

# ارزیابی تغییرات مکانی شدت دوره‌های خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در استان کردستان

سونیا مهری<sup>۱</sup>

خدیجه حاجی<sup>۲</sup>

وریا علیزاده<sup>۳</sup>

رئوف مصطفی‌زاده<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱۲/۲۵

\*\*\*\*\*

## چکیده

خشکسالی به‌عنوان کمبود طبیعی بارش در طی دوره‌ای از زمان است که یک بحران مخاطره‌آمیز برای محیط‌زیست و حیات گونه‌های زیستی محسوب می‌شود. بنابراین در زمان وقوع بحران خشکسالی، عدم وجود فرصت و منابع کافی موجب صدمات جدی می‌گردد. مدیریت بحران در برگیرنده مجموعه‌ای از اقدامات واکنشی می‌باشد که می‌تواند موجب کاهش با تعدیل اثرات خشکسالی‌ها گردد. لذا تحلیل نمایه‌های اندازه‌گیری خشکسالی برای پیش‌بینی و ارزیابی مکانی و زمانی این پدیده به‌منظور مدیریت آن ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش، وضعیت خشکسالی و تحلیل زمانی و مکانی آن در ایستگاه‌های استان کردستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، توسط نرم‌افزار DrinC در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه انجام شده است. براساس حداکثر طول دوره‌ی آماری موجود، آمار سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ در ۹ ایستگاه هواشناسی استان کردستان برای تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی شدت خشکسالی طی دوره مورد مطالعه نشان داد در سراسر استان کردستان در بین هر سه مقیاس زمانی شدیدترین خشکسالی مربوط به ایستگاه دهگلان در سال ۲۰۰۶-۲۰۰۵ اتفاق افتاده است. هم‌چنین طولانی‌ترین دوره خشکسالی (بسیارشدید) دوره ۱۷ ماهه مربوط به ایستگاه قروه می‌باشد. نتایج تحقیق تغییرات وقوع خشکسالی با درجات متفاوت را در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی در منطقه مورد مطالعه مورد تأیید قرار می‌دهد. هم‌چنین بر اساس نتایج، ایستگاه دهگلان اولویت اول را از نظر شدت خشکسالی در بین ایستگاه‌ها و ظفرآباد (دیواندره) آخرین اولویت را دارد. در نتیجه پیش‌بینی و مدیریت بحران خشکسالی می‌تواند یکی از اقدامات مؤثر در کاهش خسارات این پدیده اقلیمی خصوصاً در مناطق حساس باشد.

واژه‌های کلیدی: دوره‌های خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، استان کردستان، مقیاس‌های زمانی، نرم‌افزار DrinC

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی m.sonia1393@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی hkhadije60@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی voria0068@gmail.com

۴- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول) raoofofmostafazadeh@yahoo.com

## مقدمه

خشکسالی شاخص‌های متعددی در کشورهای مختلف براساس تعاریف خشکسالی و روش محاسبه‌ای ارائه شده است، که یکی از شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش شاخص بارش استاندارد شده<sup>۴</sup> (SPI) می‌باشد (بهزادی، ۱۳۹۰: ۲۷). تاکنون شاخص‌های بسیاری برای پایش خشکسالی ارائه شده است، اما برخی از آن‌ها به دلیل سادگی و قابل اجرا بودن، از کاربرد بیش‌تری برخوردار هستند (مندکینو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). به عنوان مثال شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که توسط مک‌کی<sup>۶</sup> و همکاران (۱۹۹۳) برای پایش، خشکسالی هواشناسی تدوین شد، برای مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه شده و برای هشدار اولیه، تعیین و ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. محاسبه این شاخص مستلزم برازش مناسب‌ترین تابع توزیع احتمالاتی بوده که معمولاً با توزیع گاما برازش می‌یابد. سپس تابع جمععی توزیع محاسبه شده به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (مساعدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۸۳). از جمله نشانه‌های خشکسالی می‌توان به کاهش قابل توجه بارش، رطوبت خاک، رویش و رشد گیاهان اشاره کرد. شروع خشکسالی به‌طور معمول با کاهش بارندگی همراه است که این مرحله به خشکسالی هواشناسی موسوم می‌باشد (فانچی‌مرج و باقری‌نیا، ۱۳۹۰: ۱۳). این در حالی است که در طول قرن گذشته، جمعیت جهان سه برابر شده ولی استفاده از آب شش برابر افزایش یافته است (کاربوسویل<sup>۷</sup>، ۲۰۰۸).

تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور در این خصوص انجام شده است که نمونه‌هایی از آن در اینجا ارائه می‌شود (رولت و ریچارد<sup>۸</sup>، ۲۰۰۳: ۴۱۹). گسترش مکانی و شدت خشکسالی جنوب آفریقا را با استفاده از شاخص SPI در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که این شاخص، ابزاری مناسب برای پایش گسترش

خشکسالی یکی از بلایای زیانبار طبیعی می‌باشد و به کمبود مستمر و غیرطبیعی بارش و رطوبت گفته می‌شود که دارای اثر تدریجی بوده و در دوره زمانی طولانی مدت رخ می‌دهد. بنابراین پیش‌بینی و آمادگی برای مدیریت آن، تا حدی از مشکلات ناشی از این پدیده می‌کاهد. در حال حاضر مدیریت خشکسالی<sup>۱</sup> در ایران بر مبنای مدیریت بحران<sup>۲</sup> بنا شده و به دلیل اینکه برنامه‌ریزی‌ها تدوین شده نیست، تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات عملیاتی دیر هنگام بوده و تصمیمات فاقد کارایی لازم است. این در حالی است که در مدیریت بحران خشکسالی، تأکید بر برنامه‌ریزی و ایجاد آمادگی و کاهش بحران خشکسالی است و با اعمال این نوع مدیریت در زمان قبل از وقوع خشکسالی و آمادگی لازم می‌توان به مقابله با خشکسالی اقدام کرد (اسمعیلی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱). این پدیده در هر منطقه با شدت و تداوم متفاوت می‌تواند رخ داده و انسان و محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار دهد. لذا خشکسالی بین سال‌های ۸۱-۷۸ در ۱۸ استان بزرگ کشور منجر به افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش ذخایر آب‌های سطحی شد و در نهایت نیمی از جمعیت کشور را با بحران کم‌آبی مواجه کرده است (انصاری و داوری، ۱۳۸۶: ۹۹). خشکسالی‌ها اساساً در اثر کمبود بارندگی حاصل می‌شوند، اما وقوع خشکسالی‌های متوالی به سبب تغییرات جدی در شدت، مدت و توزیع مکانی بارندگی است (چوی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). ایجاد چنین تغییراتی، خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی اجتماعی را در پی خواهند داشت (چمن‌پیرا و همکاران، ۱۳۹۳). از آنجا که تعریف، آشکارسازی و اندازه‌گیری خشکسالی پیچیده است، محققان در پی تدوین و تهیه شاخص‌هایی به منظور تعیین این موارد بوده‌اند. هدف از تهیه و کاربرد هر شاخص خشکسالی تعیین شدت، تداوم و گستردگی مکانی می‌باشد. برای پایش وضعیت

4- Standardized Precipitation Index (SPI)

5- Mendicino

6- Mckee

7- Gourbesville

8- Rouault and Richard

1- Drought Management

2- Crisis Management

3- Choi

است. یزدانی و چاوشی (۱۳۸۵: ۱) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده و روش کریجینگ به بررسی وضعیت خشکسالی در یکی از زیر حوزه‌های آبخیز زاینده‌رود اصفهان پرداختند، این پژوهش نشان داد در منطقه مورد مطالعه ۸ سال خشکسالی متوسط تا ضعیف به وقوع پیوسته و در سال ۱۳۶۳ گسترده‌ترین خشکسالی رخ داده است. بذرافشان و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود با بررسی وضعیت خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) به‌عنوان شاخص منتخب جهت پایش خشکسالی در ایستگاه‌های واقع در داخل استان با طول دوره آماری مشترک ۲۵ ساله (۱۹۷۵-۲۰۰۰) در مقیاس زمانی ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده گردید. بیش‌ترین شدت خشکسالی بدست آمده در دوره ۶ ماهه مربوط به ایستگاه سالیان‌تپه و در دوره ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه مربوط به ایستگاه پل‌جاده می‌باشد. مقادیر SPI در سال‌های خشکسالی شدید در مقیاس‌های زمانی با استفاده از تکنیک زمین‌آمار بر پهنه استان تصویر و طبقه‌بندی گردید. بررسی نقشه‌ها نشان داد که وسعت خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی کاهش یافته و وضعیت خشکسالی‌ها در پهنه استان از سمت غرب به شرق کاهش می‌یابد. ابونصر شیراز و رسانه (۱۳۹۴) پایش خشکسالی استان اصفهان را با استفاده از شاخص بارش استاندارد SPI طی سال‌های اخیر مورد مطالعه قرار دادند. سپس شاخص بارش استاندارد برای ایستگاه‌های انتخاب شده، محاسبه و نقشه پهنه‌بندی آن به روش IDW برای استان اصفهان در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۸۴ ماهه بدست آمد، نتایج نشان داد که نقشه‌های خشکسالی به همراه سری زمانی، خشکسالی‌های متوسط و شدید عمده‌تاً در قسمت‌های غربی استان اصفهان به طور مستمر و متوالی در سال‌های اخیر می‌باشد، که اتمام دوره خشکسالی و مهم‌تر از آن، پیامدهای ناشی از آن تا سال‌ها بعد از وقوع خشکسالی در یک منطقه آشکار خواهد شد و بنابراین مدیریت ریسک و بحران جدی در ارتباط با این پدیده بر حسب برنامه‌ریزی منطقه‌ای و اولویت‌بندی برای

مکانی و شدت خشکسالی در جنوب آفریقا می‌باشد. لوکاس<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸: ۲۳) در پژوهش خود به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی منطقه وسیع تسلا‌ی یونان پرداختند و جهت بررسی از داده‌های ۵۰ ایستگاه هواشناسی در طی دوره آماری ۳۰ سال (۱۹۶۰-۱۹۹۰) استفاده و نتیجه گرفتند که در تمامی بخش‌های این منطقه که از تفاوت اقلیمی نیز برخوردارند، در بازه‌های مختلف زمانی (براساس شاخص SPI)، افزایش شدت خشکسالی رخ داده است. لشنی زند و خرمیان (۱۳۸۴: ۱۰۹) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی در ۶ حوضه واقع در غرب و شمال‌غرب کشور با استفاده از سری‌های زمانی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای تمامی ایستگاه‌ها، متوسط شدت خشکسالی در هر حوضه را استخراج و نتیجه گرفتند که وقوع خشکسالی با تداوم‌های ۱ تا ۳ ماهه، حتی در ایستگاه‌های واقع در مناطق نیمه مرطوب پدیده‌ای معمول و محتمل است. صفدری و همکاران (۱۳۸۲: ۱) به کمک شاخص بارش استاندارد شده، خشکسالی‌های مربوط به حوزه‌ی آبخیز کارون را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها جهت پایش خشکسالی از ۲۹ ایستگاه با طول مشترک زمانی ۲۸ ساله (۱۹۹۹-۱۹۷۲) در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده نموده و نقشه گستره‌ی خشکسالی‌های به وقوع پیوسته را ترسیم نمودند. این پژوهشگران در نتایج خود وجود خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را در طول دوره آماری در منطقه اثبات کردند. کم‌ترین SPI مشاهده شده در منطقه مربوط به ایستگاه منج در مقیاس ۱۲ ماهه با مقدار  $4/02-$  می‌باشد و لذا این منطقه به‌عنوان یکی از مناطق دارای پتانسیل حساسیت به خشکسالی در منطقه معرفی گردید. رضیئی و ثقفیان (۱۳۸۳: ۱) با بررسی روند خشکسالی در دشت سیستان نشان دادند که از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه معرف زابل زیادتر از دهه ۲۰۰۰-۱۹۹۰ بوده و این ایستگاه در طی سال‌های اخیر بیش‌تر در حالت نرمال و یا مرطوب بوده

خشکسالی با دیگر پدیده‌های هواشناسی از نظر جنبه‌های هواشناسی متفاوت است. اغلب شروع و پایان خشکسالی مهم بوده، تداوم آن می‌تواند نسبتاً طولانی باشد. در استان کردستان هم مانند سایر مناطق کشور و جهان در گذشته خشکسالی‌هایی به وقوع پیوسته است و مطمئناً در آینده هم خشکسالی‌هایی رخ خواهد داد ولی فراوانی وقوع آن در مناطق مختلف این استان که از تنوع آب و هوایی زیادی برخوردار است، متفاوت خواهد بود. شاخص SPI هم به‌عنوان یکی از نمایه‌های خشکسالی هواشناسی قادر به برآورد ویژگی‌های مختلف خشکسالی و نیز ترسالی می‌باشد و از آن می‌توان جهت تجزیه و تحلیل خشکسالی‌های گذشته و بررسی دوره برگشت خشکسالی‌ها برای پیش‌بینی آینده در هر منطقه استفاده کرد. شاخص SPI به‌دلیل سادگی، بی‌بعد بودن، امکان محاسبه شدت و تداوم خشکسالی و ترسالی، برای مطالعه خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در کردستان انتخاب گردید. هدف از این مطالعه تحلیل زمانی و مکانی شدت و مدت خشکسالی در استان کردستان و استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار DrinC<sup>۶</sup> در برآورد شاخص بارش استاندارد شده می‌باشد.

### خصوصیات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، استان کردستان با مساحتی معادل ۲۸۲۰۳ کیلومتر مربع و موقعیت جغرافیایی ۴۵° ۳۴' تا ۲۸° ۳۶' عرض شمالی و ۳۱° ۴۲' تا ۱۶° ۴۸' طول شرقی در قسمت غربی کشور ایران و در مجاورت مرز عراق واقع شده است. در این مطالعه از داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی استان کردستان (در مجموع از داده‌های بارش ۹ ایستگاه) از سال، ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ (دوره آماری ۱۴ ساله) برای ایستگاه‌های سنندج، بیجار، دهگلان، سقز و مریوان، و دوره ۸ ساله برای ایستگاه‌های قروه، دیواندره، بانه، کامیاران دارای آماری مناسب و طولانی مدت بودند استفاده شد. جهت پایش خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد شده

طرح‌های مخصوص هر منطقه ضروری می‌باشد. هم‌چنین پژوهشگرانی از قبیل مک‌کی، (۱۹۹۳)؛ زالای<sup>۱</sup> و همکاران، (۱۹۹۸)؛ لانا<sup>۲</sup> و همکاران، (۲۰۰۱)؛ کانسلیری<sup>۳</sup> و همکاران، (۲۰۰۷)؛ و انصاری و داوری (۱۳۱۶: ۹۹)، در مطالعات خود به تحلیل و ارزیابی خشکسالی‌ها براساس شاخص SPI پرداخته‌اند.

ضرورت و مبنای اولیه برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، ارزیابی دوره‌های خشک و مرطوب است که نیازمند درک و مطالعه وقوع خشکسالی‌ها می‌باشد (کائو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۶۵۴). کمبود آب آشامیدنی به علت تنزل کیفیت آب‌های زیرزمینی و کاهش سفره‌های آبی نیز منجر به مهاجرت گسترده افراد می‌گردد. همه این موارد ضرورت ارزیابی خشکسالی و مدیریت آن را آشکارتر می‌سازند (چوپرا<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶: ۳).

خشکسالی فعالیت‌های کشاورزی را به‌خطر می‌اندازد و نامطمئن می‌کند. علاوه بر این عملکرد و کیفیت محصولات را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به آسیب‌های ناشی از رخداد خشکسالی و با عنایت به مطالعات انجام شده در این زمینه، هنوز نیاز به مطالعات پیش‌تر در رابطه با خشکسالی در مناطق مختلف کشور احساس می‌گردد.

میزان بارش زیاد هم همیشه دلیل ترسالی نمی‌باشد. عوامل دیگری نظیر متوسط دما و هم‌چنین رطوبت نسبی بر تشدید یا تعدیل خشکسالی تأثیر دارند و با توجه به این‌که دامنه تحقیقات اقلیمی از جمله تهیه نقشه‌های اقلیمی می‌تواند در مقیاس‌های بزرگ، متوسط، کوچک و محلی صورت گیرد، که در استان کردستان این تحقیقات بسیار محدود است. در نتیجه شاخص SPI مهم‌ترین مزیت را در قابلیت محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف از نظر شدت در استان کردستان را دارد.

1- Szalai

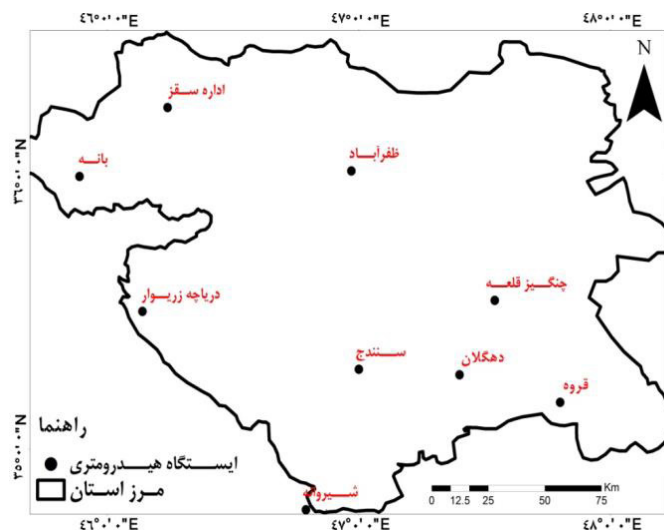
2- Lana

3- Cancelliere

4- Kao

5- Chopra

6- Drought Indices Calculator



نگاره ۱: نقشه موقعیت ایستگاه‌ها در استان کردستان  
 (نگارندگان، ۱۳۹۴)

استخراج داده‌های بارندگی در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری لازم است تا سری زمانی مجموع بارش در مقیاس دلخواه تشکیل شود (فاتحی‌مرج و باقری‌نیا، ۱۳۹۰: ۱۵). این نمایه بر مبنای داده‌های بارش بوده و تغییرپذیری آن باعث می‌شود که در مقیاس کوتاه‌مدت برای هدف‌های کشاورزی و در مقیاس‌های بلندمدت برای اهداف آب‌شناختی مثل منابع آب زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود (ادوارد و مک‌کی، ۱۹۹۷). در این تحقیق، به منظور محاسبه خشکسالی توسط شاخص بارش استاندارد شده، از اطلاعات بارندگی ماهانه مربوط به ۹ ایستگاه باران‌سنجی، واقع در استان کردستان استفاده شده و توسط نرم‌افزار DrinC انجام گردیده است. نرم‌افزار DrinC جهت تعیین شاخص‌های خشکسالی طراحی شده است و امکان استفاده از سری داده‌های سالیانه، ماهیانه، فصلی، متحرک و روزانه وجود دارد. در این مطالعه پس از جمع‌آوری داده‌های بارش ایستگاه‌های موجود در استان کردستان و حذف ایستگاه‌های دارای آمار ناقص، در دوره آماری مشترک ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، داده‌های بارش ماهانه مرتب گردید و با استفاده از نرم‌افزار DrinC سری‌های زمانی شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه بدست

(SPI) در سه مقیاس ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به منظور بررسی شدت و مدت خشکسالی از نتایج محاسبات شاخص بارش استاندارد شده توسط نرم‌افزار DrinC استفاده گردید. مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در نگاره (۱) و جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان کردستان

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
ظفرآباد	۴۶°۵۸′۳۲″	۳۶°۰۱′۲۸″
چنگیز قلعه	۴۷°۳۲′۳۶″	۳۵°۵۲′۳۰″
دهگلان	۴۷°۲۴′۴۴″	۳۵°۱۶′۴۴″
قروه	۴۷°۴۸′۲۱″	۳۵°۱۰′۰۶″
سنندج	۴۷°۰۰′۱۵″	۳۵°۱۷′۳۱″
دریاچه زریوار	۴۶°۰۸′۱۳″	۳۵°۳۰′۳۲″
بانہ	۴۵°۵۳′۴۲″	۳۵°۵۹′۰۰″
شیروانه	۴۶°۵۷′۱۰″	۳۴°۴۷′۴۲″
اداره سقز	۴۶°۱۵′۳۴″	۳۶°۱۴′۵۳″

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان، ۱۳۹۴

### شاخص بارش استاندارد شده

اساس شاخص بارش استاندارد شده بر محاسبه احتمالات بارش برای هر مقیاس زمانی استوار است. پس از

۱۲ ماهه در تعدادی از سال‌های دوره‌ی مطالعاتی به صورت متناوب در نگاره ۲ ارائه شده است. در این مرحله بعد از محاسبه مقادیر شاخص SPI، مهم‌ترین ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب شامل تعداد کل ماه‌های خشک و مرطوب، در طبقات مختلف خشکسالی مشخص گردید که نتایج در جداول ۳ تا ۵، ارائه شده است.

### نتایج

در این مرحله برای ارزیابی خشکسالی، شاخص SPI براساس آمار ۱۴ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۰) بارش و به تفکیک ۹ ایستگاه باران‌سنجی برای سال‌های مذکور، در نرم‌افزار DrinC محاسبه شدند که مقادیر مربوطه در جدول (۳) نشان داده شده است. مقادیر شاخص SPI سپس برای هر ایستگاه در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در نرم‌افزار DrinC وارد شدند تا امکان تحلیل فضایی آن‌ها فراهم شود. نتایج ایستگاه‌های بدست آمده به صورت جدول (۳ تا ۵) می‌باشد. از بین سال‌های مورد مطالعه، نتایج محاسبات براساس جدول (۳ تا ۵) نشان داد که در مقیاس زمانی ۳ ماهه، خشکسالی خیلی شدید با کم‌ترین مقدار ۳/۰۴- مربوط به ایستگاه دهگلان و ترسالی خیلی شدید با بیش‌ترین مقدار ۲/۲۸، مربوط به ایستگاه بیجار می‌باشد و در مقیاس زمانی ۶ ماهه، کم‌ترین مقدار ۳/۰۲- مربوط به ایستگاه کامیاران و ۲/۲ بیش‌ترین مقدار برای ایستگاه دیواندره بدست آمد، در صورتی که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، ۲/۹- با کم‌ترین مقدار مربوط به همان ایستگاه دهگلان و ۲/۳ هم برای ایستگاه دیواندره می‌باشد، سپس متوسط مقدار در بین هر سه مقیاس زمانی ۰/۰۴- می‌باشد. در نتیجه با توجه به قابلیت SPI مشخص گردید متداوم‌ترین خشکسالی خیلی شدید ۱۷ ماهه مربوط به ایستگاه قروه و طولانی‌ترین ماه‌های ترسالی خیلی شدید ۱ سال می‌باشد. در تحقیق حاضر شاخص SPI به عنوان یکی از شاخص‌های مناسب در تجزیه و تحلیل خشکسالی‌های گذشته استفاده شده است. از آنجا که ناحیه مطالعاتی به اندازه کافی گسترده است، از اطلاعات ماهانه

آمد و مقادیر محاسبه شد. براساس جدول (۲) طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی در شاخص مذکور تعیین گردید. با استفاده از مقادیر بدست آمده از SPI که بین ۲- و ۲+، یا کم‌تر و ۲+ یا بیش‌تر از آن می‌باشد دوره‌های خشکسالی و ترسالی مشخص شده و نیز شدت‌های آن‌ها به صورت نرمال، ملایم، متوسط، شدید و خیلی شدید معلوم گردید (سلطانی و سعادت، ۱۳۸۶: ۶۵).

جدول ۲: طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی براساس مقادیر SPI

طبقه خشکسالی	مقادیر SPI	طبقه خشکسالی	مقادیر SPI
ترسالی خیلی شدید	بالاتر از ۲	خشکسالی ملایم	۰ تا ۰/۹۹-
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹	خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-
ترسالی ملایم	۱ تا ۱/۴۹	خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
نرمال	۰/۹۹ تا ۰	خشکسالی خیلی شدید	۲- و کم‌تر

مأخذ: مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳

در این روش، دوره خشکسالی زمانی شروع می‌شود که SPI به‌طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کم‌تر برسد، و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. در ضمن مقادیر تجمعی SPI، نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد. مقدار مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیش از بارندگی میانه و مقدار منفی حالت عکس آن است. لذا شاخص SPI استاندارد شده، قابل استفاده برای اقلیم‌های خشک و مرطوب بوده، و امکان مقایسه نتایج در دوره‌های زمانی مختلف و مکان‌های متفاوت را نیز به دست می‌دهد (انصاری، ۱۳۸۷: ۲۱). در ادامه مقادیر حدی حداکثر و حداقل شاخص SPI در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در دوره‌ی آماری مورد مطالعه به ترتیب در نگاره‌های ۳ و ۴ ارائه شده و در انتها نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین توزیع مکانی وضعیت خشکسالی براساس SPI

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)  
 ارزیابی تغییرات مکانی شدت دوره‌های خشکسالی ... / ۱۵۷

جدول ۳: برخی از ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب براساس مقادیر شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه‌های باران‌سنجی استان کردستان در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه

شاخص SPI	آماره	ایستگاه								
		سنندج	تویسرکان	ظفرآباد	پیران	بانه	قروه	تبریز	کامیاران	دهگلان
۳ ۳ ۳	حداکثر	۱/۶	۲/۲	۱/۹	۱/۶	۲/۱	۱/۹	۲/۳	۱/۶	۲/۰
	حداقل	-۲/۱	-۲/۰	-۱/۵	-۲/۰	-۱/۷	-۲/۴	-۲/۴	-۲/۱	-۳/۰۴
	متوسط	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	تعداد ماه‌های خشک	۱۶	۲۸	۱۵	۲۸	۱۲	۲۹	۲۸	۱۶	۲۴
	تعداد ماه‌های مرطوب	۱۶	۲۸	۱۷	۲۸	۲۰	۲۳	۲۸	۱۶	۲۴
	ماه‌های ترسالی بسیار شدید	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱
	ماه‌های ترسالی شدید	۴	۴	۴	۴	۱	۱	۳	۲	۲
	ترسالی ملایم تا متوسط	۵	۴	۲	۴	۵	۹	۵	۳	۵
	نرمال	۳۹	۳۸	۲۱	۳۸	۲۱	۳۲	۳۷	۲۳	۳۶
	ماه‌های خشکسالی ملایم تا متوسط	۶	۶	۳	۶	۱	۷	۶	۱	۲
	ماه‌های خشکسالی شدید	۰	۳	۲	۳	۳	۱	۳	۲	۰
	ماه‌های خشکسالی بسیار شدید	۲	۰	۰	۰	۰	۲	۱۷	۱	۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

جدول ۴: برخی از ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب براساس مقادیر شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه‌های باران‌سنجی استان کردستان در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه

شاخص SPI	آماره	ایستگاه								
		سنندج	تویسرکان	ظفرآباد	پیران	بانه	قروه	تبریز	کامیاران	دهگلان
۳ ۳ ۳	حداکثر	۱/۳	۲/۰	۲/۲	۲/۰	۱/۵	۱/۶	۱/۷	۲/۰	۱/۳
	حداقل	-۲/۲	-۲/۶	-۱/۷	-۲/۳	-۲/۰	-۱/۷	-۲/۲	-۳/۰	-۲/۲
	متوسط	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	تعداد ماه‌های خشک	۱۰	۱۷	۷	۱۵	۹	۹	۱۴	۱۳	۱۰
	تعداد ماه‌های مرطوب	۶	۱۱	۹	۱۱	۷	۷	۱۴	۱۱	۶
	ماه‌های ترسالی بسیار شدید	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	ماه‌های ترسالی شدید	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۱	۰
	ترسالی ملایم تا متوسط	۴	۳	۰	۲	۳	۰	۵	۲	۲
	نرمال	۲۰	۲۰	۱۲	۱۷	۱۰	۱۰	۱۷	۱۹	۱۱
	ماه‌های خشکسالی ملایم تا متوسط	۲	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۰	۱
	ماه‌های خشکسالی شدید	۰	۲	۱	۲	۱	۱	۳	۱	۱
	ماه‌های خشکسالی بسیار شدید	۲	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴)

از اهداف دیگر این مطالعه بررسی شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌های منطقه‌ای، و بررسی توزیع مکانی، زمانی و تعیین مناطق بحرانی استان کردستان از دیدگاه

در مقایسه با اطلاعات سالانه به سبب ارتقای مدیریت خشکسالی، و نیز انتخاب روش نیز بر مبنای همین فضای زمانی استفاده شده است.

جدول ۵: برخی از ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب براساس مقادیر شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه‌های

باران‌سنجی استان کردستان در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه

شاخص SPI	آماره	ایستگاه								
		کامیاران	دهگلان	تفر	سار	سار	سار	سار	سار	سار
	حداکثر	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۹	۱/۸	۱/۵	۲/۳	۱/۳	۱/۵
	حداقل	-۲/۹	-۱/۲	-۲/۴	-۱/۳	-۱/۳	-۱/۷	-۱/۲	-۲/۶	-۱/۲
	متوسط	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲ ۳ ۵	تعداد ماه‌های خشک	۷	۴	۷	۳	۴	۸	۴	۸	۴
	تعداد ماه‌های مرطوب	۵	۴	۷	۵	۴	۵	۴	۶	۴
	ماه‌های ترسالی بسیار شدید	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
	ماه‌های ترسالی شدید	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰
	ترسالی ملایم تا متوسط	۱۹	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۲	۲
	نرمال	۰	۴	۱۱	۵	۴	۸	۵	۱۰	۱۲
	ماه‌های خشکسالی ملایم تا متوسط	۱	۲	۱	۲	۰	۱	۲	۱	۱
	ماه‌های خشکسالی شدید	۱	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰
	ماه‌های خشکسالی بسیار شدید	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۱	۱

ماخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

### بحث و نتیجه‌گیری

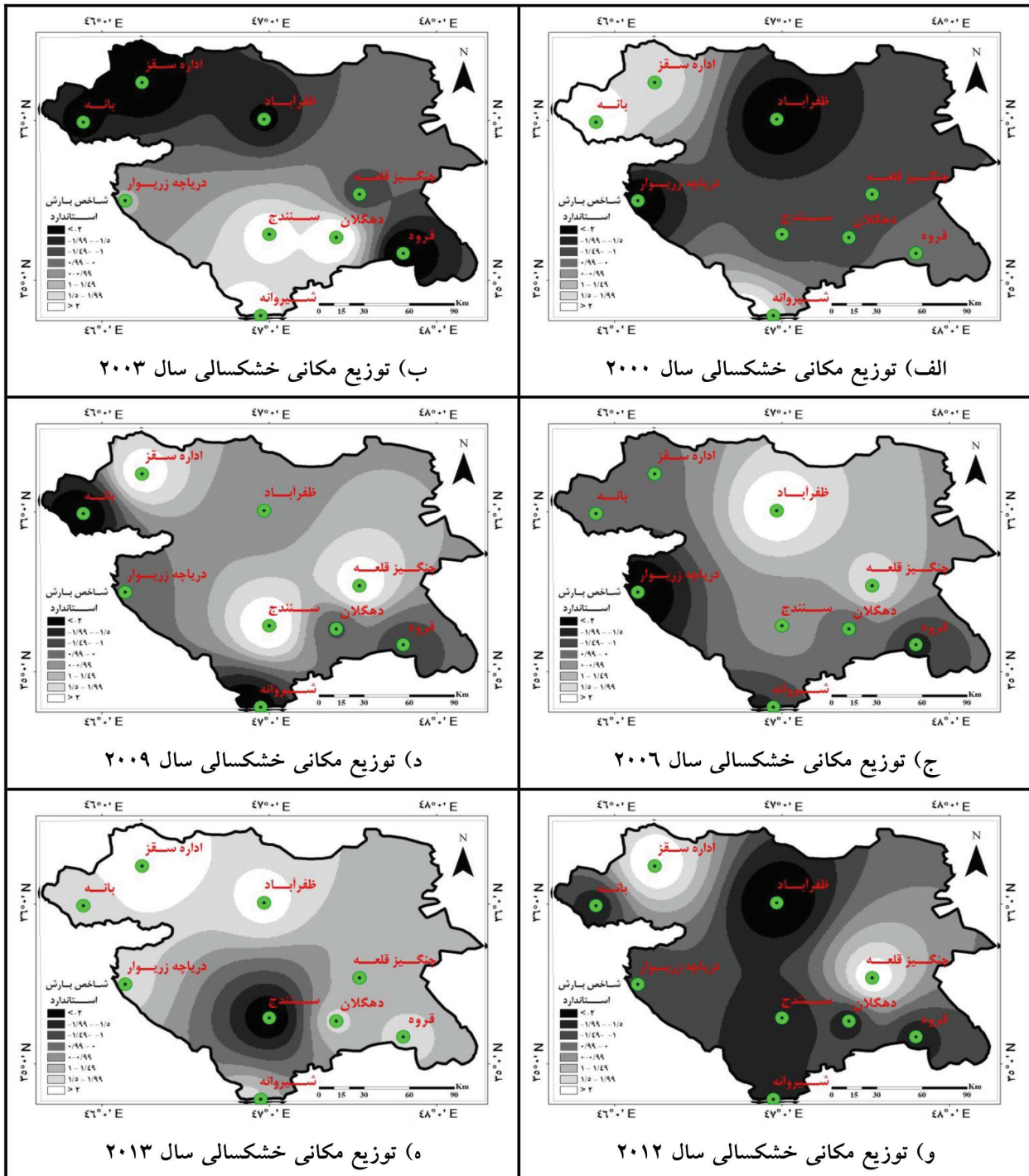
از بررسی و تحلیل نتایج حاصل از پژوهش، نهایتاً نتیجه‌گیری کلی زیر به‌دست آمد. در تمامی ۹ ایستگاه باران‌سنجی استان کردستان در طول یک دوره آماری ۱۴ ساله، سال‌های مرطوب و هم‌چنین سال‌های خشک مشاهده شده‌اند و ممکن است ۲ یا ۳ ترسالی متوالی و پس از آن دو یا سه خشکسالی متوالی و یا بلافاصله پس از خشکسالی، ترسالی و پس از ترسالی، خشکسالی مشاهده شود. در هیچ سالی در تمامی ۹ ایستگاه مورد بررسی، فقط یک وضعیت بارش حاکم نبوده است. به‌عبارت دیگر هر ساله می‌بایست انتظار وضعیت‌های متفاوت بارش در مناطق مختلف استان کردستان را داشت. براساس نتایج مقادیر شاخص بارش استاندارد برای هر یک از ایستگاه‌های استان به دو دوره خشکسالی و ترسالی طبقه‌بندی شد که در بین این مقادیر بیش‌ترین خشکسالی مربوط به ایستگاه دهگلان و کم‌ترین آن مربوط به ظفرآباد (دیواندره) به‌دلیل ارتفاع بیش‌تر آن از سطح دریا و بارش برف در زمستان مقدار رطوبت آن بیش‌تر است. شاخص مورد نظر توانایی پایش زمان وقوع، خاتمه و شدت هر یک از خشکسالی‌ها در بازه‌های زمانی

خشکسالی هواشناسی است. در این تحقیق جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از روش میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله<sup>۱</sup> (IDW) استفاده گردید. این روش به گونه‌ای است که در یک سطح میان‌یابی اثر یک پارامتر بر ابر نقاط اطراف یکسان نیست و نقاط نزدیک بیش‌تر و نقاط دور کم‌تر تحت تأثیرند و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد اثر آن‌ها کم‌تر خواهد شد. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی براساس روش مذکور در مقیاس ۱۲ ماهه در نگاره (۲)، و هم‌چنین نقشه‌های حداکثر و حداقل مقادیر SPI، در نگاره (۳) در سه مقیاس ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در طول دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ به‌عنوان نمونه ارائه شده‌اند.

طبق آمار اخذ شده مربوط به بارش در سال ۲۰۱۲، میزان بارش در سطح استان کم‌تر بوده و تعداد ماه‌های خشک بیش‌تر از سال‌های دوره آماری است. هم‌چنین مقادیر شاخص SPI که برای این سال محاسبه شده است، رو به کاهش بوده در این راستا نقشه‌های پهنه‌بندی کاهش این مقادیر و افزایش خشکسالی در سال ۲۰۱۲ را به خوبی نشان داده است."

1- Inverse Distance Weighting (IDW)

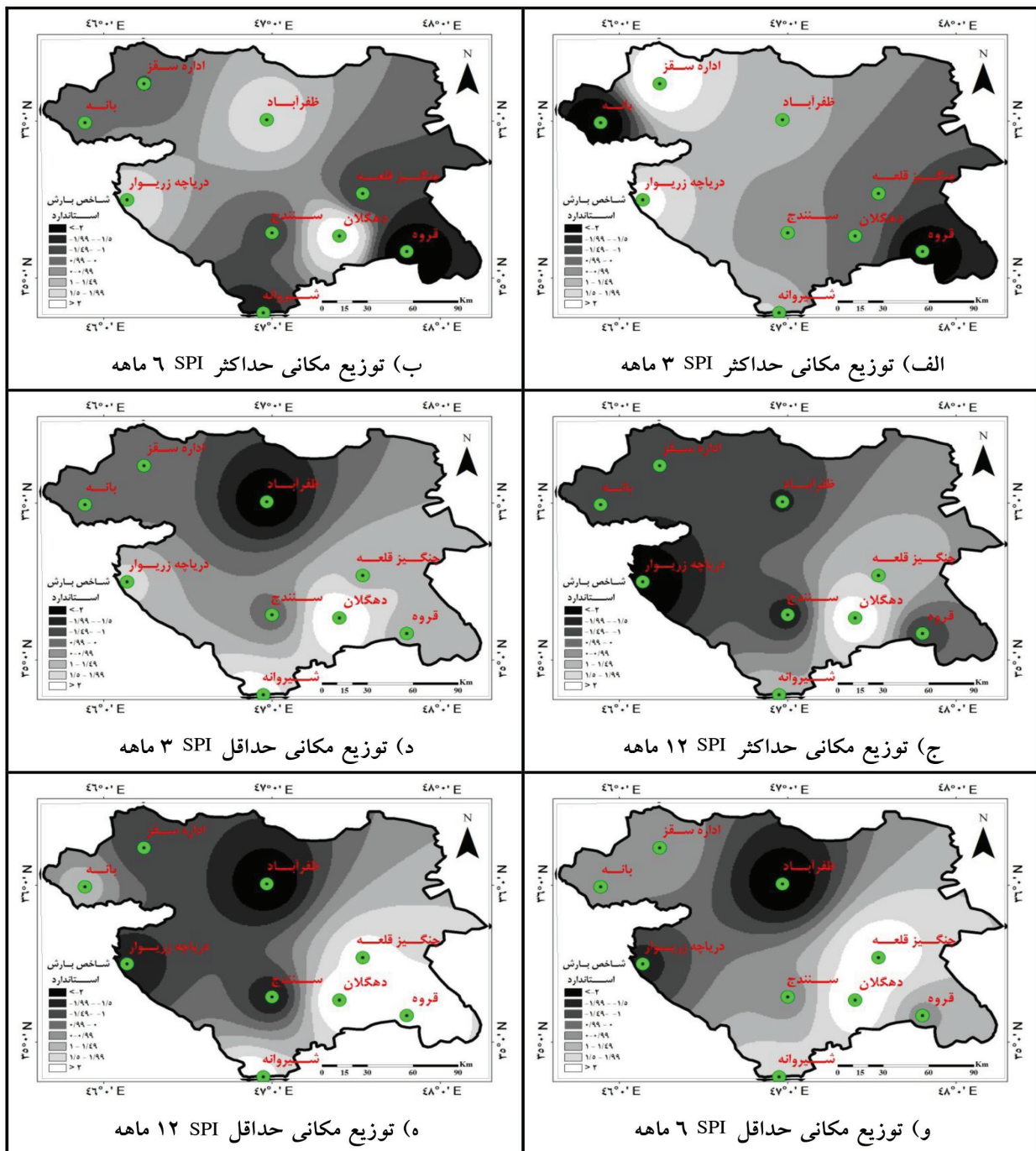




نگاره ۲: توزیع مکانی خشکسالی در استان کردستان با استفاده از شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه (نگارندگان، ۱۳۹۴)

(۱۳۸۲)، بذرافشان و همکاران (۱۳۹۰)، ابونصرشیراز و رسانه (۱۳۹۴) و سایر منابع مورد استفاده مبنی بر مزایای شاخص SPI در طبقه‌بندی و مقایسه خشکسالی همخوانی

مختلف را دارد. همچنین با نرمال‌سازی و استاندارد کردن شاخص SPI، امکان مقایسه و طبقه‌بندی شدت خشکسالی در بازه زمانی متفاوت وجود دارد که با نتایج صدفردی



نگاره ۳: حداکثر و حداقل مقادیر SPI در استان کردستان در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ (نگارندگان، ۱۳۹۴)

استان بلکه در مقیاس‌های مختلف زمانی حتی برای یک ایستگاه مشخص نیز متفاوت است. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی استان بیانگر آن است که در مناطق شمال و غرب دارد. استفاده از این شاخص برای بررسی روند تغییرات خشکسالی در استان کردستان نشان داد، که روند تغییرات این پدیده در ماه‌های مختلف سال نه تنها در نقاط مختلف

محسن، آرش، ابوالفضل (۱۳۹۰)؛ بررسی وضعیت خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۸، شماره ۳، ص ۴۹۷-۳۹۵.

۶- بهزادی، جلال. (۱۳۹۰)؛ پایش خشکسالی و تحلیل ویژگی آن در استان گیلان، جغرافیا و آمایش سرزمین، جلد یک، شماره ۱، ص ۳۶-۲۱.

۷- حنفی، حاتمی؛ علی، ایرج (۱۳۹۲)؛ تهیه نقشه اقلیمی استان کردستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه سپهر، دوره ۲۲، شماره ۸۷، ص ۲۸-۲۴.

۸- چمن‌پیرا، زهتابیان، احمدی، ملکیان؛ غلام‌رضا، غلام‌رضا، حسن، آرش (۱۳۹۳)؛ بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی به‌منظور مدیریت بهینه بهره‌برداری در دشت الشتر، مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ششم، شماره ۱، ص ۲۰-۱۰.

۹- رضیئی، ثقفیان؛ طیب، بهرام (۱۳۸۳)؛ بررسی روند خشکسالی در دشت سیستان، اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، تبریز، ص ۱۰-۱.

۱۰- سلطانی، سعادت؛ سعیده، سیده سارا (۱۳۸۶)؛ پهنه‌بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه بارش استاندارد (SPI)، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد یک، شماره ۲، ص ۶۷-۶۴.

۱۱- صفدری، محسنی ساروی، ثقفیان؛ علی‌اکبر، محسن، بهرام (۱۳۸۲). پهنه‌بندی خشکسالی‌های حوزه آبخیز کارون به کمک شاخص SPI در محیط GIS، همایش ژئوماتیک، تهران. ص ۱۱-۱.

۱۲- فاتحی‌مرج، باقری‌نیا؛ احمد، مژگان (۱۳۹۰)؛ بررسی خشکسالی مرتعی غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد پنجم، شماره ۱۶، ص ۲۲-۱۳.

۱۳- لشنی زند، خرمیان؛ مهران، ناصر (۱۳۸۴)؛ پهنه‌بندی خشکسالی اقلیمی در استان لرستان با بکارگیری شاخص‌های آماری، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با

مقدار رطوبت بیش‌تر و در قسمت شرق رطوبت کم‌تر و روند خشکسالی در این مناطق بیش‌تر از سایر مناطق استان مشاهده شده است. بر همین اساس ایستگاه دهگلان اولویت اول را از نظر شدت خشکسالی در بین ایستگاه‌ها و ظفرآباد (دیواندره) آخرین اولویت را دارد. نقشه‌های تولید شده تا حدود زیادی بیانگر افزایش روند خشکسالی در استان بوده، و می‌توانند مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های محیطی و مدیریت بهتر دوره‌های خشک، تبدیل مدیریت بحران به مدیریت خطر، بیمه محصولات کشاورزی و غیره باشند. پیشنهاد می‌شود از شاخص‌های دیگر برای انجام پژوهش‌های مشابه استفاده و نتایج به‌دست آمده با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

#### منابع و مأخذ

۱- ابونصرشیراز، رسانه؛ پریسا، غزاله (۱۳۹۴)؛ پایش خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص بارش استاندارد طی سال‌های اخیر، کنفرانس ملی زیست‌شناسی و زیست‌محیطی، گلستان، ص ۱۱-۱.

۲- اسمعیلی، کریمی، یاسمی؛ فرزاد، یارمحمد، فرشاد (۱۳۸۸)؛ مدیریت ریسک یا مدیریت بحران خشکسالی (مطالعه موردی: جامعه عشایری استان ایلام)، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، ص ۱۱-۱.

۳- انصاری؛ حسین (۱۳۸۷)؛ پایش و ارزیابی پدیده خشکسالی و مقایسه نسبی شدت و خسارات ناشی از بروز این پدیده با توجه به مقیاس زمانی کمبود بارندگی در استان خراسان، آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد هشتم، شماره ۱، ص ۳۱-۱۹.

۴- انصاری، داوری؛ حسین، کامران (۱۳۸۶)؛ پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS، پژوهش‌های جغرافیایی، جلد یک، شماره ۶۰، ص ۹۷-۱۰۸.

۵- بذرافشان، محسنی ساروی، ملکیان، معینی؛ ام‌البین،

the standardized precipitation index for Catalonia, *International Journal Climatology*, 21, 1669-1691.

24- Loukas, A., Vasiliades, L., and Tzabiras, J, 2008, Climate Change Effects on Drought Severity, *Advances in Geosciences*, 17, 23-29.

25- Mckee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J, 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th Conference of Applied Climatology, Anaheim, 179-184.

26- Mendicino, G., A. Senatore and Versace, P, 2008, A groundwater resource index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate, *Journal of Hydrology*, 357(3-4), 282-302.

27- Szalai, S., Szinell, Cs., Bussay, A., and Szentimrey, T, 1998, Drought Tendencies in Hungary, *Journal of Climatology*, 18, 1479-1491.

بحران آب، دانشگاه زابل، ص ۱۰۹-۱۲۱.

۱۴- مساعدی، مرعشی، کواکبی؛ ابوالفضل، مهدیه، غزاله (۱۳۸۸)؛ بررسی مقایسه‌ی خشکسالی در مناطق پرباران و کم باران (مطالعه موردی: استان گلستان)، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد شانزدهم، شماره ۱، ص ۲۹۰-۲۷۷.

۱۵- مصطفی‌زاده، شهابی، ذبیحی؛ رئوف، معصومه، محسن (۱۳۹۴)؛ تحلیل خشکسالی هواشناسی کردستان با استفاده از مدل نمودار سه متغیره، مجله آمایش جغرافیایی فضا، جلد پنجم، شماره ۱۷، ص ۱۴۰-۱۲۹.

۱۶- یزدانی، چاوشی، شیرانی، خداقلی؛ محمدرضا، ستار، کوروش، مرتضی (۱۳۸۵)؛ بررسی وضعیت هواشناسی در زیر حوزه آبخیز زاینده‌رود، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود، شهرکرد، ص ۸-۱.

17- Cancelliere, A., Mauro, G., Bonaccorso, B., and Rossi, G, 2007, Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index, *Journal of Water Resources Management*, 21, 801-819.

18- Choi, M., Jacobs, J. M., Anderson, M. C., and Bosch, D. D, 2013, Evaluation of drought indices viaremotely sensed data with hydrological variables, *Journal of Hydrology*, 476(1), 265-273.

19- Chopra, P, 2006, Drought Risk Assessment using Remote Sensing and GIS: A case study of Gujarat, M.Sc Thesis, ITC Universit, P, 81.

20- Edward, D. C., and McKee, T. B, 1997, Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales, *Climatology Report 972*, Dept. Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, p: 155.

21- Gourbesville, P, 2008, Challenges for integrated water resources management, *Physics and Chemistry of the Earth*, 33(5), 284-289.

21-Kao, Sh., Govindaraju, R.S., and Niyogi, D, 2009, A spatio-temporal drought analysis for the Midwestern US, *World Environmental and Water Resources Congress*, American Society of Civil Engineers, ASCE. 4654-4663.

23- Lana, X., Serra, C., and Burgueno, A, 2001, Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of