

برآورد شاخص برفی SZIsnow در مقیاس حوضه‌ای با استفاده از پایگاه اطلاعاتی GLDAS

فاطمه افشاری پور^۱، محمدرضا شریفی^{۱*} و علی معتمدی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۳۱)

چکیده

پایش خشکسالی در حوضه‌های برفی، مستلزم اصلاحاتی در شاخص‌های متداول خشکسالی تحت عنوان شاخص‌های خشکسالی برفی است. جدیدترین شاخص برفی توسعه یافته عبارت از SZIsnow است. محاسبه شاخص مزبور، علاوه بر داشتن الگوریتم خاصی، مستلزم دسترسی به مقادیر ۲۲ متغیر مختلف اقلیمی و فیزیکی از جمله رطوبت خاک در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر، رطوبت خاک در عمق ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر، دمای هوا، آب معادل برف، رواناب حاصل از ذوب برف، بارش برف، بارش باران، نرخ کل بارندگی، تبخیر و تعرق، سرعت باد، رواناب سطحی، رواناب آب زیرزمینی، تبخیر بالقوه، فشار هوا، رطوبت نسبی، شار خالص گرمای نهان، شار حرارتی زمین، شار خالص حرارتی محسوس، تبخیر از خاک لخت، تبخیر از تاج پوشش، تعرق و تبخیر و تعرق بالقوه است. شاخص مزبور، تاکنون فقط در مقیاس قاره‌ای محاسبه شده است. این در حالی است که پایش خشکسالی در مقیاس حوضه‌ای به‌عنوان یکی از جنبه‌های مدیریتی منابع آب دارای اهمیت است. از طرفی به دلیل نبودن اطلاعات کافی برای تخمین پارامترهای مزبور، استفاده از اطلاعات پایگاه‌های داده جهانی راه‌گشا خواهد بود. از این‌رو در پژوهش حاضر، علاوه بر معرفی فرایند محاسبه شاخص SZIsnow، در حوضه آبریز دز، اقدام به استخراج پارامترهای مورد نیاز شاخص در مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه و دوره ۴۱ ساله (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳) با استفاده از داده‌های GLDAS و سپس پایش خشکسالی حوضه مورد مطالعه شد. نتایج نشان داد که شاخص جدید SZIsnow، چندمتغیره‌ای است که به‌واسطه وجود پارامترهایی که فاقد مشاهدات زمینی است و از سوی دیگر در دسترس بودن پایگاه معتبر GLDAS، امکان محاسبه شاخص را فراهم می‌آورد. همچنین نتایج نشان داد که در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب جولای، به میزان ۰/۵۹-، ماه ژوئن به میزان ۰/۴۵- و ماه اکتبر به میزان ۰/۳۵- بیشترین میزان خشکسالی را دارد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی برفی، شاخص SZIsnow، حوضه آبریز دز، آب معادل برف، ذوب برف

۱. گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mshaifi@scu.ac.ir

مقدمه

خشکسالی برفی، یک مفهوم جدید برای کمبود بارش برف یا تسریع ذوب برف به دلیل گرم شدن هوا است که به پژوهش‌های گسترده، به‌ویژه در مناطق برفی نیاز دارد (۵، ۶ و ۱۴). تأثیر متقابل بین شکل‌های مختلف خشکسالی و تأثیرات مشترک آن‌ها بر اکوسیستم، کشاورزی و در دسترس بودن آب نشان داد، پایش خشکسالی در حوضه‌های برفی، مستلزم استفاده از شاخص‌های ویژه‌ای تحت عنوان شاخص‌های خشکسالی برفی است (۸ و ۹). شاخص‌های مزبور، برای ارزیابی تأثیر ذخایر برف پشته بر منابع آب و اکوسیستم‌ها استفاده می‌شود. (۱۰، ۱۳ و ۱۴). تاکنون شاخص‌های محدودی برای پایش خشکسالی برف توسعه داده شده‌اند. از جمله شاخص‌های SWSI، SMRI (Standardized Melt and Rainfall Index) (۱۴) و SZI_{snow} (Standardized Moisture Anomaly Index) مورد استفاده قرار گرفته است (۲۰). پژوهش‌ها نشان می‌دهد، شاخص‌های خشکسالی برفی در مقیاس‌های مکانی مختلف شامل مقیاس حوضه‌ای و قاره‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۲۰ و ۱۵). به‌عنوان نمونه، استودینگر و همکاران (۱۴)، در مقیاس حوضه‌ای با مساحت‌های ۲۴ تا ۳۵۲ کیلومتر مربع، اقدام به توسعه SMRI کردند. این در حالی است که ژانگ و همکاران (۲۰)، در مطالعه‌ای علاوه بر توسعه شاخص جدید SZI_{snow}، در مقیاس قاره‌ای اقدام کردند. آن‌ها در ادامه پژوهش‌شان، ارزیابی کاربرد شاخص مزبور در مقیاس حوضه‌ای را توصیه کردند. ناصری و کوچکی (۱۲)، در مطالعه‌ای به ارزیابی و توسعه شاخص خشکسالی PDSI با ترکیب فرایندهای ذخیره برف و ذوب برف از طریق رویکرد مفهومی و اطلاعات برف در مقیاس بزرگ در حوضه آبخیز قشلاق (یک حوضه کوهستانی در غرب ایران) پرداختند و آن را به‌عنوان شاخص خشکسالی برفی معرفی کردند. نتایج تغییرات قابل توجهی را در شاخص‌های خشکسالی، به‌ویژه در تابستان و بهار، هنگام در نظر گرفتن ذخیره‌سازی برف نشان داد. علاوه بر این، تأثیر استفاده از یک مدل تعادل آب متفاوت از ترکیب ذخیره‌سازی برف در

چارچوب PDSI تأثیرگذارتر بود. از طرف دیگر، پژوهش‌هایی در رابطه با ارزیابی خشکسالی برفی در مقیاس حوضه‌ای و قاره‌ای صورت گرفته‌است. این در حالی است که از شاخصی تحت عنوان شاخص خشکسالی برفی استفاده نکردند. به‌عنوان نمونه، لی و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای یک روش ارزیابی با استفاده از محصولات آب معادل برف برای بررسی رخداد خشکسالی برفی در چین و مقایسه با مناطقی مانند لیگ الکسا در مغولستان، هامی، تورپان، بایینگول، سین‌کیانگ و مناطق داخلی فلات تبت از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ ارائه کردند. آن‌ها شدیدترین خشکسالی برف، در دهه ۱۹۸۰ که تا سال ۲۰۰۹ ادامه داشت را نشان دادند. در میان مناطق برفی یادشده، سین‌کیانگ شمالی بیشترین نسبت مناطق خشکسالی برف را دارد. شمال شرقی مغولستان داخلی بیشترین نسبت خشکسالی شدید را دارد؛ در حالی که فلات تبت تغییرات ناگهانی را در وقوع خشکسالی برفی نشان می‌دهد. همچنین آن‌ها توزیع خشکسالی برف را در مناطق مختلف چین ارزیابی کردند و نشان دادند، مناطق کم‌ارتفاع دارای بیشترین نسبت متوسط سالانه خشکسالی متوسط است؛ در حالی که مناطق با ارتفاع زیاد دارای بیشترین خشکسالی شدید است. در مطالعه دیگر، وانگ و همکاران (۱۷) تخمینی برای شاخص استاندارد SWE (NSWEI)، با ترکیب تئوری کاپولا تحت سناریوهای مختلف برای دوره‌های بازگشت متفاوت در رودخانه تاریم چین ارائه کردند تا پیامدهای خشکسالی برف را ارزیابی کنند. علاوه بر این، از مدل جنگل تصادفی (RF) برای پیش‌بینی خشکسالی‌های هیدرولوژیک استفاده کردند. نشان دادند: ۱- NSWEI در توصیف خشکسالی برف معقول‌تر از معیارهای مورد استفاده در مطالعات قبلی است. ۲- محتمل‌ترین خشکسالی‌ها که دوره بازگشت کمتر از ۵۰ سال رخ می‌دهد، متعلق به سناریوی خشکسالی متوسط است. ۳- یک الگوی متضاد در توزیع خشکسالی برف دیده شده‌است. ۴- افزایش خطرات خشکسالی برف در جنوب رودخانه مورد مطالعه، به‌طور کلی با کاهش رطوبت نسبی و

افزایش تابش خورشیدی ایجاد می‌شود. به‌منظور محاسبه شاخص SZIsnow، برخلاف شاخص SMRI که فقط متکی بر بارش کل و درصد برف است، از متغیرهای زیادی از جمله تبخیر و تعرق، تبخیر از خاک لخت، رواناب سطحی، رواناب زیرسطحی، رواناب ذوب برف، رطوبت خاک استفاده می‌شود. (۱۱، ۲۰ و ۱۵)؛ بنابراین متغیرهای یادشده، از داده‌های مشاهداتی قابل دسترس نیست. به‌دلیل پیچیدگی در تخمین ورودی‌ها و نبودن اطلاعات کافی، مستلزم استفاده از اطلاعات پایگاه اطلاعاتی داده است. یکی از این پایگاه‌های اطلاعاتی داده جهانی، تحت عنوان GLDAS (Global Land Data Assimilation System) است. پایگاه داده مزبور با ترکیب داده‌های ماهواره‌ای و زمینی، اطلاعات ورودی از جمله رطوبت خاک، دمای سطح، آب معادل برف، ذوب برف، بارش و تبخیر را در اختیار کاربران و پژوهشگران قرار می‌دهد (۱۳ و ۱۶)؛ به‌طوری‌که بسیاری از پژوهشگران از این پایگاه اطلاعاتی مزبور برای برآورد پارامترهای مورد نیاز استفاده و اعتبارسنجی کردند. ونگ و همکاران (۱۸) به ارزیابی مدل Noah/GLDAS در حوضه سانگوا (Songhua) واقع در کشور چین طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ پرداختند. بر اساس مقایسه‌ای که بین داده‌های مدل GLDAS و مشاهدات زمینی انجام شد، ضریب همبستگی ۰/۷۶ برای پارامتر بارش و ۰/۹۹ برای پارامتر دمای هوای نزدیک سطح زمین به‌دست‌آمد که نشان‌دهنده اعتبار داده‌های مدل GLDAS برای استفاده در بیلان آب و انرژی است. لی و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای، یک روش جدید شناسایی و پایش خشکسالی ناگهانی را بر اساس شاخص خشکسالی مبتنی بر تبخیر و تعرق (صدک تنش تبخیری (ESP)) با استفاده از داده‌های رطوبت خاک حاصل از GLDAS-Noah ارائه کردند. نتایج نشان داد که توافق خوبی بین ESP و SMP در بیشتر مناطق چین با مقادیر ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۸ با داده‌های مشاهداتی مدل‌شده وجود دارد. برهانو و همکاران (۳)، به بررسی پویایی ناهنجاری آب‌های خشکی و بروز خشکسالی با

استفاده از منابع داده‌های متعدد از جمله GRACE و GLDAS توسط شاخص کمبود ذخیره آب وزنی (WWSDI) پرداختند. یافته‌ها همبستگی زیاد بین داده‌های مشاهداتی و GRACE و GLDAS را نشان داد؛ بنابراین استفاده از داده‌های GRACE و GLDAS برای ارزیابی ذخیره‌سازی آب زمینی و پایش خشکسالی در مناطق دارای کمبود داده مانند زیرحوضه تانا در اتیوپی امیدوارکننده است. ژانگ و همکاران (۲۰) و تیان و همکاران (۱۵)، از پایگاه اطلاعاتی داده مزبور نیز، برای تعیین مقادیر متغیرهای مورد نیاز در محاسبه شاخص SZIsnow استفاده کردند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. کلیه مطالعه‌های یادشده به توانایی و قابلیت پایگاه Gldas در شرایط کمبود داده تأکید دارند. باتوجه‌به تفاوت احتمالی عملکرد شاخص SZIsnow در مقیاس مکانی، به نظر می‌رسد که محاسبه شاخص SZIsnow که قبل از این، فقط در مقیاس قاره‌ای برآورد شده‌است، در قالب نوآوری این پژوهش، در مقیاس حوضه‌ای محاسبه شود. ازاین‌رو در پژوهش علاوه‌بر ارائه فرایند محاسبه شاخص SZIsnow، با استفاده از پایگاه اطلاعاتی GLDAS در حوضه آبریز دز، اقدام به ارزیابی وضعیت خشکسالی ۳ ماهه با استفاده از شاخص مزبور شده است.

محدودیت‌های پژوهش عبارت‌اند از: ۱- محدودیت اصلی SZIsnow این است که محاسبات آن پیچیده‌تر و دشوارتر از محاسبه شاخص بارش استاندارد شده، SPEI و SZI است؛ زیرا چندین متغیر مرتبط با فرایندهای ذوب برف و تجمع را اضافه می‌کند. اگرچه کاربرد عملیاتی SZIsnow برای بهبود استراتژی‌های کاهش بلایای مرتبط با خشکسالی مهم است. ۲- در دسترس نبودن اطلاعات زمینی برای برآورد شاخص مزبور و انجام عملیات کالیبراسیون. ۳- یکی دیگر از محدودیت‌های SZIsnow این است که محاسبه آن به سوابق اقلیمی و هیدرولوژیکی طولانی‌مدت نیاز دارد که آن را برای شناسایی کوتاه‌مدت خشکسالی نامناسب می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دز بخشی از ارتفاعات زاگرس میانی است. این حوضه در محدوده عرض جغرافیایی بین ۱۵ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۱۱ درجه و ۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی بین ۱۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۱۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی، در جنوب غربی ایران واقع شده است. حوضه دز از غرب به حوضه کرخه، از شمال به حوضه قره چای و زاینده رود و از شرق و جنوب به حوضه کارون محدود می‌شود. رودخانه دز از ارتفاعات جبال زاگرس سرچشمه می‌گیرد و از دو شاخه اصلی به نام‌های سزار و بختیاری تشکیل می‌شود. محدوده مورد مطالعه با مساحت ۲۳۲۲۹ کیلومترمربع و دامنه ارتفاعی ۵۲۹ تا ۳۹۳۳ متر از سطح آزاد دریاست و نسبت برف به کل بارش ۲۰/۶۴ درصد است. در جدول ۱، مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری آورده شده است. این در حالی است که از اطلاعات ایستگاه‌های یادشده استفاده نشده و فقط برای نشان دادن وضعیت ایستگاه‌ها در حوضه مورد مطالعه، آورده شده است. باتوجه به محدودیت در دسترسی به اطلاعات زمینی از مقادیر پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص SZIsnow، کلیه داده‌ها از پایگاه اطلاعاتی GLDAS گرفته شده است. گفتنی است که یکی از اهداف اصلی پژوهش، ارائه قابلیت پایگاه GLDAS در دسترسی به داده‌های مورد نیاز است. جانمایی ایستگاه‌های مزبور در شکل ۱ نمایش داده شده است.

محصولات GLDAS

در مطالعه حاضر، از نسخه GLDAS-2 مدل نوا که دارای قدرت تفکیک مکانی ۰.۲۵ درجه است، استفاده شد (۴). پارامترهای موجود در محصول GLDAS-2 مدل نوا برای محاسبه شاخص‌ها در جدول ۲ به همراه نام اختصاری، نام کامل و واحد آورده شده است (همه داده‌ها از GLDAS استخراج شدند). در جدول ۲، منظور از نرخ کل بارندگی، مجموع میزان بارش باران و برف است. میزان بارش برف و بارن، ارتفاع آن‌هاست. رطوبت خاک دز در عمق‌های ۰ تا ۱۰ و ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی متر،

مقدار رطوبتی است که در اعماق گفته شده از خاک به ترتیب در سطح خاک و عمق ناحیه ریشه نفوذ کرده است. رطوبت نسبی در ارتفاع ۲ متری و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری برای کل بازه زمانی استفاده می‌شود. منظور از شار خالص حرارتی محسوس، در مقیاس جهانی، موازنه انرژی زمین با کمبود انرژی در جو و مازاد انرژی در سطح زمین است (۱ و ۲). مازاد انرژی به شکل شار خالص گرمای حرارتی محسوس و نهان دوباره به اتمسفر بازمی‌شود. این شارهای حرارتی به وسیله باد که گرما و رطوبت را حمل می‌کنند، از سطح زمین جابه‌جا می‌شوند. به عبارتی، مبادله گرمای محسوس و نهانی بین سطح زمین و جو به علت اختلاط هوا روی می‌دهد و حاصل آن جابه‌جایی گرما و رطوبت است (۱۳).

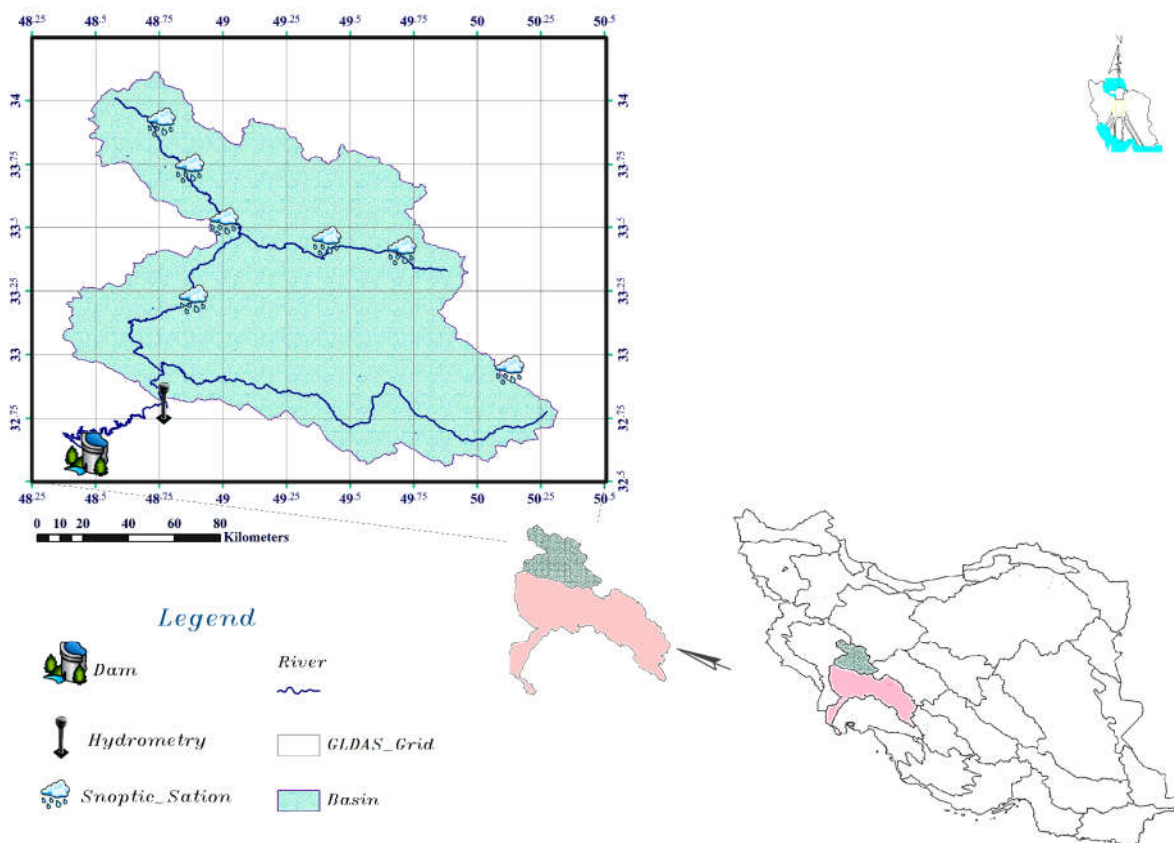
منظور از تبخیر مستقیم از خاک لخت به این صورت است که با مرطوب شدن خاک بر اثر بارندگی، آبیاری و یا بالا آمدن سطح ایستابی، تبخیر مستقیم از خاک صورت می‌گیرد که حدود ۱۰ درصد میزان کل تبخیر و تعرق را تبخیر مستقیم از خاک لخت تشکیل می‌دهد.

پردازش داده‌ها از GLDAS-2

داده‌های ارائه شده در جدول ۲ از محصولات GLDAS-2-NOAH با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه به صورت ماهانه و برای دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ سال از سایت سازمان ناسا و با فرمت Netcdf دریافت شد. برای انجام عملیات مستلزم تبدیل به فرمت CSV است. روش‌هایی برای تبدیل فرمت وجود دارد (۷). در پژوهش حاضر از برنامه نویسی R استفاده شد. سپس برای تبدیل واحد kg^{-2} به mm از ضریب (۱۰۰۰/۱۰۰۰) و برای تبدیل ثانیه به روز از ضریب ۸۶۴۰۰ استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، برای همه پارامترها حدود ۴۰ پیکسل روی حوضه قرار گرفت. همه پارامترهای استفاده شده برحسب میلی‌متر هستند (محاسبه برای کل حوضه به صورت متوسط پیکسل‌هاست. به عبارتی از میانگین داده‌های پیکسل برای برآورد شاخص مورد مطالعه استفاده شد).

جدول ۱. نام و مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)
سینوپتیک	—	—	—
فریدونشهر	۳۲/۹۴	۵۰/۱۲۷۲۲۲۲۲	۲۴۹۰
الیگودرز	۳۳/۴۰۷۹۲۸	۴۹/۷۰۳۲۴۱	۲۰۲۲/۱
ازنا	۳۳/۴۴۷۲۲۸	۴۹/۴۰۱۰۸۵	۱۸۷۱/۸
بروجرد	۳۳/۹۱۴۷۴	۴۸/۷۵۷۷۰۶	۱۶۲۹
درود	۳۳/۵۲۳۶۱۹	۴۹/۰۰۴۴۴	۱۵۲۲/۳
سپیددشت	۳۳/۲۱۷۳۰۲	۴۸/۸۱۴۴۰۲	۱۰۲۱
سیلاخور	۳۳/۷۳۴۸۵	۴۸/۸۶۹۴۵۲	۱۴۹۶/۹
هیدرومتری	—	—	—
تله زنگ	۳۲/۸۲۱۶۶	۴۸/۷۶۷۵	۶۳۹



شکل ۱. حوضه آبریز دز، ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری و شبکه‌بندی GLDAS

جدول ۲. پارامترها در داده‌های مدل GLDAS-2 نوا

نام مخفف پارامترها	نام کامل پارامترها	واحدها
Psnow	میزان بارش برف	kg m-2 s-1
Prain	میزان بارش باران	kg m-2 s-1
ET	تبخیر و تعرق	kg m-2 s-1
ROs	رواناب سطحی	kg m-2 per 3-hour
ROb	جریان پایه - رواناب آب زیرزمینی	kg m-2 per 3-hour
ROsm	رواناب حاصل از ذوب برف	kg m-2 per 3-hour
SWE_inst	آب معادل عمق برف	kg m-2
St 0_10cm_inst	رطوبت خاک در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر	kg m-2
Su 100_200cm_inst	رطوبت خاک در عمق ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر	kg m-2
PotEvap	تبخیر پتانسیل	W m-2
Ei	تبخیر آب تاج پوشش گیاهان	kg m-2 s-1
Et	تعرق	kg m-2 s-1
Eb	تبخیر مستقیم از خاک لخت	kg m-2 s-1
Rainfall	نرخ کل بارندگی	kg m-2 s-1
P	فشار هوا	Pa
RH	رطوبت نسبی	kg kg-1
Hg	شار حرارتی زمین	W m-2
Hs	شار خالص حرارتی محسوس	W m-2
H _L	شار خالص گرمای نهان	W m-2
U _h	سرعت باد	m s-1
T	دمای هوا	K

نام‌های کوتاه با پسوند "inst" متغیرهای آبی هستند

بیشتری نسبت به SPEI در مناطق با تنش آبی دارد؛ بنابراین نقطه ضعف SZI این بود که در مناطق برفی، عملکرد خوبی را نشان نمی‌داد. از این رو ژانگ و همکاران (۲۰)، شاخص مزبور را به نام شاخص SZI_{snow}، تحت تأثیر ویژگی‌های برفی توسعه دادند. چهار مرحله برای تولید SZI_{snow} وجود دارد: حسابداری هیدرولوژیک، ضرایب اقلیمی، برآورد شاخص ناهنجاری رطوبت و استانداردسازی. حسابداری هیدرولوژیک عبارت است از محاسبه شش جزء

شاخص SZI_{snow}

ژانگ و همکاران (۲۱)، شاخص SZI (Standardized Moisture Anomaly Index) را توسعه دادند تا آغاز، پایان و شدت یک رویداد خشکسالی چندساله را در انواع مختلف مقیاس‌های زمانی، با استفاده از شبیه‌سازی یک مدل سطح زمین (LSM) تعیین کنند. آن‌ها نشان دادند که تغییرات SZI با شواهد خشکسالی دیده‌شده مطابقت

میزان بارش ماهانه برف (Psnow) است و تغییر ماهانه SWE به‌طور کامل تجمع برف (SA) و ذوب برف (SM) را منعکس می‌کند.

مراحل برآورد شاخص SZIsnow به‌صورت از آخر به اول محاسبه می‌شود. بدین صورت، شاخص SZIsnow توسط پارامترهای یادشده پس از پردازش داده‌های GLDAS-2، از طریق استانداردسازی شاخص ناهنجاری رطوبت برف Z_{snow} با مقایسه برازش برآورد می‌شود. برای این منظور از مقایسه برازش چهار توزیع احتمالاتی پیرسون نوع سه، لگ - لجستیک، لگ‌نرمال و لجستیک برای استانداردسازی Z_{snow} استفاده شد و درنهایت توزیع لجستیک از نظر تناسب اتخاذ شد (۲۰). Z_{snow} اختلاف بارش کل (P) و بارش محاسبه‌شده (P_{snow}) است. P و P_{snow} به‌ترتیب از طریق معادله (۱) و (۲) به‌دست می‌آید:

$$P = P_{rainfall} + P_{snowfall} \quad (1)$$

$$P_{snow} = \alpha_j PET + \beta_j PR + \gamma_j PRO + \delta_j PSA - \epsilon_j PL - \zeta_j PSM \quad (2)$$

که در آن $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta$ به‌ترتیب ضرایب وزنی پارامترهای تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)، نفوذ پتانسیل خاک (PR)، رواناب پتانسیل (PRO)، آب معادل برف پتانسیل (PSA)، افت رطوبت خاک پتانسیل (PL) و ذوب برف پتانسیل (PSM) هستند که این ضرایب وزنی، از نسبت میانگین ماهانه پارامترهای مزبور، به مقادیر پتانسیل آن‌ها به‌دست می‌آیند. Zدر معادله (۲) ماه‌های سال را نشان می‌دهد. بدین ترتیب برای محاسبه پارامترهای مذکور بایستی مراحل زیر را طی کرد:

PET با استفاده از معادله Penman-Monteith (معادلات) محاسبه می‌شود (معادله ۳):

$$PET(j) = \frac{0.408\Delta_j(Rn_j - HG_j) + \gamma_j \frac{900}{T_j + 273} u_{2j}(e_{sj} - e_{aj})}{\Delta_j + \gamma_j(1 + 0.034u_{2j})} \quad (3)$$

PET: تبخیر و تعرق پتانسیل برحسب (mm.d⁻¹), Rn: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJ.m⁻².d⁻¹), U₂: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m.s⁻¹), es-ea: کمبود فشار بخار (Kpa), Y: ثابت سایکرومتری (Kpa.°C⁻¹), Δ: شیب

بودجه آب شامل متغیرهای مرتبط (شامل تبخیر و تعرق، تبخیر و تعرق بالقوه، رواناب، رواناب بالقوه، نفوذ خاک، نفوذ بالقوه خاک، از دست دادن رطوبت خاک، از دست دادن رطوبت بالقوه خاک، تجمع معادل آب برف (SWE)، تجمع بالقوه SWE، ذوب برف، و ذوب برف بالقوه). ضرایب اقلیمی، فاکتورهای وزنی این مؤلفه‌ها هستند که منجر به تولید رطوبت ناهنجاری رطوبت (Z_{snow}) می‌شوند. آخرین مرحله استانداردسازی (Z_{snow}) است که تفاوت بین بارش واقعی (باران و برف) است. نفوذ خاک (R) با تغییرات ماهانه (ΔSt و ΔSu) در رطوبت خاک موجود در لایه‌های بالا (St) و پایین (Su) خاک برآورد و نفوذ بالقوه خاک (PR) به‌عنوان تفاوت بین ظرفیت آب موجود خاک (AWC) و رطوبت خاک موجود کل خاک محاسبه می‌شود. AWC به‌عنوان بیشینه آب خاک دو لایه خاک در GLDAS تخمین زده می‌شود. سپس بقیه منابع آب منطقه‌ای تقاضای آب از رواناب (RO) را برآورده می‌کند. RO از رواناب سطحی (ROs)، جریان پایه (ROb) و رواناب ذوب برف (ROsm) تشکیل شده‌است که به‌طور مستقیم از GLDAS-2 به‌دست می‌آید. رواناب بالقوه (PRO) تفاوت بین AWC و PR است؛ زیرا ذخیره رطوبت خاک به‌عنوان یک مخزن آب در SZIsnow در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، تأمین آب تا حدی توسط ET مصرف می‌شود، از جمله تبخیر خاک برهنه (Eb)، تعرق (Et) و تبخیر آب تاج پوشش (Ei) که در خروجی از GLDAS-2 یافت می‌شود. PET با فیلدهای خروجی از Penman-Monteith با استفاده از معادله Penman-Monteith (L) محاسبه می‌شود. علاوه بر این، از دست دادن رطوبت (L) از لایه‌های خاک در SZIsnow در نظر گرفته می‌شود. معادلات L و مقادیر بالقوه آن در معادله نشان داده شده‌است درنهایت، محاسبات متغیرهای مربوط به فرایندهای برفی که توسط SZIsnow تأکید شده‌اند، در معادلات آورده شده‌اند. تجمع احتمالی برف (PSA) برابر با

تا ۲۰۰۰ میلی متر است. همچنین نفوذ خاک (R) با تغییرات ماهانه (ΔSt و ΔSu) در لایه‌های St و Su خاک برآورد شد. در نهایت از تقسیم R به PR، ضریب اقلیمی β برآورد می‌شود.

برای برآورد ضریب اقلیمی β بایستی PRO و RO را محاسبه کرد. سپس از تقسیم RO به PRO به دست می‌آید که PRO از اختلاف بین AWC و PR به دست آمد و رواناب کل حوضه از مجموع رواناب سطحی (RO_s)، زیرسطحی (RO_b) و رواناب حال از ذوب برف (RO_{sm}) محاسبه می‌شود.

برای برآورد ضریب اقلیمی β بایستی PSA و SA را محاسبه کرد که از حاصل تقسیم SA به PSA به دست می‌آید. PSA، برابر با میزان بارش ماهانه برف است و آب معادل برف از معادله (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$SA = \begin{cases} 0 & \Delta SWE < 0 \\ \Delta SWE & \Delta SWE \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

که در آن، ΔSWE از تغییرات ماهانه SWE به دست می‌آید. برای برآورد ضریب اقلیمی δ که از تقسیم L به PL به دست می‌آید. ابتدا بایستی PL، از مجموع افت رطوبت خاک در لایه‌های سطحی (PLt) و زیرین (PLs) خاک محاسبه شود. PLt، PLs و افت رطوبت خاک (L) نیز از طریق معادلات (۱۳) و (۱۴) به دست می‌آیند:

$$\begin{cases} PLt = \text{Min}(PET, St) \\ PLs = (PET - PLt) \frac{su}{AWC} \end{cases} \quad (13)$$

$$L = \begin{cases} 0 & \Delta St + \Delta Su \geq 0 \\ -(\Delta St + \Delta Su) & \Delta St + \Delta Su < 0 \end{cases} \quad (14)$$

برای برآورد ضریب اقلیمی L که از تقسیم SM به PSM به دست می‌آید، بایستی در ابتدا PSM، برابر با SWE باشد که ذوب برف از طریق معادله (۱۵) محاسبه شود:

$$SM = \begin{cases} -\Delta SWE & \Delta SWE < 0 \\ 0 & \Delta SWE \geq 0 \end{cases} \quad (15)$$

فلوچارت روش همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، برای نشان دادن مراحل برآورد SZISnow به کار گرفته می‌شود.

هر دو ذخیره رطوبت خاک و ذخیره برف به‌عنوان مخازن در SZISnow در نظر گرفته می‌شوند. تغییر در ذخیره رطوبت خاک (نفوذ خاک یا از دست دادن رطوبت خاک) و برف

منحنی فشار بخار (H_g ، $Kpa \cdot ^\circ C^{-1}$)، شار حرارتی زمین (H_g) و T: متوسط دمای هوا ($^\circ C$) است؛ به طوری که هر کدام از متغیرها از طریق معادلات زیر محاسبه می‌شوند.

Rn، از طریق معادله (۴) برآورد می‌شود (۴) که در آن، H_g شار حرارتی زمین، H_s شار خالص حرارتی محسوس و H_L شار خالص گرمای نهان است. سپس برای به دست آوردن سرعت باد در ارتفاع دومتری باید عملیات تبدیل از سرعت باد در ارتفاع ده متری به دو متری انجام شود (معادله ۵) که در آن، u_h سرعت باد اندازه‌گیری شده ($m \cdot s^{-1}$) و h طبق اینکه در ایستگاه‌های سینوپتیک سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری ثبت می‌شود؛ بنابراین در اینجا ارتفاع $h=10$ است (۱۹).

$$Rn_j = H_{Lj} + H_{Sj} + H_{Gj} \quad (4)$$

$$u_{2j} = u_h j \frac{4.87}{\ln(67.8h - 5.42)} \quad (5)$$

$$es_j = ((33.8639 * (0.00738 * T_j + 0.8072))^8) - (0.000019 * (1.8 * T_j + 48) + 0.001316) \quad (6)$$

$$e_{aj} = \left(es_j \frac{RH_{meanj}}{100} \right) \quad (7)$$

RH_{mean} : میانگین رطوبت خالص، P: فشار هوا (Kpa)

$$\gamma_j = 0.000665 * P_j \quad (8)$$

$$\Delta_j = \frac{4098 \left(0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T_j}{T_j + 273.3} \right) \right)}{(T_j + 273.3)} \quad (9)$$

بعد از محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه بایستی تبخیر-تعرق (ET) آن که از مجموع تبخیر خاک برهنه (E_b)، تعرق (E_t) و تبخیر آب تاج پوشش (E_i) برآورد می‌شود را محاسبه کرد تا ضریب اقلیمی α به دست آید.

برای محاسبه ضریب اقلیمی β بایستی پارامترهای R و PR را محاسبه کرد که توسط معادلات ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$PR = AWC - (St + Su) \quad (10)$$

$$R = \begin{cases} \Delta St + \Delta Su & \Delta St + \Delta Su \geq 0 \\ 0 & \Delta St + \Delta Su < 0 \end{cases} \quad (11)$$

که در آن AWC، بیشینه آب خاک در دو لایه سطحی (St) و زیرسطحی (Su) به ترتیب با عمق‌های ۰ تا ۱۰۰ میلی متر و ۱۰۰

مرحله ذوب صورت می‌گیرد. از سوی دیگر کاربرد شاخص خشکسالی برفی، نشان‌دادن تأثیر انباشت برف بر دبی آبراهه حوضه است که گاهی اوقات کاهش آبدهی آبراهه تحت تأثیر برف انباشته در حوضه است که البته پس از فرایند ذوب، بر آبدهی اضافه خواهد شد. از این‌رو خشکسالی ظاهری در آبدهی آبراهه در حوضه‌های برفی دیده می‌شود که به همین دلیل، توصیه شده که برای پایش خشکسالی در حوضه‌های برفی، از شاخص خاصی تحت عنوان شاخص خشکسالی برفی استفاده شود (۲۰)؛ بنابراین گام زمانی سه‌ماهه، به‌عنوان گام زمانی سری زمانی خشکسالی برفی ابتدا انتخاب و پیشنهاد شد.

شکل ۳، تغییرات ماهانه پوشش برفی و روند خشکسالی بر اساس شاخص SZIsnow در درازمدت (میانگین سالانه)، از اکتبر سال ۱۹۸۲ تا اکتبر سال ۲۰۲۳ (ماه آبی میلادی) را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار ب، ماه دسامبر به میزان ۰/۰۷-، سپس ماه فوریه به میزان ۰/۱۲- و ماه ژانویه به میزان ۰/۱- کمترین میزان خشکسالی را داشتند که دلیل آن، در نمودار الف مشهود است؛ به‌طوری که در ماه دسامبر، فوریه و سپس ژانویه بیشترین مقادیر بارش برف (به ترتیب ۴۳/۹۸، ۴۲/۱۲ و ۲۹/۲۴ میلی‌متر) در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. همچنین در ماه جولای، شاخص SZIsnow بیشترین خشکسالی را به مقدار ۰/۵۹- نشان می‌دهد که علت آن این است که در ماه جولای هیچ‌گونه مقدار برفی در سطح باریده نشده است (شکل ۳، الف). همچنین نمودار ب، در ماه‌های جون، می، سپتامبر، آوریل، آگوست، اکتبر، مارس و نوامبر به ترتیب با مقادیر خشکی ۰/۵۲-، ۰/۴۲-، ۰/۴۰-، ۰/۳۹-، ۰/۳۱-، ۰/۳۰-، ۰/۲۴- و ۰/۱۹- را نشان می‌دهد.

شکل ۴، تغییرات ماهانه پوشش برفی و روند خشکسالی بر اساس شاخص SZIsnow در درازمدت (میانگین سالانه) و

(انباشت SWE یا ذوب برف)، می‌تواند تعادل آب منطقه‌ای (تأمین آب یا تقاضای آب) را تغییر دهد و سپس بر شرایط خشکسالی تأثیر بگذارد. در نتیجه، SZIsnow شامل فرایندهای هیدرولوژیک جامع‌تری نسبت به SZI است. حاشیه‌نویسی به شکل ابر، مزایای SZIsnow را نشان می‌دهد جدول ۳، نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SZIsnow است (۲۰ و ۱۵).

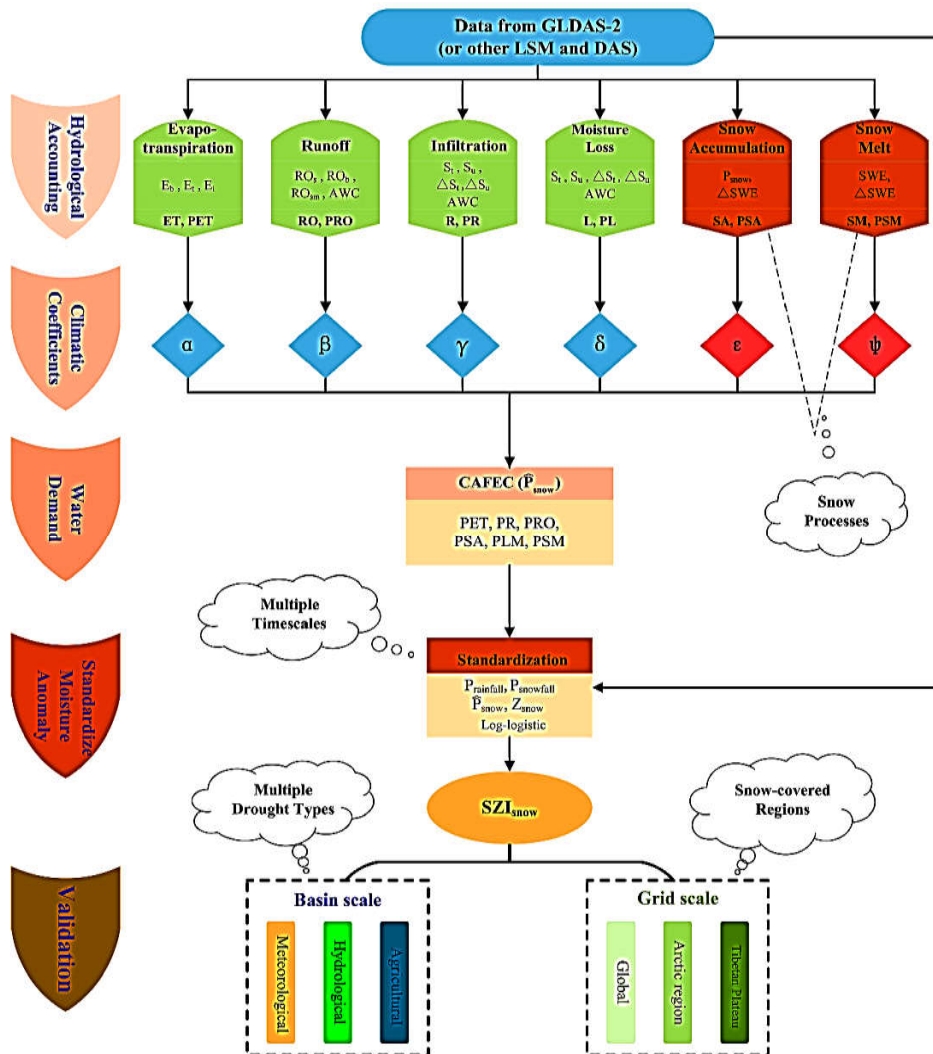
SZIsnow بر اساس میزان پارامترهای ورودی و تغییرات آن در طول زمستان تعیین می‌شود. در صورتی که مقادیر پارامترها در طول زمستان کمتر از متوسط آن مقادیر باشد، شاخص خشکسالی برفی منفی می‌شود و در صورت بیشتر بودن شاخص مثبت می‌شود.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر، شاخص خشکسالی برفی SZIsnow به صورت میانگین سالانه برای همه ماه‌های میلادی از سال آبی میلادی ۱۹۸۲ یعنی ماه اکتبر شروع و تا اکتبر سال ۲۰۲۳، در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه مطالعه شده است. طبق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر که خشکی‌ها را در مقیاس حوضه با نشان‌دادن وضعیت پوشش برفی نشان می‌دهد، مطالعه‌های صورت گرفته توسط ژانگ و همکاران (۲۰) و تیان و همکاران (۱۵) نیز، خشکی‌ها را در مقیاس‌های زمانی مختلف، در مقیاس قاره‌ای با وضعیت پوشش برفی نشان داد.

نتایج حاصل از برآورد شاخص SZIsnow

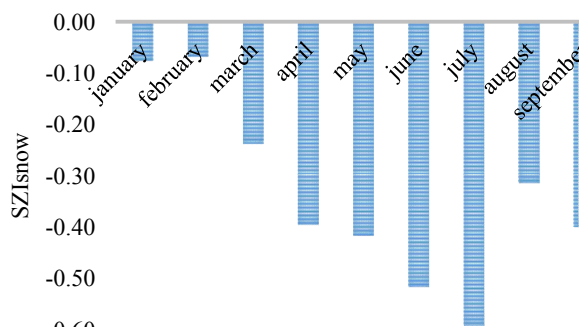
انتخاب گام زمانی سه‌ماهه برای خشکسالی برفی، متناسب با دوره حدوداً سه‌ماهه انباشت برف در حوضه‌های برفی است؛ به طوری که انباشت برف در حوضه‌ها معمولاً طی ماه‌های آذر تا بهمن ماه و گاه تا اسفند، صورت می‌گیرد و بعد از آن



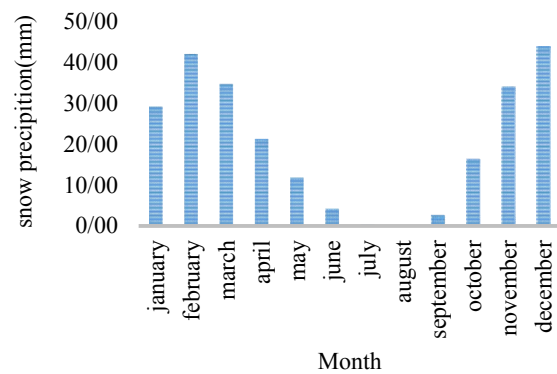
شکل ۲. فلوچارت محاسبه شاخص SZIsnow

جدول ۳. مقادیر آستانه استاندارد شده برای طبقه‌بندی خشکسالی و رطوبت SZIsnow

مقدار آستانه شاخص SZIsnow	طبقه‌بندی
$\alpha < -2$	خشکسالی حاد
$-2 \leq \alpha < -1/5$	خشکسالی شدید
$-1/5 \leq \alpha < -1$	خشکسالی متوسط
$-1 \leq \alpha < -0/5$	خشکسالی خفیف
$-0/5 \leq \alpha < 0/5$	نرمال
$0/5 \leq \alpha < 1$	ترسالی خفیف
$1 \leq \alpha < 1/5$	ترسالی متوسط
$1/5 \leq \alpha < 2$	ترسالی شدید
$\alpha \geq 2$	ترسالی حاد

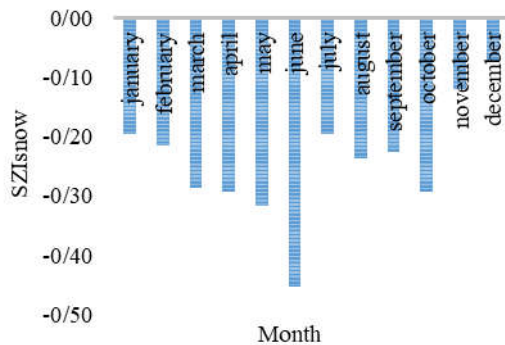


(ب)

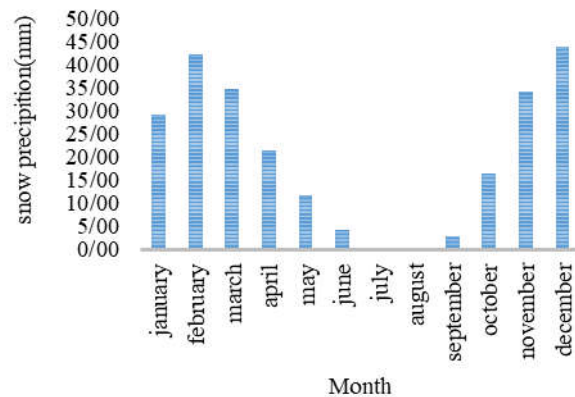


(الف)

شکل ۳: الف) تغییرات ماهانه سطح پوشش برفی درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳). ب) تغییرات ماهانه شاخص SZIsnow درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳) در گام زمانی ۳ ماهه



(ب)



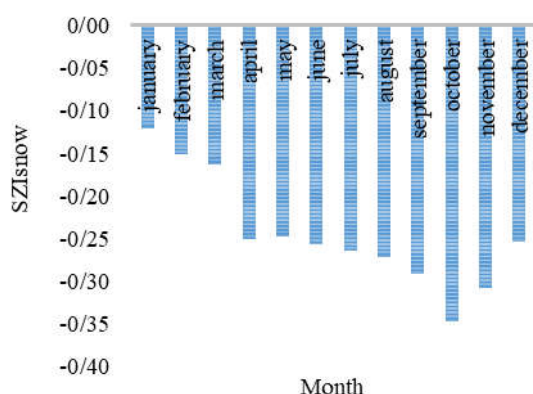
(الف)

شکل ۴: الف) تغییرات ماهانه سطح پوشش برفی درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳). ب) تغییرات ماهانه شاخص SZIsnow، درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳) در گام زمانی ۶ ماهه

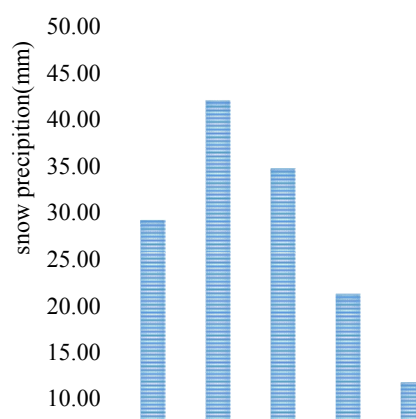
جون، مقدار پوشش برفی خیلی کمی دارد (شکل ۴، الف). در مابقی ماه‌ها با وجود برف باریده‌شده در حوضه، شاخص SZIsnow، روند خشکسالی را نشان می‌دهد.

شکل ۵، تغییرات ماهانه پوشش برفی و روند خشکسالی بر اساس شاخص SZIsnow در درازمدت (میانگین سالانه) و در گام زمانی ۱۲ ماهه از اکتبر سال ۱۹۸۲ تا اکتبر سال ۲۰۲۳ (ماه آبی میلادی) را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار ب، ماه ژانویه، به میزان ۰/۱۳- و سپس ماه فوریه به میزان ۰/۱۶- کمترین میزان

در گام زمانی ۶ ماهه از اکتبر سال ۱۹۸۲ تا اکتبر سال ۲۰۲۳ (ماه آبی میلادی) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار ب دیده می‌شود، ماه دسامبر، به میزان ۰/۰۹- کمترین میزان خشکسالی را داشته‌است که دلیل آن در نمودار الف مشهود است؛ به طوری که در ماه دسامبر، بیشترین مقادیر بارش برف (به ترتیب ۴۳/۹۸) در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. همچنین در ماه جون، شاخص SZIsnow، بیشترین خشکسالی را به مقدار ۰/۴۵- نشان می‌دهد که علت آن این است که در ماه



(ب)



(الف)

شکل ۵. الف) تغییرات ماهانه پوشش برفی درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳). ب) تغییرات ماهانه شاخص SZIsnow، درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳) در گام زمانی ۱۲ ماهه

وجود پارامترهایی که فاقد مشاهدات زمینی است و از سوی دیگر در دسترس بودن پایگاه معتبر GLDAS، امکان محاسبه شاخص را فراهم می‌آورد. همچنین نتایج نشان داد که در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب جولای به میزان ۰/۵۹-، ماه جون به میزان ۰/۴۵- و ماه اکتبر به میزان ۰/۳۵- بیشترین میزان خشکسالی را دارد؛ به طوری که در همه ماه‌های سال خشکسالی اتفاق افتاده است و وضعیت خشکسالی‌ها، بیشتر از نوع متوسط و خفیف هستند. نتایج نشان می‌دهد که SZIsnow به‌طور مناسب این واقعت را منعکس می‌کند که تجمع و ذوب برف، تأثیرات قابل توجهی بر تغییرات فصلی و بین سالانه در جریان در مناطق پوشیده از برف دارد؛ بنابراین SZIsnow در ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیک، در مناطق برفی و در مقیاس حوضه‌ای، عملکرد خوبی دارد. نتایج کار حاضر بر اهمیت فرایندهای برف در تعیین کمیت خشکسالی تحت تغییرات آب‌وهوای حوضه تأکید دارد.

سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، از اطلاعات از سازمان آب و برق خوزستان، به‌واسطه برخی اطلاعات مورد نیاز قدردانی می‌شود. همچنین، نویسندگان از حمایت مالی شورای پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (شماره پژوهانه: SCU.WH1402.26878)، کمال تشکر را دارند.

خشکسالی را داشتند که دلیل آن، در نمودار الف مشهود است؛ به طوری که در ماه‌های یادشده، بیشترین مقادیر پوشش برفی (به ترتیب ۲۹/۲۴ و ۴۲/۱۲)، در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. همچنین در ماه اکتبر، شاخص SZIsnow، بیشترین خشکسالی را به مقدار ۰/۳۵- نشان می‌دهد که علت آن این است که در ماه اکتبر، مقدار پوشش برفی کمی (۱۶/۴۵) دارد (شکل ۴، الف). در مابقی ماه‌ها، با وجود برف باریده‌شده در حوضه، شاخص SZIsnow، روند خشکسالی را در گام زمانی ۱۲ ماهه نشان می‌دهد. همچنین ماه‌های آوریل، ژوئن، می، جولای و آگوست تقریباً روند خشکسالی مشابهی دارند.

نتیجه‌گیری

پایش خشکسالی هیدرولوژی در حوضه‌های برفی به دلیل انباشت برف و تأخیر در رواناب حاصل از ذوب، بسته به گام زمانی مورد نظر در سری زمانی، مستلزم استفاده از شاخص خشکسالی خاصی تحت عنوان خشکسالی برفی است. از طرفی عملکرد شاخص خشکسالی برفی SZIsnow، در مقیاس حوضه آبریز متفاوت است. وضعیت خشکسالی منطقه برفی دز، بر اساس شاخص برفی SZIsnow، در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه و طی دوره آماری ۴۱ ساله، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص جدید SZIsnow، چندمتغیره‌ای است که به‌واسطه

منابع مورد استفاده

1. Arya, S. P. 2001. Introduction to micrometeorology, Academic Press, Cambridge.
2. Allen R. G, L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration, Guide-lines for Computing Crop Water Requirements. FAO, Rome, Italy.
3. Berhanu, A. A., Z. B. Ayele and D. C. Dagnew. 2024. Impact of climate-smart agricultural practices on smallholder farmers' resilience in Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research* 16: 101147.
4. Fang, F. and C. W. Oosterlee. 2009. A novel pricing method for European options based on Fourier-cosine series expansions. *SIAM Journal on Scientific Computing* 31(2): 826-848. <https://doi.org/10.1137/080718061>.
5. Huang, Y., Y. Jiang, B. Jiang, R. T. Bailey, B. Masud, B. Smerdon and M. Faramarzi. 2024. Modelling impacts of climate change on snow drought, groundwater drought, and their feedback mechanism in a snow-dominated watershed in western Canada. *Journal of Hydrology* 636: 131342.
6. Huning, L. S., and A. AghaKouchak. 2020. Global snow drought hot spots and characteristics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(33): 19753-19759. <https://doi.org/10.1073/pnas.1915921117>.
7. Koziol, B. W., L. Cinquini, A. Treshansky, S. Murphy and C. DeLuca. 2013. Towards the Goal of Modular Climate Data Services: An Overview of NCPP Applications and Software. In AGU Fall Meeting Abstracts.
8. Pederson, G. T., S. T. Gray, C. A. Woodhouse, J. L. Betancourt, D. B. Fagre, J.S. Littell, E. Watson, B. H. Luckman and L.J. Graumlich. 2011. The unusual nature of recent snowpack declines in the North American Cordillera. *Science* 333(6040): 332-335.
9. Ludlum, D. M. 1978. The Snowfall Season of 1976-77. *Weatherwise* 31(1): 20-46. <https://doi.org/10.1080/00431672.1978.9931847>.
10. Li, Y., X. Huang, Y. Ma, Q. Feng and T. Liang. 2024. Snow Drought Patterns and Their Spatiotemporal Heterogeneity in China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 17: 2029-2036. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3344763>
11. McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17-22 January 1993. American Meteorological Society: Boston, MA, USA.
12. Nasser, M. and A. Kouchehi. 2024. Does snow storage affect the Palmer drought severity index? Revisiting PDSI drought indicator via conceptual model and large-scale information. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 135: 103608. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103608>
13. Rodell, M., P. R. Houser, U. E. A. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C. J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J. K. Entin, J. P. Walker, D. Lohmann and D. Toll. 2004. The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological society* 85(3): 381-394, <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>.
14. Staudinger, M., K. Stahl and J. Seibert. 2014. A drought index accounting for snow. *Water Resources Research* 50(10): 7861-7872. <https://doi.org/10.1002/2013WR015143>.
15. Tian, L., B. Q. Zhang and P. Wu. 2021. A global drought dataset of standardized moisture anomaly index incorporating snow dynamics (SZIsnow) and its application in identifying large-scale drought events. *Earth System Science Data Discussions* 14(5): 2259-2278. <https://doi.org/10.5194/essd-14-2259-2022>.
16. Wiesnet, D. 1981. Winter snow drought. *Eos, Transactions of the American Geophysical Union* 62(14): 137-137. <https://doi.org/10.1029/EO062i014p00137-04>.
17. Wang, Z., S. Huang, Z. Mu, G. Leng, W. Duan, H. Ling, J. Xu, X. Zheng, P. Li, Z. Li, W. Guo, Y. Li, M. Deng and J. Peng. 2024. Relative humidity and solar radiation exacerbate snow drought risk in the headstreams of the Tarim River. *Atmospheric Research* 297: 107091. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.107091>
18. Wang, B. C. Q. Lan. 2011. Biomass production and nitrogen and phosphorus removal by the green alga *Neochloris oleoabundans* in simulated wastewater and secondary municipal wastewater effluent. *Bioresour technology* 102(10): 5639-5644.
19. Zotarelli, L., M. D. Dukes, C. C. Romero, K. W. Migliaccio and K. T. Morgan. 2010. Step by step calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). *Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida* 8.
20. Zhang, B., Y. Xia, L. S. Huning, J. Wei, G. Wang and A. AghaKouchak. 2019. A framework for global multicategory and multiscalar drought characterization accounting for snow processes. *Water Resources Research* 55(11): 9258-9278. <https://doi.org/10.1029/2019WR025529>.
21. Zhang, B. Q., X. N. Zhao, J. M. Jin and P. T. Wu. 2015. Development and evaluation of a physically based multiscalar drought index: The standardized moisture anomaly index. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 120(11): 575-588. <https://doi.org/10.1002/2015JD023772>.

Estimation of the SZI_{snow} Snow Index on Basin Scale Using the GLDAS Database

F. Afsharipour¹, M. R. Sharifi^{1*} and A. Motamedi²

(Received: May 25-2024 ; Accepted: August 21-2024)

Abstract

Drought monitoring in snowy basins requires modifications in common drought indices, called snow drought indices. The latest developed snow index is SZI_{snow}. The SZI_{snow} index calculating with special algorithm requires access to the values of 22 different climatic and physical variables, including soil moisture at a depth of 0 to 10 centimeters, soil moisture at a depth of 100 to 200 centimeters, air temperature, water equivalent to snow, runoff from snow melting, snowfall, rainfall, total precipitation rate, evaporation and transpiration, wind speed, surface runoff, groundwater runoff, potential evaporation, air pressure, relative humidity, net latent heat flux, ground heat flux, net sensible heat flux, evaporation from bare soil, evaporation from the canopy, and potential evapotranspiration. So far, the mentioned index has been calculated only on a continental scale. Drought monitoring at the basin scale is important as one of the management aspects of water resources. On the other hand, due to the lack of sufficient information to estimate the mentioned parameters, the use of information from global databases will be a solution. Therefore, in this research, while introducing the process of calculating the SZI_{snow} index, in the Dez catchment area, extracting the required parameters of the index in a time scale of 3, 6, and 12 months and a period of 41 years (1982 to 2023) using data GLDAS and then drought monitoring of the basin was studied. The results showed that the new SZI_{snow} index is a multi-variable index that provides the possibility of calculating the index due to the existence of parameters that lack ground observations and on the other hand, the availability of the reliable GLDAS database. Also, the results showed that in the time steps of 3, 6, and 12 months, July at -0.59, June at -0.45, and October at -0.35 had the highest amount of drought, respectively.

Keywords: Snow drought, SZI_{snow} index, Dez basin, Snow water equivalent, Snow melting

1. Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Khuzestan Water and Electricity Organization, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding author, Email : mshaifi@scu.ac.ir