

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

فاطمه افشاری پور^۱، محمدرضا شریفی^۲، علی معتمدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، اهواز، ایران

۳- سازمان آب و برق خوزستان

Fatemehap274@gmail.com

mshaifi@scu.ac.ir

motamedi238@gmail.com

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 می‌باشد. محاسبه شاخص مزبور، ضمن 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 تعرق بالقوه می‌باشد. شاخص مزبور، تاکنون صرفاً در مقیاس قاره‌ای محاسبه شده است. این درحالی است که پایش خشکسالی در مقیاس حوضه‌ای به عنوان یکی از جنبه‌های مدیریتی منابع آب، دارای اهمیت است. از طرفی بدلیل نبودن اطلاعات کافی برای تخمین پارامترهای مزبور، استفاده از اطلاعات پایگاه‌های داده جهانی راه گشا خواهد بود. از این رو در تحقیق حاضر، ضمن 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 گردید. نتایج نشان داد که شاخص جدید SZIsnow، چند متغیره‌ای است که بواسطه 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.

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

خشکسالی برفی، یک مفهوم جدید برای کمبود بارش برف یا تسریع ذوب برف به دلیل گرم شدن هوا است که به تحقیقات گسترده، به ویژه در مناطق برفی نیاز دارد (۶، ۷ و ۱۶). پروین و همکاران، (۹) به تعریف خشکسالی برفی و رابطه آن را با انواع دیگر خشکسالی پرداختند، نتایج آن‌ها بر تأثیر متقابل بین اشکال 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 شاخص-های خشکسالی برفی است (۱۰ و ۱۱). شاخص‌های مزبور، برای ارزیابی تأثیر ذخایر برف پشته بر منابع آب و اکوسیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. (۱۲، ۱۵ و ۱۶). تاکنون شاخص‌های محدودی برای پایش خشکسالی برف توسعه داده شده‌اند. از جمله شاخص‌های SWSI (Standardized Melt and Rainfall Index)، SMRI (Standardized Moisture Anomaly Index) و (۲۲) SZI_{snow} مورد استفاده قرار گرفته‌است (۲۲). تحقیقات نشان می‌دهد، شاخص‌های خشکسالی برفی در مقیاس‌های مکانی مختلف شامل مقیاس حوضه‌ای و قاره‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۲۲ و ۱۷). به عنوان نمونه، استودیونگر و همکاران (۱۶)، در مقیاس حوضه‌ای با مساحت‌های ۲۴ تا ۳۵۲ کیلومتر مربع، اقدام به توسعه SMRI کردند. این در حالیست که ژانگ و همکاران (۲۲)، در مطالعه‌ای ضمن توسعه شاخص جدید SZI_{snow}، در مقیاس قاره‌ای اقدام نمودند. آنها در ادامه تحقیقشان، توصیه به ارزیابی کاربرد شاخص مزبور، در مقیاس حوضه‌ای نمودند. ناصری و کوچکی، (۱۴) در مطالعه‌ای به ارزیابی و توسعه شاخص خشکسالی PDSI با ترکیب فرآیندهای 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 به عنوان شاخص خشکسالی برفی معرفی کردند. نتایج تغییرات قابل توجهی را در شاخص‌های خشکسالی، به ویژه 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، تحقیقاتی در رابطه با ارزیابی خشکسالی برفی در مقیاس حوضه‌ای و قاره‌ای صورت گرفته است. این درحالیست که از شاخصی تحت عنوان شاخص خشکسالی برفی استفاده نکردند. به عنوان نمونه، لی و همکاران (۱۲)، 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، سین کیانگ، 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 ذکر شده، سین کیانگ 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، در مناطق کم ارتفاع دارای بیشترین نسبت متوسط سالانه خشکسالی متوسط است در حالی که مناطق با ارتفاع بالا دارای بیشترین خشکسالی شدید است. در مطالعه دیگر، وانگ و همکاران (۱۹)، تخمینی برای شاخص استاندارد SWE (NSWEI)، با ترکیب تئوری کاپولا، تحت سناریوهای مختلف، برای دوره‌های بازگشت متفاوت، رودخانه تاریم در چین، ارائه کردند تا پیامدهای خشکسالی برف را ارزیابی کنند. علاوه بر این، از مدل جنگل تصادفی (RF) برای پیش‌بینی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی استفاده کردند. نشان دادند: NSWEI-۱ در توصیف خشکسالی برف معقول‌تر از معیارهای مورد استفاده در مطالعات

نشریه علوم آب و خاک

قبلی است. ۲- محتمل ترین خشکسالی‌ها که دوره بازگشت کمتر از ۵۰ سال رخ می‌دهد متعلق به سناریوی خشکسالی متوسط است.

۳- یک الگوی متضاد در توزیع خشکسالی برف مشاهده شده است. ۴- افزایش خطرات خشکسالی برف در جنوب رودخانه مورد مطالعه، به طور کلی با کاهش رطوبت نسبی و افزایش تابش خورشیدی ایجاد می‌شود. بمنظور محاسبه شاخص SZI_{snow} ، برخلاف شاخص SMRI که صرفاً متکی بر بارش کل و درصد برف می‌باشد، از متغیرهای زیادی از جمله تبخیر و تعرق، تبخیر از خاک لخت، رواناب سطحی، رواناب زیرسطحی، رواناب ذوب برف، رطوبت خاک استفاده می‌شود. (۲۲ و ۱۷). لذا، متغیرهای ذکر شده، از داده‌های مشاهداتی قابل دسترس نمی‌باشد. بدلیل 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) می‌باشد. 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 محققان قرار می‌دهد (۱۵ و ۱۸). بطوریکه، بسیاری از محققین از این پایگاه اطلاعاتی مزبور، جهت برآورد پارامترهای مورد نیاز استفاده و مورد اعتبارسنجی قرار دادند. به طور مثال، فرجی و همکاران، (۵)، قابلیت ماهواره GRACE و GLDAS را به ترتیب برای برآورد بیلان در حوضه ابریز دریاچه ارومیه، تغییرات ابهای زیرزمینی استان قزوین، منابع آب زیرزمینی جنوب ایران و تغییرات آب زیرزمینی استان کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد دو ماهواره نام برده شده برآورد خوبی از روند تغییرات آب و هم چنین تغییرات سطح آب زیرزمینی دارد و همچنین همبستگی بین داده‌های تغییرات ذخیره آب از مدل GLDAS و GRACE و تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل شده از ماهواره GRACE و داده‌های مشاهداتی در سطح احتمال ۹۹ درصد معنادار است. ونگ و همکاران (۲۰) به ارزیابی مدل Noah/GLDAS در حوضه سانگوا (Songhua) واقع در کشور چین طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ پرداختند. براساس مقایسه‌ای که بین داده‌های مدل GLDAS و مشاهدات زمینی انجام شد، ضریب همبستگی ۷۶/۰ برای پارامتر بارش و ۹۹/۰ برای پارامتر دمای هوای نزدیک سطح زمین به دست آمد که نشان دهنده اعتبار داده‌های مدل GLDAS برای استفاده در بیلان آب و انرژی می‌باشد. لی و همکاران (۱۲) در مطالعه‌ای، یک روش جدید شناسایی و پایش خشکسالی ناگهانی را بر اساس شاخص خشکسالی مبتنی بر تبخیر و تعرق، یعنی 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 چین با مقادیر ضریب همبستگی بالای ۰.۸ با داده‌های مشاهداتی مدل شده 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 بالای 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 (۲۲) و تیان و همکاران (۱۷)، از پایگاه اطلاعاتی داده مزبور نیز، برای تعیین مقادیر متغیرهای مورد نیاز در محاسبه شاخص SZI_{snow} استفاده نمودند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند. کلیه مطالعات مذکور به توانایی و قابلیت پایگاه Gldas در شرایط کمبود داده تأکید دارند. با توجه به تفاوت احتمالی عملکرد شاخص SZI_{snow} در مقیاس مکانی، بنظر می‌رسد که محاسبه شاخص SZI_{snow} که قبل از این، صرفاً در مقیاس قاره‌ای برآورد شده، در قالب نوآوری این تحقیق، در مقیاس حوضه‌ای محاسبه شود. از این رو در تحقیق حاضر ضمن ارائه

فرایند محاسبه شاخص SZI_{snow} ، 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 تحقیق عبارتند از: ۱- محدودیت اصلی $SZIsnow$ این است که محاسبات آن پیچیده تر 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 و کاهش بلایا مرتبط با خشکسالی مهم است. ۲- در دسترس نبودن اطلاعات زمینی جهت برآورد شاخص مزبور و انجام عملیات کالیبراسیون ۳- یکی دیگر از محدودیت‌های $SZIsnow$ این است که محاسبه آن به سوابق اقلیمی و هیدرولوژیکی طولانی مدت نیاز دارد که آن را برای شناسایی کوتاه مدت خشکسالی نامناسب می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

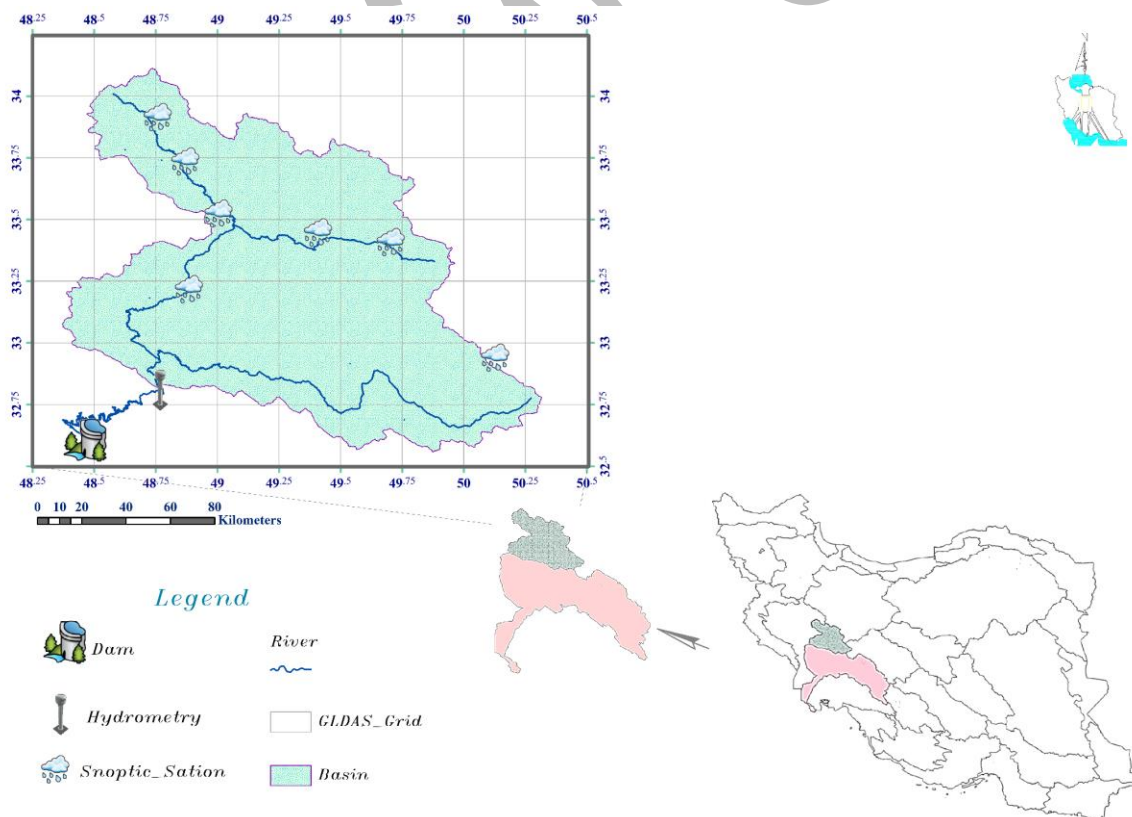
حوضه آبریز دز بخشی از ارتفاعات زاگرس میانی می‌باشد. این حوضه در محدوده عرض جغرافیایی بین ۱۵ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۱۱ درجه و ۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی بین ۱۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۱۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی، در جنوب غربی ایران واقع شده است. حوضه دز از غرب به حوضه کرخه، از شمال به حوضه قره چای و زاینده رود 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 دریا و نسبت برف به کل بارش ۲۰/۶۴ درصد می‌باشد. در جدول ۱، مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری آورده شده است. این درحالی است که از اطلاعات ایستگاه‌های مذکور، استفاده نگردید و صرفاً برای نشان دادن وضعیت ایستگاه‌ها در حوضه مورد مطالعه، آورده شده است. با توجه به محدودیت در دسترسی به اطلاعات زمینی از مقادیر پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص $SZIsnow$ ، کلیه داده‌ها از پایگاه اطلاعاتی GLDAS استفاده شده است. شایان ذکر است که یکی از اهداف اصلی تحقیق، ارائه قابلیت پایگاه GLDAS در دسترسی به داده‌های مورد نیاز است.

جانمایی ایستگاه‌های مزبور در شکل ۱ نمایش داده شده است.

نشریه علوم آب و خاک

جدول ۱. نام و مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)
سینوپتیک	-	-	-
فریدونشهر	۳۲.۹۴	۵۰.۱۲۷۲۲۲۲۲	۲۴۹۰
الگودرز	۳۳.۴۰۷۹۲۸	۴۹.۷۰۳۲۴۱	۲۰۲۲.۱
ازنا	۳۳.۴۴۷۲۲۸	۴۹.۴۰۸۰۸۵	۱۸۷۱.۸
بروجرد	۳۳.۹۱۴۷۴	۴۸.۷۵۷۷۰۶	۱۶۲۹
درود	۳۳.۵۲۳۶۱۹	۴۹.۰۰۴۴۴	۱۵۲۲.۳
سپیددشت	۳۳.۲۱۷۳۰۲	۴۸.۸۸۴۴۰۲	۱۰۲۱
سیلاخور	۳۳.۷۳۴۸۵	۴۸.۸۶۹۴۵۲	۱۴۹۶.۹
هیدرومتری	-	-	-
تله زنگ	۳۲.۸۲۱۶۶	۴۸.۷۶۷۵	۶۳۹



شکل ۱. حوضه آبریز دز و ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری و شبکه بندی GLDAS

در مطالعه حاضر، از نسخه GLDAS-2 مدل نوا که دارای قدرت تفکیک مکانی ۰.۲۵ درجه است، استفاده گردید. (۴). پارامترهای موجود در محصول GLDAS-2، مدل نوا برای محاسبه شاخص‌ها در جدول ۲ به همراه نام اختصاری، نام کامل و واحد آورده شده‌است (همه داده‌ها از GLDAS استخراج شدند).

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 سانتی متر	kg m-2
Su 100_200cm_inst	رطوبت خاک در عمق ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی متر	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
H _G	شار حرارتی زمین	W m-2
H _S	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 آنی هستند.

در جدول ۲، منظور از نرخ کل بارندگی، مجموع میزان بارش باران و برف است. میزان بارش برف و بارن، ارتفاع آن‌هاست. رطوبت خاک در عمق ۰ تا ۱۰ و ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی متر، مقدار رطوبتی 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 می‌کنند. منظور از شارخالص حرارتی محسوس، در مقیاس جهانی، موازنه انرژی زمین با کمبود انرژی در جو و مازاد انرژی در سطح زمین همراه است و مازاد انرژی به شکل شار خالص گرمای حرارتی محسوس و نهان دوباره به اتمسفر بازمی‌گردد این شارهای

نشریه علوم آب و خاک

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 (۱۵).

منظور از تبخیر مستقیم از خاک لخت به این صورت است که با مرطوب شدن خاک بر اثر بارندگی، ابیاری 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 را 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 می‌باشد. روش‌هایی برای تبدیل فرمت وجود دارد (۸). در تحقیق 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 انجام گردید. همانطور که در شکل یک ملاحظه می‌گردد برای همه پارامترها حدود ۴۰ پیکسل بر روی حوضه قرار گرفت. همه‌ی پارامترهای استفاده شده، برحسب میلی متر هستند. (محاسبه برای کل حوضه به صورت متوسط پیکسل‌هاست. به عبارتی از میانگین داده‌های پیکسل برای برآورد شاخص مورد مطالعه استفاده گردید).

شاخص $SZIsnow$

ژانگ و همکاران (۲۳)، 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 مشاهده شده مطابقت بیشتری نسبت به SPEI در مناطق با تنش آبی دارد. لذا، نقطه ضعف SZI این بود که در مناطق برفی، عملکرد خوبی را نشان نمی‌داد. از این رو، ژانگ و همکاران (۲۲)، شاخص مزبور را به نام شاخص $SZIsnow$ ، تحت تاثیر ویژگی‌های برفی توسعه دادند. چهار مرحله برای تولید $SZIsnow$ وجود دارد: حسابداری هیدرولوژیکی، ضرایب اقلیمی، برآورد شاخص ناهنجاری رطوبت و استانداردسازی. حسابداری هیدرولوژیکی عبارت است از محاسبه شش جزء 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 ($Zsnow$) می‌شود. آخرین مرحله استانداردسازی ($Zsnow$) 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) به عنوان تفاوت بین ظرفیت آب موجود خاک (AWC) و رطوبت خاک موجود کل خاک محاسبه می‌شود. AWC به عنوان حداکثر آب خاک دو لایه خاک در GLDAS تخمین زده می‌شود. سپس، بقیه منابع آب منطقه ای تقاضای آب از رواناب (RO) را برآورده می‌کند. RO از رواناب سطحی (ROs)، جریان پایه (ROb) و رواناب ذوب برف (ROsm) تشکیل شده‌است که مستقیماً از GLDAS-2 به دست می‌آید. رواناب بالقوه (PRO) تفاوت بین AWC و PR است، زیرا ذخیره رطوبت خاک به عنوان یک مخزن آب در SZIsnow در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، تامین آب تا حدی توسط ET مصرف می‌شود، از جمله تبخیر خاک برهنه (Eb)، تعرق (Et)، و تبخیر آب تاج پوشش (Ei) که در خروجی GLDAS-2 یافت می‌شود. PET با فیلدهای خروجی از GLDAS-2 با استفاده از معادله Penman-Monteith 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 شده است در نهایت، محاسبات متغیرهای مربوط به فرآیندهای برفی که توسط SZIsnow تاکید شده‌اند در معادلات آورده شده‌اند. تجمع احتمالی برف (PSA) برابر با میزان بارش ماهانه برف (Psnow) است، و تغییر ماهانه SWE به طور کامل تجمع برف (SA) و ذوب برف (SM) را منعکس می‌کند.

مراحل برآورد شاخص SZIsnow به صورت از آخر به اول محاسبه می‌شود. بدین صورت، شاخص SZIsnow، توسط پارامترهای مذکور، پس از پردازش داده‌های GLDAS-2، از طریق استانداردسازی شاخص ناهنجاری رطوبت برف Zsnow با مقایسه برازش برآورد می‌شود. برای این منظور از مقایسه برازش چهار توزیع احتمالاتی پیرسون نوع سه، لگ-لجستیک، لگ-نرمال و لجستیک را برای استانداردسازی Zsnow، استفاده گردید و در نهایت توزیع لجستیک از نظر تناسب اتخاذ شد. (۲۲). Zsnow، اختلاف بارش کل (P) و بارش محاسبه شده (Psnow) می‌باشد. P و Psnow به ترتیب از طریق فرمول ۱ و ۲ بدست می‌آید:

$$P = \text{Prainfall} + \text{Psnowfall} \quad (۱)$$

$$\text{Psnow} = \alpha_j \text{PET} + \beta_j \text{PR} + \gamma_j \text{PRO} + \delta_j \text{PSA} - \epsilon_j \text{PL} - \zeta_j \text{PSM} \quad (۲)$$

که در آن $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta$ به ترتیب 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 بدست می‌آیند. زدر معادله (۲) ماه‌های سال را نشان می‌دهد. بدین ترتیب برای محاسبه پارامترهای مذکور بایستی مراحل زیر را طی نمود:

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

$$\text{PET}(j) = \frac{0.408\Delta_j(Rn_j - HG_j) + \gamma_j \frac{900}{T_j + 273} u_2(j)(e_{s_j} - e_{a_j})}{\Delta_j + \gamma_j(1 + 0.034u_2)} \quad (۳)$$

PET: تبخیر 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 منحنی فشار بخار

نشریه علوم آب و خاک

H_G : شار حرارتی زمین ($MJ.m^{-2}d^{-1}$)، T : متوسط دمای هوا ($^{\circ}C$) می‌باشد به طوریکه هر کدام از متغیرها از طریق معادلات زیر محاسبه می‌شوند.

R_n ، از طریق فرمول زیر 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 بدست آوردن سرعت باد در ارتفاع دومتری باید عملیات تبدیل از سرعت باد در ارتفاع ده متری به دو متری انجام شود (۵). که در آن، u_n سرعت باد اندازه گیری شده ($m.s^{-1}$) و h طبق اینکه در ایستگاه های سینوپتیک سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری ثبت می‌شود بنابراین در اینجا ارتفاع $h=10$ است (۲۱).

$$R_{nj} = H_{Lj} + H_{Sj} + H_{Gj} \quad (۴)$$

$$u_{2j} = u_{nj} \frac{4.87}{\ln(67.8h - 5.42)} \quad (۵)$$

$$e_{sj} = ((33.8639 * (0.00738 * T_j + 0.8072)^8) - (0.000019 * (1.8 * T_j + 48) + 0.001316)) \quad (۶)$$

$$e_{aj} = (e_{sj} \frac{RH_{meanj}}{100}) \quad (۷)$$

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

$$\gamma_j = 0.000665 * P_j \quad (۸)$$

$$\Delta_j = \frac{4098(0.6108 \exp(\frac{17.27T_j}{T_j+273.3}))}{(T_j+273.3)} \quad (۹)$$

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 نمود تا ضریب اقلیمی α بدست آید.

برای محاسبه ضریب اقلیمی β بایستی پارمترهای R و PR را محاسبه نمود که توسط فرمول ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$PR = AWC - (St + Su) \quad (۱۰)$$

$$R = \begin{cases} \Delta St + \Delta Su & \Delta St + \Delta Su \geq 0 \\ 0 & \Delta St + \Delta Su < 0 \end{cases} \quad (۱۱)$$

که در آن AWC ، حداکثر آب خاک در دولایه سطحی (St) و زیر سطحی (Su) به ترتیب با عمق‌های از ۰ تا ۱۰۰ میلی متر و ۱۰۰ 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.

نشریه علوم آب و خاک

برای برآورد ضریب اقلیمی ϵ بایستی PRO و RO را محاسبه نمود سپس از تقسیم RO به PRO بدست می‌آید. که PRO، از اختلاف بین AWC و PR بدست 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 ϵ بایستی PSA و SA را محاسبه نمود که از حاصل تقسیم SA به PSA بدست می‌آید. PSA، برابر با میزان بارش ماهانه برف است و آب معادل برف از فرمول 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 بدست می‌آید.

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

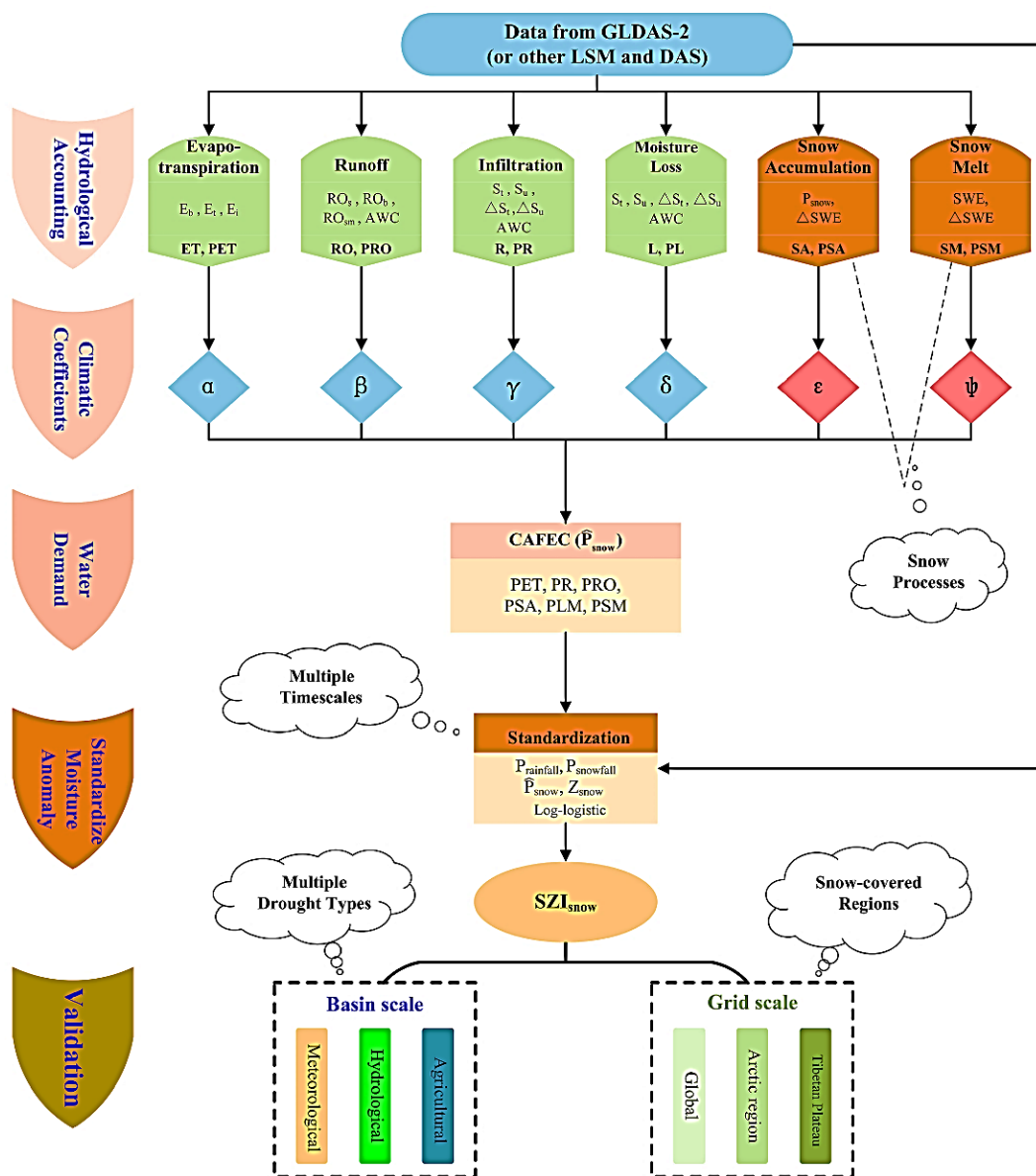
$$\begin{cases} PLt = \text{Min}(PET, St) \\ PLs = (PET - PLt) \frac{su}{AWC} \end{cases} \quad (13)$$

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

برای برآورد ضریب اقلیمی L که از تقسیم SM به PSM بدست می‌آید بایستی در ابتدا PSM، برابر با SWE است که ذوب برف از طریق فرمول ۱۵ محاسبه شود:

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

فلوچارت روشی را همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است برای نشان دادن مراحل برآورد SZIsnow بکارگرفته می‌شود.



شکل ۲. فلوجارت محاسبه شاخص SZIsnow

هر دو ذخیره رطوبت خاک و ذخیره برف به عنوان مخازن در SZIsnow در نظر گرفته می شوند. تغییر در ذخیره رطوبت خاک (نفوذ خاک یا از دست دادن رطوبت خاک) و برف (انباشت SWE یا ذوب برف) می تواند تعادل آب منطقه ای (تامین آب یا تقاضای آب) را تغییر دهد و سپس بر شرایط خشکسالی تأثیر بگذارد. در نتیجه، SZIsnow شامل فرآیندهای هیدرولوژیکی جامع تری نسبت به SZI است. حاشیه نویسی به شکل ابر، مزایای SZIsnow را نشان می دهد

نشریه علوم آب و خاک

جدول ۲، نشان دهنده وضعیت خشکسالی و ترسالی براساس شاخص $SZIsnow$ می‌باشد (۲۲ و ۱۷).

جدول ۳. مقادیر آستانه استاندارد شده برای طبقه بندی خشکسالی و رطوبت $SZIsnow$

طبقه بندی	مقدار آستانه شاخص $SZIsnow$
-	طبقه بندی خشکسالی
خشکسالی حاد	$\alpha < -2$
خشکسالی شدید	$-2 \leq \alpha < -1.5$
خشکسالی متوسط	$-1.5 \leq \alpha < -1$
خشکسالی خفیف	$-1 \leq \alpha < -0.5$
نرمال	$-0.5 \leq \alpha < 0.5$
-	طبقه بندی ترسالی
ترسالی خفیف	$0.5 \leq \alpha < 1$
ترسالی متوسط	$1 \leq \alpha < 1.5$
ترسالی شدید	$1.5 \leq \alpha < 2$
ترسالی حاد	$\alpha \geq 2$

$SZIsnow$ بر اساس میزان پارامترهای ورودی‌اش 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.

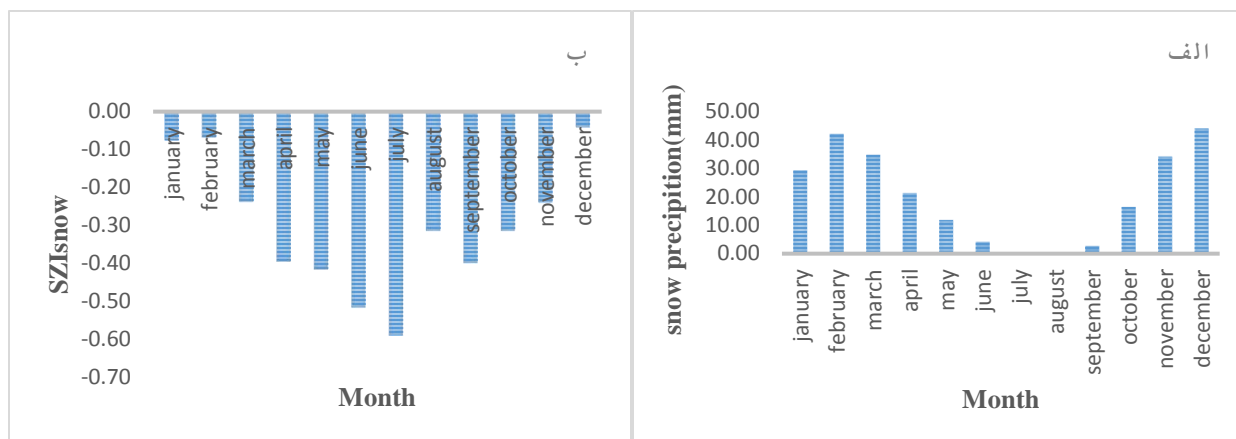
نتایج و بحث:

در پژوهش حاضر، شاخص خشکسالی برفی $SZIsnow$ بصورت میانگین سالانه برای همه‌ی ماه‌های میلادی از سال ابی میلادی ۱۹۸۲ یعنی ماه اکتبر شروع و تا اکتبر سال ۲۰۲۳، مورد مطالعه، در گام‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه قرار گرفته‌است. طبق نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر که خشکی‌ها را در مقیاس حوضه، با نشان دادن وضعیت پوشش برفی نشان می‌دهد، مطالعات صورت گرفته توسط ژانگ و همکاران (۲۲) و تیان و همکاران (۱۷)، 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 سه ماهه برای خشکسالی برفی، متناسب با دوره حدوداً سه ماهه انباشت برف در حوضه‌های برفی است. بطوریکه انباشت برف در حوضه‌ها، معمولاً طی ماه‌های آذر تا بهمن ماه و گاه تا اسفند، صورت می‌گیرد و بعد از آن مرحله ذوب صورت می‌گیرد. از سوی دیگر کاربرد شاخص خشکسالی برفی، نشان دادن تاثیر انباشت برف بر دبی آبراهه حوضه می‌باشد که بعضاً کاهش

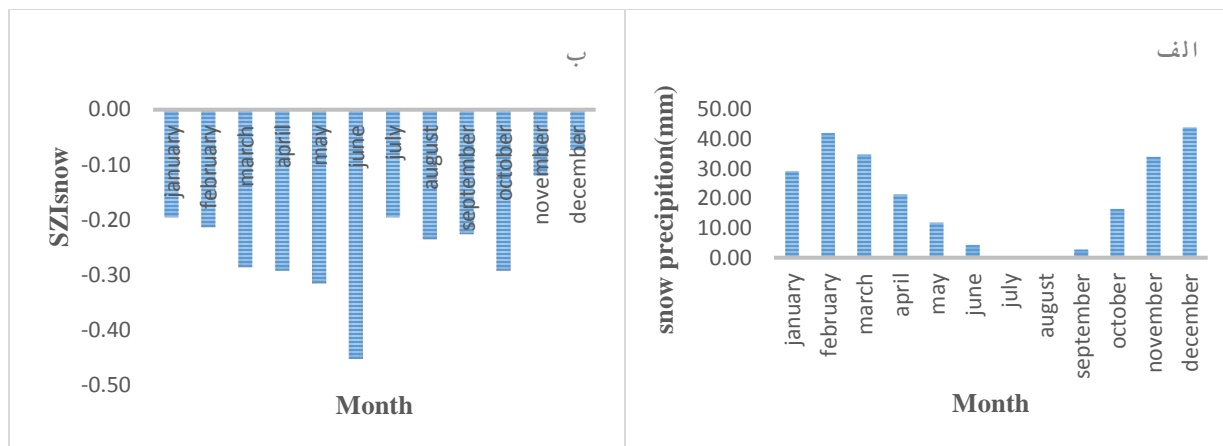
آبدهی آبراهه تحت تاثیر برف انباشته در حوضه است که البته پس از فرایند ذوب، بر آبدهی اضافه خواهد شد. از اینرو خشکسالی ظاهری در آبدهی آبراهه در حوضه های برفی دیده می شود که به همین دلیل، توصیه شده که برای پایش خشکسالی در حوضه های برفی، از شاخص خاصی تحت عنوان شاخص خشکسالی برفی استفاده شود (۲۲). لذا گام زمانی سه ماهه، بعنوان گام زمانی سری زمانی خشکسالی برفی ابتدا انتخاب و پیشنهاد گردید.



شکل ۳: نمودار الف، تغییرات ماهانه سطح پوشش برفی درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳). نمودار ب، تغییرات ماهانه شاخص

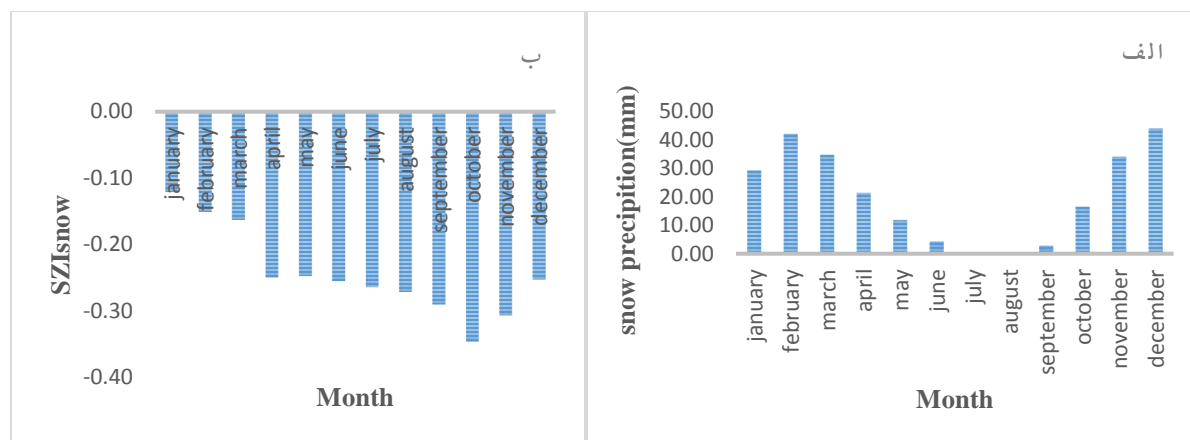
SZIsnow، درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳) در گام زمانی ۳ ماهه

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 می دهد. همانطور که در نمودار ب قابل مشاهده است، ماه دسامبر، به میزان -0.07 و سپس ماه فوریه، به میزان -0.12 و ماه ژانویه، به میزان -0.1 کمترین میزان خشکسالی را داشتند که دلیل آن، در نمودار الف، مشهود است. به طوریکه در ماه دسامبر، فوریه و سپس ژانویه بیشترین مقادیر بارش برف (به ترتیب 43.98 ، 42.12 و 29.24 میلی متر)، در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. همچنین در ماه جولای، شاخص SZIsnow، بیشترین خشکسالی را به مقدار -0.59 نشان می دهد. به این علت که در ماه جولای، هیچگونه مقدار برفی در سطح باریده نشده است (شکل ۳، الف). همچنین نمودار ب، در ماه های جون، می، سپتامبر، آوریل، اگوست، اکتبر، مارس و نوامبر به ترتیب با مقادیر خشکی -0.52 ، -0.42 ، -0.40 ، -0.39 ، -0.31 ، -0.24 و -0.19 را نشان می دهد.



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

شکل ۴، تغییرات ماهانه پوشش برفی و روند خشکسالی بر اساس شاخص SZIsnow در درازمدت (میانگین سالانه)، در گام زمانی ۶ ماهه از اکتبر سال ۱۹۸۲ تا اکتبر سال ۲۰۲۳ (ماه آبی میلادی) را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار ب قابل ملاحظه است، ماه دسامبر، به میزان -0.09 کمترین میزان خشکسالی را داشتند که دلیل آن، در نمودار الف، مشهود است. به طوری که در ماه دسامبر، بیشترین مقادیر بارش برف (به ترتیب 43.98) در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. همچنین در ماه جون، شاخص SZIsnow، بیشترین خشکسالی را به مقدار -0.45 نشان می‌دهد. به این علت که در ماه جون، مقدار پوشش برفی خیلی کمی را دارد (شکل ۴، الف). مابقی ماه‌ها، هرچند به علت وجود برف باریده شده در حوضه، شاخص SZIsnow، روند خشکسالی را نشان می‌دهد.



شکل ۵: نمودار الف، تغییرات ماهانه پوشش برفی درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳). نمودار ب، تغییرات ماهانه شاخص SZIsnow.

درازمدت (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۳) در گام زمانی ۱۲ ماهه

شکل ۵، تغییرات ماهانه پوشش برفی و روند خشکسالی بر اساس شاخص SZIsnow در درازمدت (میانگین سالانه)، در گام زمانی ۱۲ ماهه از اکتبر سال ۱۹۸۲ تا اکتبر سال ۲۰۲۳ (ماه آبی میلادی) را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار ب قابل ملاحظه است، ماه ژانویه، به میزان ۰.۱۳- و سپس ماه فوریه، به میزان ۰.۱۶- کمترین میزان خشکسالی را داشتند که دلیل آن، در نمودار الف، مشهود است. به‌طوریکه در ماه‌های مذکور، بیشترین مقادیر پوشش برفی (به ترتیب ۲۹.۲۴، ۴۲.۱۲)، در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. همچنین در ماه اکتبر، شاخص SZIsnow، بیشترین خشکسالی را به مقدار ۰.۳۵- نشان می‌دهد. به این علت که در ماه اکتبر، مقدار پوشش برفی کمی (۱۶.۴۵) را دارد (شکل ۴، الف). مابقی ماه‌ها، هرچند به علت وجود برف باریده شده در حوضه، شاخص SZIsnow، روند خشکسالی را در گام زمانی ۱۲ ماهه نشان می‌دهد. همچنین ماه‌های آوریل، ژوئن، می، جولای و اگوست تقریباً روند خشکسالی مشابهی دارند.

نتیجه‌گیری

پایش خشکسالی هیدرولوژی در حوضه‌های برفی، بدلیل انباشت برف و تاخیر در رواناب حاصل از ذوب، بسته به گام زمانی مورد نظر در سری زمانی، مستلزم استفاده از شاخص خشکسالی خاصی تحت عنوان خشکسالی برفی می‌باشد. 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 در طی دوره آماری ۴۱ ساله، مورد مطالعه قرارگرفت. نتایج نشان داد که شاخص جدید SZIsnow، چند متغیره‌ای است که بواسطه 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. به‌طوریکه

درهمه‌ی ماه‌ها از سال خشکسالی اتفاق افتاده است و وضعیت خشکسالی‌ها، بیشتر از نوع متوسط و خفیف می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که SZIsnow به طور 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 هیدرولوژیکی، در مناطق برفی، در مقیاس حوضه‌ای، عملکرد خوبی دارد. نتایج کار حاضر بر اهمیت در نظر گرفتن فرآیندهای برف در تعیین کمیت خشکسالی تحت تغییرات آب و هوای حوضه تأکید دارد.

سپاسگزاری:

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

منابع

1. Arya, S. Pal. (2001). Introduction to micrometeorology, Academic Press, Second edition, 420 pp.
2. - Allen R.G, Pereira L.S, Raes D, and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration, Guide-lines for Computing Crop Water Requirements. FAO, Rome, Italy (FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56. 300 p.).
3. Berhanu, A. A., Ayele, Z. B., & Dagneu, D. C. (2024). Impact of climate-smart agricultural practices on smallholder farmers' resilience in Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101147.
4. Fang, F., & Oosterlee, C. W. (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. Faraji, Z., Vazifedust, M., Kaviani, A., Shakiba, A., and Fakharzadeh, M. 2014. Evaluation rainfall, temperature and humidity of the Global Land Data Assimilation System (GLDAS)Product in Khorasan Razavi. The second national conference on agricultural water management. (In Persian)
6. Huang, Y., Jiang, Y., Jiang, B., Bailey, R. T., Masud, B., Smerdon, B., & Faramarzi, M. (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*, 131342.
7. Huning, L. S., & AghaKouchak, A. (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>.
8. Koziol, B. W., Cinquini, L., Treshansky, A., Murphy, S., & DeLuca, C. (2013, December). Towards the Goal of Modular Climate Data Services: An Overview of NCPP Applications and Software. In *AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2013, pp. IN21B-1397)*.
9. Parvin, Sahra, Minaei, Masoud, Masoud Irannejad, Zarin, & Azar. (2024). A comprehensive review of snow drought: definition, effects, and prospects. In *Fourth National Conference on Data Mining in Earth Sciences*. (in Farsi).
10. Pederson, G. T., Gray, S. T., Woodhouse, C. A., Betancourt, J. L., Fagre, D. B., Littell, J. S., ... & Graumlich, L. J. (2011). The unusual nature of recent snowpack declines in the North American Cordillera. *science*, 333(6040), 332-335.
11. Ludlum, D.M. (1978). The snowfall season of 1976. *Weatherwise*, 31(1), 20-46. <https://doi.org/10.1080/00431672.1978.9931847>.

12. Li, Y., Huang, X., Ma, Y., Feng, Q., & Liang, T. (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>
13. McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. 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; pp. 179–184.
14. Nasserli, M., & Kouckeki, A. (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>
15. Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U. E. A., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., ... & Toll, D. (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>.
16. Staudinger, M.; Stahl, K.; Seibert, J. A drought index accounting for snow. *Water Resour. Res.* 2014, 50, 7861–7872, <https://doi.org/10.1002/2013WR015143>.
17. Tian, L., Zhang, B. Q., Wu, P. (2021). A global drought dataset of standardized moisture anomaly index incorporating snow dynamics (SZIsnow) and its application in identifying large-scale drought events. *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 2259–2278, 2022, <https://doi.org/10.5194/essd-14-2259-2022>.
18. Wiesnet, D. (1981). Winter snow drought. *Eos, Transactions of the American Geophysical Union*, 62(14), 137–137. <https://doi.org/10.1029/EO062i014p00137-04>.
19. Wang, Z., Huang, S., Mu, Z., Leng, G., Duan, W., Ling, H., ... & Peng, J. (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>
20. Wang, B., & Lan, C. Q. (2011). Biomass production and nitrogen and phosphorus removal by the green alga *Neochloris oleoabundans* in simulated wastewater and secondary municipal wastewater effluent. *Bioresour. Technol.*, 102(10), 5639-5644.
21. Zotarelli, L., Dukes, M. D., Romero, C. C., Migliaccio, K. W., & Morgan, K. T. (2010). Step by step calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). *Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida*, 8.
22. Zhang, B., Xia, Y., Huning, L. S., Wei, J., Wang, G., & AghaKouchak, A. (2019). A framework for global multicategory and multiscalar drought characterization accounting for snow processes. *Water Resources Research*, 55, <https://doi.org/10.1029/2019WR025529>.
23. Zhang, B. Q., Zhao, X. N., Jin, J. M., & Wu, P. T. (2015). Development and evaluation of a physically based multiscalar drought index: The standardized moisture anomaly index. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 120, 11,575–11,588. <https://doi.org/10.1002/2015JD023772>.

Estimation of the SZI_{snow} snow index on a basin scale using the GLDAS database

Fatemeh Afsharipour¹, Mohammad Reza Sharifi², Ali Motamedi³

Fatemehap274@gmail.com

mshaifi@scu.ac.ir

motamedi238@gmail.com

1. Master's student, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Khuzestan water and Electricity Organization

Abstract:

Drought monitoring in snowy basins requires modifications in common drought indices, called snow drought indices. The latest developed snow index is SZI_{snow} . Calculating the said index, while having a 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, transpiration and evaporation are potential transpiration. The mentioned index has been calculated so far only on a continental scale. This is while 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 respectively, July has the highest amount of drought by -0.59, June by -0.45 and October by -0.35..

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