

بررسی تغییرات عمق برف در مناطق کوهستانی البرز و زاگرس

فائزه سادات مجیدی کرهرودی^۱، سمانه ثابت قدم^۲ و مریم قرایلو^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

^۲ دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

چکیده

برف نقش قابل توجهی در چرخه آبشناسی دارد و از این رو تعیین دقیق پارامترهای مرتبط با برف امری ضروری به نظر می‌رسد. اندازه‌گیری این پارامترها عموماً با استفاده از مشاهدات میدانی در ایستگاه‌های هواشناسی انجام می‌شود. از آنجا که ایستگاه‌های برف‌سنجی از توزیع مکانی مناسبی برخوردار نیستند و تعداد آنها به‌ویژه در مناطق کوهستانی بسیار محدود است، از این رو از کارایی لازم برای پایش متناوب مشخصات فیزیکی برف برخوردار نمی‌باشند. بنابراین در چنین مناطقی، از داده‌های سنجش از دور استفاده می‌شود. روشی که در این مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد استفاده از داده‌های بازتحلیل است. هدف از پژوهش حاضر بررسی توزیع زمانی میزان عمق برف در منطقه کوهستانی البرز و زاگرس در یک دوره ۴۰ ساله از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ با استفاده از داده‌های بازتحلیل MERRA-2 است. در نتایج به‌دست آمده رشته کوه البرز میانگین عمق برف بیشتری نسبت به زاگرس دارد و پوشش برف در این رشته کوه ماندگارتر است ولی انحراف معیار بزرگتری نسبت به زاگرس دارد.

واژه‌های کلیدی: توزیع زمانی، عمق برف، مناطق کوهستانی، البرز، زاگرس، MERRA-2.

Investigation of the snow depth changes in Alborz and Zagros mountainous areas

Faezehsadat Majidi Karhroudi¹, Samaneh Sabetghadam² and Maryam gharaylou²

¹ M.Sc. student, Institute of Geophysics, University of Tehran

² Associate professor, Institute of Geophysics, University of Tehran

Abstract

Due to the important role of snow cover in the hydrological cycle, measuring snow parameters seems necessary. These parameters are generally measured using field observations at meteorological stations. However, since snow gauge stations do not have a suitable spatial distribution and the number of these stations is very limited, traditional ground measurement methods do not have the efficiency for intermittent monitoring of snow physical characteristics. Hence, the method examined in this study is the use of re-analysis data. This study investigates the temporal distribution of snow depth in the mountainous region of Alborz and Zagros for 40 years, from 1981 to 2020, using MERRA-2 analysis data. Alborz mountain range has more snow depth than Zagros and snow cover in this field. The mountain is more durable but has a larger standard deviation than the Zagros.

Keywords: temporal distribution, snow depth, mountainous region, Alborz, Zagros, MERRA-2.

۱ مقدمه

برف گسترده‌ترین جزء یخ‌کره است و تغییرات فصلی و سالانه قابل توجه آن تأثیرات چشمگیری بر چرخه آب‌شناسی و ترازین انرژی دارد (لیستون و همکاران، ۲۰۲۱). ذوب برف تقریباً مصرف آب یک ششم جمعیت جهان را تأمین می‌کند و منبع آبی ارزشمندی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود (بارنت و همکاران، ۲۰۰۵). تعیین دقیق پارامترهای مرتبط با برف شامل میزان بارش تجمعی برف، عمق برف، آب معادل برف و سطح پوشیده از برف، در کاربردهای آب‌شناسی، اقلیمی و مدیریت منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین بانک داده‌های پوشش برف و عمق برف قابل اطمینان برای مطالعه گردش آب و نظارت اقلیم جهانی ضروری است (براون و همکاران، ۲۰۱۰). به‌دلیل پراکندگی توزیع مکانی ایستگاه‌های برف‌سنجی، داده‌های ایستگاهی برای پایش متناوب مشخصات فیزیکی برف

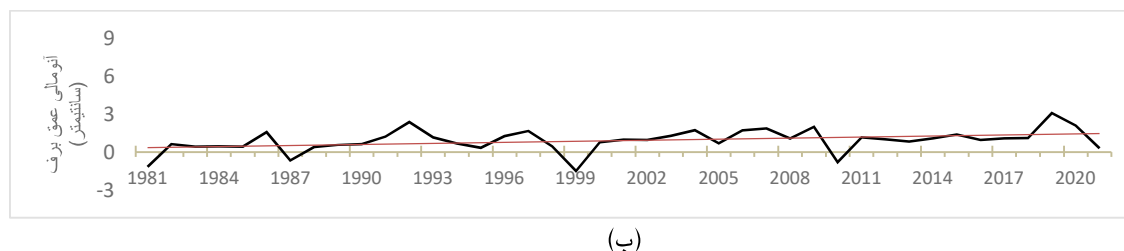
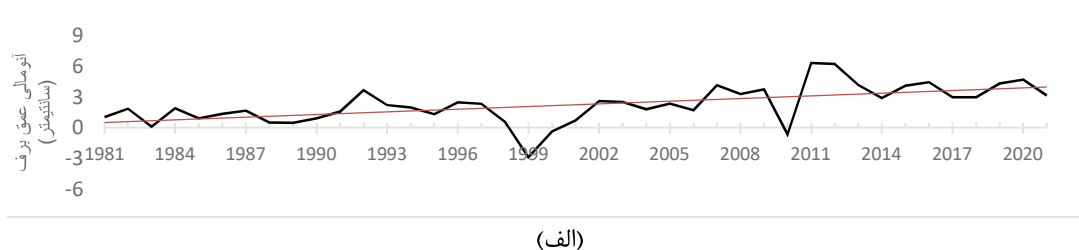
به‌ویژه در مناطق کوهستانی و ارتفاعات از کارایی لازم برخوردار نیستند (دزیر و همکاران، ۲۰۱۶). از این رو، برای تعیین این پارامترها می‌توان از روش‌هایی استفاده کرد که به صورت غیر مستقیم تخمین قابل قبولی از آن‌ها را در اختیار ما قرار می‌دهند. یکی از روش‌هایی که امروزه برای انجام چنین مطالعاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از بانک داده‌های بازتحلیل است (خیا و همکاران، ۲۰۲۰). داده‌های بازتحلیل جوّی شامل سیستم‌های همسان‌سازی داده‌های جوّی جهانی است و پارامترهای مختلف سطح زمین و جو را در زمان واقعی ارائه می‌کنند. بانک داده‌های بازتحلیل معمولاً شامل پارامترهای مرتبط با برف مانند آب معادل برف و عمق برف هستند (پارکر و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهش حاضر برای مطالعه توزیع زمانی میزان عمق برف در دو منطقه کوهستانی البرز و زاگرس، از داده‌های بازتحلیل MERRA-2 استفاده شده است. از این داده برای مطالعه تغییرات بلند مدت و ماهانه میزان عمق برف در سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است.

۲ روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر شامل مناطق مرتفع و کوهستانی در رشته کوه‌های البرز و زاگرس است. منطقه مورد مطالعه در قسمت شمالی رشته کوه البرز مرکزی بین طول جغرافیایی $51^{\circ}4'$ تا $52^{\circ}5'$ درجه شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ}8'$ تا $36^{\circ}2'$ درجه شمالی واقع شده است که قلّه دماوند را در بر می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه در رشته کوه زاگرس نیز شامل محدوده‌ای است که قلّه‌های دنا و زردکوه را شامل می‌شود و در طول جغرافیایی 49° تا $52^{\circ}4'$ و عرض جغرافیایی $30^{\circ}8'$ تا $33^{\circ}3'$ قرار دارد. در ارتفاعات بالای ۳۵۰۰ متر میزان انبوهش برف بیشتر از سایر نقاط است (لیو و همکاران، ۲۰۲۱)، بنابراین در این پژوهش قلّه‌های مرتفع دماوند (5609 متر) در رشته کوه البرز و دنا (4409 متر) و زردکوه (4221 متر) در رشته کوه زاگرس برای بررسی عمق برف انتخاب شده‌اند.

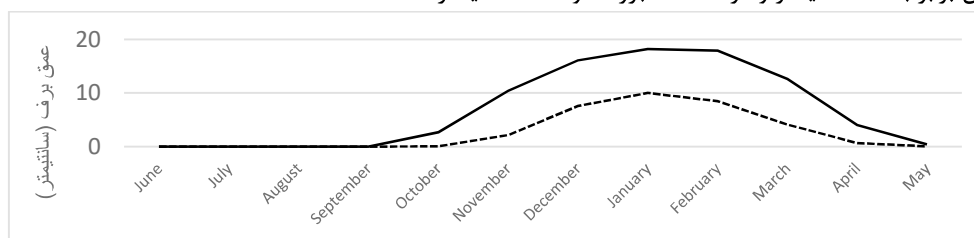
داده‌های بازتحلیل MERRA-2 توسط اداره ملی هوانوردی و فضایی (NASA) ارائه شده است و اولین بانک داده بازتحلیل جهانی بلندمدت برای داده‌گوارِی مشاهدات فضاییه است. همچنین به دلیل بهبود سیستم همسان‌سازی داده‌ها در MERRA-2، این بانک داده به عنوان جایگزین داده‌های بازتحلیل اصلی MERRA معرفی شده است (شیا و همکاران، ۲۰۲۰). داده‌ها دارای تفکیک مکانی 0.5° در 0.625° درجه هستند. با استفاده از این داده‌ها عمق برف در حوزه‌های مورد مطالعه به صورت ماهانه، سالانه و بلندمدت از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱، بررسی شده‌اند.

شکل ۱ (الف و ب) بی‌هنجاری تغییرات عمق برف را طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ برای دو منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در هر دو منطقه تغییرات سالانه مشهود است و همانطور که در شکل مشخص است، در هر دو منطقه روند تغییرات قابل ملاحظه‌ای در عمق برف طی بازه ۴۰ ساله مشاهده نمی‌شود و خط روند با شیب بسیار اندکی روند صعودی دارد. در شکل ۱-الف از سال ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۷ تغییرات عمق برف تقریباً یکنواخت است ولی در سال ۱۹۹۲ میانگین عمق برف در منطقه مورد مطالعه نسبت به سال‌های قبل بیشتر است و میانگین آن 10.51 و بی‌هنجاری 3.66 سانتیمتر را نشان می‌دهد. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ تغییرات عمق برف از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند و الگوی نوسانی دارد. در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ بیشینه بی‌هنجاری عمق برف در ناحیه البرز رخ داده است که برابر 6.3 سانتیمتر است. انحراف معیار عمق برف سالانه برای این ناحیه 7.924 است. بی‌هنجاری عمق برف در منطقه زاگرس (شکل ۱-ب) کمتر از البرز است و بیشینه عمق برف در منطقه زاگرس در دوره ۴۱ ساله 15 سانتیمتر و در سال ۲۰۰۸ ثبت شده است. مقادیر بی‌هنجاری منفی در این منطقه بیشتر است که عمق برف کمتر را نسبت به البرز نشان می‌دهد. و انحراف معیار عمق برف سالانه در این ناحیه 4.416 است. طبق مطالعاتی که در گذشته صورت گرفته نقش ارتفاع در بارش برف به مراتب بیشتر از عرض جغرافیایی است و وجود عرض جغرافیایی بالا و ارتفاع زیاد تضمین کننده بارش و انبارش برف بیشتر است (منتظری و فنایی، ۲۰۱۸). پس به نظر می‌رسد که بارش بیشتر در منطقه البرز که شامل قلّه دماوند است به علت ارتفاع و عرض جغرافیایی بیشتر آن نسبت به زاگرس (قلّه‌های دنا و زردکوه) است.



شکل ۱. بی‌هنجاری تغییرات عمق برف طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ برای دو منطقه مورد مطالعه شامل (الف) منطقه البرز شامل قله دماوند و (ب) زاگرس شامل قله‌های زردکوه و دنا. محور قائم نمودار بی‌هنجاری عمق برف برحسب سانتیمتر است.

تغییرات ماهانه عمق برف برای میانگین سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ در دو منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده‌است. بیشینه میزان عمق برف در هر سال معمولاً مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود تعداد ماه‌هایی که عمق برف در آنها صفر است در منطقه زاگرس بیشتر از البرز است، علاوه بر دخالت عواملی همچون ارتفاع و عرض جغرافیایی، به نظر می‌رسد نزدیک بودن رشته کوه البرز به دریای خزر و گرفتن رطوبت آن ناحیه تأثیر چشمگیری در میزان بارش برف و در نهایت عمق برف بیشتر دارد. بیشینه مقدار متوسط ماهانه عمق برف در زاگرس برابر با ۱۰ سانتیمتر و در منطقه البرز حدود ۱۸ سانتیمتر است.



شکل ۲. میانگین عمق برف در هر ماه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ در دو منطقه مورد مطالعه، منحنی خط پر منطقه البرز شامل قله دماوند و منحنی نقطه چین، زاگرس شامل قله‌های زردکوه و دنا. در فصل تابستان که شامل ماه‌های ژوئن، ژوئیه و آگوست است، میانگین عمق برف در هر دو ناحیه صفر است. ژانویه، فوریه و دسامبر به ترتیب ماه‌های با بیشترین عمق برف هستند.

جدول ۱ برخی آمارها شامل میانگین، انحراف معیار، بیشینه و کمینه عمق برف (برحسب سانتیمتر) و همچنین ماه‌ها و سال‌هایی با بیشترین عمق برف را در دو حوزه مطالعاتی نشان می‌دهد. منطقه البرز با بیشینه عمق برف ۳۷/۹۹ سانتیمتر در ماه فوریه سال ۲۰۱۲، بیش از دو برابر میزان عمق برف منطقه مطالعاتی رشته کوه زاگرس است. در زاگرس نیز عمق برف بیشینه در ژانویه سال ۲۰۰۸ به میزان ۱۵/۰۱ سانتیمتر ثبت شده است. با توجه به تغییرات سالانه و ماهانه میانگین عمق برف بیشتر منطقه مورد مطالعه در البرز، انحراف معیار عمق برف در این ناحیه بیشتر است و به تبع آن زاگرس با تغییرات میانگین عمق برف کمتر، انحراف معیار آن کمتر است. کمینه عمق برف در هر دو ناحیه مربوط به

ماه‌های تابستانی و گرم سال است که در زاگرس تعداد ماه‌ها با میزان عمق برف صفر بیشتر است.

جدول ۱. مشخصه‌های آماری میزان عمق برف در دو منطقه البرز و زاگرس در بازه سال‌های ۱۹۸۱-۲۰۲۰.

ناحیه	نام حوزه	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین	ماه‌هایی با بیشترین عمق برف	سال‌هایی با بیشترین عمق برف
البرز	دماوند	۳۷/۹۹۴۸	0	۷/۸۴۶۷	۶/۸۶۸۰	فوریه	۲۰۱۲
زاگرس	دنا و زردکوه	۱۵/۰۱۰۴	0	۴/۰۹۲۹	۲/۷۵۱۳	ژانویه	۲۰۰۸

۳ نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به بررسی توزیع زمانی میزان عمق برف در منطقه کوهستانی البرز و زاگرس در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ با استفاده از داده‌های بازتحلیل MERRA-2 می‌پردازد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که میزان عمق برف در مقیاس سالانه و متوسط ماهانه در منطقه البرز بیشتر از زاگرس است و تغییرات در مقادیر میانگین سبب افزایش انحراف معیار عمق برف در رشته کوه البرز شده است. به طور کلی میانگین عمق برف و ماندگاری برف در رشته کوه البرز از زاگرس بیشتر است. در این دوره ۴۰ ساله، در رشته کوه البرز ۱۸ سال و در زاگرس ۲۵ سال، ژانویه ماهی با بیشترین عمق برف بوده است. در رشته کوه زاگرس نسبت به البرز تعداد ماه‌های که عمق برف نزدیک صفر یا صفر بوده، بیشتر است، به عنوان مثال میانگین ۴۰ ساله عمق برف در ماه اکتبر در رشته کوه البرز ۲/۶۹۸ سانتیمتر و در رشته کوه زاگرس ۰/۰۲ سانتیمتر است.

منابع

- منتظری، م، فنایی، ر، ۱۳۹۷، شناسایی قلمروهای برفی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای: مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۷، (۱۶)، ۲۵۸-۲۴۱.
- Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303-309.
- Brown, R. D., & Robinson, D. A. (2011). Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty. *The Cryosphere*, 5(1), 219-229.
- Dozier, J., Bair, E. H., & Davis, R. E. (2016). Estimating the spatial distribution of snow water equivalent in the world's mountains. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(3), 461-474.
- Liston, G. E., & Hiemstra, C. A. (2011). The changing cryosphere: Pan-Arctic snow trends (1979–2009). *Journal of Climate*, 24(21), 5691-5712.
- Liu, Y., Fang, Y., & Margulis, S. A. (2021). Spatiotemporal distribution of seasonal snow water equivalent in High Mountain Asia from an 18-year Landsat–MODIS era snow reanalysis dataset. *The Cryosphere*, 15(11), 5261-5280.
- Parker, W. S. (2016). Reanalyses and observations: What's the difference?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(9), 1565-1572.
- Xiao, L., Che, T., & Dai, L. (2020). Evaluation of Remote Sensing and Reanalysis Snow Depth Datasets over the Northern Hemisphere during 1980–2016. *Remote Sensing*, 12(19), 3253.