

بررسی روند تغییر و پیش‌نگری برف مرز ارتفاعات البرز استان مازندران در

فصل زمستان، با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

خلیل غلام‌نیا^۱، رحیم یوسفی‌زاده^{۲*}، ساویز صحت کاشانی^۳، محمدعلی ملکی^۴، گلزار عینالی^۵

۱ و ۵- کارشناس ارشد RS، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی گرایش تغییر اقلیم دانشگاه زنجان و کارشناس تحقیقات هواشناسی، اداره کل هواشناسی

مازندران، ساری

۳- استادیار و عضو هیئت علمی، پژوهشکده هواشناسی، تهران

۴- کارشناس ارشد ریاضی و رئیس اداره تحقیقات هواشناسی، اداره کل هواشناسی مازندران، ساری

چکیده

در سال‌های اخیر تغییرات زیادی در سطوح برفی به خاطر تغییر اقلیم در مناطق مختلف ایران اتفاق افتاده و مازندران از این قاعده مستثنی نبوده است. تخمین صحیح توزیع فضایی برف، برای برآورد تاب‌آوری و آسیب‌پذیری منطقه، برنامه‌ریزی‌های تأمین آب، مدیریت ریسک و بحران سیل، بسیار کاربردی و ضروری می‌باشد. فن‌آوری سنجنش‌زدور فرصت جدیدی را فراهم آورده تا بتوان محاسباتی گسترده‌تر، دقیق‌تر و آسان‌تر را نسبت به مدل‌های زمین‌آماری، جهت برآورد تغییرات برف انجام داد. در این پژوهش به بررسی تغییرات برف مرز استان مازندران در یک دوره ۱۸ ساله از سال ۱۳۸۰ تا پایان ۱۳۹۷ پرداخته شد و تغییرات برف مرز استان در فصل زمستان شناسایی گردید. سپس با داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده استاندارد سازمان زمین‌شناسی آمریکا که برای تغییر اقلیم ۱۴۷۲ تهیه گردید به پیش‌نگری روند تغییرات برف مرز استان در سال ۱۴۲۹ برای فصل زمستان با استفاده از مدل شبکه عصبی MLP پرداخته شد و میزان تغییرات آن نسبت به زمان حال محاسبه گردید. سپس با استفاده روش منحنی ROC دقت مدل برای این فصل زمستان ۹۸/۵۰ درصد ارزیابی گردید که مبین دقت بالای مدل شبکه عصبی برای شبیه‌سازی برف مرز استان می‌باشد.

نتایج مبین آن است که در سال ۱۴۲۹ ارتفاع برف مرز استان در فصل زمستان حدود ۸۰۰ متر نسبت به شرایط حاضر به سمت ارتفاعات بالاتر جابجا خواهد شد و از ارتفاع حدود ۲۷۵۰ متر فعلی به ۳۵۶۰ متر خواهد رسید و این شرایط می‌تواند چالش‌های عدیده‌ای در منابع آبی استان بوجود آورد.

کلید واژه‌ها: سنجنش از دور، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، برف مرز، شبکه عصبی، استان مازندران.

مقدمه

پدیده تغییر اقلیم در سال‌های اخیر فرآیندهای هیدرولوژیکی نظیر رژیم بارش، تبخیر از سطح آب، تغذیه آبهای زیرزمینی، میزان رواناب، ذوب برف را تحت تاثیر قرار داده است (عزتی و همکاران، ۱۳۹۵). مناطق با پوشش برفی، به عنوان یک جز مهم با توزیع گسترده در سطح زمین، تغییرات فصلی را آشکار کرده و حساسیت زیادی به تغییرات آب و هوایی نشان داده است (Tsai et al, 2019; Tang et al, 2017). قابل ذکر است که برف به دلیل داشتن خاصیت بالای آلبدو، حرارت و ذخیره آب، نقش مهمی در چرخه‌های انرژی و آب جهان دارد و می‌تواند نشان دهنده تغییرات آب و هوای جهانی باشد (Groisman et al, 1994; Wang and Li, 2006). در دهه‌های اخیر به علت تغییر اقلیم که در مناطق برفگیر شاهد آن بودیم، تغییراتی چشمگیری در توزیع زمانی و مکانی بارش برف رخ داده است (فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۷) و همچنین تغییراتی در رژیم رواناب حاصل از آن را در مقیاس‌های مختلف داشته است (Kang et al, 2021).

پوشش‌های برفی علاوه بر اینکه تاثیر قابل توجه در تغییرات آب و هوا داشته است، به عنوان منبعی مهم برای آب رودخانه‌های آسیاب‌ه‌شمار می‌رود و فرآیندهای هیدرولوژیکی و بیولوژیکی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد (Immerzeel, 2008a; Zhang et al., 2012; Tang et al., 2013). قابل ذکر است که بیش از یک ششم جمعیت جهانی به آب حاصل از ذوب برف کوهستانی متکی هستند (Barnett et al, 2005). از آنجایی که ایران در منطقه خشک و نیمه خشک کره‌ی زمین قرار گرفته و با تنش آبی فراوانی مواجه می‌باشد. بنابراین بارش برف مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در میزان ذخایر آب در این کشور محسوب گردیده و یکی از فاکتورهای مهم کنترل‌کننده‌ی هیدرواقلیم حوضه‌های آبخیز می‌باشد (میری‌عقوبی و قنبرپور، ۱۳۸۹). پوشش برف در بسیاری از مناطق جهان تأثیر مستقیمی بر زندگی انسان، از جمله مهندسی، آبیاری، مسافرت، تفریح و هیدرولوژی دارد (Tsai et al, 2019). همانطور که مطرح شده است برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی بوده که در تأمین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی به صورت جریان‌های تاخیری در فصول پربابی و جریان‌های کمین در

فصول کم آبی نقش ارزنده‌ای دارد (Goodinson et al, 2000). به طوری که آب معادل پوشش برفی، حدود یک سوم آب مورد نیاز بخش کشاورزی، رطوبت خاک، ذخیره آب زیرزمینی و منابع آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را در سراسر جهان تامین می‌کند (Gray and Zhai, 2002); (رئیس پور، ۱۳۹۷). علاوه بر موارد مطرح شده‌ی مهم دیگر برف، تعامل آن با پوشش گیاهی است ذوب شدن این منبع آب به بقا و باروری پوشش گیاهی کمک می‌کند (Adam et al, 2009; Broxton et al, 2015). در این راستا، مطالعه تغییرات پوشش برف در نظارت و حفظ مدیریت آب برای فرایندهای اکوسیستم و روش‌های آبیاری از اهمیت بسیاری برخوردار است (Dahe et al, 2006).

از نظر کارشناسان هواشناسی و اقلیم پایش برف یک ضرورت است، چرا که خصوصیات فیزیکی درون برف بر تغییرات روزانه و حتی بلند مدت اقلیمی منطقه تاثیرگذار می‌باشد (Bashir and Ghulam, 2010). پایش پوشش سطح برف بهترین راهکار برای بررسی تغییرات فضایی این پدیده و همچنین توزیع بارش منطقه‌ای آن است. پوشش برف را می‌توان با استفاده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری، مدلسازی، فناوری دورسنجی و برنامه‌های کاربردی مورد اندازه‌گیری قرار داد (Lindsay et al, 2015). اگر چه ایستگاه‌های زمینی اطلاعات دقیقی از مکان اندازه‌گیری در اختیار کارشناسان قرار می‌دهند، اما متأسفانه به دلیل کمبود و در بسیاری از موارد نبود ایستگاه‌های هواشناسی، نمی‌توان اطلاعات کافی به منظور تولید داده‌های بلندمدت برف در مقیاس مکانی فراهم کرد به همین جهت از نظر مقیاس فضایی، همواره با محدودیت مواجه هستند (Li et al, 2018; Zhou et al, 2013). اگرچه پایش ویژگی‌های مکانی و زمانی برف با استفاده از مدلسازی نیز امکان‌پذیر است اما نبود اطلاعات دقت و صحت نتایج مدلسازی را پایین می‌آورد (Garen and Marks, 2005). طی دهه‌های اخیر با پیشرفت‌های به دست آمده در زمینه دورسنجی، برخی از مشکلات مربوط به اندازه‌گیری برف، همچون پراکندگی نامناسب ایستگاه‌ها، دسترسی نداشتن به اطلاعات مناطق با ارتفاع زیاد و داده‌های گم شده تا حدودی مرتفع شده است. پیشرفت‌های اخیر فن آوری در سنسج از دور، داده‌های ماهواره‌ای را قادر به استخراج اطلاعات میزان پوشش برف در مناطق غیرقابل دسترسی با

در شمال ایران انجام دادند، به مقایسه تغییرات سطوح برف طی سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۵ پرداختند و باتوسعه الگوریتم حذف متوالی ابر، سطح برف را با دقت بیشتری از طریق تصاویر ماهواره‌های MODIS برآورد کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که میزان سطح برف منطقه کوهستانی البرز مرکزی در یک دوره کوتاه مدت (۱۳ سال)، کاهش شدیدی را داشت (Dariane et al, 2017). میرموسوی و صبور (۱۳۹۱)، در پژوهشی اقدام به پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در شمال غرب ایران نمودند. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس منطقه شمال غرب ایران مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ میلادی می‌باشد. روش مورد استفاده در این مطالعه شاخص NDSI، طبقه‌بندی‌های نظارت نشده و نظارت شده می‌باشد. بررسی نقشه‌های مربوط به تغییرات پوشش برفی در ماه آوریل نشان داد که در طول دوره‌ی مورد مطالعه، کمترین مقدار پوشش برف مربوط به سال ۲۰۰۸ و بیشترین مساحت مربوط به سال ۲۰۰۷ می‌باشد. این موضوع، نشان دهنده‌ی تغییرات ۱۰۰۰ درصدی در طول یک دهه در میزان پوشش برف منطقه شمال غرب ایران بوده و آسیب‌پذیری منابع آب وابسته به ذوب برف را در این منطقه نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد در سال‌هایی که میانگین دمای فصل سرد پایین‌تر می‌باشد، سطح پوشش برف در بهار آن سال بیشتر از سال‌های دیگر است (Mirmousavi and Saboor, 2012). داداشی و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی اقدام به محاسبه سطح برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در استان تهران نمودند، ایشان برای پیشبرد اهداف پژوهش از تصاویر مربوط به سال ۲۰۱۴ سنجنده مودیس و روش NDSI استفاده نمودند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شاخص پوشش برفی همراه با آستانه گذاری طیفی بر روی باند ۴ و ۶ رابطه پایدار در استخراج نقشه پوشش برفی ارائه می‌نماید. در این پژوهش مساحت برف استخراج و نتایج آن با مساحت حاصل از تصاویر ناسا مقایسه شد (Dadashi et al, 2014). جعفری (۱۳۹۵)، در پژوهشی با استفاده از متغیرهای مؤثر مانند عرض جغرافیایی، دما، مقدار و جهت شیب سطوح ارضی در ایستگاه‌های تابش‌سنج کشور سعی کردند ارتفاع برف‌مرز دائمی را برآورد نمایند. با توجه به اینکه مقدار انرژی دریافتی از خورشید در صورت مسطح بودن زمین تغییرات

مناطق ناهموار و آب و هوای سخت و خشن، کرده است (Jain et al., 2009; Immerzeel et al., 2009; Rittger et al., 2013; Yang et al., 2015).

بازتابندگی بالای برف در مقایسه با اغلب سطوح، ماهواره‌ها را به ابزار مناسبی جهت اندازه‌گیری پوشش برف تبدیل کرده است (Johansson et al, 2001)، در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین (ML) و هوش مصنوعی (AI) در علم سنجش از دور و GIS برای پیش‌بینی و تولید نقشه‌های احتمالات بسیار مفید بوده است (Arabameri et al., 2021) و با سرعت زیاد و تنوع بالا مورد استفاده قرار گرفته است (Gholamnia et al, 2020). در میان مدل‌های موجود، مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی دستگاه‌ها یا نرم افزارهایی هستند که بر اساس ساختمان عصبی مغز انسان سازمان یافته-اند (Garg et al, 2021) و رفتارهایی را از خود نشان می‌دهند که مشابه آن در کارکرد مغز انسان وجود دارد و یا آن که قابل تفسیر به یکی از رفتارهای آدمی است (massaudi et al, 2021). بررسی‌ها نشان می‌دهد که این شبکه‌ها قابلیت یادگیری، یادآوری، فراموش کردن، استنتاج، شناخت الگو، طبقه‌بندی اطلاعات و بسیاری دیگر از مهارت‌های مغز انسان را دارند (Mellit & Kalogirou, 2021) و این توانایی را دارد با استفاده از این مدل به پیش‌نگری در داده‌های اقلیمی و شبیه‌سازی آن پرداخت (Moghanlo et al, 2021). در زمینه پایش و آینده‌نگری سطح برف مطالعاتی در ایران و جهان انجام شده است که در زیر به مواردی از آنها اشاره می‌شود:

جوها وخالسا (۲۰۰۷)، در پژوهشی اقدام به ارزیابی پوشش برف فصلی برای ۸ حوضه در آسیای مرکزی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS نموده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین کاهش پوشش برف متعلق به منطقه شان تاین است و دلیل تنوع پوشش برف را ناشی از الگوهای چرخشی متغیر در طول زمستان می‌دانند (Khalsa, Azien, 2008). مارکان و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی اقدام به ارزیابی روزانه محصولات پوشش برف در کوه‌های اطلس مراکش پرداختند، نتایج مطالعات نشان داد که محصول MODIS روزانه با اطمینان منطقی برای پوشش برف در منطقه مدیترانه جنوبی با وجود شرایط تشخیص دشوار استفاده می‌شود (Marchane et al, 2015). داریان و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی که برای منطقه کوهستانی البرز مرکزی

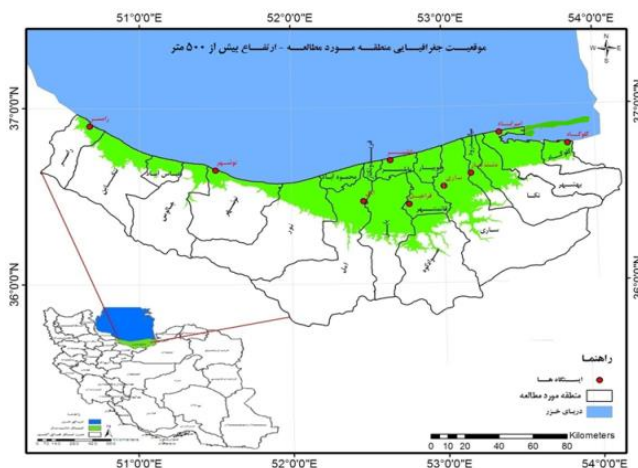
تکنیک change detection شناسایی گردید و به عنوان متغیر وابسته به مدل شبکه عصبی MLP معرفی شد و در ادامه کار با متغیر های اقلیمی و محیطی و ژئومورفولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفت و تغییرات این روند را برای بازه زمانی ۱۴۲۹ مورد پیش‌نگری قرار گرفت و در ادامه با استفاده از روش منحنی ROC صحت آن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

داده‌ها و محدوده مورد مطالعه پژوهش

استان مازندران در شمال ایران با مساحت حدود ۲۴ هزار کیلومتر مربع، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی واقع شده است. این استان از شمال به دریای خزر، از جنوب به استان‌های تهران و سمنان، از غرب به استان گیلان و از شرق به استان گلستان محدود می‌شود و در مجموع ۱/۴۶ درصد مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. محدوده ارتفاعی منطقه مورد مطالعه در این پژوهش نواحی بالای ۵۰۰ متر ارتفاع از سطح دریای استان مازندران می‌باشد. شکل (۱)، نقشه استان مازندران و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

زیادی ندارد از ۱۶ ایستگاه اقلیمی برای کل ایران استفاده شده است. سپس با استفاده از وضعیت دمایی و زاویه ارتفاع خورشید در ایستگاه‌ها و تغییرات زاویه ارتفاع خورشیدی در سطوح شیب دار با جهت‌های مختلف و دماهای حاصله رابطه برقرار نمودند و از این روابط برای برآورد ارتفاع برف مرز دائمی یا خط تعادل آب و یخ استفاده نمودند. نتایج اولیه بیانگر این است که در روش ارائه شده فقط با استفاده از عرض جغرافیایی محل و جهت و مقدار شیب و طول جغرافیایی (برای تشخیص ایستگاه اقلیمی منطقه) به راحتی می‌توان مقدار ارتفاع برف مرز دائمی را برآورد نمود و دیگر به روش های طولانی رایت و نقشه های توپوگرافی نیازی نیست (Jafari, 2016). کاربوا و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهش در منطقه آلپ فرانسه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ به شناسایی برف مرز در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۱۸ پرداخته و برف مرز را شناسایی کرده و در ادامه با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ به شناسایی عمق برف و حجم آب تولید شده از آن پرداختند (Karbou et al, 2021). در این پژوهش قصد بر آن است که روند تغییرات سطوح برفی را از نظر زمانی و مکانی در استان مازندران در یک بازه زمانی ۱۸ ساله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS مورد بررسی و سطح پوشش آن استخراج شده، سپس مناطق که در دوره زمانی مورد بررسی موجب تغییر در برف مرز شده با



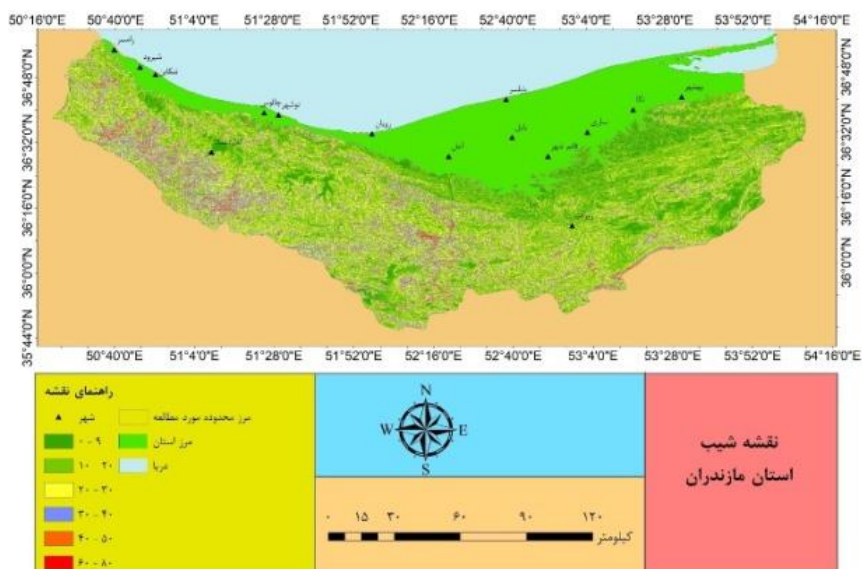
شکل ۱- نقشه استان مازندران و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع- اداره کل هواشناسی مازندران)

از سازمان هواشناسی از قبیل حداقل دما در سردترین ماه سال، دامنه دمای سالانه، میانگین دما در خشک‌ترین فصل، متوسط بارش سالانه، مقدار بارش در خشک‌ترین فصل،

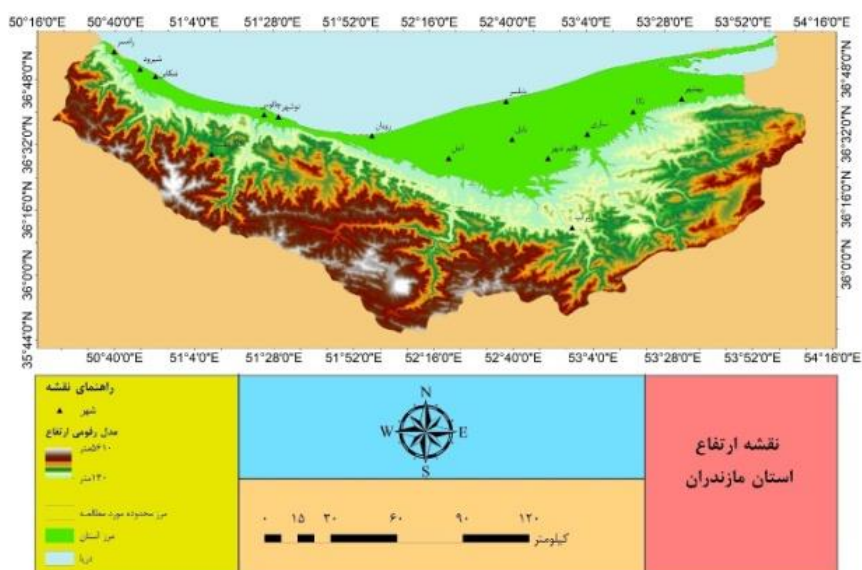
برای پیشبرد اهداف این پژوهش از سه دسته از داده‌ها برای تولید متغیرهای مستقل استفاده گردید: ۱- داده‌های تولید شده از مدل رقومی ارتفاع، ۲- داده‌های اقلیمی تهیه شده که

شناسی، از جمله متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش به شمار می‌رود. در شکل‌های شماره ۲ تا ۱۱، متغیرهای مورد استفاده در پژوهش نمایش داده شده است.

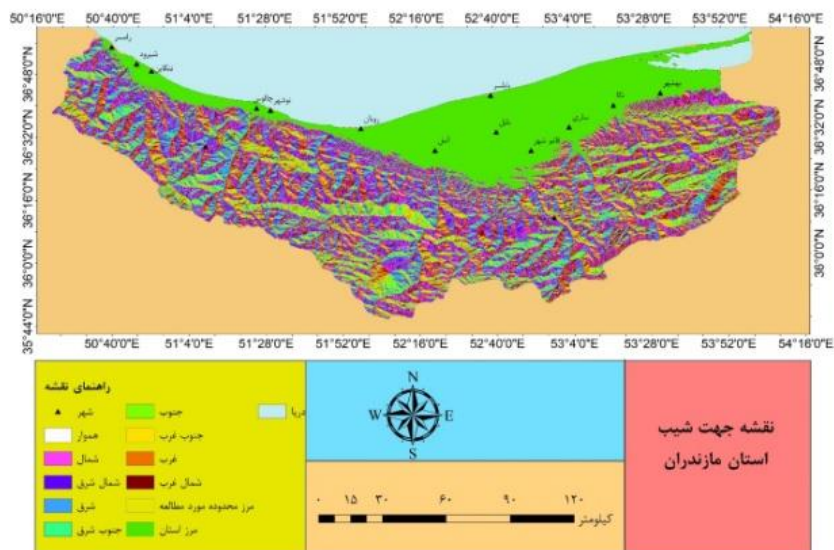
محاسبه بارش فصلی، بارش در گرمترین فصل که برای سال ۱۴۲۹ هم شبیه‌سازی شده است، ۳- کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده است، ۴- نقشه زمین‌شناسی کل استان، ۵- داده‌های خاک-



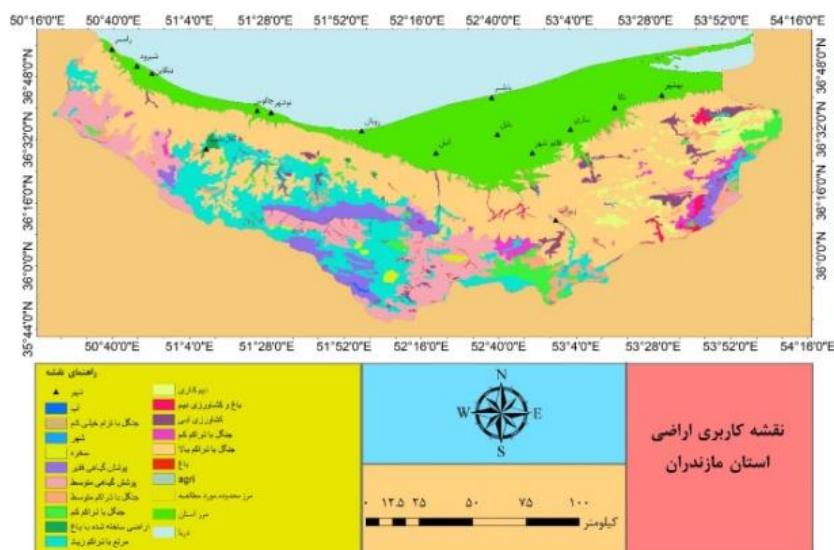
شکل ۲: نقشه شیب استان مازندران



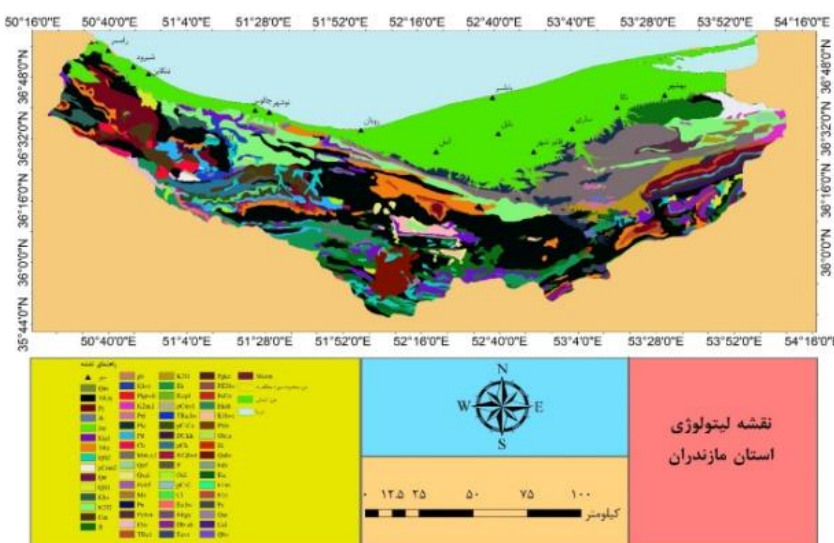
شکل ۳: نقشه ارتفاع استان مازندران



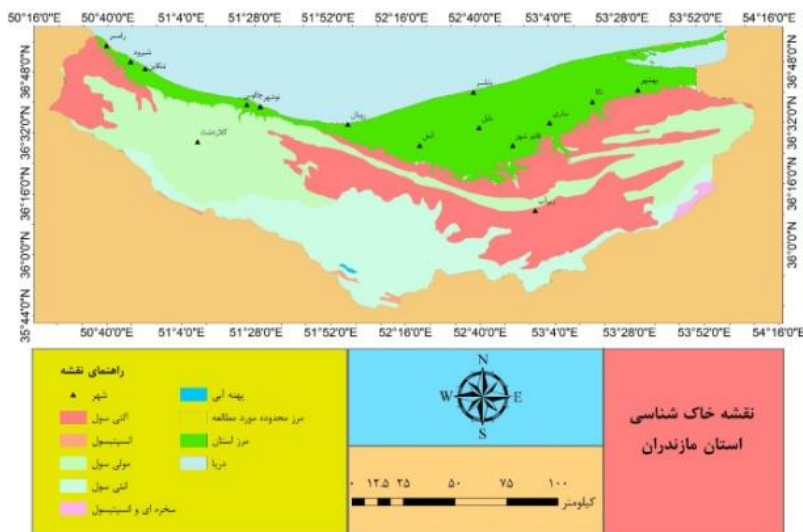
شکل-۴: نقشه جهت شیب استان مازندران



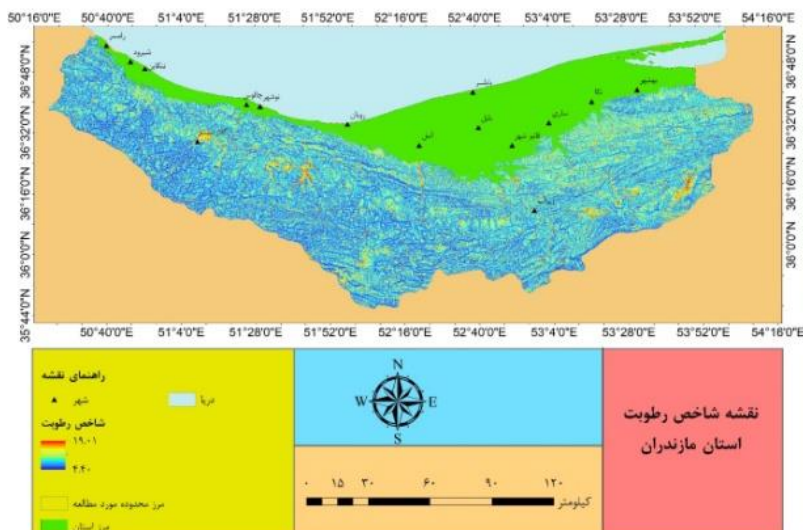
شکل-۵: نقشه کاربری اراضی استان مازندران



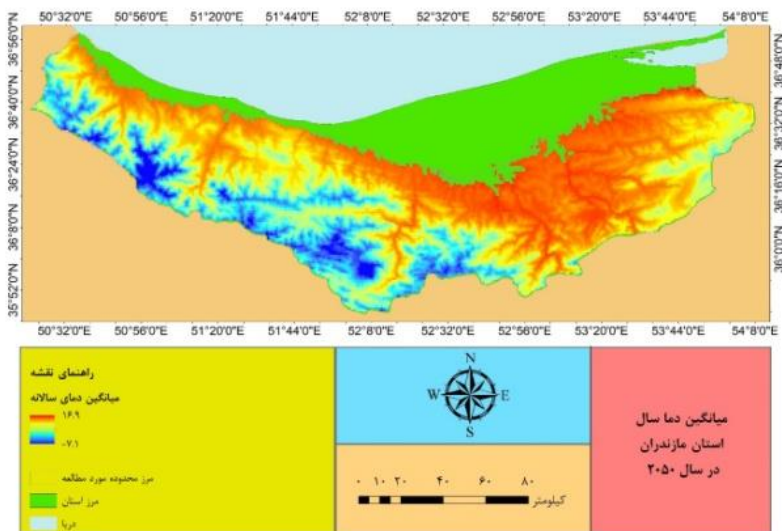
شکل-۶: نقشه لیتولوژی استان مازندران



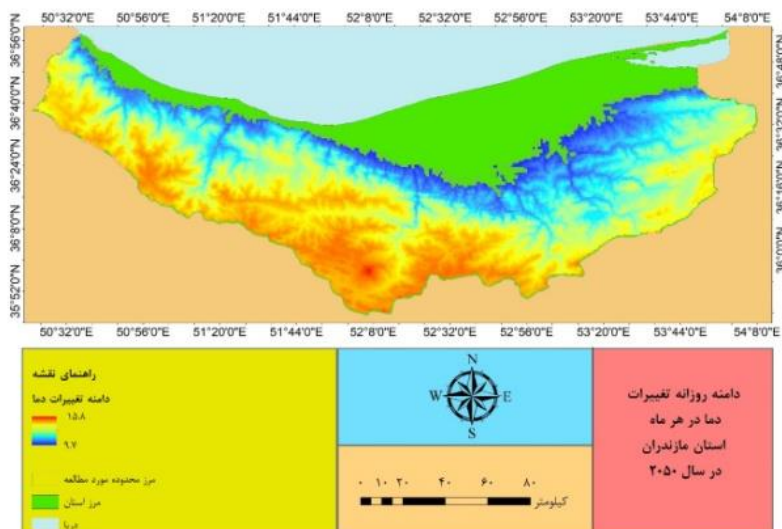
شکل-۷: نقشه خاک شناسی استان مازندران



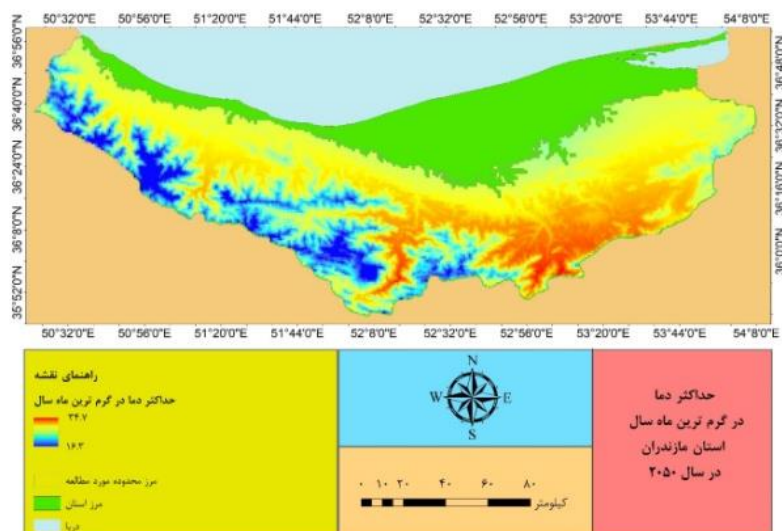
شکل-۸: نقشه شاخص رطوبت استان مازندران



شکل-۹: میانگین دما در سال ۲۰۵۰ استان مازندران



شکل ۱۰- دامنه روزانه تغییرات دمای ماهانه در سال ۲۰۵۰ مازندران



شکل ۱۱- حداکثر دما در گرمترین ماه در سال ۲۰۵۰ مازندران

۲۰۰۲ (۱۳۸۰) تا زمستان سال ۲۰۱۸ (۱۳۹۷) دانلود شده است. در راستای نیل به اهداف پژوهش، سعی بر آن شد تا انتخاب تصاویر به‌گونه‌ای باشد که تمامی آنها بدون ابر بوده یا درصد پایینی ابرناکی داشته و پوشش مناسبی از منطقه مطالعاتی را دربر بگیرد. در روند این پژوهش ۷۰۰ عدد تصویر ماهواره‌ای دانلود گردید که تمامی آنها محصول MOD021KM ماهواره مودیس بوده است.

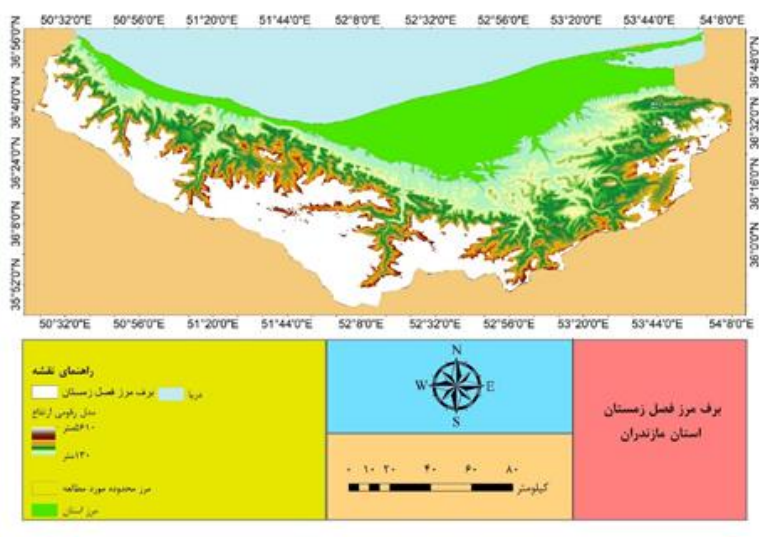
قابل ذکر است که، الگوریتم نقشه برفی MODIS بر روی باندهای ۴ و ۶ این سنجنده بطور اتوماتیک جهت استخراج شاخص برفی تفاضلی نرمال شده (NDSI) اعمال می‌شود (Bashir and Rasul, 2010). این شاخص بر مبنای این

محاسبه برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و متغیر وابسته پژوهش

تصاویر به دست آمده از سنجنده MODIS، توانایی تولید نقشه‌هایی با قابلیت مشاهده پوشش برفی با استفاده از شاخص پوشش برف (NDSI)، در مقیاس‌های وسیع و امکان استفاده سریع از آنها را در مطالعات منطقه‌ای فراهم می‌نماید (Archer et al, 1994). داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل تصاویر سنجنده MODIS ماهواره TERRA برداشت شده از منطقه مورد مطالعه است. تصاویر مورد استفاده این پژوهش در یک بازه زمانی ۱۶ ساله، از پاییز سال

(۱۲)، برف مرز دائمی استان مازندران را نمایش می‌دهد که به عنوان متغیر وابسته در پژوهش است.

اصل که برف دارای بازتابندگی بالا در ناحیه مرئی و بازتابندگی پایین در فرورسرخ می‌باشد، استوار است (Lopez et al, 2008). نقشه ارائه شده در شکل



شکل ۱۲: برف مرز دائمی در فصل زمستان

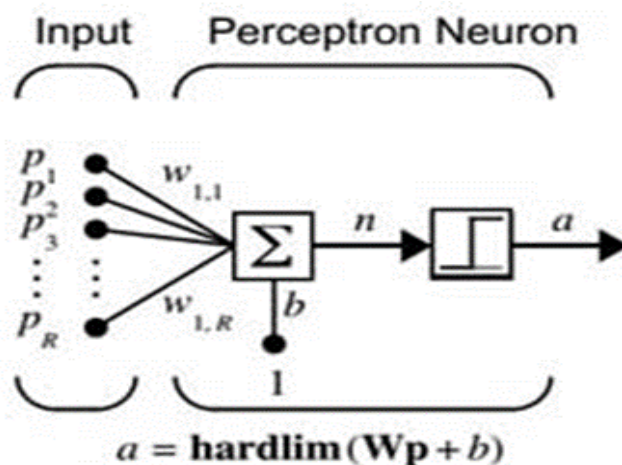
به وسیله بردارهای ورودی دارند، بسیار شایان توجه می‌باشند. این شبکه‌ها مخصوصاً در حل مسائل ساده طبقه‌بندی بسیار مناسب می‌باشند. این نوع شبکه عصبی در حل مسائل، بسیار سریع و قابل اطمینان است (Yilmaz et al, 1997).

مدل نورون پرسپترون

یک نورون پرسپترون با تابع انتقال $hard-limit$ در شکل (۱۳) نمایش داده شده:

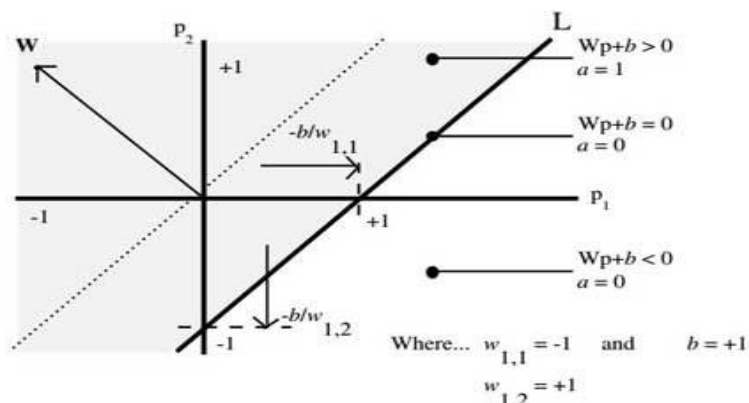
شبکه عصبی پرسپترون (MLP) و اجرای مدل پیش‌نگری

یکی از مدل‌های پرکاربرد شبکه‌های عصبی، شبکه عصبی پرسپترون می‌باشد (Pinkus, 1999). در این مدل وزن‌ها و بایاس‌ها می‌توانند برای تولید یک هدف مشخص، آموزش داده شوند. قوانین یادگیری مورد استفاده در این راستا را قوانین آموزش پرسپترون می‌نامند (Arber et al, 1999). شبکه‌های پرسپترون از آن جهت که توانایی مناسبی برای تکامل



شکل ۱۳: شمایی از یک نورون پرسپترون

می‌نماید (Ansari et al, 2018). تابع انتقال $hardlimit$ به پرسپترون این امکان را می‌دهد که بردارهای ورودی را به دو ناحیه در فضا تقسیم نماید. اگر ورودی n کمتر از صفر باشد، ناحیه به عدد صفر و در غیر این صورت به عدد ۱، نگاشت می‌شود. دو فضای ورودی تابع $hardlimit$ با مقادیر وزن‌های $W_{1,1}$ و $W_{1,2}$ و مقدار بایاس ۱ در شکل زیر نمایش داده شده است (Ansari et al, 2018).



شکل ۱۴- تفکیک فضای نگاشت توسط تابع $hardlimit$

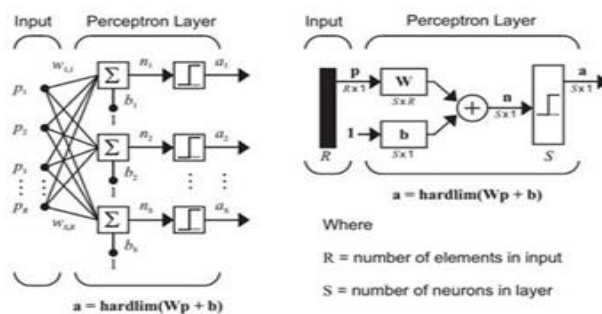
را می‌دهد. یک شبکه پرسپترون با چندنورون، به ازای هر نورون دارای یک مرز تصمیم می‌باشد. به عبارتی دیگر، یک شبکه پرسپترون با یک نورون، توانایی طبقه‌بندی بردارهای ورودی را در دو دسته دارا می‌باشد. این در حالی است که یک شبکه پرسپترون با s نورون، دارای توانایی طبقه‌بندی بردارهای ورودی در ۲ به توان s دسته می‌باشد (Ansari et al, 2018).

معماری پرسپترون

شبکه پرسپترون از یک‌لایه با s نورون پرسپترون تشکیل می‌شود که دارای R ورودی می‌باشد. شمایی از این شبکه در شکل ۱۵ نمایش داده شده، $w_{i,j}$ ، در این شکل به معنی میزان قدرت اتصال بین j -امین ورودی با i -امین نورون است.

این نورون بردار ورودی p را در بردار وزن‌های w ضرب کرده و پس از جمع نتایج، بردار حاصل جمع را با مقدار بایاس جمع می‌نماید. حاصل عملیات انجام شده به تابع انتقال $hardlimit$ به‌عنوان ورودی اعمال می‌شود. نورون پرسپترون در صورتی که مقدار ورودی به تابع انتقال آن بیشتر از صفر باشد، مقدار ۱ و در صورتی که مقدار ورودی به تابع انتقال آن کمتر از صفر باشد، مقدار صفر را تولید

مرز بین دو ناحیه طبقه‌بندی شده با خط $wp+b=0$ تعیین می‌شود. شیب این خط با توجه به ماتریس وزن‌ها تعیین شد و با توجه به مقدار b ، به سمت راست شیبت پیدا می‌کند. در صورتی که به ازای یک ورودی خاص تابع انتقال مقدار بزرگ‌تر از صفر را تولید نماید، این بردار ورودی در زمره نقاط موجود در سمت چپ خط مذکور طبقه‌بندی می‌شود و بالعکس. این خط طبقه‌بندی کننده، با تغییر مقدار اعضای ماتریس وزن‌ها (W) و مقدار b ، می‌تواند فضای دوبعدی را به هر دو ناحیه دلخواه تقسیم‌بندی نماید. نورون‌های پرسپترون می‌توانند با تابع انتقال $hardlimit$ و بدون بایاس، فضا را تنها با خطوطی که از مبدأ می‌گذرند، تقسیم‌بندی نمایند. بنابراین استفاده از بایاس، شبکه را قادر به حل مسائلی که بردارهای ورودی آن‌ها صرفاً در دو طرف مبدأ نیستند، می‌سازد. بایاس به مرز تصمیم یا همان خط L ، اجازه جابه‌جایی نسبت به مبدأ



شکل-۱۵: شمایی از یک شبکه پرسپترون یک‌لایه

در حالت TP که نام آن مثبت صحیحی است وضعیت را نشان می‌دهد که مقدار مساحت پژوهش برفی را درست تشخیص داده است. است به همین ترتیب TN یا منفی صحیح نیز حالتی پوشش برفی است و سیستم درست تشخیص داده است، دو حالت اشتباه می‌تواند در اینجا رخ دهد. یکی FP یا مثبت غلط پوشش برفی است که سیستم شناسایی نکرد و دیگری FN پوشش برفی است اما سیستم اشتباه تشخیص داده است.. (Chen et al., 2017). مقدار منحنی ROC بین ۰ تا ۱ است اگر مقدار یک باشد سیستم ۱۰۰ درصد درست پیش‌بینی کرده است اگر مقدار کمتر از ۰/۵ باشد نشان دهنده این مسئله است که سیستم به صورت تصادفی عمل کرده است و از کارایی لازم برخوردار نیست (Chen et al, 2018).

نتایج و بحث

اطلاعات ارائه شده در جدول (۱)، نتایج بهترین ترکیب تعداد لایه‌های پنهان، تعداد عناصر هر لایه و توابع انتقال در هر لایه را با توجه به نوع و تعداد متغیر ورودی در رابطه با مدل شبکه عصبی پرسپترون (MLP) نمایش می‌دهد. به منظور ارزیابی هر یک از شبکه‌ها از معیار ضریب تشخیص (R^2) استفاده شده است. با افزایش تعداد متغیرها، ضریب تشخیص شبکه از ۰/۹۹۸۷ به ۰/۲۵۶۵ کاهش داشته، میانگین کل ضریب تشخیص برابر ۰/۹۹۹۱ است. بهترین نتیجه حاصل از تکرار متغیرهای مستقل در مراحل اول به دست آمده است و نیاز به تکرار گام‌های بعدی نمی‌باشد.

تحلیل‌های صورت گرفته نقشه تغییرات برف مرز برای فصل زمستان، در پنج کلاس برای منطقه مورد مطالعه استخراج و طبقه‌بندی گردید، نتیجه این طبقه‌بندی در جدول ۲ و اشکال (۱۶) و (۱۷) ارائه شده است.

ترکیب داده‌های جغرافیایی و مدل شبکه عصبی (پرسپترون)

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و تحلیل‌های انجام شده بر روی آن‌ها، برف مرز دائمی منطقه مطالعاتی برای فصل زمستان استخراج گردید. مناطق دارای پوشش برفی به ۳ کلاس تقسیم گردید، که ۷۰٪ برای کلاس آموزش مدل شبکه عصبی، ۲۰ درصد آن برای آزمایش، و ۱۰ درصد آن برای صحت‌سنجی مدل با روش ROC در نظر گرفته شد، تمامی تحلیل‌های مطرح شده در نرم افزار Tersset انجام گرفته شد.

صحت سنجی بر اساس منحنی ROC

یکی از روش‌های بررسی و ارزیابی عملکرد دسته‌بندی دودویی، نمودار مشخصه عملکرد یا به اختصار منحنی ROC است (Fawcett, 2006)، که یکی از ابزارهای تشخیصی عملکرد یک سیستم و یایک تست و روش سنجش، به شمار می‌آید (Rusianchex et al, 2021). مدت زیادی است که از این شاخص برای ارزیابی دقت شناسایی تصویر استفاده می‌شود (Egen, 1975; Swets, 1988). با استفاده از نتایج به دست آمده از منحنی ROC می‌توان مفاهیمی مانند نقطه برش، حساسیت و ویژگی یک تست را به دست آورد، این منحنی با پلات ویژگی محور X و حساسیت محور Y می‌باشد که می‌تواند روابط زیر را بیان کند (Zhang et al, 2018).

$$X - axis = 1 - specificity = 1 - \left[\frac{TN}{TN + EP} \right]$$

$$Y - axis = 1 - sensitivity = 1 - \left[\frac{TP}{TP + FN'} \right]$$

جدول ۱- مشخصات ایستگاههای هواشناسی سینوپتیک آذربایجان شرقی

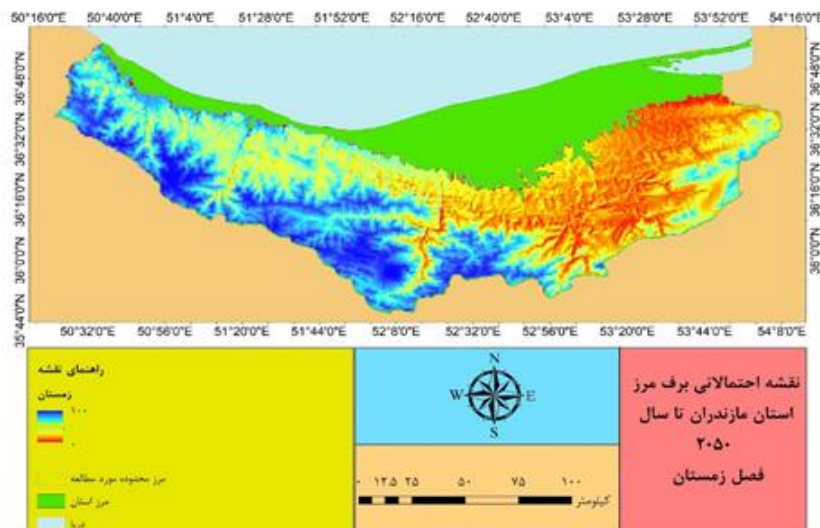
ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	سال تاسیس
۱	تبریز	۴۶ ۱۷	۳۸ ۰۵	۱۳۶۴	۱۳۳۰
۲	اهر	۴۷ ۰۴	۳۸ ۲۶	۱۳۹۱	۱۳۴۳
۳	سراب	۴۷ ۲۳	۳۷ ۵۶	۱۶۸۲	۱۳۴۰
۴	جلفا	۴۵ ۳۶	۳۸ ۵۶	۷۳۶	۱۳۴۱
۵	میانه	۴۷ ۴۲	۳۷ ۲۷	۱۱۱۰	۱۳۴۵
۶	مراغه	۴۶ ۰۹	۳۷ ۲۰	۱۳۴۴	۱۳۴۰
۷	کلبر	۴۷ ۰۱	۳۸ ۵۲	۱۲۱۰	۱۳۶۷
۸	مرند	۴۵ ۴۶	۳۸ ۲۶	۱۵۵۰	۱۳۷۷
۹	بناب	۴۶ ۰۴	۳۷ ۲۰	۱۲۹۰	۱۳۷۷
۱۰	سهند	۴۶ ۰۷	۳۷ ۵۶	۱۶۴۱	۱۳۶۹
۱۱	بستان آباد	۴۶ ۵۱	۳۷ ۵۱	۱۷۵۰	۱۳۸۳
۱۲	ملکان	۴۶ ۰۵	۳۷ ۰۹	۱۳۰۸	۱۳۸۴
۱۳	هریس	۴۷ ۰۶	۳۸ ۱۵	۱۹۵۰	۱۳۸۴
۱۴	عجب شیر	۴۵ ۵۱	۳۷ ۳۰	۱۳۱۱	۱۳۹۲
۱۵	ورزقان	۴۶ ۴۰	۳۸ ۳۰	۱۶۷۱	۱۳۹۲
۱۶	شبستر	۴۵ ۴۱	۳۸ ۱۱	۱۳۵۰	۱۳۹۲
۱۷	چاراویماق	۴۶ ۵۹	۳۷ ۰۸	۱۸۹۶	۱۳۹۳

جدول ۲- تغییرات برف مرز در هم کلاس در فصل زمستان

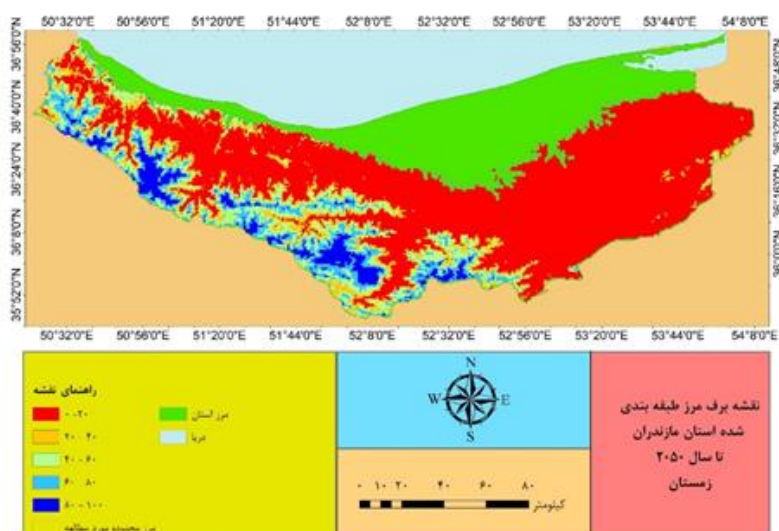
نام کلاس	مساحت به هکتار	درصد	کمترین ارتفاع	بیشترین ارتفاع	میانگین
۰-۲۰	۱۱۵۶۲۵۰	۶۵/۴۵۳۲۶	۱۶۳	۳۳۸۹	۱۳۰۰/۱۷۸
۲۰-۴۰	۱۷۲۷۰۸۳	۹/۷۷۶۷۱۲	۱۸۳	۳۵۷۷	۲۱۳۲/۶۴۴
۴۰-۶۰	۲۰۶۹۴۴/۴	۱۱/۷۱۴۷۶	۱۹۰	۳۷۳۵	۲۵۱۰/۲۲۶
۶۰-۸۰	۱۴۷۰۸۳/۳	۸/۳۲۶۱۲۶	۱۹۳	۴۱۱۷	۳۰۱۴/۰۰۹
۸۰-۱۰۰	۸۶۱۱۱/۱	۴/۸۷۴۵۹۷	۲۳۳۷	۵۵۹۵	۳۵۶۰/۲۶۶

مناطق با احتمال برف‌گیری ۲۰-۴۰ درصد را شامل می‌شود، پراکنش مکانی این کلاس در مناطقی با ارتفاع ۱۸۳ متر تا ۳۵۷۷ به چشم می‌خورد، مساحت کلی این کلاس ۱۷۲۸۰۷/۳ هکتار بوده و ۹/۷ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد.

با توجه به نتایج حاصله کلاس اول مناطقی با احتمال برف‌گیری ۰-۲۰ درصد را شامل می‌شود که پراکنش مکانی این مناطق در ارتفاعات ۱۶۳ متر تا ۳۳۸۹ متر می‌باشد، مساحت کلی این کلاس ۱۱۵۶۲۵۰ هکتار معادل ۶۵.۴۵ درصد از کل مساحت استان را پوشش می‌دهد. کلاس دوم



شکل ۱۶: نقشه برف مرز احتمالی مازندران در زمستان



شکل ۱۷: نقشه برف مرز طبقه بندی شده استان تا سال ۲۰۵۰

کلاس سوم مناطقی با احتمال پوشش برفی ۴۰-۶۰ درصد را نمایش می‌دهد، این مناطق در ارتفاعات ۱۹۰ تا ۳۷۳۵ متر یو واقع شده است، مساحت آن ۲۰۶۹۴۴ هکتار معادل ۱۱/۷ درصد از ارتفاعات منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده است. کلاس چهارم مناطقی با احتمال برف‌گیری ۶۰-۸۰ درصد را شامل می‌شود، این مناطق در مناطقی با ارتفاع ۱۹۳ تا ۴۱۱۷ متر یو پراکنش دارد، این کلاس با مساحت ۱۴۷۰۸۳/۳ هکتار معادل ۸/۳ درصد از مساحت کلی ارتفاعات استان را به خود اختصاص داده است. در نهایت مناطق با احتمال برف‌گیری ۸۰-۱۰۰ درصد بوده است این

کلاس با مساحت ۸۶۱۱۱/۱ هکتار، معادل ۴/۸۷ درصد از ارتفاعات بالای ۲۳۳۷ متر یو را پوشش داده است که ارتفاعات دماوند، علم کوه و آزادکوه در مازندران جزئی از آن به حساب می‌آید. با توجه به خروجی مدل، ارتفاع برف مرز در سال ۱۴۲۹ (۲۰۵۰ میلادی) به طور میانگین حدود ۸۰۰ متر به ارتفاعات بالاتر جابجا خواهد شد و از ارتفاع حدود ۲۷۵۰ متر فعلی به ۳۵۶۰ متر خواهد رسید. نتایج بیانگر آن است که روند تغییرات برف مرز فصل زمستان در استان مازندران با سرعتی بسیار بالا در حال انجام است که این

شرایط می‌تواند چالش‌های عدیده‌ای در منابع آبی استان بوجود آورد.

جدول-۴: وزن متغیرها برای فصل زمستان

وزن در شبکه	شاخص‌ها	ورودی
۰	زمستان	متغیر وابسته
-۱/۳۸۰۳	حداقل دما در سردترین ماه سال	متغیر مستقل
-۰/۲۱۸۸	دامنه دمای سالانه	متغیر مستقل
۲/۳۲۱۷	متوسط بارش سالانه	متغیر مستقل
-۱/۳۷۰۸	مقدار بارش در خشک‌ترین فصل	متغیر مستقل
۰/۹۱۶۸	محاسبه بارش فصلی	متغیر مستقل
-۱/۱۷۷۹	بارش در گرم‌ترین فصل	متغیر مستقل
۲/۰۴۶۴	میانگین دما در خشک‌ترین ماه در فصل زمستان	متغیر مستقل
-۱/۶۹۶۳	ارتفاع	متغیر مستقل
۱/۳۸۰۳	کاربری اراضی	متغیر مستقل
-۱/۸۵۸۹	شیب	متغیر مستقل
-۰/۶۰۷۵	خاک	متغیر مستقل
-۲/۱۶۳۶	شاخص رطوبت	متغیر مستقل

در بررسی‌های انجام شده بر روی ضریب نفوذ متغیرها برای فصل زمستان، معیارهای دامنه دمای سالانه و متوسط بارش سالانه هر کدام با ضریب ۰/۹۹۷۴ دارای بیشترین ضریب نفوذ بوده است، کمترین ضریب نفوذ هم مربوط به میانگین دما در خشک‌ترین ماه فصل زمستان با مقدار ۰/۹۹۸۷ می‌باشد. اطلاعات ارائه شده در جدول (۵)، ضریب نفوذ تمام لایه‌ها را به تفکیک معیار ارائه می‌دهد.

صحت سنجی

در این پژوهش برای تعیین میزان صحت نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی MLP روش منحنی ROC استفاده شده است. برای نیل به هدف مذکور، از ۲۰ درصد داده‌های نمونه‌ی داده‌ثبت شده در محدوده مورد مطالعه در مدل استفاده نگردیدند تا به عنوان نمونه‌های مقایسه‌ای مدل در روش منحنی ROC استفاده گردد. مطابق شکل (۱۸)، نتایج صحت سنجی در قالب نمودار نشان داده شده است که طی آن دقت مدل استفاده شده برابر ۹۳/۱۴ درصد بوده است که نشان‌گر موفق بودن مدل در پژوهش حاضر می‌باشد.

شبکه عصبی زمستان

برای اجرای مدل و پیش‌نگری برف مرز برای فصل زمستان در شبکه عصبی ۱۲ متغیر ثابت و در دو لایه مخفی و دو عدد ۱۲ تایی نرون‌های مخفی و ۱ خروجی در نظر گرفته شد حداکثر درخواست برای بررسی مدل ۱۰۰ در نظر گرفته شد و مقدار نرخ یادگیری ۰/۰۰۱ انتخاب گردید. ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۲۰ درصد برای صحت سنجی و ۱۰ درصد باقیمانده برای بررسی دقت منحنی ROC مورد استفاده در نظر گرفته شد. اطلاعات تکمیلی و مقادیر هر یک از پارامترها در جدول (۳) ارائه شده است.

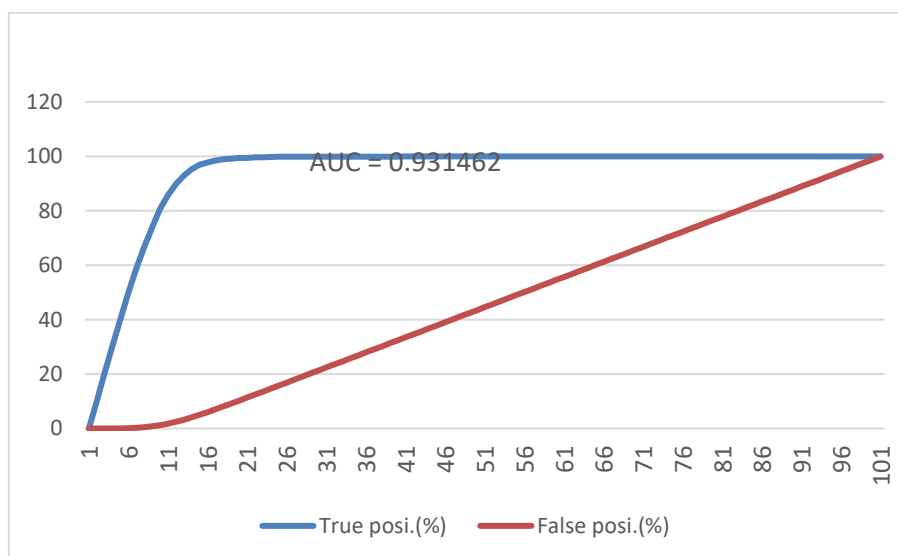
جدول-۳: پارامتر مدل شبکه عصبی برای فصل زمستان

تعریف پارامتر	پارامترهای مدل
رگرسیون	نوع برنامه
۱۲	نرون‌های لایه ورودی
۲	لایه مخفی
۱۲	تعداد لایه لایه مخفی نرون ۱
۱۲	تعداد لایه لایه مخفی نرون ۲
۱	نرون لایه خروجی
۱۰۰۰	حداکثر داده شبیه‌سازی شده
۰/۰۰۱	نهایت نرخ یادگیری
۰/۵	ضریب حرکت
۱	سیگموئید ثابت
۰/۰۱	خطای مورد قبول
۵۰۰	تکرار
۰/۰۱۴۷	خطای آموزش

در بررسی‌های صورت گرفته بر روی وزن متغیرها مورد استفاده برای فصل زمستان، معیارهای متوسط بارش سالانه با وزن ۲/۳۲ و میانگین دما در سردترین ماه فصل با وزن ۲/۰۴ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و کمترین وزن به دست آمده به شاخص رطوبت با مقدار ۲/۱۶- تعلق گرفته است. اطلاعات ارائه شده در جدول (۴)، وزن به دست آمده برای تمام متغیرها را به تفکیک نمایش می‌دهد.

جدول-۵: ضریب نفوذ متغیرها

Influence order	R square	Model
N/A	۰/۹۹۹۱	میانگین همه
7	۰/۹۹۸۲	حداقل دما در سردترین ماه سال
1 (most influential)	۰/۹۹۷۴	دامنه دمای سالانه
2	۰/۹۹۷۴	متوسط بارش سالانه
8	۰/۹۹۸۳	مقدار بارش در خشک‌ترین فصل
5	۰/۹۹۸۲	محاسبه بارش فصلی
11	۰/۹۹۸۴	بارش در گرم‌ترین فصل
9	۰/۹۹۸۳	ارتفاع
12 (least influential)	۰/۹۹۸۷	میانگین دما در خشک‌ترین ماه فصل زمستان
3	۰/۹۹۷۸	کاربری اراضی
10	۰/۹۹۸۳	شیب
6	۰/۹۹۸۲	خاک
4	۰/۹۹۸۱	شاخص رطوبت



شکل-۱۸: منحنی ROC فصل زمستان

نتیجه‌گیری

برای انجام این پژوهش در مرحله اول تصاویر ماهواره‌ای MODIS برای ۱۸ ساله اخیر یعنی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷ دانلود شد، سپس با استفاده از شاخص NDSI سطح برف منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید در ادامه با استفاده از این تصاویر تغییرات سطوح برف برای فصل زمستان به دست آمد و با رو هم پوشانی لایه‌های ماهانه تغییرات سطوح برفی برای این فصل محاسبه گردید. با استفاده از این الگو لایه متغیر وابسته برای تحلیل در مدل شبکه عصبی تولید شد. لایه سطوح برفی، مناطقی از استان را شامل می‌شود که در طول فصل مورد نظر در آن منطقه برف دیده می‌شود. بررسی‌های سطوح برفی این فصل نشان می‌دهد که روند خط برف در استان مازندران روند کاهشی داشته و پراکنش محلی آن در ارتفاعات بالاتری قرار می‌گیرد به طوری که وضعیت خط برف در این فصل در ارتفاعات حدود ۲۷۵۰ متر مشاهده شده است.

شبیه‌سازی که با استفاده از مدل شبکه عصبی برای فصل زمستان صورت گرفته با ۱۲ متغیر ثابت و یک متغیر مستقل با دقت منحنی ROC، ۹۸/۵۰ درصد بوده است. با توجه به خروجی مدل، ارتفاع برف مرز در سال ۱۴۲۹ (۲۰۵۰ میلادی) به‌طور میانگین حدود ۸۰۰ متر به ارتفاعات بالاتر جابجا خواهد شد و به ارتفاع حدود ۳۵۶۰ متر خواهد رسید. نتایج بیانگر آن است که روند تغییرات برف مرز فصل زمستان در استان مازندران با سرعتی بسیار بالا در حال انجام است و این موضوع می‌تواند ذخیره آبی استان را که به عنوان یک عامل موثر در بخش کشاورزی در فصول بهار و تابستان بوده را به مقدار فاحشی کاهش دهد و استان مازندران را با صدمات جبران‌ناپذیری و چالش جدی و خطرناک روبرو کند.

منابع

- Aghelpour, P., Guan, Y., Bahrami-Pichaghchi, H., Mohammadi, B., Kisi, O., & Zhang, D. (2020). Using the MODIS sensor for snow cover modeling and the assessment of drought effects on snow cover in a mountainous area. *Remote Sensing*, 12(20), 3437.
- Ansari, H. R., Zarei, M. J., Sabbaghi, S., & Keshavarz, P. (2018). A new comprehensive model for relative viscosity of various nanofluids using feed-forward back-propagation MLP neural networks. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 91, 158-164.
- Arber, S., Hunter, J. J., Ross Jr, J., Hongo, M., Sansig, G., Borg, J., ... & Caroni, P. (1997). MLP-deficient mice exhibit a disruption of cardiac cytoarchitectural organization, dilated cardiomyopathy, and heart failure. *Cell*, 88(3), 393-403.
- Archer, D.R., Bailey, J. O., Barrett, E.C. and Greenhill, D. (1994), "The potential of satellite remote sensing of snow over Great Britain in relation to cloud cover", *Nordic Hydrology*, 25.
- 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.
- Bashir, F., Rasul, G. (2010), "Estimation of average snow cover over northern Pakistan", *Pakistan Journal of Meteorology*, 7(13), 63-69.
- Book: Pinkus, A. (1999). Approximation theory of the MLP model. *Acta Numerica* 1999: Volume 8, 8, 143-195.
- Broxton, P. D., Harpold, A. A., Biederman, J. A., Troch, P. A., Molotch, N. P., & Brooks, P. D. (2015). Quantifying the effects of vegetation structure on snow accumulation and ablation in mixed-conifer forests. *Ecology*, 8(6), 1073-1094.
- Chen, W., Shirzadi, A., Shahabi, H., Ahmad, B. B., Zhang, S., Hong, H., & Adam, J. C., Hamlet, A. F., & Lettenmaier, D. P. (2009). Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(7), 962-972.

- a review. *Progress in Physical Geography*, 25(4), 520-540.
19. Garen, D. and Marks, D. (2005). "Spatially distributed energy balance snowmelt modeling in a mountainous river basin: estimation of meteorological inputs and verification of model results", *Journal of Hydrology*, 315:126-153.
 20. Garg, G., Kumar, D., Sonker, Y., & Garg, R. (2021). A Hybrid MLP-SVM Model for Classification using Spatial-Spectral Features on Hyper-Spectral Images. arXiv preprint arXiv:2101.00214.
 21. Gholamnia, K., Gudiyangada Nachappa, T., Ghorbanzadeh, O., & Blaschke, T. (2020). Comparisons of diverse machine learning approaches for wildfire susceptibility mapping. *Symmetry*, 12(4), 604.
 22. Ghorbanzade, H., Sedeghi, H., Saghafian, B., Porhemat, J., (2010), Investigation of the effect of climate change on the distribution of runoff flow due to snowmelt in the Karun catchment, Iran-Watershed Management Science & Engineering, vol 3, no 9, 45-50
 23. Goodinson, B.E. Rango, A. Walker, A.E. (2000), "Snow and Ice, Remote Sensing in Hydrology and Water Management" , Springer Pub, Berlin, 539- 540.
 24. Gray, D.M. Zhai, L. (1998). "Estimating Snowmelt Infiltration into Frozen Soils ,International Conference on Snow Hydrology" ,US Army Corps of Engineers ,Cold Regions Research & Engineering Laboratory, 13(12-13):1827-1842.
 25. Groisman, P. Y., Karl, T. R., & Knight, R. W. (1994). Observed impact of snow cover on the heat balance and the rise of continental spring temperatures. *Science*, 263(5144), 198-200.
 26. Immerzeel WW, Droogers P, De Jong SM, Bierkens MFP. 2009. Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using Zhang, N. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach based on the rotation forest ensemble and naïve Bayes tree classifiers for a landslide susceptibility assessment in Langao County, China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1955-1977. doi:10.1080/19475705.2017.1401560
 11. Dadashi M, Mokhtari Mh, Tiba Ar, Zerang n, Hasanabadi A, (2014), " Calculation of snow level using Modis measuring images (Case study of Tehran province)", The first national conference on the application of advanced models of spatial analysis (remote sensing and GIS) in land management, Yazd Branch of Azad University, march (2015)
 12. Dahe, Q., Shiyin, L., & Peiji, L. (2006). Snow cover distribution, variability, and response to climate change in western China. *Journal of climate*, 19(9), 1820-1833.
 13. Dariane, A.B. Khoramian, A. Santi, E. (2017), "Investigating spatiotemporal snow cover variability via cloud-free MODIS snow cover product in Central Alborz Region", *Remote sensing of environment*, 202, 152-165.
 14. Egan, J. P., & Egan, J. P. (1975). *Signal detection theory and ROC-analysis*. Academic press.
 15. Ezzati, M., Shokouhi, A., and Nouri, M., (2015), Investigating the effect of climate change on snow cover Case study: Taleghan catchment, 5th Regional Conference on Climate Change, Tehran
 16. Fatahi, E., Moghimi, Sh. (2017). The effect of climate change on snow trend in northwestern Iran, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 54, 46-63.
 17. Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, 27(8), 861-874.
 18. Gao, J., & Liu, Y. (2001). Applications of remote sensing, GIS and GPS in glaciology:

- based on MODIS snow product, 2001–2014. *International Journal of Climatology*, 38(2), 708-728.
36. Lindsay, CH. Zhu, J. Miller, A.E. Wilson, T.L. (2015). "Deriving Snow Cover Metrics for Alaska from MODIS", *Remote sensing*, 7: 12961-12985.
 37. Lopez, P. Sirguey, P. Arnaud, Y. Pouyaud, B. Chevallier, P. (2008), "Snow cover monitoring in the Northern Patagonia Icefield using MODIS satellite images (2000–2006)", *Global and Planetary Change*, 61(3-4), 103-116.
 38. Marchane, A. Jarlan, L. Hanich, L. Boudhar, A. Gascoïn, A. Tavernier, A. Filali, N. LePage, M. Hagolle, O. Berjamy, B. (2015), "Assessment of daily MODIS snow cover products to monitor snow cover dynamics over the Moroccan Atlas mountain range", *Remote Sensing of Environment* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.002>.
 39. Massaoudi, M., Refaat, S. S., Chihi, I., Trabelsi, M., Oueslati, F. S., & Abu-Rub, H. (2021). A novel stacked generalization ensemble-based hybrid LGBM-XGB-MLP model for Short-Term Load Forecasting. *Energy*, 214, 118874.
 40. Mellit, A., & Kalogirou, S. (2021). Artificial intelligence and internet of things to improve efficacy of diagnosis and remote sensing of solar photovoltaic systems: Challenges, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110889.
 41. Mir mousavi H, Saboor L, (2012), "Monitoring snow cover changes using MODIS sensor images in the northwestern region of Iran", *Journal of Geography and Development*, No35, Summer 2014, pp 181-199
 42. Miryaghoubzadeh M H, Ghanbarpoor M R, (2010), "Investigation of the application of snow cover maps obtained from MODIS satellite images in snowmelt runoff remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 113(1): 40–49.
 27. Immerzeel WW. 2008. Historical trends and future predictions of climate variability in the Brahmaputra basin. *Int. J. Climatol.* 28: 243–254.
 28. Jafari Gh (2016), "The method of estimating the height of the snowborder line of Iran's permanent and comparing it with the Write method", *Geography and environmental planning*, Volume 24, No4, winter 2016, pp99-118
 29. Jain SK, Goswami A, Saraf AK. 2009. Role of elevation and aspect in snow distribution in western Himalaya. *Water Resour. Manage.* 23(1): 71–83.
 30. Johansson, B. Caves, R. Ferguson, R. Turpin, O. (2001). "Using remote sensing data to update the simulated snow pack of the HBV runoff model". *IAHS PUBLICATION*, 595-597.
 31. Journal: Bashir, F. Ghulam, R. (2010), "Estimation of Average Snow Cover over Northern Pakistan", *Pakistan Journal of Meteorology*, 7(13): 63-69.
 32. Kang, D., Lee, K., & Kim, E. J. (2021). Improving cold-region streamflow estimation by winter precipitation adjustment using passive microwave snow remote sensing datasets. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044055.
 33. Karbou, Fatima, Gaëlle Veyssière, Cécile Coleou, Anne Dufour, Isabelle Gouttevin, Philippe Durand, Simon Gascoïn, and Manuel Grizonnet. "Monitoring Wet Snow Over an Alpine Region Using Sentinel-1 Observations." *Remote Sensing* 13, no. 3 (2021): 381.
 34. Khalsa S., VB. Azien. (2008). "Variability in central Asia seasonal snow cover during the MODIS period of record", *Geophys Res Abstr* 10:1-2, EGU2008-A-0443
 35. Li, C., Su, F., Yang, D., Tong, K., Meng, F., & Kan, B. (2018). Spatiotemporal variation of snow cover over the Tibetan Plateau

- free MODIS fractional snow cover product, 2001–2015. *Remote Sensing*, 9(10), 1045.
50. Tsai, Y. L. S., Dietz, A., Oppelt, N., & Kuenzer, C. (2019). Remote sensing of snow cover using spaceborne SAR: A review. *Remote Sensing*, 11(12), 1456.
 51. Wang, J., & Li, S. (2006). Effect of climatic change on snowmelt runoffs in mountainous regions of inland rivers in Northwestern China. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 49(8), 881-888.
 52. Yang J, Jiang L, Ménard CB, Luo J, Lemmetyinen J, Pulliainen J. (2015). Evaluation of snow products over the Tibetan Plateau. *Hydrol. Process.* 29(15): 3427–3460.
 53. Yilmaz, I., & Kaynar, O. (2011). Multiple regression, ANN (RBF, MLP) and ANFIS models for prediction of swell potential of clayey soils. *Expert systems with applications*, 38(5), 5958-5966.
 54. Zhang G, Xie H, Yao T, Liang T, Kang S. 2012. Snow cover dynamics of four lake basins over Tibetan Plateau using time series MODIS data (2001-2010). *Water Resour. Res.* 48(10): W10529.
 55. Zhang, T., Han, L., Chen, W., & Shahabi, H. (2018). Hybrid integration approach of entropy with logistic regression and support vector machine for landslide susceptibility modeling. *Entropy*, 20(11), 884.
 56. Zhou, H., Aizen, E. and Aizen, V. (2013). "Deriving long term snow cover extent dataset from AVHRR and MODIS data: Central Asia case study", *Remote Sensing of Environment*, 136: 146-162.
 - modeling (Case study: Karaj dam watershed)", *Journal of Earth Sciences*, Summer 2010, 19th year, No76, pp141
 43. Phong, Tran Van, Binh Thai Pham, Phan Trong Trinh, Hai-Bang Ly, Quoc Hung Vu, Lanh Si Ho, Hiep Van Le, Lai Hop Phong, Mohammadtaghi Avand, and Indra Prakash. "Groundwater Potential Mapping Using GIS-Based Hybrid Artificial Intelligence Methods." *Groundwater* (2021).
 44. Raispour k.(2018), "Monitoring changes in Iran's snow cover using NDSI algorithm in TERRA / MODIS images", The 2nd national conference of climatology on iran, may 9th 2018
 45. Rittger K, Painter TH, Dozier J. 2013. Assessment of methods for mapping snow cover from MODIS. *Adv. Water Resour.* 51: 367–380.
 46. Ruisanchez, I., Jimenez-Carvelo, A. M., & Callao, M. P. (2021). ROC curves for the optimization of one-class model parameters. A case study: Authenticating extra virgin olive oil from a Catalan protected designation of origin. *Talanta*, 222, 121564.
 47. Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.
 48. Tang Z, Wang J, Li H, Yan L. 2013. Spatiotemporal changes of snow cover over the Tibetan plateau based on cloud-removed moderate resolution imaging spectroradiometer fractional snow
 49. Tang, Z., Wang, X., Wang, J., Wang, X., Li, H., & Jiang, Z. (2017). Spatiotemporal variation of snow cover in Tianshan Mountains, Central Asia, based on cloud-