

## Comparative snow border from meteorological data and images MODIS snow cover in Gilan

### Abstract

Because of the crucial role of snow cover on the hydrological cycle, Snow with high spatial and temporal resolution characteristics required to appear, But as the snow survey stations is not suitable spatial distribution And generally high in the catchment area of the density of days with snow and more snow, the number of stations is very limited, Therefore use of traditional methods of measuring the physical properties suitable for continuous monitoring of snow, do not have. Hence determination of these parameters should be based on methods Which is not in direct contact with the snow and indirectly acceptable estimates of these parameters are in our possession. Topographic maps, satellite images, 8-day MODIS And Temperature, rain and snow daily and monthly Meteorological stations in the province, The data used in this research. In this regard, the use of this information by a 13-year period until 2000-2001 and 2012-2013 water year in the months November to April, Snow statistics daily, monthly temperature (maximum, minimum and average), Progress and regression snow line In different months of the year was marked by snow boundary line of images of snow cover in the province were compared. The results show the adaptation of these lines in satellite images of snow cover in the months of December, January, February and March with average monthly temperature is above zero degrees.

**Keywords:** Snow border, Gilan Province, MODIS satellite images.

## مقایسه تطبیقی برفمرز حاصل از داده های ایستگاههای هواشناسی و

### تصاویر پوشش برف MODIS در استان گیلان

۱- خسرو تاجداری، رئیس گروه آبهای سطحی شرکت آب منطقه ای گیلان، khosro1taj@gmail.com

۰۹۱۱۳۳۵۶۰۲۲

۲- پرویز رضایی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، Rezaei@iaurasht.ac.ir، ۰۹۱۱۳۳۲۳۳۲۱

۳- رسول خان میرزایی، مدیر دفتر مطالعات شرکت آب منطقه ای گیلان، ۰۹۱۱۳۳۵۲۳۱۷

#### چکیده

به دلیل نقش بسزای پوشش برفی در چرخه هیدرولوژیکی، بررسی خصوصیات پوشش برف با تفکیک مکانی و زمانی بالا ضروری به نظر می رسد، اما از آنجایی که ایستگاه های برف سنجی از توزیع مکانی مناسبی برخوردار نبوده و عموماً در ارتفاعات حوضه که تراکم برف و روزهای همراه با برف بیشتر است، تعداد این ایستگاه ها بسیار محدود است، بنابراین استفاده از روش های سنتی اندازه گیری زمینی از کارایی لازم برای پایش متناوب مشخصات فیزیکی برف برخوردار نمی باشند. از این رو تعیین این پارامتر ها باید متکی بر روش هایی باشد که در تماس مستقیم با برف نبوده و به صورت غیر مستقیم تخمین قابل قبولی از این پارامتر ها را در اختیار ما قرار می دهند. نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای ۸ روزه MODIS و اطلاعات دما، برف و بارش روزانه و ماهانه ایستگاه های هواشناسی استان گیلان، داده های مورد استفاده در این پژوهش هستند. با استفاده از این اطلاعات در یک دوره آماری ۱۳ ساله از سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ لغایت ۹۲-۱۳۹۱ و در ماه های آبان تا فروردین، با استفاده از آمار بارش برف روزانه، دماهای ماهانه (حداکثر، حداقل و متوسط)، خط پیشروی و پسروی برف در ماه های مختلف سال مشخص شد و با خط برفمرز حاصل از تصاویر سطح پوشش برف در سطح استان مقایسه گردید. نتایج نشان از تطابق بالای این خط در تصاویر ماهواره ای پوشش برف در ماه های آذر، دی، بهمن و اسفند با ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط دمای ماهانه دارد.

واژگان کلیدی: برفمرز، استان گیلان، تصاویر ماهواره ای MODIS .

## مقدمه

از آن جا که تعیین محدوده های اقلیمی در نواحی کوهستانی به صورت سطوح ارتفاعی مورد توجه است، بنابراین، توجه پژوهشگران معطوف به دستیابی ارقام ارتفاعی است که گویای مرز مشخص و تسلط عوامل متفاوت فرسایشی است. به عبارت دیگر، تلاش در زمینه ی تعیین حدی است که فراتر از آن، آثار عوامل فرسایش به صورتی متفاوت در محیط ظاهر شده باشند. کنترل و مهار منابع محدود آب شیرین، از اولویت های اصلی برنامه ریزی برای منابع آب کشور می باشد. یکی از این منابع، نزولات جوی در ارتفاعات است که سهم بیشتری از آن را برف تشکیل می دهد. برف منبع مهمی برای جریان رودخانه ها در طی کلیه فصول سال در استان گیلان است.

وقوع خشکسالی های اخیر و کاهش شدید منابع آبی از یک سو و نقش و اهمیت نزولات برفی در تغذیه منابع آبهای زیر زمینی در مناطق کوهستانی ایجاب می کند که به طریق ممکن و با اعمال تمهیدات لازم و مناسب، از منابع موجود حداکثر بهره برداری را به عمل آورد. حفظ آبهای سطحی و تلاش در جهت بیشتر نفوذ دادن آبهای ناشی از ذوب برف به خاک می تواند در این ارتباط موثر و مفید واقع گردد. با عنایت به اینکه بخش اعظم بارندگی ها در مناطق کوهستانی به شکل برف نازل می شوند مدیریت بر منابع برفی در نواحی کوهستانی از اهمیت زیادی برخوردار است.

در مناطق سرد، کوهستانی و مرتفع بخش اعظم بارندگی ها به شکل برف نازل می شوند. منابع آبی موجود در این قبیل مناطق، متأثر از میزان بارش برف بوده و غالباً از طریق آبهای حاصل از ذوب برف تغذیه می شوند و وضعیت بیلان آبی و رژیم آبدهی منابع آب موجود در این قبیل مناطق به میزان و سرعت ذوب برف و یا ماندگاری آن بر روی زمین و سطوح آبیگیر و تغذیه آنها بستگی دارد. ماندگاری برف بر روی زمین ارتباط مستقیم با شدت ذوب برف داشته و شدت ذوب برف نیز به دمای محیط (دمای هوا، دمای سطح زمین) و تداوم گرما (طول مدت روز) بستگی دارد. از طرفی دمای محیط به جهت شیب و ارتفاع منطقه و دمای سطح زمین نیز به جنس و رنگ آن وابسته است. معمولاً اجسام تیره و کدر مقدار بیشتری گرمای ناشی از تابش خورشید را جذب می نمایند و طبیعتاً در شرایط مشابه گرمتر از سطوح روشن می گردند. تراکم و عمق انباشته برف نیز در این فرایند بی تأثیر نبوده و به دلیل پایین بودن سرعت انتقال گرما، برف های متراکم و انباشته سرعت ذوب کمتری خواهند داشت.

ذخایر برفی و آب معادل آن حدود یک سوم از آب مورد نیاز برای فعالیت های کشاورزی و آبیاری در سراسر کره زمین را تامین می کند. در کشور ما نیز این ذخایر در ارتفاعات می تواند به عنوان یک منبع غنی آب شیرین مورد توجه قرار گیرد. برف منبع مهمی برای جریان رودخانه ها در طی فصول بهار و تابستان است. تا کنون شناسایی دقیق این منبع شیرین و مهم آبی بدلیل کمبود اطلاعات و آمار مکفی میسر نبوده است. کمبود ایستگاههای هواشناسی در مناطق ارتفاعی، صعب العبور بودن مناطق کوهستانی، عدم وجود تجهیزات و امکانات مناسب جهت آماربرداری در این مناطق خصوصاً در ماههای سرد و برفی، دقت کم اطلاعات برداشت شده از ایستگاههای موجود در نواحی کوهستانی و ... باعث عدم شناخت دقیق این منبع مهم آبی گردیده است.

نگاهی اجمالی به وضعیت آبی استان گیلان، حکایت از شرایط مطلوب پتانسیل آبی منطقه دارد، به طوری که میزان بارش و رواناب این استان، حدود شش برابر متوسط کشور و تقریباً دو برابر متوسط جهانی است. اما با این وجود، به دلیل اینکه اکثر بارش های منطقه در دو فصل پاییز و زمستان رخ می دهد و با توجه به کمبود زیرساخت های آبی، در حال حاضر نمی توان حتی از ۵۰ درصد پتانسیل آبی استان نیز استفاده نمود. به همین جهت، همه ساله دغدغه ی کم آبی در فصل آبیاری محصولات کشاورزی، خصوصاً محصول استراتژیک برنج، که بیشتر آب مورد نیاز آن از باران تأمین می گردد، کم و بیش وجود دارد.

استان گیلان دارای اقلیمی مرطوب و معتدل در مناطق دشت و اقلیمی سرد و نیمه خشک در مناطق کوهستانی است و همواره در ماههای سرد سال ارتفاعات آن پوشیده از برف می باشد<sup>۱</sup>. این ریزش ها عموماً از ابتدای آبان آغاز و تا اواخر فروردین ماه ادامه می یابد و تأثیر بسیار مهمی در تغذیه دبی های پایه رودخانه ها در فصول بهار و تابستان دارد.

۱- دفتر مطالعات پایه شرکت آب منطقه ای گیلان

## مبانی نظری پژوهش

برای تعیین خط برف در حوضه های آبخیزی که ایستگاه برف سنجی ندارد از عنصر دما استفاده می شود. از آنجا که رخداد پدیده برف در دمای صفر و کمتر از صفر اتفاق می افتد معمولاً ارتفاع متناظر دمای صفر درجه سانتیگراد برای ماه های مختلف سال معادل خط برف در نظر گرفته می شود. برای این کار اطلاعات مربوط به دمای متوسط ماهانه برای ایستگاههای مورد مطالعه جمع آوری می شود سپس با استفاده از داده های میانگین دمای ماهانه و سالانه، گرادیان دما در حوضه مورد مطالعه تعیین می شود. با فرض اینکه نزولات جوی در دمای صفر درجه سانتیگراد و پایین تر بصورت برف نازل می شوند، خط همتراز دمای صفر درجه در حوضه مشخص و ارتفاع مربوطه تعیین می شود. با تعیین خط صفر درجه و ترسیم آن بر روی نقشه حوضه بوسیله سیستم GIS می توان مساحت زیر پوشش برف و آب معادل برف را نیز محاسبه کرد. از این نظر برای هر ماه سه خط برف قابل محاسبه است:

۱- ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقل ها، نشان دهنده حداقل ارتفاع خط ماندگاری برف بر روی زمین است.

۲- ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداکثرها، نشان دهنده حداکثر ارتفاعی است که در صورت وجود پوشش برفی در حوضه، در بالای آن ذوبی صورت نمی گیرد.

۳- ارتفاع منحنی دمای صفر درجه مربوط به متوسط ماهانهها، به عنوان متوسط خط ذوب و ریزش برف به کار می رود.

در حوضه هایی نیز که دارای ایستگاه های برف سنجی می باشند از اطلاعات موجود و برداشت شده در عملیات میدانی اندازه گیری برف استفاده می شود. این اطلاعات شامل داده های مختصاتی خط برف مرز، عمق و چگالی برف، برآورد سطح پوشش برف و دمای برف می باشد. این برآوردها عمدتاً با خطای بسیار زیاد صورت می گیرد و از دلایل آن می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- دسترسی محدود به نقاطی از مناطق برفگیر که قابل دسترس باشند

۲- نقطه ای بودن ایستگاههای برف سنجی و تعمیم نتایج آن به یک محدوده وسیع

۳- محدود بودن دامنه دید اندازه گیر که باعث می گردد دامنه هایی از مناطق برف گیر که در دامنه دید قرار ندارند، برآورد مناسبی از پوشش برف صورت نگیرد.

۴- محدود بودن ایستگاههای اندازه گیر برف نسبت به کل منطقه پوشیده از برف

۵- خطای ادوات و دستگاههای اندازه گیری بدلیل عدم واسنجی و استهلاک آنها با مرور زمان

استفاده از این تصاویر نیز یکی دیگر از تکنیک های مورد استفاده برای تعیین خط برف مرز می باشند که در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرد. این تصاویر در یک دوره ۱۳ ساله از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۹۱ در ماههای سرد و برفی آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین برداشت و با استفاده از نرم افزارهای تخصصی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

روشهای موجود برای تهیه نقشه های برف مرز را می توان به سه گروه عمده به شرح زیر تقسیم بندی نمود:

✓ استفاده از داده های ایستگاههای هواشناسی

✓ استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

✓ استفاده تلفیقی از داده های هواشناسی و سنجش از دور

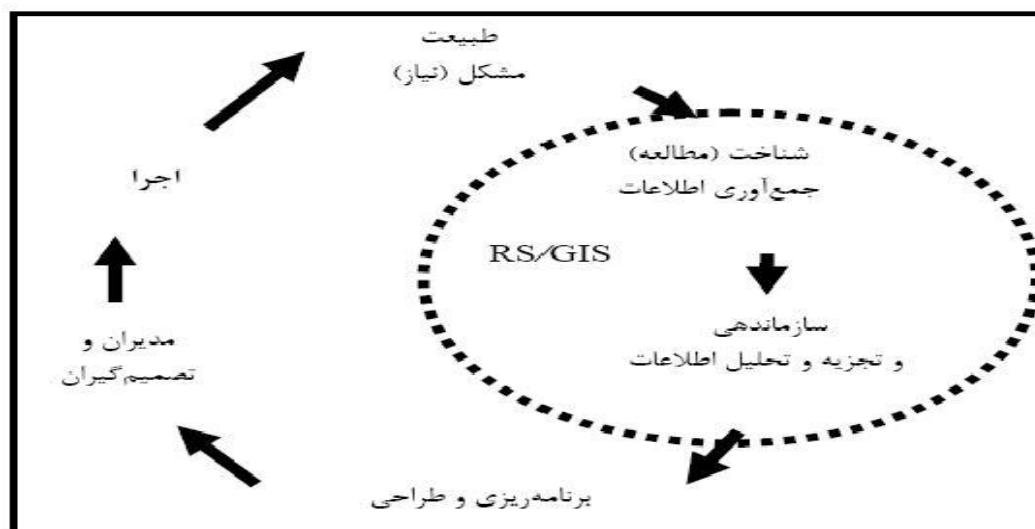
استفاده از داده های ایستگاههای هواشناسی:

این روش را به عبارتی می توان روشی معمول اطلاق نمود که در اکثر کارهای تحقیقاتی با این مضمون مورد استفاده قرار می گیرد. داده هایی که در این گونه از تحقیق ها به کار برده می شود شامل بارش روزانه ایستگاه های باران سنجی، دمای متوسط ماهانه و میانگین های حداکثر، حداقل و متوسط دماهای ماهانه طی یک دوره آماری چندین ساله از ایستگاههای هواشناسی منتخب می باشد که با استفاده از این داده ها گرادیان بارش، دما و ضریب برفی برای ارتفاعات حوضه به صورت ماهانه محاسبه می شود. به کمک این معادلات می توان مقدار ریزش و ذخیره برف و باران ماهانه را در هر ارتفاع دلخواه از حوضه پیش بینی نمود و برنامه ریزی های دقیق تری در جهت استفاده بهینه از این منابع انجام داد. لازم به ذکر است که چون آمار مربوط به ایستگاه های تبخیر سنجی حوضه ها محدود است، از آمار ایستگاه های مجاور آن نیز برای محاسبه گرادیان های بارش و دما استفاده می شود.

استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی:

گسترش تکنولوژی سنجش از دور و تلفیق آن با GIS و بهره گیری توأم این دو ابزار در منابع آب تحول عظیمی در شناخت و تحلیل دقیق تر پدیده آورده است. شناخت محدوده های برف گیر، استخراج نقشه کاربری اراضی و بسیاری موارد دیگر و تلفیق آن با اطلاعات موجود و به کارگیری روش های تحلیل GIS نتایج بسیار دقیق تر و روشن تر را در اختیار می گذارد. به طور کلی نقش سنجش از دور (RS) و سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در فرایند تصمیم گیری و برنامه ریزی را می توان در شکل (۱) خلاصه نمود.

سازماندهی اطلاعات، استخراج اطلاعات، کنترل کیفیت اطلاعات (بررسی صحت و دقت آنها)، به هنگام سازی اطلاعات، بازیابی و طبقه بندی اطلاعات و تجزیه و تحلیل اطلاعات شامل: روندیابی تغییرات، استخراج الگو و مدل، استخراج لایه های جدید (نظیر درون یابی و مسیریابی و غیره)، تجزیه و تحلیل و مدل سازی (تلفیق لایه های اطلاعاتی) و شبیه سازی نتایج سناریوهای مختلف از جمله کاربردهای کلی RS/GIS در مطالعات منابع آب به شمار می آید.



شکل ۱- نقش RS/GIS در فرایند تصمیم گیری و برنامه ریزی

استفاده تلفیقی از داده های هواشناسی و سنجش از دور:

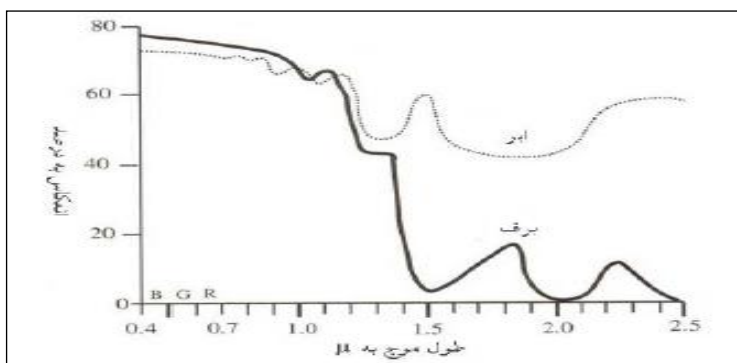
استفاده تلفیقی از داده های هواشناسی و سنجش از دور روشی است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، یعنی استفاده توأمان داده های ایستگاههای هواشناسی و تصاویر ماهواره ای سنجنده Modis که باعث افزایش دقت نتایج حاصله می گردد. در اکثر تحقیقات صورت گرفته در این خصوص استفاده از هر دو روش کمتر مورد استفاده واقع شده و در اینجا ما برآنیم تا از این روش استفاده کنیم.

برف در طیف مادون قرمز نزدیک و میانی (۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر) دارای دو نوع انعکاس متفاوت می باشد که محققان را قادر به شناسایی این پدیده از پوشش های اطراف می نماید، شکل (۲). در بخش مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس، ابر و برف هر دو دارای انعکاس مشابهی هستند ولی در بخش مادون قرمز میانی به ویژه در محدوده ۱/۷۵-۱/۵۵ میکرومتر ابرها انعکاس بالایی را نشان می دهند در حالی که انعکاس برف در این محدوده به شدت کاهش می یابد. در این باند ابرها انعکاس بالایی دارند و در تصاویر سفید دیده می شوند در حالی که برف انعکاس کمتری دارد و تیره دیده می شود.

امروزه در روند مدیریت کارآمد منابع آبی، به کارگیری داده های سنجش از دور با هدف کسب اطلاعات دقیق از پوشش برف به صورت عملیاتی اجرا می گردد. با عنایت به پیشرفت های موجود در چند دهه گذشته توسط کشورهای مختلف سنجنده های



ماهواره‌های متعدد و متنوعی طراحی و به فضا ارسال شده که یکی از مهمترین آن‌ها ماهواره Terra است. سنجنده Modis ماهواره مذکور با توجه به قابلیت های فنی و اپتیکی خود تصاویر متنوعی را در باندهای مختلف الکترومغناطیس عرضه می‌دارد



شکل ۲- بازتابش ابر و برف در طول موج‌های مختلف تصاویر Modis

(هال و همکاران ۲۰۰۲)، سنجنده Modis دارای ۳۶ باند است که ۱۱ باند آن در محدوده نور مرئی، ۹ باند در محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک، ۶ باند در مادون قرمز حرارتی، ۴ باند در محدوده مادون قرمز موج کوتاه و ۶ باند در محدوده مادون قرمز امواج بلند، تنظیم شده است، همچنین در فن‌آوری سنجنده Modis باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک نیز در محدوده طیف الکترومغناطیس قرار گرفته است. قدرت تفکیک باندهای سنجنده متفاوت بوده و بین ۲۵۰ متر تا ۱۰۰۰ متر در نوسان است.

### پیشینه پژوهش

(سینگر و همکاران ۱۹۶۳)، سطح پوشش برف در نخستین تصاویر از ماهواره هواشناسی tiros-1 در آوریل ۱۹۶۰ بدست آمد. (کارل و همکاران ۲۰۰۱)، با نصب سنجنده Modis در سال ۱۹۹۹ بر روی فضاپیماي Terra از داده های ماهواره ای Modis انقلابی را در زمینه دقت مکانی و زمانی تولید نقشه های پوشش برف به وجود آورده است. هال و همکاران (۲۰۰۲)، نقشه های برف Modis کل زمین را به صورت روزانه پوشش داده و با دقت مکانی ۵۰۰ متر ارائه می‌شوند. الگوریتم های استفاده شده در تولید این نقشه‌ها از طیف‌های انعکاس یافته در باندهای ۴ و ۶ برای تولید شاخص نرمال شده برف (NDSI) استفاده می‌کنند. (کلاین و همکاران ۲۰۰۱)، نقشه‌های برف حاصل از Modis را با نقشه‌های تهیه شده توسط مرکز سنجش از دور هیدرولوژیکی ملی امریک با نام اختصاری NOHRSC، در بالادست آبیگر ریوگراند مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که هر دو این نقشه‌ها از شرایط ابری متاثر شده و خطای اصلی در هر دوی آن‌ها وجود ابر می‌باشد. نگلر و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اپتیکال Modis و تصاویر رادار Envisat ASAR (به منظور حذف خطاهای ایجاد شده در دوره‌های ابری طولانی)، رواناب حاصل از ذوب برف در حوضه Otztal در استرالیا را پیش‌بینی کردند. (قائمی و مرید ۱۳۷۳)، در مطالعه برف حوضه دماوند با استفاده از عوامل هواشناسی نظیر بارندگی و درجه حرارت و بدون آمار مستقیم برف سنجی، مقدار ریزش برف سالانه، ذوب برف و نهایتاً خط پیشروی و پسروی برف را در سال های مختلف مطالعه نمودند. (حجام و شرعی پور ۱۳۸۲)، ذوب برف را در حوضه آبریز طالقان مورد بررسی قرار داده و ضریب برفی را برای تمام ماه های سال و برای حوضه محاسبه نمودند. به کمک معادلات گرادیان دما و بارش توانستند ذخیره برفی حوضه را برآورد نمایند. (پرهمت و ثقفیان ۱۳۸۶)، ابراز داشتند که در مناطق برفگیر حوزه کارون واقع در زاگرس ایران، مساحت پوشش برفی در تصاویر ماهواره ای نوآ و لندست در دو تاریخ متفاوت، یکی در اوایل فصل ذوب و دیگری در اواخر آن، به ترتیب ۱۵ و ۱۷ درصد با

هم اختلاف دارند. (عابدینی و همکارانش ۱۳۸۶)، نیز به منظور شناسایی سطوح برفگیر در ارتفاعات البرز مرکزی از داده های ماهواره ای AVHRR و MODIS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده نمودند.

(مزیدی ۱۳۸۹)، با استفاده از معادلات رگرسیون دما، بارش و ضریب برفی، ذخیره برف در طی سال در حوضه آبریز فخرآباد که از زیر حوضه های دشت یزد- اردکان است را محاسبه نمودند. وی با استفاده از آمار بارندگی ماهانه، بارش برف ماهانه، دمای ماهانه (حداکثر، حداقل و متوسط)، خط پیشروی و پسروی برف در ماه های مختلف سال و پتانسیل سطوح تحت ریزش آن را مشخص کرده بعلاوه متوسط خط ذوب و ریزش برف را هم به صورت ماهانه محاسبه کرد.

(قنبرپور ۱۳۸۴)، در حوضه های کوهستانی بخش عمده ای از بارندگی به صورت برف نازل می شود و جریان حاصل از ذوب برف قسمت اعظم رواناب در فصول بهار و تابستان را تشکیل می دهد. رواناب حاصل از ذوب برف در تامین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی و تغذیه سفره های زیرزمینی مؤثر بوده و در برخی موارد منشاء بروز سیلاب های مخرب می باشد.

(نجف زاده ۱۳۸۳)، برف یکی از مؤلفه های اصلی سیکل هیدرولوژی در بسیاری از حوضه های آبریز کوهستانی دنیا است. در این قبیل حوضه ها، رواناب برف بخش اصلی جریان رودخانه ها به شمار می رود. پیش بینی رواناب برف به برنامه ریزی و مدیریت مؤثرتر و کارآتر منابع آب از جمله مدیریت مخزن و هشدار سیل کمک می کند. (رایگانی و همکاران ۱۳۸۷)، مطالعه ای که در آنگیر ریوگران روی پوشش برف Modis در طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ انجام گرفته، می توان به طور کلی متوسط دقت نقشه پوشش برفی Modis در شرایط غیر ابری را ۸۸ درصد در نظر گرفت.

(کمالی و همکاران ۱۳۹۰)، در مطالعه ای به ارزیابی سطح پوشش برفی و رابطه آن با ارتفاع در استان خراسان شمالی با استفاده از محصول Mod10a2 سنجنده Modis از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ پرداختند. بازه زمانی دوره برفی منطقه از آبان تا اردیبهشت تعیین شد و برای هر سال ۲۴ و در مجموع ۲۱۶ تصویر مورد پردازش قرار گرفت. با توجه به زیاد بودن حجم تصاویر ماهواره ای از کدنویسی در نرم افزار مطلب استفاده شد و سطح پوشش برف با توجه به نقشه توپوگرافی و مرز شهرستان های استان و داده های ماهواره بر حسب پیکسل برفی به تفکیک هفت کلاس ارتفاعی برای استان خراسان شمالی در این نرم افزار محاسبه گردید. رابطه سطح پوشش برف متوسط (SAE) هر سال و ارتفاع بدست آمد. سپس رابطه سطح پوشش برف متوسط ۹ ساله و ارتفاع محاسبه شد. رابطه  $Y=150.78X+347.64$  که بیانگر ارتباط مستقیم سطح پوشش برف و ارتفاع می باشد بدست آمد که با ضریب همبستگی ۰/۹۷ و حداقل در سطح ۰/۰۱ معنی دار می باشد.

(تاجداری و همکاران ۱۳۹۲)، به مکانیابی مناطق برف گیر با ماندگاری طولانی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در حوضه آبریز ناورود استان گیلان پرداختند و با استفاده از تصاویر اپتیکال سنجنده MODIS و تصاویر راداری سنجنده AMSR-E بهترین مناطق برف گیر با ماندگاری طولانی در این حوضه آبریز را شناسایی نمودند.

(وظیفه دوست و همکاران ۱۳۹۱)، در مطالعه ای عنوان نمودند پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده درحوضه های کوهستانی می باشد و لذا پایش مکانی و زمانی سطح پوشیده شده از برف و عمق آب معادل برف از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است از آنجایی که بخش اعظمی از بارش ها درحوضه های کوهستانی استان گیلان بصورت برف می باشد و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی در ایجاد رواناب های سطحی تغذیه آب های زیرزمینی و نهایتا ایجاد سیل دارد لذا در مطالعه خود با استفاده از سطح پوشش برف و دمای سطح برف حاصل از داده های ماهواره ای مودیس به ارتباط دما و برف برای یک دوره ۱۰ساله درحوضه های استان گیلان پرداختند.

### روش پژوهش

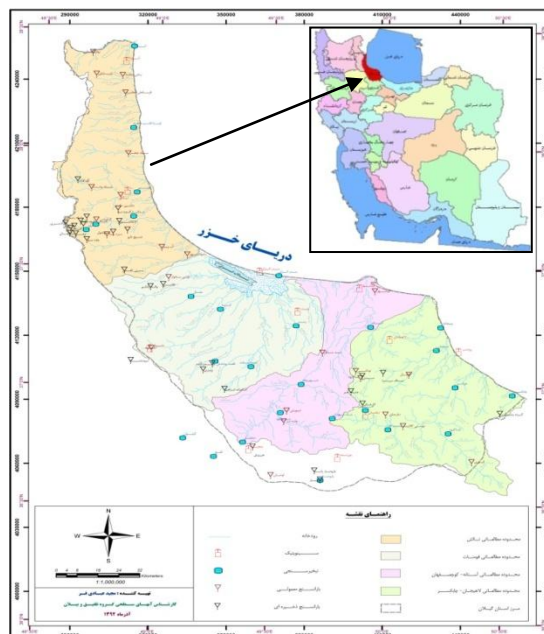
موقعیت جغرافیایی محدوده تحقیق:

استان گیلان با وسعتی برابر ۱۴۰۴۳ کیلومتر مربع از استان های شمالی کشور است که از نظر تقسیم بندی حوضه های آبریز اصلی کشور در حوضه آبریز سفید رود بزرگ، تالش و تالاب انزلی و لاهیجان- نور قرار گرفته است. شرکت مدیریت منابع آب ایران حوضه های آبریز اصلی کشور را با توجه به شرایط هیدرو لوژیکی منطقه به محدوده های مطالعاتی تقسیم کرده است. چهار محدوده مطالعاتی تالش، فومنات، آستانه- کوچصفهان و لاهیجان- چابکسر با وسعت کلی ۱۳۱۶۲ کیلومتر مربع قسمت اعظم پهنه استان گیلان را در بر می گیرد.

نسبت مساحت محدوده های مطالعاتی چهار گانه مورد اشاره (۱۳۱۶۲ کیلومتر مربع) به مساحت استان گیلان (۱۴۰۴۳ کیلومتر مربع)، حدود ۹۴ درصد می باشد. استان گیلان از سه بخش ساحلی، جلگه ای و کوهپایه ای تشکیل گردیده و بخش وسیع آن (حدود ۷۰ درصد) کوهستانی است. پهنای جلگه ای ساحلی در استان کم بوده و در بیشتر نقاط بلافاصله پس از خط ساحلی ارتفاع زمین افزایش می یابد. موقعیت جغرافیایی و مشخصات توپوگرافی مناطق مطالعاتی استان گیلان در جدول شماره (۱) و در شکل شماره (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- مساحت و ارتفاع استان گیلان و چهار محدوده مطالعاتی

نام ناحیه	مساحت (کیلومتر مربع)	ارتفاع محدوده (متر)		
		بیشترین	کمترین	متوسط
محدوده مطالعاتی تالش	۳۲۰۷	۳۲۱۴	-۲۶	۱۰۴۳
محدوده مطالعاتی فومنات	۳۸۲۸/۸	۳۱۵۰	-۲۶	۵۴۹
محدوده مطالعاتی آستانه - کوچصفهان	۲۵۸۱/۵	۲۷۰۳	-۲۶	۵۸۴۴۵
محدوده مطالعاتی لاهیجان - چابکسر	۳۵۴۵/۲	۳۹۴۵	-۲۶	۱۰۷۷/۷
استان گیلان	۱۴۰۴۳/۴	۳۹۴۵	-۲۶	۸۱۸/۷



شکل ۳- نقشه موقعیت شهرستان ها و استان گیلان در ایران



منشأ بارش های استان گیلان:

منشاء مهم بارش های استان گیلان به سیستم جغرافیایی- اقلیمی «همجواری دریا و کوهستان» مربوط می شود که از مکانیسم خاصی تبعیت می کند. در واقع توده هواهایی که سطح دریای خزر را می پیمایند، در حین عبور، از بخار آب دریا تغذیه نموده و پس از برخورد با ارتفاعات البرز و صعود اوروگرافیک هوا، بارندگی های وسیعی را در دامنه های پرشیب آن، ایجاد می نمایند. در این فرایند میزان جذب رطوبت از آب دریا به دو عامل مدت استقرار و یا طول مسیر پیمایش توده هوا بر روی دریا و اختلاف دمای توده هوا و آب دریا بستگی دارد.

حداکثر بارندگی ماهانه در شهرها و مناطق ساحلی و یا مجاور به ساحل استان گیلان، نظیر بندر انزلی، رشت، لاهیجان، آستارا، پسیخان، پیلمبرا و ...، بر ماه های پاییز منطبق است، اما در نقاط دور از تأثیر رژیم اقلیم خزری، نظیر رودبار و منجیل، رژیم بارندگی دیگری حاکم بوده و حداکثر بارندگی ماهانه، در فصل زمستان رخ می دهد.

هسته ی بیشینه ی بارش استان گیلان با بیش از ۲۴۰۰ میلی متر در سال، در ارتفاعات قلعه رودخان (آبادی ویزی) و هسته ی بیشینه ی بارش سواحل دریای خزر، با حدود ۱۸۰۰ میلی متر در سال در بندر انزلی قرار دارد.<sup>۳</sup>

ماه آبان و فصل پاییز، بیشترین و ماه خرداد و فصل بهار، کمترین بارندگی های ماهانه و فصلی استان را به خود اختصاص می دهند. عامل بارش های شدید پاییزه در این استان، عبور توده هوای پرفشار و سرد سیبری از روی دریای خزر است که در حین عبور از روی دریا، مرطوب و ناپایدار شده و بارندگی های شدیدی را به خصوص در سواحل جنوب غربی این دریا پدید می آورد. نفوذ توده هوای پرفشار شمال اروپا به منطقه و الحاق آن با توده هوای سیبری، به وزش باد شدید و بارندگی های فراوان در سواحل خزر و بارش برف در فصل زمستان منجر می گردد. بارش های سنگین برف که در سال های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۶ رخ داد باعث بروز خسارت های فراوان به اماکن شهری و روستایی، تأسیسات زیربنایی، مراکز صنعتی و کشاورزی و ... گردید. شبکه ی ایستگاههای هواشناسی و منابع آماری مورد استفاده:

جهت افزایش دقت و ارتقاء کیفیت گزارش، ابتدا سعی گردید، علاوه بر ایستگاه های وابسته به وزارت نیرو (تحت مطالعه ی شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان)، که شامل ایستگاه های تبخیرسنجی می باشد، کلیه ی ایستگاه های متعلق به سازمان هواشناسی کشور، شامل ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی نیز به کار گرفته شود، لیکن عواملی از قبیل عدم دسترسی به آمار کامل برخی از این ایستگاه ها (ایستگاه های کلیماتولوژی)، عدم برخورداری داده ها از دقت کافی و هم چنین مجاورت برخی از ایستگاه ها با ایستگاه های وزارت نیرو، سبب گردید تا علاوه بر ایستگاه های تبخیرسنجی آب منطقه ای گیلان، از ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی استان های اردبیل، قزوین و ایستگاه تبخیرسنجی کلاکلا به (رازمیان) متعلق به آب منطقه ای قزوین نیز استفاده گردد.

انتخاب دوره ی آماری مشترک داده های ایستگاه های هواشناسی:

با توجه به تعداد فراوان ایستگاه های هواشناسی و نیز اختلاف طول دوره ی آماری آن ها، سعی گردیده است، دوره ی پایه ی مشترک به نحوی انتخاب گردد که اولاً، نیاز کمتری به فرایند بازسازی داده ها باشد، ثانیاً، دوره های خشک سالی و ترسالی را در برگیرد و ثالثاً، با دوره آماری تصاویر ماهواره ای مطابقت داشته باشد. با در نظر گرفتن شرایط برشمرده، در این مطالعه دوره ی آماری شاخص ۱۳ ساله (از سال آبی ۸۰-۷۹ لغایت ۹۲-۹۱) انتخاب گردیده است.

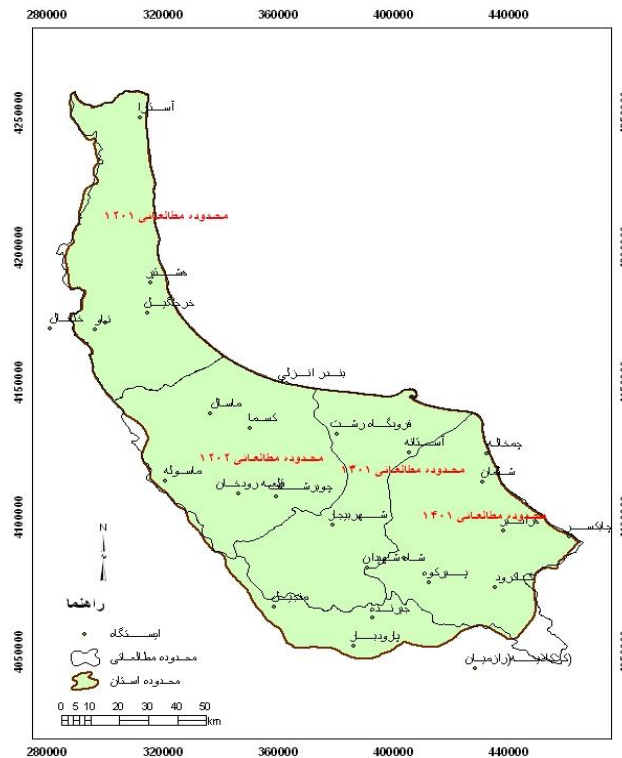
شروع به کار ماهواره terra که داده های تصاویر ماهواره ای پوشش برف سنجنده modis را تولید می کند از سال ۲۰۰۰ میلادی می باشد که متناظر سال ۱۳۷۹ شمسی است، لذا سعی گردید با یکسان سازی دوره های آماری این تصاویر با داده های هواشناسی زمینی، یک دوره ۱۳ ساله را مورد استفاده قرار داد. این دوره از سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ آغاز و تا سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ ادامه می یابد و ماههای انتخاب شده نیز ماههایی است که در آن ریزش برف در سطح استان وجود دارد. این ماهها عبارتند از آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین که ۶ ماه از سال را در برمیگیرند.

۳- دفتر مطالعات پایه شرکت آب منطقه ای گیلان

انتخاب ماههای یاد شده براساس بررسی تصاویر ماهواره ای سطح پوشش برف در این سال ها و داده های ریزش برف در ایستگاههای هواشناسی است، درجدول شماره (۲) و شکل شماره (۴) مشخصات ایستگاههای هواشناسی مورد استفاده و موقعیت آنها نشان داده شده است.

جدول ۲- ایستگاههای هواشناسی وزارت نیرو و سینوپتیک سازمان هواشناسی

شماره	UTMX	UTMY	ارتفاع	ایستگاه	طول	عرض	استان	نوع
۱	۴۰۵۴۶۸	۴۱۲۳۶۹۳	-۵	آستانه	۴۹-۵۶-۰۴	۳۷-۱۵-۱۹	گیلان	تبخیرسنجی
۲	۳۵۰۰۱۱	۴۱۳۲۸۲۵	-۲	کسما	۴۹-۱۸-۲۵	۳۷-۱۹-۴۸	گیلان	تبخیرسنجی
۳	۲۹۹۹۸۴	۴۱۷۲۰۶۶	۷۸۰	خلیان	۴۸-۴۳-۵۶	۳۷-۴۰-۲۷	گیلان	تبخیرسنجی
۴	۳۱۴۵۴۱	۴۱۷۵۸۳۴	۱۳۰	خرجگیل	۴۸-۵۳-۴۵	۳۷-۴۲-۴۰	گیلان	تبخیرسنجی
۵	۲۹۶۳۰۲	۴۱۶۹۴۹۱	۱۰۰۰	ناو	۴۸-۴۱-۲۷	۳۷-۳۹-۰۱	گیلان	تبخیرسنجی
۶	۳۴۶۰۲۰	۴۱۰۸۴۸۰	۱۷۰	قلعه رودخان	۴۹-۱۶-۰۱	۳۷-۰۶-۲۴	گیلان	تبخیرسنجی
۷	۳۳۶۵۵۷	۴۱۳۸۲۹۴	۳۶	ماسال	۴۹-۰۹-۱۵	۳۷-۲۲-۳۶	گیلان	تبخیرسنجی
۸	۳۱۵۸۵۲	۴۱۸۷۱۲۹	۹۹	هشتپر	۴۸-۵۴-۲۹	۳۷-۴۸-۴۸	گیلان	تبخیرسنجی
۹	۳۸۶۰۶۱	۴۰۵۲۰۲۳	۴۹۵	پارودبار	۴۹-۴۳-۳۴	۳۶-۳۶-۲۶	گیلان	تبخیرسنجی
۱۰	۴۶۰۸۴۰	۴۰۹۲۷۴۴	-۱۵	چابکسر	۵۰-۳۳-۵۱	۳۶-۵۸-۵۱	گیلان	تبخیرسنجی
۱۱	۴۰۳۵۱۶	۴۰۸۴۷۷۰	۱۸۲۰	اسپیلی دیلمان	۴۹-۵۵-۰۱	۳۶-۵۴-۱۶	گیلان	تبخیرسنجی
۱۲	۳۵۹۴۲۳	۴۱۰۷۳۵۹	۴۰	چویرشت	۴۹-۲۵-۰۶	۳۷-۰۶-۰۶	گیلان	تبخیرسنجی
۱۳	۳۷۹۰۰۵	۴۰۹۶۸۴۶	۱۴۰	شهربیجار	۴۹-۳۸-۲۳	۳۷-۰۰-۳۵	گیلان	تبخیرسنجی
۱۴	۴۳۷۹۸۲	۴۰۹۴۸۷۸	۸۰	هراتبر	۵۰-۱۸-۱۱	۳۶-۵۹-۵۱	گیلان	تبخیرسنجی
۱۵	۴۳۵۲۴۱	۴۰۷۳۸۱۹	۱۲۸۰	کاکرود	۵۰-۱۶-۲۷	۳۶-۴۸-۳۰	گیلان	تبخیرسنجی
۱۶	۴۱۲۱۵۵	۴۰۷۵۶۹۰	۱۴۰۰	پیرکوه	۵۰-۰۰-۵۳	۳۶-۴۹-۲۴	گیلان	تبخیرسنجی
۱۷	۴۳۰۷۴۳	۴۱۱۲۷۹۶	-۱۶	شلمان	۵۰-۱۳-۱۲	۳۷-۰۹-۳۴	گیلان	تبخیرسنجی
۱۸	۳۹۰۷۲۵	۴۰۸۰۹۳۱	۱۷۸۰	شاه شهیدان	۴۹-۴۶-۲۸	۳۶-۵۲-۰۶	گیلان	تبخیرسنجی
۱۹	۴۳۲۴۲۸	۴۱۲۳۵۴۴	-۲۴	چمخاله	۵۰-۱۴-۱۷	۳۷-۱۵-۲۰	گیلان	تبخیرسنجی
۲۰	۴۲۸۲۸۶	۴۰۴۳۴۰۳	۱۲۸۵	کلاکلايه(رازمیان)	۵۰-۱۲	۳۶-۳۲	قزوین	تبخیرسنجی
۲۱	۳۸۰۳۷۸	۴۱۳۰۷۸۳	-۹	فرودگاه رشت	۴۹-۳۹	۳۷-۱۹	گیلان	سینوپتیک
۲۲	۳۶۲۸۲۲	۴۱۴۹۶۲۱	-۲۴	بندر انزلی	۴۹-۲۷	۳۷-۲۹	گیلان	سینوپتیک
۲۳	۳۵۸۵۶۵	۴۰۶۶۴۲۳	۳۳۸	منجیل	۴۹-۲۵	۳۶-۴۴	گیلان	سینوپتیک
۲۴	۳۱۲۱۶۸	۴۲۴۸۶۱۳	-۲۱	آستارا	۴۸-۵۱	۳۸-۲۲	گیلان	سینوپتیک
۲۵	۳۹۲۸۰۸	۴۰۶۲۲۶۴	۱۵۸۱	جیرنده	۴۹-۴۸	۳۶-۴۲	گیلان	سینوپتیک
۲۶	۳۲۰۸۷۸	۴۱۱۳۴۱۷	۱۰۸۱	ماسوله	۴۸-۵۹	۳۷-۰۹	گیلان	سینوپتیک
۲۷	۲۸۰۹۲۰	۴۱۶۹۸۸۴	۱۷۹۶	خلخال	۴۸-۳۱	۳۷-۳۹	اردبیل	سینوپتیک
۲۸	۲۶۲۲۷۵	۴۲۳۷۰۴۴	۱۳۳۲	اردبیل	۴۸-۱۷	۳۸-۱۵	اردبیل	سینوپتیک



شکل ۴- موقعیت ایستگاههای هواشناسی مورد استفاده در تحقیق

بازسازی و تکمیل آمار ایستگاههای هواشناسی:

با استفاده از برقراری روابط همبستگی خطی بین داده‌های ایستگاه‌های منتخب در سال‌هایی که در بعضی از ایستگاهها نواقصی موجود بود داده‌های مربوطه در سال آبی مورد نظر و در ماههای آبان تا فروردین، تکمیل گردید. ایستگاههایی که حداکثر بین یک تا دو سال مورد بازسازی قرار گرفته اند عبارتند از: چمخاله، هراتبر، ماسوله، جیرنده و چوبر شفت است که با ایستگاههای مجاور و شاخص تطویل آماری گردیدند.

تولیدات سطح پوشش برف توسط سنجنده modis:

تولیدات داده های پوشش برف مودیس که توسط الگوریتم SNOWMAP تولید می شود شامل تولیدات پوشش اولیه برف (MOD10-L2) تا تولیدات شبکه روزانه و ۸ روزه سطح پوشش برف با مقیاس جهانی MOD10A1 و MOD10A2 می باشند. مشخصات کامل این تولیدات توسط (هیل و همکاران ۲۰۰۲) و (ریگس و همکاران ۲۰۰۳) توضیح داده شده است و ما بصورت کاملاً مختصر به شرح این تولیدات می پردازیم و تمرکز بیشتر بر روی تولیدات روزانه و ۸ روزه سطح پوشش برف از سنجنده مودیس می باشد. لازم به ذکر است که تولیدات ۸ روزه مودیس، حداکثر سطح پوشش برف را در طول یک دوره ۸ روزه نشان می دهند.

MOD10A2 یک داده ۸ روزه از پوشش برف می باشند که با استفاده از داده های ۲ تا ۸ روزه از MOD10A1 ساخته می شود، دوره های ۸ روزه از نخستین روز سال آغاز و به صورت پیوسته ادامه می یابد و بسته به این که سال معمولی و یا کبیسه است در سالهای معمولی ۲ روز و سالهای کبیسه ۳ روز به سال بعد منتقل می شود.

زمانی که به هر دلیلی از جمله از دست رفتن داده در ماهواره و یا هر دلیل دیگری داده های کمتر از ۸ روز که منطبق با یک دوره ۸ روزه باشد وجود ندارد، داده های کمتر از ۸ روز (۲ تا ۷ روز) برای تعیین پوشش سطح برف استفاده می شود اما اگر تنها در

یک دوره ۸ روزه تنها داده یک روز قابل دسترس باشد، داده های ۸ روزه سطح برف تولید نمی شود. دوره ۸ روزه به این علت انتخاب گردیده است که دقیقاً برابر با الگوی چرخش ماهواره های AQUA و TERRA می باشند.

برای تولید داده های ۸ روزه ی برف از مودیس، هدف الگوریتم به حد اکثر رساندن مقدار پیکسل های حاوی برف و به حداقل رساندن مقدار پیکسل های ابری می باشند. یک سلول زمانی که در طی ۸ روز پوشیده از ابر باشد به عنوان سلول ابری لحاظ می شود، اگر برف در هریک از ۸ روز دیده شود، آن سلول در مجموعه ی داده ی حداکثر گستره ی برف<sup>۴</sup> به عنوان برف لحاظ می شود، اگر هیچ برفی برای پیکسل دیده نشود یک عدد صحیح منطبق با نوع آن سطح با آن پیکسل داده می شود. در جدول شماره (۳) اعداد صحیح کد گذاری شده و معنی آن ها در تولیدات سطح پوشش برف ارائه گردیده است.

جدول ۳- اعداد صحیح کد گذاری شده و معنی آن ها در تولیدات سطح پوشش برف

عدد صحیح	معنی یا نوع سطح
۰	داده های گم شده
۱	تصمیم گیری نشده
۴	داده های غلط
۱۱	شب و یا تاریکی
۲۵	اراضی (بدون برف)
۳۷	آب، دریاچه
۳۹	اقیانوس
۵۰	ابر تیره
۱۰۰	یخ و یا دریاچه ی یخی پوشیده شده با برف
۲۰۰	برف
۲۵۴	سنجنده ی شده
۲۵۵	بدون داده

پیش پردازش تصاویر ماهواره ای:

سنجنده Modis در سال ۲۰۰۰ بر روی ماهواره Terra قرار گرفت. سنجنده Modis قابلیت تصویربرداری روزانه در ۲ باند قابل رویت با دقت مکانی ۲۵۰ متر، ۵ باند مادون قرمز با دقت مکانی ۵۰۰ متر و ۲۹ باند حرارتی با دقت مکانی ۱۰۰۰ متر را دارا می باشد. داده های ماهواره ای Modis در باندهای مرئی و مادون قرمز به منظور تعیین گستره پوشش برف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ به صورت ۸ روزه جمع آوری گردید. اطلاعات فوق به فرمت HDF و از طریق FTP ارائه می گردد.

الگوریتم مورد استفاده در استخراج سطوح پوشیده شده از برف:

الگوریتم نقشه برف<sup>۵</sup> کلین (۱۹۹۸) و هال و همکاران (۱۹۹۵)، 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 داده های روزانه و ۸ روزه برف و با مقیاس جهانی تولید می شود. در این الگوریتم برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف از شاخص سطح برف<sup>۶</sup> (NDSI) کمک گرفته می شود. به دلیل انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می تواند در تشخیص پوشش برف از سایر پدیده ها بسیار مفید باشد. شاخص NDSI با داده های MODIS با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود:

$$NDSI = \frac{(band4 - band6)}{(band4 + band6)} \quad \text{فرمول شماره (۱):}$$

4- Maximum Snow Extent

5- SNOWMAP

6-Normal Difference Snow Index

استخراج داده های سطح پوشش برف:

به منظور استخراج سطح پوشش برف استان گیلان، ابتدا داده های ماهواره ای ۸ روزه سطح برف MOD10A2 به فرمت HDF از سایت WIST دریافت گردید، این تصاویر مربوط به شیت H21V05 و H22V05 از سایت WIST می باشد. انتخاب این دو شیت به این جهت می باشد که تمامی سطح استان را در بر می گیرد. سپس در محیط نرم افزار Erdas Imagine عملیات Import تصاویر و تبدیل آن به فرمت image انجام گردید و سپس mosaic کردن این دو تصویر نیز انجام و در ادامه پس از عملیات زمین مرجع نمودن در انتها محدوده استان از تصاویر برش داده می شود. پس از مراحل فوق با استفاده از الحاقیه Modeler در نرم افزار Erdas Imagine با روی هم گذاری تصاویر، در ماه های آبان تا فروردین مربوط به هر سال از دوره آماری ۱۳ ساله (سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ لغایت ۹۲-۱۳۹۱)، سطوح پوشش برف واقعی برای هر یک از این ۶ ماه در طول این دوره آماری مشخص می گردند. تصاویر پوشش برف حاصل شده در هر یک از ماه های دوره آماری جهت تلفیق با داده های دمای ماهانه (متوسط حداکثرها، متوسط حداقل ها و میانگین دما) از ایستگاههای آب و هواشناسی به محیط GIS منتقل می شود و در پایان نیز با روی هم اندازی لایه های رستری تولید شده سطح پوشش برف ۱۳ ساله با لایه رستری خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه در نرم افزار ArcMap، نقشه های واقعی پوشش برف و پتانسیل ارتفاعی دمای صفر درجه بدست می آیند.

### تجزیه و تحلیل داده ها

بررسی و تحلیل دما:

دما شاخصی است از شدت گرما و مقدار آن در یک نقطه به عوامل زیادی بستگی دارد که از آن جمله می توان به عرض جغرافیائی، پستی و بلندی، تاثیر خشکی ها و دریاها، پوشش گیاهی و مناطق مسکونی و شهرها اشاره نمود. تحولات هیدرولوژیکی مانند ذوب برف و تحولات بیولوژیکی مانند رشد گیاهان در هر منطقه تابعی از مقدار گرمائی است که در آن منطقه وجود دارد. بنابراین لازم است که وضعیت دمای منطقه بطور دقیقتری مورد بررسی قرار بگیرد. جهت بررسی نحوه تغییرات دمای منطقه، ابتدا اطلاعات پارامترهای دمای تمامی ایستگاه های اقلیم شناسی استان جمع آوری و مرتب گردیده است. در مرحله بعد این اطلاعات مورد بررسی های عینی و مقایسه ای قرار گرفته و ارقام مشکوک و غیر قابل قبول که عمدتاً ناشی از اشتباهات تایپی و نگارشی بوده اند از دور محاسبات حذف گردیده اند.

با توجه به اینکه بعضی از ایستگاههای منطقه متناوباً در طول سالهای مختلف تعطیل گردیده و بعضی از آنها در سالهای اخیر تاسیس گردیده و در صورت انتخاب یک دوره آماری مشترک نسبتاً طولانی مجبور به حذف تعداد زیادی از ایستگاهها خواهیم بود و با توجه به اینکه تغییرات پارامترهایی مثل دما، روزهای یخبندان، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و تبخیر معمولاً از نظم متعارفی تبعیت نموده و بجز موارد استثنا دارای تغییرات زیادی نمی باشند بنابراین در بررسی این پارامترها تمامی اطلاعات موجود ایستگاه هائی که حدود سیزده سال آمار صحیح و قابل قبول داشته اند در انجام محاسبات مورد استفاده قرار گرفته اند.

اندازه گیری دما معمولاً در ایستگاههای سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی و ایستگاههای تبخیر سنجی وزارت نیرو انجام می شود. این ایستگاهها حداقل سه بار در شبانه روز در ساعات ۳۰ / ۶ صبح، ۳۰ / ۱۲ ظهر و ۳۰ / ۱۸ عصر مقدار دما را اندازه گیری می نمایند. بررسی وضعیت دمای این منطقه با استفاده از اطلاعات ۸ ایستگاه سینوپتیک (متعلق به سازمان هواشناسی گیلان و اردبیل) و ۲۰ ایستگاه تبخیرسنجی (۱۹ ایستگاه متعلق به آب منطقه ای گیلان و ۱ ایستگاه متعلق به آب منطقه ای قزوین) انجام شده است.

در بررسی دمای یک منطقه معمولاً پنج پارامتر (حداکثر مطلق، معدل حداکثر، معدل ماهانه، معدل حداقل و حداقل مطلق) مورد توجه قرار می گیرد. پس از آماده سازی داده ها، در هر ایستگاه متوسط دمای حداکثر ماهانه، حداقل ماهانه و میانگین دما در ماههای آبان لغایت فروردین دوره آماری ۱۳ ساله محاسبه می گردد.



تبدیل داده های ایستگاههای هواشناسی به رستر:

جهت تلفیق داده های رستری تصاویر پوشش برف با داده های ایستگاههای هواشناسی، نیاز به یکسان سازی فرمت این داده ها می باشد. برای این کار داده های هواشناسی دما را به تفکیک حداکثر ماهانه، حداقل ماهانه و میانگین دما در هر یک از ایستگاه ها تعیین و پس از رسم نمودارهای گرادیان دمای حداکثر، حداقل و متوسط در هریک از ۶ ماه، معادلات بدست آمده را به محیط GIS منتقل می کنیم.

در محیط GIS با استفاده از تصویر DEM<sup>۱</sup> سطح استان و معادله گرادیان دمای بدست آمده در هر ماه و با استفاده از دستور Raster Calculator در الحاقیه Spatial Analyst، فایل های خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقل ها، متوسط حداکثرها و متوسط ماهانه را با فرمت رستر جداسازی می کنیم. در انتها با روی هم اندازی لایه های رستری تولید شده سطح پوشش برف ۱۳ ساله با لایه رستری خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه، نقشه های واقعی پوشش برف و پتانسیل ارتفاعی دمای صفر درجه بدست می آیند.

گرادیان تغییرات دما نسبت به ارتفاع:

بمنظور برآورد مقدار دما در مناطقی که فاقد آمار و اطلاعات می باشند بررسی شیب حرارتی ضروری می باشد. همانگونه که قبلاً نیز بیان شد یکی از عوامل مهم و موثر در مقدار دمای یک منطقه ارتفاع می باشد. بطور معمول با افزایش ارتفاع از میزان دما کاسته می شود. علاوه بر ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی نیز از عوامل موثر در تغییرات دما می باشند. میزان تغییرات دما برای ماههای مختلف و مناطق مختلف متفاوت است.

همانگونه که قبلاً نیز بیان شد جهت بررسی وضعیت تغییرات دما و ترسیم نقشه هم دما نیز تمامی ایستگاههای مورد اشاره بصورت یکپارچه و هماهنگ مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، بین ارقام متوسط ماهانه و سالانه دما و پارامتر ارتفاع ایستگاهها رابطه همبستگی بررسی گردیده است. همانگونه که قبلاً بیان شد، اطلاعات دمای ایستگاههای سازمان هواشناسی و وزارت نیرو هم تقویم نیستند، برای یکنواخت نمودن تقویم اطلاعات دمای ایستگاههای منطقه، ارقام دمای ایستگاههای سازمان هواشناسی از ماههای میلادی به ماههای شمسی تبدیل گردیده است. جهت تبدیل ارقام ماههای میلادی به ماههای شمسی دو سوم رقم هر ماه میلادی با یک سوم رقم ماه قبل جمع گردیده و برای ماه معادل ایرانی در نظر گرفته شده است. با استفاده از ارقام ابتدا روابط همبستگی بین دما و ارتفاع برای منطقه بررسی گردید. رابطه همبستگی بین متوسط دمای سالانه و ارتفاع بصورت جدول شماره (۴) می باشد:

در این رابطه (T) مقدار متوسط دمای سالانه به درجه سانتیگراد و (H) ارتفاع از سطح دریا به متر می باشد. ضرایب همبستگی بدست آمده با توجه به تعداد نمونه ها در حد بیش از یک درصد معنی دار است. در ادامه روابط همبستگی بین متوسط دمای ماهانه و فصلی ایستگاهها با ارتفاع نیز بررسی گردید.

نمودارهای گرادیان متوسط دمای حداقل ها:

برای به دست آوردن ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقل دماهای ماهانه که نشان دهنده حداقل ارتفاع خط ماندگاری برف روی زمین است، نمودارهای گرادیان دمای متوسط حداقل های هر یک از این ۶ ماه در طول دوره آماری ۱۳ ساله ترسیم گردید. معادلات به دست آمده که در جدول شماره (۴) آورده شده، نشان می دهند بیشترین ضریب همبستگی مربوط به آذر ماه با مقدار  $R^2 = 0/85$  و کمترین آن با مقدار  $R^2 = 0/76$  مربوط به فروردین ماه می باشد.

**جدول ۴- معادلات گرادیان متوسط دمای حداقل های ماهانه در طول دوره آماری**

ماه	معادلات	ضریب همبستگی
آبان	$H = -154.62 * t + 1756.2$	$R^{۲} = 0.78$
آذر	$H = -155.22 * t + 1064.4$	$R^{۲} = 0.85$
دی	$H = -150.05 * t + 690.04$	$R^{۲} = 0.82$
بهمن	$H = -182.53 * t + 753$	$R^{۲} = 0.84$
اسفند	$H = -208.88 * t + 1204.5$	$R^{۲} = 0.84$
فروردین	$H = -191.45 * t + 1875.3$	$R^{۲} = 0.76$

نمودارهای گرادیان متوسط دمای حداکثرها:

برای به دست آوردن ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداکثر دماهای ماهانه که نشان دهنده حداکثر ارتفاعی است که در صورت وجود پوشش برفی در حوضه، در بالای آن ذوبی صورت نمی گیرد. نمودارهای گرادیان دمای متوسط حداکثرهای هر یک از این ۶ ماه در طول دوره آماری ۱۳ ساله در اشکال (۴-۷) تا (۴-۱۲) ترسیم گردید. معادلات به دست آمده که در جدول شماره (۵) آورده شده اند، نشان می دهند بیشترین ضریب همبستگی مربوط به دی و اسفند ماه با مقدار  $R^{۲} = 0.78$  و کمترین آن با مقدار  $R^{۲} = 0.68$  مربوط به آذر و فروردین ماه می باشد.

**جدول ۵- معادلات گرادیان متوسط دمای حداکثرهای ماهانه در طول دوره آماری**

ماه	معادلات	ضریب همبستگی
آبان	$H = -198.64 * t + 2899.6$	$R^{۲} = 0.74$
آذر	$H = -175.89 * t + 2655.6$	$R^{۲} = 0.68$
دی	$H = -188.52 * t + 2376.9$	$R^{۲} = 0.78$
بهمن	$H = -209.96 * t + 2583.8$	$R^{۲} = 0.77$
اسفند	$H = -245.93 * t + 3397.1$	$R^{۲} = 0.78$
فروردین	$H = -211.87 * t + 4091.2$	$R^{۲} = 0.68$

نمودارهای گرادیان دمای متوسط ماهانه:

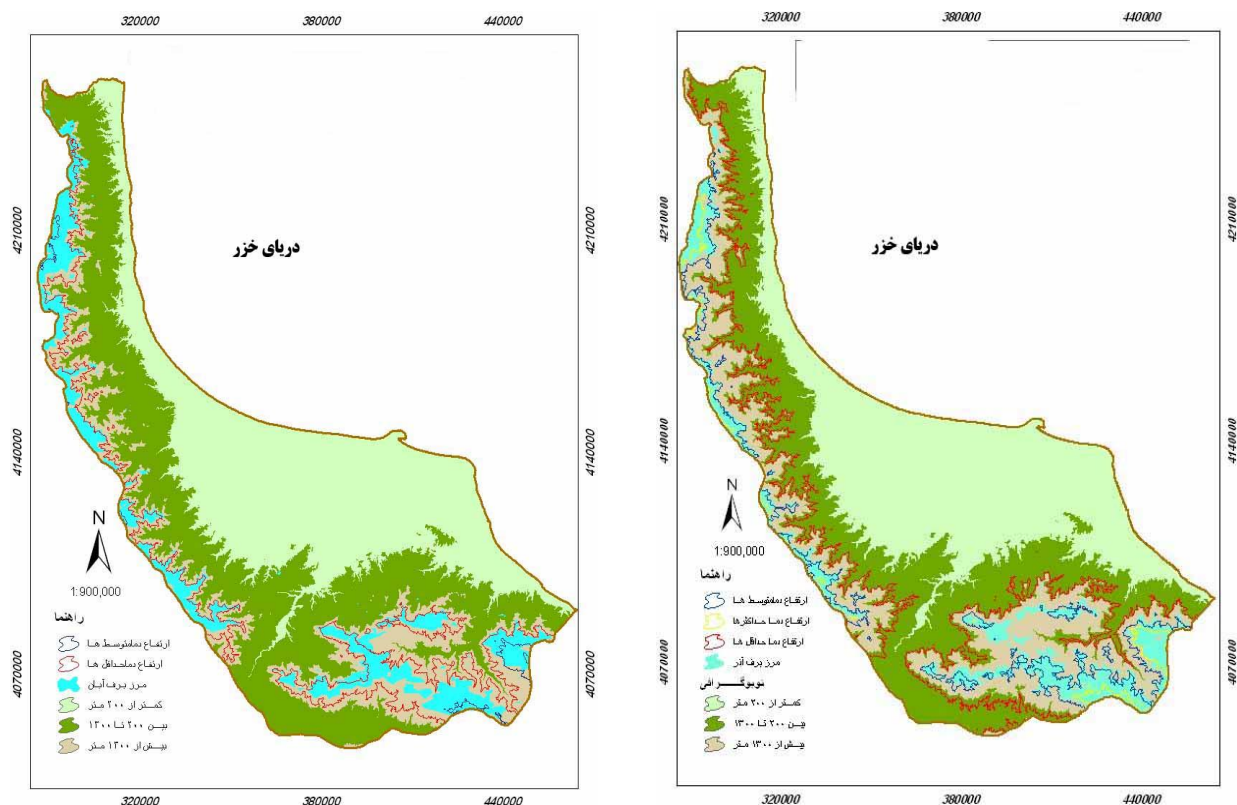
برای به دست آوردن ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط دماهای ماهانه که به عنوان متوسط ذوب و ریزش برف به کار می رود، نمودارهای گرادیان دمای متوسط هر یک از این ۶ ماه در طول دوره آماری ۱۳ ساله در اشکال (۴-۱۳) تا (۴-۱۸) ترسیم گردید. معادلات به دست آمده که در جدول شماره (۶) آورده شده اند، نشان می دهند بیشترین ضریب همبستگی مربوط به اسفند ماه با مقدار  $R^{۲} = 0.85$  و کمترین آن با مقدار  $R^{۲} = 0.69$  مربوط به فروردین ماه می باشد.

**جدول ۶- معادلات گرادیان متوسط دمای ماهانه در طول دوره آماری**

ماه	معادلات	ضریب همبستگی
آبان	$H = -187.18 * t + 2846.6$	$R^{۲} = 0.70$
آذر	$H = -191.4 * t + 2060.8$	$R^{۲} = 0.76$
دی	$H = -193.33 * t + 1645.1$	$R^{۲} = 0.77$
بهمن	$H = -224.72 * t + 1788.5$	$R^{۲} = 0.85$
اسفند	$H = -239.97 * t + 2395.5$	$R^{۲} = 0.80$
فروردین	$H = -212.92 * t + 3078.4$	$R^{۲} = 0.69$

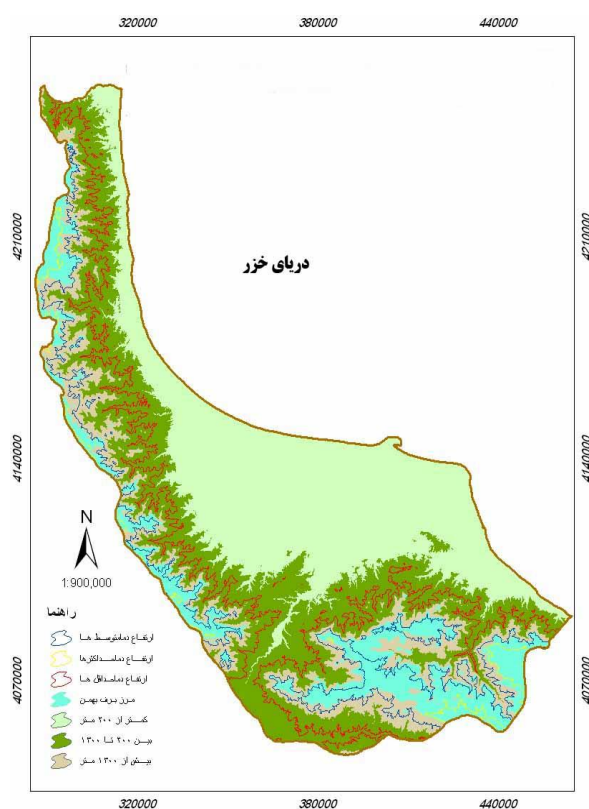
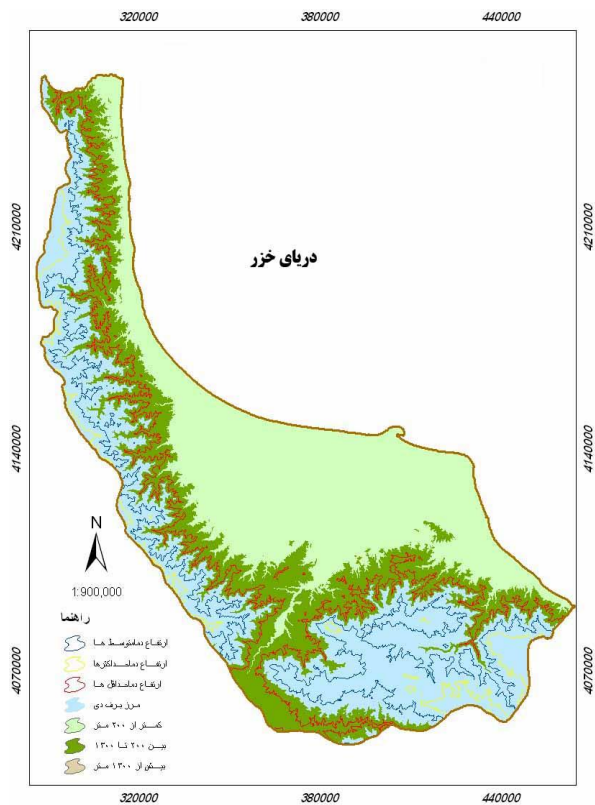
نقشه های تولید شده پوشش برف و خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه:

با توجه به رابطه منطقی و علمی کاهش دما با افزایش ارتفاع، از عامل جغرافیایی ارتفاع نقاط که به صورت لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) در اختیار می باشد و رابطه بین دما و ارتفاع برای ترسیم نقشه های همدمای استفاده شد. در عمل رابطه بین دمای حداقل، حداکثر و متوسط به صورت جداگانه محاسبه و سپس از این روابط در محیط Arc GIS برای تهیه لایه های همدمای ماهانه برای پارامترهای دمای حداکثر، حداقل و متوسط استفاده شد. با توجه به اینکه پارامترهای حداکثر مطلق و حداقل مطلق حدی هستند و از روابط قانونمند پیروی نمی کنند بنابراین تهیه نقشه های هم مقدار برای آنها از نظر علمی توجیه پذیر نمی باشد. نقشه های تولید شده در محیط GIS شامل خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداکثر دما، متوسط حداقل دما و میانگین دماهای ماهانه در کنار تصاویر ماهواره ای پردازش شده پوشش برف است که در یک دوره ۱۳ ساله در ماههای آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین این سال ها حاصل می گردد. این نقشه ها در اشکال شماره (۵) تا (۱۰) آورده شده اند. تطابق خوب خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه مربوط به متوسط ماهانه در ماههای آذر، دی بهمن و اسفند که در حقیقت به عنوان متوسط خط ذوب و ریزش برف به کار می رود، با خط برف مرز حاصل از تصاویر ماهواره ای پوشش برف، به نحو چشمگیری دیده می شود. در ماه آبان این تطابق بیشتر با خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه مربوط به متوسط دمای حداقل های ماهانه می باشد. در فروردین ماه این تطابق با هر سه خطوط کمتر دیده می شود و نتایج حاصل از گردایان دمای متوسط ماهانه و حداکثر ماهانه در این ماه، تراز ارتفاعی بالایی را نشان می دهند که فراتر از حداکثر ارتفاع استان می باشد، لذا بر روی نقشه خروجی این دو خط دیده نمی شوند.

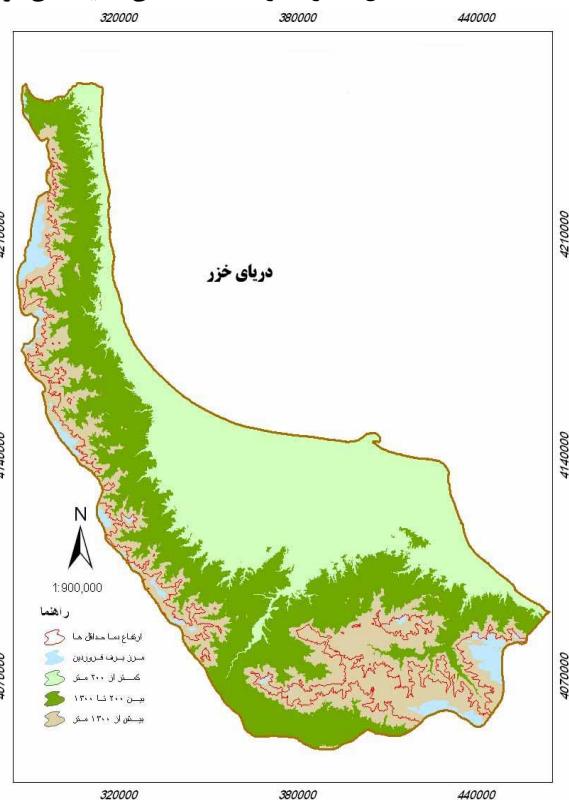
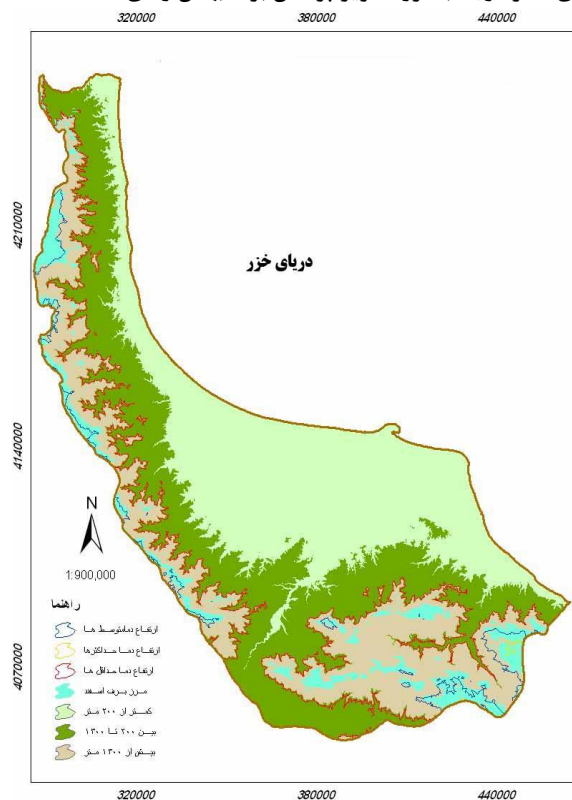


اشکال شماره ۵ و ۶- نقشه های مقایسه ای مرز برف دمای صفر درجه با مرز تصویر پوشش برف آذر و آبان ماه





اشکال شماره ۷ و ۸- نقشه های مقایسه ای مرز برف دمای صفر درجه با مرز تصویر پوشش برف بهمن و دی ماه



اشکال شماره ۹ و ۱۰- نقشه های مقایسه ای مرز برف دمای صفر درجه با مرز تصویر پوشش برف فروردین و اسفند ماه

## بحث و نتیجه گیری

بحث:

ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقل ها، نشان دهنده حداقل ارتفاع خط ماندگاری برف بر روی زمین و ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداکثرها، نشان دهنده حداکثر ارتفاعی است که در صورت وجود پوشش برفی در حوضه، در بالای آن ذوبی صورت نمی گیرد. ارتفاع منحنی دمای صفر درجه مربوط به متوسط ماهانه ها، به عنوان متوسط خط ذوب و ریزش برف به کار می رود. (حجام و شرعی پور ۱۳۸۲)، بر اساس معادلات گرادیان بدست آمده، ارتفاع متناظر دمای صفر درجه سانتیگراد برای ماه های مختلف سال تعیین گردید.

مثلاً ارتفاع منحنی صفر درجه متوسط ماهانه ها در دی ماه در سطح استان که کمترین ارتفاع را دارا می باشد، ۱۶۴۵ متر است. یعنی اینکه به طور متوسط، در این ماه برف باریده شده در ارتفاعات پایین تر از ۱۶۴۵ متر ذوب خواهد شد. با توجه به اینکه بیشترین ارتفاع در سطح استان، قله سماموس در ارتفاعات شرق گیلان به میزان ۳۶۸۰ متر است، بنا به جدول شماره (۶) معادلات گرادیان متوسط دمای ماهانه در طول دوره آماری ۱۳ ساله، به طور متوسط از آبان تا فروردین ماه پتانسیل ذخیره برف در ارتفاعات استان وجود دارد. همانطور که در اشکال (۵) تا (۱۰) نیز مشاهده گردید تصاویر واقعی پوشش برف در تمامی این ۶ ماه بر روی نقشه ها دیده می شود.

برای تعیین مساحت زیر پوشش برف حوضه در هر ماه، ارتفاع دمای صفر درجه متوسط آن ماه را در نمودار هیپسو متری حوضه مشخص و مساحت حوضه در محدوده بالاتر از این ارتفاع تعیین می گردد. با توجه به جدول شماره (۷)، پایین ترین ارتفاع خط ذوب برف در دی ماه محاسبه شده است، بنابراین بیشترین مساحت تحت پوشش برف به طور متوسط در دی ماه برابر با ۲۴۸۲ کیلومتر مربع می شود. این در حالی است که مقدار واقعی به دست آمده از تصاویر سطح پوشش برف برابر با ۴۸۱۰ کیلومتر مربع است.

نقشه های سطح پوشش برف تصاویر ماهواره ای که در یک دوره آماری ۱۳ ساله، به طور متوسط سطح پوشش برف واقعی را در هر یک از ۶ ماه نشان می دهند، همواره بین خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه مربوط به متوسط دمای ماهانه و خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقل های ماهانه قرار دارند. این امر در جدول (۵-۱) بخوبی نشان داده شده است.

توضیح اینکه دمای صفر درجه سلسیوس به عنوان آستانه دمایی انباشت برف بر روی زمین منظور شده است، یعنی اینکه در ماه های بالای آن برف روی زمین نمی ماند. در این نمودار منحنی صفر درجه حداقل ها بیانگر این است که پایین تر از آن برفی روی زمین وجود ندارد و ارتفاع منحنی صفر درجه حداکثرها نشان می دهد که در ارتفاع بالاتر از آن برف اصلاً ذوب نمی شود. محدوده ارتفاعی بین منحنی صفر درجه متوسط حداکثرها و متوسط حداقل ها محدوده ذوب برف در طول روز می باشد.

در صورتی که خط همدمای صفر درجه را از روابط مربوط به دمای متوسط ماهانه محاسبه نماییم، منحنی (mean) حاصل می شود. منحنی فوق می تواند برای تعیین متوسط خط ذوب و ریزش برف به کار رود، یا به عبارتی این منحنی نشان دهنده متوسط ارتفاعی است که در بالای آن ذوبی صورت نمی گیرد و ریزشها به صورت برف می باشد و در سطوح واقع در زیر ارتفاع مذکور ذوب برف صورت می گیرد و ریزشها به صورت باران می باشد، شکل شماره (۱۱) و جداول شماره (۷) و (۸).

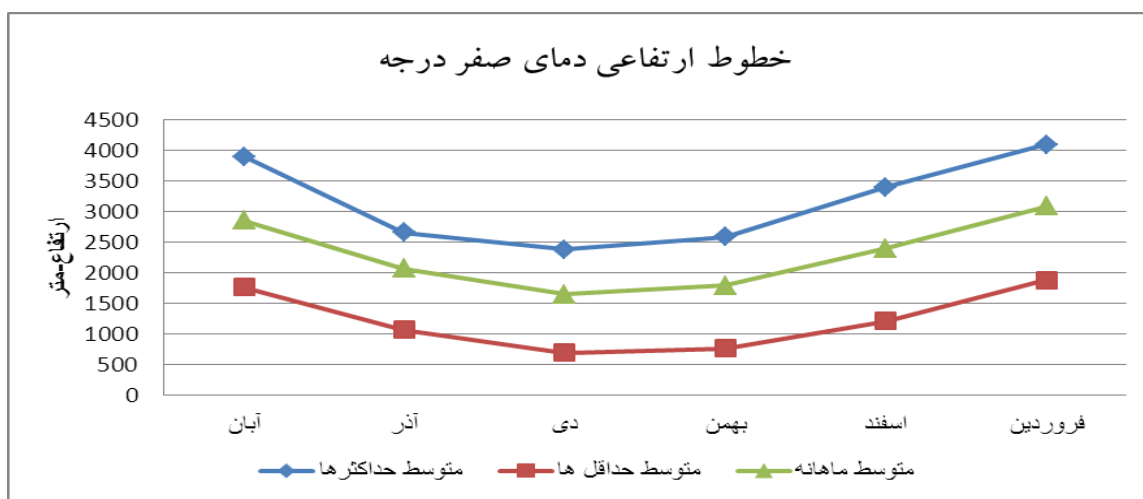
در نهایت با بکارگیری توأم مربوط به میانگین خط همدمای صفر درجه و تصویر dem استان، سطوحی از حوضه که به طور بالقوه تحت ریزش های برف قرار دارند، تعیین شده است.



جدول ۷- مقایسه سطح پوشش برف و سطوح بالای مرز ارتفاعی مربوط به دمای صفر درجه- کیلومتر مربع

ماه	پوشش برف تصاویر ماهواره ای	سطح بالای مرز ارتفاعی متوسط حداقل دما	سطح بالای مرز ارتفاعی متوسط حداکثر دما	سطح بالای مرز ارتفاعی متوسط دما
آبان	۱۴۶۵	۲۰۷۴	۰	۱۳۳
آذر	۱۱۸۳	۴۸۱۰	۲۴۸	۱۱۱۱
دی	۴۸۱۰	۶۴۰۹	۵۱۷	۲۴۸۲
بهمن	۱۸۰۲	۶۱۲۷	۳۰۳	۱۹۶۶
اسفند	۸۹۱	۴۲۴۲	۷	۴۹۵
فروردین	۴۱۷	۱۶۷۶	۰	۰

شکل ۱۱- حدود خطوط ارتفاعی منطقه ذوب برف و ریزش برف در ماه های مختلف دوره آماری



جدول ۸- مقادیر حدود خطوط ارتفاعی مربوط به دمای صفر درجه متوسط دماهای حداکثر، حداقل و ماهانه

ماه	متوسط حداکثرها	متوسط حداقلها	متوسط ماهانه
آبان	۳۸۹۹	۱۷۵۶	۲۸۴۷
آذر	۲۶۵۶	۱۰۶۴	۲۰۶۱
دی	۲۳۷۷	۶۹۰	۱۶۴۵
بهمن	۲۵۸۴	۷۵۳	۱۷۸۸
اسفند	۳۳۹۷	۱۲۰۴	۲۳۹۶
فروردین	۴۰۹۱	۱۸۷۵	۳۰۷۸

نتایج:

با توجه به استفاده توأمان داده های هواشناسی ایستگاههای زمینی و تصاویر ماهواره ای سطح پوشش برف که در نوع خود تا کنون کمتر مورد استفاده واقع شده است، یک تحقیق تازه به شمار می رود. مقایسه نتایج حاصل از هر دو این داده ها می تواند به

شناسایی بهتر برف به عنوان یک منبع مهم آبی کمک نماید. این در حالی است که در اکثر گزارش شرکت های مشاوره ای به برف، کمتر پرداخته می شود و از آن به سادگی گذر می کنند و به تأثیرات آن در میزان آبدهی رودخانه ها در حوضه های آبریز بیشتر می پردازند. دلایل آن را می توان بیشتر در عدم مهارت اکثر کارشناسان این شرکت ها و سازمان ها در استفاده از نرم افزارهای تحلیل تصاویر ماهواره ای و هزینه نسبتاً بالا برای خریداری این تصاویر خصوصاً تصاویر بزرگ مقیاس، اشاره نمود.

نتایج به دست آمده در این پایان نامه حاوی نکات مهمی به شرح زیر می باشد:

۱. ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقل ها، متوسط حداکثرها و متوسط ماهانه مقادیری حدی می باشند و بیشتر به عنوان پتانسیل خطوط سطوح برفی به آن اشاره نمود.
۲. با توجه به اینکه سنجنده Modis از سال ۲۰۰۰ میلادی که نظیر سال ۱۳۷۹ شمسی می باشد، شروع به برداشت تصویر از سطح زمین نموده است دوره آماری ۱۳ ساله (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲) انتخاب شده است.
۳. تصاویر ماهواره ای انتخاب شده در هرماه با توجه به ریزش های صورت گرفته برف در آن ماه می باشد، تا بتواند نشان دهنده سطح پوشش برف واقعی باشد.
۴. ماه های آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین که در این تحقیق انتخاب شده بدلیل بررسی و تحلیل داده های تصاویر پوشش برف و داده های ریزش برف در ایستگاههای زمینی است.
۵. مقادیر بالای ضریب همبستگی برای معادلات گرادیان دما (متوسط حداکثرها، حداقل ها و ماهانه) حاکی از انتخاب مناسب ایستگاههای هواشناسی و دوره آماری مورد استفاده است.
۶. نقشه های تلفیقی به دست آمده نشان از این دارد که مقادیر واقعی سطوح پوشش برف همواره بین خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه مربوط به متوسط دمای ماهانه و خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقل های ماهانه قرار دارند.
۷. استفاده از نقشه های dem و تصاویر ماهواره ای پوشش برف با دقت بالاتر که نیازمند صرف هزینه برای خریداری می باشد، منجر به حصول نتایج با دقت بهتر می گردد.
۸. نتایج نشان از تطابق بالای این خط در تصاویر ماهواره ای پوشش برف در ماه های آذر، دی، بهمن و اسفند با ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط دمای ماهانه که نشان دهنده متوسط خطوط ذوب و ریزش برف روی زمین است، در همین ماهها می باشد.

## منابع و مأخذ

۱. آزادبخت، بهرام (۱۳۸۵). خصوصیات ژئومورفولوژیکی کوه ارجیس با استفاده از تکنولوژی DTM و RST. سپهر ۵۷.
۲. پرهمت، جهانگیر و ثقفیان، بهرام، (۱۳۸۶). "مقایسه دقت تصاویر ماهواره ای TM و AVHRR در تعیین پوشش برفی. مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۶۰، صص ۳۸۳-۳۹۵"
۳. تاجداری، خسرو. رضایی، پرویز. خانمیرزایی، رسول. (۱۳۹۲). مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور. ۲۹ تا ۳۰ بهمن ۱۳۹۲.
۴. حجام، سهراب و شرعی پور، زهرا، (۱۳۸۲) ذوب برف در حوضه آبریز طالقان، پژوهشهای جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۴۹-۶۲.
۵. رایگانی بهزاد، سید جمال الدین خواجه الدین، سعید سلطانی کوپایی و سوسن براتی. (۱۳۸۷). محاسبه تغییرات پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره ای MODIS در دوره های فاقد تصویر. مجله علوم آب و خاک علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۳۳۲-۳۱۵: ۲۱۲، ۱۳۸۷ (۴۴)
۶. عابدینی، غلامرضا، ضیایان فیروزآبادی، پرویز، علی محمدی سراب، عباس و داداشی خانقاه، سپیده، (۱۳۸۶). "بررسی سطوح برفگیر در البرز مرکزی با استفاده از داده های ماهواره ای AVHRR و MODIS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)" مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۳، صص ۱-۸.
۷. فومنی مقدم، محمود، (۱۳۸۵). کاربرد سنجش از دور در مدیریت منابع طبیعی تجدید شونده. فضا. ۱۵. ۶۳-۷۴.

۸. قائمی، هوشنگ و مرید، سعید، (۱۳۷۳). "تحلیل برف در حوضه آبریز رود خانه دماوند" مجموعه مقالات اولین سمینار هیدرولوژی برف و یخ، سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی.
۹. قنبریور ، محمدرضا، م .محسنی ساروی، ب .ثقفیان ، ح .احمدی وک .عباسپور، ۱۳۸۵ ، تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح، پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب"، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸ ، شماره ۳
۱۰. کمالی، مرتضی؛ سهراب حجام و مجید وظیفه دوست، ۱۳۹۰، بررسی سطح پوشش برفی و رابطه آن با ارتفاع در استان خراسان شمالی، اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، تهران، دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری.
۱۱. مزیدی، احمد، (۱۳۸۸). " تحلیل بارش های کوتاه مدت و تأثیر آن بر سیلاب در حوضه فخرآباد " طرح پژوهشی دانشگاه یزد.
۱۲. نجف زاده، رضا ا. ابریشم چی، م .تجریشی، ح .طاهری شهرآیینی، ۱۳۸۳ ، شبیه سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۲
۱۳. وظیفه دوست، مجید؛ زهرا طوفانی نژاد و افشین اشرف زاده، ۱۳۹۱، تعیین رابطه دما و سطح پوشش برف با آبدی در حوضه های آبریز رودخانه استان گیلان، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۴. Carroll T., Cline D., Fall G., Nilsson A., Li L. and Rost A. (2001) NOHRSC operations and the simulation of snow cover properties for the coterminous U.S. Proceedings of the 69<sup>th</sup> Western Snow Conference, Sun Valley, 16–19 April 2001.
۱۵. Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., Di Girolamo N.E. and Bayr K.J. (2002) MODIS Snow-Cover Products. Remote Sensing Of Environment, 83, 181-194.
۱۶. Klein A.G., Lee S. and Over T.M. (2001). A Comparison of MODIS and NOHRSC snowcover products for simulating streamflow using the Snowmelt Runoff Model.
۱۷. Nagler T., Rott H., Malcher P. and Muller F. (2008). Assimilation of meteorological and remote sensing data for snowmelt runoff forecasting. Journal of Remote Sensing of Environment, 112: 1408-1420.
۱۸. Singer F.S. and Popham R.W. (1963) Non-meteorological observations from weathersatellites. Astronautics and Aerospace Engineering, 1(3), 89–92.