نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۴، پاییز ۹۸

اثر تغییرات اقلیمی بر روند برف شمال‌غرب ایران

دریافت مقاله: ۹۶/۸/۳ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۲/۲۰

صفحات: ۶۳-۴۷

ابراهیم فتاحی: دانشیار اقلیم شناسی پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران.
Email: ebfat2002@yahoo.com
شوکت مقیمی: استاد اقلیم شناسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران[۱].
Email: ali_didehvar714@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق به منظور پایش سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS طی یک دوره ۱۶ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ استفاده شد و برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف شاخص NDSI بکار گرفته شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد باتوجه به شرایط اقلیمی منطقه بیشترین مساحت تحت پوشش برف درماههای دسامبر،ژانویه،فوریه تا مارس (۱۰ آذرماه الی ۱۰ فرودین ماه) در سطح منطقه مشاهده می‌شود و حداکثر سطح پوشیده شده از برف در ژانویه رخ داده است. بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف در استان آذربایجان غربی در ماه ژانویه به شدت کاهش یافته و دارای روند منفی است و وضعیت مشابهی برای استانهای آذربایجان شرقی و اردبیل در این ماه رقم خورده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات پوشش برف دلالت بر افزایش دما در منطقه و در نتیجه کاهش آن در ماه ژانویه داشته است. این روند می‌تواند بیانگر اثر گرمایش جهانی و اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه باشد. بطوریکه بررسی نمایه های حدی منطقه نیز این فرض را تقویت می‌کند بدون شک با افزایش دما الگوی بارش منطقه دستخوش تغییر شده و رژیم بارش زمستانه از برف به باران تبدیل شده است. این موضوع باعث کاهش ذخیره برفی در حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه شده است. همچنین بررسی نمایه های حدی دما در دوره ۲۰۴۰- ۲۰۱۱ و دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) با رویکرد تغییر اقلیم در منطقه شمالغرب کشور با بهره گیری از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو تحت سناریوی A2 و مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG نشان داده است نمایه هایی نظیر تعداد روزهای یخبندان و یا تعداد روزهای یخی نسبت به دوره پایه روندی کاهشی داشته که با توجه به گزارشات هیئت بین الدول تغییر اقلیم و همچنین مطالعات متعددی که روند گرمایش جهانی را مورد تائید قرار داده اند دور از انتظاز نبوده است همچنین نمایه هایی نظیر طول دوره رویش نسبت به دوره پایه افزایش و دامنه تغییرات شبانه روزی دما نسبت به دوره پایه کاهش داشته اند. که می توانند کاهش سطح پوشیده شده ار برف در منطقه و تحدید ذخایر برفی منطقه را مورد تائید قرار دهند.

کلید واژگان: سطح برف، تغییر اقلیم، روند، دما، نمایه‌های حدی

---

۱. **نویسنده مسئول:** تهران، انتهای شهید همت غرب ،شهرک پژوهش، پژوهشکده هواشناسی ۰۹۱۲۲۴۹۰۳۱۵

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

مقدمه

یخ و برف موجود بر روی کره زمین بخش مهمی از سیستم آب و هوایی جهان را تشکیل می دهند. از آنجایی که یخ و برف دارای قدرت بیشتری در بازتابش نور خورشید تابیده شده به سطح خود را داراست لذا به منظور جلوگیری از گرم شدن کره زمین، نقش مهمی را ایفا می کند. به این علت است که وجود یا عدم وجود برف و یخ بر گرم شدن یا سرد شدن کره زمین تاثیرگذار می‌باشد. از سوی دیگر تغییرات آب و هوایی بطور چشمگیری مناطق تحت پوشش برف و یخ را دستخوش تغییر کرده است. علاوه بر این با توجه به وابستگی وجود یا عدم وجود برف و یخ با نقطه ذوب آنها می‌تواند اشکال جامد یا مایع را رقم زند.تغییرا ت در مقدار پوشش برف و یخ کره زمین می تواند بر روی درجه حرارت هوا، ارتفاع آب دریاها و اقیانوس‌ها، جریان های اقیانوسی و ایجاد طوفان‌های شدید تاثیر گذار باشد. به طور مثال آب شدن یخ های قطب شمال و جنوب می تواند میزان و حجم آب اقیانوس‌ها را افزایش داده و سبب بالا آمدن سطح آب دریاها و تغییر جریانات اقیانوسی گردد.تاثیر تغییرات در میزان برف و یخهای قطب شمال و جنوب، تنها بر روی جوامع انسانی و محیطی این مناطق محدود نبوده و تبعات و آثار جهانی را به همراه خواهد داشت.

همچنین مطالعات متعدد در جهان نشان داده است که در بیشتر نقاط دنیا تغییر اقلیم باعث افزایش دما، کاهش بارندگی،افزایش وقایع حدی و آنتروپی شده است. همچنین در اثر تغییر اقلیم مقدار بارش برف کاهش می یابد و طول دوره ریزش برف روزدتر به پایان می رسد ، به همین دلیل حجم رواناب در زمستان افزایش و در بهار کاهش می‌یابد (قربان زاده و همکاران ۱۳۸۸).

مطالعات نشان داده است پدیده تغییر اقلیم پوشش برف و آلبدوی ناشی از آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد فاسناچ[1] و همکاران (۲۰۱۶)، پدیده تغییر اقلیم در سراسر نواحی شمالی ایالات متحده را مورد بررسی قرار دادند. در این منطقه با ذخیره برفی فصلی، اقلیم گرمتر می‌تواند سبب کاهش ریزش برف و تغییر در زمان ذوب برف گردد و همه این موارد می‌تواندکاهش آلبدوی زمستانه وگسیل انرژی تابشی با طول موج کوتاه را به همراه داشته باشد. بررسی روند دما، بارش(باران – برف) تعدادروزهای با باران یا برف و آلبدوی زمستانه در ۲۰ ایستگاه در سراسر منطقه مورد مطالعه در فاصله سالهای ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی نشان داده است با توجه به اینکه این منطقه دارای ذخیره برفی کم عمق اما با دوام برای طول مدت زمستان(نوامبر تا مارس) می‌باشددرجه حرارت حداقل و تعداد روزهای با بارش در اکثریت ایستگاه‌ها دارای روند بوده و اغلب ایستگاه‌ها با افزایش را نشان می‌دهد و کاهش آلبدوی زمستانه مدل شده در بین ایستگاهها نسبت افزایش آن مشهودتر بوده است(Fassnacht et.al, 2016) .

CMAP (۲۰۱۳) در گزارشی تاثیرات اولیه پدیده تغییر اقلیم را در منطقه میشیگان ایالت الی‌نویژه در ایالات متحده بر متغیرهای دمای فصلی و سالانه، گرما و سرمای فرین، درجه-روز گرمایش و سرمایش، روند بارش‌های سالانه و فصلی، وقایع بارش‌های سنگین، دوره‌های خشکی، روند روزهای برفی، بارش‌های زمستانه، تراکم برف و... را ارائه داده و بیان کرده است، بارشهای زمستانی با توجه به افزایش دما از برف به باران تغییر یافته و انتظار می رود تعداد روزهای برفی تا پایان قرن حاضر در هر سال کاهش یابدبطوریکه در سناریوهای خوش بینابین

1. Fassnacht

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

۳۰ تا ۵۰ درصد و در سناریوهای بدبینانه بین ۴۵ تا ۶۰ درصد پیش‌بینی شده است. همچنین کاهش بارش زمستانه (برف) بطور متوسط تا ۱۰ اینچ در سناریوهای بدبینانه قابل انتظار است.

هیون[1] و همکاران (۲۰۱۰)، پیش بینی کرده اند که دمای شیکاگو بین ۲ تا ۳/۵ درجه فارنهایت در آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۰) و بین ۲/۵ تا ۹ درجه فارنهایت در دور ه ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ افزایش می باشد و دمای فصل تابستان بین ۵ تا ۱۹ درجه فارنهایت تا پایان این قرن افزایش یابد.با توجه اینکه تغییر اقلیم و افزایش درجه حرارت یکی از مسائل مهم زیست محیطی به حساب می‌آید و افزایش میانگین دمای کره زمین و تغییرات آن نگرانی های زیادی را ازجمله دستیابی به منابع و ذخایر آب پیش رو قرار داده است از این روی مطالعات متعددی در زمینه تغییر اقلیم و تاثیرات بر میزان ذخایر برفی ، تغییرات خط برف، رواناب حاصل از ذوب برف توسط محقیقن داخل کشور نیز به انجام رسیده است. از جمله انصاری (۱۳۹۳)اثر تغییر اقلیم بر رواناب ذوب برف را در حوضه آبخیز سد کرج مورد بررسی قرار داده است. این مطالعه در دو فاز اقلیمی و هیدرولوژیکی صورت گرفته است. نتایج نشان داد در دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ دما افرایش یافته ،بارش کاهش داشته و رواناب حوضه کاهش خواهد داشت.نظری شیخی و همکاران،(۱۳۹۳) به ارزیابی تغییر خط برف ناشی از تغییرات اقلیمی در حوضه شهرستان الشتر پرداختند با توجه اینکه منطقه الشتر با موقعیت کوهستانی و واقع در شمال استان لرستان از کانون‌های برف‌گیر به شمار می‌آید ایشان به بررسی تغییرات خط برف، پوشش سطح برف، آب معادل و ضریب برفی حوضه الشترپرداختند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، خط برف ماه ژانویه به عنوان ماه شاخص زمستان (سردترین ماه سال) بین تراز ۲۱۲۲تا ۱۱۲۲ متر در سالهای مختلف نوسان کرده است که بالا رفتن خط برف در حوضه می تواند از تبعات تغییر اقلیم ،افزایش دما و تغییر الگوی بارش بشمار رود. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) اثر تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف در بالادست حوضه آبریز زاینده رود در زیرحوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری قلعه شاهرخ را مورد مطالعه قرار داده اند. در این مطالعه از تصاویر روزانه و هشت روزه پوشش برف سنجنده مودیس برای پایش پوشش برف در بالادست حوضه آبریز زاینده رود به عنوان یکی از متغیرهای مهم در مدل شبیه سازی برف-رواناب SRM استفاده شده است نتایج نشان دهنده کاهش حجم رواناب سالانه در زیرحوضه، کاهش شدید رواناب تولید شده در فصول بهار و تابستان و افزایش رواناب در فصول زمستان و پاییز می باشد .

با توجه به اینکه گستره پوشش سطح برف سالهاست که برای پیش‌بینی‌های هیدرولوژی مورد استفاده قرار گرفته است، و همچنین نتایج تحقیقات متعددی نیز نشان می‌دهد که پوشش برف در نواحی مختلف کره زمین و ایران تحت تاثیر تغیرات اقلیمی و گرمایش جهانی تغییرات قابل تاملی را نشان می‌دهد، در این تحقیق تلاش شده است تاروند تغییرات پوشش برف در منطقه شمال غرب ایران که نقش مهمی در تغذیه جریان‌های سطحی حوضه آبریز رودخانه ارس و بخش بزرگی از حوضه آبریز سفیدرود و حوضه آبریز غرب کشور را دارد، با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و با رویکرد تغییرات اقلیمی مبتنی بر سناریوهای اقلیمی و انتشار مورد بررسی قرار گیرد.

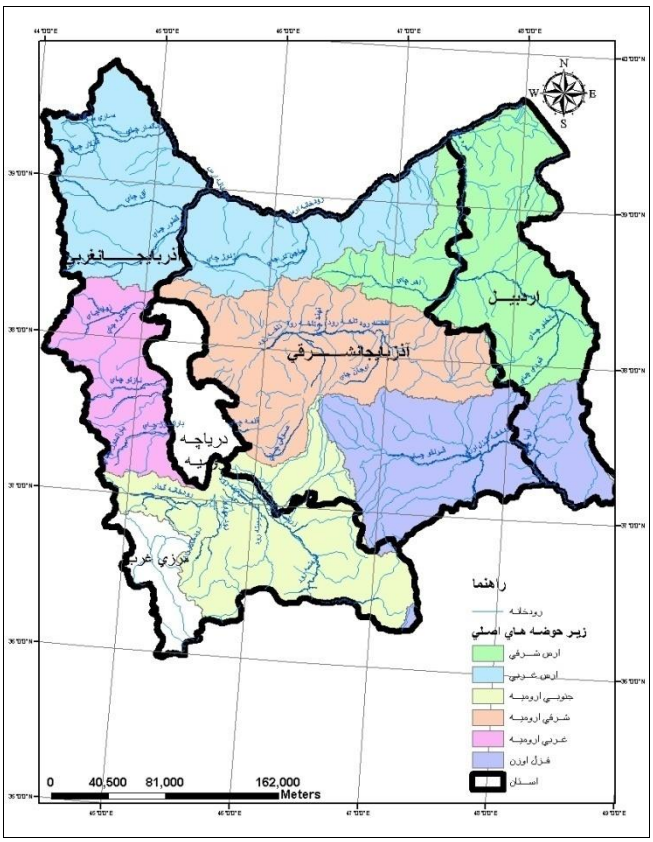
1. Hayhoe

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخش‌هایی از شمال غرب کشور شامل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل می‌باشد. این منطقه بین ۳۴درجه و۵۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و۴۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۴درجه و۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و۵۹ دقیقه طول جغرافیایی گسترده شده است. در این تحقیق به منظور پایش مداوم خصوصیات برف از قبیل سطح پوشش برف، دمای سطح برف در هر نوع شرایط آب و هوایی و با دقت مکانی بالا سعی شده است از مزایای تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردد. بدین منظور با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بدست آمده از سنجنده MODISسطح پوشش برف و دمای برف در منطقه مورد مطالعه برای یک دوره۱۶ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ برآوردشده است و روند تغییرات آن در سالهای فوق مورد بررسی قرار گرفته است. شکل(۱) موقعیت این منطقه را نشان می‌دهد.



شکل(۱)موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه به همراه زیرحوضه‌های فرعی و رودخانه های دائمی و فصلی

در این تحقیق ابتدا به منظور پایش مداوم سطح پوشش برف در هر نوع شرایط آب و هوایی و با دقت مکانی بالا سعی شده است از تصاویر ماهواره‌ای سنجندهMODISاستفاده شود. بدین منظور ابتدا استانهای مورد مطالعه با استفاده از نقشه های توپوگرافی و ارتفاعیطبقه‌بندی می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بدست

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

آمده از سنجندهMODIS، سطح پوشش برف و دمای برف در هر استان برای یک دوره ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ برآوردشده است. در زیر مراحل محاسبه سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS تشریح می‌گردد:

داده‌های پوشش برف

نسبت تابش و بازتابش سطحی یک پارامتر اساسی برای محاسبه موازنه تابش در سطح زمین است و چون نسبت تابش و بازتابش برف سطحی از تغییرپذیری موقتی و فضائی بزرگی برخودار است، سنسورهای ماهواره فقط برای رصد منطقه‌ای به مقیاس جهانی توانا هستند (P. Malcher, D. Floricioiu, and H. Rott, 2003)در نقشه برفMODISاز الگوریتم برف برای جداکردن برف از دیگر عوارض سطحی استفاده می‌شود و نتایج الگوریتم‌های برف به صورت کد در پوشش برفSDS محصولات[1]HDF-EOS ذخیره می‌شوند. الگوریتم برف خاصیت هر یک از پیکسلها ازنظر برف، پوشش برفی دریاچه یخی، ابر، زمین، آب یا سایر حالت را مشخص می‌کند. داده‌های برف تولیدشده توسط ماهوارهTerraشامل ۶ سری محصولات تولیدشده می‌باشند. خلاصه‌ای از ترتیب این محصولات در جدول(۱) نشان داده شده‌است(Riggs et al., 2000).

جدول(۱) محصولات پوشش برفMODIS

Earth Science Data Type (ESDT)	Product Level	Nominal Data Array Dimensions	Spatial Resolution	Temporal Resolution	Map Projection
MOD10_L2	L2	1354 km by 2000 km	500m	swath (scene)	None. (lat,lon referenced)
MOD10L2G	L2G	1200km by 1200km	500m	day of multiple coincident swaths	Integerized Sinusoidal
MOD10A1	L3	1200km by 1200km	500m	day	Integerized Sinusoidal
MOD10A2	L3	1200km by 1200km	500m	eight days	Integerized Sinusoidal
MOD10C1	L3	360° by 180° (global)	¼° by ¼°	day	Geographic
MOD10C2	L3	360° by 180° (global)	¼° by ¼°	eight days	Geographic

(Riggs et al., 2000).

با توجه به اینکه بیشترین بازتاب برف در طیف مرئی (۰/۷– ۰/۴) الگوریتم‌های بکاررفته در تولید این نقشه‌ها از طیف‌های انعکاس یافته در باندهای ۴(0.545-0.565µm)و ۶ (1.628-1.652µm) برای تولید شاخص نرمال شده برف(NDSI) استفاده می‌کنند. (Hall et al., 2001:57 ,2002: 186; Zhang ,2003: 10; Riggs et al., 2006: 25; Wang et al.,2008: 1499,)

دراین تحقیق باتوجه به کمتر بودن خطا در تشخیص زمین و برف در تصاویر 8-dayMOD10A2 نسبت به MOD10A1-daily و طبقه‌بندی ساده‌تر (Wang et al.,2008) و همچنین وجود شبکه‌بندی ۵۰۰ متری، این تصاویر انتخاب شده اند و به منظور تعیین گستره پوشش برف سطح برف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ جمع‌آوری گردیدند. در محدوده منطقه مورد مطالعه در هر سال ۳۰ گذرو در مجموع ۴۸۰ تصویر (باستثناء ماه

1)Hierarchical Data Format -Earth Observing System

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

های جون تا سپتامبر) در بازه زمانی سال۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفته‌است. لازم به ذکر است که تولیدات ۸ روزه MODIS، حداکثر سطح پوشش برف را در طول یک دوره ۸ روزه نشان می‌دهند. مشخصات و دقت مکانی و زمانی داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در جدول(۲) آورده شده است.

جدول(۲) مشخصات و دقت مکانی و زمانی داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

Satellite	Sensor	Spatial resolution (m)	Temporal resolution (d)	Level of product	Selected bands or Frequency	Acquisition dates
Terra	MODIS	1000	8	11A	1,2	2000-2015 From November to April
Terra	MODIS	500	8	10A2	1,2	…….

الگوریتم مورد استفاده در استخراج سطوح پوشیده شده از برف

الگوریتم نقشه برفSNOWMAP، (Hall et al, 1995; Klien , 1998)به منظور تشخیص سطوح پوشیده شده از برف با دقت مکانی ۵۰۰ متر و به صورت ممتد در هر بار چرخش طراحی شده است. توسط این الگوریتم داده‌های روزانه و ۸ روزه برف و با مقیاس جهانی تولید می‌شود.

در این الگوریتم برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف از شاخص سطح برف (Normal Difference Snow Index) و یا NDSI استفاده شده است. به دلیل انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می‌تواند در تشخیص پوشش برف از سایر پدیده ها بسیار مفید باشد (Hall et al, 1995). شاخص NDSI با داده‌های MODIS با استفاده از رابطه(۱) محاسبه می‌شود:

NDSI=(band4-band6)/(band4+band6) رابطه(۱)

در تهیه نقشه پوشش برف زمانی که پیکسل دارایNDSIبزرگتر و یا مساوی ۰/۴ می‌باشد به عنوان پیکسل برفی در نظر گرفته می‌شود و در صورتیکه کمتر از ۰/۴ باشد به عنوان پیکسل عاری از برف فرض می‌گردد. در این شاخص پیکسلهایی که تقریباً ۵۰ ٪ یا بیشتر توسط برف پوشیده شده اند NDSIحداقل ۰/۴ می‌باشد. از آنجایی که آب نیز ممکن است دارای یک NDSIحدود ۰/۴ باشد، یک آزمون دیگر نیز برای جداسازی آب و برف صورت می پذیرد. آب و برف به دلیل اینکه باز تابش آب در باند ۲ کمتر از ٪ ۱۱ می‌باشد قابل تفکیک هستند. بنابراین اگر بازتابش باند ۲ بزرگتر از ٪۱۱باشد و NDSI هم بیشتر از ۰/۴ باشد ، آن پیکسل به عنوان برف در نظر گرفته می‌شود و اگر بازتابش باند ۴ MODIS کمتر از ۱۰ ٪ باشد پیکسل به عنوان برف در نظر گرفته نمی شود .

برف خالص دارای یک NDSI بالا می‌باشد اما مقدار NDSI در پیکسل حاوی برف که با سایر پدیده ها مخلوط می شوند کاهش می یابد. برف در پیکسل های مختلط دارای مقدار کمتری در مقایسه با پیکسل های خالص می باشد و پیکسلهای خالص برف با توجه به مقدار بالای NDSI آنها قابل تشخیص است. در مکانهای جنگلی، تعداد زیادی از پیکسلهای محتوی برف دارای یک NDSI کمتر از ۰/۶ می‌باشند به منظور اینکه پیکسلهای محتوی برف در این مناطق به درستی کلاسه بندی شوند یک حد آستانه پایین‌تر NDSI در نظر گرفته می

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

شود در این حالت، شاخصهای NDSI و NDVI به طور مشترک به منظور تشخیص جنگل های عاری از برف با جنگلهای حاوی برف استفاده می شوند.

پیکسل‌های جنگلی دارای مقادیرNDVI بالاتر در مقایسه با پیکسلهای غیر جنگلی هستند بتابراین با کاربرد همزمانNDVIوNDSIاستفاده از مقادیر پایین‌ترNDSI به عنوان شاخص برف در مناطق جنگلی بدون اینکه کارایی الگوریتم در مناطق غیر جنگلی پایین آید ، امکان پذیر است. در این الگوریتم پیکسلهای ابری در هر دو داده روزانه و ۸ روزه سطح برف، با استفاده از داده‌های ماسک ابر(MoD35-L2) به عنوان حدودی برای تشخیص سلولهای ابری، تعیین می‌گردند. الگوریتم شناسایی ابر شامل یک سری آزمونهای طیفی منحصر به فرد و جدید است و در آن از تکنینهای موجود نیز در تشخیص پیکسلهای ابری استفاده می‌شود (Ackerman etal,. 2002).

این الگوریتم در مطالعات متعددی پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعاتی نظیر پایش پوشش جهانی برف با استفاده از تصاویر MODIS،(Klein et al., 1998: 162)، تهیه نقشه برف در مناطق آلپ با استفاده از تصاویر MODIS،(Malcher, 2003:126)، دقت‌سنجی تصاویر پوشش برفMODISدر استرالیا(Parajka and Bl¨oschl 2006: 245)، پایش سطح پوشش‌برف در شمال پاتاگونیا درفاصله سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS، (Lopez etal.,2008: 106)، سنجش پوشش برف و جداسازی ابر در تصاویر ماهواره‌ایMODISبا استفاده از تصاویر ۸ روزه MOD10A2 در۲۰ ایستگاه کلیماتولوژی در ایالت زینجیان چین (Wang et al.,2008:1497) ، بررسی واکنش رواناب حاصل از ذوب برف نسبت به تغییر اقلیم در ۵۰ سال گذشته در حوضه‌های آبریز شمال‌غرب چین با استفاده از اطلاعات مشاهداتی ایستگاههای هواشناسی و هیدرومتری و تصاویر برف MODIS ، (Wang:493 2010 ,.et al) و مطالعات متعدد دیگری اشاره کرد.

در این مطالعه به منظور استخراج سطح پوشش برف ابتدا داده‌های ماهواره‌ای ۸ روزه سطح برف (MOD10A2) به فرمتHDF از مرکزنگهداری و توزیع داده‌های ماهواره‌ای MODIS، Reverb دریافت گردید. به دلیل واقع شدن منطقه مورد مطالعه در یک شیت تصویر MODIS، تصویر مربوط به شیت H21V05 ، از سایت مورد نظر دریافت گردید. سپس توسط برنامه‌ای که در محیط برنامه‌نویسیMATLAB تهیه گردید، عمل استخراج سطح برف برای منطقه مورد مطالعه انجام شد. تصاویرMOD10A2، ۸ روزه هستند و در هر تصویر بیشترین سطح برف در یک دوره ۸ روزه آورده شده است. با استفاده از برنامه تهیه شده، سطح برف در هریک از استان‌های مورد مطالعه استخراج گردید. از آنجایی‌که اندازه هر پیکسل در تصویر مودیس ۴۶۳ متردر ۴۶۳ متر می‌باشد، سطح پوشیده شده از برف با ضرب تعداد پیکسل‌های برفی در عدد ۴۶۳*۴۶۳ به راحتی قابل محاسبه است.

سناریوهای اقلیمی و سناریوهای انتشار

معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدلهای AOGCM می‌باشد. بررسی شاخص های عملکرد مدلهای مختلف AOGCM در کشور نشان داده است می‌توان مدل HadCM3 را به عنوان مدلی که مقادیر دما

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

و بارندگی را با شاخص های عملکرد بالا شبیه سازی می‌کند در نظر داشت. (مساح و مرید، ۱۳۸۴، ۴۰؛کمال و مساح، ۱۳۸۹: ۹۲۰؛ گلمحمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۱۵) لذا در این تحقیق از خروجی مدل HadCM3 از مرکز تحقیقات و پیش بینی اقلیمی Hadley انگلستان که قادر است داده های اقلیمی را در مقیاس ۲/۵ درجه (عرض جغرافیایی) × ۳/۷۵ درجه (طول جغرافیایی) را برای سالهای ۱۹۵۰ تا ۲۰۹۹ شبیه‌سازی کند استفاده شده است.

کوچک مقیاس کردن

با توجه به بزرگ مقیاس بودن مدلهای گردش عمومی جو، یکی از راهکارهای فائق آمدن به نقص تفکیک فضایی کم این مدلها استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری است. از جمله مدل‌هایی که برای ریز مقیاس نمایی از روش‌های آماری استفاده می‌کنند مدل LARS-WG می‌باشد که یکی از معروفترین مدلهای مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه برای اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. در این مطالعه با استفاده از مدل LARS-WGمقادیر دمای بیشینه، کمینه دما برای ایستگاههای سینوپتیک تبریز، ارومیه به عنوان ایستگاههای شاخص با سناریوی A2 برای دوره پایه (۱۹۹۰- ۱۹۶۱) و دوره پیش‌بینی (۲۰۴۰- ۲۰۱۱) در مقیاس روزانه کوچک مقیاس شده‌اند.

نمایه‌های حدی

از دیدگاه اقلیمی گاه حوادثی اتفاق می افتد که دور از انتظار بوده و با شرایط اقلیمی منطقه کمتر تطابق دارد که به آن وقایع حدی گفته می شود. از دیدگاه آماری میزان کمی این حوادث حدی در ناحیه‌های بالایی و پایینی و آستانه‌های خاصی از توزیع آماری قرار گرفته است. (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۷-۱۱۶). انتخاب نمایه‌های حدی جهت بررسی پدیده های حدی در رابطه با تغییرات اقلیمی و اثرات آن از نکات مهمی است که باید مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد (عسگری و همکارن، ۱۳۸۶: ۴۲-۵۵). در این تحقیق سعی شده است با بررسی چندین نمایه حدی دمایی منتخب از بین نمایه‌های استاندارد توصیه شده توسط گروه کاری ETCCDMI ارتباط بین تغییرات نمایه های حدی دما و تغییرات سطح پوشش برف در سالهای اخیر (ابتدای دوره (۲۰۱۱-۲۰۴۰)) که در مطالعات تغییر اقلیم از آن به عنوان آینده نزدیک یاد می‌شود مورد بررسی قرار گیرد. نمایه‌های حدی مورد بررسی در این تحقیق از گروه کاری ETCCDMI انتخاب شده است (KLEIN T AL., 2003). همچنین برای محاسبه این نمایه ها، ازنرم افزار Rclimdex که توسط تیم کارشناسی ETCCDM تهیه شده استفاده شده است (Zhang, 2007).

با استفاده نمایه‌های حدی دوره ای دما ،طول دوره های خیلی گرم (سرد)، طول مدت سرما و گرما و با کاربرد نمایه های حدی نسبی می توان پی برد که مقادیر حدی تا چه اندازه نسبت به یک دوره پایه مانند ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (دوره نرمال) تغییر می‌کند. تحلیل این نمایه‌ها بنا بر ماهیت نسبی و مقایسه آن‌ها با داده های مشابه همان ایستگاه در دوره پایه در یک منطقه روند گرمایش (سرمایش) را به خوبی نشان می دهد. شب های سرد (TN10p)، روزهای سرد (TX10p)، از نمایه های حدی نسبی به شمار می روند. نمایه های حدی مطلق بالاترین و پائین ترین دماهای کمینه و بیشنه در یک سال ، فصل و یا یک ماه را نشان می دهد. که برای عنصر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

دما نمایه های TXx، TXn، TNn و TNx به کار می روند. و برخی نمایه ها دامنه تغییرات شبانه روزی دما را نشان می‌دهند.

نتایج

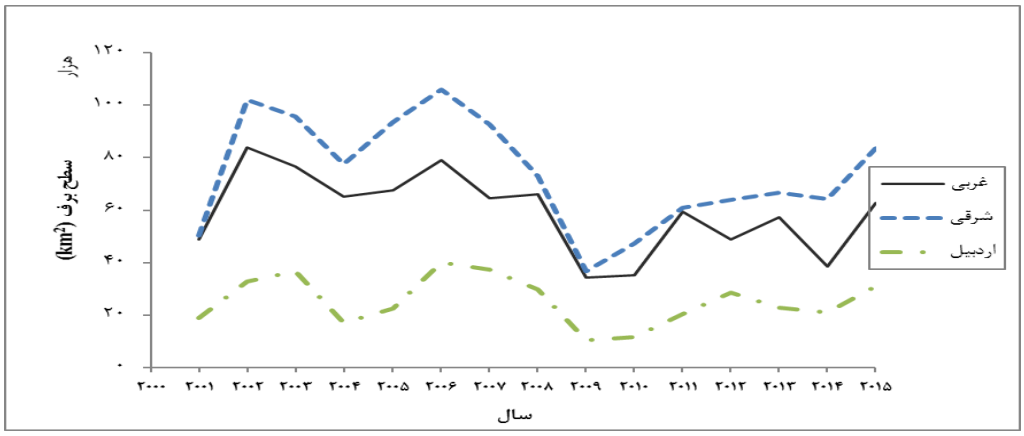
به منظور اطلاع از مساحت پوشیده شده از برف در استان‌های مورد مطالعه و با توجه به موقعیت هر یک از آنها شکل (۲)، مساحت مناطق پوشیده شده از برف به تفکیک هر استان مشخص گردیده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بیشترین سطح پوشیده شده از برف به ترتیب به استانهای آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل اختصاص دارد. همچنین اشکال(۳ تا ۱۱) روند تغییرات سطح پوشش برف طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ را برای ماههای دسامبر ، ژانویه، فوریه و مارس و بصورت مجزا برای هر یک از استانهای مورد مطالعه را به تصویر کشیده اند.

شکل(۳) روند تغییرات سطح پوشش برف در استان آذربایجان غربی برای ماه ژانویه طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ ، با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره ای مودیس را نشان می دهد. با توجه به نتایج حاصل از نمودار و معادله‌ی خطی حاصل ، ملاحظه می شود که در ماه ژانویه میزان پوشش برفی در استان آذربایجان غربی به شدت کاهش یافته و دارای روند منفی است بطوری که طی سالهای اخیر در حدود بیست هزار کیلومتر از سطح پوشش برفی این استان در ماه ژانویه کاهش را نشان داده است.

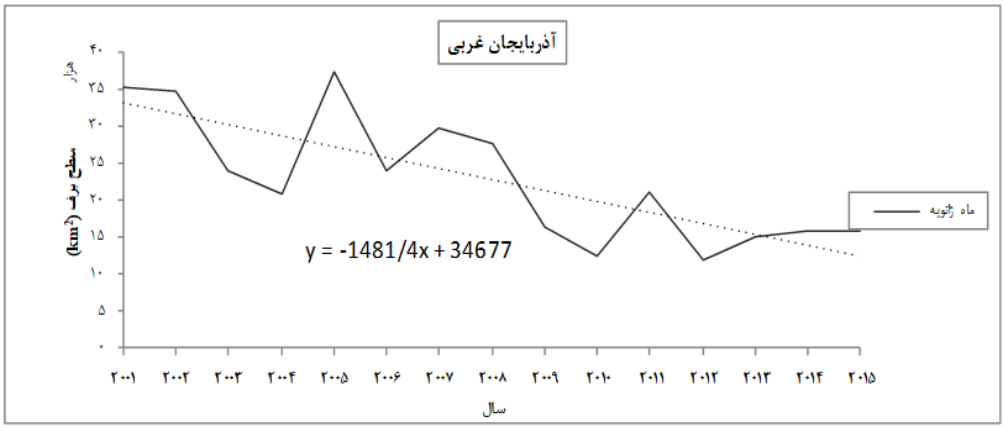
وضعیت مشابهی در اشکال(۴ و ۵) برای استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل را برای ماه ژانویه به تصویر کشیده است که مشابه با شرایط منطقه میزان بارش برف و سطح پوشش برف در این دو استان هم روند منفی را نشان می دهد. با توجه به شکل (۵) ملاحظه می‌گردد که ماه ژانویه طی دورهٔ ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در استان اردبیل دارای روند منفی است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که تغییرات پوشش برف دلالت بر افزایش دما در منطقه و در نتیجه کاهش تغییرات سطح پوشش برف در ماه ژانویه دارد. این روند بیانگر اثر گرمایش جهانی و اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه است. بدون شک با افزایش دما الگوی بارش منطقه دستخوش تغییر شده و رژیم بارش زمستانه از برف به باران تبدیل شده و کاهش ذخیره برفی در حوضه آبریز منطقه را ایجاد می‌نماید.

شکل(۶) تغییرات سطح پوشش برف در استان آذربایجان غربی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ طی ماه فوریه با استفاده از داده های ماهواره مادیس را نمایش می دهد. همانگونه که ملاحظه می شود، سطح پوشش برفی در این ماه دارای تغییرات بین دوره ها و از سالی به سال دیگر را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که بیشترین سهم پوشش برفی در این ماه در سال ۲۰۰۸ و کمترین سطح پوشش برفی مربوط به سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۴ می باشد. بطور کلی در این ماه روند کاهش معنی داری دیده نمی شود. اشکال(۷ و ۸) روند تغییرات معنی داری را برای استان‌های اذربایجان شرقی و استان اردبیل برای ماه فوریه نشان نمی دهند. اشکال(۹ تا ۱۱) روند تغییرات سطح پوشش برف طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ را برای ماه دسامبر و بصورت مجزا برای هر یک از استانهای مورد مطالعه را به تصویر کشیده اند. همانگونه که ملاحظه می شود، سطح پوشش برفی در ماه دسامبر دارای تغییرات بین دوره ها و از سالی به سال دیگر تغییرات زیادی داشته است . اما بررسی کل دوره ۱۶ ساله هیچگونه روند معنی داری در افزایش و یا کاهش سطح پوشش برف را در این ماه نشان نمی دهد.

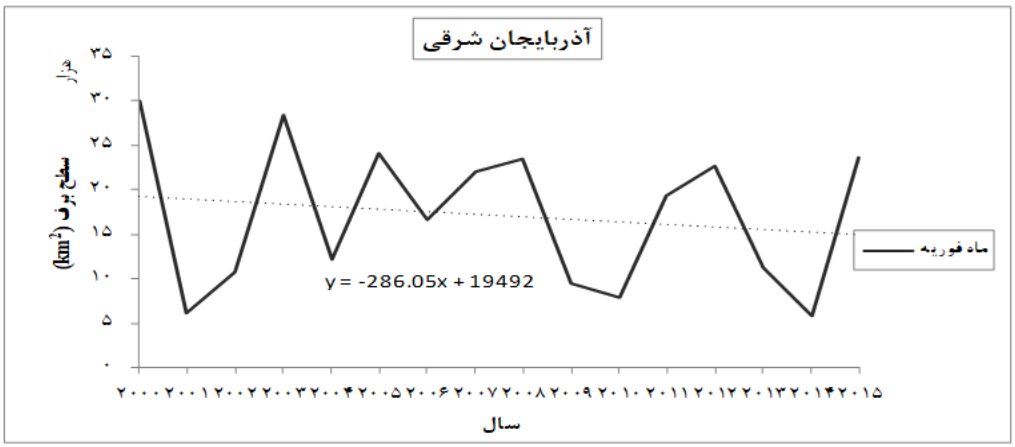
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]



شکل(۲) تغییرات سطح برف در طی سال‌های ۲۰۰۰تا ۲۰۱۵ از اول ماه سپتامبر تا آخر ماه آوریل به صورت ۸ روزه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

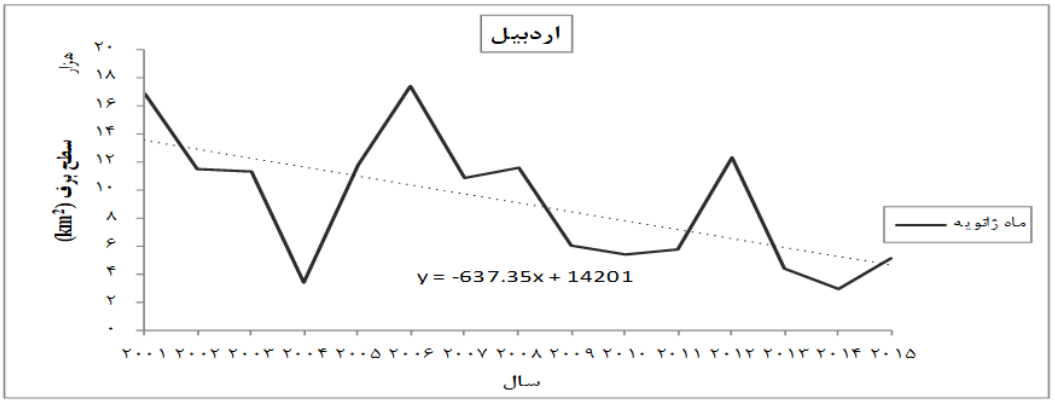


شکل(۳) تغییرات سطح برف در آذربایجان غربی طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در ماه ژانویه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)



شکل(۴) تغییرات سطح برف در آذربایجان شرقی طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در ماه ژانویه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

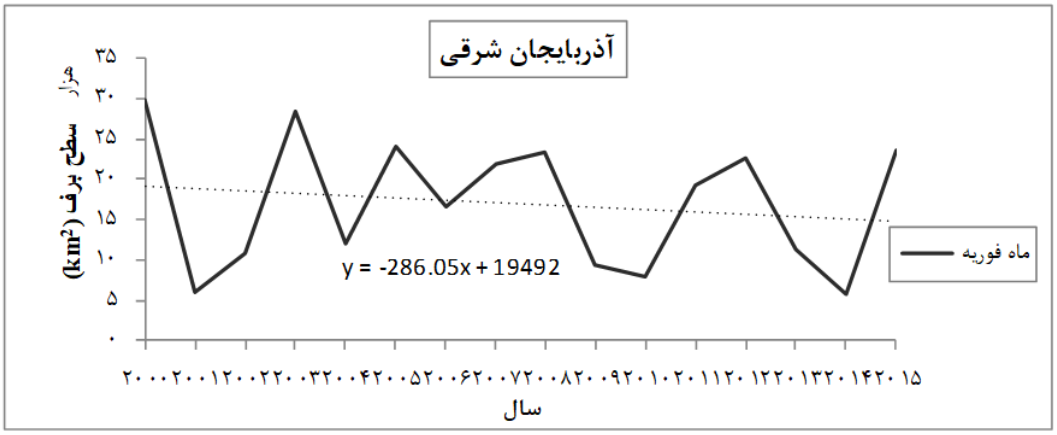
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]



شکل(۵) تغییرات سطح برف در اردبیل طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در ماه ژانویه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

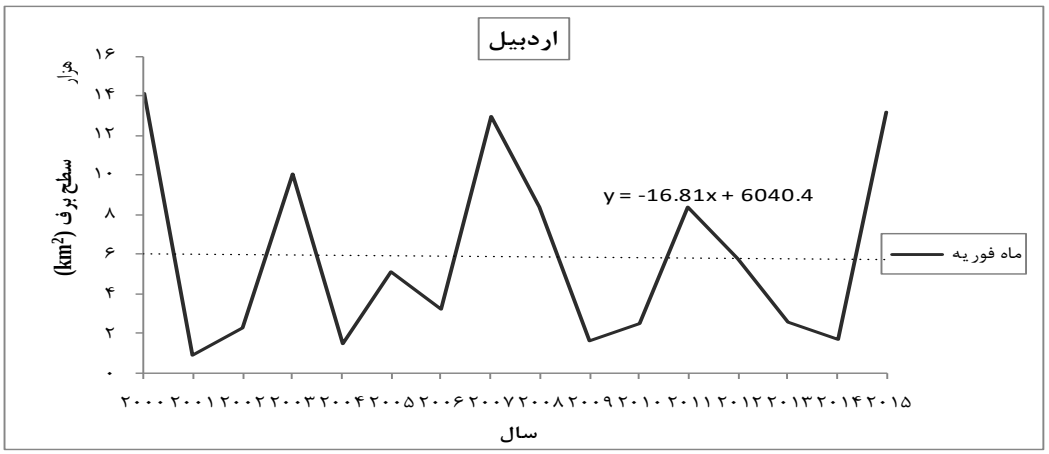


شکل(۶) تغییرات سطح برف در آذربایجان غربی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در ماه فوریه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

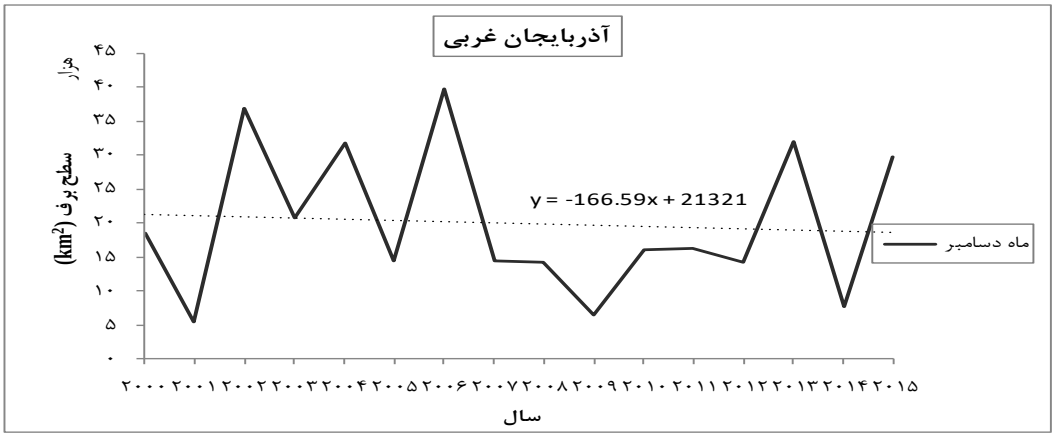


شکل(۷) تغییرات سطح برف در آذربایجان شرقی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در ماه فوریه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]



شکل ۸: تغییرات سطح برف در اردبیل طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در ماه فوریه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

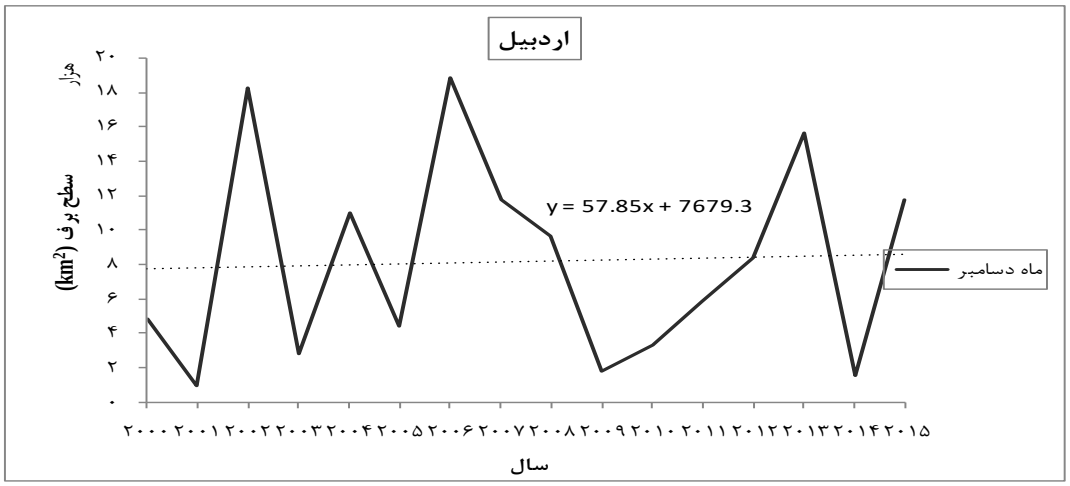


شکل ۹: تغییرات سطح برف در آذربایجان غربی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در ماه دسامبر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]



شکل ۱۰: تغییرات سطح برف در آذربایجان شرقی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در ماه دسامبر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)



شکل ۱۱: تغییرات سطح برف در اردبیل طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در ماه دسامبر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

بررسی عملکرد سناریوی اقلیمی درشبیه سازی دما در ایستگاههای منتخب منطقه مورد مطالعه دردوره پایه

برای بررسی عملکرد مدل HadCM3 در این تحقیق از معیارهایعملکرد ضریبهمبستگی (ρ)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و متوسط خطای مطلق (MAE) استفاده شده است. نتایج این بررسی در جدول(۳) ارائه شده است همانطور که ملاحظه می‌گردد نتایج نشان از قابل بودن ضریب همبستگی و پائین بودن نسبی شاخص دارد. لذا می‌توان از پیش بینی مدل‌های فوق الذکر در پیش‌بینی مقادیر دمای منطقه مطالعاتی در دوره های آتی استفاده کرد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

جدول(۳) عملکرد مدل **HadCM3** در شبیه سازی مقادیر دما و بارش روزانه ایستگاههای مورد مطالعه در دوره پایه**ETCCDMI**

پارامتر	دمای حداقل			دمای حداکثر		
ایستگاه	RMSE	MAE	R	RMSE	MAE	R
تبریز	0.35	0.24	1.00	0.26	0.23	1.00
ارومیه	0.26	0.20	1.00	0.25	0.21	1.00

نتایج حاصل از تحلیل نمایه ها:

تعیین خطوط روند نمایه ها و انجام آزمون های معنی داری آنها از طریق جدول معنی داری همبستگی پیرسون برای ایستگاههای منتخب صورت گرفته است که نتایج آنها در جدول(۴) ارائه شده است.

جدول (۴) شیب خط روند برخی نمایه های حدی دما در ایستگاههای منتخب در منطقه مورد مطالعه در دوره (۲۰۴۰- ۲۰۱۱)

ایستگاه / نمایه	ارومیه	تبریز
Fd	-0.22	-0.22
ID	0.15	-0.26
GSL	0.26	0.37
TX n	-0.03	0.05
TN n	-0.01	0.07
Tn10p	-0.03	0.00
Tx10p	-0.03	-0.04
DTR	0.00	0.01

- **تعداد روزهای یخبندان (FD)**

بررسی نمایه تعداد روزهای یخبندان که در آن دمای حداقل روزانه کمتر از صفر درجه سیلیسیوس می باشد نشان میدهد این نمایه در ایستگاههای مورد مطالعه نسبت به دوره پایه کاهش نشان می دهند بررسی این نمایه برای ایستگاه مورد مطالعه نشان می دهد کاهش در تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه‌های ارومیه ، تبریز به ترتیب برابر با ۱۴۴روز یخبندان در دوره پایه به ۱۰۴ روز در دوره پیش بینی و ۱۲۹ به ۹۴ روز به دست آمده است. بطور کلی نرخ کاهش تعداد روزهای یخبندان در منطقه مورد مطالعه با نتایج بدست آمده با مطالعات رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۶) همخوانی داشته و در نتیجه منطقی می باشد.

- **تعداد روزهای یخی (ID)**

تعداد روزهای یخی یا به عبارتی تعداد روزهای یخی که دمای حداکثر روزانه کوچکتر از صفر درجه سیلیسوس است. این نمایه نیز به مانند نمایه تعداد روزهای یخبندان نسبت به دوره پایه از نرخ کاهشی برخودار است. این نمایه در ایستگاه ارومیه دارای نرخ کاهشی و در ایستگاه تبریز روند مشخصی ندارد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

- **طول دوره رویش (GSL)**

روند نمایه طول دوره رویش در اکثر ایستگاهها با توجه به کـاهش تعـداد روزهـای یخبنـدان ، نسـبت بـه دوره پایـه افزایش یافته است. که بیشترین آن در ایستگاه تبریز بدست آمده است.

- **کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TXn)**

این نمایه نسبت به دوره پایه افزایش داشـته اسـت در ایسـتگاهارومیه ایـن نمایـه در دوره آتـی حـالتی پایـدار و در ایستگاه تبریز از روند مثبت اندکی برخودار می باشند.

- **کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TNn)**

این نمایه در ایستگاههای شاخص شمالغرب کشور در فاصله سالهای (۲۰۴۰-۲۰۱۱) تقریباً بـدون رونـد و بـا دامنـه شیب ۰/۱+- بدست آمده است.

- **شب‌های سرد (TN10p)**

تعداد شب‌های سرد در دوره آتی نسبت به دوره پایه نرخ کاهشی داشته است و این نمایه در دوره آتی به مانند نمایه کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه در دوره آتی تقریباً بدون روند و با دامنه شیب ۰/۱+بدست آمده است.

- **روزهای سرد (TX10p)**

این نمایه در دوره آتی در ایستگاههای ارومیه ، تبریز بدون روند بوده است.

- **دامنه تغییرات دمای روزانه (DTR)**

روند DTR در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آتی کم و بیش ثابت است. اما مقایسـه دامنـه تغییـرات دمـای روزانه بطور نمونه در ایستگاه سنندج در دوره آتی نسبت به دوره پایه نشان می دهد که این اختلاف در دوره آتی بـه دلیل کاهش اختلاف دمای حداقل و حداکثر روزانه نسبت به دوره پایه کاهش داشته است.

نتیجه گیری

شمال‌غرب ایران یکی از مهمترین مناطق برف‌گیر کشور می باشد که نقش مهمی در تغذیه جریان‌های سطحی حوضه آبریز رودخانه ارس و بخش بزرگی از حوضه آبریز سفید رود و حوضه آبریز غرب را داراست بطوریکه آگاهی از گستره پوشش برف آن، اطلاعات بسیار با ارزشی است که در مدلهای گوناگون هیدرولوژیکی در زمینه مدیریت منابع آب بکار می‌رود. در این تحقیق به منظور پایش سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره‌ای نوری سنجنده MODIS استفاده شد و برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف شاخص NDSI بکار گرفته شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد باتوجه به شرایط اقلیمی منطقه بیشترین مساحت تحت پوشش برف در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه تا مارس (۱۰ آذرماه الی ۱۰ فرودین ماه) در سطح منطقه مشاهده می شود و حداکثر سطح پوشیده شده از برف در ژانویه رخ داده است. بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف در استان آذربایجان غربی در ماه ژانویه طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ نشان می دهد که در این ماه میزان پوشش برفی در استان آذربایجان غربی به شدت کاهش یافته و دارای روند منفی است بطوری که در طی سالهای اخیر در حدود بیست هزار کیلومتر از سطح پوشش برفی این استان در ماه ژانویه کاهش داشته است. همچنین وضعیت مشابهی برای استانهای آذربایجان شرقی و اردبیل را برای ماه ژانویه رقم خورده است که مشابه با شرایط منطقه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

میزان بارش برف و سطح پوشش برف در این دو استان هم روند منفی را نشان می‌دهد.نتایج این مطالعه نشان می دهد که تغییرات پوشش برف دلالت بر افزایش دما در منطقه و در نتیجه کاهش تغییرات سطح پوشش برف در ماه ژانویه دارد. این روند می‌تواند بیانگر اثر گرمایش جهانی و اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه باشد. بطوریکه بررسی نمایه‌های حدی منطقه نیز این فرض را تقویت می کند. بدون شک با افزایش دما الگوی بارش منطقه دستخوش تغییر شده و رژیم بارش زمستانه از برف به باران تبدیل شده است. این موضوع باعث کاهش ذخیره برفی در حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

همچنین بررسی نمایه‌های حدی دما در دوره ۲۰۴۰- ۲۰۱۱ و دوره پایه با رویکرد تغییر اقلیم در منطقه شمالغرب کشور با بهره گیری از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو تحت سناریوی A2 و مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WGنشان داد که نمایه‌هایی نظیر تعداد روزهای یخبندان و یا تعداد روزهای یخی نسبت به دوره پایه روندی کاهشی داشته که با توجه به گزارشات هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و همچنین مطالعات متعددی که روند گرمایش جهانی را مورد تائید قرار داده اند دور از انتظاز نبوده است. همچنین نمایه هایی نظیر طول دوره رویش نسبت به دوره پایه افزایش و دامنه تغییرات شبانه روزی دما نسبت به دوره پایه کاهش داشته‌اند.که می توانند کاهش سطح پوشیده شده ار برف در منطقه و کاهش ذخایر برفی منطقه را مورد تائید قرار دهند.

منابع

احمدی آزاده، امین خرمیان، حمیدرضا صفوی،(۱۳۹۴). **بررسی اثرات تغییر اقلیم بر فرآیند تبدیل برف به رواناب، مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده رود** ،مجله تحقیقات منابع آب ایران، **۱۱(۲)**: ۳۵-۴۹.

انصاری ،نگار ،(۱۳۹۳) **اثر تغییر اقلیم بر رواناب ذوب برف (حوضه آبخیز سد کرج)**،پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گنبدکاووس - دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی . ۱۳۹۳.

قربانی زاده خرازی حسین، صدقی حسین، ثقفیان بهرام، پرهمت جهانگیر، **بررسی اثر تغییر اقلیم بر زمان حداکثر جریان رواناب ناشی از ذوب برف** ،علوم مهندسی آبخیزداری ایران ، **۳(۹)**: ۲۳-۳۶.

نظری شیخی مریم، ،سعید تقوی گودرزی ، نسیم کائدی، **ارزیابی تغییر برف مرزناشی از تغییر اقلیم درحوضه شهرستان الشتر** ،دوازدهمین کنگره انجمن جغرافیایی ایران با محوریت آمایش سرزمین،الگوی ایرانی اسلامی پیشرفت ،۱۳۹۳

کمال،علیرضا و مساح بوانی، علیرضا (۱۳۸۹). **تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر روانآب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی**. مجله آب و خاک، **۲۴** ،۹۳۱-۹۲۰.

گل محمدی،م. و مساح بوانی، ع.ر. (۱۳۹۰). **بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییراقلیم**، مجله آب و خاک، **۲۵**، ۳۱۳-۳۲۶.

مساح بوانی، علیرضا و مرید، سعید. .(۱۳۸۴). **تاثیر تغییرات اقلیم بر روی منابع آب و محصولات کشاورزی**، مجله تحقیقات منابع آب ایران، **۱** : ۴۰-۴۷ .

رحیم زاده فاطمه ، عسگری ، احمد ، محمدیان ، نوشین ، فتاحی ، ابراهیم و افسانه تقی پور (۱۳۸۶). **روند نمایه های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱**.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]

عسگری، احمد، رحیم زاده، فاطمه، محمودیان، نوشین و ابراهیم فتاحی (۱۳۸۶)، **تحلیل روند نمایه‌های بارش حدی در ایران**، تحقیقات منابع آب، **۳(۳)**: ۵۵-۴۲.

Ackerman, S.A., Strabala, K.I., Menzel, P.W.P., Frey, R.A., Moeller, C.C., Gumley, L.E., 2002. **Discriminating clear sky from clouds with MODIS**. Journal of Geophysical Research, **103**:132- 157

CMAP, (2013). **Appendix A: Primary Impacts of Climate Change in the Chicago Region**, WWW.CMAP.illinois.org

Fassnacht S. R., M. L. Cherry,. N. B. H. Venable and F. Saavedra (2016). **Snow and albedo climate change impacts across the United States Northern Great Plains ,The Cryosphere**, 10, 329–339, 2016 www.the-cryosphere.net/10/329/2016/

Hall, D.K., Riggs, G.A. and Salomonson, V.V., 1995. **Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data, Remote Sensing of Environment**, Volume 54, Issue 2, November 1995, pp .127-140.

Hall, D.K., Riggs, G.A., andScharfen, G.R., 2001. **Earth Observing System (EOS) Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Global Snow-Cover Maps**. IAHS Proceedings and Reports 267: pp .55-60.

Hayhoe, K., J. VanDorn, T. Croley II, N. Schlegal, and D. Wuebbles,(2010). **Regional climate change projections for Chicago and the US Great Lakes.** Journal of Great Lakes Research, Supplement 2, Vol. 36, 7-21.

Klein, A. G., Hall, D. K. 1998 a. **Algorithm intercomparison for accuracy assessment of the MODIS snow-mapping algorithm.** 55th Annual Eastern Snow Conference. New Hampshire, June 2 – 3' Jackson.

Klein, A.G. and Barnett, A.C., 2003. **Validation of daily MODIS snow cover maps if the Upper Rio Grande River Basin for the 2000- 2001 snow year**, Remote Sens. Environ., 86, 162–176, 2003.

Malcher, P. and Rott, H., 2003. **Snow Mapping in Alpine Areas Using Medium Resolution Spectrometric Sensors**, Institute for Meteorology and Geophysics IMGI University of Innsbruck.

Parajka1, J. and Bl¨oschl1, G. 2006 .**Validation of MODIS snow cover images over Austria Hydrol**. Earth Syst. Sci., 10, 679–689, www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/679/2006.

Riggs, G.A.,Barton, J.S.,Casey, K.A.,Hall,D.K. and Salomonson. V.V., 2000. MODIS Snow Products Users' Guide nrm.salrm.uaf.edu/~dverbyla/MODIS,...Products/.../snow_users_guide.pdf

Riggs, G. A., Hall, D. K., and Salomonson, V. V., 2006. **MODIS snow products user guide, http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/userguides.html**.

Wang, J., Li, H. Y. and Hao , X. H. 2010.**Responses of snowmelt runoff to climatic change in an inland river basin, Northwestern China**, over the past 50a, www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/7/493/2010/

Wang, Xianwei. And Liang, Tiangang., 2008. **Evaluation of MODIS Snow Cover and Cloud Mask and its Application in Northern Xinjiang Remote Sensing of Environment, Volume112**, Issue 4, pp.1497-1513.

Zhang, X. (2007), **"ETCCDI/CRD climate change indices software",** Jan 1, 2007, Climate Research Division of Environment Canada, cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml.

Zhang, Yan 2003. **MODIS and Snow-cover,** http://climate.eas.gatech. edu/yzhang/MODIS_snow.pdf

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.54.4.4]
[DOI: 10.29252/jgs.19.54.47]