/ijwmse.2020.126860.1684 [in Farsi]
- [29]. Office of Water and Environmental Studies, Sharif University of Technology. (2001). Preliminary report of the Mesopotamian plain in Iran. [in Farsi]
- [30]. Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J. V., & Barbosa, P. (2015). The Biggest Drought Events in Europe from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 509-524. doi: 10.1016/j.ejrh.2015.01.001
- [31]. Tsakiris, G., Nalbantis, I., Vangelis, H., Verbeiren, B., Huysmans, M., Tychon, B., Jacquemin, I., Canters, F., Vanderhaegen, S., Engelen, G., Poelmans, L., Becker, P., & Batelaan, O. (2013). A system-based paradigm of drought analysis for operational management. *Water Resource Management*, 27, 5281-5297.
- [32]. Vakhshoori, A., Jafar Poor, Z., & Kardavani, P. (2017). Determining the most suitable index for droughts rainfall region in Iran. *Regional Planning*, 7(28), 201-212. [in Farsi]
- [33]. Vangelis, H., Tigkas, D., & Tsakiris, G. (2013). The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI)



- calculation. *Journal of Arid Environments*, 88, 130–140. doi: 10.1016/j.jaridenv.2012.07.020
- [34]. Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index (RAI), independent of the time and space. *Notos*, 14, 24–43.
- [35]. Willeke, K., Lin, X.J., & Grinshpun, S.A. (1998). Improved aerosol collection by combined impaction and centrifugal motion. *Aerosol Science and Technology*, 28(5), 439–456.
- [36]. Zaki, Y., & Najafi, S. (2020). Determining Iran hydro-politics strategies in Arvandrood basin. *Human Geography Research*, 52(4), 1529-1549. doi: 10.22059/jhgr.2020.296172.1008070 [in Farsi]
- [37]. Zarei, A., Rezaei, F. and mohamadi, M. (2021). Investigating the economic and social effects of drought on rural areas of Bijar city (Cheng Almas section). *Geography and Human Relationships*, 4(2), 319-335. doi: 10.22034/gahr.2021.297024.1590 [in Farsi]
- [38]. Zobeiry, M., & Majd, A. R. (2014). *An introduction to remote sensing technology and its application in natural resources*, University of Tehran Press. [in Farsi]

## Assessing the severity of drought in the Mesopotamian Plain and the changes in rainfall caused by it in the western and southwestern regions of Iran (Research Paper)

1- Parvaneh Sobhani, Assistant Professor, Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

2- Afshin Daneshkar\*, Professor, Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.

danehkar@ut.ac.ir

Received: 15 Oct. 2024

Accepted: 31 Dec. 2024

### Abstract

The Mesopotamian Plain is one of the common water basins in the Middle East region, which has witnessed major ecological and hydrological changes in recent decades. Therefore, the extensive drying of the water areas of this plain has led to the widespread destruction of the region's ecosystem and the unprecedented expansion of the desert. Based on this, in this study, the trend of changes in the water areas of the inter-Nahrin plain during the last four decades using satellite images and evaluating the severity of drought and the changes in rainfall caused by it using SPI indicators. RAI and PNI were paid during the years 1989 to 2022. As the results showed, during these years, due to various factors, including climate changes, decrease in rainfall, drought, dam constructions by Turkey, etc., led to an increase in the decreasing trend in water areas and as a result, the spread of droughts. It has been done in this calvary. In addition, the drought situation during the years 1980 to 2022 based on the average rainfall and also the percentage of SPI, RAI and NPI indicates that the most droughts are related to the decades of 1990-2000 and 2007-2015 and the continuation of droughts until 2022 can be seen in the south and southeast and to some extent in the west and southwest of the country. Therefore, proper planning is needed in order to control the drought in the region and then environmental consequences such as it is necessary to increase dust and other biological consequences in the country.

**Keywords:** Drought intensity, Mesopotamia plain, SPI, RAI and PNI indices, West and southwest of Iran.