

بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TRMM

عبدالنبی عبده کلاهچی^{۱*}، محمد افتخار دادخواه^۲ و مهدی میرزایی^۳

^۱ استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز و ^۳ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۸

چکیده

مطالعه تأثیرات خشکسالی بر منابع آبی در کشور ایران و به‌ویژه در نواحی کوهستانی به دلیل عدم پراکنش مناسب ایستگاه، نبود داده‌های طولانی‌مدت و نواحی فاقد آمار، همواره با مشکلاتی مواجه است. از این‌رو، هدف اصلی این پژوهش، بررسی خشکسالی‌های استان کرمانشاه و تأثیر آن بر منابع آبی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TRMM و همچنین، ارزیابی دقت آن‌ها در مقابل داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه است. برای رسیدن به این منظور، از روش‌های آماری و سنجش از دور استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های بارش ۴۲ نقطه مدل TRMM با دقت مکانی 0.25×0.25 درجه جغرافیایی، داده‌های بارش ایستگاه‌های زمینی استان کرمانشاه طی دوره ۱۵ ساله ۲۰۱۴-۲۰۰۰ و داده‌های دبی چشمه‌های کارستی این استان است. ارزیابی دقت داده‌های دو پایگاه داده با استفاده از آماره‌های R، R2، EF، Slope، JA، NRMSE و Bias در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. ارزیابی دقت داده‌های مدل TRMM در مقابل داده‌های بارش ثبت شده ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه نشان داد که داده‌های این ماهواره در سطح استان از دقت بسیار مناسبی برخوردارند و ۷۰ تا ۸۰ درصد واریانس بارش داده‌های ایستگاهی، به کمک داده‌های بارش این ماهواره تبیین می‌شوند. همچنین، مقدار انحراف داده‌های ماهواره از داده‌های ایستگاهی بسیار ناچیز و کمتر از ۱۰ میلی‌متر است. پایش خشکسالی در سطح استان کرمانشاه با استفاده از داده‌های TRMM و شاخص SPI در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه نشان داد که معمولاً فراوانی خشکسالی در این استان بیش از ترسالی است، اما شدت دوره‌های خشک کمتر از دوره‌های مرطوب است و چند دوره خشک به‌وسیله یک دوره مرطوب جبران می‌شود. توزیع زمانی نمرات استاندارد شده بارش نیز نشان داد، دوره‌های مرطوب عمدتاً در ابتدای دوره مطالعاتی و دوره‌های خشک در انتهای دوره مطالعاتی از تمرکز بیشتری برخوردارند. از این‌رو، مقدار بارش استان در حال کاهش و سهم بارش‌های بهاری نسبت به بارش‌های پاییزه و زمستانه در حال افزایش است. نتایج حاصل از مقایسه داده‌های دبی و بارش و بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب نشان داد، ارتباط بسیار قوی بین بارش و دبی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه وجود دارد و خشکسالی‌های شدید هیدرولوژیک به‌شدت متأثر از کاهش ریزش‌های جوی است. به‌طوری‌که، مقدار همبستگی بین بارش و دبی چشمه‌های کارستی منتخب بین ۰/۷۷ تا ۰/۸۸ است و در بهترین حالت، مقدار ضریب تعیین برای ایستگاه روانسر به ۰/۷۷ می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: توزیع زمانی، داده‌های شبکه‌ای، سنجش از دور، ضریب تعیین، همبستگی بارش و دبی

مقدمه

ماهیت بطئی و خزنده خشکسالی، آن را به مزمین‌ترین و زیان‌بارترین مخاطره طبیعی تبدیل کرده است، به طوری که تعیین شروع و خاتمه خشکسالی مشکل و اثرات آن ممکن است به تدریج برای یک دوره طولانی روی هم انباشته شده و برای سال‌های پس از آن نیز ادامه داشته باشد (Daneshvar و همکاران، ۲۰۰۷ و Rahimi، ۲۰۱۱). همچنین، از آنجا که خشکسالی با کمبود آب مرتبط است، به طور مستقیم و غیرمستقیم بر بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، اقتصاد و اجتماع تأثیر منفی می‌گذارد و باعث ایجاد مشکلاتی برای انسان‌ها می‌شود (Wilhite و Buchanan-smith، ۲۰۰۵). هرچند، از وقوع خشکسالی نمی‌توان جلوگیری کرد و این پدیده از ویژگی‌های طبیعی و تکرار شونده آب و هوا است که در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد (Bordi و Sutera، ۲۰۰۷). اما اگر ماهیت و خصوصیات آن مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد، می‌توان نسبت به پیش‌بینی آن امیدوار بود و با آمادگی و برنامه‌ریزی اثرات زیان‌بار آن را کاهش داده، در صورت ممکن کنترل کرد. کاهش پیامدهای خشکسالی، نیازمند مدیریت و پایش مستمر این پدیده است (Levina و همکاران، ۲۰۱۶)، اما به دلایل مختلف اندازه‌گیری بارش به عنوان دلیل اصلی رخداد خشکسالی و ترسالی در بسیاری از نقاط جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، همانند ایران، با مشکل مواجه است. محدودیت در اندازه‌گیری بارش به دلیل تفاوت‌های زیاد مکانی بارش است. این تفاوت‌ها، از یک سو به طبیعت بارش وابسته است که اساساً متغیری سرکش است و تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر، تنوع منشأ بارش، در نقاط مختلف ایران سبب شده است در هر منطقه مقدار ریزش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد (Masoudian، ۲۰۱۲). علاوه بر این، عدم توزیع مناسب و کافی ایستگاه‌های زمینی و در دسترس نبودن آمار طولانی‌مدت بارش، پیچیدگی واکاوی بارش در کشور را دو چندان کرده است (Azizi و همکاران، ۲۰۱۶). امروزه سامانه اطلاعات جغرافیایی و فنون سنجش از دور، به طور وسیعی در ارزیابی و پایش

خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرند و پیشرفت‌های اخیر، پتانسیل جدیدی برای برآورد بهتر و دقیق‌تر بارندگی در نواحی که اندازه‌گیری‌ها و دیدبانی‌های زمینی محدود هستند، ایجاد کرده است (Erfanian و همکاران، ۲۰۱۴). داده‌های ماهواره‌ای TRMM از جمله منابع اطلاعاتی به دست آمده از ماهواره‌ها هستند که توانسته‌اند برآوردهای نسبتاً دقیقی از مقدار بارش در نقاط مختلف جهان ارائه دهند و به همین علت، مورد توجه پژوهشگران کشورهای مختلف و مراکز تحقیقاتی بین‌المللی قرار گرفته‌اند (Miri و همکاران، ۲۰۱۶). برای نمونه، Gustavo و همکاران (۲۰۱۲) در آفریقا، DU و همکاران (۲۰۱۶) در استان شاندونگ چین، Yan و همکاران (۲۰۱۴) در حوضه چینگ‌هایی چین، Levina و همکاران (۲۰۱۶) در حوضه رودخانه پمالی کومال اندونزی و Jesús و همکاران (۲۰۱۶) در کشور مکزیک با استفاده از داده‌های بارش TRMM به پایش خشکسالی پرداختند. نتایج این تحقیقات، نشان داد که انطباق خوبی بین داده‌های بارش این سنجنده و ایستگاه‌های زمینی وجود داد و استفاده از داده‌های TRMM با قدرت تفکیک مکانی بالا برای پایش خشکسالی عملکرد بسیار مناسبی دارند. در داخل کشور نیز Erfanian و همکاران (۲۰۱۴) خشکسالی‌های استان فارس، Salimi Fard و همکاران (۲۰۱۴) و Ghafourian و همکاران (۲۰۱۴) خشکسالی‌های استان خراسان رضوی و Madadi و همکاران (۲۰۱۶) خشکسالی‌های حوضه مرزی غرب کشور را به کمک ماهواره TRMM پایش و به رابطه مناسب بین داده‌های ماهواره‌ای و زمینی تأکید کرده‌اند.

استفاده از داده‌های شبکه‌ای و دورسنجی بارش برای کشوری همانند ایران که فاقد شبکه منظم ایستگاه‌های هواشناسی به‌ویژه در نواحی مرتفع و بیابانی است، به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی بارش و خشکسالی‌های متوالی از اهمیت زیادی برخوردار است. این اهمیت، برای استان‌های دارای جمعیت زیاد و همچنین نواحی با اقتصاد وابسته به آب، به‌ویژه در غرب کشور از اهمیت بیشتری برخوردار است. استان کرمانشاه، یکی از مهمترین مراکز جمعیتی غرب ایران است که در دهه‌های گذشته

آن‌ها شکل گرفته و بستر گذرگاه‌های مهم زاگرس را به وجود آورده است (شکل ۱). از نظر اقلیمی، استان کرمانشاه در معرض جبهه‌های مرطوب مدیترانه‌ای قرار دارد که در برخورد با ارتفاعات زاگرس، موجبات ریزش برف و باران را فراهم می‌سازد. متوسط میزان بارندگی در مناطق مختلف استان بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در نوسان است و به‌طور کلی، متوسط میزان بارندگی در سطح استان را ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر می‌توان در نظر گرفت.

روش پژوهش: در پژوهش حاضر، از داده‌های بارش ماهانه ماهواره TRMM، داده‌های بارش نه ایستگاه هم‌دیدگی و داده‌های دبی چشمه‌های استان کرمانشاه استفاده شده است. در ابتدا، با مراجعه به سازمان هواشناسی داده‌های بارش ایستگاه‌های هم‌دیدگی استان دریافت و در نهایت با بررسی کمی و کیفی اطلاعات آن‌ها داده‌های نه ایستگاه طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ در پهنه استان پردازش شد. داده‌های شبکه‌بندی شده بارش ماهانه TRMM با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه جغرافیایی از سایت NOAA دریافت و با استفاده از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی، استخراج و پردازش شدند. همچنین، داده‌های ماهانه دبی چشمه‌های استان، از سازمان آب منطقه‌ای کرمانشاه دریافت و پس از بررسی کمی و کیفی آن‌ها در نهایت، تعداد چهار چشمه که داده‌های آن‌ها دوره زمانی مورد مطالعه را پوشش می‌دهند، انتخاب و پردازش شدند. پس از دریافت و آماده‌سازی داده‌ها، از هفت آزمون آماری برای مقایسه و ارزیابی دقت داده‌های TRMM در برابر داده‌های مشاهده‌ای بارش در نه ایستگاه هم‌دیدگی کرمانشاه استفاده شد. ابتدا، سری زمانی بارش ماهانه نقاط مختلف شبکه (شکل ۱) را ساخته، از آنجائی‌که هدف ارزیابی دقت داده‌های بارش TRMM بوده است، مقدار بارش این پایگاه در نزدیک‌ترین نقطه به هر ایستگاه استخراج و برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفت. از این‌رو، ماتریسی به ابعاد 180×9 تشکیل و مورد استفاده قرار گرفت. در این ماتریس، عدد ۱۸۰ تعداد مشاهده‌ها در ماه‌های پیاپی از ۱۵ سال مورد

به‌دلیل رشد جمعیت، پتانسیل بالای کشاورزی، توسعه طرح‌های صنعتی، جاذبه‌های گردشگری و قرار گرفتن در مسیر راه عتبات عالیات نیاز آبی این منطقه به شدت افزایش یافته است. این در حالی است که با توجه به واقع شدن استان کرمانشاه در زون‌های زمین‌شناسی زاگرس چین‌خورده، زاگرس شکسته و زون سندانج-سیرجان و ویژگی‌های جغرافیایی متنوع، همچون جهت ناهمواری‌ها، اختلاف ارتفاع، اقلیم متنوع و ژئومورفولوژی متفاوت در این زون‌ها، سیکل هیدرولوژیکی حوضه‌های استان، دارای پیچیدگی‌های خاص خود است (Masumpour و همکاران، ۲۰۱۷). مجموعه این عوامل، سبب شده است که این استان طی سال با مخاطرات محیطی متفاوتی از جمله خشکسالی و پیرو آن، کاهش منابع آبی مواجه شود. شناخت تغییرات مکانی و زمانی بارش و پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا در سطح این استان به‌ویژه در نواحی فاقد ایستگاه، کمک زیادی به شناسایی و پیش‌بینی این مخاطره و همچنین، برنامه‌ریزی برای جلوگیری و کاهش پیامدهای آن به‌ویژه در مدیریت منابع آب خواهد داشت. از این‌رو، در پژوهش حاضر، سعی بر این است تا با کمک داده‌های TRMM و شاخص SPI به پایش خشکسالی‌های اخیر این استان پرداخته شود و تأثیر آن بر ویژگی‌های کمی منابع آب نیز بررسی شود.

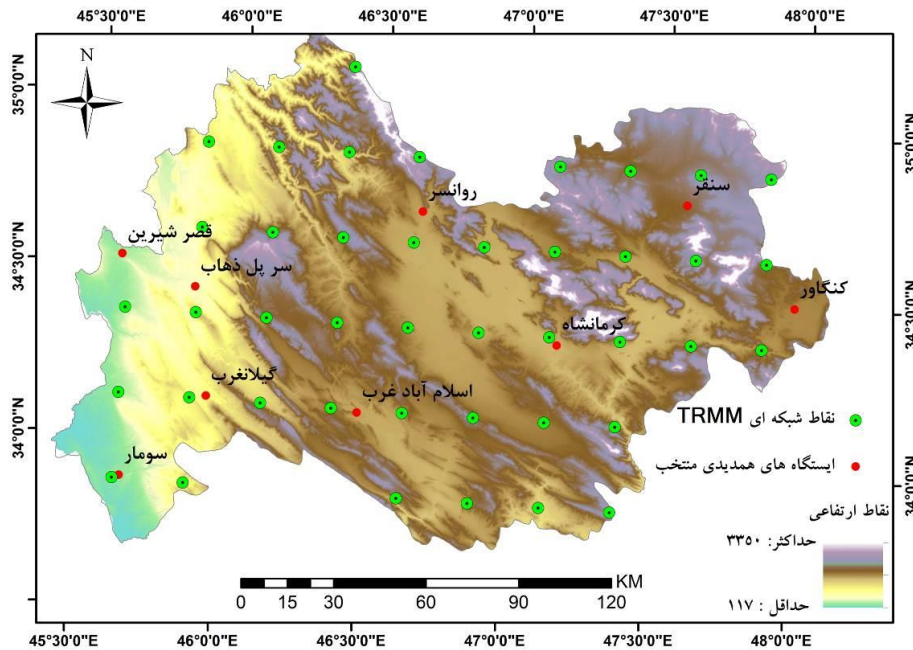
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان کرمانشاه با وسعتی در حدود ۲۴۴۳۴ کیلومتر مربع در میانه ضلع غربی کشور بین مدار جغرافیایی $33^{\circ} 40'$ تا $35^{\circ} 18'$ عرض شمالی و $48^{\circ} 7'$ تا $37^{\circ} 24'$ طول شرقی قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد در حدود ۱۲۰۰ متر است. استان کرمانشاه ناحیه‌ای کوهستانی است که بین فلات ایران و جلگه بین‌النهرین قرار گرفته، سراسر آن را قله‌ها و ارتفاعات سلسله کوه‌های زاگرس پوشانده‌اند و در محدوده این استان به‌صورت مجموعه‌ای از رشته‌کوه‌های موازی پدیدار گشته که دشت‌های مرتفع کوهستانی در میان

پایش خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، از شاخص SPI استفاده شد و ویژگی‌های مختلف خشکسالی (فراوانی، شدت و تداوم) در مقیاس‌های مختلف زمانی ارزیابی شد. روش‌شناسی این شاخص، به‌طور کامل به‌وسیله Rahimi (۲۰۱۱) تشریح شده است. از آنجا که طبقه‌بندی ارائه شده به‌وسیله مک‌کی و همکاران مرز بین خشکسالی و ترسالی (وضعیت نرمال) را لحاظ نمی‌کند و تغییر آستانه از خشکسالی به ترسالی و بالعکس بسیار سریع صورت می‌گیرد و با توجه به ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه برای پایش و ارزیابی بهتر وضعیت خشکسالی از طبقه‌بندی ارائه‌شده به‌وسیله Lashni-Zand (۲۰۰۴) در جدول ۱، استفاده شده است.

مطالعه (۱۲×۱۵) و عدد نه نیز معرف تعداد ایستگاه‌ها یا نقاطی است که مقایسه‌های آماری برای آن‌ها به انجام رسیده است.

در مرحله بعد، با استفاده از آزمون‌های آماری ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربع خطا نرمال‌شده (NRMSE)، شاخص توافق (IA)، شیب‌خط (Slope)، اریبی (Bias) و راندمان یا کارایی مدل (EF)، ماتریس داده‌های مشاهده‌ای (ایستگاهی) با ماتریس داده‌های TRMM مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. این عملیات، در محیط نرم‌افزارهای MATLAB و Excel انجام شد. جزئیات کامل آماره‌های ذکرشده به‌وسیله Miri و همکاران (۲۰۱۵) به‌طور کامل تشریح شده است. برای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب و پراکنش نقاط TRMM در سطح استان کرمانشاه

جدول ۱- مقیاس طبقه‌بندی مقادیر SPI (Lashni-Zand, ۲۰۰۴)

مقادیر SPI	طبقه
بزرگتر یا مساوی ۲	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	ترسالی ملایم
۰/۴۹ تا -۰/۴۹	تقریباً نرمال
-۰/۵ تا -۰/۹۹	خشکسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
کوچکتر یا مساوی -۲	خشکسالی بسیار شدید

در پهنه استان بین ۰/۶ تا ۰/۸ متغیر است. این بدان معنی است که نه تنها ماهواره مذکور توانایی بالایی در پیش‌بینی بارش واقعی استان دارد، بلکه در برآورد و پیش‌بینی رخداد‌های فرین بارش نیز از دقت قابل قبولی برخوردار است. میزان این دقت در نواحی شمالی استان به بالاترین مقدار و سرپل ذهاب و کرمانشاه به پایین‌ترین مقدار می‌رسد. مقادیر شاخص اریب شکل ۲- د، نشان می‌دهد که اختلاف خروجی بارش ماهواره‌ای و داده‌های مشاهداتی بسیار اندک است. زیرا مقدار اریب داده‌ها در ایستگاه‌های منتخب کمتر از ۱۰ است. این بدان معناست است که بیش‌برآوردی بارش در استان، بیشینه آن ۱۰ میلی‌متر است. بر اساس نقشه مذکور، بیشترین مقدار اریبی برای ایستگاه کرمانشاه و با نمره ۸/۳ به‌دست آمده است. مقدار بیش‌برآوردی در روانسر، سومار و اسلام‌آباد غرب بسیار ناچیز و از دو میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. شایان ذکر است که به‌جز سنقر و اسلام‌آباد که از مقادیر بسیار ناچیز کم‌برآوردی برخوردار هستند، در سایر نقاط استان، داده‌های ماهواره‌ای قدری نسبت به داده واقعی بیش‌برآوردی دارند.

علاوه‌بر شاخص‌های پیش‌گفته، برای ارزیابی دقت از چند شاخص دیگر استفاده شده است که نتایج آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس این جدول، مقدار R^2 در مناطق مختلف کرمانشاه بین ۰/۷ تا ۰/۸ قرار دارد. این بدان معنی است که ۷۰ تا ۸۰ درصد واریانس بارش داده‌های ایستگاهی، به کمک داده‌های بارش TRMM تبیین می‌شود. توزیع مکانی میزان ضریب تعیین نیز هم‌سو و منطبق با ضریب همبستگی است. آماره مربع خطای استاندارد شده نیز بیانگر برآورد قابل قبول و خطای نه‌چندان زیاد ماهواره در برآورد بارش در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه است، زیرا که مقادیر NRMSE در بیشتر نقاط بین ۰/۶ تا ۰/۸۵ است و به یک نزدیک است. این امر نشان می‌دهد که انحرافات بارش به‌ویژه در نیمه جنوبی و غربی استان اندک است. مقادیر آماره شیب هم نشان می‌دهد که در بیشتر نقاط استان داده‌های برآورد شده، از خط رگرسیون ۱:۱ فاصله زیادی ندارند و مقدار آماره شیب در سطح استان بین ۰/۷ تا ۱/۱ قرار دارد.

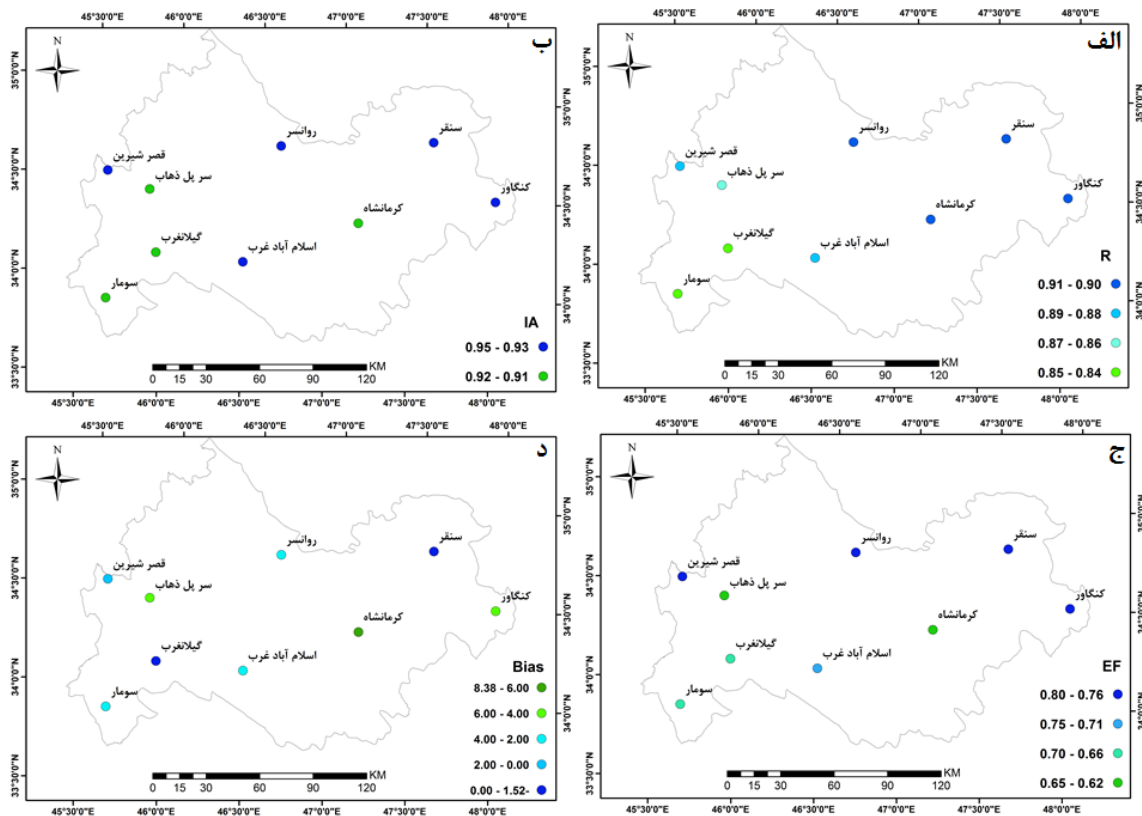
در نهایت، برای بررسی ارتباط و اثر خشکسالی بر منابع آب استان کرمانشاه داده‌های دبی سالانه چشمه‌های منتخب در سطح استان به نمرات استاندارد تبدیل و با نمرات استاندارد شده نزدیک‌ترین نقطه از شبکه TRMM مقایسه شد.

نتایج و بحث

ارزیابی دقت داده‌های ماهواره‌های TRMM: این‌که داده‌های ماهواره‌ای دارای مزایای مختلفی هستند، اما اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم، محدودیت اصلی آن‌ها محسوب می‌شود. از این‌رو، استفاده از آن‌ها قبل از هر چیز نیازمند ارزیابی و بررسی دقت آن‌ها بر اساس اطلاعات مستقیم مکانی است. همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد، از آزمون‌های آماری برای مقایسه و ارزیابی دقت داده‌های TRMM در برابر داده‌های مشاهده‌ای بارش استفاده شده است. شکل ۲ الف، دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای در مقایسه با داده‌های بارش مشاهده‌ای در سطح استان کرمانشاه بر اساس آماره ضریب همبستگی را نشان می‌دهد. مقادیر ضریب همبستگی R، بیانگر دقت بسیار خوب بارش برآوردی در نواحی مختلف استان است؛ زیرا مقدار این آماره در سطح استان بین ۰/۸۴ تا ۰/۹۱ در نوسان است که مقداری بسیار مناسب می‌باشد. مقدار R در نیمه شرقی استان، بالاتر از نیمه غربی آن است و به عدد یک بسیار نزدیک است. این وضعیت نشان می‌دهد در شهرستان‌های روانسر، کرمانشاه، سقز و کنگاور داده‌های شبکه‌ای منتخب اختلاف ناچیزی نسبت به داده‌های ایستگاهی دارند. کمترین ضریب همبستگی در سطح استان نیز متعلق به نواحی جنوب غربی یعنی ایستگاه‌های سومار و گیلان غرب است. مقادیر شاخص توافق IA که نشان‌دهنده مقدار توافق بین مقادیر دو سری زمانی است، بیانگر هماهنگی بسیار مناسب، بین مقادیر بارش ماهانه ایستگاه‌های منتخب در پهنه استان و داده‌های بارش ماهواره TRMM است (شکل ۲- ب). به‌طوری‌که مقدار این آماره در استان بین ۰/۹۱ تا ۰/۹۵ در نوسان است. نتایج آماره EF شکل ۲- ج، هم‌سو با آماره ضریب همبستگی و شاخص توافق و گواهِ بر کارایی مناسب ماهواره TRMM در برآورد بارش واقعی است. مقدار

از کارایی بسیار مناسبی برخوردارند.

در مجموع، مقادیر بارش به‌دست آمده به‌وسیله ماهواره



شکل ۲- مقایسه داده‌های بارش TRM با بارش واقعی ایستگاه‌های هم‌بندی منتخب در سطح استان کرمانشاه با استفاده از شاخص‌های آماری: الف- ضریب همبستگی ب- شاخص توافق ج- شاخص کارایی مدل و د- شاخص اریبی

جدول ۲- مقادیر آماره‌های مورد استفاده برای ارزیابی داده‌های بارش TRMM در مقابل داده‌های بارش مشاهده‌ای

SLOPE	RRMSE	RMSE	Bias	IA	EF	R ²	R	آزمون آماری
۱/۰۴	۰/۶۳	۲۲/۳۴	۳/۵۱	۰/۹۳	۰/۷۰	۰/۷۹	۰/۸۹	اسلام‌آباد غرب
۰/۹۰	۰/۵۲	۲۰/۱۲	۲/۴۹	۰/۹۵	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۹۰	روانسر
۱/۰۰	۰/۸۰	۲۵/۳۳	۵/۸۸	۰/۹۱	۰/۶۲	۰/۷۴	۰/۸۶	سرپل ذهاب
۱/۱۱	۰/۶۶	۲۰/۶۳	۸/۳۸	۰/۹۲	۰/۶۳	۰/۸۱	۰/۹۰	کرمانشاه
۱/۰۲	۰/۵۰	۱۵/۱۰	۴/۷۷	۰/۹۵	۰/۷۷	۰/۸۳	۰/۹۱	کنگاور
۰/۸۶	۰/۷۱	۲۵/۴۱	-۱/۲۰	۰/۹۲	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۸۵	گیلان غرب
۰/۷۵	۰/۴۹	۱۵/۴۷	-۱/۵۲	۰/۹۴	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۹۰	سنقر
۰/۸۷	۰/۸۵	۱۷/۷۹	۲/۸۷	۰/۹۱	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۸۴	سومار
۰/۸۶	۰/۶۶	۱۹/۱۹	۰/۴۰	۰/۹۴	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۸۸	قصر شیرین

استاندارد شده SPI بر روی ارقام بارش ۱۷ ساله ۴۲ نقطه از پایگاه داده TRMM در سطح استان کرمانشاه برآزش و با در نظر گرفتن مقدار (۰/۵- و ۰/۵+) به‌عنوان وضعیت نرمال، شرایط خشکسالی در

پایش خشکسالی و اثر آن بر منابع آب: با توجه به این‌که دقت داده‌های ماهواره‌ای TRMM در مقیاس ماهیانه در استان کرمانشاه به‌وسیله آزمون‌های مختلف آماری مورد تأیید قرار گرفت، شاخص بارش

است، اما روند نمرات بارش استاندارد شده در حال کاهش و فراوانی دوره‌های خشک در سال‌های اخیر بیشتر از دوره‌های مرطوب است. در فوریه، فراوانی دوره‌های خشک بیشتر از دوره‌های مرطوب و تعداد آن‌ها به ترتیب چهار و پنج دوره است، اما برخلاف ماه قبل شدت دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است. زیرا همه آن‌ها در گروه ترسالی‌های متوسط تا شدید قرار دارند، در حالی که دوره‌های کم‌بارش شامل خشکسالی‌های ملایم تا شدید است. نکته نگران‌کننده این ماه تداوم دوره‌های خشکسالی و کاهش روند بارش در این ماه است. به طوری که نمرات شاخص منتخب از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ یعنی برای چهار سال متوالی، خشکسالی تداوم یافته است.

مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۳، میانگین نمرات شاخص SPI در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. در بیشتر سال‌ها ماه ژانویه ۴۰ درصد شرایط بارش نرمال است. همچنین، رخداد دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است و فراوانی آن‌ها به ترتیب چهار و شش ماه در ۱۷ سال اخیر است. با این حال، شدت دوره‌های خشک به مراتب بیشتر از دوره‌های مرطوب است. به طوری که بیش از ۸۰ درصد دوره‌های مرطوب از نظر شدت در طبقه ترسالی ملایم قرار دارند، در حالی که نیمی از دوره‌های خشک تجربه شده در طبقه خشکسالی شدید و بسیار شدید قرار دارند. هرچند تداوم دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک

جدول ۳- میانگین ماهانه شاخص SPI داده‌های بارش TRMM در سطح استان کرمانشاه (۱۹۹۸-۲۰۱۴)

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۱۹۹۸	۱/۴	۰/۴	۲	۰/۱	۰/۹	۱/۵	-۰/۸	-۰/۴	-۱/۵
۱۹۹۹	۰/۶	۱/۳	-۰/۵	-۰/۸	-۱	-۰/۲	۰/۲	-۰/۷	-۰/۱
۲۰۰۰	۰/۷	-۰/۷	۰/۱	-۰/۹	-۰/۶	-۱/۱	۰/۸	-۰/۳	۱/۴
۲۰۰۱	-۰/۹	-۰/۲	۰/۶	-۰/۸	-۰/۲	-۰/۶	.	-۰/۴	۰/۹
۲۰۰۲	۰/۶	-۰/۳	۰/۶	۲	-۰/۳	-۰/۵	۰/۱	۰/۶	۱/۲
۲۰۰۳	۰/۲	۱/۳	۰/۴	۰/۱	-۰/۷	-۰/۳	۰/۲	۱/۶	۱/۱
۲۰۰۴	۰/۹	-۰/۳	-۱/۷	۱/۲	۱/۷	۰/۵	-۰/۴	۱/۴	.
۲۰۰۵	۰/۴	۱	۱/۷	-۰/۱	.	-۰/۳	۰/۶	-۰/۳	۰/۵
۲۰۰۶	.	۱/۷	-۰/۳	۰/۵	.	-۰/۴	۱/۶	۰/۱	.
۲۰۰۷	-۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱/۱	۰/۳	۱/۵	-۰/۹	-۱/۳	۰/۴
۲۰۰۸	۰/۳	۰/۲	-۱/۴	-۱/۷	-۱/۴	-۰/۱	۱/۳	۰/۴	-۰/۳
۲۰۰۹	-۲/۱	-۰/۴	-۰/۴	۰/۲	-۱/۲	۱/۳	۱/۲	۰/۸	-۰/۲
۲۰۱۰	-۱/۲	۰/۳	-۰/۱	۰/۷	۱	۰/۶	-۰/۹	-۱	.
۲۰۱۱	۰/۷	-۱/۲	-۰/۲	۰/۷	۰/۶	۰/۱	۱/۲	-۰/۳	-۱
۲۰۱۲	-۱/۶	-۰/۵	۰/۱	-۰/۶	-۰/۴	۰/۲	۰/۳	۱	۰/۱
۲۰۱۳	۰/۲	-۱/۷	-۱/۵	-۰/۸	۱/۹	-۰/۶	-۱/۲	۱	۰/۳
۲۰۱۴	-۰/۱	-۱/۲	۰/۳	-۰/۹	-۰/۷	۰/۱	-۱/۴	-۱/۵	-۱/۶

شاخص منتخب، ۲ و کمیته آن ۱/۷- است. تفاوت دوره‌های تر و خشک در توزیع زمانی آن‌ها است. دوره‌های مرطوب در سال‌های ابتدایی دوره مورد مطالعه مشاهده می‌شوند. اما، سال‌های خشک در سراسر دوره زمانی پراکنده شده‌اند. بیشترین فراوانی خشکسالی در مقیاس ماهانه متعلق به آوریل است. به طوری که هفت دوره خشکسالی در این ماه اتفاق افتاده است. تعداد دوره‌های نرمال و مرطوب نیز

نمرات SPI ماه مارس از تغییرپذیری کم برخوردار است و در بیشتر سال‌ها نزدیک به خط صفر هستند. از این‌رو، شرایط بارشی بیش از ۵۰ درصد سال‌های مطالعاتی بهنجار است. این وضعیت نشان می‌دهد، روند کاهشی نمرات استاندارد شده بارش در حال تعدیل و بارش‌ها در حال نرمال شدن هستند. تعداد دوره‌های خشک و مرطوب در این ماه با هم برابر و شدت‌های آن‌ها تفاوت چندانی با هم ندارند. البته بیشینه نمره

به سه دوره متوالی می‌رسد. این در حالی است که دوره‌های خشکسالی در این ماه هیچ‌وقت به دو دوره متوالی نرسیده‌اند. در دسامبر، شرایط بارشی بیشتر سال‌ها بهنجار است. به‌طوری که در ۶۵ سال، نوسانات بارش بسیار ناچیز و مقدار آن در حد نرمال است. این شرایط به‌ویژه در نیمه دوم دهه ۲۰۰۰ از نمود بارزتری برخوردار است. اوایل دهه نیز متعلق به رخداد‌های مرطوب است، زیرا طی چهار سال متوالی مقادیر بارش‌های دریافتی بیشتر از میانگین بلندمدت بوده است. در این ماه، سه دوره خشکسالی حادث شده است. اما، شدت خشکسالی‌ها قابل توجه و در طبقه متوسط و شدید قرار دارند. در این ماه، شدیدترین خشکسالی‌ها در ابتدا و انتهای دوره مطالعاتی مشاهده می‌شود. زیرا در دسامبر ۱۹۹۸ و دسامبر ۲۰۱۴، میانگین نمرات استاندارد بارش نقاط شبکه TRMM در سطح استان به $1/5$ - می‌رسد.

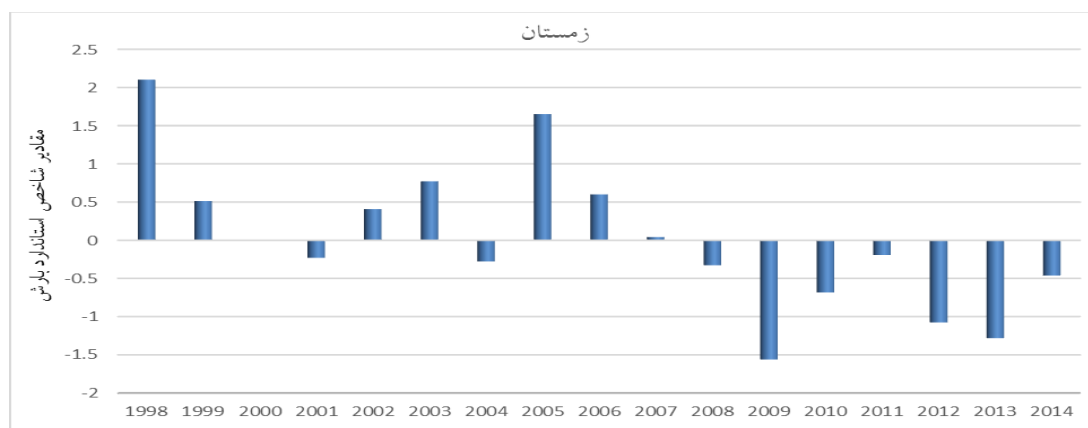
برای مطالعه فصلی خشکسالی، از نمرات SPI سه‌ماهه منتهی به مارس برای فصل زمستان، ژوئن برای فصل بهار و دسامبر برای فصل زمستان استفاده شد. با توجه به شکل ۳، ناهنجاری بارش زمستانه در کرمانشاه به دو بخش کلی قابل تقسیم است. از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ مقدار بارش دریافتی بیش از میانگین و از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ به‌طور مداوم، کمتر از میانگین بلندمدت است. تعداد دوره‌های مرطوب و خشک زمستان، به‌ترتیب پنج و چهار دوره است. از نظر شدت نیز دوره‌های مرطوب نسبت به دوره‌های خشک شدیدتر است. فراوانی خشکسالی‌های بسیار فراگیر به سه دوره می‌رسد که در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ عمده مساحت استان درگیر خشکسالی‌های ملایم و متوسط بوده‌اند. درحالی‌که در سال ۲۰۰۹ خشکسالی‌های متوسط و بسیار شدید از بیشترین فراوانی برخوردار و به‌ترتیب در ۵۳ و ۲۷ درصد مساحت استان حاکمیت داشته‌اند.

در این سال، شدت خشکسالی در استان، از شمال به جنوب افزایش می‌یابد (شکل ۴). در سراسر نیمه شمالی استان، شدت خشکسالی‌ها به جز جوانرود، ملایم و عمدتاً متوسط است. خشکسالی‌های شدید در مناطق جنوب غربی نسبت به جنوب شرقی، مساحت بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. به‌طوری که از

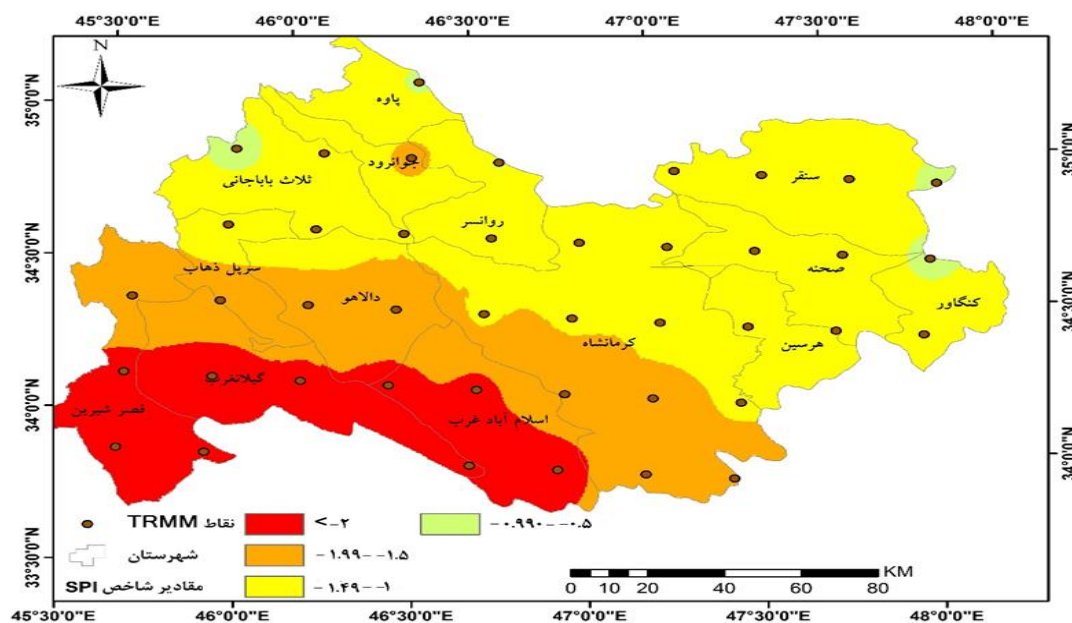
هرکدام پنج مورد است. هرچند شدت خشکسالی‌ها کمتر از ترسالی‌ها است و شش دوره از آن‌ها در طبقه خشکسالی ملایم قرار دارند، اما تداوم دوره‌های خشک بیشتر از دوره‌های مرطوب است. توزیع زمانی خشکسالی‌ها در ابتدا و انتهای دوره مطالعاتی مشاهده می‌شود و طی دهه ۲۰۰۰ فقط یک دوره خشکسالی اتفاق افتاده است. در ماه می، فراوانی دوره‌های خشک به شش مورد می‌رسد که چهار مورد آن از شدت ملایم و دو مورد آن از شدت متوسط برخوردارند. تعداد دوره‌های مرطوب کمتر اما دارای شدت بیشتری است. به‌طوری که از پنج دوره مرطوب دو مورد دارای شدت ملایم، یک مورد شدت متوسط و دو دوره از شدت شدید برخوردار است. توزیع زمانی نمرات شاخص استاندارد بارش نیز نشان می‌دهد که در ماه می، روند بارش در حال افزایش و در پنج سال اخیر فقط یک خشکسالی ملایم رخ داده است. ماه ژوئن، در بیشتر سال‌ها، پایان دوره بارش سالانه در استان کرمانشاه است و میزان بارش دریافتی این ماه ناچیز است. به همین دلیل، نوسانات شاخص SPI طی این ماه کم و وضعیت بارشی بیشتر سال‌ها بهنجار است. باین‌حال، فراوانی و شدت دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است. اکتبر آغاز دوره بارش در استان کرمانشاه است. از این‌رو، تغییرپذیری بارش در این ماه نسبت به سایر ماه‌ها بیشتر است. به‌طوری‌که به‌استثنای اوایل دهه ۲۰۰۰ که برای چندین سال متوالی شرایط اکتبر نرمال است، دائماً بین دوره‌های خشک، نرمال و مرطوب در حال تغییر است. فراوانی دوره‌های خشک بیشتر اما شدت آن کمتر از دوره‌های مرطوب است. در ۸۰ درصد دوره‌های مرطوب، شدت ترسالی‌ها متوسط بوده است، درحالی‌که حدود ۳۵ درصد خشکسالی‌ها از شدت متوسط برخوردار و بقیه در گروه خشکسالی‌های ملایم قرار دارند. با توجه به تغییرپذیری زیاد بارش، تداوم دوره‌های مرطوب و خشک با هم برابر و به بیشینه دو سال متوالی می‌رسد. در نوامبر، برخلاف بیشتر ماه‌های سال فراوانی دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است. بر اساس جدول ۲، شش دوره مرطوب و چهار دوره خشک در این ماه مشاهده می‌شود. تداوم سال‌های مرطوب بیشتر از سال‌های خشک و در حالت بیشینه

اسلام‌آباد، شدت خشکسالی‌ها شدیدتر و مقادیر SPI به کمتر از ۲- رسیده است.

مرکز دالاهو و سرپل ذهاب تا جنوب کرمانشاه، خشکسالی شدید استیلا دارد. قسمت‌های جنوبی شهرستان‌های قصر شیرین، گیلان غرب، دالاهو و



شکل ۳- میانگین شاخص SPI استان کرمانشاه در فصل زمستان (۲۰۰۰-۲۰۱۴)



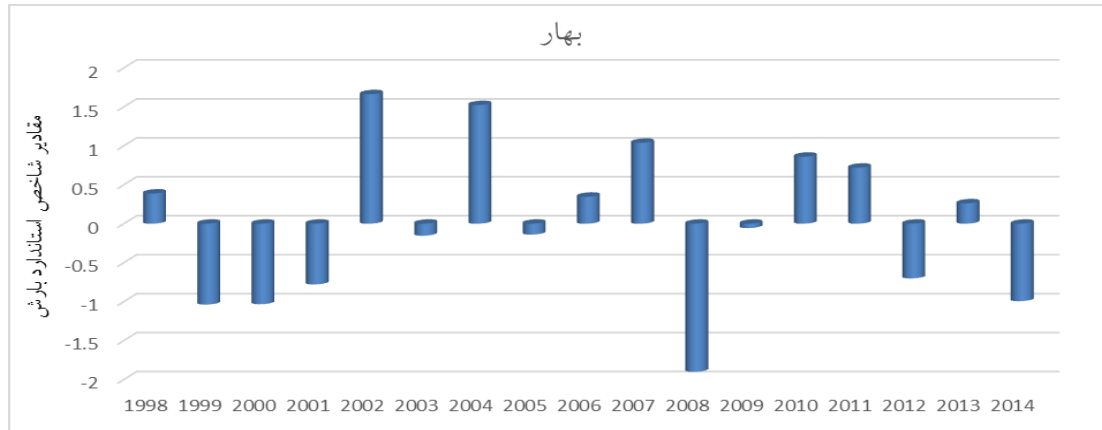
شکل ۴- پهنه‌بندی شدت خشکسالی استان کرمانشاه در زمستان ۲۰۰۹

دوره‌های مرطوب دو سال است (شکل ۵). بهار ۲۰۰۸ با میانگین نمره ۱/۹- و فراوانی ۴۷ درصد، خشکسالی شدید و ۴۷ درصد خشکسالی بسیار شدید، شدیدترین خشکسالی بهار طی دوره مورد مطالعه محسوب می‌شود. در این سال، شدت خشکسالی از غرب به سمت شرق کاهش می‌یابد. به طوری که در نیمه غربی استان به جز شمالی‌ترین نقطه پاوه و جنوب گیلان غرب و قصر شیرین، خشکسالی بسیار شدید و نمرات شاخص منتخب از ۲- نیز پایین‌تر رفته است. نیمه

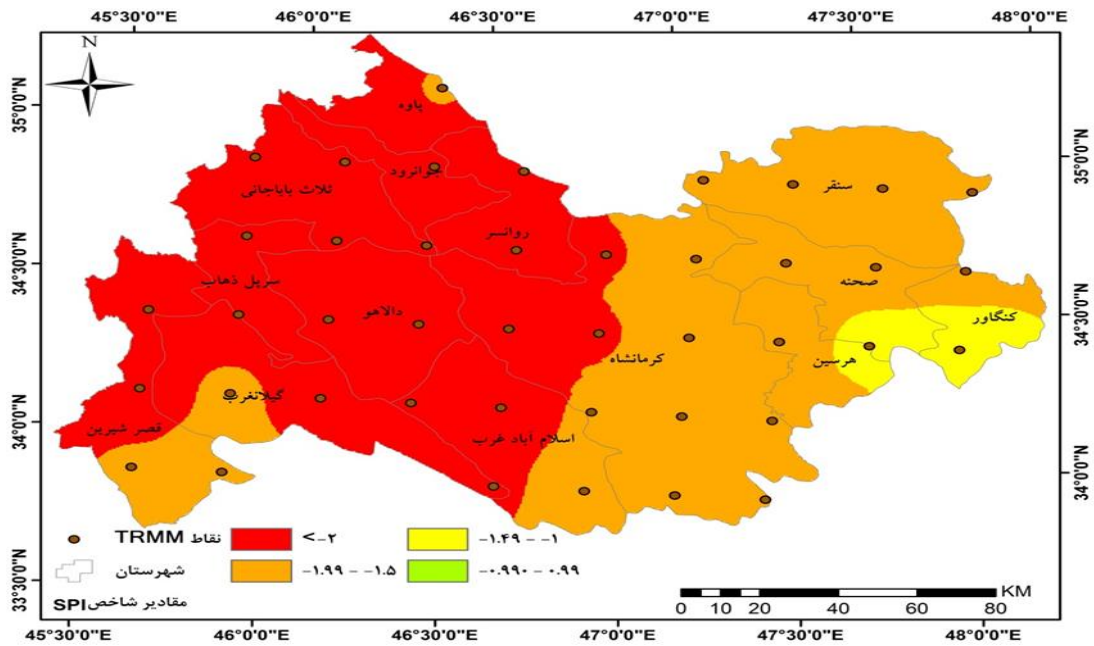
در اوایل دوره، وضعیت بارش فصل بهار معمولاً کمتر از میانگین بوده، در حالی که طی دوره میانی مورد مطالعه، بارش‌ها معمولاً بیش از میانگین است. در دوره انتهایی، نوسانات بارش شدیدتر و دوره‌های خشک و مرطوب به طور متناوب مشاهده می‌شود. در مجموع، طی این فصل فراوانی دوره‌های خشک به شش دوره و فراوانی دوره‌های مرطوب به پنج دوره می‌رسد. از نظر تداوم نیز خشکسالی‌ها طولانی‌تر از ترسالی‌ها هستند. به طوری که بیشتر تداوم دوره‌های خشک سه سال و

جنوب کنگاور و شرق هرسین می‌باشند (شکل ۶). در این مناطق، نمرات SPI اندکی بالاتر از $-1/5$ است. از این‌رو، خشکسالی اتفاق افتاده در این مناطق، در طبقه رخدادهای متوسط قرار دارد.

شرقی استان، به‌همراه مناطق ذکرشده از غرب یعنی شمال پاوه، جنوب گیلان غرب و جنوب قصر شیرین، در معرض خشکسالی شدید قرار دارند و نمرات SPI نقاط شبکه در این نواحی بین $-1/5$ تا $-1/9$ قرار دارند. ضعیف‌ترین شدت خشکسالی نیز متعلق به



شکل ۵- میانگین شاخص SPI استان کرمانشاه در فصل بهار (۱۹۹۸-۲۰۱۴)



شکل ۶- پهنه‌بندی شدت خشکسالی استان کرمانشاه در بهار ۲۰۰۸

از سال ۲۰۰۷ به بعد نیز نوسانات بارش شدید و دوره‌های مختلف به‌طور متناوب تکرار شده‌اند. با این توصیفات، می‌توان بیان کرد که تداوم دوره‌های مرطوب بیش از دوره‌های خشک است. زیرا، از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ شاخص SPI همواره مثبت است. این درحالی است که بیشتر تداوم نمرات منفی شاخص SPI دو سال متوالی است (شکل ۷).

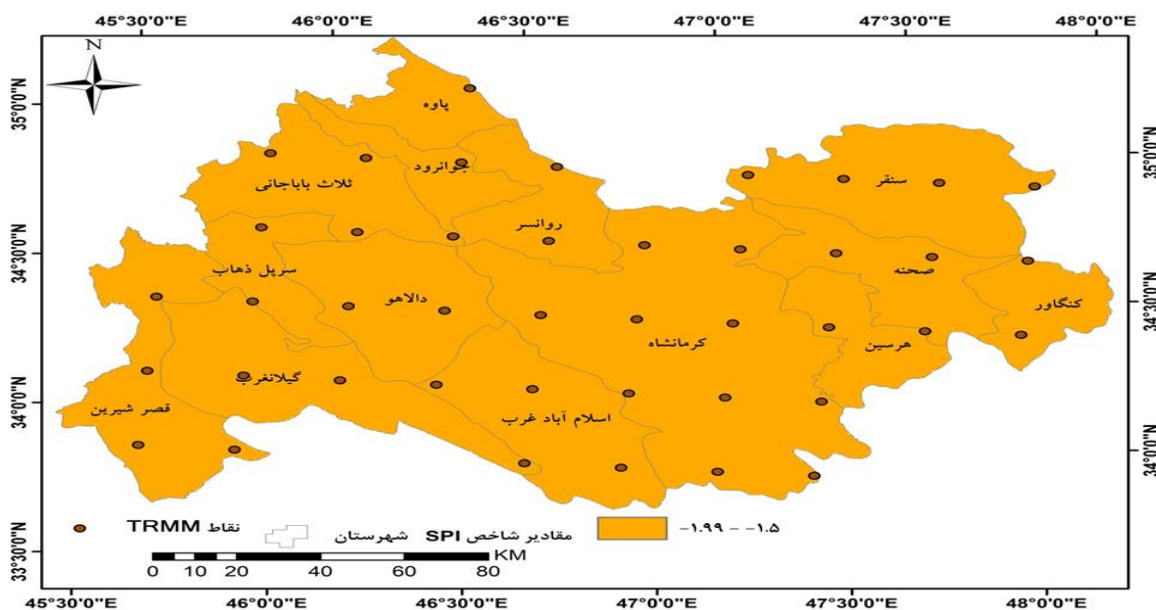
طی دوره مورد مطالعه، پنج دوره خشک، چهار دوره مرطوب و هشت دوره نرمال، در فصل پاییز مشاهده می‌شود. رخداد خشکسالی‌ها نظم زمانی مشخص نداشته و در سراسر دوره زمانی توزیع شده‌اند. شرایط بالاتر از میانگین در نیمه اول دهه ۲۰۰۰ به وضوح مشخص است. در این زمان، استان یا در وضعیت ترسالی قرار دارد، یا نرمال رو به مرطوب است.



شکل ۷- میانگین شاخص SPI استان کرمانشاه در فصل پاییز

هاست، هرچند فراوانی رخداد آن‌ها ممکن است کمتر باشد. دلیل این امر آن است که ترسالی‌ها در بیشتر سال‌ها و نقاط از شدت ملایم برخوردار است. طی دوره مطالعاتی، فراگیرترین خشکسالی رخ داده که در همه نقاط شبکه از شدت یکسانی برخوردار بوده است، متعلق به پاییز سال ۲۰۱۴ است. در این سال، طی سه ماه از سال، هیچ بارشی در کل استان دریافت نشده است. از این‌رو، نمره استاندارد بارش سه ماهه منتهی به دسامبر، به ۱/۶- رسیده و خشکسالی شدید بر کل استان استیلا یافته است (شکل ۸).

طی فصل پاییز، خشکسالی یا ترسالی بسیار شدید در هیچ ایستگاهی طی دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ مشاهده نشده است. در بیشتر سال‌ها، بیشترین فراوانی ایستگاه‌ها متعلق به طبقه نرمال یا بهنجار است. با این حال، در پنج سال، هیچ ایستگاهی شرایط نرمال را تجربه نکرده است. از این پنج سال، سه سال، خشکسالی فراگیر و دو سال، ترسالی فراگیر بر استان حاکم بوده است. فراوانی خشکسالی‌های شدید و متوسط بیشتر از ترسالی‌های شدید و متوسط است. به عبارت دیگر، در صورت وقوع خشکسالی، معمولاً شدت آن در نقاط مختلف استان بیشتر از ترسالی

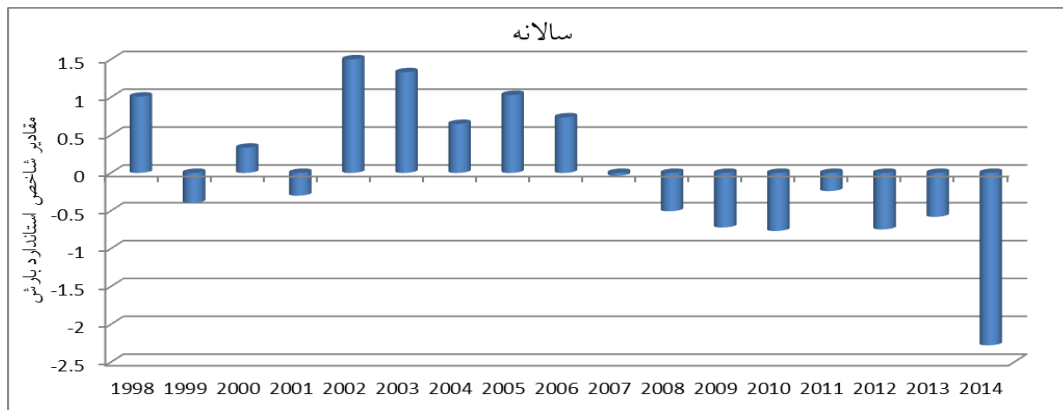


شکل ۸- پهنه‌بندی شدت خشکسالی استان کرمانشاه در پاییز ۲۰۱۴

دارند. با این حال، بیشینه نمرات منفی SPI، شدیدتر از بیشینه نمرات مثبت آن است. در شدیدترین ترسالی اتفاق افتاده سال ۲۰۰۲، ۶۰ درصد نقاط استان ترسالی شدید و ۴۰ درصد ترسالی متوسط را تجربه کرده‌اند. درحالی‌که در شدیدترین خشکسالی اتفاق افتاده سال ۲۰۱۴، بیش از ۸۰ درصد نقاط استان خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند.

با توجه به شکل ۱۰، در این سال، کمترین شدت خشکسالی در جنوب شهرستان قصر شیرین و با نمره ۱/۴- مشاهده شده است. در جنوب غرب استان، شدت خشکسالی‌ها کمتر از سایر نقاط بوده و از شدت متوسط تا شدید برخوردار هستند. همچنین، نقاط پراکنده‌ای در شرق تا جنوب شرق استان دارای این شرایط هستند. در سایر نقاط استان، نمرات SPI کمتر از ۲- است که بیانگر حاکمیت خشکسالی بسیار شدید است.

برای مطالعه سالانه خشکسالی‌ها از SPI ۱۲ ماهه منتهی به ماه دسامبر استفاده شد. بر اساس تقسیم‌بندی استفاده شده در پژوهش، تعداد دوره‌های مرطوب و خشک سالانه با هم برابر و طی ۱۷ سال مورد مطالعه شش دوره خشک و شش دوره مرطوب مشاهده شده است. توزیع زمانی این دوره‌ها کاملاً با هم متفاوت است. به طوری‌که در چند سال اول نوسانات بارش سالانه زیاد و دوره‌های منفی و مثبت به طور متناوب تکرار شده‌اند. از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ یعنی طی چهار سال متوالی، شرایط ترسالی بر بیشتر نقاط استان حاکم بوده است. اما از سال ۲۰۰۸ دوره‌های خشکسالی در بیشتر مناطق کرمانشاه شروع و تا آخر دوره یعنی طی هفت سال متوالی تداوم یافته و در سال ۲۰۱۴ به شدیدترین مقدار رسیده است (شکل ۹). به طوری‌که، شدت دوره‌های مرطوب بیش از دوره‌های خشک است. زیرا، بیشتر ترسالی‌ها در گروه متوسط و بیشتر خشکسالی‌ها در گروه ملایم قرار



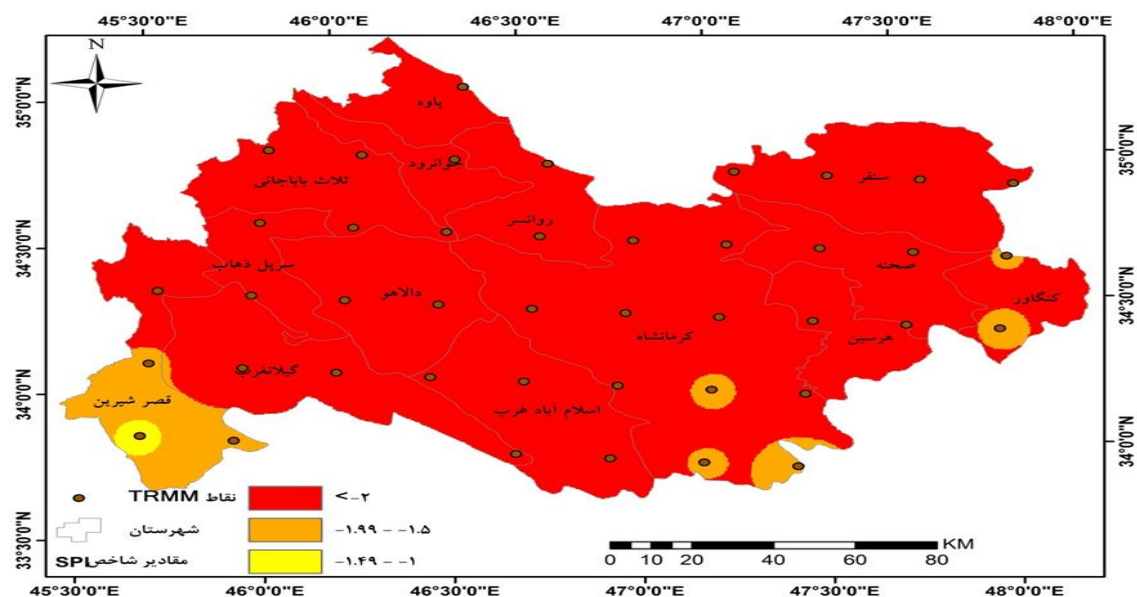
شکل ۹- میانگین شاخص SPI استان کرمانشاه در مقیاس سالانه

به طوری‌که مقادیر منفی SPI با مقادیر منفی نمرات استاندارد دبی و مقادیر مثبت SPI با مقادیر مثبت نمرات استاندارد دبی هم‌خوانی دارند. در همه چشمه‌های منتخب، بالاترین مقادیر مثبت دبی در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ مشاهده می‌شود. در همین سال‌ها، ترسالی متوسط تا شدید در محدوده چشمه‌ها مشاهده می‌شود و نمرات SPI سالانه در بالاترین حد خود قرار دارند. کاهش مداوم دبی از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ در هر چهار چشمه منتخب کاملاً مشهود است. دلیل این امر آن است که طی این سال‌ها مقادیر SPI ۱۲ ماهه بارش، به طور مداوم در

در انتهای پژوهش، به بررسی اثر خشکسالی بر منابع آب پرداخته شد. با توجه به یکسان نبودن مقیاس بارش و دبی، برای مقایسه آن‌ها از نمرات استاندارد شده هر دو متغیر استفاده شد. همچنین، با این استدلال که اثر کمبود بارش بر منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی، با تأخیر زمانی آشکار می‌شود و کاهش ماهانه بارش ممکن است اثرات خود را بر منابع آب به‌وضوح نشان ندهد، از نمرات استاندارد شده بارش و دبی سالانه استفاده شد. با توجه به شکل ۱۱، در بیشتر سال‌ها ارتباط بسیار قوی بین بارش و دبی چشمه‌ها در استان کرمانشاه مشاهده می‌شود.

خشکسالی‌ها مشاهده می‌شود. در مجموع، اثر بارش بر دبی منطقه مطالعاتی، بسیار واضح و آشکار است (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۴ قابل مشاهده است، مقدار ضریب تعیین بین بارش و دبی تمامی چشمه‌های کارستی مورد بررسی در استان کرمانشاه بیش از ۰/۶ است که این مقدار از ضریب تعیین، بیان‌کننده ارتباط قوی بین بارش و دبی چشمه‌ها است.

بیشتر مناطق استان منفی بوده است. در بازه زمانی مورد مطالعه، فراگیرترین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ مشاهده می‌شود، زیرا در این دو سال مقادیر بارش و دبی در چشمه‌ها و نقاط TRMM کاهش قابل توجهی دارند. البته در برخی از آن‌ها، از جمله چشمه نیلوفر در مرکز استان، سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ شدیدترین



شکل ۱۰- پهنه‌بندی شدت خشکسالی استان کرمانشاه در سال ۲۰۱۴

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های همبستگی و ضریب تعیین بین بارش و دبی چشمه‌های منتخب در استان کرمانشاه (۱۹۹۸-۲۰۱۳)

ایستگاه	R	R ²
هشیلان	۰/۷۷	۰/۶
نیلوفر	۰/۸۲	۰/۶۸
روانسر	۰/۸۸	۰/۷۷
بی ابر	۰/۸۵	۰/۷۲

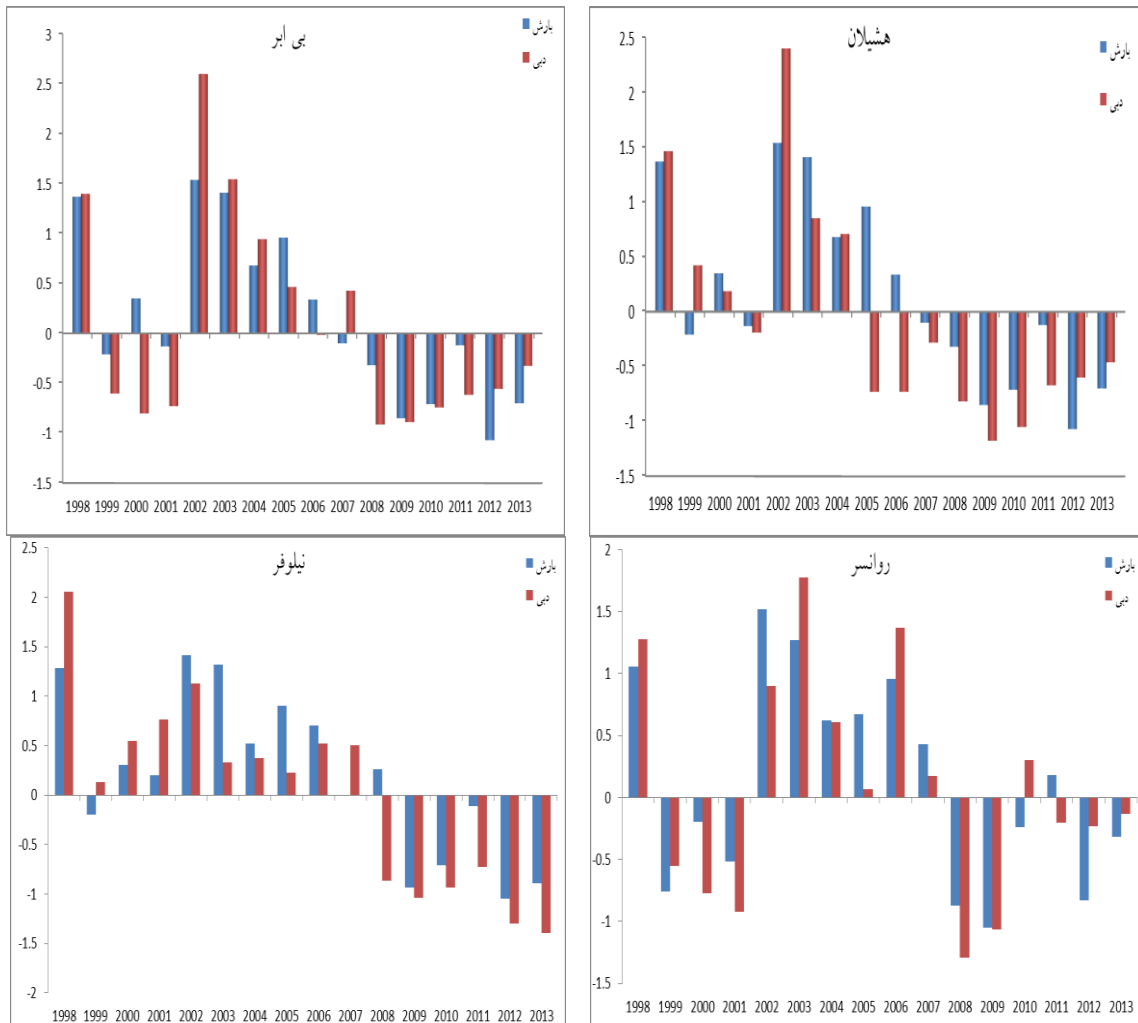
نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، با هدف بررسی اثر خشکسالی‌های استان کرمانشاه بر منابع آب این استان انجام شده است. در همین راستا، از داده‌های شبکه‌ای بارش ماهواره TRMM با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ در ۰/۵ درجه جغرافیایی و داده‌های دبی چشمه‌های سطح استان استفاده شد. قبل از استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری و پایش خشکسالی، به ارزیابی دقت این داده‌ها در سطح استان کرمانشاه پرداخته شد. نتایج حاصله نشان داد که این داده‌ها در سطح استان از دقت بسیار مناسبی

برخوردارند و استفاده از آن‌ها به‌ویژه در مناطق فاقد ایستگاه بلامانع است، زیرا با توجه به آماره‌های ضریب همبستگی و ضریب تعیین رابطه داده‌های شبکه‌ای منتخب با داده‌های واقعی بسیار بالا است. همچنین، با توجه به نزدیکی شاخص‌هایی که میزان انحرافات را مد نظر قرار می‌دهند و سری‌های زمانی برآوردی و واقعی را مقایسه می‌کنند، ماهواره مذکور توانایی مناسبی در تشخیص افت‌وخیزها و روندهای بارش در استان کرمانشاه را دارد. مطالعات مشابه انجام شده به‌وسیله Hejazi Zadeh و همکاران (۲۰۱۲)، Madadi و همکاران (۲۰۱۵)، Miri (۲۰۱۶)، میری و همکاران

است که در سطح استان، معمولاً چند خشکسالی به وسیله یک دوره مرطوب شدید جبران می‌شود. نکته قابل توجه در بررسی ماهانه خشکسالی، روند افزایشی تعداد دوره‌های خشک در سال‌های اخیر و به عبارت دیگر، روند کاهشی بارش در سطح استان کرمانشاه است.

(۲۰۱۶) نیز دقت مناسب داده‌های بارش سنجنده TRMM در مقیاس ماهانه را تایید کرده‌اند. پایش وضعیت خشکسالی بر اساس داده‌های بارش TRMM، نشان داد که در مقیاس ماهانه برای بیشتر ماه‌های سال، فراوانی و تداوم دوره‌های خشک، بیشتر از دوره‌های مرطوب است. اما از نظر شدت، ترسالی‌ها نسبت به خشکسالی‌ها شدیدتر است و این بدان معنی



شکل ۱۱- مقایسه نمرات استاندارد شده بارش و دبی چشمه‌های منتخب در استان کرمانشاه (۱۹۹۸-۲۰۱۳)

خشک به شش دوره و فراوانی دوره‌های مرطوب به پنج دوره می‌رسد. از نظر تداوم نیز خشکسالی‌ها طولانی‌تر از ترسالی‌ها هستند؛ اما معمولاً دوره‌های مرطوب نسبت به دوره‌های خشک شدیدتر هستند. در فصل پاییز، هرچند تعداد دوره‌های نرمال قابل توجه است، اما فراوانی خشکسالی‌ها بیشتر از ترسالی‌ها است. البته در این فصل، دوره‌های مرطوب از تداوم زمانی بیشتری برخوردار هستند. در عوض، شدت

البته در برخی ماه‌ها نظیر نوامبر، دسامبر و ژانویه، فراوانی و تداوم دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است، اما شدت دوره‌های خشک شدیدتر می‌باشد. بررسی فصلی خشکسالی نشان می‌دهد که در زمستان، تعداد دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است. از نظر شدت نیز دوره‌های مرطوب نسبت به دوره‌های خشک شدیدتر است، اما بارش این فصل در حال کاهش است. در فصل بهار، فراوانی دوره‌های

مقایسه داده‌های دبی و بارش و بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب نشان می‌دهد، ارتباط بسیار قوی بین بارش و دبی چشمه‌ها در استان کرمانشاه مشاهده می‌شود و مقادیر منفی و مثبت بارش و دبی استاندارد شده به‌ویژه در رخدادهای حدی با هم تطابق دارند. این انطباق، بیشتر برای حوضه‌هایی مصداق پیدا می‌کند که از سطح حوزه آبخیز و سطح تغذیه‌شونده کوچک و همچنین، تداخل موثر آبخوان بالا و ظرفیت تاخیری آبخوان کم برخوردارند. از این‌رو، کاهش بارش موجب کاهش تغذیه چشمه‌ها و متعاقب آن کاهش دبی آن‌ها در حوضه‌های دارای شرایط فوق می‌شود.

خشکسالی‌ها شدیدتر است و در صورت وقوع خشکسالی، معمولاً شدت آن در نقاط مختلف استان بیشتر از ترسالی‌ها است، هرچند فراوانی رخداد آن‌ها کمتر است. در مقیاس سالانه، تعداد دوره‌های خشک و مرطوب با هم برابر است. از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ یعنی طی چهار سال متوالی، شرایط ترسالی و از سال ۲۰۰۸ دوره‌های خشکسالی در بیشتر مناطق کرمانشاه شروع و تا آخر دوره یعنی طی هفت سال متوالی تداوم یافته است. از نظر شدت نیز می‌توان نتیجه گرفت که شدت دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است، زیرا بیشتر ترسالی‌ها در گروه متوسط و بیشتر خشکسالی‌ها در گره ملایم قرار دارند. نتایج حاصل از

منابع مورد استفاده

1. Azizi, G., T. Safarrud, H. Mohammadi and H. Faraji Sobkbar. 2016. Estimation and comparison of rainfall data for use in Iran. *Natural Geographic Research*, 48(1): 49-33 (in Persian).
2. Bordi, I. and A. Sutera. 2007. Drought monitoring and forecasting at large scale. In Book. *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. Series Water Science and Technology Library, Edited by: Rossi, G., T. Vega and B. Bonaccorso, Springer Verlag, 490 pages.
3. Daneshvar, M., A. Talouri, M. Tavakkoli and M. Danaian. 2007. Analysis of drought periods in the east and south-east of the country. *Nivar Magazine*, 31(62): 37-21 (in Persian)
4. De Jesús, A., J. Breña-Naranjo, A. Pedrozo-Acuña and V. Yamanaka. 2016. The use of the TRMM 3B42 product for drought monitoring in Mexico. *Water*, 8(8): 325-336.
5. Erfanian, M., N. Vafaei and M. Rezaeianzadeh. 2014. Presentation of a new method for assessing drought risk in Fars Province by combining monthly TRMM satellite rainfall data and NDVI vegetation indicator data from MODIS. *Natural Geography Research*, 64(1): 108-93 (in Persian).
6. Du, L., T. Qingjiu, T. Yu, Q. Meng, T. Jancso, P. Udvardy and Y. Huang. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23: 245-253.
7. Ghafourian, H., S. Sanaei Nejad and K. Davari. 2014. Investigating the determination of suitable areas for drought monitoring using TRMM satellite data. *Water and Soil Journal*, 28(3): 648-639 (in Persian).
8. Gustavo, N., B.F. Paulo, S.C. Miguel, S. Andrew and V. Juergen. 2012. Monitoring drought conditions and their uncertainties in Africa using TRMM data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 57: 1867-1874.
9. Hejazi Zadeh, Z., B. Alijani, P. Ziaei, M. Karimi and S. Rafati. 2012. Estimation of satellite TRMM 3B43 and comparison with values obtained from Kriging interpolation technique. *Remote Sensing and GIS of Iran*, 4(3): 49-64 (in Persian).
10. Lashni Zand, M. 2004. Climate drought investigation and possibility to predict in six basins in the west and north-west of Iran. *Geographical Research*, 72: 73-86 (in Persian).
11. Levina, W.H., W. Seizarwati and R. Vernimmen. 2016. Comparison of TRMM satellite rainfall and APHRODITE for drought analysis in the Pemali-Comal River Basin. *Procedia Environmental Sciences*, 33: 187-195.
12. Madadi, G., S. Hamzeh and A. Noroozi. 2016. Evaluation of TRMM satellite images to study the time and location of drought, case study: western border basin. *Watershed Engineering and Management*, 8(4): 362-376 (in Persian).
13. Masoudian, S. 2012. *Iran's climate*. Isfahan University Press, 288 pages (in Persian).
14. Masumpour, J., M. Miri and S. Seid Shakeri. 2017. The effects of climate change on discharges and quantitative and qualitative characteristics of karstic springs of Kermanshah Province using climatological models to predict for long term. *Research Project, Regional Water Company of Kermanshah Province*, 51-65 (in Persian).
15. Miri, M. 2016. Investigating the relationship between climate change and decline of Zagros forests, case study: Ilam Province. PhD Thesis, University of Tehran, 120 pages (in Persian).

16. Miri, M., T. Razieli and M. Rahimi. 2016. Evaluation and comparison of statistical data of TRMM and GPCC rainfall data with observational data in Iran. *Journal of Physics of Earth and Space*, 42(3): 672-657 (in Persian).
17. Miri, M., G. Azizi, F. Khoshk Akhlagh and M. Rahimi. 2016. Statistical evaluation of rainfall and temperature network data with observational data in Iran. *Iranian Journal of Watershed Management*, 10(35): 50-39 (in Persian).
18. Rossi, G., T. Vega and B. Bonaccorso. 2007. *Methods and tools for drought analysis and management*. Water Science and Technology Library, Published by Springer, 15 pages.
19. Rahimi, M. 2011. Statistical analysis of droughts in south-west Iran. MSc Thesis, Tehran University, 140 pages (in Persian).
20. Salimi Fard, M. 2014. Drought assessment in Khorasan Razavi Province based on combined indicator (SDI) and TRMM sensor data. MSc Thesis, University of Ferdowsi, Mashhad, 115 pages (in Persian).
21. Wilhite, D.A. and M. Buchanan-Smith. 2005. Drought as hazard: understanding the natural and social context. In: Wilhite, D.A. (Ed.), *Proceeding of Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*. CRC Press, Boca Raton, FL, 3-29.
22. Yan, N., B. Wu, S. Chang and X. Bao. 2014. Evaluation of TRMM precipitation product for meteorological drought monitoring in Hai Basin. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 17(1): 15-36.