

اثر تغییرات سطح و ماندگاری پوشش برف بر پوشش گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری

- ❖ لیلا یغمایی؛ دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ رضا جعفری*؛ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ سعید سلطانی؛ استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ حسن جهانبازی؛ استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری

چکیده

برف از عوامل موثر بر میزان و عملکرد پوشش گیاهی در ارتفاعات می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی اثر شاخص‌های سطح پوشش برف و ماندگاری پوشش برف بر دو گونه غالب و دارای زوال شامل گون گزی (*Astragalus adscendens*) و بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در استان چهارمحال و بختیاری از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ (۲۰۱۶-۲۰۰۳) می‌باشد. بدین منظور مقادیر شاخص نرمال شده تفاضل برف (Normalized Difference Snow Index, NDSI) و شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) از تصاویر ماهواره‌ای MODIS استخراج و در محدوده‌های دارای زوال پوشش گیاهی جنگلی (مناطق بارز، سوه، هلن و منطقه شاهد جنگلی) و پوشش مرتعی (منطقه زوال گون گزی و منطقه شاهد گون گزی) با استفاده از آنالیز پیرسون مقایسه گردید. نتایج نشان داد که متوسط کاهش سطح پوشش برف در استان طی دوره مورد بررسی تا حدود ۳۲ درصد قابل مشاهده است، اگرچه روند ثابتی ملاحظه نگردید. شاخص‌های برف مطالعاتی حداکثر همبستگی را با پوشش‌های مرتعی و جنگلی در ماه مارس نشان دادند. مناطق دارای زوال گون گزی بیشترین همبستگی را با شاخص سطح برف ($R > 0.70$) و شاخص ماندگاری پوشش برف ($R > 0.71$) در ماه مذکور نشان داد. لذا، نتایج بیانگر آن است که تاثیر ماندگاری برف بر پوشش گیاهی بیشتر از سطح برف می‌باشد. مطابق یافته‌های تحقیق، بارش‌های برف انتهایی فصل زمستان و ماندگاری آن بر میزان پوشش گون گزی در مقایسه با پوشش گیاهی جنگلی موثرتر و در صورت کاهش برف این گونه به زوال حساس تر می‌گردد.

واژگان کلیدی: سطح پوشش برف، ماندگاری پوشش برف، NDSI، NDVI، MODIS

۱. مقدمه

ناحیه رویشی زاگرس، با تحت پوشش قرار دادن ۱۱ استان شامل آذربایجان غربی، همدان، کردستان، کرمانشاه، لرستان، خوزستان، فارس، مرکزی، اصفهان، چهارمحال بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و ایلام، حدود یک سوم جمعیت کشور و بیش از نیمی از دام‌های کشور، ۳۰ درصد از کل نزولات، ۴۰ درصد از آب‌های جاری، ۳۳ درصد از آب‌های سطحی و ۴۰ درصد مساحت جنگل‌های کشور را به خود اختصاص داده است [۴۶] و به دلایل متعدد اجتماعی-اقتصادی-سیاسی و بوم‌شناختی از عرصه‌های کلیدی و راهبردی کشور به‌شمار می‌آید [۱۹، ۲۰، ۲۸]. گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در بیشتر نقاط زاگرس به صورت گونه غالب بوده و بیشتر در قسمت‌های مرکزی، جنوبی و جنوب‌شرقی زاگرس مشاهده می‌گردد. می‌توان گفت جنس بلوط مشخص‌کننده سیمای ظاهری این جنگل‌ها است [۲۰، ۲۸].

در میان عوامل موجود در طبیعت، اقلیم تعیین‌کننده‌ترین عامل پراکنش جانداران، به‌ویژه گیاهان می‌باشد [۲۳]. به‌طور کلی، تغییرات بارش و دما به واسطه تغییرات اقلیمی از یک طرف سبب کاهش میزان ذخایر برف و افزایش رواناب، از طرف دیگر سبب تغییر فیزیولوژیکی گیاهان می‌شود. همچنین کاهش ذخایر برف و تغییر نوع، سبب افزایش بروز بیماری‌های گیاهی [۴۰]، افزایش احتمال آتش‌سوزی در مراتع در اثر خشکسالی [۴۴] تأثیرات منفی اقتصادی-اجتماعی در زندگی انسان‌ها و اثرات منفی بر اکوسیستم می‌شود [۲۶]. برف عامل تأثیرگذار بر آب مورد نیاز گیاهان و نیز در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب است و به نوعی برآیند عوامل اقلیمی بر مقدار برف تأثیرگذار خواهد بود [۱۱، ۱۷]. اگر پوشش برف در محیط‌های کوهستانی از طریق گرم شدن آب و هوا کاهش یابد، گیاهانی که به طور معمول در زمستان توسط برف محافظت می‌شوند، بیشتر در معرض خطر آسیب سرما و خشک شدن قرار گیرند [۲۷].

اثرات متقابل برف و پوشش گیاهی پیچیده است. پوشش گیاهی در تجمع و یا پراکنش برف تأثیرگذار می‌باشد و متقابلاً برف نیز از گیاهان در برابر درجه حرارت بسیار پایین، نوسانات زیاد دما، انفجار کریستال‌های یخ، خشک شدن و گیاه‌خواری محافظت می‌کند [۶، ۳۵]. بین توزیع برف و نوع پوشش گیاهی رابطه نزدیک وجود دارد [۱۰]. گیاهانی که در زمستان پوشیده از برف هستند، معمولاً پس از ذوب شدن برف می‌توانند به سرعت جوانه بزنند تا حداکثر استفاده را از فصل رشد داشته باشند و تغییر در شرایط برفی بر توزیع آینده پوشش گیاهی، تنوع زیستی و بهره‌وری تأثیر می‌گذارد [۹]. برای برخی مناطق افزایش وقایع ذوب در اواسط زمستان و باران به جای بارش برف، باعث آسیب بر گونه‌های بوته‌ای می‌شود [۴]. وقایع ذوب زمستان عامل مهمی در زوال یکی از با ارزش‌ترین گونه‌های چوبی سرو زرد آلاسکا (*Chamaecyparis nootkatensis*) در آمریکای شمالی بوده است. این درخت چندین موج مرگ را در مساحتی بیش از ۲۰۰۰۰۰ هکتار ناشی از کاهش سطح برف و همچنین ذوب برف در اواسط زمستان را تجربه کرده است [۳، ۱۵]. برف می‌تواند با ذخیره رطوبت در خاک نقش اساسی در تولید و عملکرد پوشش گیاهی داشته باشد. به نحوی که کاهش در میزان پوشش و سطح برف، باعث تأثیرات منفی بر گیاهان و کاهش عملکرد و در نهایت زوال آنها می‌گردد.

پائودل و آندرسون (۲۰۱۳) تغییر زمان و سطح پوشش برف بر الگوهای زمانی-مکانی تولید پوشش گیاهان مرتعی در بخش‌هایی از مناطق کوهستانی هیمالیا واقع در کشور نپال را مورد آزمون قرار دادند. نتایج حاکی از یک ارتباط خطی و مثبت قوی بین تولید گیاهان مرتعی و پوشش برف در قسمت‌های مختلف منطقه مورد بررسی بود. در حالی که درجه حرارت عامل مهمی در پویایی پوشش گیاهان مرتعی است، اما تغییر در پوشش برف و الگوی بارندگی نقش مهم‌تری در مناطقی که از برف تغذیه می‌شوند، دارد [۳۳]. وان و همکاران (۲۰۱۴) در

در حقیقت ضامن بقای این جنگل‌ها نیز بوده، توانایی تکثیر غیرجنسی این درخت از طریق تولید جست است. بهره برداری‌های بی‌رویه با هدف تأمین سوخت و دخالت در زیر اشکوب جنگل با تبدیل اراضی جنگلی به مراتع و دیم‌زارهای کم‌بازده و همچنین مدیریت‌های غیر اصولی که در این جنگل‌ها اعمال گردیده، سبب تغییر فرم و ترکیب این جنگل‌ها از دانه‌زاد و آمیخته به شاخه‌زاد خالص شده است [۳۸]. نظر به اهمیت فراوان بلوط ایرانی در حفظ آب و خاک و همچنین نداشتن اطلاعات کافی در خصوص آن، ضرورت بدست آوردن اطلاعات در مورد عوامل موثر بر زوال این گونه به‌منظور ارائه راهکارهایی مفید جهت حفظ، احیا و توسعه رویشگاه‌های آن، اجتناب‌ناپذیر است.

همچنین نتایج طرح تحقیقاتی پهنه‌بندی زوال گونه‌های جنگلی و مرتعی در استان چهارمحال و بختیاری نشان داده است که دامنه خشکیدگی مختص بلوط نیست و علاوه بر بلوط، سایر گونه‌های درختی و درختچه‌ای و حتی گونه‌های مرتعی که برخی از گونه‌ها که با شرایط سخت اکوسیستم سازگار هستند مانند گون گزی (*Astragalus adscendens*) دچار خشکیدگی شده‌اند و این امر موجب نگرانی شدید از این بابت گردیده است [۱۸]. خشکیدگی چنین گونه‌هایی در سطح استان می‌تواند خسارت جبران‌ناپذیری بر این اکوسیستم وارد نماید. از طرف دیگر استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه اصلی ۳ رودخانه مهم کشور (کارون، زاینده رود و کرخه) می‌باشد که در چند سال اخیر سدهای زیادی بر روی این رودخانه‌ها احداث شده است. خشکیدگی گونه‌های مختلف جنس گون در بالادست حوضه، عرصه را مستعد فرسایش آبی نموده و نتیجه این امر پر شدن مخازن سدها از رسوب خواهد شد و در آینده نیز تبعات دیگری به دنبال خواهد داشت. بنابراین ضرورت دارد از انطباق عوامل اقلیمی با گستره زوال جنگل‌ها و مراتع زاگرس، فرضیه ارتباط بین زوال این مناطق و تغییر عوامل اقلیمی مهم و تاثیرگذار مانند عامل برف مورد بررسی قرار

مطالعه ارتباط بین سطح پوشش برف، عمق برف و NDVI برای آشکار کردن اثر تغییر در سطح برف بر رشد پوشش گیاهی در منطقه Qinghai در فلات قاره تبت نشان دادند که ارتباط مثبت و معنی‌داری بین سطح پوشش برف و مقادیر NDVI در آوریل و جولای وجود دارد و ذوب شدن برف باعث افزایش مقادیر NDVI در بهار می‌شود [۴۳].

در سالیان اخیر، یکی از رخداد‌های تلخی که در جنگل‌های زاگرس در حال رخ دادن است و پیوسته بر وسعت آن افزوده می‌شود، زوال یا خشکیدگی است. زوال، خشک شدن پیشرفته جوانه‌ها و شاخه‌ها است که باعث از بین رفتن شاخه‌های درخت از بالای تاج به پایین می‌شود. این شرایط به تمام برگ‌ها و شاخه‌ها گسترش می‌یابد و در نهایت کل گیاه را پوشانده و باعث مرگ آن می‌شود [۱۲]. زوال پوشش گیاهی از لحاظ میزان خشکیدگی پایه به پایه، به ۳ دسته تقسیم‌بندی می‌شود. زوال بصورت کامل که شامل خشکیدگی کامل و حمله آفات و امراض به پایه مورد نظر می‌باشد. خشکیدگی بخشی از تاج (از بالا به پایین یا از پائین به بالا) و مشاهده شواهد حمله آفات و امراض، تحت فشار بودن پوشش گیاهی و خزان زودرس آن و خشکیدگی برخی از قسمت‌های تاج شامل شاخه‌های انتهایی می‌باشد [۱۸].

ناحیه رویشی زاگرس سالیان درازی است که بر اثر چرای مفرط دام، تغییر کاربری اراضی، بیماری‌های قارچی و گیاهی، کاهش زادآوری طبیعی و گرد و غبارهای سالیان اخیر تحت تأثیر قرار گرفته و شکننده شده است [۱۶]. تغییر درازمدت عوامل اقلیمی و نیز تغییر نوع بارش و کاهش سطح برف در اثر پدیده گرمایش جهانی نیز، به‌عنوان یکی از فرضیاتی است که زوال این جنگل‌ها و گونه‌های مهم جنگلی آن از جمله بلوط ایرانی را تسریع می‌کند [۲]. گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) گونه غالب جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری است که در اثر تخریب‌های بی‌رویه از فرم دانه‌زاد به فرم شاخه‌زاد تبدیل شده است. از خصوصیات خارق‌العاده این گونه که

مطالعاتی دچار خشکیدگی با درصدهای مختلف شده‌اند. لذا، بررسی ابعاد این پدیده با سرکشی به تمامی نقاط جنگلی و مرتعی در قالب طرح "پهنه بندی زوال گونه‌های جنگلی و مرتعی استان" توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری انجام و سطح مناطق درگیر پدیده خشکیدگی و نقشه‌های مربوطه در استان مشخص گردید. همچنین در طرح مذکور پهنه‌بندی زوال و تعیین شدت خشکیدگی گونه مرتعی گون گزی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری انجام گردید. نتایج طرح مذکور نشان داد که در بین گونه‌های جنگلی و مرتعی به‌ترتیب بلوط ایرانی و گون گزی بیشترین سطح خشکیدگی را در بین سایر گونه‌ها به‌خود اختصاص داده‌اند. با استفاده از نتایج طرح مذکور سه کانون مهم خشکیدگی بلوط ایرانی و یک کانون خشکیدگی گون گزی و دو منطقه شاهد جنگلی و مرتعی انتخاب و عوامل مذکور در آنها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج طرح پهنه‌بندی خشکیدگی گونه‌های جنگلی و مرتعی که بر اساس بازدید دقیق از کلیه مناطق جنگلی و مرتعی استان چهارمحال و بختیاری حاصل شد، نشان می‌دهد که خشکیدگی در جنگل‌های بلوط استان به‌طور عمده شامل مناطق بارز، سراقاسید(سوه) و هلن می‌باشد که این مناطق بالاترین سطح خشکیدگی در استان را به‌خود اختصاص می‌دهد. همچنین دو منطقه که در آن گونه‌های گون گزی و بلوط ایرانی گونه غالب بوده و در آن زوال مشاهده نگردید، به‌عنوان منطقه شاهد مرتع و جنگل در نظر گرفته شدند (شکل ۱). در ادامه خلاصه‌ای از خصوصیات اقلیمی، توپوگرافی و خاک‌شناسی هر منطقه بر اساس نتایج طرح پهنه‌بندی خشکیدگی گونه‌های جنگلی و مرتعی استان چهارمحال و بختیاری آورده شده است.

خصوصیات پهنه جنگلی هلن: سطح کلی این منطقه حدود ۳۷ هزار هکتار است. در این منطقه سه اقلیم شامل معتدل و مرطوب، نیمه خشک سرد و نیمه مرطوب سرد وجود دارد. دامنه ارتفاع از سطح دریا در این پهنه از

گیرد. طبق بررسی‌های انجام شده، تاکنون، مطالعه جامعی بر روی ارتباط تغییرات سطح برف مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای با خشکیدگی گونه‌های بلوط ایرانی و گون گزی در ایران انجام نشده است، بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی ارتباط بین تغییرات سطح و ماندگاری پوشش برف با زوال مناطق عمده رویش دو گونه گون گزی (*Astragalus adscendens*) و بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در استان چهارمحال و بختیاری براساس طرح پهنه‌بندی زوال گونه‌های جنگلی و مرتعی استان بوده است [۱۸].

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با وسعت ۴۰۱۲۴ کیلومتر مربع در جنوب غربی و در نوار کوهستانی غرب ایران قرار گرفته است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). این استان به علت ارتفاع زیاد از سطح دریا، دارای زمستانهای بسیار سرد و تابستان‌های معتدل است. از نظر توزیع بارش در استان می‌توان گفت میزان آن از غرب به شرق کاهش می‌یابد؛ به طوری که میانگین بارش در غرب و شمال غرب استان بین ۷۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی متر و در نواحی مرکزی بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی متر و در شرق استان به ۳۰۰ میلی متر می‌رسد. براساس مطالعات انجام شده، گونه‌های گون گزی (*Astragalus adscendens*) و بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) از گونه‌های غالب مرتعی و جنگلی با ارزش حفاظتی بالا در جهت کاهش تخریب و فرسایش در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشند [۲۴، ۳۸، ۴۱].

در استان چهارمحال و بختیاری طی بازدیدهایی که توسط جهانبازی و شیرمردی (۱۳۹۳) از جنگل‌ها و مراتع استان صورت گرفت، مشخص گردید که گونه‌های

است.

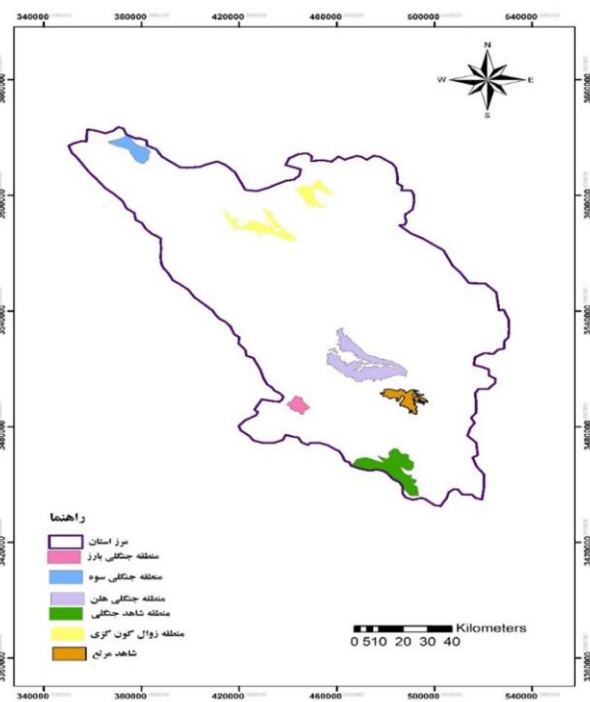
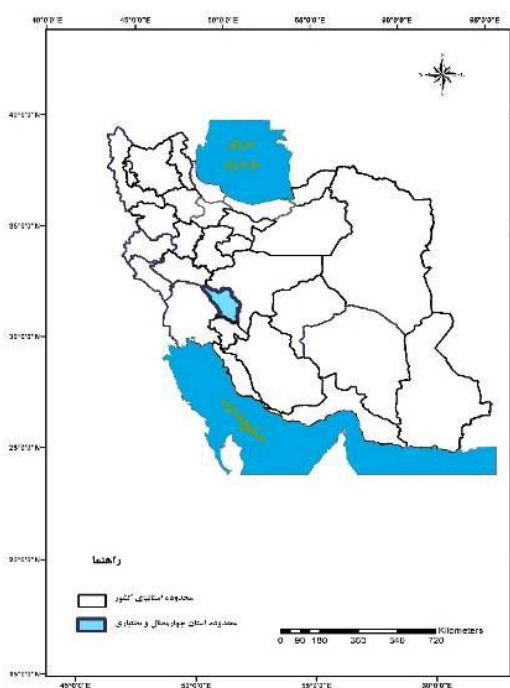
کانون خشکیدگی گونه Boiss.&Hausskn *Astragalus adscendens* ۱۳۴۸۵ هکتار بوده و مهم‌ترین کانون خشکیدگی گونه گون گزی در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که در اطراف سد بیدکان و دامنه‌های شمالی کوه چوبین و تپه ماهورهای بین هارونی و مرغملک واقع شده است. حداقل ارتفاع از سطح دریا در این کانون ۱۷۶۶ و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در آن ۳۴۰۰ متر می‌باشد.

خصوصیات پهنه شاهد مرتعی (بدون زوال): در این پهنه گونه گون گزی به‌عنوان غالب بوده و آثار زوال در سطح این پهنه مشاهده نگردیده است. سطح کلی این منطقه حدود ۱۱ هزار هکتار است. این منطقه در اقلیم‌های معتدل و مرطوب قرار دارد. دامنه ارتفاع از سطح دریا در این پهنه از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا متغیر است. بیشترین سطح خشکیدگی در جهات جغرافیایی متعلق به جهت جنوبی و کمترین آن در جهت شمال شرقی بوده است.

۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا متغیر است. بیشترین سطح خشکیدگی در جهات جغرافیایی متعلق به جهت جنوبی و کمترین آن در جهت شمال شرقی بوده است. خصوصیات پهنه جنگلی بارز: سطح کلی این منطقه حدود ۴۷۰۰ هکتار است. اقلیم نیمه مرطوب گرم این منطقه را فرا گرفته است. دامنه ارتفاع از سطح دریا در این پهنه از ۸۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا متغیر است. بیشینه سطح خشکیدگی در جهت جنوب شرقی و کمینه آن در جهت غرب بوقوع پیوسته است.

خصوصیات پهنه جنگلی سوه: سطح کلی این منطقه حدود ۱۰ هزار هکتار است. اقلیم معتدل و مرطوب این منطقه را فرا گرفته است. دامنه ارتفاع از سطح دریا در این پهنه از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا متغیر است. بیشینه سطح خشکیدگی در جهت جنوب شرقی و کمینه آن در جهت غرب مشاهده گردیده است.

منطقه شاهد جنگلی (بدون زوال): سطح کلی این منطقه حدود ۲۸ هزار هکتار است. اقلیم نیمه مرطوب گرم این منطقه را دربر گرفته است. دامنه ارتفاع از سطح دریا در این پهنه از ۸۰۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا متغیر



شکل ۱. استان چهارمحال و بختیاری در ایران و محدوده‌های دارای زوال پوشش گیاهی در این استان

۲.۲. آماده سازی داده‌ها

بازتابش‌های باندهای ۴ و ۶ مودیس می‌باشد. این تصاویر شاخص در طی دوره مورد بررسی دانلود و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۳۱]. همچنین همزمان با تولیدات برف، تولیدات MOD13A1 که حاوی اطلاعات مربوط به شاخص گیاهی NDVI بودند، با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر در طی ماه‌های اسفند تا آبان (ماه‌هایی غالبی که پوشش گیاهی استان تولید داشت) دانلود و مورد استفاده قرار گرفت [۲۹]. تصحیح هندسی تولیدات برف و پوشش گیاهی با استفاده از افزونه MCTK^۳ در نرم افزار ENVI انجام گردید. برای جداسازی برف از سایر عارضه‌ها از قبیل ابر، زمین و آب از بازتاب شدید برف از شاخص NDSI و از رابطه ذیل استفاده می‌گردد [۱۴].

$$NDSI = \frac{P_4 - P_6}{P_4 + P_6}$$

که در این معادله، P4 و P6 به ترتیب بازتابش در باند چهارم و ششم مودیس می‌باشند. سطح پوشش برف به‌وسیله مقادیر شاخص NDSI که بزرگتر از صفر باشد، مشخص می‌گردد. شاخص‌های استخراج شده از تولیدات برف در این مطالعه شامل: (۱) شاخص نسبت پوشش برف که این شاخص نسبت بین تعداد پیکسل‌های پوشیده از برف به کل پیکسل‌های موجود در منطقه می‌باشد و (۲) شاخص ماندگاری پوشش برف SCD^۴ که این شاخص بیانگر مدت زمان پوشش برف می‌باشد که توسط رابطه ذیل محاسبه گردید [۲۲].

$$SCD = m \times \sum_{i=1}^N Si$$

که در این رابطه، m: دوره زمانی تولیدات تصویر (برای MOD10A2 برابر است با ۸ روز)، N: تعداد تصاویر در سال، Si: برف و یا عدم برفی بودن هر پیکسل است. اگر

برای مطالعه تاثیرات تغییرات پوشش برف بر زوال گونه‌های بلوط ایرانی و گون گزی، در این تحقیق، سطح پوشش برف با استفاده از تولیدات ماهواره‌ای سنجنده مودیس^۱ MODIS برای یک دوره ۱۴ ساله ۱۳۹۵-۱۳۸۲ آمد (۲۰۱۶-۲۰۰۳) برای استان چهارمحال و بختیاری بدست آمد (<https://nsidc.org/data/MOD10A2>). سنجنده MODIS یکی از سنجنده‌های اصلی ماهواره‌های آکوا و ترا^۲ است که تصویربرداری آن مارس ۲۰۰۰ شروع شد. سنجنده MODIS دارای ۳۶ باند دریافتی از طول موج ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر است. قدرت تفکیک باندهای یک و دو ۲۵۰ متر، باندهای سه تا هفت، ۵۰۰ متر و باندهای هشت تا ۳۶، هزار متر است. قدرت تفکیک رادیومتریک این سنجنده نیز دوازده بیت می‌باشد. از مزایای دیگر استفاده از تصاویر سنجنده MODIS به روز بودن تصاویر آن، دارا بودن چندین قدرت تفکیک مکانی (محلی، منطقه‌ای، بین المللی، قاره‌ای و جهانی) است که آن را برای تحقیقات علمی و مدیریت منابع زمینی مناسب کرده است [۱].

تصاویر MODIS با دقت مکانی ۵۰۰ متر برای ۴ ماه از سال (ماه‌های دی، بهمن، اسفند و آذر معادل ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر) در دوره مطالعاتی در نظر گرفته شد. تصاویر این بازه به علت غالب بودن وجود برف و ریزش برف انتخاب گردید.

تولیدات سطح برف سنجنده مودیس (MOD10A2) بیانگر حداکثر سطح پوشش برف در یک دوره ۸ روزه در ماه‌های مذکور می‌باشد. بدین صورت که حداکثر سطح پوشش برف در مدت زمان ۸ روز ملاک عمل قرار می‌گیرد. تولیدات سطح برف سنجنده مودیس با استفاده از الگوریتم Snowmap و در دوره‌های ۸ روزه تولید می‌گردد. الگوریتم Snowmap بر پایه شاخص NDSI و

^۱ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

^۲ Aqua, Terra

^۳ MODIS Conversion Toolkit

^۴ Snow Cover Duration

است. میانگین سطح پوشش برف در دوره مورد بررسی در بهمن ماه (فوریه) در این منطقه ۰/۰۹ محاسبه گردید. در ماه اسفند به استثنای سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) که شاخص نسبت پوشش برف در آن ۰/۸۵ بوده است، در بقیه سال‌های مورد مطالعه، این منطقه فاقد برف بوده است و میانگین شاخص در این ماه ۰/۰۶ بدست آمد. نمودار شاخص نسبت پوشش برف در ماه دسامبر نشان می‌دهد که سطح مناطق برفی طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۲ (۲۰۰۶-۲۰۰۳) روند صعودی را طی نموده و در سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) به حداکثر میزان خود (۸۴/۵ درصد سطح منطقه) رسیده است و سپس تا پایان دوره مورد بررسی، هیچ پوشش برفی در منطقه دیده نشده است و میانگین شاخص نسبت پوشش برف در این ماه ۰/۰۷ می‌باشد.

در منطقه سوه، شاخص نسبت پوشش برف طی سال‌های ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) تا ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) روند صعودی را طی کرده و سپس از سال ۱۳۸۷ (۲۰۰۸) روند نزولی خود را آغاز کرده، به نحوی که در سال ۱۳۸۷ (۲۰۰۸) نسبت به سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) سطح برف در منطقه در حدود ۰/۶۲ کاهش پیدا کرده است و در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) به صفر رسیده است. متوسط شاخص در این منطقه ۰/۳۷ بوده است. در بهمن ماه، شاخص نسبت پوشش برف در منطقه سوه در طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۲ (۲۰۰۷-۲۰۰۳) افزایش و در سال ۱۳۸۶ به حداکثر میزان خود یعنی ۰/۸۵ رسیده است. حداکثر شاخص نسبت پوشش برف در این منطقه در ماه دی، مربوط به سال ۲۰۱۰ است که به حداقل خود رسیده است و متوسط شاخص مذکور ۰/۲۶ بدست آمد. در ماه اسفند (مارس) شاخص نسبت پوشش برف در طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۵ (۲۰۱۰-۲۰۰۶) روند کاهشی داشته است. حداقل میزان سطح برف در این ماه، مربوط به سال ۱۳۸۸ (۲۰۰۹) است. حداکثر شاخص به میزان ۰/۹۸ در سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) و متوسط آن ۰/۱۹ بوده است. در ماه آذر (دسامبر) سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) تقریباً فاقد برف بوده و حداکثر شاخص به میزان ۰/۷۱ در سال

در پیکسلی برف وجود داشته باشد، عدد ۱ و اگر وجود نداشته باشد عدد صفر در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر جهت تعیین ارتباط آماری بین شاخص‌های برف ذکر شده و مناطق دارای زوال پوشش گیاهی از همبستگی پیرسون استفاده گردید.

۳. نتایج

۱.۳. روند تغییرات شاخص نسبت پوشش برف

در مناطق مختلف

تغییرات سطح پوشش برف حاصل از تصاویر سنجنده مودیس از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ (۲۰۱۶-۲۰۰۳) در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطوریکه در این تصاویر مربوط به دی‌ماه (ژانویه) که بطور نمونه ارائه شده است، میزان برف در سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) حداکثر و در سال ۱۳۸۷ (۲۰۰۸) حداقل می‌باشد. در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) نیز مقادیر برف در منطقه مطالعاتی به شدت کاهش یافته است. به منظور بررسی جزئیات تغییرات پوشش برف، از شاخص نسبت پوشش برف در هر یک از مناطق مطالعاتی استفاده گردید که روند این تغییرات از ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ (۲۰۱۶-۲۰۰۳) در شکل ۳ (الف تا ز) ارائه شده است.

این شاخص در دی‌ماه در منطقه جنگلی بارز، طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۲ (۲۰۰۶-۲۰۰۳) روند صعودی داشته، به نحوی که در سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) به حداکثر مقدار خود رسیده که در این سال سطح برف، سطحی معادل ۴۳۲۵ هکتار (۹۱ درصد از سطح منطقه) را پوشش داده است و از سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) به بعد روند نزولی پیدا کرده و تا سال ۱۳۹۵ (۲۰۱۶) هیچ پوشش برفی در این منطقه مشاهده نگردیده است. متوسط شاخص نسبت پوشش برف در این ماه در طی دوره مورد مطالعه ۰/۱۶ بوده است. در بهمن ماه (فوریه) به استثنای سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) که سطح شاخص نسبت پوشش برف در آن ۰/۸۰ و ۰/۵۰ بوده است، در بقیه سال‌های مورد مطالعه، این منطقه فاقد پوشش برفی بوده

(صفر) و میانگین آن در سال‌های مورد مطالعه ۰/۰۸ می‌باشد. حداکثر میزان شاخص در آذر سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) (۰/۶) و حداقل آن در آذرماه سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) و ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) (صفر) و میانگین شاخص در این منطقه ۰/۲۱ می‌باشد.

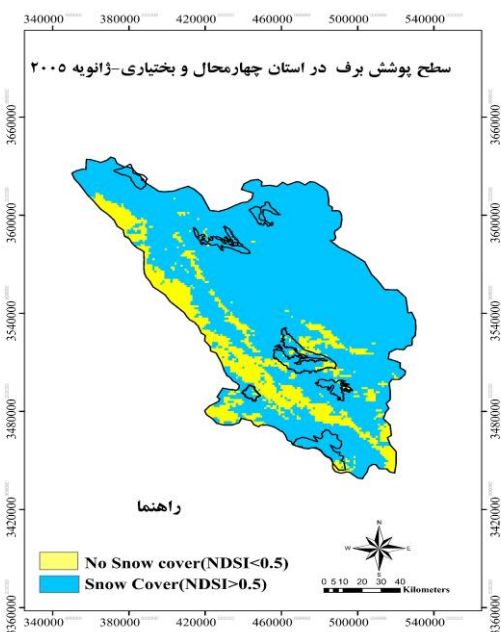
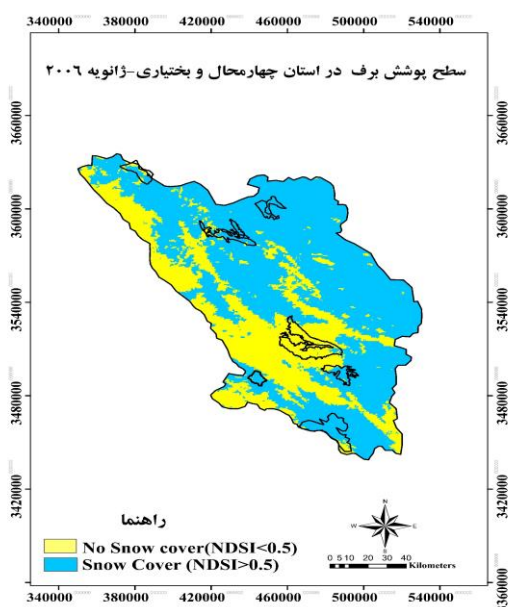
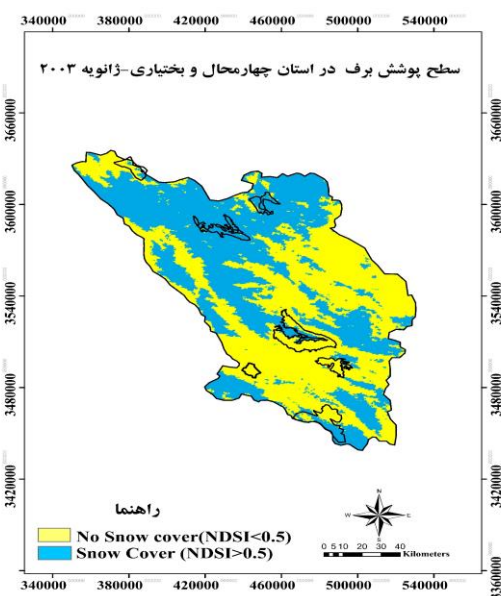
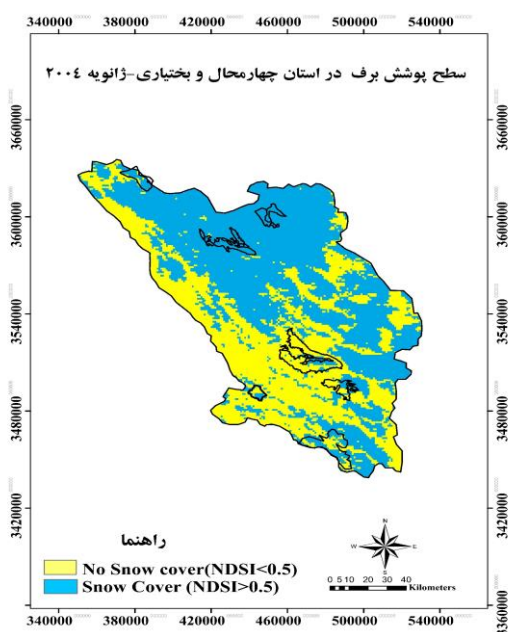
بررسی تغییرات شاخص نسبت پوشش برف ماه دی در منطقه زوال گون گزی نشان داد که به جز سال‌های ۱۳۹۱ (۲۰۱۲) و ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) که کاهش چشمگیری پیدا کرده و به حدود صفر درصد رسیده است، در مابقی سال‌ها سطح برف کاهش چشمگیری نداشته و روند نزولی و یا صعودی معنی‌داری را نمی‌توان ملاحظه نمود. حداکثر این شاخص در سال ۱۳۸۳ (۲۰۰۴) و ۱۳۹۰ (۲۰۱۱) به مقدار یک و حداقل آن در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) (صفر) و میانگین شاخص در سال‌های مورد مطالعه ۰/۷۴ می‌باشد. حداکثر شاخص در ماه بهمن در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) (۰/۹۹) و حداقل آن در سال‌های ۱۳۸۳ (۲۰۰۴) (۰/۳) و میانگین ۰/۶ می‌باشد. طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۹ (۲۰۱۰-۲۰۰۶) در ماه آذر کاهش چشمگیر سطح برف در منطقه مورد مطالعه رخ داده است به نحوی که شاخص نسبت پوشش برف از ۰/۶۸ در سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) به صفر در سال ۲۰۱۰ کاهش یافته است. در ماه اسفند حداکثر میزان شاخص در سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) (یک) و حداقل آن در سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) (صفر) مشاهده گردید. در منطقه شاهد گون گزی در دی ماه حداکثر میزان شاخص در سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۳) (۰/۹۰) و حداقل آن در سال‌های ۱۳۸۷ (۲۰۰۸)، ۱۳۸۹ (۲۰۱۰)، ۱۳۹۱ (۲۰۱۲) و ۱۳۹۲ (۲۰۱۳) (صفر) و میانگین شاخص در سال‌های مورد مطالعه در این منطقه ۰/۲۴ بوده است. حداکثر شاخص در بهمن سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) (۰/۷۶) و حداقل آن در سال‌های ۱۳۸۷ (۲۰۰۸)، ۱۳۸۹ (۲۰۱۰)، ۱۳۹۲ (۲۰۱۳) (صفر) و میانگین در سال‌های مورد مطالعه در این منطقه ۰/۱۴ می‌باشد. حداکثر شاخص نسبت پوشش برف در اسفند سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) (۰/۱۹) و حداقل آن در سال‌های ۱۳۸۷ (۲۰۰۸) و ۱۳۸۸ (۲۰۰۹) (صفر) و

۱۳۸۳ (۲۰۰۴) و متوسط شاخص ۰/۱۷ می‌باشد. حداکثر شاخص نسبت پوشش برف در منطقه هلن در دی‌ماه سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) به میزان ۰/۷۶ (۲۴۴۲۳) هکتار) و حداقل آن در سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) به میزان صفر و میانگین شاخص مذکور در دوره مطالعاتی ۰/۲ بوده است. در بهمن ماه در سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) در حدود ۰/۲۷ و حداقل آن در سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) به میزان صفر مشاهده گردید. میانگین شاخص در سال‌های مطالعاتی ۰/۱ می‌باشد. در ماه اسفند در سال ۱۳۹۵ (۲۰۱۶) در حدود ۶ درصد سطح منطقه و حداقل آن در تمام سال‌های مورد مطالعه به جز سال‌های ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) و ۱۳۹۵ (۲۰۱۶) به میزان صفر درصد مشاهده گردید. میانگین شاخص در این ماه ۰/۰۱ بدست آمد. از سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) تا ۱۳۹۵ (۲۰۰۶) در اسفندماه روند صعودی شاخص وجود داشته است و حداقل آن در سال‌های ۱۳۸۲ (۲۰۰۳)، ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) و ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) بدون هیچ پوشش برفی بوده است. میانگین شاخص در این منطقه در سال‌های مطالعاتی ۰/۰۸ می‌باشد.

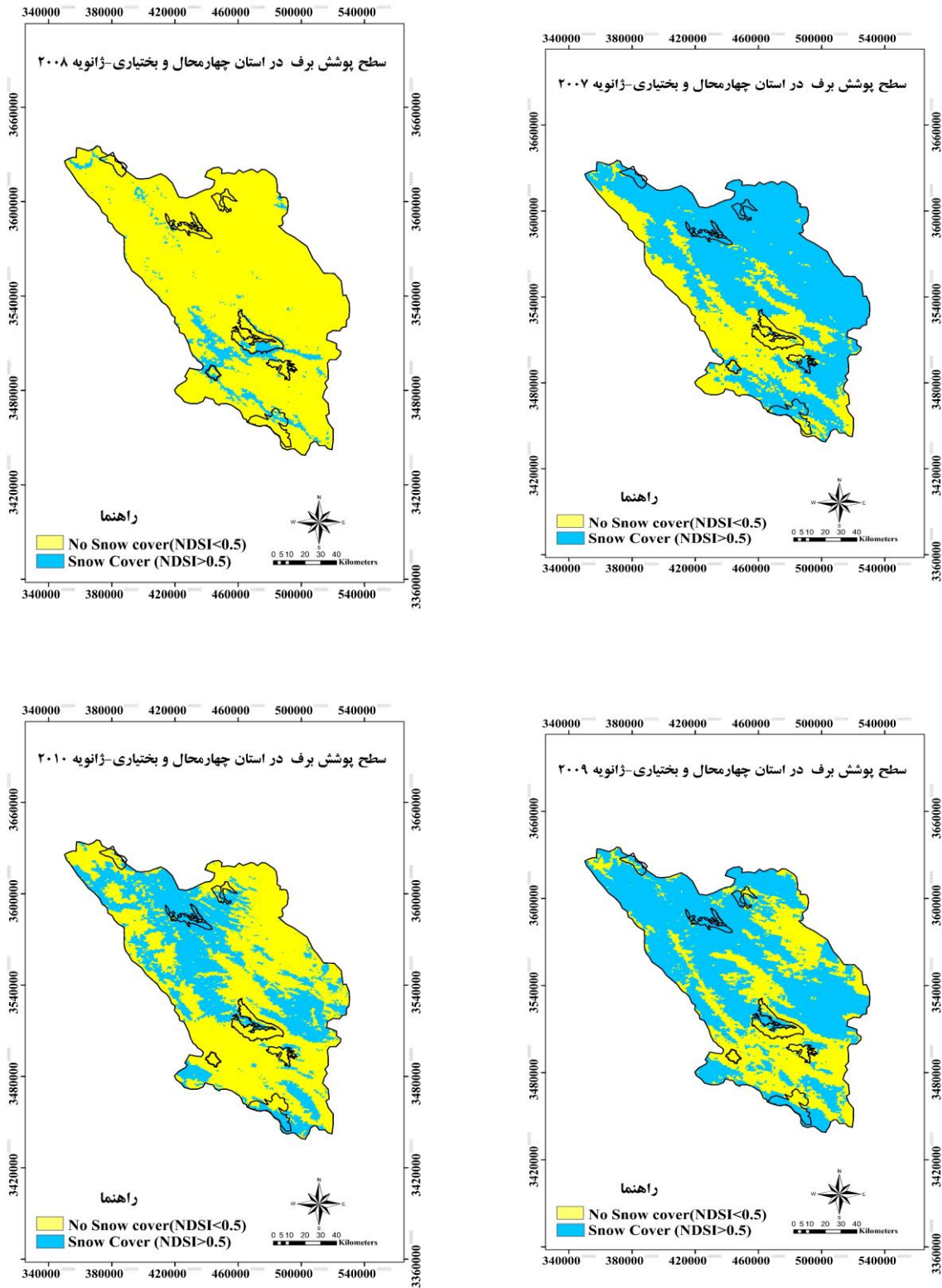
شاخص نسبت پوشش برف در منطقه شاهد جنگلی از سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) تا ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) در دی‌ماه روند صعودی داشته و از سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) به بعد بتدریج کاهش پیدا نموده است. درصد کاهش برف در این منطقه، نسبت به مناطقی که دچار زوال شده‌اند، بسیار کمتر می‌باشد. حداکثر میزان شاخص نسبت برف در سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) (۰/۸۵) و حداقل آن در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) (صفر) و میانگین آن در سال‌های مورد مطالعه در این ماه ۰/۴۷ می‌باشد. برف در ماه بهمن روند کاهشی یا افزایشی معنی‌داری نداشته است. حداکثر میزان سطح برف در سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) (۰/۶۳) و حداقل آن در سال ۱۳۸۳ (۲۰۰۴) (۰/۰۱) و میانگین شاخص نسبت پوشش برف ۰/۳۱ می‌باشد. حداکثر میزان سطح این شاخص در اسفندماه در سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) (۰/۵۷) و حداقل آن در سال ۱۳۸۸ (۲۰۰۹)، ۱۳۹۲ (۲۰۱۳) و ۱۳۹۴ (۲۰۱۵)

پوشش برفی در این ناحیه مشاهده نگردیده و یا بسیار اندک است. میانگین شاخص نسبت پوشش برف در سال‌های مطالعاتی ۰/۰۷ می‌باشد.

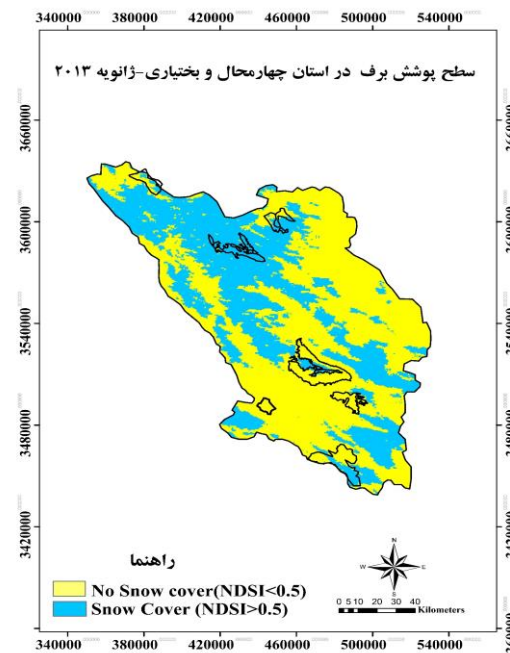
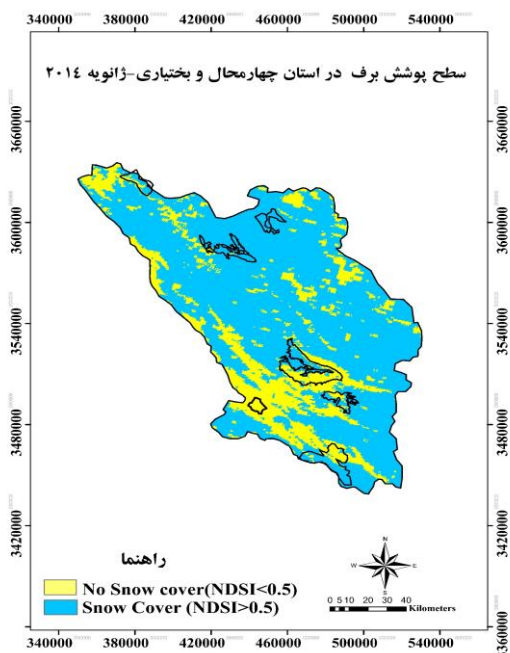
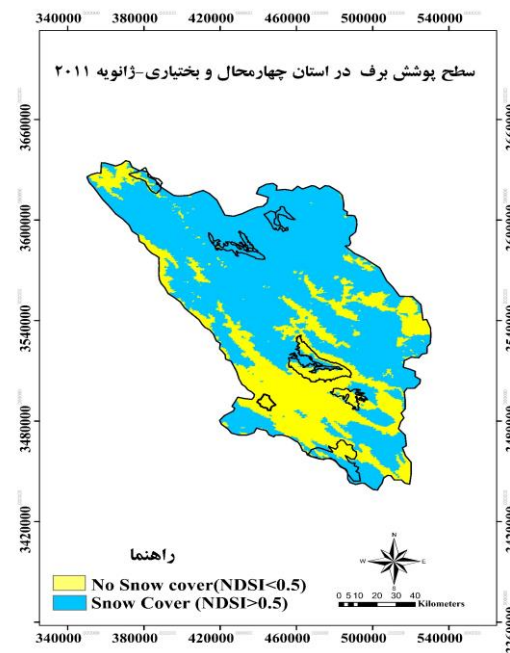
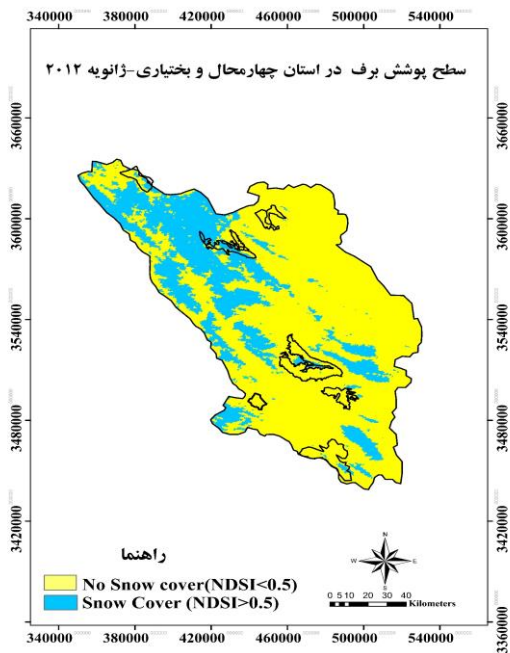
میانگین ۰/۰۶ می‌باشد. در آذرماه به جز سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۵ (۲۰۰۴ و ۲۰۰۶) که سطح پوشش برف به ترتیب مقادیر ۰/۴۰ و ۰/۷۰ را نشان می‌دهد، در اکثر سال‌ها



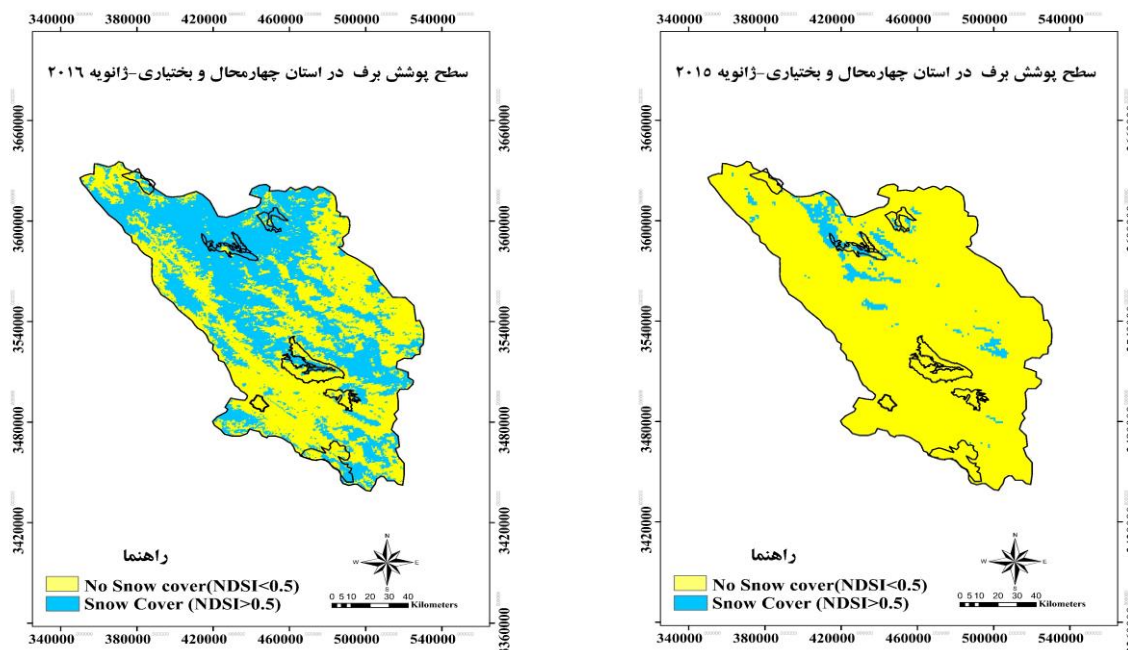
شکل ۲. سطح پوشش برف ماه ژانویه در استان چهارمحال و بختیاری طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۶ (رنگ آبی = برف، رنگ زرد = عدم وجود برف)



ادامه شکل ۲



ادامه شکل ۲



ادامه شکل ۲

در این ماه (۲۰۱۰) (۰/۰۵) و میانگین شاخص در استان در این ماه ۰/۳۰ دست آمد.

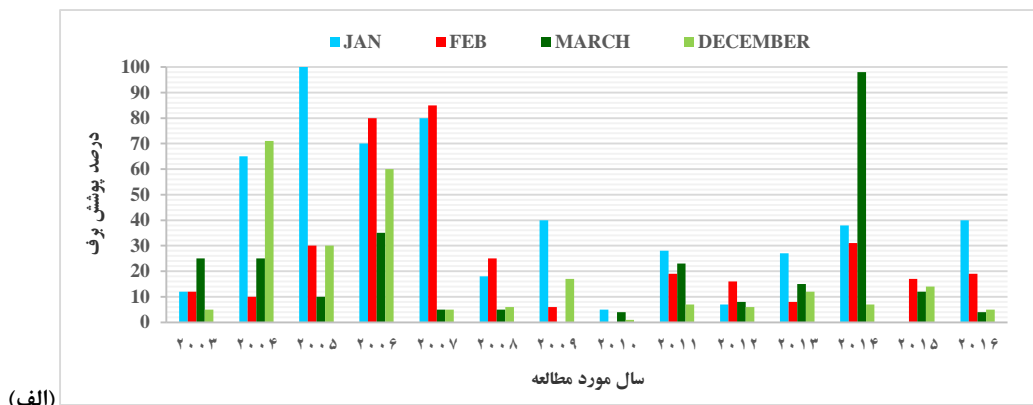
۲.۳. تغییرات پوشش گیاهی بر اساس NDVI

شاخص پوشش گیاهی NDVI در مناطق بارز، سوه، هلن، منطقه شاهد جنگل، منطقه زوال گون گزی و منطقه شاهد گون در ماه‌های اسفند تا آبان (مارس تا نوامبر) که پوشش گیاهی در این استان دارای تولید می‌باشد، از تصاویر مودیس استخراج و تغییرات این شاخص طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۳ محاسبه گردید (شکل ۴- الف تا و). همانطوریکه شکل‌ها نشان می‌دهند در ماه‌های حداکثر رشد، شاخص گیاهی دارای ارزش بالا و در ماه‌های پایانی دوره رویش این شاخص کاهش می‌یابد. همچنین در سال‌های ۱۳۸۷ (۲۰۰۸) و ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) که بارش برف کمتری نسبت به سال‌های دیگر رخ داده است، میزان پوشش گیاهی کاهش یافته است. در منطقه بارز حداکثر پوشش در سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) مربوط به ماه فروردین (آوریل) (۰/۳۷) و حداقل آن در سال ۲۰۰۸ مربوط به

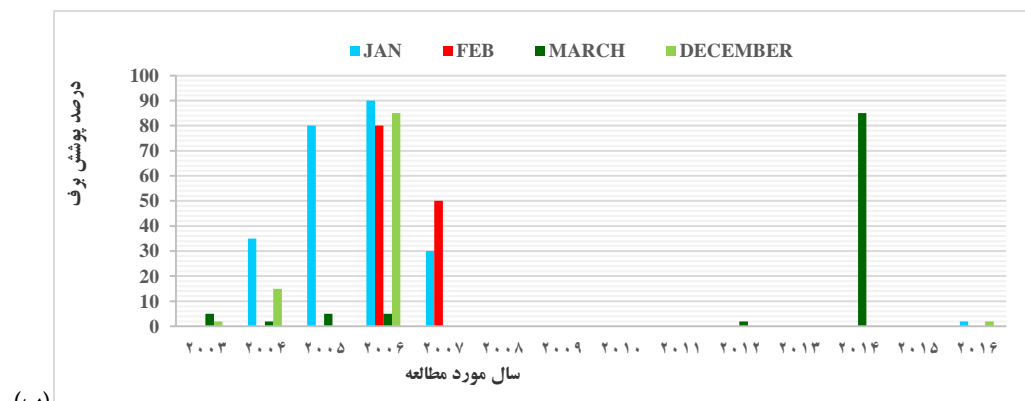
در کل استان چهارمحال و بختیاری در ماه دی طی سال‌های مورد بررسی، روند کاهشی و یا افزایشی خاصی در شاخص نسبت پوشش برف مشاهده نگردید. حداکثر میزان شاخص در سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) (۰/۸۰) و حداقل آن در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵) (۰/۴۰) و میانگین آن ۰/۴۶ می‌باشد. روند نزولی شاخص در بهمن ماه طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۵ (۲۰۱۰-۲۰۰۶) در استان مشاهده گردید. به نحوی که طی این مدت شاهد کاهش ۰/۳۷ در شاخص نسبت پوشش برف و سپس افزایش نسبی این شاخص طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۰ (۲۰۱۶-۲۰۱۱) ملاحظه گردید و میانگین شاخص ۰/۳۹ بوده است. روند نزولی شاخص در ماه اسفند طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ (۲۰۰۸-۲۰۱۳) در استان مشاهده گردید. حداکثر شاخص در سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) (۰/۳۰) و حداقل آن در سال ۱۳۸۸ (۲۰۰۹) (۰/۰۵) و میانگین آن ۰/۱۴ می‌باشد. روند صعودی شاخص در ماه آذر طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ (۲۰۰۶-۲۰۰۳) وجود داشته است. حداکثر شاخص نسبت پوشش برف در سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) (۰/۷۰) و حداقل آن در سال ۱۳۸۹

۱۳۸۲ (۲۰۰۳) حدود ۰/۳۲ و در ماه مرداد (آگوست) ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) حدود ۰/۰۲ به دست آمد. پوشش گیاهی بالا در سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) می تواند به علت کمبود میزان زوال این گونه در حدود ۱۴ سال گذشته نسبت به سال های اخیر و بارش های سال های قبل از ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) باشد که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته است.

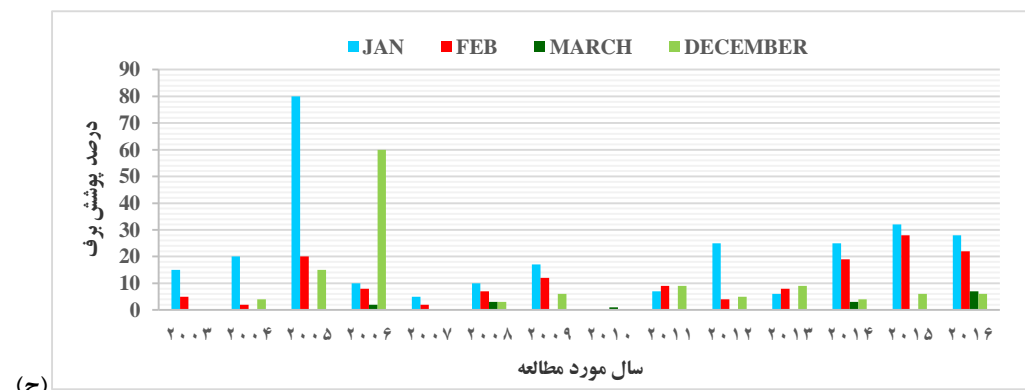
مهرماه (اکتبر) (۰/۱۲) است. در مناطق سوه، هلن و شاهد جنگل تقریباً تغییرات یکسانی ملاحظه شد. بطوریکه حداکثر پوشش بین ۰/۳ تا ۰/۳۴ قرار داشت و حداقل مقدار آن در سال ۱۳۸۷ (۲۰۰۵) مشاهده شد. حداکثر و حداقل مقدار پوشش گیاهی به ترتیب در منطقه زوال گون گزی و در منطقه شاهد این گونه در ماه تیر (جولای) سال



(الف)

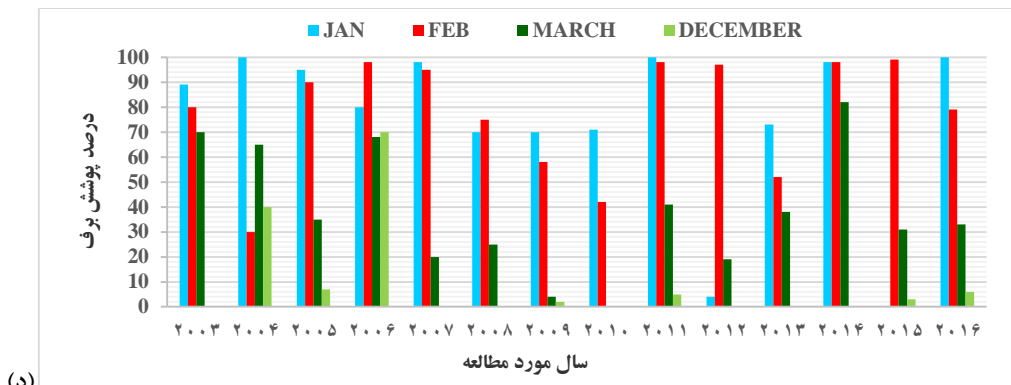


(ب)

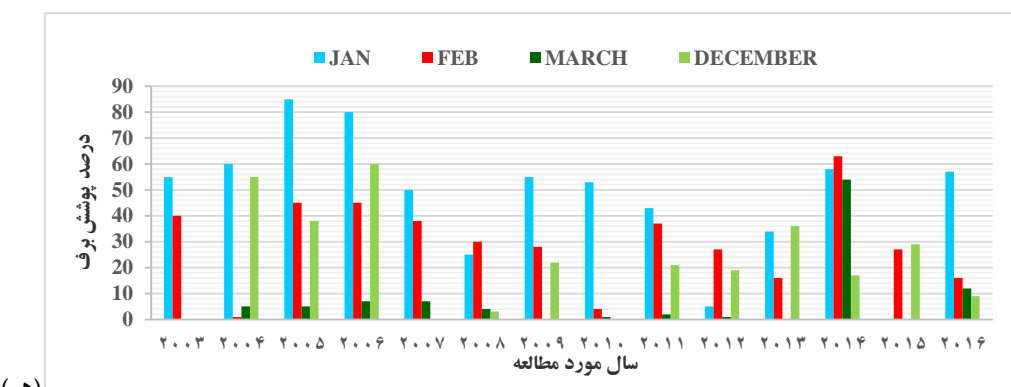


(ج)

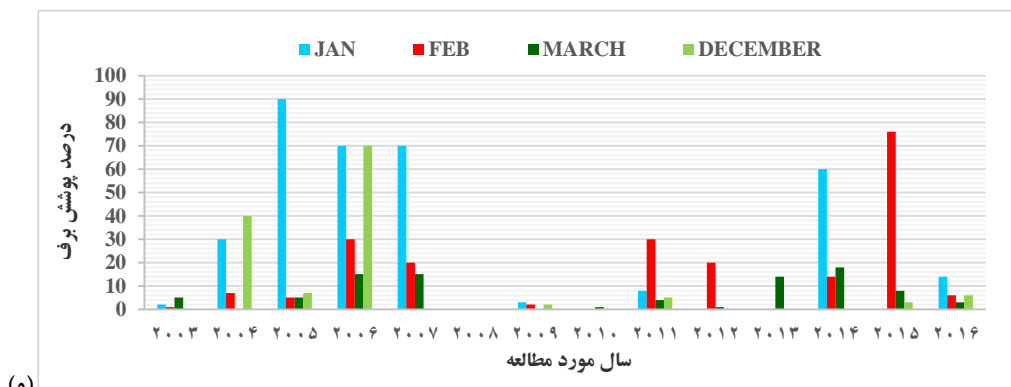
شکل ۳. مقایسه تغییرات شاخص سطح پوشش برف طی سال های ۲۰۰۳-۲۰۱۶ (۱۳۸۲-۱۳۹۵) در ماه های مورد بررسی در مناطق مختلف مورد مطالعه: (الف) سوه، (ب) بارز، (ج) هلن، (د) زوال گون گزی و (ه) کنترل جنگل و (و) کنترل گون گزی و (ز) استان چهارمحال و بختیاری



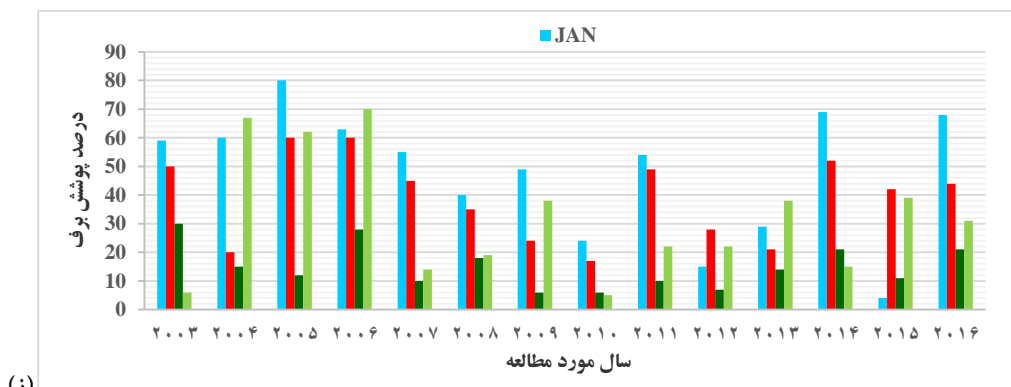
(د)



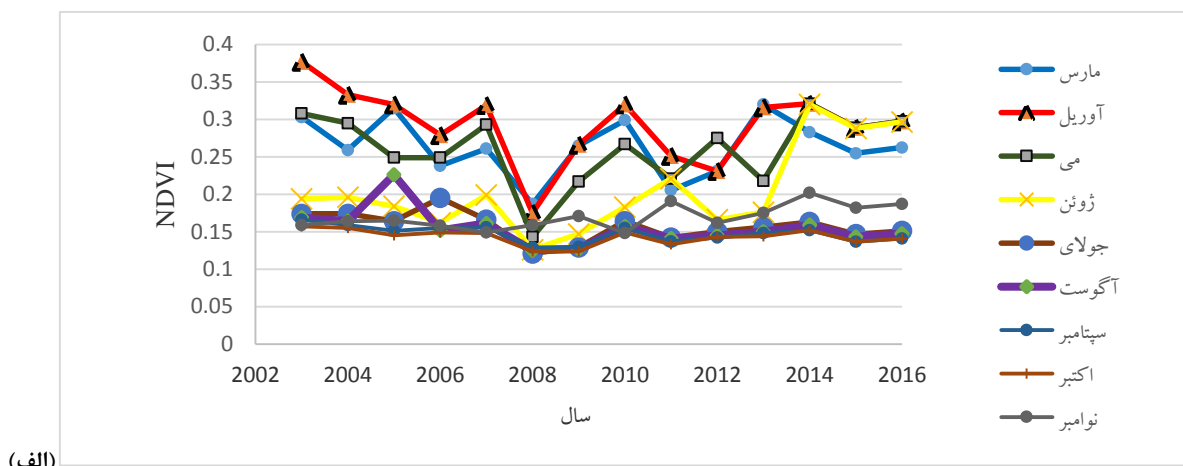
(هـ)



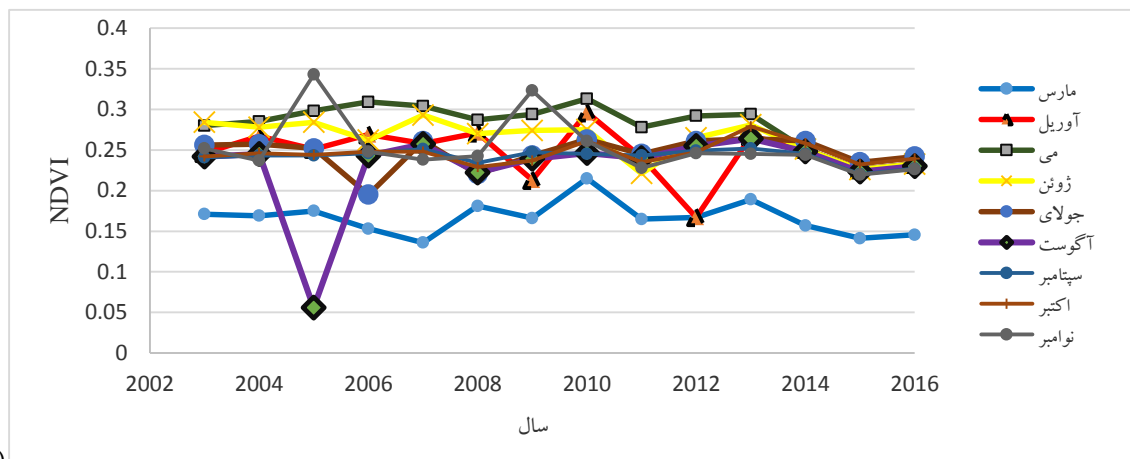
(و)



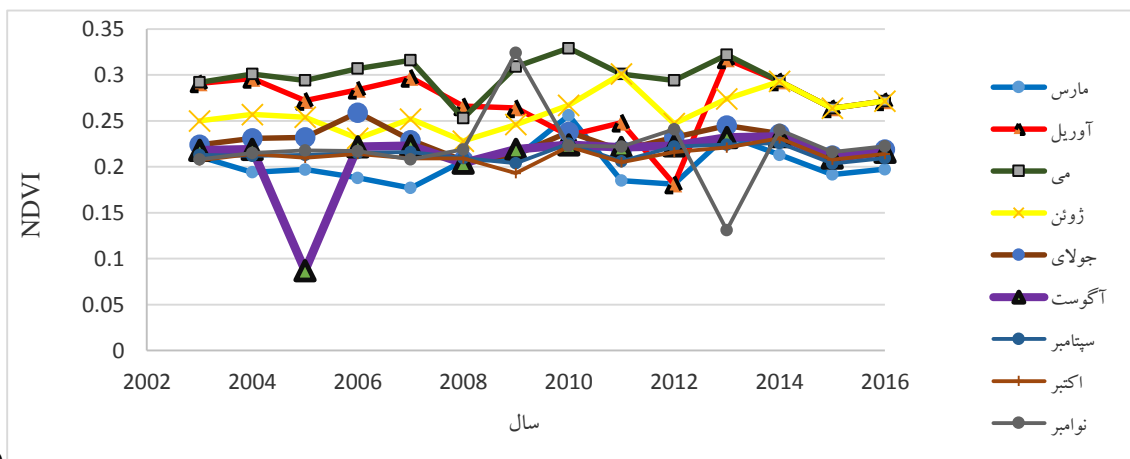
(ز)



(الف)

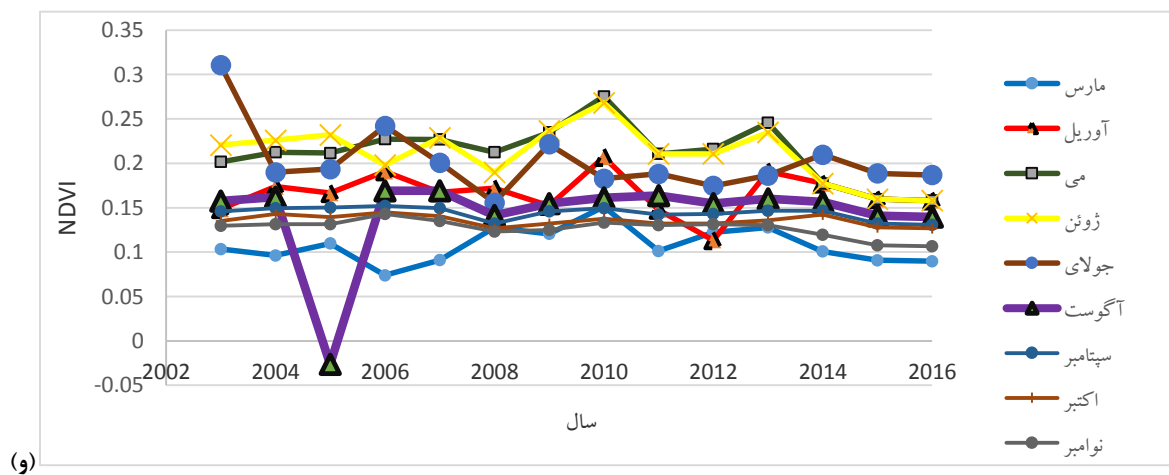
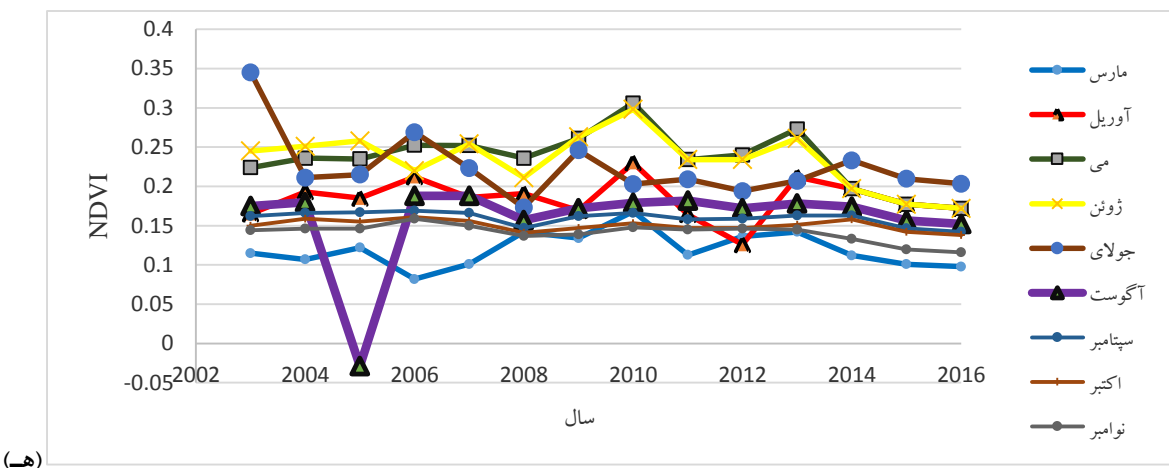
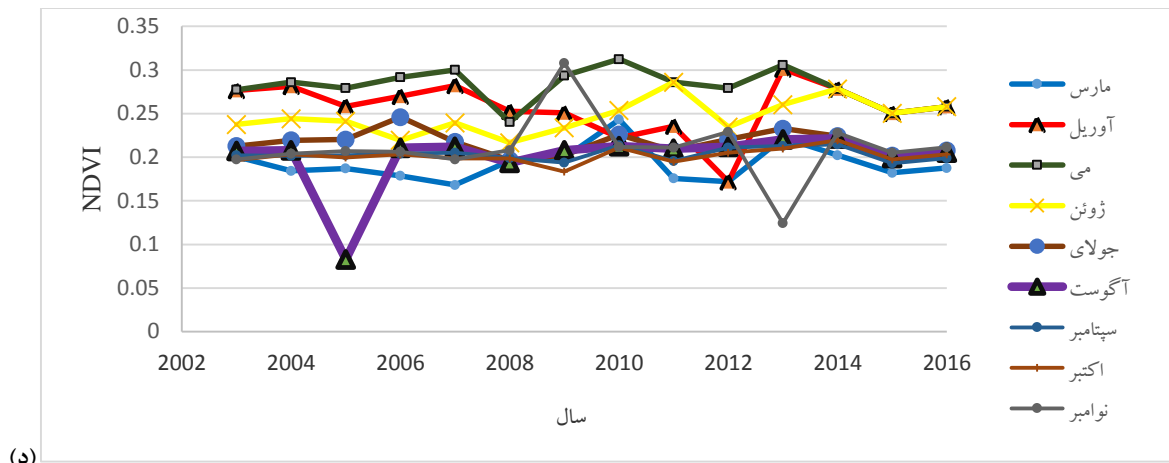


(ب)



(ج)

شکل ۴. تغییرات شاخص NDVI در دوره مطالعاتی (۲۰۰۳-۲۰۱۶):
 (الف) بارز، (ب) سوه، (ج) هلن، (د) شاهد جنگل، (ه) زوال گون گزی، (و) شاهد گون گزی



ادامه شکل ۴

(جدول ۱ و جدول ۲). رابطه شاخص نسبت پوشش برف و عملکرد پوشش گیاهی (NDVI) در مناطق مورد بررسی نشان می‌دهد که در ماه مارس حداکثر همبستگی‌ها مشاهده می‌شود که بین ۰/۴۸ تا ۰/۷۰ قرار دارد. همچنین بین شاخص ماندگاری پوشش برفی و پوشش گیاهی همبستگی مشابهی وجود داشت. به طوریکه همبستگی‌ها در ماه اسفند (مارس) بیشتر و بین ۰/۵۸ تا ۰/۷۱ قرار داشت.

۳.۳. همبستگی بین شاخص‌های پوشش برف و

پوشش گیاهی

آنالیز همبستگی جهت بررسی ارتباط بین شاخص نسبت پوشش برف، ماندگاری پوشش برف و پوشش گیاهی، برای ارزیابی اثرات پوشش برف بر رشد پوشش گیاهی در مناطق مختلف مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۵ (۲۰۰۳-۲۰۱۶) مورد استفاده قرار گرفت

جدول ۱. همبستگی بین شاخص نسبت پوشش برف و شاخص NDVI در ماهها و مناطق مختلف مطالعاتی

منطقه	ژانویه (دی)	فوریه (بهمن)	مارس (اسفند)	دسامبر (آذر)
بارز	۰/۵	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۲۸
سوه	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۳۶
هلن	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۳۸
زوال گون گزی	۰/۱	۰/۵۳	۰/۷۰	۰/۴۶
شاهد گون گزی	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۶۰	۰/۵۰
شاهد جنگل	۰/۵۲	۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۴۱
کل استان	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۶۳	۰/۴۷

جدول ۲. همبستگی بین شاخص ماندگاری پوشش برف و شاخص NDVI در ماهها و مناطق مختلف مطالعاتی

منطقه	ژانویه (دی)	فوریه (بهمن)	مارس (اسفند)	دسامبر (آذر)
بارز	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۶۰	۰/۴۶
سوه	۰/۴۳	۰/۵۳	۰/۶۵	۰/۵۲
هلن	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۶۳	۰/۴۰
زوال گون گزی	۰/۱۷	۰/۵۰	۰/۷۱	۰/۶۵
شاهد گون گزی	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۴۱
شاهد جنگل	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۵۸	۰/۳۸
کل استان	۰/۳۶	۰/۵۱	۰/۶۶	۰/۵۳

۴. بحث

حرارت در مقیاس جهانی به این معنی است که پوشش برف در نیمکره شمالی روند کاهشی دارد [۲۵]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که سطح پوشش برف در منطقه مطالعاتی کاهش یافته است، اما روند ثابتی را بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ طی نکرده است. بطور مثال میانگین شاخص نسبت پوشش برف در سطح استان در

داده‌های پوشش برف در موارد مختلف مانند آنالیزهای اقلیمی و مدیریت منابع آب در مقیاس‌های زمانی و مکانی گوناگون استفاده می‌شوند [۱۳، ۳۶]. مطابق نتایج حاصل از مطالعه کانکل^۱ و همکاران (۲۰۱۵)، افزایش درجه

^۱Kunkel

و دسامبر ($R=0.65, P<0.05$) وجود دارد. این امر می‌تواند نشان دهنده آن باشد که تغییرات پوشش برفی و کاهش شاخص ماندگاری پوشش برفی در منطقه در طی سال‌های اخیر، می‌تواند یکی از علل بروز خشکیدگی و زوال در این گونه مهم مرتعی و همچنین گونه‌های جنگلی در استان چهارمحال و بختیاری باشد. در سال‌هایی که کمبود پوشش برف در زمستان به دلیل کمبود بارش وجود داشته باشد، این کمبود باعث کاهش رطوبت خاک و کمبود ایزولاسیون گرمای خاک شده و باعث می‌شود پوشش گیاهی در سال بعدی رشد موثری نداشته باشد [۸، ۳۰]. پاکزاد و همکاران همچنین نشان دادند که دامنه بردباری گون گزی (*Astragalus adscendens*) نسبت به عوامل اقلیمی بخصوص برف محدود است و در صورت کاهش برف امکان آسیب پذیری و زوال این گونه وجود دارد [۳۲].

یو و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تغییرات زمانی و مکانی سطح برف در سیبری و اثر آن بر پوشش گیاهی منطقه طی دهه ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ دریافتند که میزان پوشش برف در سیبری طی دهه ۱۹۷۰ بخصوص در بهار کاهش چشمگیری را نشان داده است که می‌تواند باعث تسریع گرم‌شدن اقلیم منطقه و تغییر در پوشش گیاهی گردد [۴۷]. مطالعه هوانگ و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر ماندگاری پوشش برف بر فنولوژی فصل بهار پوشش گیاهی منطقه فلات تبت چنین نتیجه‌گیری نمودند که ماندگاری پوشش برف در زمانی که پوشش گیاهی رشدی ندارد، نقش بسیار مهمی در تنظیم فنولوژی پوشش گیاهی با اثر بر تنظیم انرژی سطح زمین و شرایط رطوبتی خاک دارد [۱۷]. مطالعات دیگر نیز نقش مهم ماندگاری برف بر پوشش گیاهی را گزارش نمودند [۷، ۴۳، ۴۵]. به‌طور کلی زمانی که تغییرات در خصوصیات پوشش برف در تعامل با فاکتورهای مختلف محیطی و انسانی قرار گیرد، ارتباطات پیچیده‌ای بین ویژگی‌های پوشش برف و رشد پوشش گیاهی در یک منطقه به‌وجود می‌آید که نیاز به صرف وقت بیشتر و مطالعات گسترده‌تری در این زمینه می‌باشد.

ماه دی (ژانویه) در دوره ۱۳ ساله مطالعاتی، حدود ۰/۴۶ بوده که در بهمن (فوریه) و مارس (اسفند) به ترتیب به ۰/۳۹ و ۰/۱۴ تنزل یافته است که کاهش ۳۲ درصدی را نشان می‌دهد که این کاهش می‌تواند روی پوشش گیاهی مخصوصاً آنهایی که برف دوست هستند مانند گون گزی اثرات منفی زیادی بگذارد [۳۹].

پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص NDVI که مهم‌ترین و پرکاربرترین شاخص در تعیین عملکرد اکوسیستم و رشد پوشش گیاهی است بدست آمد [۲۱، ۳۷]. نتایج بررسی مقادیر NDVI طی ماه‌های مختلف نشان داد که میزان NDVI در تمام مناطق (به جز منطقه بارز به علت همجواری با خوزستان و اقلیم متفاوت) در ماه اسفند (مارس) پایین‌ترین مقادیر و در ماه اردیبهشت (می) بالاترین مقادیر را دارد. البته در شرایط خاص خشکسالی مانند خشکسالی سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۵) این روند ثابت نبوده و دچار تغییر شده است. پوشش برفی نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاهان و در نتیجه تغییرات NDVI به‌خصوص در مناطق مرتفع مانند استان چهارمحال و بختیاری ایفا می‌کند [۵، ۴۲]. همانطور که نتایج تحقیق نشان داد شاخص نسبت پوشش برف در ماه مارس همبستگی بالاتری با پوشش گیاهی داشت که این موضوع اهمیت وجود برف در این ماه بر پوشش گیاهی را بیان می‌دارد که باعث افزایش رشد پوشش گیاهی در فصل رویشی متعاقب می‌گردد. همچنین بعد از دوره جوانه‌زنی پوشش گیاهی، ذوب شدن برف می‌تواند منجر به افزایش پیوسته در شاخص NDVI شود [۴۳]. البته وجود ارتباط بین سطح برف و پوشش گیاهی به شرایط محیط رویش مانند ارتفاع و درجه حرارت نیز وابسته است [۳۴].

همبستگی بالای ۷۰ درصد بین شاخص NDVI و ماندگاری پوشش برفی نشان می‌دهد که این پارامتر نقش موثرتری بر رویش پوشش گیاهی دارد. به طور مثال، در منطقه‌ای که در آن گون گزی دچار زوال شده است، همبستگی نسبتاً بالایی در ماه مارس ($R=0.71, P<0.05$)

۵. نتیجه گیری

برف یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر عملکرد اکوسیستم‌های خشکی می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی شاخص‌های نسبت پوشش برف و ماندگاری پوشش برف بر پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای مودیس و طرح پهنه‌بندی زوال گونه‌های جنگلی و مرتعی در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفت. نتایج نشان داد که میزان برف در این استان در دوره مطالعاتی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ کاهش یافته است که در برخی از ماهها به ۳۲ درصد نیز می‌رسد. آنالیز همبستگی بین شاخص‌های برف مذکور و شاخص گیاهی NDVI بیانگر آن بود که پوشش گیاهی بیشتر تحت تاثیر بارش‌های برف ماه مارس قرار می‌گیرد که گاهاً این همبستگی به بیش از ۷۰ درصد نیز می‌رسد. همبستگی

بالاتر بین شاخص‌های برف مخصوصاً ماندگاری پوشش برف و منطقه زوال گون گزی نسبت به مناطق جنگلی نشان می‌دهد که مراتع بیشتر از جنگل‌ها به میزان برف و ماندگاری آن در دوره مطالعاتی وابسته بوده اند. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به‌عنوان گامی نخست در مطالعات مرتبط، به‌عنوان روشی برای بررسی عملکرد پوشش گیاهی در برابر شاخصه‌های مهم برف مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده اثر عوامل محیطی و انسانی دیگر بر زوال پوشش گیاهی مانند خشکسالی، تغییرات درجه حرارت سطح زمین و هوا، طوفان‌های گرد و خاک، توپوگرافی، فعالیت‌های انسانی و بیماریهای گیاهی در قالب یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری بررسی شده و اقدامات مدیریتی در جهت احیاء مناطق زوال یافته صورت گیرد.

References

- [1] Alavipannah, K. (2016). Application of remote sensing in Erath sciences (soil sciences), Tehran University Press, Tehran, Iran (in Farsi).
- [2] Attarod, P., Sadeghi, S.M., Taheri Sarteshnizi, F., Saroyi, S., Abbasian, P., Masihpoor, M., Kordrostami, F., and Dirikvandi, A. (2016). Meteorological parameters and evapotranspiration affecting the Zagros forests decline in Lorestan province. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 13(2), 98-114 (in Farsi).
- [3] Beier, C., Sink, S., Hennon, P., Damore, D., and Juday, G. (2008). Twentieth-century warming and the dendroclimatology of declining yellow-cedar forests in southeastern Alaska. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(6), 1319-1334.
- [4] Bokhorst, S.F., Bjerke, J.W., Tømmervik, H., Callaghan, T.V., and Phoenix, G.K. (2009). Winter warming events damage sub-Arctic vegetation: consistent evidence from an experimental manipulation and a natural event. *Journal of Ecology*, 97(6), 1408-1415.
- [5] Buus-Hinkler, J., Hansen, B.U., Tamstorf, M.P., and Pedersen, S.B. (2006). Snow-vegetation relations in a High Arctic ecosystem: Inter-annual variability inferred from new monitoring and modeling concepts. *Remote Sensing of Environment*, 105(3), 237-247.
- [6] Callaghan, T.V. and Johansson, M. (2021). Chapter 5 - Snow, Ice, and the Biosphere, in *Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters*, J.F. Shroder, Haeberli, W., & Whiteman, C., Editors. Academic Press: Boston. p. 139-165.

- [7] Dedieu, J. P., Carlson, B.Z., Bigot, S., Sirguey, P., Vionnet, V., and Choler, P. (2016) . On the importance of high-resolution time series of optical imagery for quantifying the effects of snow cover duration on Alpine plant habitat. *Remote Sensing*, 8 (6), 481.
- [8] Dye, D.G. and Tucker, C.J. (2003). Seasonality and trends of snow-cover, vegetation index, and temperature in northern Eurasia. *Geophysical Research Letters*, 30(7), 1-10.
- [9] Edmonds, T., Lunt, I.D., Roshier, D.A., and Louis, J. (2006). Annual variation in the distribution of summer snowdrifts in the Kosciuszko alpine area, Australia, and its effect on the composition and structure of alpine vegetation. *Austral Ecology*, 31(7), 837-848.
- [10] Evans, B.M., Walker, D.A., Benson, C.S., Nordstrand, E.A., and Petersen, G.W. (1989). Spatial interrelationships between terrain, snow distribution and vegetation patterns at an arctic foothills site in Alaska. *Ecography*, 12(3), 270-278.
- [11] Falahati, F., Alijani, B., and Saliqeh, M. (2017). Investigating the effect of climate change on snow cover with the approach of water resources management in the coming decades (Case study: Basin of watershed leading to Amir Kabir dam). *Scientific Journal of Rescue and Relief*, 9(3), 68-79.
- [12] Golmohamadi, F., Hassanzad Navroodi, I., Bonyad, A.E., and J, M. (2017). Effects of some environmental factors on dieback severity of trees in Middle Zagros forests of Iran (Case study: Dalab Strait, Ilam Province. *Plant Research*, 30(3), 644-655.
- [13] Grippa, M., Kergoat, L., Le Toan, T., Mognard, N.M., Delbart, N., L'Hermitte, J., and Vicente-Serrano, S.M. (2005) . The impact of snow depth and snowmelt on the vegetation variability over central Siberia. *Geophysical Research Letters*, 32, 1-4.
- [14] Hall, D.K. and Riggs, G.A. (2010). Normalized-Difference Snow Index (NDSI), in *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*, V.P. Singh, Singh, P., & Haritashya, U.K., Editors. Springer Netherlands: Dordrecht. p. 779-780.
- [15] Hennon, P., Amore, D., Wittwer, D., Johnson, A., Schaberg, P., Hawley, G., Beier, C., Sink, S., and Juday, G. (2006). Climate warming, reduced snow, and freezing injury could explain the demise of yellow-Cedar in southeast Alaska, USA.
- [16] Hosseini, A., Hosseini, S.M., and Linares, J.C. (2018). Site factors and stand conditions associated with Persian Oak decline in Zagros mountain forests. *Forest Systems*, 26(3), 1-15.
- [17] Huang, K., Zu, J., Zhang, Y., Cong, N., Liu, Y., and Chen, N. (2019). Impacts of snow cover duration on vegetation spring phenology over the Tibetan Plateau. *Journal of Plant Ecology*, 12(3), 583-592.
- [18] Jahanbazi, H. and Shirmardi, H. (2014). Mapping rangeland and forest species in Chaharmahal and Bakhtiari province, Research Center of Agriculture and Natural Resources, Report, Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran (in Farsi).
- [19] Jamali, M., De Beaulieu, J.L., Miller, N.F., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Lak, R., Sadeddin, N., Akhiani, H., and Fazeli, H. (2009). Vegetation history of the SE section of the Zagros Mountains during the last five millennia; a pollen record from the Maharlou Lake, Fars Province, Iran. *Vegetation History and Archaeobotany*, 18(2), 123-136.
- [20] Javanshir, K. (1980). Classification of Oak in the World. Publications of the Department of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Islamic Republic of Iran, Iran, 50 pp (in Farsi).
- [21] Julien, Y. and Sobrino, J.A. (2021). Introducing the time series change visualization and interpretation (TSCVI) method for the interpretation of global NDVI changes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 96, 102268.

- [22] Kamali, M., Hajjam, S., and Vazife Doust, M. (2012). Study of snow coverage and its effect on the rainfed wheat yield of north Khorasan Province. *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1494-1502 (in Farsi).
- [23] Kerns, B.K., Powell, D.C., Mellmann-Brown, S., Carnwath, G., and Kim, J.B. (2018). Effects of projected climate change on vegetation in the Blue Mountains ecoregion, USA. *Climate Services*, 10, 33-43.
- [24] Khajeddin, S.J. (1999). The habitat slope on *Astragalus adscendens*. *Soil and water Sciences*, 4(4), 129-143 (in Farsi).
- [25] Kunkel, K.E., Robinson, D.A., Champion, S., Yin, X., Estilow, T., and Frankson, R.M. (2016). Trends and Extremes in Northern Hemisphere Snow Characteristics. *Current Climate Change Reports*, 2(2), 65-73.
- [26] Lou, H., Wu, X., Ren, X., Yang, S., Cai, M., Wang, P., and Guan, Y. (2021). Quantitative Assessment of the Influences of Snow Drought on Forest and Grass Growth in Mid-High Latitude Regions by Using Remote Sensing. *Remote Sensing*, 13, 668.
- [27] Lundell, R., Saarinen, T., and Hänninen, H. (2010). Effects of snowmelt on the springtime photosynthesis of the evergreen dwarf shrub *Vaccinium vitis-idaea*. *Plant Ecology & Diversity*, 3(2), 121-130.
- [28] Marvi Mohajer, M.R. (2012). *Forestry and Silviculture*, Tehran University Press, Third Edition, Tehran, Iran (in Farsi).
- [29] NASA (2016). National Aeronautics and Space Administration (NASA), NASA Earth Science Data, <http://earthdata.nasa.gov/MOD13A1>, Accessed January 2016.
- [30] Niittynen, P., Heikkinen, R.K., and Luoto, M. (2020). Decreasing snow cover alters functional composition and diversity of Arctic tundra. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(35), 21480-21487.
- [31] NSIDCS. (2016). National Snow and Ice Data Center (NSIDCS), <https://nsidc.org/data/MOD10A2>, Accessed January 2016.
- [32] Pakzadz, M., Raeini, S., and Khodagholi, M. (2013). Evaluation of the effects of climate factors on distribution of the habitats of *Astragalus adscendens* in Isfahan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(1), 199-212 (in Farsi).
- [33] Paudel, K. and Andersen, P. (2013). Response of rangeland vegetation to snow cover dynamics in Nepal Trans Himalaya. *Climatic Change*, 117(1), 149-162.
- [34] Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Fang, J., and Wang, X. (2010). Change in winter snow depth and its impacts on vegetation in China. *Global Change Biology*, 16(11), 3004-3013.
- [35] Pomeroy, J.W., Marks, D., Link, T., Ellis, C., Hardy, J., Rowlands, A., and Granger, R. (2009). The impact of coniferous forest temperature on incoming longwave radiation to melting snow. *Hydrological Processes*, 2, 2513-2525.
- [36] Qin, D.H., Liu, S.Y., and Li, P. (2006). Snow cover distribution, variability, and response to climate change in western China. *Journal of Climate*, 19, 1820-1833.
- [37] Rouse, J.W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D.W., and Harlan, J.C. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFCT, Type 3, Final Report, Greenbelt, MD, USA.
- [38] Sagheb, K., Talebi, T., and Pourhashemi, M. (2014). *Forests of Iran, a Treasure from the Past, a Hope for the Future*, Springer, Dordrecht.

- [39] Seifollahi, A.R., Ebadi, R., Sadeghi, S.E., and Seyedoleslami, H. (2008). Complementary biological investigation and some morphological and behavioral characteristics of *Cyamophila astragalicola* (Hom.: Psyllidae) in west of Isfahan province Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 5(2), 135-150 (in Farsi).
- [40] Shen, M., Tang, Y., Chen, J., Zhu, X., and Zheng, Y. (2011). Influences of temperature and precipitation before the growing season on spring phenology in grasslands of the central and eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 1711–1722.
- [41] Soltani, S., Yaghmaei, L., Khodagholi, M., and Saboohi, R. (2011). Bioclimatic classification of Chahar-Mahal & Bakhtiari province using multivariate statistical methods. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 14(54), 53-68 (in Farsi).
- [42] Trujillo, E., Molotch, N.P., Goulden, M.L., Kelly, A.E., and Bales, R.C. (2012). Elevation-dependent influence of snow accumulation on forest greening. *Nature Geoscience*, 5(10), 705-709.
- [43] Wan, Y.F., Gao, Q.Z., Li, Y., Qin, X. B., Ganjurjav, Zhang, W.N., Ma, X., and Liu, S. (2014). Change of Snow Cover and Its Impact on Alpine Vegetation in the Source Regions of Large Rivers on the Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 46(3), 632-644.
- [44] Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R., and Swetnam, T.W. (2006). Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity. *Science*, 313, 940-943.
- [45] Xiaoyue, W. (2018). Snow cover phenology affects alpine vegetation growth dynamics on the Tibetan Plateau: Satellite observed evidence, impacts of different biomes, and climate drivers. *Agricultural and forest meteorology*, 256, 61-74.
- [46] Yaghmaei, L., Jafari, R., and Soltani, S. (2021). Investigating net primary production in climate regions of central Zagros, Iran, using MODIS and meteorological data. *Climate Research*, 83, 173-186.
- [47] Yu, L., Liu, T., and Zhang, S. (2017). Temporal and Spatial Changes in Snow Cover and the Corresponding Radiative Forcing Analysis in Siberia from the 1970s to the 2010s. *Advances in Meteorology*, 2017, 9517427.