Climate Change & Climate Disasters

Print ISSN: 2783-0551

University Zanjan

Investigating the spatio-temporal distribution of snowmelt water equivalent (SWE) in the snow catchment areas of Iran in the cold season of the year

Masoud jalali [1] | Samin Mohamadi [2]

1 -Assiistant Professor in climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2- Ph.D. Student of climatology, University of Zanjan, Iran

Article Info:

Article type:
Research Article

history:
Received:
2022/7/11
Received:
2023/8/7
Accepted:
2022/11/24
Published:
2023/1/5

Keywords:
water equivalent to snowmelt, MERRA2, snow catchment areas, Iran

Abstract: Despite the fact that the snow masses in the snow-bearing mountains provide vital water resources for ecosystems and society, but they are sensitive to climate warming. With the occurrence of climate change in recent years, the amount of snow storage in the snow-bearing areas has decreased significantly. Snow plays an essential role in providing the world's water resources, climate and biogeochemical processes on the earth's surface. he global importance of snowfall is undeniable. Snowfall causes the earth's surface to cool. On the other hand, water from melting snow supplies the amount of fresh water needed by one sixth of the world's population. Snow also attracts tourists and strengthens the tourism industry. Recreational activities, including the skiing industry, attract billions of dollars of income during the year. The reduction of water resources resulting from snow melting has affected the amount of agricultural and garden production, as well as the volume of environmental water in the rivers. In the current research, the amount and trend of changes in the snow mass in the snow catchment areas of the Alborz and Zagros mountain ranges during a period of 42 years were studied. Zoning maps of water equivalent to snowmelt were produced using MERRA2 satellite model data and in the geographic information system environment. The results showed that the highest amount of water equivalent to snowmelt in January (14.15 liters per square meter) is observed in the central Alborz region to the northwest of Iran (Alborz) and the Zardkoh Bakhtiari region .

Cite this article: Jalali, M, Mohamadi, S (2023). Investigating the spatio-temporal distribution of snowmelt water equivalent (SWE) in the snow catchment areas of Iran in the cold season of the year. Climat Chenge and Climat Disasters, 2(3), 170-189.
© The Author(s).
Homepage: cccd.znu.ac.ir Publisher: University of Zanjan

دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی
شاپا چاپی: ۲۷۸۳-۰۵۵۱
دانشگاه زنجان

بررسی پراکنش فضایی–زمانی آب معادل ذوب برف(SWE) در نواحی برف‌گیر ایران در فصل سرد سال

مسعود جلالی [۱] | ثمین محمدی [۲]

۱. استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اطلاعات مقاله:
نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۰
بازنگری: ۱۴۰۱/۹/۸
پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۵
انتشار: ۱۴۰۲/۳/۱۵

واژگان کلیدی:
آب معادل ذوب برف ،
MERRA2 ,نواحی برف گیر
,ایران

چکیده: با وجود این که توده‌های برف موجود در کوه‌های برف‌گیر منابع حیاتی آب اکوسیستم‌ها و جامعه را مهیا می‌کنند اما در مقابل گرمایش اقلیمی حساس هستند.با وقوع پدیده تغییر اقلیم در سال‌های اخیر، حجم ذخیره برف در مناطق برف‌گیر کاهش چشم‌گیری داشته است. برف نقش اساسی در تامین منابع آب جهان، وضعیت اقلیم و فرآیندهای بیوژئوشیمیایی سطح زمین ایفا می‌کند. اهمیت جهانی بارش برف موضوعی انکار ناپذیر است، بارش برف سبب خنک شدن سطح زمین می‌شود. از سوی دیگر، آب ناشی از ذوب برف مقدار آب شیرین مورد نیاز یک ششم جمعیت جهان را تامین می‌کند برف هم‌چنین سبب جذب گردشگر شده و صنعت توریسم را تقویت می‌کند. فعالیت‌های تفریحی از جمله صنعت اسکی سبب جذب چند میلیارد دلاری درآمد در طی سال می‌شود کاهش منابع آبی حاصل از ذوب برف بر مقدار تولیدات زراعی و باغی و هم‌چنین حجم آب زیست‌محیطی در رودخانه‌ها تاثیر گذار بوده است. در تحقیق حاضر، مقدار و روند تغییرات توده برف در مناطق برف‌گیر رشته کوه‌های البرز و زاگرس در طی بازه زمانی ۴۲ ساله (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱) مطالعه شد. نقشه‌های پهنه‌بندی (توزیع مکانی–زمانی) آب معادل ذوب برف با استفاده از داده‌های مدل ماهواره **MERRA2** و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تولید شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار آب معادل ذوب برف در ماه ژانویه (۱۴/۱۵ لیتر بر متر مربع) در محدوده البرز مرکزی تا شمال‌غرب ایران (البرز) و محدوده زرد کوه بختیاری (زاگرس) مشاهده می شود.

استناد: جلالی, مسعود, محمدی, ثمین (۱۴۰۲). بررسی پراکنش فضایی–زمانی آب معادل ذوب برف(**SWE**) در نواحی برف‌گیر ایران در فصل سرد سال. دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی, ۲(۳), ۱۷۰–۱۸۹

© **نویسندگان .**

ناشر: دانشگاه زنجان.

Homepage: cccd.znu.ac.ir

مقدمه

برف مهم ترین گونه‌ی بارش مناطق کوهستانی شمال باختری ایران است که افزایش یا کاهش آن، فعالیت های دیگر پدیده‌های نیواری، کشاورزی و حتی گردشگری را تحت تاثیر قرار می‌دهد، ضمن آن که برف منبع مهمی برای تغذیه‌ی جریان های رودخانه‌ای در بهار و تابستان است(نکونام و مزیدی، ۱۳۸۹). آب معادل ذوب برف (SWE)[1] حاصل واکنش های متقابل و مرتبط به هم در یک حوضه‌ی آبخیز است که فراسنج های آبشناسی مانند جریان های سطحی، تغذیه‌ی آبخوان ها، روان گشتن سیلاب ها و پوشش های گیاهی را متاثر می‌سازد(رسولی و ادهمی،۱۳۸۶). آزاد شدن برفاب، نقش مهمی در تامین آب کشاورزی و تغذیه‌ی منابع زیرزمینی داشته و به اعتقاد گودیسون و همکاران(۲۰۰۰)حدود یک سوم آب مورد نیاز کشاورزی سراسر کره‌ی زمین از برف تامین می‌شود. طبق بررسی‌های مشایخی (۱۳۶۹) بیش از ۵۰ درصد آب های سطحی و زیرزمینی ایران، حاصل ذوب برف در مناطق مختلف کشور است. بنابراین، آگاهی از میزان ذخایر برفی برای ذخیره سازی، مهار کردن سیلاب‌ها و تامین آب مورد نیاز پایین دست لازم است (حجام و شرعی پور،۱۳۸۲).

آب معادل ذوب برف۲ عبارت است از: ضخامت لایه آبی که از ذوب حجم اولیه یا ضخامت برف ناشی می‌شود و معمولا به صورت کیلوگرم در متر مربع یا میلی متر بیان می‌شود. آب معادل ذوب برف مقدار آب موجود در داخل یک توده برف است. به بیانی دیگر عمق آبی است که از لحاظ نظری اگر کل توده برف ذوب شود، به دست می آید (اداره آب و هواشناسی و حفاظت جنگل مونتانا، ۲۰۱۹). وو و همکاران (۲۰۱۲) آب معادل ذوب برف را به عنوان عمق آبی که در صورت ذوب شدن کامل توده برف حاصل می شود تعریف کرده‌اند، آب معادل ذوب برف اهمیت آب و هوایی دارد زیرا حاوی اطلاعات منطقه ای در مورد ناهنجاری های آب و هوایی قبلی (مانند دما و بارش) است و می تواند آینده را تحت تأثیر قرار دهد. دانستن میزان آب

1-snowmelt water equivalent

۲ - میزان آب به‌دست‌آمده در صورت ذوب آنی برف

معادل ذوب برف برای پیش‌بینی رودخانه‌ها و سیلاب‌ها و در نتیجه، برنامه‌ریزی منابع آب و کاهش خطرات (به عنوان مثال، خشکسالی و سیل) ضروری است، زیرا می‌توان آن را همراه با بارش برای تعیین میزان روانابی که ممکن است به رودخانه‌ها و نهرها برود، در نظر گرفت. برعکس، گردش‌های جوی بر بارش برف، توده برف و قابلیت پیش‌بینی رواناب بهاره تأثیر می‌گذارند. اندازه گیری مقدار برف یا عمق تجمعی برف به اندازه کافی مشکل است ولی اندازه‌گیری آب معادل برف در روی زمین حتی مشکل‌تر است زیرا نیاز به پیدا کردن مکانی معرف که زیاد پیچیده نبوده و اندازه‌گیری‌ها در آن ممکن باشد، است. در ایالت‌های غربی آمریکا که برف تا بیش از ۵۰ درصد آب مورد نیاز را تامین می کند رایج‌ترین روش ارزیابی آب معادل خود برف روی زمین، اندازه‌گیری برف با نمونه بردار کالیبره شده در مقاطع مختلف، همراه با برش عرضی ثابت که خط سیر برف نامیده می‌شود، می‌باشد.

تابش کیهانی بویژه طیف گاما از جو عبور نموده و در توده برف زمستانه نفوذ می‌کند. آب معادل برف بیشتر باعث تضعیف تابش گاما می‌گردد. چنین تلبش کیهانی در کالیفرنیا آزمایش شده و نشان داده که روش مطلوب و دقیقی برای سنجش آب معادل برف است. رابطه سنسور گاما برای آب معادل برف که از مغزه گیری‌های دستی برف برای سه زمستان که دقیقاً در یک زمان روی داده‌اند دارای ضریب تبیین۰/۹۷ بوده است. آب معادل توده برف با ضریب متوسط چگالی بر عمق کل تعیین می‌شود (ولر و هوفمن، ۱۹۸۴). لایسیمترهای ذوب برف برای اندازه‌گیری اولیه جریان خروجی از انتهای توده برف که از ذوب برف یا باران در حال بارش بر روی توده برف می‌باشد، طراحی‌شده‌اند (کاتلمن، ۱۹۸۴). تعداد کمی از لایسیمترها نیز برای توزین توده برف در یک مکان طراحی شده‌اند. برای تعیین آب معادل برف استفاده از دستگاه‌هایی مانند بالشتک‌های برف، در ۲۰ سال گذشته بیشتر از لایسیمترها مورد تایید بوده است. الدر و همکاران (۱۹۸۹) در یک حوضه کوهستانی در کالیفرنیا، توزیع مکانی و زمانی آب معادل برف را برآورد نموده اند. آنها دریافتند که

ارتفاع یکی از پارامترهای مهم در توزیع مکانی آب معادل برف می باشد. پکوساوا و همکاران (۲۰۰۲) برای حوضه ای در اسلوونی، برای ارائه توزیع مکانی آب معادل برف، روش های مختلف درونیابی را با استفاده از GIS بکار برده اند. آنها با ارزیابی تکنیک‌های مختلف درونیابی دریافتند که روش رگرسیون چند جمله‌ای بهترین روش درونیابی آب معادل برف می‌باشد. میزوکامی و همکاران (۲۰۰۸) از GIS جهت برآورد آب معادل برف در حوضه پریش کریک ایالت یوتای آمریکا استفاده نموده اند. آنها پارامترهای ارتفاع، تابش خورشیدی، جهت باد، پوشش گیاهی و زاویه شیب را به عنوان عوامل مؤثر بر آب معادل برف در نظر گرفته و برای هر یک از این عوامل نقشه‌ای تهیه نموده اند. نهایتاً به منظور تخمین آب معادل برف این نقشه‌ها را با هم ترکیب کرده اند. هارشبرگر و همکاران(۲۰۱۰) با استفاده از مدل SRM[1] داده‌های برف سنجنده MODIS و اطلاعات ایستگاه های تله متری برف در حوضه‌های کوهستانی غرب آمریکا به بررسی جریان های کوتاه مدت تا متوسط ۱ تا ۱۵ روزه پرداخته اند و به منظور بهینه سازی عملکرد مدل کمک به اجرای آن از روش شاخص درجه حرارت برای دستیابی به میزان ذخیره برفی و از حداکثر و حداقل دمای بحرانی برای جداسازی بارش جامد و مایع و یا مخلوطی از باران و برف استفاده کرده اند. مقایسه این شبیه‌سازی نشان داد پیشرفت قابل توجهی در بهبود عملکرد مدل روی داده است. آدریانا و همکاران (۲۰۲۳) از مجموعه داده-NH) (SWE طی دوره زمانی ۱۹۵۰-۲۰۲۲ که شامل ۱۱۰۷۱ایستگاه در نیمکره شمالی است، استفاده کرده اند. در این مجموعه داده‌های جدید سری‌های زمانی روزلنه فراهم شده است که در طول یک سال متغیر می‌باشد و گسترش وسیعی از اقلیم‌های برف شامل بسیاری از مناطق کوهستانی را پوشش می‌دهد. همچنین در هر ایستگاه، عمق برف مشاهده شده با استفاده از مدل تبدیل برف به آب معادل ذوب برف با عملکرد عالی با استفاده از پارامتر منطقه‌ای براساس متغیرهای اقلیمی به SWE تبدیل

1- Snowmelt Runoff Model

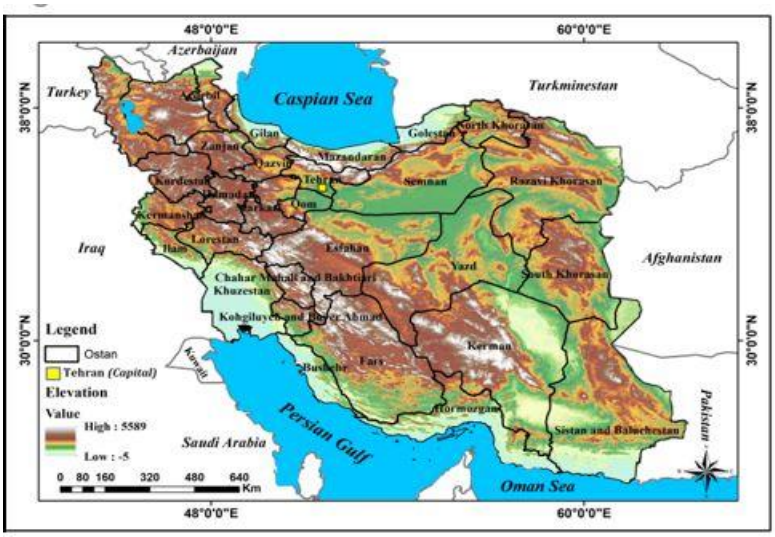
شده است.

برف به جهت این که آب جامد محسوب می‌شود، منبع بسیار مهمی برای تامین آب آشامیدنی، آب آبیاری کشتزارها و باغ‌ها به شمار می‌رود. همچنین به دلیل اینکه با گذشت زمان به آب تبدیل خواهد شد، از اهمیت بیشتری نسبت به باران برخوردار است. زیرا به خاک آسیبی نمی‌زند و به آرامی در آن نفوذ می‌کند و باعث به وجود آمدن آب‌های زیرزمینی می‌شود. بارش برف در ارتفاعات یخچال‌های طبیعی را به وجود می‌آورد که بهترین منبع ذخیره آبی می‌باشند و در آخر بهار و تابستان در اثر بالا رفتن درجه حرارت برف‌ها و یخ‌ها به تدریج ذوب شده و به صورت چشمه و رود جاری می‌شوند. برف هم‌چنین سبب جذب گردشگر شده و صنعت توریسم را تقویت می‌کند. فعالیت‌های تفریحی از جمله صنعت اسکی سبب جذب چند میلیارد دلاری درآمد در سال می‌شود. برف دارای مقدار زیادی هوا است به همین دلیل نقش عایق دارد و از انتقال سرمای بیشتر از ۲۵- درجه جلوگیری می‌کند. چه بسا پوششی از برف می‌تواند از گیاهان در مزارع محافظت کرده و درختان را در مقابل سرمای بیش از حد نگهداری کند. در حقیقت برف بزرگترین پشتوانه زندگی بشر در زمینه تامین آب آشامیدنی و آبیاری کشتزارها است. وقوع خشکسالی برف عواقب شدید اجتماعی و اقتصادی در پی دارد و موجب اثرات منفی بر زیست‌بوم و زندگی انسان‌ها می شود همچنین قحطی، جنگ‌های درون مرزی و برون مرزی و مهاجرت را در پی خواهد داشت. به همین خاطر این مقاله به دنبال پاسخگویی به چگونگی توزیع مکانی و زمانی آب معادل ذوب برف در ایران در نواحی برفگیر در دوره سرد سال است.

داده ها و روش ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق کل پهنه ایران با موقعیت جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳.۵ درجه طول شرقی در نظر گرفته شده است. شکل ۱ ضمن نمایش موقعیت جغرافیایی ایران، نحوه پراکنش ارتفاعات ایران را نمایش می دهد.



شکل(۱) موقعیت جغرافیایی و نحوه پراکنش کوه های ایران

داده‌ها و روش ها

در این تحقیق از شاخص آب معادل ذوب برف که از سایت https://figshare.com/collections/Global_Snow_Drought_Data_Set/5055179 اخذ شده در یک دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ برای کل ایران در مقیاس ماهانه و سالانه استفاده شده است. قدرت تفکیک مکانی آب معادل ذوب برف ۰.۵×۰.۶۲۵ است. داده‌های مذکور ابتدا به واحد گرم بر متر مربع بر ثانیه بود که به لیتر بر متر مربع تبدیل شد.

به منظور شناسایی روند تغییرات داده‌ها در طول زمان از روش رگرسیون خطی و غیر خطی بهره گرفته شده است. در این روش در یک دستگاه مختصات در محور افقی سال و در محور عمودی مقادیر داده‌های مربوط به آن سال ارایه شده و بهترین خط برازش با معادله $y= a + bx$ از بین نقاط گذرانده شده است. سپس درجه همبستگی آنها به روش های آماری مشخص‌گردیده است. در شرایطی که رابطه دو یا چند متغیر به شکل دو یا چند جمله‌ای باشد، خط نمی‌تواند پراش یک متغیر را با متغیر دیگر توجیه کند. به کارگیری رگرسیون برای نشان دادن رابطه انحنایی مستلزم برازش یک نوع رگرسیون، به نام رگرسیون چند جمله‌ای است (عساکره، ۱۳۹۰).

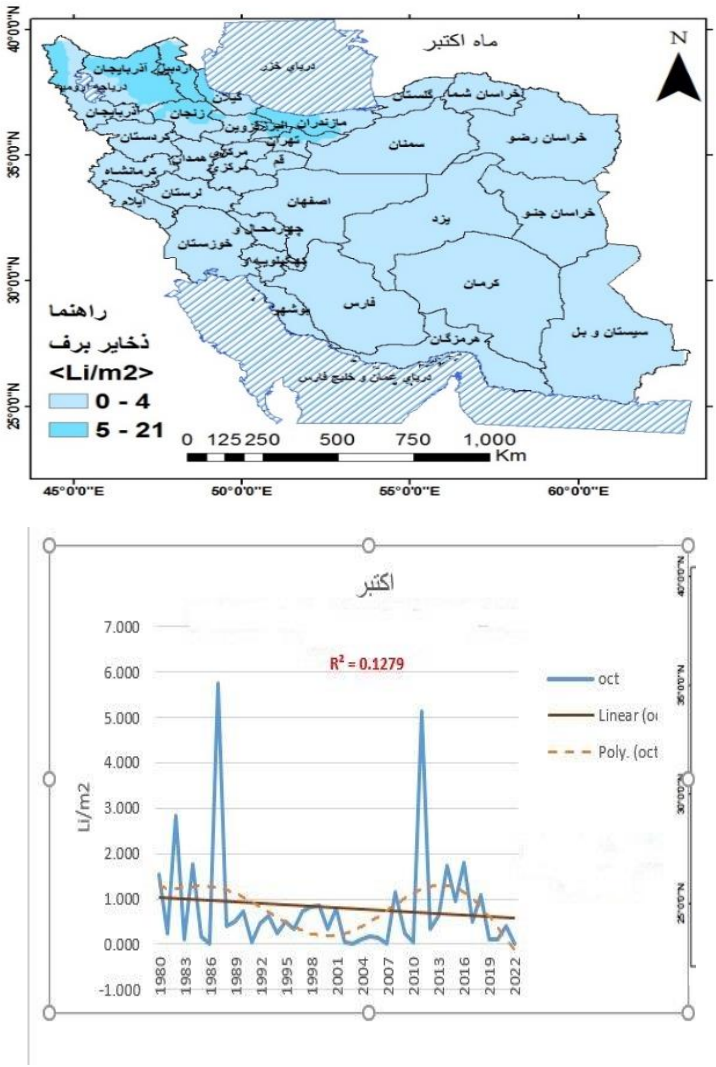
برای پهنه بندی میزان آب معادل برف در وسعت ایران از روش های تحلیل فضایی در ARCGIS استفاده شده است. برای میان یابی نیز روش IDW انتخاب گردید. روش وزن دهی معکوس فاصله ترکیب خطی از داده‌های موجود برای پیش بینی مقادیر نامعلوم پیشنهاد می‌کند (ایکسی و همکاران، ۲۰۱۱) که در آن بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط فقط فاصله ها مد نظر قرار می گیرد. اعداد بدست آمده محدود به دامنه ی اعداد موجود می‌باشند. این روش ایزوتروپیک است، زیرا تاثیر نقطه‌ی ورودی وابسته به فاصله تا نقطه ی مجهول است. بهترین جواب زمانی حاصل می‌شود که نمونه برداری متراکم و با توجه به تغییرات محلی باشد. روش IDW براساس قانون اول جغرافیا که مبین شباهت بیشتر به پدیده های نزدیک به هم است، می‌باشد.

محاسبات IDW به دو عامل وابسته است:

- انتخاب توان P در فرمول $W=(1/d)^p$
- موقعیت نقاط مجاور، به عبارتی وضعیت واحدهای همسایگی(هوشنگی و همکاران، ۱۳۹۳).

یافته‌ها و نتایج

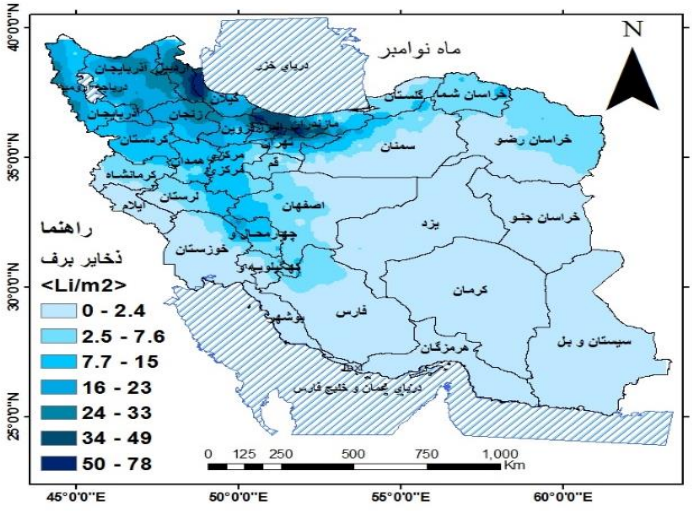
با توجه به نمودار ارائه شده در شکل(۲)، می‌توان بیان نمود که مقادیر آب معادل برف در ماه اکتبر، دارای روند کاهشی می‌باشد. در این ماه بیشترین مقدار متغیر برای سال‌های مورد بررسی، معادل با ۵/۷۳ لیتر در متر مربع می باشد که برای سال ۱۹۸۷ ثبت شده است. پس از آن در سال ۲۰۱۱، این مقدار به ۵/۱۳ نیز رسیده است. اما به طور کلی، مقدار آب معادل برف همواره حالت کاهشی داشته است. کمینه مقدار آب معادل برف در این ماه در برخی از سال‌ها به صفر رسیده که نشان از عدم وجود ذخیره برف در این ماه می‌باشد. در این شکل دو دوره افزایشی قابل مشاهده است. مقدار ضریب تبیین۱/۳ درصد بوده در حالی که در معادله غیرخطی به حدود ۱۳ درصد افزایش می‌یابد که رفتار غیرخطی آب معدل ذوب برف را نشان می‌دهد. در نقشه پهنه بندی این ماه بیشترین مقدار ۲۱-۵ لیتر بر متر مربع متعلق به البرز مرکزی و ارتفاعات آذربایجان شرقی می‌باشد.

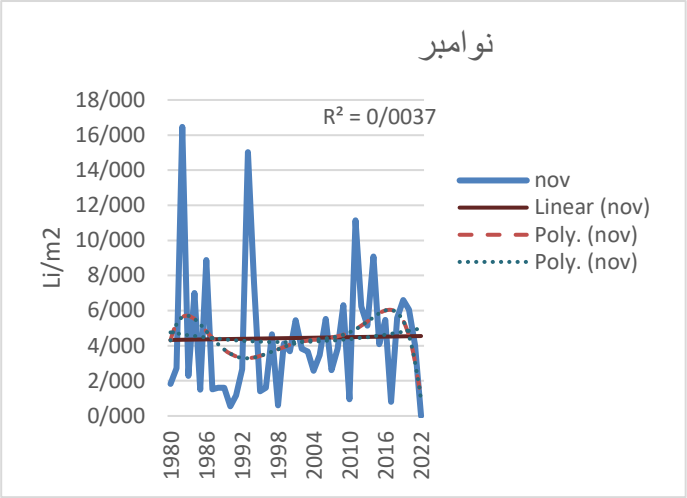


شکل (۲) تغییرات سالانه و روند خطی و چندجمله ای و توزیع فضایی میزان ذخیره برف در ایران در ماه اکتبر (۱۹۸۰-۲۰۲۱)

همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می شود مقادیر آب معادل برف در ماه نوامبر، دارای نوسانات بوده و روند آن مثبت است. در این ماه بیشترین مقدار آب معادل ذوب برف ۱۶/۴۶لیتر در متر مربع در سال ۱۹۸۲ و بعد از آن در سال ۱۹۹۳ با مقدار ۱۵لیتر در متر مربع رخ داده است و کمینه در این ماه

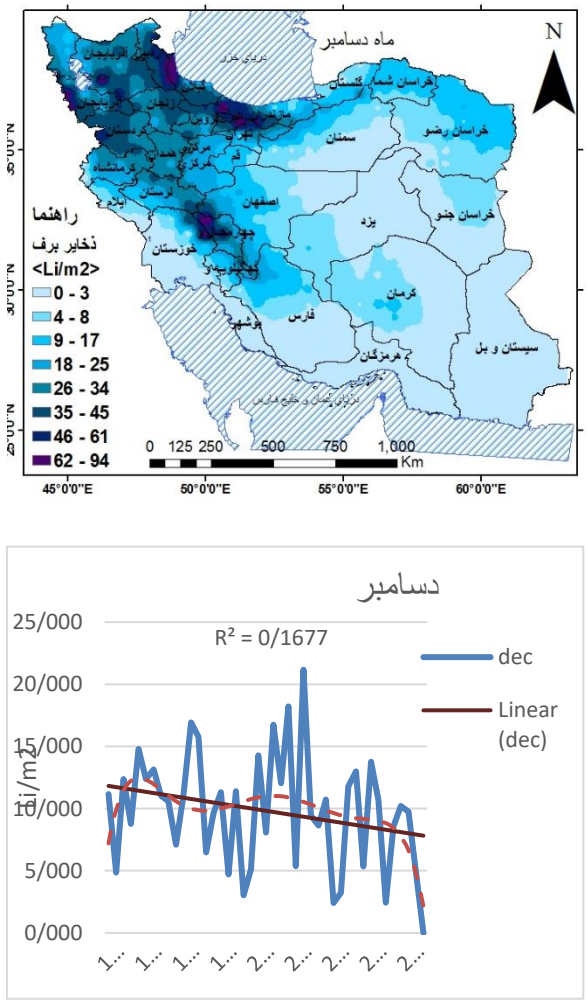
۰/۵لیتر در متر مربع در سال ۱۹۹۰ به ثبت رسیده است. در این شکل چهار دوره افزایشی و چهار دوره کاهشی در طول دوره آماری مورد مطالعه قابل مشاهده است. مقدار ضریب تبیین در معادله خطی مقدار بسیار ناچیزی حدود ۰/۰۳ درصد بوده در حالی که در معادله غیر خطی به حدود ۸ درصد افزایش می‌یابد. با توجه به نقشه پهنه بندی بندی، این ماه با قرار گیری در اواسط فصل پاییز و شروع فصل بارندگی و کاهش دما شاهد افزایش میزان آب معادل ذوب برف است به طوری که بیشترین مقدار (۲۴ تا ۷۸) لیتر بر متر مربع در بخش های البرز مرکزی، البرز شرقی و قسمت های شمال غرب ایران دیده می شود. میزان ۷/۷ تا ۲۴ لیتر بر متر مربع در رشته کوه‌های زاگرس، ارتفاعات کردستان، ارتفاعات آذربایجان غربی و بخش هایی از مرکز کشور مشاهده می‌شود. در بقیه مناطق ایران کمتر از ۷ لیتر بر متر مربع است.





شکل (۳) تغییرات سالانه و روند خطی و چندجمله ای و توزیع فضایی میزان ذخیره برف در ایران در ماه نوامبر (۱۹۸۰-۲۰۲۱)

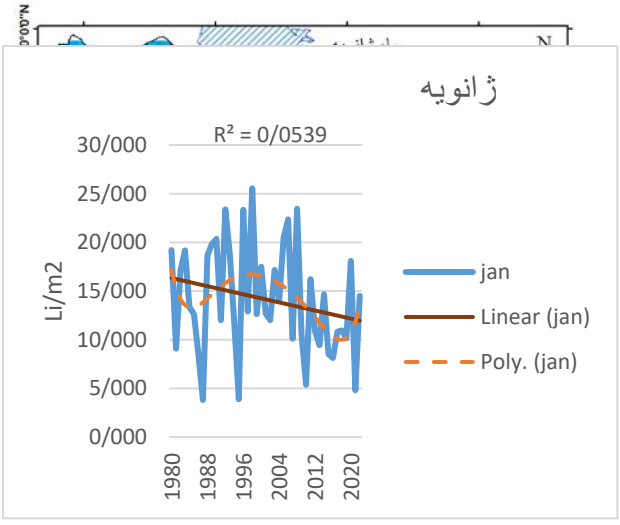
همان‌گونه که در شکل(۴)مشاهده می شود مقادیر آب معادل برف در ماه دسامبر، دارای نوسانات بوده و روند آن منفی است. در این ماه بیشترین مقدار آب معادل ذوب برف ۲۱/۱۷لیتر در متر مربع در سال ۲۰۰۶ به ثبت رسیده است. ضریب تبیین در معادله خطی ۶/۶ درصد و در معادله غیرخطی حدود ۱۷ درصد است که رفتار غیرخطی این متغیر را در ایران نشان می‌دهد. همانطور که در نقشه های پهنه بندی قابل مشاهده است در فصل زمستان با افزایش بارش و کاهش دما بیشتر بارش ها به صورت جامد اتفاق می‌افتد؛ به همین دلیل ذخایر برف هم افزایش پیدا می‌کند. این افزایش در بخش های البرز مرکزی، زاگرس، ارتفاعات سهند و سبلان، ارتفاعات کردستان و ارتفاعات لرستان به میزان ۹۴تا۳۵ لیتر بر متر مربع می‌رسد و بعد از آن به میزان ۹ تا ۳۴ لیتر بر متر مربع برای ارتفاعات خراسان شمالی و رضوی، ارتفاعات کرمان، کوه‌های تفتان و بخش های شمالی ارتفاعات خوزستان می‌باشد و مابقی مناطق ایران کمتر از ۹ لیتر بر متر مربع را دارا می‌باشند.



شکل (۴) تغییرات سالانه و روند خطی و چندجمله ای و توزیع فضایی میزان ذخیره برف در ایران در ماه دسامبر (۱۹۸۰-۲۰۲۱)

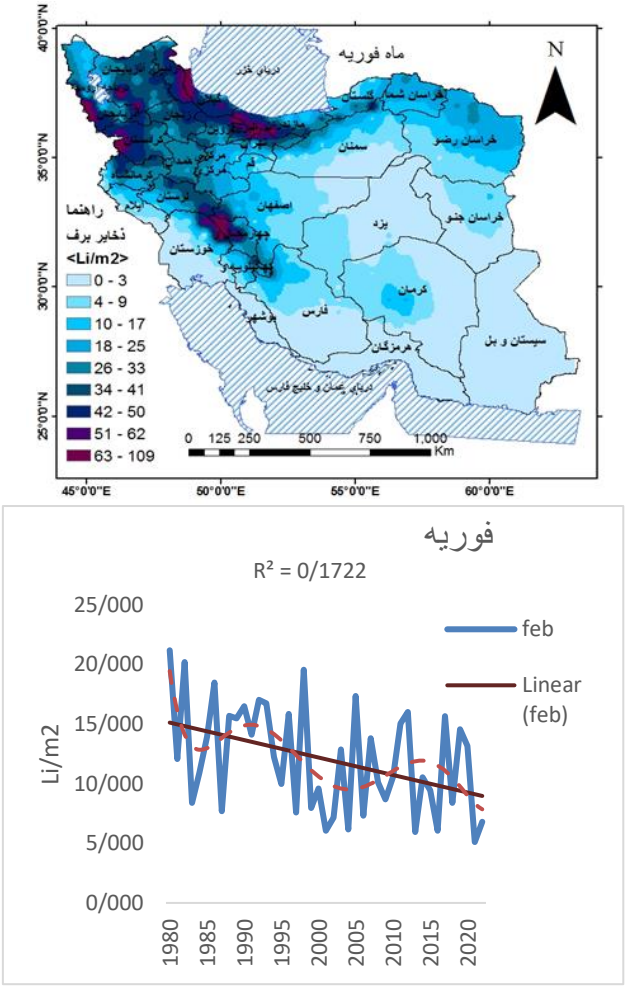
مقدار آب معادل برف در ماه ژانویه در طول دوره آماری دارای نوسانات بوده و روند آن منفی است. در این ماه بیشترین مقدار آب معادل برف ۲۵ لیتر در متر مربع و کمینه آن در سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۵ به کمتر از ۵ لیتر در هر متر مربع می رسد. در شکل ۵ یک دوره افزایشی و ۲ دوره کاهشی در ابتدا

و انتهای دوره مورد مطالعه قابل مشاهده است. مقدار ضریب تبیین در معادله خطی حدود ۵ درصد بوده در حالی که در معادله غیر خطی به حدود ۱۵ درصد افزایش می یابد که نشان دهنده توان توجیه بالای روند غیر خطی از رفتار میزان آب معادل ذوب برف در ایران بوده و حالت تصادفی آن را نشان می دهد. از طرف دیگر پایین بودن مقادیر ضریب تبیین در هر دو روند نشانگر آن است که زمان در کاهش مقدار برف در ایران نقش ناچیزی داشته و اثر عوامل دیگر در این نوع بارش در ایران بیش از ۸۰ تا ۹۰ درصد است و باید بدنبال نقش عاملی مانند گرم شدن کره زمین، تغییر الگوهای بارشی و تغییر رفتار الگوهای فشار در بارش های برف ایران بود. در نقشه پهنه بندی میزان آب معادل ذوب برف در ماه ژانویه از کوه های تالش تا البرز مرکزی، ارتفاعات کردستان، ارتفاعات غربی آذربایجان غربی، کوه سهند و زاگرس مرکزی به میزان ۵۸ تا ۱۲۳ لیتر بر متر مربع پراکنده شده است. مقادیر ۳۸ تا ۵۸ لیتر در متر مربع در البرز غربی، جنوب ارتفاعات آذربایجان، کردستان و کوه های لرستان مشاهده می شود. میزان ۲۱ تا ۳۸ لیتر در متر مربع در ارتفاعات خراسان، البرز شرقی، دامنه های زاگرس و ارتفاعات کرمان دیده می شود. بقیه مناطق ایران مقادیری کمتر از ۲۱ لیتر در متر مربع را داراست.



شکل (۵) تغییرات سالانه و روند خطی و چندجمله ای و توزیع فضایی میزان آب معادل برف در ایران در ماه ژانویه (۱۹۸۰-۲۰۲۱)

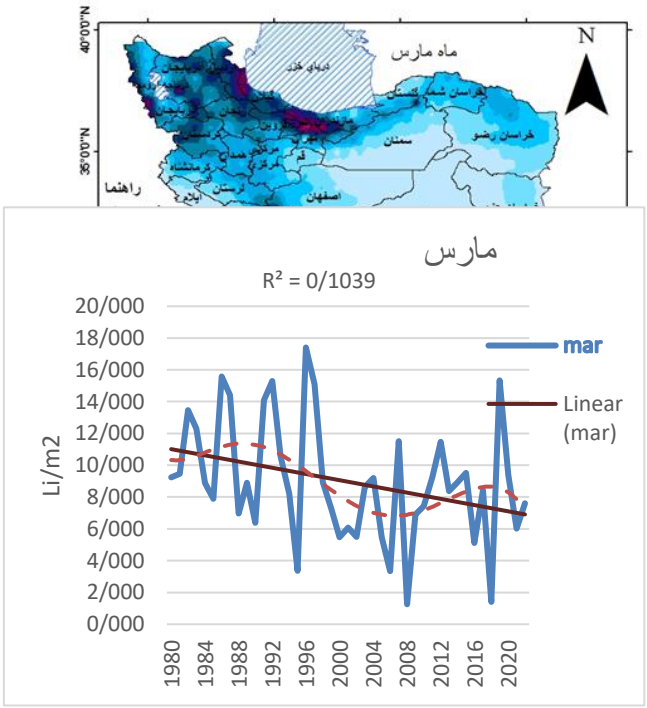
چنانچه در شکل(۶) مشاهده می شود، مقدار آب معادل ذوب برف در ماه فوریه برای سال های مورد بررسی ضمن داشتن نوسانات دارای روند منفی است. هم‌چنین، می‌توان دریافت که در این ماه بیشترین مقدار آب معادل ذوب برف ۲۰ لیتر در متر مربع می باشد که پیش از سال ۱۹۸۰ ثبت شده و همواره دارای روند کاهشی است. کمینه مقدار آب معادل ذوب برف در این ماه، در برخی از سال‌ها (از جمله سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴) به حدود ۵ لیتر در هر متر مربع رسیده است. روند خطی سیر نزولی میزان آب معادل ذوب برف را نشان می دهد که در آن مقدار ضریب تبیین به حدود ۱۷ درصد می رسد. روند غیر خطی در طول زمان ۲ دوره نزولی و ۲ دوره صعودی را نمایش می دهد که در آن میزان ضریب تبیین نسبت به ماه قبل به حدود ۲۷ درصد می رسد. نقشه پهنه بندی این ماه میزان آب معادل برف در ماه فوریه از کوه های تالش تا البرز مرکزی، ارتفاعات کردستان، زردکوه بختیاری، ارتفاعات آذربایجان غربی، کوه های سهند و سبلان به میزان ۴۲ تا ۱۰۹لیتر بر متر مربع پراکنده شده است. مقادیر ۲۶تا ۴۲ لیتر بر متر مربع در غرب آذربایجان شرقی، ارتفاعات لرستان و شرق ارتفاعات کردستان مشاهده می‌شود. میزان ۱۰تا۲۶ لیتر در متر مربع در ارتفاعات خراسان رضوی، ارتفاعات خراسان شمالی، ارتفاعات گلستان، کوه های تفتان و ارتفاعات البرز شرقی دیده می‌شود. بقیه مناطق ایران مقادیری کمتر از ۱۰ لیتر بر متر مربع را دارا می‌باشند.



شکل (۶) تغییرات سالانه و روند خطی و چندجمله ای و توزیع فضایی میزان آب معادل برف در ایران در ماه فوریه (۱۹۸۰-۲۰۲۱)

چنانچه در شکل(۷) مشاهده می شود میزان آب معادل برف در ماه مارس در طی سال‌های مورد بررسی دارای نوسانات با روند منفی است که میزان ضریب تبیین آن حدود ۱۰ درصد است. در این ماه بیشترین آب معادل برف معادل ۱۸ لیتر در متر مربع می باشد که در سال ۱۹۸۶ ثبت شده است. کمینه مقدار در این ماه، در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ به کم‌تر از ۲ لیتر در هر متر مربع رسیده است. روند چند جمله‌ای نیز نشان می دهد که

مقدار آب معادل برف دارای ۲ دوره کاهشی و ۲ دوره افزایشی است. میزان ضریب تبیین حدود ۱۷درصد است. همانطور که در نقشه پهنه بندی قابل مشاهده است در ماه مارس بیشترین آب معادل برف متعلق به رشته کوه های البرز مرکزی، البرز غربی، قسمت‌هایی از ارتفاعات غرب آذربایجان غربی و قسمت هایی از رشته کوه زاگرس به میزان ۴۳ تا ۱۲۰ لیتر بر متر مربع پراکنده شده است. مقادیر ۲۷ تا۴۳ لیتر بر متر مربع در ارتفاعات کردستان، ارتفاعات لرستان و ارتفاعات آذربایجان مشاهده می‌شود. میزان ۱۲ تا ۲۷ لیتر بر متر مربع در ارتفاعات خراسان رضوی و شمالی، البرز شرقی و ارتفاعات کرمان قابل مشاهده می‌باشد. بقیه مناطق ایران مقادیری کمتر از ۱۲ لیتر بر متر مربع را دارا می‌باشند.



شکل (۷) تغییرات سالانه و روند خطی و چندجمله ای و توزیع فضایی میزان آب معادل برف در ایران در ماه مارس (۱۹۸۰-۲۰۲۱)

نتیجه‌گیری

برف نقش اساسی در زندگی انسان‌ها دارد و خشکسالی برف به همین دلیل مشکلات بسیاری به وجود می‌آورد. خشکسالی می‌تولند باعث به وجود آمدن تنش‌های آبی، مشکلات کشاورزی، خشک شدن آب‌های زیرزمینی، فقر، جنگ، بیکاری، مهاجرت‌های دسته جمعی و مشکلات متعدد دیگری شود. این پژوهش با هدف برآورد آب معادل ذوب برف ایران از طریق داده‌های مدل ماهواره‌ای MERRA2 طی یک بازه‌ی زمانی ۴۲ ساله (۲۰۲۱-۱۹۸۰) صورت گرفته است. میزان آب معادل برف در ماه ژانویه از کوه های تالش تا البرز مرکزی، ارتفاعات کردستان، ارتفاعات غربی آذربایجان غربی، کوه سهند و زاگرس مرکزی به میزان ۵۸ تا ۱۲۳ لیتر بر متر مربع پراکنده شده است. مقادیر ۳۸ تا ۵۸ لیتر در متر مربع در البرز غربی، جنوب ارتفاعات آذربایجان، کردستان و کوه های لرستان مشاهده می شود در حالی که در ارتفاعات خراسان، البرز شرقی، دامنه های زاگرس و ارتفاعات کرمان به میزان ۲۱ تا ۳۸ لیتر در متر مربعمی رسد. بقیه مناطق ایران مقادیری کمتر از ۲۱ لیتر در متر مربع را داراست. میزوکامی و همکاران(۲۰۰۳)پارامترهای ارتفاع، تابش خورشیدی، جهت باد، پوشش گیاهی و زاویه شیب را به عنوان عوامل موثر بر آب معادل برف در نظر گرفته لند. در ماه فوریه نیز بیشترین مقدار آب معادل ذوب برف در کوه های تالش تا البرز مرکزی، ارتفاعات کردستان، زردکوه بختیاری، ارتفاعات آذربایجان غربی، کوه های سهند و سبلان به میزان ۴۲ تا ۱۰۹لیتر بر متر مربع پراکنده شده است. در ماه مارس آب معادل برف متعلق به رشته کوه های البرز مرکزی، البرز غربی، قسمت‌هایی از ارتفاعات غرب آذربایجان غربی، قسمت‌هایی از رشته کوه زاگرس و بعد از آن در ارتفاعات کردستان، ارتفاعات لرستان و ارتفاعات آذربایجان مشاهده می‌شود. کمترین میزان در ارتفاعات خراسان رضوی و شمالی، البرز شرقی و ارتفاعات کرمان قابل مشاهده می‌باشد. در ماه اکتبر با تغییرات شکل بارندگی و عوض شدن فصل‌ها میزان آب معادل ذوب برف کاهش یافته یا به طور کلی به صفر می‌رسد. در ماه نوامبر با شروع فصل بارندگی و کاهش دما میزان آب

معادل برف افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار ذخایر برف در بخش های البرز مرکزی، البرز شرقی و قسمت های شمال غرب ایران است. بعد از آن در رشته کوه‌های زاگرس، ارتفاعات کردستان، ارتفاعات آذربایجان غربی و بخش هایی از مرکز کشور دیده می‌شود. در ماه دسامبر با شروع فصل زمستان و افزایش میزان بارش برف و کاهش دما مقدار آب معادل برف هم افزایش پیدا می‌کند. این افزایش در بخش های البرز مرکزی، زاگرس، ارتفاعات سهند و سبلان، ارتفاعات کردستان، ارتفاعات لرستان، ارتفاعات خراسان شمالی و رضوی، ارتفاعات کرمان، کوه‌های تفتان و بخش های شمالی ارتفاعات خوزستان قابل مشاهده است. بنابراین با توجه به نتایج بیان شده میزان آب معادل ذوب برف در هر ماه بستگی به تغییر فصل و تغییر در شکل بارش و میزان دما دارد. جدید نیز حائز اهمیت است.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

منابع

- حجام سهراب، شرعی پور زهرا. ذوب برف در حوضه آبریز طالقان. پژوهشهای جغرافیایی .[Internet] 1382؛۳۵(۴۶):۴۹-۶۲ .
- رسولی اکبر و ادهمی سلام.(۳۸۶). محاسبه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجندهMODIS . فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره: ۵، شماره: ۱۰
- مشایخی، تقی. (۱۳۶۹).استفاده از هیدرولوژی برف در بررسیهای منابع آب، دفتر بررسیهای منابع آب، بخش آبهای سطحی Available from: https://sid.ir/paper/5420/fa
- نکونام زری و مزیدی احمدی.(۱۳۸۹).تحلیل پوشش برف در حوضه فخر آباد یزد. چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام
- Elder, K.R. Rosenthal and R.E. Davis., (1998), "Estimating the spatial distribution of snow Water Equivalence in a Mountain Watershed", Hydrological Processes, Vol. 12, PP: 1793-1808.
- Goodison B. E & Metcalfe J. R & Wilson R. A & Jones K (2000). The Canadian automatic snow depth sensor: A performance update. In Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Western Snow Conference. Kalispell. MT, PP. 178-81.
- Harshburger, B. J., S. H. Karen, P. W. Von, C. M. Brandon, R. B. Troy and A. Rango (2010). "Evaluation of Short-to-Medium Range Streamflow Forecasts Obtained Using an Enhanced Version of SRM." Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 46(3): 603-617. http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1 https://climate.umt.edu/
- Jones J. A. A. (1996). Predicting the hydrological effects of climate change. In Regional Hydrological Response to Climate Change (ed. Jones J. A. A., Liu C., Woo, M.-K., and Kung, H.-T.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Kattelman R. C & McGurk B. J.& Berg N. H.& Bergman J. A.& Baldwin J. A &

Hannaford. M. A. (1984). The isotope-profiling snow gauge: twenty years of experience. In Proceedings of the 51st Annual Meeting of the western Snow Conference. Vancouver. WA.PP.1-8.

- Mizukami M, Takeda T, Satonaka H, and Matsuoka H. (2008) "Improvement of propagation frequency with two-step direct somatic embryogenesis from carrot hypocotyls" Biochemical Eng. 38(1): 55-60
- Pecušová Z, Parajka J and Hrušková K, 2002. Spatial estimation of snow water equivalent in the mountain basin Bystra. ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demänovská dolina, Slovakia.
- Wheeler P A & Huffman D J (1984). Evaluation of the isotopic snow measurement gauge. In Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Western Snow Conference, Sun Valley. ID.PP.48-56.
- Wu, W.S., Purser, R.J. and Parrish, D.F., 2002. Three-dimensional variational analysis with spatially inhomogeneous covariances. Monthly Weather Review. 130, 2905-2916.