

## بنام خدا

# بررسی مقایسه ای نتایج سطح برف تصاویر سنجنده های AVHRR و MODIS

مریم عمادزاده<sup>۱</sup>، مسعود تجریشی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

۲- دانشیار دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف

[emadzadem@gmail.com](mailto:emadzadem@gmail.com)

[tajrishy@sharif.edu](mailto:tajrishy@sharif.edu)

## خلاصه

برف از جمله منابع اصلی رواناب سطحی می باشد که پایش مکانی و زمانی آن می تواند منجر به انجام پیش بینی های مناسب از شرایط آبی در هر سال گردد. از آنجا که جهت انجام چنین بررسی هایی نیاز به آمارهای طولانی مدت می باشد و تصاویر سنجنده MODIS بعلاوه محدودیت زمانی که با آن روبرو می باشد (سالهای ماقبل ۲۰۰۰) نمی تواند بتنهایی مورد استفاده قرار گیرد، لازم است از نتایج سایر ماهواره ها نیز استفاده گردد. این مساله نیاز به انجام مقایسه بین نتایج دو سنجنده را نشان می دهد. بدین منظور با بررسی مطالعات پیشین، موارد کاربرد محصولات روزانه پوشش برف MODIS و تصاویر ترکیبی ۸ روزه بررسی و در حوزه دز و کارون نتایج سطح برف دو محصول مقایسه گردید. در نهایت، تصاویر ترکیبی ۸ روزه پوشش برف سنجنده MODIS جهت مقایسه با نتایج سطح برف سنجنده AVHRR انتخاب گردید. مجموع سطح برف در محدوده دوز زیر حوضه دز و کارون در سال برفی ۸۶-۸۷ در بیست و سه تاریخ به فواصل زمانی ۸ روز (از ۲ آبان تا ۲ اردیبهشت) استخراج گردید و با نتایج سطح برف سنجنده AVHRR که با استفاده از الگوریتم سیمپسون اصلاح شده (توسط سازمان آب و برق خوزستان) تهیه گردیده، در تاریخهای مشابه مورد مقایسه قرار گرفت. این مقایسه نشان می دهد که نتایج سطح برف AVHRR علی رغم قدرت تفکیک مکانی کمتر، مقادیری نزدیک به نتایج سنجنده MODIS را نشان می دهد. البته نتایج سطح برف MODIS از روند نرمتر و معقولتری برخوردار بوده و مانند نتایج AVHRR دارای پرهشهای ناگهانی نمی باشد. در ادامه، همبستگی و دقت نتایج دو سنجنده بررسی گردید که بیانگر این مساله است که در سالهایی که سنجنده MODIS فاقد تصویر می باشد می توان با اطمینان خاطر از تصاویر AVHRR استفاده نمود. از طرف دیگر این نتیجه نشانگر قوت الگوریتم بکار گرفته شده در استخراج سطح برف از تصاویر AVHRR است.

کلمات کلیدی: سطح برف، سنجنده MODIS، سنجنده AVHRR

## ۱- مقدمه

در حوضه های کوهستانی و مرتفع، ذوب برف از جمله منابع اصلی رواناب سطحی در فصول گرم سال می باشد. بنابراین پایش زمانی و مکانی خصوصیات برف می تواند منجر به انجام پیش بینی های مناسب از شرایط آبی در هر سال گردد. با توجه به مشکلات و موانع اندازه گیری زمینی سطوح برفی، فن آوری سنجنش از دور توانسته است تا حدودی در رفع این نقیصه نقش ایفا نماید. در این راستا اطلاعات سنجنده هایی چون AVHRR و MODIS در تعیین سطح پوشش برف در دسترس است. با وجود بالاتر بودن قدرت تفکیک مکانی سنجنده MODIS (اندازه سلول ۵۰۰ متر نسبت به اندازه سلول ۱۱۰۰ متر در سنجنده AVHRR)، سنجنده AVHRR دارای قدمت زمان تصویربرداری کا ملتری نسبت به سنجنده MODIS (AVHRR) است. از سال ۱۹۷۲ و سنجنده MODIS از سال ۲۰۰۰ دارای تصویر هستند) می باشد. از آنجا که جهت انجام پیش بینی های دقیق تر، نیاز به آمارهای طولانی

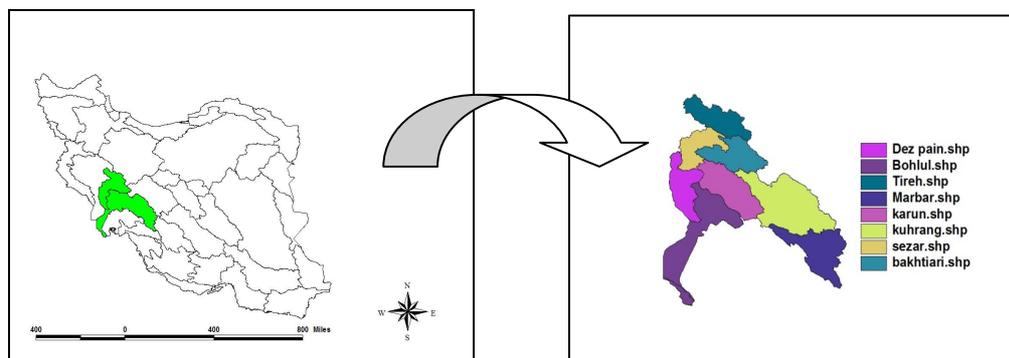
مدت می باشد و تصاویر سنجنده MODIS بعلا محدودیت زمانی که با آن روبرو می باشد (سالهای ماقبل ۲۰۰۰) نمی تواند بتهنایی مورد استفاده قرار گیرد، لازم است از نتایج تصاویر سایر ماهواره ها مانند NOAA نیز استفاده گردد. این مساله نیاز به انجام مقایسه بین نتایج دو سنجنده را نشان می دهد. از سال ۱۹۸۰، تحقیقات زیادی جهت تولید نقشه گستره پوشش برف با استفاده از داده های Landsat و SPOT [1] و داده های AVHRR (باتوجه به پوشش زمانی مناسب آن) انجام شده است. اگرچه، اصلاحات لازم برای داده های NOAA- AVHRR مثل تاثیرات اتمسفری، بخار آب و غبار، بسیار محدود کننده بوده و نتایج تحقیق کاملا تحت تاثیر شرایط آب و هوا می باشد [2]. این موضوعات در سنجنده MODIS (که بر ماهواره های Aqua و Terre که به ترتیب در سالهای ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ با موفقیت پرتاب شده اند) برطرف گشته است. از فوریه ۲۰۰۰، NASA شروع به توزیع رسمی محصولات برف Terra/MODIS نمود.

در این میان اختلاف توان تفکیک مکانی تصاویر ماهواره ای و تفاوت دقت استخراج سطوح برفی، فصل جدیدی را میان محققین این علم باز نموده است. نتایج تحقیقات هال و همکاران نشان داد که درصد همپوشانی سطوح پوشیده از برف استخراج شده از تصاویر ماهواره ای NOHRSC و MODIS ۷۳٪ میباشد [3]. درحالیکه تحقیق کلین و بارت در سال ۲۰۰۳، ۸۶٪ تطابق کامل در فصل ریزش برای سطوح برفی این دو ماهواره را نشان می دهد [4]. ژوا و همکاران (۲۰۰۵) از مقایسه پوشش برفی حاصل از سنجنده های MODIS و NOAA با نمونه برداریهای زمینی دریافتند که MODIS بیشتر برف خود را در مناطق مرتفع حوضه و با دقتی بیشتر از AVHRR تعیین می کند [5]. مقایسه نتایج سطح برف دو تصویر از این دو سنجنده در بررسی دهقان و همکاران از طریق تحلیل رگرسیونی انجام شد. در این تحقیق اختلاف همپوشانی توده های برف سنجنده NOAA و MODIS در فصل ریزش برف ۵/۸٪ و در فصل ذوب برف ۱۹/۸٪ بدست آمده است. نتایج نشان داد که با بزرگ شدن توده های برفی خطای نسبی ناشی از تشخیص مرز کمتر می شود. بنابراین در فصل ریزش ضریب همبستگی بالاتر از فصل ذوب بدست آمد [6].

در تحقیق حاضر، سطح برف در زیرحوضه های دز و کارون در سال برفی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ با استفاده از ۱۹ تصویر از هریک از دو سنجنده AVHRR و MODIS مقایسه گردیده است. گفتنی است در این بررسی تحلیل رگرسیونی کل سطح برف در زیرحوضه های دز و کارون انجام گردیده و بعلا عدم دسترسی به اطلاعات رقومی سطح برف مربوط به سنجنده AVHRR، میزان همپوشانی داده ها در دو سنجنده که نشانگر موقعیت دقیق توده های برفی است، مقایسه نشده است. از طرفی سعی شده است به کاربردهای محصولات روزانه و ترکیبی ۸ روزه MODIS در تخمین گستره پوشش برف در مطالعات سایر محققین اشاره شده و مقایسه ای از تاثیر کاربرد هریک از این دو محصول در تخمین سطح برف در حوضه آبریز دز و کارون ارائه گردد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه های دز و کارون بعنوان منطقه مطالعاتی انتخاب گردیده اند. این منطقه که داخل ارتفاعات زاگرس میانی قرار دارد در حدفاصل ۱۰' ۴۸° تا ۳۰' ۵۲° درجه طول شرقی و ۲۰' ۳۰° تا ۵' ۳۴° عرض شمالی واقع شده است. شکل (۱) موقعیت این منطقه را در نقشه حوضه های اصلی ایران و همچنین نام و موقعیت زیرحوضه های آن را نشان می دهد. از ۶۸۴۸۱ کیلومترمربع مجموع مساحت حوضه های کارون و دز ۲۳۲۵۰ کیلومترمربع آن را حوضه رودخانه دز و شاوور و ۴۵۲۳۱ کیلومترمربع را حوضه رودخانه کارون می پوشانند.

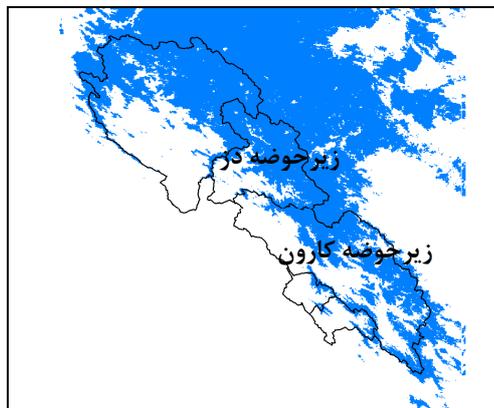


شکل (۱). موقعیت حوضه آبریز دز و کارون در نقشه حوضه های اصلی کشور و موقعیت زیرحوضه ها

### ۳- داده ها و روشها

#### ۳-۱- داده های پوشش برف سنجنده AVHRR

نتایج سطح برف سنجنده AVHRR که در این تحقیق بکار رفته است براساس تحقیقات انجام شده در سازمان آب منطقه ای خوزستان می باشد. این نتایج براساس روش ارائه شده توسط پرهمت و ثقفیان (۲۰۰۳) که توانستند با ایجاد تغییراتی در الگوریتم Simpson et al. (1998) سطح پوشش برف را برای حوزه کارون جهت کاربرد در یک مدل پیش بینی جریان استخراج نمایند بدست آمده است [7]. در این الگوریتم روش چند مرحله ای و چند طیفی بمنظور جداسازی ابر، برف و زمین از یکدیگر ارائه و از باندهای ۲، ۳، ۴ و ۵ سنجنده AVHRR استفاده شده است. از مزایای این روش عدم نیاز به تفسیر چشمی می باشد. لازم به ذکر است که این نتایج در ۵ زیرحوضه کرخه، دز، کارون، الله و مارون (شکل (۲)) ارائه گردیده که در این تحقیق برحسب نیاز نتایج سطح برف در دو زیرحوضه دز و کارون مورد استفاده قرار گرفت.



شکل (۲). پوشش برف در محدوده مطالعاتی در تصویر AVHRR - ماه بهمن ۱۳۸۶

نتایج سطح برف براساس مطالعات انجام شده در سازمان آب منطقه ای خوزستان با استفاده از تصاویر AVHRR مطابق جدول زیر می باشد.

جدول (۱). نتایج سطح برف در حوضه آبریز دز و کارون در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷، تصاویر AVHRR (براساس مطالعات سازمان آب و برق خوزستان)

| تاریخ تصاویر | سطح برف در تصاویر AVHRR | تاریخ تصاویر  | سطح برف در تصاویر AVHRR |
|--------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| ۸۶ آبان ۴    | ۳۸۴                     | ۸۶ بهمن ۵     | ۲۶۶۱۹                   |
| ۸۶ آبان ۱۱   | ۸                       | ۸۶ بهمن ۱۳    | ۳۳۹۵۴                   |
| ۸۶ آبان ۱۹   | ۳۶                      | ۸۶ بهمن ۱۶    | ۲۸۰۰۷                   |
| ۸۶ آذر ۹     | ۶۷۷۸                    | ۸۶ بهمن ۲۷    | ۲۰۲۳۵                   |
| ۸۶ آذر ۲۲    | ۴۷۰۴                    | ۸۶ اسفند ۳    | ۱۱۴۳۵                   |
| ۸۶ دی ۲      | ۳۷۳۵۸                   | ۸۶ اسفند ۱۰   | ۱۱۳۶۷                   |
| ۸۶ دی ۷      | ۱۸۵۴۸                   | ۸۶ اسفند ۱۵   | ۵۸۸۸                    |
| ۸۶ دی ۱۸     | ۳۲۸۰۷                   | ۸۶ اسفند ۱۹   | ۴۳۱۷                    |
| ۸۶ دی ۲۵     | ۳۶۹۸۴                   | ۸۶ اسفند ۲۷   | ۲۷۹۶                    |
| ۸۶ دی ۲۹     | ۲۸۰۶۷                   | ۸۶ فروردین ۱۵ | ۵۰۸                     |

### ۳-۲- داده های پوشش برف سنجنده MODIS

سنجنده MODIS دارای دو نوع محصول پوشش برف روزانه (MOD10A1 یا MYD10A1) و ۸ روزه (MOD10A2 یا MYD10A2) با اندازه سلول ۵۰۰ متر می باشد که در این تحقیق بکار رفته اند. این اطلاعات در مورد ماهواره Aqua از ۴ جولای ۲۰۰۲ و در مورد ماهواره Terra از ۲۴ فوریه ۲۰۰۰ تاکنون موجود می باشد. محصول پوشش برف روزانه MOD10A1، نتیجه انتخاب یک مشاهده از چندین مشاهده انجام شده از هر سلول از محصول MOD10\_L2G در هر روز با استفاده از یک الگوریتم شماره گذاری می باشد [8]. طبقه بندی محصول پوشش برف MODIS براساس الگوریتم نگاشت برف است که شاخص (Normalized Difference Snow Index) NDSI و سایر معیارها را بکار می گیرد.

$$NDSI = \frac{\text{band 4} - \text{band 6}}{\text{band 4} + \text{band 6}}$$

که در آن band 4 و band 6 بازتابش باندهای ۴ و ۶ سنجنده MODIS می باشند. پیکسلی در موقعیت غیر جنگل متراکم، برفی خواهد بود در صورتیکه  $NDSI \geq 0.4$  و بازتابش در باند ۲ MODIS (۰.۸۴۱-۰.۸۷۶)  $< 0.11$  باشند. و بازتابش در باند ۴ اگر کوچکتر از ۰.۱۰٪ باشد، پیکسل دارای ابر نخواهد بود حتی اگر سایر معیارها صحیح باشد.

MOD10A2 محصول ترکیبی ۸ روزه پوشش برف است که بوسیله ترکیب نمودن ۸ روزه محصول MOD10A1 انجام می گیرد. هدف از این کار، حداکثر نمودن تعداد پیکسلهای برفی و در عین حال، حداقل نمودن تعداد پیکسلهای ابری می باشد. تکنیک بکار رفته در تولید تصاویر ترکیبی ۸ روزه، تولید پوشش برف ماکزیمم بوده است، بدین معنا که اگر برف در هر روز و در هر مکان در تصاویر روزانه موجود بوده در تصویر ترکیبی آن پیکسل پوشیده از برف نشان داده شده است. استفاده از مقادیر مینیمم یا میانگین پوشش برف منجر به عدم تصویر بخشی از پوشش برف می گردد. همچنین استفاده از این روش در ترکیب کردن، پوشش ابر را کاهش می دهد [8].

### ۳-۲-۱- بررسی موارد کاربرد محصولات روزانه (MOD10A1) و ترکیبی ۸ روزه پوشش برف (MOD10A2)

در مطالعه ای که در سال برفی ۲۰۰۱-۲۰۰۰ در حوضه آبریز Upper Rio Grande انجام شد، Klein & Barnett (۲۰۰۳) به این نتیجه رسیدند که محصولات MOD10A1 تطابق کلی بالایی (۹۴٪) با مشاهدات ایستگاهی SNOTEL (Snowpack Telemetry) در آسمان صاف (سطح پیکسلهای فاقد ابر بر مرکز ایستگاههای SNOTEL و شعاع ۱۵۰۰ متر  $< 0.5$ ) دارد. بیشتر عدم تطابق های موجود بین MOD10A1 و مشاهدات ایستگاهی در شروع و پایان فصل برف اتفاق می افتاد که عمق برف کم می باشد. تطابق بالای مشاهده شده بین MOD10A1 و مشاهدات SNOTEL، محدود به آسمان صاف است. بعلاوه، روش حذف ابر در MODIS، گوشه های سطح پوشیده از برف را بعلت عمق کمتر، ابر نشان می دهد که نیاز به بهبود دارد [4]. این بهبود در نسخه جدید محصولات (نسخه ۵)، با اضافه نمودن پارامتر نسبت پوشش برف (fractional snow cover) تاحدی انجام شده است [10]. در همین حوضه آبریز Zhou و همکاران (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که ابر، علت اصلی موثر بر دقت طبقه بندی برف در MODIS می باشد. محصول MOD10A2 (تصاویر ترکیبی ۸ روزه ۵۰۰ متری)، دقت بالاتری در طبقه بندی برف و زمین نسبت به MOD10A1 دارد که این دقت بالاتر از طریق کاهش ابر حاصل شده است. محصول ترکیبی ۸ روزه MODIS پوشش ابر را حداقل کرده و سطح برف را ماکزیمم می نماید، بنابراین ورودی بهتری برای مدل های ذوب برف- رواناب فراهم می کند [5]. در مطالعه دیگری که در شرق ترکیه انجام شده، Tekeli و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند که پائینترین تطبیق بین مشاهدات زمینی و نقشه های سطح برف MODIS، ۲۱٪ بود و آن هم زمانی اتفاق افتاد که آسمان در ۲۴ March ۲۰۰۴ پوشیده از ابر بود. مطمئناً فرکانس بالای پوشش ابر به دقت سری محصولات MOD10A1 (تصاویر روزانه ۵۰۰ متری) آسیب می رساند [10].

تحقیق دیگری که توسط Liang و همکاران (۲۰۰۸) در شمال Xinjiang در چین انجام شده نیز نشان می دهد که از مجموع ۴ سال برفی، دقت سطح برف تصاویر روزانه MODIS، در هوای صاف ۹۸.۵٪ و تطابق برف از ۷۷.۸٪ تا ۱۰۰٪ برای هر سایت تغییر می کند. کاربرد MOD10A1 بسیار تحت تاثیر پوشش ابر است. تصاویر ترکیبی ۸ روزه در بسیاری از موارد می تواند این تاثیر را حداقل کند. پوشش ابر بیشتر از ۱۰٪ در ۹۹٪ محصولات MOD10A1 و ۱۴.۷٪ محصولات MOD10A2 در این ۴ فصل برف اتفاق افتاده است. در این تحقیق با تولید تصاویر ترکیبی ۲ تا ۱۲ روزه و مقایسه نتایج پوشش برف در هر یک از محصولات، این نتایج حاصل شده است: ۱. تاثیر پوشش ابر بر کاربرد محصولات MOD10A1 بسیار زیاد است. ۲. محصولات پوشش برف ۸ روزه MOD10A2 تاثیرات پوشش ابر را به میزان موثری کاهش می دهد و می تواند در مطالعات برف و سایر موضوعات

مربوط در مقیاس های مکانی بزرگ برای بیشتر شرایط، موثر واقع شود. ۳. محصولات ترکیبی ۸ روزه پوشش برف، دوره ترکیب ۸ روز عمدتاً بدین علت انتخاب شده است که دوره دقیق تکرار الگوی جهانی ماهواره های Terra و Aqua، ۸ روز می باشد. همچنین کاهش ابر که نقش مهمی در بررسی پوشش برف دارد در محصولات ۸ روزه امکان پذیر می گردد. ۴. کاربرد محصولات ترکیبی ۸ روزه MOD10A2 در مطالعه دوره زمانی یک حادثه حاصل از برف هنوز بوسیله ابر محدود می شود. ۵. در عمل، هنگامی که پوشش ابر در محصول پوشش برف MOD10A2 بالاتر از ۱۰٪ باشد، باید تصاویر ترکیبی با دوره زمانی بیشتر از ۸ روز بوسیله کاربران تولید گردد تا پوشش ابر جهت بررسی دقیق تر سطح برف در طی دوره زمانی یک حادثه حاصل از برف کاهش پیدا کند. ۶. تصاویر با دوره ترکیبی کوتاهتر (مثلاً ۴ یا ۶ روزه) که دارای پوشش ابر کمتر از ۱۰٪ می باشند نیز جهت بررسی سطح پوشش برف مورد استفاده قرار می گیرند. در دوره های زمانی مختلف در طی فصل برفی، تصاویر با دوره های ترکیبی متفاوت می توانند مورد استفاده قرار گیرند. ۷. در مناطق کوهستانی که حوادث ناشی از برف متناوباً اتفاق می افتد و شرایط آب و هوایی به سرعت تغییر می کند تصاویر با دوره ترکیبی کوتاهتر (مثلاً ۴ یا ۶ روزه) باید توسط کاربران مورد استفاده قرار گیرد. ۸. انتخاب استفاده از محصولات ۸ روزه MOD10A2 یا تولید و استفاده از تصاویر ترکیبی با دوره های کوتاهتر و بلندتر باید باتوجه به شرایط آب و هوایی در منطقه مورد مطالعه در طی دوره زمانی مشخص انجام گیرد [8].

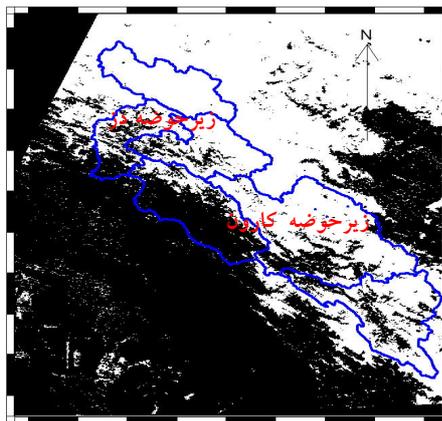
### ۳-۳- آماده سازی تصاویر MODIS

تصاویر اولیه پوشش برف دارای projection سینوسویدال (Sinucoidal) میباشند. projection این تصاویر در نرم افزار MODIS Tools با استفاده از روش nearest neighbor به UTM تغییر داده می شود. فرمت فایل های خروجی نیز geotif که برای نرم افزار ILWIS GIS قابل شناسایی است، تعیین می گردد. در ادامه با وارد نمودن تصاویر در نرم افزار ILWIS مجموع سطح برف در محدوده مورد مطالعه جدا و تعیین می گردد.

### ۴- نتایج و تحلیل

#### ۴-۱- مقایسه نتایج سطح برف در تصاویر MODIS و AVHRR

بنابر نتایج تحقیقات فوق در این مطالعه محصول انتخابی جهت مقایسه با نتایج سطح برف AVHRR، محصول پوشش برف MOD10A2 (تصاویر ترکیبی ۸ روزه ماهواره Terra) می باشد. براین اساس، تصاویر ترکیبی ۸ روزه پوشش برف در محدوده زمانی ۲ آبان تا ۱ فروردین سال ۸۷-۸۶ از سایت WIST [11] سفارش داده شده و دریافت گردید. اطلاعات سطح برف در محدوده زیرحوضه های بالا دست دز و کارون همان گونه که در شکل زیر نشان داده شده در تاریخهای فوق استخراج گردید.



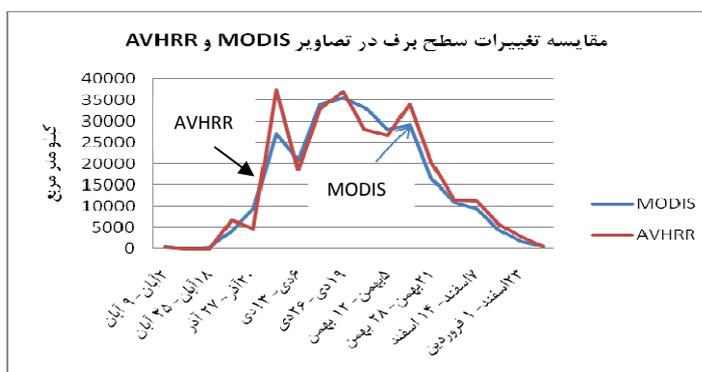
شکل (۳). پوشش برف در محدوده مطالعاتی در تصویر ترکیبی MODIS - ۱۹ تا ۲۶ دی

که نتایج آن مطابق جدول زیر می باشد:

جدول (۲). نتایج سطح برف در سال ۱۳۸۷-۱۳۸۶ با استفاده از تصاویر MODIS

| تاریخ تصاویر      | سطح برف تصاویر ۸ روزه<br>MODIS (km <sup>2</sup> ) | تاریخ تصاویر         | سطح برف تصاویر ۸ روزه<br>MODIS (km <sup>2</sup> ) |
|-------------------|---|----------------------|---|
| ۲۲ آبان - ۹ آبان  | ۶۱۹.۳   | ۱۹ دی - ۲۶ دی        | ۳۵۴۸۷.۸   |
| ۱۰ آبان - ۱۷ آبان | ۸.۲   | ۲۷ دی - ۴ بهمن       | ۳۳۲۶۱.۷   |
| ۱۸ آبان - ۲۵ آبان | ۲۹۹.۶   | ۵ بهمن - ۱۲ بهمن     | ۲۷۹۱۷.۸   |
| ۲۶ آبان - ۳ آذر   | ۴۱۲۷.۴  | ۱۳ بهمن - ۲۰ بهمن    | ۲۹۱۴۷.۱   |
| ۴ آذر - ۱۰ آذر    | ۴۱۴۶.۸  | ۲۱ بهمن - ۲۸ بهمن    | ۱۶۴۷۷.۴   |
| ۱۲ آذر - ۱۹ آذر   | ۱۳۲۷۶.۸   | ۲۹ بهمن - ۶ اسفند    | ۱۰۹۹۸.۵   |
| ۲۰ آذر - ۲۷ آذر   | ۹۴۱۲.۷  | ۷ اسفند - ۱۴ اسفند   | ۹۴۰۷.۱  |
| ۲۸ آذر - ۵ دی     | ۲۷۰۹۴.۴   | ۱۵ اسفند - ۲۲ اسفند  | ۴۵۳۵.۳  |
| ۶ دی - ۱۳ دی      | ۲۰۸۵۳.۴   | ۲۳ اسفند - ۱ فروردین | ۱۸۱۱.۶  |
| ۱۱ دی - ۱۸ دی     | ۳۳۹۵۰.۹   |                      |   |

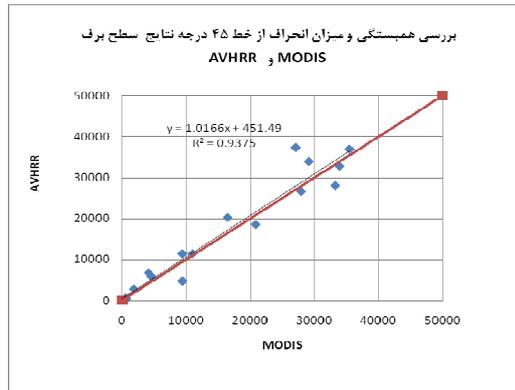
جهت انجام مقایسه ای دقیق تر از نتایج سطح برف در دو سنجنده، نمودار داده های جداول (۱) و (۲) مطابق شکل (۴) رسم می گردد. مقایسه این نمودارها نشان می دهد که استفاده از هر دو سنجنده تخمین تقریباً یکسانی از پوشش برف بدست می دهند. علی رغم این مساله، نتایج MODIS دارای روند افزایشی معقولتر و نرمتری نسبت به نتایج AVHRR است. نتایج AVHRR در برخی نقاط دارای پرش است ولی بطور کلی تصاویر این سنجنده علی رغم قدرت تفکیک مکانی پایینتر توانسته است سطح برف در کل حوضه را بخوبی برآورد نماید.



شکل (۴). مقایسه تغییرات سطح برف در تصاویر MODIS و AVHRR در سال آبی ۸۷-۸۶ در حوضه آبریز دز- کارون

#### ۴-۱-۱- بررسی دقت نتایج سطح برف در تصاویر AVHRR نسبت به نتایج MODIS

جهت دریافت تخمینی از همبستگی و دقت نتایج، اطلاعات دو سنجنده در یک نمودار رسم گردید و اختلاف آن با نیمساز که شاخصی از تغییرات سطح برف در تصاویر AVHRR نسبت به تصاویر MODIS است، مقایسه گردید.

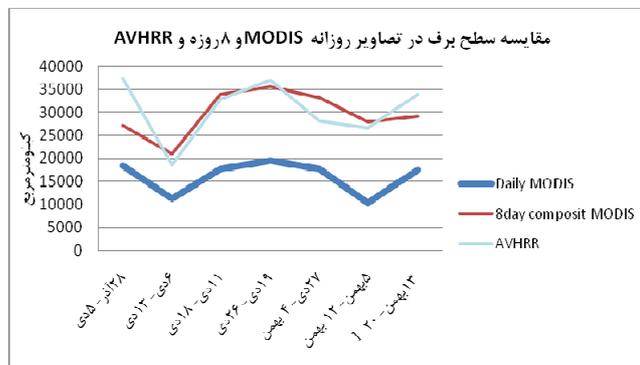


شکل (۵). نمودار همبستگی نتایج سطح برف در دو سنجنده MODIS و AVHRR

نمودار بالا علاوه بر آنکه همبستگی بالای نتایج دو سنجنده را در تخمین سطح برف نشان می دهد ( $R^2=0.94$ )، اختلاف ناچیزی را نیز بین نتایج دو سنجنده در تعیین سطح برف محدوده مطالعاتی تخمین می زند (Slope=1.02).

#### ۴-۲- مقایسه نتایج سطح برف در تصاویر روزانه، ترکیبی ۸ روزه و AVHRR در حوزه آبریز دز و کارون

در محدوده زمانی ۲۸ آذر تا ۲۰ بهمن سطح برف حوضه از محصولات روزانه MODIS (MOD10A1) استخراج گردید و در نمودار شکل (۶) با نتایج سطح برف ترکیبی ۸ روزه MODIS و AVHRR مقایسه گردید. همانگونه که در نتایج تحقیقات سایر محققین بیان شد، وجود ابر در محصولات MOD10A1، تاثیر شدیدی بر نتایج سطح برف بدست آمده از این تصاویر را دارد که این مساله بخوبی در مقایسه نتایج سطح برف سه محصول قابل مشاهده می باشد. بنابراین لازم است استفاده از تصاویر روزانه یا تصاویر ترکیبی کوتاهتر از ۸ روز با پوشش ابر کمتر از ۱۰٪ تنها در مطالعه مواردی که نیاز به بررسی بارشهای ناگهانی برف می باشد بکار گرفته شوند و در سایر شرایط استفاده مستقیم از محصولات ۸ روزه جوابگوی مطالعات می باشد.



شکل (۶). مقایسه نتایج سطح برف در تصاویر روزانه، ۸ روزه و AVHRR در سال ۱۳۸۶

#### ۵- جمع بندی و نتیجه گیری

برف از جمله پارامترهای اصلی در تامین منابع آب یک حوضه می باشد. با توجه به مشکلات دسترسی به منابع برفی که در ارتفاعات واقعند، سنجش از دور می تواند بعنوان ابزاری مناسب جهت جمع آوری داده های برف مورد استفاده قرار گیرد. بعلت محدودیت زمانی نتایج پوشش برف در سنجنده MODIS، اغلب لازم می باشد که بطور همزمان از نتایج سنجنده AVHRR نیز استفاده نمود. براین اساس سطح کل برف بدست آمده از تصاویر ۸ روزه MODIS در زیر حوضه دز و کارون در یک سال برفی با نتایج سطح برف بدست آمده از تصاویر AVHRR انجام گرفت. مقایسه نتایج پوشش برف در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ براساس اطلاعات دو سنجنده MODIS و AVHRR نشان می دهد که همبستگی مناسبی بین داده های سطح کل برف دو سنجنده در

حوضه دز و کارون موجود می باشد، همچنین سطح برف در تاریخهای مختلف از اختلاف ناچیزی برخوردار می باشند. این نتیجه نشانگر آن است که در سالهایی که سنجنده MODIS فاقد تصویر می باشد می توان با اطمینان خاطر از نتایج سطح برف سنجنده AVHRR و یا براساس رابطه موجود بین اطلاعات برف دو سنجنده در سالهای حایز تصویر جهت تولید داده های برف در سنجنده دیگر استفاده نمود. از طرف دیگر این نتیجه نشانگر قوت الگوریتم بکار گرفته شده در استخراج سطح برف از تصاویر AVHRR است.

از طرفی موارد کاربرد محصولات پوشش برف روزانه (MOD10A1) و ترکیبی ۸ روزه (MOD10A2) در مطالعات سایر محققین بررسی گردید. بررسی ها نشان داد که استفاده از تصاویر ۸ روزه MODIS، میزان پوشش ابر را به شدت کاهش می دهد. درحالیکه مطالعات نشان می دهد که کاربرد محصولات روزانه بعثت پوشش ابر زیاد دارای محدودیت می باشد و بهتر است در مطالعه مواردی که نیاز به بررسی حوادث برفی می باشد تصاویر ترکیبی کوتاه مدت (۲ تا ۷ روز) با پوشش ابر کمتر از ۱۰٪ با استفاده از محصولات روزانه MOD10A1 توسط کاربر و محقق تولید گردد. همچنین در شرایطی که بعثت پوشش ابر زیاد، تصاویر ۸ روزه نیز دارای پوشش ابر بیشتر از ۱۰٪ می باشند لازم است تصاویر ترکیبی بیشتر از ۸ روز توسط کاربر تولید گردد. در این راستا مقایسه نتایج سطح برف محصولات روزانه و ترکیبی ۸ روزه MODIS در سال ۱۳۸۶ در حوضه دز و کارون انجام گردید. بررسیها نشان می دهد تصاویر روزانه بعثت وجود پوشش ابر زیاد، تخمین پایینی از سطح برف در منطقه در مقایسه با سایر نتایج ارائه می دهند.

## ۶- قدردانی

از سازمان آب و برق خوزستان که نتایج مطالعات سطح برف در حوضه دز و کارون را در اختیار محققین دفتر مطالعات آب و محیط زیست قرار دادند تشکر می نمائیم.

## ۷- مراجع

- 1- Rutger, D., Steven, M., & De, J. (2004). Monitoring snow-cover dynamics in northern Fennoscandia with SPOT VEGETATION images. *International Journal of Remote Sensing*, 25(15), 2933–2949.
- 2- Cao, Y. G., & Liu, C. (2005). The development of snow-cover mapping from AVHRR to MODIS. *Geography and Geo-Information Science*, 21(5), 15–19.
- 3- Hall, D. K., A.B Tait, G. A. Riggs, V. V. Salomonson, J. Chien, Y. L. Andrew, G. Klein, (2002), "Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow – K, Lake Ice- and Sea Ice-Mapping Algorithms", MODIS Algorithm Theoretical Basis Document Number ATBD-MOD-10, NASA Goddard Space Flight Center
- 4- Klein, A. G., & Barnett, A. C. (2003). Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande river basin for the 2000–2001 snow year. *Remote Sensing of Environment*, 86, 162–176.
- 5- Zhoua, X., H. Xieb, J. M. H. Hendrickx, (2005), "Statistical Evaluation of Remotely Sensed Snow-Cover Products with Constraints from Streamflow and SNOTEL Measurements", *Remote Sensing of Environment*, 94: 214-231.
- ۶- دهقان، ا.، خلقی، م.، تقفیان، ب.، (۱۳۸۵)، "ارزیابی دقت توده های برفی استخراج شده از تصاویر ماهواره NOAA نسبت به ماهواره MODIS"، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، اصفهان
- 7- Porhemmat, J., and B. Saghafian, (2003), "Evaluation of Spatial Resolution of Satellite Data on Snow Cover Estimates", Proc. of AGU/EGS Joint Assembly, Nice, France.
- 8- Liang, T., X. Huang, C. Wu, X. Liu, W. Li, Z. Guo, J. Ren, (2008), "An application of MODIS data to snow cover monitoring in a pastoral area: A case study in Northern Xinjiang, China", *Remote Sensing of Environment* 112, pp 1514–1526.
- 9- Salomonson, V. V., & Appel, I. (2004). Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote Sensing of Environment*, 351–360.
- 10- Tekeli, E. A., Akyurek, Z., Sorman, A. A., Sensoy, A., & Sorman, U. A. (2005). Using MODIS snow cover maps in the modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97, 216-230.
- 12- <https://wist.echo.nasa.gov>