

## Monitoring and comparing NDSI changes using MODIS and ETM+ sensor data to estimate snow cover in North Karun Basin

Ali Morshedi<sup>1\*</sup>, Behrooz Hoseini Boroujeni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrekord, Iran

<sup>2</sup> Expert of Farrokhsahr Agricultural Meteorological Research Center, Shahrekord, Iran

### Abstract

#### Introduction

North Karun Basin is one of the snow-covered regions of Iran and its snowfall has a great role in the water supply situation in the central and southern regions of the country. In this research, an attempt has been made to investigate the changes in the snow-covered surface in the study basin. Access to this information in high and impassable areas is possible only with the help of remote sensing techniques. The MODIS sensor has multiple spectral bands, but the ETM+ sensor has a better spatial resolution. The purpose of this study is to monitor, compare and map snow-covered areas by MODIS and ETM+ data in the northern part of the Karun Basin.

#### Materials and Methods

The research has been conducted in the northern part of Karun Basin, as one of the snowy areas in Iran. This area is geographically between 31° 19' 9" to 31° 39' 17" northern latitude and 49° 33' 56" to 51° 54' 23" eastern longitude. The study basin is over 14802 square kilometers, about 90% of Chaharmahal and Bakhtiari Province and 23% of Karun Basin. The height of the study area is changing between 800 m at Karun No. 4 dam to 4440 m at the Peak of Zard Kooh Mountain. The satellite data included MODIS and ETM+ sensors over a period of 15 years (2000 to 2015) used to calculate NDSI. The satellite pass-times were at Julian day number 360, 333, 365, 355, 360, 363, 331, 350, 336, 355, 342, 345, 363, 334 and 1.

#### Results and Discussion

The minimum and maximum snow-covered areas produced by MODIS in 2010 and 2013 were 107,295 and 1,364,118 ha, respectively, and for ETM+ sensor, were 128,758 and 1,090,580 ha, in 2010 and 2006, respectively. The snow-covered areas estimated by MODIS in 14 dates were more than the corresponding values for ETM+. The exception was 2011 when the snow-covered area in the ETM+ was greater than MODIS (3067 ha or 1.36%). Based on the results in 15 years, the MODIS sensor overestimated the snow-covered area equivalent to 26.95% compared to ETM+. In a small snow-covered area, deviation from the 1:1 line was small but, by increasing snow-covered area, deviation increased. The overall difference in snow pixels in the 15 years between the two sensors was 26.95%. As MODIS pixels are 500 by 500 m, and ETM+ pixels are 30 by 30 m, the size of the pixels in ETM+ resized to 500 m by resampling method in which to use same pixel size for another comparison. After resampling, the slope of the regression line slightly dropped. However, there are no-significant differences. Using data from MODIS and ETM+ sensors had a good performance to monitor spatio-temporal and map snow-covered surfaces in North Karun Basin.

#### Conclusion

Due to spatio-temporal frequency in obtaining MODIS imageries via internet freely in temporal resolution of eight-days and one-day, and also at very wide area coverage, short-time monitoring is possible for hydrological studies, forecasting and flood warning. On the other hand, the ability and better spatial resolution of ETM+, small snowy fields could be estimated and mapped better than MODIS. Although it may be need to mosaic several ETM+ imageries to cover wide areas. However, paying attention to geographical characteristics and time of the study area, end user decides to choose one or both sensor data.

**Keywords:** Landsat, North Karun Basin, MODIS, Snow.

**Article Type:** Research Article

\*Corresponding Author, E-mail: ali.morshedi@outlook.com

**Citation:** Morshedi, A., & Hoseini Boroujeni, B. (2021). Monitoring and comparing NDSI changes using MODIS and ETM+ sensor data to estimate snow cover in North Karun Basin. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(4), 68-82.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9453.1045

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.4.6.0

Received: 25 August 2021, Accepted: 24 September 2021

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2021, Vol. 1, No. 4, pp. 68-82

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## پایش و مقایسه تغییرات NDSI با استفاده از داده‌های سنجنده‌های MODIS و ETM+ به منظور برآورد پوشش برفی در حوضه آبریز کارون شمالی

علی مرشدی<sup>۱\*</sup>، بهروز حسینی بروجنی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران  
<sup>۲</sup> کارشناس مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی فرخشهر، شهرکرد، ایران

### چکیده

حوضه آبریز کارون شمالی، یکی از مناطق برف‌گیر کشور بوده و نزولات برفی آن، نقش بسیار زیادی در وضعیت تأمین منابع آبی مناطق مرکزی و جنوبی کشور دارد. در این پژوهش سعی شده است تا تغییرات سطح پوشیده از برف در حوضه مورد تحقیق بررسی شد. دستیابی به این اطلاعات در مناطق مرتفع و صعب‌العبور، تنها به کمک تکنیک سنجش از دور امکان‌پذیر است. سنجنده MODIS دارای باندهای طیفی متعدد، ولی سنجنده ETM+ دارای قدرت تفکیک مکانی بهتری است. هدف از این تحقیق، پایش، مقایسه و پهنه‌بندی برف از داده‌های سنجنده‌های MODIS و ETM+ در محدوده بخش شمالی حوضه آبریز کارون به‌عنوان یکی از نواحی برف‌گیر ایران است. نتایج برآورد سطوح پوشیده از برف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ نشان داد که سنجنده MODIS بیش‌برآوردی معادل ۲۶/۹۵ درصد نسبت به سنجنده ETM+ داشت. رابطه یک به یک بین تغییرات پوشش برف از دو سنجنده نسبت به یکدیگر پس از نمونه‌برداری مجدد نشان داد که با افزایش سطح پوشیده از برف، انحراف از خط برازش، افزایش، اما شیب خط به‌میزان اندکی کاهش یافته است (۱/۳۱۵۹ در مقابل ۱/۳۰۱۴). به‌طور کلی، نتایج نشان داد که سنجنده‌های MODIS و ETM+ کارایی خوبی در پایش‌های زمانی، مکانی و پهنه‌بندی سطوح پوشیده از برف دارند، اگرچه تفکیک مکانی مناسب سنجنده ETM+ می‌تواند میدان‌های کوچک پوشیده از برف را بهتر از سنجنده MODIS تخمین زده و پهنه‌بندی نماید.

واژه‌های کلیدی: برف، حوضه آبریز کارون شمالی، لندست، مودیس

### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ali.morshedi@outlook.com

استناد: مرشدی، ع.، و حسینی بروجنی، ب. (۱۴۰۰). پایش و مقایسه تغییرات NDSI با استفاده از داده‌های سنجنده‌های MODIS و ETM+ به‌منظور

برآورد پوشش برفی در حوضه آبریز کارون شمالی. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، (۴)، ۶۸-۸۲.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9453.1045

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.4.6.0

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۲

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۴، صفحه ۶۸ تا ۸۲

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

بیش از ۳۰ درصد کل سطح کره زمین، همواره پوشیده از برف بوده که حدود ۱۰ درصد را یخچال‌های دائمی تشکیل می‌دهند (Nolin and Dozier, 2000). از سوی دیگر بیش از ۴۰ درصد نیم‌کره شمالی نیز در فصل زمستان پوشیده از برف است. بر اساس آمار موجود، حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی ایران از ذوب برف تأمین می‌شود (Mashayekhi, 1990).

در مناطق غرب و شمال غرب کشور، برف حاصل از بارش‌های زمستانی، نقش عمده‌ای در ایجاد جریان‌های فصلی و دائمی برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی و غیرکشاورزی در این منطقه ایفا می‌کند (Zeynali et al., 2021). برف در چرخه هیدرولوژی، بسیار حائز اهمیت بوده و پایش سطوح پوشیده از برف از جنبه‌های مختلف مانند تأمین نیاز آبی و تولید محصولات کشاورزی (Rango et al., 2000)، برآورد رواناب حاصل از ذوب برف (Marsh and Woo, 1985)، تأمین رطوبت خاک و آب دریاچه و رودخانه‌ها (Zhang et al., 2017)، جاذبه‌های توریستی و اطلاع از خطرات بهمن (Schneebeil, 2002)، فرسایش خاک (Larney and Timmerman, 2001) و تأثیر بر جمعیت ماکرو و میکروارگانیزم‌ها (Cline, 1997; Gerland et al., 1999; Mir Yaghoobzadeh and Ghanbarpour, 2010; Vafakhah et al., 2011) حائز اهمیت است. بنابراین، برآورد پوشش برف و پهنه‌بندی آن، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب شیرین در مناطق کوهستانی، ضروری قلمداد می‌شود (Donmez et al., 2021; Shayan et al., 2017). در عین حال، پوشش برف بر کیفیت آب در رودخانه‌ها نیز تأثیر می‌گذارد (Parajka et al., 2001). اما، تعیین پوشش برفی، در مناطق مرتفع، تنها از روش تصویربرداری به کمک تکنیک سنجش از دور امکان‌پذیر است. زیرا برداشت زمینی این اطلاعات نیازمند یک شبکه به هم پیوسته از ایستگاه‌های برف‌سنجی بوده که هم از لحاظ اجرایی و هم از نظر اقتصادی مقدور نیست. اندازه‌گیری و سنجش برف در مناطق کوهستانی و بررسی تغییرات آن با روش‌های مستقیم به‌دلیل ناکافی بودن ایستگاه‌های هواشناسی ناممکن بوده و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های برآورد سطوح پوشیده از برف راهکار مناسبی است (Porhemat, 2002).

برف دارای بازتاب شدید در محدوده طیف مرئی و بازتاب ضعیف در محدوده و طول موج‌های مادون قرمز نزدیک است (Wiscombe and Warren, 1980; Warren, 1982). چنین مشخصه‌های طیفی باعث تشخیص پیکسل‌های پوشیده از برف و طبقه‌بندی آن با دقت قابل قبول زمانی و مکانی شده است (Drewry, 1986; Dozier, 1989). سنجش از دور با توجه به

مزیتی که دارد می‌تواند مناطق وسیعی را با وضوح مکانی و زمانی بالا، رصد نماید (Manickam and Barros, 2020). این تکنولوژی توانایی اندازه‌گیری کمی خصوصیات فیزیکی برف و آب در مناطق دورافتاده و غیرقابل دسترس، که اندازه‌گیری زمینی ممکن است گران‌قیمت و خطرناک باشد را فراهم می‌کند (Custodio et al., 2016). بنابراین، می‌توان گفت در حوضه‌هایی که فاقد آمار دقیقی از پوشش برف هستند می‌توان از این تکنولوژی برای استخراج پوشش برفی استفاده کرد (Haghizadeh et al., 2020).

در ایران نیز مطالعات متعددی در زمینه پایش پوشش برف به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است که از آن جمله می‌توان به (Porhemat and Saghafian, 2007) در مطالعه خود تأثیر قدرت تفکیک‌پذیری اطلاعات ماهواره‌ای در تعیین سطح تحت پوشش برف را مورد بررسی قرار دادند. بدین‌منظور سنجنده AVHRR ماهواره NOAA با قدرت تفکیک‌پذیری اسمی معادل ۱۰۰۰ متر و سنجنده TM ماهواره Landsat با قدرت تفکیک‌پذیری اسمی معادل ۲۸/۵ متر انتخاب و مقایسه شدند. در مطالعه (Sharifi et al., 2008) به تحلیل رابطه عمق برف با ارتفاع در حوضه صمصامی که یکی از سرشاخه‌های کوچک کارون است، پرداخته و در این مطالعه بررسی تغییرات عمق برف در ارتفاعات مختلف را از طریق اندازه‌گیری عمق در ۲۵۸ نقطه انجام دادند. در مطالعه‌ای که توسط (Faizizadeh, 2019) انجام شد، از تصاویر ماهواره Sentinel A1 برای برآورد عمق برف و از تصاویر ماهواره Landsat 8 و شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI)<sup>۱</sup> برای برآورد سطح پوشش برف استفاده شد.

در پژوهش (Haghizadeh et al., 2020) با استفاده از NDSI سطح پوشش برف بر تصویر Landsat 8 با به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای این سنجنده استفاده کرده و این شاخص را به‌عنوان ورودی در مدل هیدرولوژیکی رواناب ذوب برف SRM<sup>۲</sup> برای شبیه‌سازی رواناب مورد استفاده قرار دادند. در تحقیق (Kadkhodaei et al., 2020) به کمک تصاویر سنجنده MODIS و با استفاده از الگوریتم Snow Map و NDSI سطح پوشش برف از برف را برآورد کردند. در پژوهش (Donmez et al., 2021) به کمک داده‌های سنجنده MODIS و Landsat 8، به بررسی پوشش برف در منطقه مدیترانه‌ای ترکیه اقدام شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این شاخص بر داده‌های Landsat 8 به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای این سنجنده بهتر عمل می‌کند. در تحقیق (Afifi, 2021) نقشه پوشش برف در یخچال‌های زاگرس، در استان کهگیلویه و بویر احمد با استفاده از تصاویر

<sup>1</sup> Normalized Difference Snow Index

<sup>2</sup> Snow Runoff Model

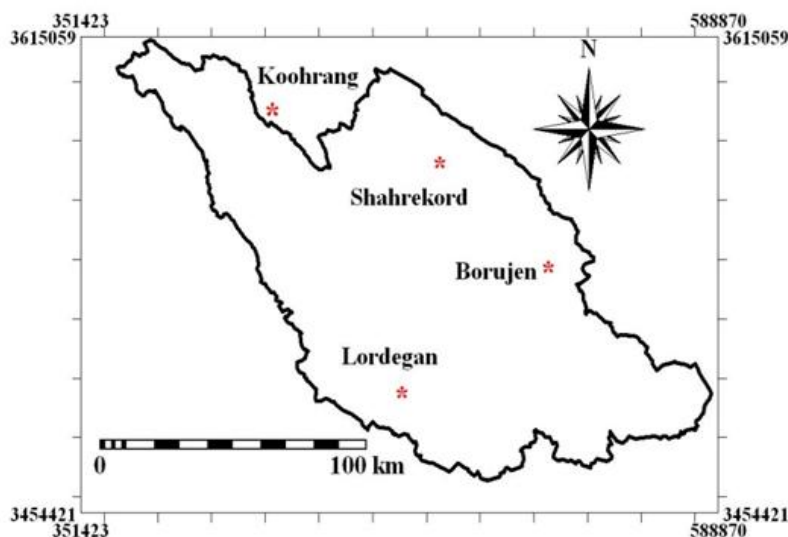
قسمت اعظم سرشاخه‌های اصلی رودخانه کارون را در بر دارد. این ناحیه از نظر جغرافیایی در فاصله بین عرض شمالی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۹ دقیقه و طول شرقی ۴۹ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۴ دقیقه قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت این حوضه بالغ بر ۱۴۸۰۲ کیلومتر مربع بوده و ۹۰ درصد از مساحت استان چهارمحال و بختیاری و ۲۳ درصد از حوضه کارون در آن واقع شده است. ارتفاع این منطقه از ۸۰۰ متر در محل جایگاه سد کارون چهار تا ۴۴۴۰ متر در قله زردکوه متغیر است. در این پژوهش از اطلاعات ماهواره‌ای مربوط به سنجنده‌های MODIS و ETM+ در یک بازه زمانی ۱۵ ساله (۲۰۱۵ تا ۲۰۰۰) به ترتیب در روزهای گذر ماهواره به شماره ژولیبوسی برابر با ۳۶۰، ۳۳۳، ۳۶۵، ۳۵۵، ۳۶۰، ۳۶۳، ۳۳۱، ۳۵۰، ۳۳۶، ۳۵۵، ۳۴۲، ۳۴۵، ۳۶۳، ۳۳۴ و ۱ استفاده شد.

MODIS به دست آمد و با استفاده از نتایج آن به تخمین پهنه ذوب برف اقدام شد. در این تحقیق قدرت تفکیک تصویر MODIS به وسیله روش Resampling به ۱۰۰ متر تبدیل شد. از جمله مطالعات دیگر از این قبیل می‌توان به Ghorbanzadeh (2007); Rasouli and Adhami (2007); Kharazi et al. (2007); Rasouli and Adhami (2007); Raigani et al. (2008 a, b); Dini et al. (2008); اشاره نمود. لذا هدف از این تحقیق، پایش، مقایسه و پهنه‌بندی پوشش برف از داده‌های سنجنده‌های MODIS و ETM+ در محدوده بخش شمالی حوضه آبریز کارون طی دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵) است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در بخش شمالی حوضه آبریز کارون که یکی از نواحی برف‌گیر در ایران است، انجام شد. منطقه مورد بررسی



شکل ۱- موقعیت حوضه کارون شمالی  
Figure 1- Location of North Karun Basin

به علت بازتاب پایین برف در باند مادون قرمز و بازتاب بالا در باندهای مرئی، شاخص NDSI برای تشخیص سطوح برفی کارایی خوبی دارد. شاخص پوشش برف NDSI در واقع نسبت بین اختلاف دو طیف مادون قرمز و مرئی (Dozier, 1989; Hall et al., 1998) است. این شاخص مانند تعدادی دیگر از روش‌های نسبت‌گیری طیفی، اثرات اتمسفری را کاهش می‌دهد (Hall et al., 2001). بر اساس پژوهش Hall et al. (2000) محاسبه شاخص NDSI به صورت معادله کلی ۱ بیان شده است:

$$NDSI = \frac{P_{Green} - P_{SWIR}}{P_{Green} + P_{SWIR}} \quad (1)$$

### ۲-۲- شاخص پوشش برف NDSI

بازتابندگی سطوح پوشیده از برف به عواملی مانند دانه‌بندی، شکل، مقدار آب، زبری سطح، عمق و مقدار ناخالصی برف، زاویه فرود خورشیدی و زاویه بازتاب وابسته است. با افزایش ماندگاری برف، از میزان تابندگی آن در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک کاسته می‌شود که علت آن را ذوب و انجماد دوباره برف و لذا افزایش دانه‌بندی برف می‌دانند (Barton et al., 2000). مهم‌ترین ویژگی طیفی که باعث اختلاف در بازتاب‌های برفی می‌شود، تفاوت در محدوده‌های طیف مرئی و مادون قرمز است که با بررسی بازتاب‌های برف، ابر و زمین بررسی می‌شود.

و MyD10A2 با دقت زمانی هشت روز و مربوط به نوارهایی با ابعاد ۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ کیلومتر، با دقت مکانی ۵۰۰ متر و سیستم پروجکشن سینوسی هستند. کل داده‌ها مشتمل بر پیسکل‌هایی با پوشش حداکثری برف (هشت روزه) بوده و سطوح پوشیده از برف برای هر دو سنجنده بر اساس الگوریتم نقشه برف که از NDSI استفاده می‌کند، تولید می‌شوند (Hall et al., 2002). در واقع نقشه‌های پوشش برف، رسترهای کد شده از تصاویر MODIS هستند. این کدها عبارتند از: صفر (فاقد داده)، یک (فاقد طبقه‌بندی)، ۱۱ (شب)، ۲۵ (زمین - فاقد برف)، ۳۷ (دریاچه - مکان‌های آبی درون اراضی)، ۳۹ (اقیانوس)، ۵۰ (ابر)، ۱۰۰ (دریاچه‌های یخی)، ۲۰۰ (برف)، ۲۵۴ (اشباع آشکار ساز سنجنده MODIS) و ۲۵۵ (پیکسل‌های بدون داده) هستند (Hall et al., 2001).

تصاویر مورد استفاده از پایگاه اطلاعاتی NSIDC بارگذاری و بخش مربوط به حوضه مورد مطالعه به کمک نرم‌افزار ArcGIS 10.8.1 از تصویر اصلی، استخراج و در نهایت مقدار سطح پوشیده از برف با آگاهی از تعداد پیکسل‌های با ارزش عددی ۲۰۰ در هر تصویر و حاصل ضرب آن در مساحت هر پیکسل، در منطقه مورد پژوهش تعیین شد.

#### ۲-۴- داده‌های Landsat ETM+

هر تصویر سنجنده ETM+ شامل هشت باند طیفی است. یک باند پانکروماتیک با دقت مکانی ۱۵ متر، شش باند مربوط به طیف مرئی و مادون قرمز (موج کوتاه) با دقت مکانی ۳۰ متر و یک باند حرارتی با دقت مکانی ۶۰ است. نقشه پوشش برف با استفاده از باندهای ۲ و ۵ تهیه شد؛ زیرا برف دارای بازتاب حداکثری در محدوده مرئی طیف (باند ۲ با طول موج ۰/۵۶ میکرومتر) و بازتابی نزدیک به صفر در بخش مادون قرمز موج کوتاه (باند ۵ با طول موج ۱/۶۵ میکرومتر) است.

با توجه به پوشش مکانی محدودتر تصاویر ماهواره Landsat 7 نسبت به MODIS، نیاز بود تا از موزائیک تصاویر استفاده شود، به نحوی که کل حوضه آبریز مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور از ۷۵ تصویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat 7 طی ۱۵ سال (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵) به ترتیب مربوط به روزهای گذر به شماره ژولیوسی برابر با ۳۶۰، ۳۳۳، ۳۶۵، ۳۵۵، ۳۶۰، ۳۶۳، ۳۶۰، ۳۳۱، ۳۵۰، ۳۳۶، ۳۵۵، ۳۴۲، ۳۴۵، ۳۶۳، ۳۳۴ و یک شامل هشت باند (مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی) مربوط به ردیف ۱۶۳ مسیر ۳۸، ردیف ۱۶۴ مسیر ۳۸، ردیف ۱۶۵ مسیر ۳۸، ردیف ۱۶۴ مسیر ۳۷ و ردیف ۱۶۵ مسیر ۳۷ (در سیستم مرجع جهانی) و در قالب تصویری GeoTIF استفاده شد.

تصویر مرکزی مربوط به ردیف ۱۶۴ مسیر ۳۸ بود. پس از موزائیک کردن هر پنج تصویر، تعداد ۱۵ گروه تصویر موزائیک

در این معادله  $\Gamma_{\text{Green}}$  و  $\Gamma_{\text{SWIR}}$  مربوط به بازتاب<sup>۱</sup> در طول موج‌های ۰/۶۶ نانومتر و ۱/۶ نانومتر سنجنده هستند. شاخص NDSI با استفاده از باندهای سنجنده MODIS به صورت رابطه ۲ و برای باندهای سنجنده ETM+ به صورت رابطه ۳ بیان می‌شوند:

$$\text{NDSI}_{(\text{MODIS})} = \frac{\text{band 4} - \text{band 6}}{\text{band 4} + \text{band 6}} \quad (2)$$

$$\text{NDSI}_{(\text{ETM+})} = \frac{\text{band 2} - \text{band 5}}{\text{band 2} + \text{band 5}} \quad (3)$$

پیکسل‌های دارای NDSI بزرگتر یا مساوی ۰/۴ پوشیده از برف و در صورتی که از ۰/۴ کم‌تر باشند به عنوان پیکسل‌های فاقد برف ارزیابی می‌شوند (قالب دودویی یا باینری). به بیانی دیگر در صورتی که ۵۰ درصد هر پیکسل با برف پوشیده شده باشد، NDSI آن حداقل ۰/۴ برآورد شده و پوشیده از برف شناخته می‌شود. از طرف دیگر پیکسل‌های آب، دارای NDSI نزدیک به ۰/۴ بوده و بایستی یک طبقه‌بندی مناسب برای تفکیک آب از برف انجام پذیرد. چون آب و برف هر دو دارای بازتابی کم‌تر از ۱۱ درصد در باند ۲ هستند، لذا در صورتی که پیکسلی در باند ۲ دارای تابشی بیش از ۱۱ درصد و مقدار NDSI هم بیش‌تر از ۰/۴ داشته باشد، آن پیکسل پوشیده از برف در نظر گرفته می‌شود. به عبارت بهتر در صورتی که بازتاب باند ۴ نیز کم‌تر از ۱۰ درصد باشد، آن پیکسل به عنوان برف در نظر گرفته نخواهد شد (Cline, 1997).

پیکسل‌های کاملاً برفی، دارای NDSI بالا بوده، اما در پیکسل‌های مخلوط (برف به همراه سایر پدیده‌ها) مقدار NDSI کاهش پیدا می‌کند. در مناطق جنگلی، تعداد فراوانی پیکسل‌های برفی با NDSI کم‌تر از ۰/۶ شناسایی شده که برای حل این مشکل از طبقه‌بندی توأمان پیکسل‌ها با استفاده از شاخص‌های NDSI و NDVI برای تعیین پوشش برف استفاده می‌شود. از طرف دیگر، پیکسل‌های با پوشش جنگلی، دارای NDVI بالاتری در مقایسه با پیکسل‌های غیرجنگلی هستند، بنابراین در مناطق جنگلی برای اصلاح و بهبود الگوریتم تشخیص برف از مقادیر پایین‌تر NDSI به همراه NDVI استفاده می‌شود. شکل ۲ نحوه انجام عملیات پردازشی را نشان می‌دهد.

#### ۲-۳- داده‌های MODIS

تصاویر یخ و برف MODIS از طریق مرکز آرشیو و توزیع فعال<sup>۲</sup> (NDAAC) مربوط به مرکز ملی داده‌های یخ و برف<sup>۳</sup> (NSIDC) از سپتامبر سال ۲۰۰۰ برای ماهواره Terra و از ژوئیه سال ۲۰۰۲ برای ماهواره Aqua وجود دارد. داده‌های تصاویر MOD10A2

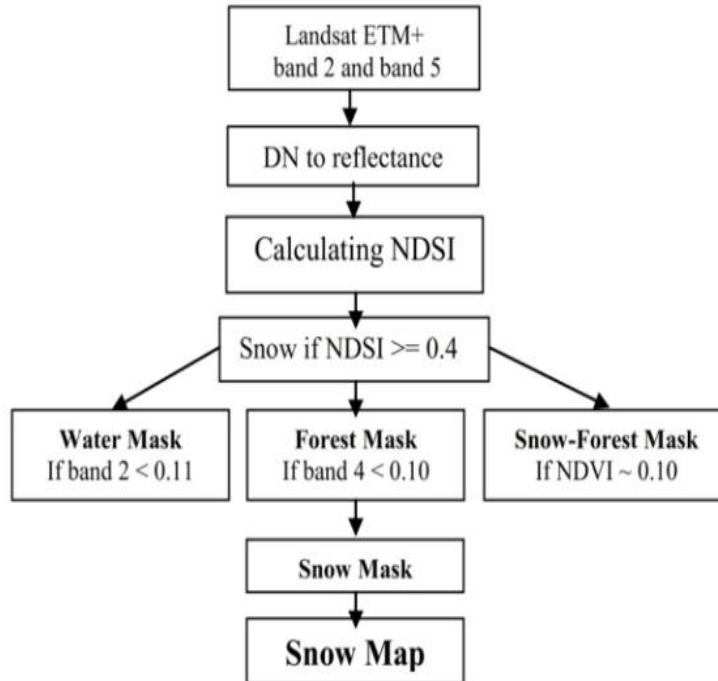
<sup>1</sup> Reflectance

<sup>2</sup> NASA Distributed Active Archive Center.

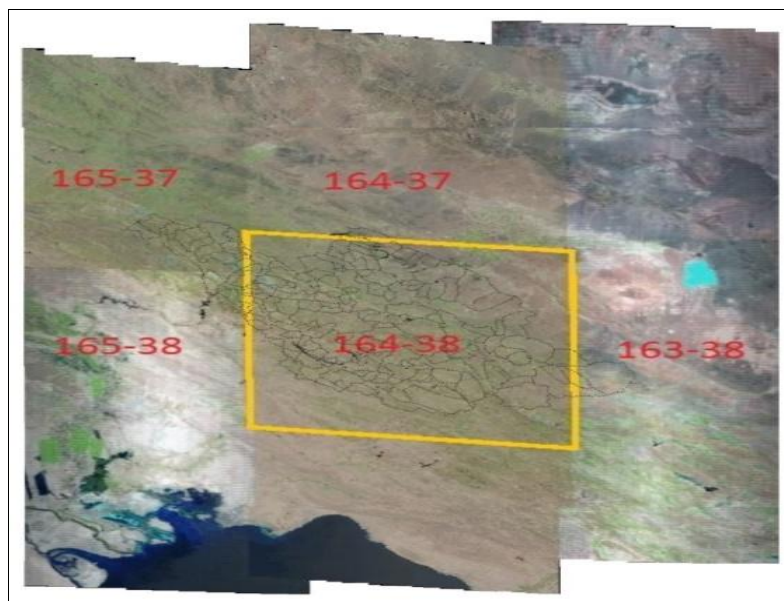
<sup>3</sup> National Snow and Ice Data Center.

و پردازش زیرتصویر نهائی، نرم‌افزار ArcGIS 10.8.1 برای ترسیم و پهنه‌بندی پوشش برف و از MS-Office 2019 برای نگارش و ترسیم شکل‌ها و مقایسه نتایج آماری استفاده شد. در شکل ۳ نحوه ترکیب تصاویر برای ایجاد موزائیک در محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شود.

شده بدست آمد تا کل محدوده مورد مطالعه را پوشش دهد. این تصاویر به صورت زمین-مرجع و اصلاح شده از نظر اتمسفری و هندسی با استفاده از نرم‌افزار LGPS توسط سازمان فضائی ایالات متحده در اختیار قرار گرفت. در این پژوهش از نرم‌افزارهای ERDAS IMAGINE 2015 برای ایجاد موزائیک تصاویر، جداسازی محدوده مطالعاتی از کل تصویر موزائیک شده



شکل ۲- مراحل عملیات تولید نقشه برف  
Figure 2- Steps of snow map production operations



شکل ۳- چیدمان موزائیک تصاویر  
Figure 3- Mosaic arrangement of images

## ۳- نتایج و بحث

نتایج محاسبات سطوح پوشیده از برف حاصل از پردازش تصاویر سنجنده‌های MODIS و ETM+ در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس کم‌ترین و بیش‌ترین سطح پوشیده از برف در حوضه کارون شمالی برای سنجنده MODIS به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ (۱۰۷۲۹۵ و ۱۳۶۴۱۱۸ هکتار) و برای سنجنده ETM+ به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۶ (۱۲۸۷۵۸ و ۱۰۹۰۵۸۰ هکتار) بود (جدول ۱).

در ستون تغییرات، تفاضل سطح پوشیده از برف (بر حسب هکتار) و درصد تغییرات سطح برآورد شده بین دو سنجنده ارائه شده است. نتایج سطوح پوشیده از برف نشان داد که در ۱۴ تاریخ،

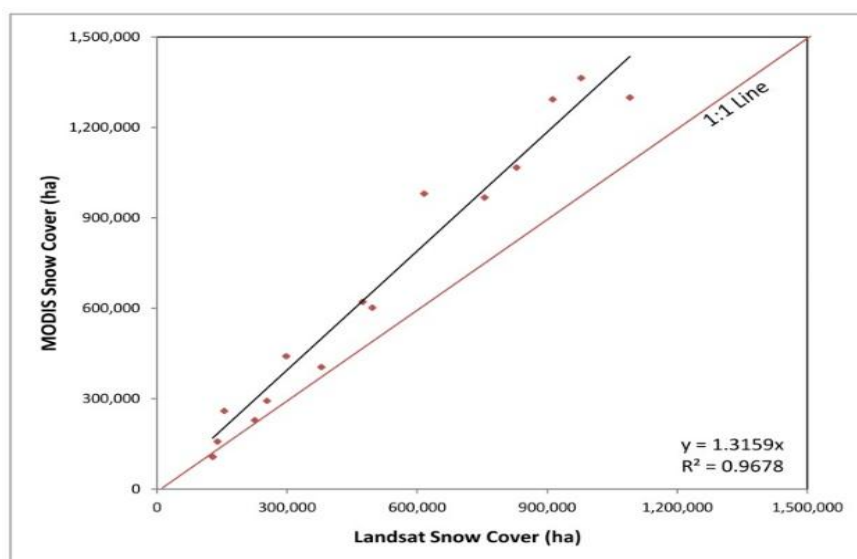
برآوردهای سنجنده MODIS بیش‌تر از مقادیر متناظر برای سنجنده ETM+ بود و فقط در یک مورد (۲۰۱۱) مقدار پوشش برفی در سنجنده ETM+ فزونی یافت (۳۰۶۷ هکتار یا ۱/۳۶ درصد نسبت به MODIS). به‌طور کلی، بر اساس نتایج ۱۵ ساله، سنجنده MODIS بیش‌برآوردی معادل ۲۶/۹۵ درصد نسبت به محاسبات در سنجنده ETM+ نشان داد.

رابطه ۱:۱ بین تغییرات پوشش برف از دو سنجنده نسبت به یک‌دیگر در شکل ۴ نشان داده شده است و مشاهده می‌شود در سطوح کوچک پوشیده از برف، انحراف از خط برازش، اندک و با افزایش سطح پوشیده از برف در محور X (سنجنده ETM+) انحراف در محور Y (سنجنده MODIS) افزایش می‌یابد.

جدول ۱- مقدار سطوح پوشیده از برف و تفاوت آن در دو سنجنده MODIS و ETM+

Table 1- The amount of snow covered surfaces and the difference between the two sensors MODIS and ETM+

سال	روز	سطح پوشیده از برف (هکتار)		تفاوت MODIS با ETM+	
		MODIS	ETM+	نسبت (درصد)	سطح (هکتار)
2000	360	967674	755353	28.11	212321
2002	333	441134	298005	48.03	143129
2002	365	602221	496612	21.27	105609
2004	355	1293095	912512	41.71	380583
2006	360	1299418	1090580	19.15	208838
2007	331	158065	139523	13.29	18542
2007	363	1067064	829235	28.68	237829
2008	350	405024	379025	6.86	25999
2009	336	980542	615989	59.18	364553
2010	355	107295	128758	16.67	21463
2011	342	228697	225630	-1.36	3067
2012	345	621544	474370	31.03	147174
2013	363	1364118	978028	39.48	386090
2014	334	292917	253668	15.47	39249
2015	001	259485	155105	67.30	104380



شکل ۴- رابطه ۱:۱ بین مقادیر برآورد شده توسط دو سنجنده

Figure 4- 1:1 relationship between the values estimated by the two sensors

(۳۰ متر در ۳۰ متر) این امر قابل توجیه است؛ چرا که یک پیکسل (۳۰ متر در ۳۰ متر) نسبت به اندازه‌های کوچک‌تر هر پیکسل ETM+ در ۵۰۰ متر

به دلیل اندازه‌های بزرگ‌تر هر پیکسل MODIS (۵۰۰ متر) در ۵۰۰ متر نسبت به اندازه‌های کوچک‌تر هر پیکسل ETM+ در ۵۰۰ متر

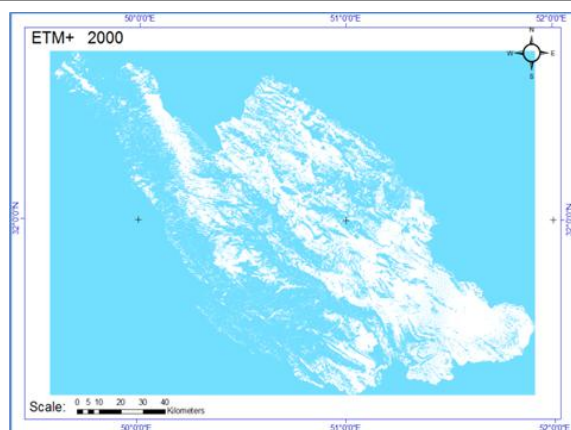
شکل ۱۲ تغییرات روزانه ارتفاع برف در ایستگاه هواشناسی کوه‌رنگ در چهار سال از کل دوره ۱۵ ساله را نمایش می‌دهد. همچنین، مشاهده می‌شود که در سال ۲۰۰۰ و در روز گذر ماهواره، ارتفاع برف نسبت به روز گذر ماهواره در سال ۲۰۰۴ از ارتفاع بیش‌تری برخوردار است که مطابق استدلال پیشین، می‌توان گستردگی و سطوح پوشیده از برف بیش‌تری را در حوضه انتظار داشت که آمار و ارقام محاسبه شده نیز مؤید این مطلب است (جدول ۱ و شکل‌های ۵ تا ۱۰). سال ۲۰۱۰ به‌عنوان کم‌بارش‌ترین سال از نظر برف در بین سال‌های مورد بررسی (شکل‌های ۹ و ۱۰) و چهار سانتی‌متر ارتفاع برف در ایستگاه هواشناسی کوه‌رنگ در زمان گذر ماهواره به خوبی سطح اندک پوشیده از برف را نمایش می‌دهد (جدول ۱ و شکل‌های ۹ و ۱۰). در پژوهش (Porhemat and Saghaifan (2007) از مقایسه دقت تصاویر ماهواره‌ای AVHRR و TM در تعیین پوشش برفی در مناطق برف‌گیر حوضه کارون نتیجه شد که ضریب تبیین ( $R^2$ ) مساحت برف در تصاویر دو سنجنده در دو روز از سال ۱۹۹۷ برابر با ۰/۹۹۸۲ و ۰/۹۹۹۹ بوده است که در پژوهش حاضر به‌طور میانگین (۱۵ ساله) برابر با ۰/۹۶۷۸ به‌دست آمده است (شکل ۴). (Porhemat and Saghaifan (2007) نتیجه گرفتند که هر چه دقت تفکیک مکانی اطلاعات ماهواره‌ای بیش‌تر باشد، سطح زیر پوشش برف با دقت بیش‌تری تعیین می‌شود و برای اینکه سطح زیر پوشش برف در میدان‌های برفی در تصاویر ماهواره‌ای ظاهر شود، باید برای هر قدرت مکانی به یک حد آستانه‌ای برسند که برای سنجنده AVHRR با قدرت تفکیک ۱/۱ کیلومتر در حدود ۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد. در تحقیق مورد اشاره نتیجه‌گیری شد که تصاویر سنجنده AVHRR، سطوح پوشیده از برف را نسبت به سنجنده TM به‌طور متوسط حدود ۱۵ درصد (دامنه ۱۰ تا ۶۰ درصد) بیش‌تخمین برآورد کردند. در پژوهش Vafakhah et al. (2011) خطای برآورد مساحت پوشیده از برف در ۱۴ تصویر طی سه سال برای مقایسه سنجنده‌های AVHRR و MODIS نشان داد که برآوردهای سنجنده AVHRR به‌طور متوسط ۵۷/۹۷ درصد و در دامنه بین ۳/۸۷ درصد تا ۲۶۷/۴۲ درصد است. دامنه مذکور در پژوهش حاضر بین ۱/۳۶ تا ۵۹/۱۸ قرار داشت (میانگین ۲۶/۹۵ درصد). علاوه بر این، Dini et al. (2008) عدم توانایی مطلوب سنجنده AVHRR نسبت به سایر سنجنده‌ها را فقدان باند مادون قرمز میانی (۱/۵۵ تا ۱/۷۵ میکرومتر) گزارش می‌نمایند زیرا به خوبی قادر به تفکیک برف و ابر نیست.

با ۲۵۰۰۰۰ متر مربع در مقایسه با ۹۰۰ متر مربع به ازای هر پیکسل خطا در سنجنده ETM+ خواهد بود. به‌عبارت بهتر، برای هر پیکسل MODIS که به‌عنوان پیکسل پوشیده از برف در نظر گرفته می‌شود در مجموع حدود ۲۷۷ پیکسل سنجنده ETM+ بایستی پوشیده از برف باشد.

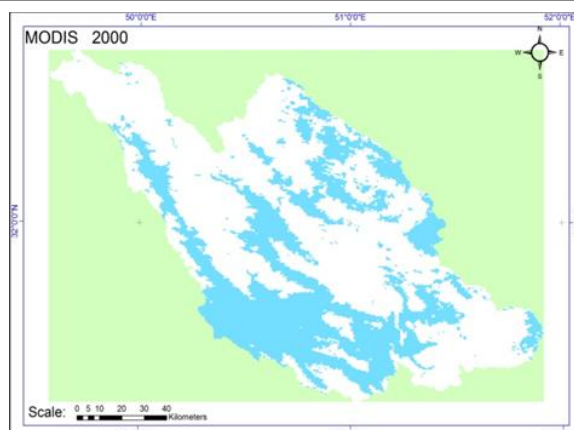
در شکل‌های ۵ تا ۱۰ تعدادی از نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به سطوح پوشیده از برف (سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۰) نمایش داده شده است. با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ (سال ۲۰۰۰) روند و تغییرات جغرافیایی موجود در میدان‌های پوشیده از برف حاصل پردازش بر داده‌های دو سنجنده تا حدودی یکسان است، اما در تصویر سنجنده ETM+ جزئیات بیش‌تری (به‌علت اندازه کوچک‌تر پیکسل‌ها) از میدان‌های برفی نسبت به MODIS مشاهده می‌شود. مساحت پهنه برفی در سنجنده MODIS نسبت به سنجنده ETM+ حدود ۲۸/۱۱ درصد بیش‌تر برآورد شده است. پهنه‌بندی سنجنده‌های MODIS و ETM+ در سال ۲۰۰۴ در شکل‌های ۷ و ۸ به‌ترتیب نمایش داده شده است. در این شکل‌ها وسعت میدان‌های پوشیده از برف (نواحی سفید رنگ) گسترده‌تر از میدان‌های برفی در شکل‌های ۵ و ۶ است زیرا برای سنجنده MODIS وسعت مناطق پوشیده از برف برابر با ۹۶۷۶۷۴ و ۱۲۹۳۰۹۵ هکتار و برای سنجنده ETM+ به‌ترتیب برابر با ۷۵۵۳۵۳ و ۹۱۲۵۱۲ هکتار در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ به‌دست آمد (جدول ۱). با افزایش سطح پوشیده از برف، مقدار بیش‌تخمین در برآوردهای سنجنده MODIS نیز افزایش یافت و نسبت به سال ۲۰۰۰ از ۲۸/۱۱ درصد نسبت به سنجنده ETM+ به ۴۱/۷۱ درصد رسید (جدول ۱). برآورد و پهنه‌بندی سطوح پوشیده از برف توسط سنجنده MODIS در سال ۲۰۱۰ کم‌ترین میزان در بین سال‌های مورد بررسی است (شکل ۹) و از حداقل تفاوت با برآورد سنجنده ETM+ (شکل ۱۰) برخوردار است.

در صورتی که ایستگاه هواشناسی کوه‌رنگ به‌عنوان مرجع و مهم‌ترین ایستگاه ثبت مقدار بارش‌ها در حوضه آبریز کارون شمالی در نظر گرفته شود، می‌توان رابطه مستقیمی بین ارتفاع برف در ایستگاه کوه‌رنگ با سطح پوشیده از برف در حوضه مورد بررسی انتظار داشت (شکل ۱۱). به‌عبارتی، با افزایش بارش (ارتفاع) برف، گستردگی سطح پوشیده از برف نیز قابل انتظار است. بنابراین، صحت و درستی نقشه‌های پهنه‌بندی برف در سال‌های مورد مطالعه (شکل‌های ۵ تا ۱۰) با استناد به شکل ۱۱ نیز قابل توجیه و تأیید است.

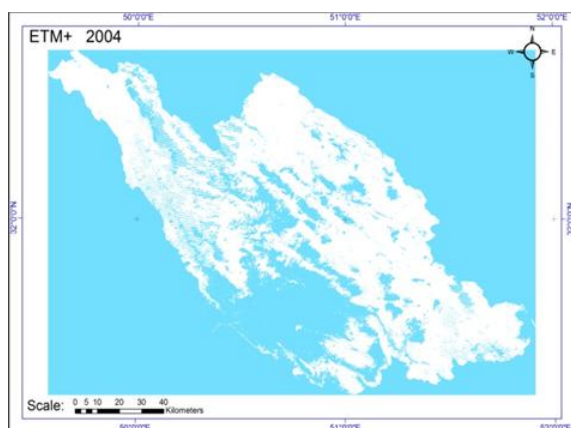




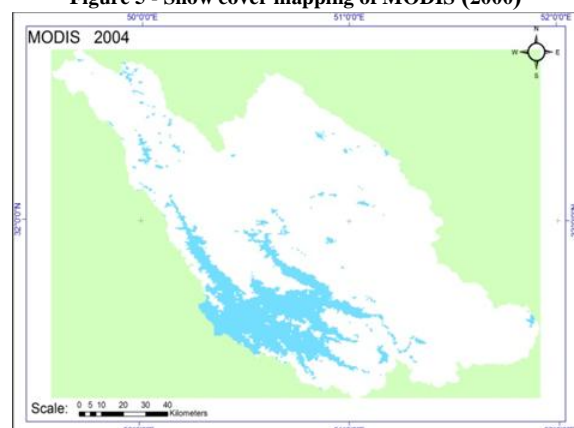
شکل ۶- پهنه‌بندی پوشش برفی از سنجنده ETM+ (۲۰۰۰)  
Figure 6 - Snow cover mapping of ETM+ year 2000



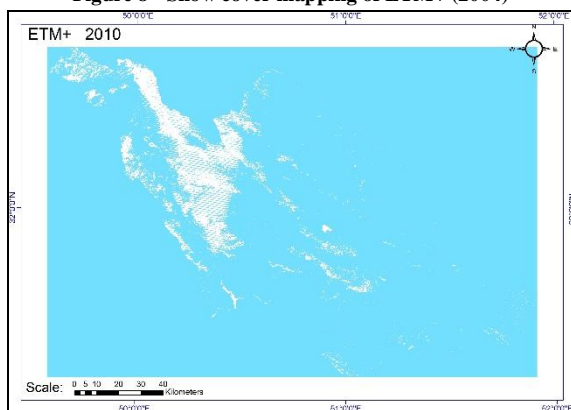
شکل ۵- پهنه‌بندی پوشش برفی از سنجنده MODIS (۲۰۰۰)  
Figure 5 - Snow cover mapping of MODIS (2000)



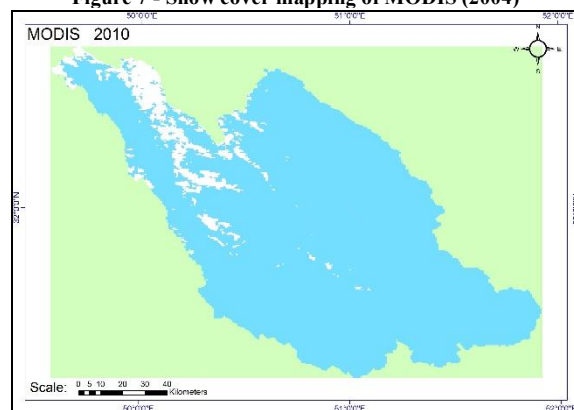
شکل ۸- پهنه‌بندی پوشش برفی از سنجنده ETM+ (۲۰۰۴)  
Figure 8 - Snow cover mapping of ETM+ (2004)



شکل ۷- پهنه‌بندی پوشش برفی از سنجنده MODIS (۲۰۰۴)  
Figure 7 - Snow cover mapping of MODIS (2004)



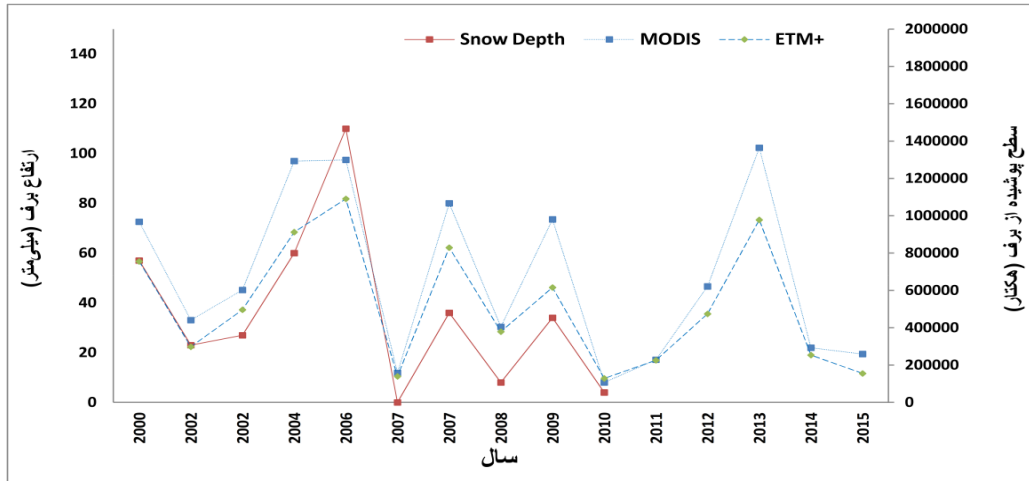
شکل ۱۰- پهنه‌بندی پوشش برفی از سنجنده ETM+ (۲۰۱۰)  
Figure 10 - Snow cover mapping of ETM+ (2010)



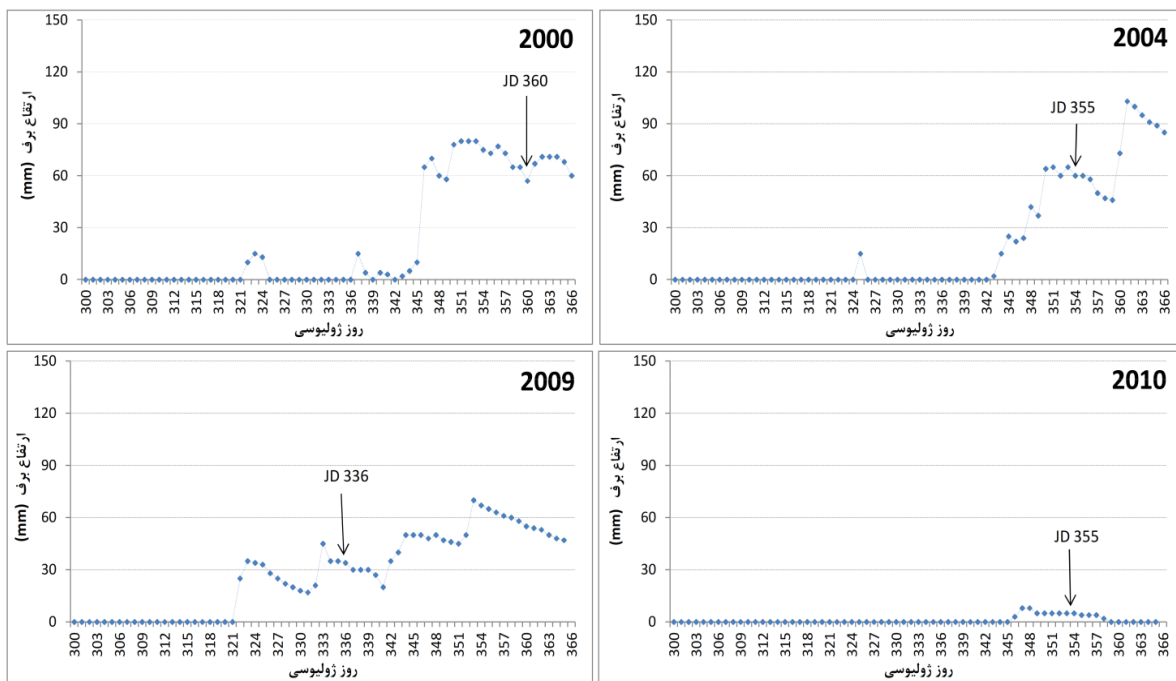
شکل ۹- پهنه‌بندی پوشش برفی از سنجنده MODIS (۲۰۱۰)  
Figure 9 - Snow cover mapping of MODIS (2010)

دارای همبستگی خوب با برآوردهای سنجنده ETM+ بود. اگرچه، در مواقعی که رابطه خوبی بین نتایج دو سنجنده برقرار نشد، علت آن، ناشی از ابرناکی تصاویر ماهواره‌ای در زمانی که گستره سطوح پوشیده از برف اندک بود، ذکر شد. در پژوهش حاضر نیز در مواردی که ابرناکی تصاویر مورد استفاده بیش از ۱۰ درصد بوده است نتایج مشابهی دیده شد.

در تحقیق Afifi (2021) مشخص شد که الگوریتم NDSI برای تولید نقشه‌های پوشش برف روزانه بسیار مناسب و کاراست و به‌وسیله نتایج آن می‌توان با درصد اطمینان بالایی موقعیت مکانی و همچنین موقعیت ارتفاعی سطوح برفی را در منطقه مشخص نمود. در تحقیق Zeynali et al. (2021) نیز مثبت ارزیابی شد. در پژوهش‌های Crawford (2015) و Donmez et al. (2021) گزارش شده است که نتایج حاصل از سنجنده MODIS



شکل ۱۱- مقایسه بین ارتفاع برف (ایستگاه کوه‌رنگ) و سطح پوشیده از برف (حوضه آبریز کارون شمالی)  
Figure 11- Comparison between snow height (Koohrang station) and snow covered surface (North Karum Basin)



شکل ۱۲- تغییرات ارتفاع روزانه برف در ایستگاه هواشناسی کوه‌رنگ در چهار سال از کل بازه زمانی مورد بررسی  
Figure 12- Changes in the daily height of snow in Koohrang Meteorological Station in four years of the total period (JD stands for Julius Day for satellite transit day)

یکدیگر پس از عملیات نمونه‌برداری دوباره در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ که به ترتیب عرض از مبدأ مساوی و مخالف صفر در نظر گرفته، نشان داده شده است. مشابه با نتایج پیشین (شکل ۴) با افزایش سطح پوشیده از برف، انحراف از خط برازش، افزایش می‌یابد، اما شیب خط به میزان اندکی کاهش یافته است (۱/۳۱۵۹ در مقابل ۱/۳۰۱۴).

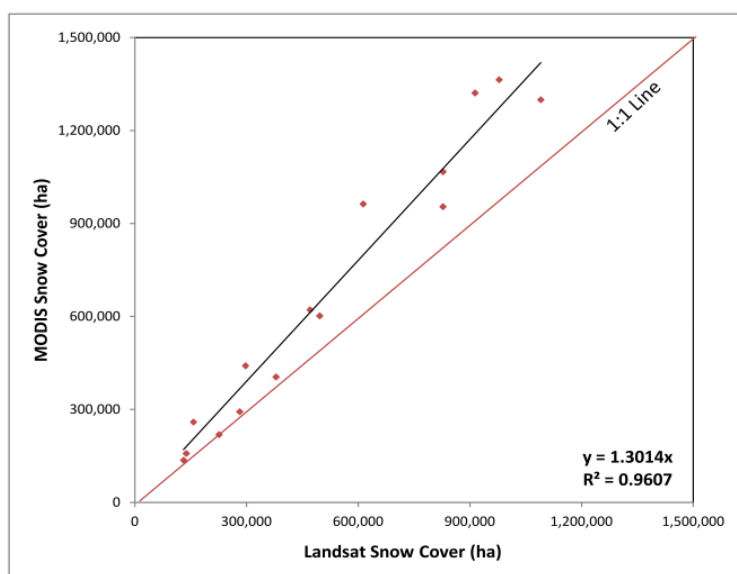
بنابراین، اگرچه شیب خط برازش کاهش یافته، اما همچنان تفاوت معناداری بین برآوردهای سطوح پوشیده از برف و پهنه‌بندی آن بین دو سنجنده وجود دارد. عرض از مبدأ با علامت

با توجه به این که پیکسل‌های سنجنده MODIS برابر با ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر و برای سنجنده ETM+ برابر با ۳۰ متر در ۳۰ متر هستند، با استفاده از تکنیک نمونه‌برداری مجدد<sup>۶</sup> که در جریان آن ابعاد پیکسل تصویر مورد پردازش دچار تغییر اندازه می‌شوند، اقدام به استفاده از این تکنیک برای داده‌های سنجنش از دور در سنجنده ETM+ شد، به عبارتی اندازه‌های هر پیکسل این سنجنده به اندازه‌های هر پیکسل سنجنده MODIS تبدیل شد. رابطه ۱:۱ بین تغییرات پوشش برف از دو سنجنده نسبت به

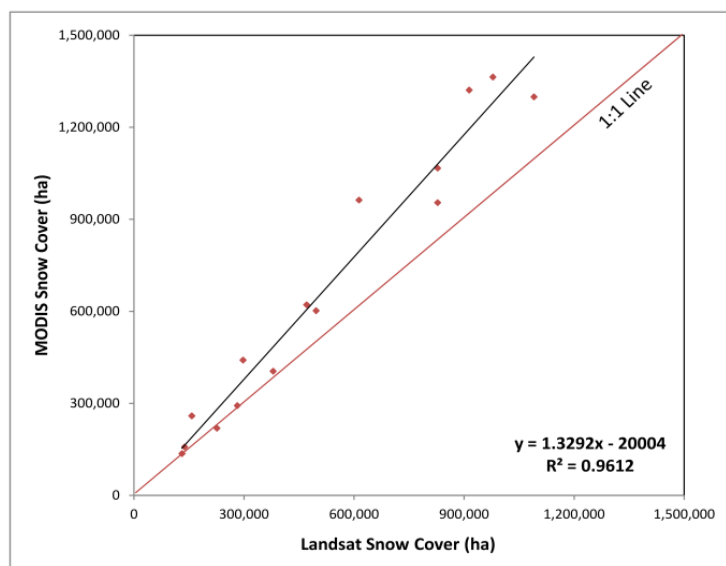
<sup>۶</sup> Resampling

سطوح برفی از دقت خوبی برخوردار و فیوژن پیکسل‌های ۵۰۰ متری در تصاویر MODIS به پیکسل‌های ۳۰ متری به کمک تصاویر ETM+ موجب بهبود برآورد سطوح برفی در مقیاس روزانه شد. روند کاهشی در سطوح پوشیده از برف، مشابه با تحقیق حاضر در پژوهش (Khosravi et al. 2017) که در ارتفاعات زردکوه بختیاری انجام شد، نیز گزارش شده است.

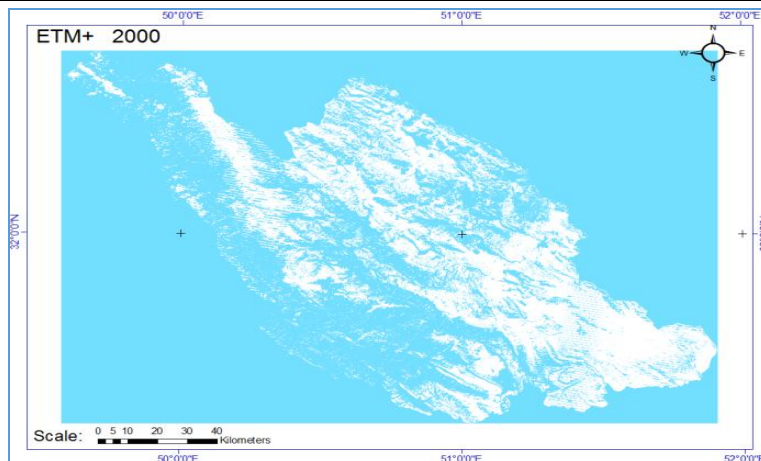
منفی در شکل ۱۴ بدین معنی است که بین سطوح کوچک برف رابطه معناداری وجود ندارد (Porhemat and Saghafian, 2007). در شکل‌های ۱۶ تا ۱۷ نقشه‌های پهنه‌بندی سطوح پوشیده از برف برای سنجنده MODIS و ETM+ قبل و بعد از عملیات نمونه‌برداری مجدد نمایش داده شده‌اند. در پژوهش (Rittger et al. 2021) این نتیجه به دست آمد که هر دو سنجنده ETM+ و MODIS در تشخیص و تخمین



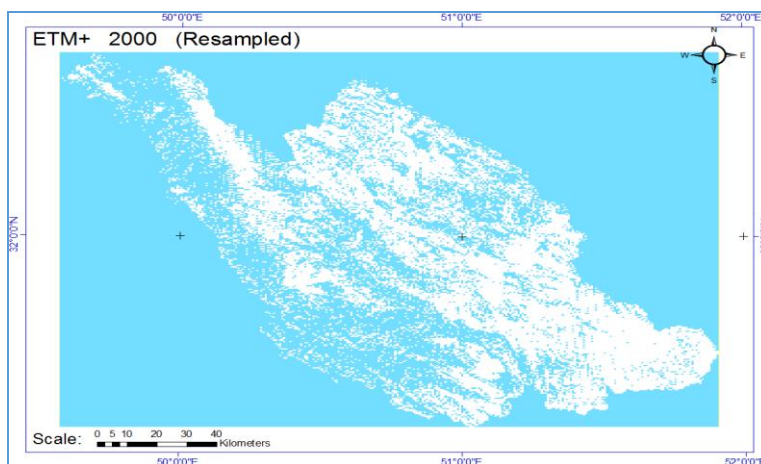
شکل ۱۳- رابطه ۱:۱ بین مقادیر برآورد شده توسط دو سنجنده قبل از Resampling بر داده‌های ETM+  
Figure 13- 1: 1 Line relationship between the values estimated by two sensors before resampling on ETM+ data



شکل ۱۴- رابطه ۱:۱ بین مقادیر برآورد شده توسط دو سنجنده پس از Resampling بر داده‌های ETM+  
Figure 14- 1: 1 Line relationship between the values estimated by two sensors after resampling on ETM+ data



شکل ۱۵- پهنه‌بندی سطوح پوشیده از برف برای سنجندهٔ ETM+ قبل از Resampling  
Figure 15- Mapping snow-covered surfaces for ETM + sensor before resampling



شکل ۱۶- پهنه‌بندی سطوح پوشیده از برف برای سنجندهٔ ETM+ پس از Resampling  
Figure 16- Mapping snow-covered surfaces for ETM + sensor after resampling

قابل دسترسی هستند، پایش‌های به‌هنگام و کوتاه مدتی برای مطالعات هیدرولوژیکی، پیش‌بینی و هشدار سیل را امکان‌پذیر می‌سازند. از سوی دیگر، قدرت و تفکیک مکانی مناسب سنجندهٔ ETM+ می‌تواند میدان‌های کوچک پوشیده از برف را بهتر از سنجندهٔ MODIS تخمین‌زده و پهنه‌بندی نماید، اگرچه ممکن است نیاز به موزائیک کردن تعداد زیادی تصاویر ماهوارهٔ Landsat برای پوشش منطقه‌های وسیع باشد. به هر حال بر حسب موقعیت مکانی و زمانی منطقه، امکان تهیهٔ هر یک از تصاویر سنجنده‌های مورد استفاده، در نهایت کاربر نهائی تصمیم به انتخاب یک یا هر دو سنجنده در مطالعات خود خواهد گرفت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعهٔ حاضر نشان داد که استفاده از داده‌های سنجنده‌های MODIS و ETM+ کارآئی خوبی در پایش‌های زمانی، مکانی و پهنه‌بندی سطوح پوشیده از برف در حوضهٔ آبریز کارون شمالی دارد. پهنه‌بندی و برآورده سطوح پوشیده از برف می‌تواند در بهره‌برداری و مدیریت منابع آب در حوضهٔ آبریز کارون شمالی (به‌طور خاص) و در سایر حوضه‌های آبریز (به‌طور عام) مفید باشد. با توجه به تناوب زمانی و مکانی محصولات (تصاویر) MODIS که با قدرت تفکیک زمانی هشت روزه و یک روزه و پوشش مکانی بسیار وسیع از طریق اینترنت و به رایگان

#### منابع

پرهمت، ج. (۱۳۸۱). مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های دورسنجی و سیستم GIS. پایان‌نامهٔ دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

پرهمت، ج. و تقیان، ب. (۱۳۸۶). مقایسهٔ دقت تصاویر ماهواره‌ای AVHRR و TM در تعیین پوشش برفی. *مجلهٔ منابع طبیعی ایران*، ۲۶(۲)، ۳۸۳-۳۹۵.

- حقی‌زاده، ع.، یوسفی، ج.، یاراحمدی، ی. و کیانی، آ. (۱۳۹۹). شبیه‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب ناشی از ذوب برف (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز سراب صیدعلی-لرستان). مدیریت آب و آبیاری، ۱۰(۱)، ۱۰۱-۱۱۲.
- دینی، غ.، ضیائی‌ان فیروزآبادی، پ.، علیمحمدی سراب، ع. و داداشی خانقاه، س. (۱۳۸۶). بررسی سطوح برفگیر در البرز مرکزی با استفاده از داده‌های ماهواره‌های MODIS و AVHRR و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۳)، ۸-۱.
- رایگانی، ب.، خواجه‌الدین، س. ج.، سلطانی کوپایی، س. و براتی، س. (۱۳۸۷). محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌های MODIS در دوره‌های فاقد تصویر. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) علوم و فنون آب، خاک و منابع طبیعی، ۱۲(۴۴)، ۳۱۵-۳۳۲.
- رایگانی، ب.، سلطانی کوپایی، س. ج.، خواجه‌الدین، س. ج. و براتی، س. (۱۳۸۷). استفاده از تصویرهای ماهواره‌های MODIS و شاخص NDSI به منظور تهیه نقشه‌های پوشش برفی. منابع طبیعی ایران، ۶۱(۳)، ۵۲۵-۵۳۶.
- رسولی، ع. و ادهمی، س. (۱۳۸۶). محاسبه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده MODIS. جغرافیا و توسعه، ۵(۱۰)، ۲۳-۳۶.
- شریفی، مر.، آخوندعلی، ع. م.، پرهت، ج. و محمدی، ج. (۱۳۸۶). بررسی تأثیر ارتفاع، جهت و تندی شیب بر عمق برف در حوضه صمصامی (گزارش فنی). تحقیقات منابع آب ایران، ۳(مسلسل ۹)، ۶۷-۷۹.
- عقیقی، ا. ا. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات سطح پوشش برف و تعیین خط ذوب برف در مناطق کوهستانی با استفاده از تصاویر مودیس و شاخص NDSI (مطالعه موردی یخچال‌های زاگرس). جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۰(۳۸)، ۲۵-۳۶.
- فیضی‌زاده، ب. (۱۳۹۸). ارزیابی تطبیقی تکنیک‌های پردازش پیکسل پایه و شیء‌گرا در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌های Aster برای استخراج نقشه‌های اراضی کشاورزی و باغی در حاشیه
- شرقی دریاچه ارومیه. اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۸(۱۰۹)، ۱۶۷-۱۸۳.
- قربانی‌زاده خرازی، ح.، صدقی، ح.، تقفیان، ب. و پرهت، ج. (۱۳۸۸). بررسی اثر تغییر اقلیم بر توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه کارون. علوم و مهندسی آبخیزداری، ۳(۱۱)، ۳۸-۵۰.
- قنبرپور، مر.، محسنی ساروی، م.، تقفیان، ب.، احمدی، ح. و عباس‌پور، ک. (۱۳۸۴). تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب. منابع طبیعی ایران، ۳(۳)، ۳-۵۱.
- کدخدایی، س.، جهانبخش اصل، س. و ولی‌زاده کامران، خ. (۱۳۹۹). برآورد رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM (مطالعه موردی: حوضه آبریز سهزاب). جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۴(۷۱)، ۳۱۹-۳۳۷.
- محمدی‌فارسانی، ش. (۱۳۷۷). بررسی و پیش‌بینی آبدوی رودخانه زاینده‌رود در دوران ذوب برف. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- مشایخی، ت. (۱۳۶۹). استفاده از هیدرولوژی برف در بررسی‌های منابع آب. گزارش دفتر بررسی‌های منابع آب، بخش آب‌های سطحی.
- میریعقوب‌زاده، م. ح. و قنبرپور، م. (۱۳۸۹). بررسی کاربرد نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌های MODIS در مدل‌سازی رواناب ذوب برف (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد کرج). علوم زمین، ۱۹(۷۶)، ۱۴۱-۱۴۸.
- نجف‌زاده، ر.، ابریشم‌چی، ا.، تجربی، م. و طاهری شهرآیینی، ح. (۱۳۸۳). شبیه‌سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف. آب و فاضلاب، ۱۵(۴)، ۲-۱۱.
- وفاخواه، م.، محسنی ساروی، م.، مهدوی، م. و علوی‌پناه، س. ک. (۱۳۹۰). مقایسه سطح پوشش برف در تصاویر ماهواره نوآ و سنجنده مودیس (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۲۴(۳)، ۸۰-۹۴.

## References

- Afifi, M.E. (2021). Investigation of changes in snow cover and determination of snowmelt line in mountainous areas using MODIS images and NDSI index (Case study of Zagros Glaciers). *Geography and Environmental Studies*, 10(38), 25-36 (in Persian).
- Barton, J.S., Hall, D.K., & Riggs, G.A. (2000). Remote sensing of fractional snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. Proceedings of the 57th Eastern Snow Conference, Syracuse, New York, USA.
- Cline, D.W. (1997). Snow surface energy exchanges and snowmelt at a continental, midlatitude Alpine site. *Water Resources Research*, 33, 689.
- Crawford, C.J. (2015). MODIS Terra Collection 6 fractional snow cover validation in mountainous terrain during spring snowmelt using Landsat TM and ETM+. *Hydrological Processes*, 29(1), 128-138.
- Custodio, E., Cabrera, M.C., Ponce, R., Puga, L.O., Skupien, E., & del Villar, A. (2016). Groundwater intensive exploitation and mining in Gran Canaria and Tenerife, Canary Islands, Spain: Hydrogeological, environmental, economic and social aspects. *Science of The Total Environment*, 557-558, 425-437.

- Dini, G.R., Ziaei Firozabadi, P., Ali Mohammadi Sarab, A., & Dadashi Khanghah, S. (2008). GIS-based snow mapping in central Alborzmountain chain using MODIS and AVHRR data. *Iran-Water Resources Research*, 3(3), 1-8 (in Persian).
- Donmez, C., Berberoglu, S., Cicekli, S.Y., Cilek, A., & Arslan, A.N. (2021). Mapping snow cover using landsat data: Toward a fine-resolution water-resistant snow index. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133(2), 281-294.
- Dozier, J. (1989). Spectral signature of alpine snow cover from the landsat thematic mapper. *Remote Sensing of Environment*, 28, 9-22.
- Drewry, D. (1986). Remote sensing for polar regions - remote sensing ice and snow. D.K. Hall and J. Martinec 1985. London, New York, Chapman and Hall. 189 p, illustrated, hard cover. ISBN 0412259109. *Polar Record*, 23(143), 213-214.
- Faizizadeh, B. (2019). A comparative evaluation of pixel-based and object-oriented processing techniques, used for the classification of Aster Satellite imageries and extracting agricultural and orchard maps in the Eastern Margin of Urmia Lake. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(109), 167-183 (in Persian).
- Gerland, S., Winther, J.G., Ørbæk, J.B., Liston, G.E., Øritsland, N.A., Blanco, A., & Ivanov, B. (1999). Physical and optical properties of snow covering Arctic tundra on Svalbard. *Hydrological Processes*, 13(14-15), 2331-2343.
- Ghanbarpour, M.R., Mohsen Saravi, M., Saghafian, B., Ahmadi, H., & Abbaspour, K. (2005). An evaluation of regions effective in accumulation and persistence of snow cover and snowmelt contribution in runoff. *Iranian Journal of Resources*, 58(3), 503-515 (in Persian).
- Ghorbanizadeh Kharazi, H., Sedghi, H., Saghafian, B., & Porhemat, J. (2007). The study on the effect of climate change on the peak time of snowmelt runoff. *Plant and Ecosystem*, 3(11), 38-50 (in Persian).
- Haghizadeh, A., Yousefi, H., Yarahmadi, Y., & Kiyani, A. (2020). Simulation of climate change impact on snowmelt runoff (Case study: Sarab Seyed Ali Watershed-Lorestan). *Water and Irrigation Management*, 10(1), 101-112 (in Persian).
- Hall, D., Foster, J., Verbyla, D., Klein, A., & Benson, C. (1998). Assessment of snow-cover mapping accuracy in a variety of vegetation-cover densities in central Alaska. *Remote Sensing of Environment*, 66(2), 129-137.
- Hall, D., Riggs, G., Salomonson, V., & Scharfen, G. R. (2000). Earth Observing System (EOS) Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) global snow-cover maps. *IAHS-AISH publication*, 55-60.
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., Barton, J., Casey, K., Chien, J., DiGirolamo, N., Klein, A., Powell, H., & Tait, A. (2001). Algorithm theoretical basis document (ATBD) for the MODIS snow and sea ice-mapping algorithms. *Nasa Gsfc*, 45, 15-16.
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E., & Bayr, K.J. (2002). MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 181-194.
- Kadkhodaei, S., Jahanbakhsh Asl, S., & Valizadeh Kamran, K. (2020). The estimation of snowmelt runoff using SRM model (case study: Sahzab Catchment). *Geography and Planning*, 24(71), 319-337 (in Persian).
- Khosravi, M., Tavousi, T., Raeespour, K., & Omidi Ghaleh mohammadi, M. (2017). A survey on snow cover variation in Mount Zardkooh-Bakhtyare using remote sensing (R.S). *Hydrogeomorphology*, 4(12), 25-44.
- Larney, F., & Timmerman, L.J. (2001). *An Introduction to Wind Erosion Control*, Alberta Government, Alberta.
- Manickam, S., & Barros, A. (2020). Parsing synthetic aperture radar measurements of snow in complex terrain: scaling behaviour and sensitivity to snow wetness and landcover. *Remote Sensing*, 12(3), 483.
- Marsh, P., & Woo, M. (1985). Meltwater Movement in Natural Heterogeneous Snow Covers. *Water Resources Research*, 21, 1710-1716.
- Mashayekhi, T. (1990). Application of snow hydrology in water resources surveys. Report of the Office of Water Resources Surveys, Department of Surface Water (in Persian).
- Mir Yaghoobzadeh, M.H., & Ghanbarpour, M.R. (2010). Investigation to MODIS snow cover maps usage in snowmelt runoff modelling (Case study: Karaj dam basin). *GEOSCIENCES*, 19(76), 141-148 (in Persian).
- Mohammadi Farsani, Sh. (1998). Investigation and forecasting of Zayandehrood River Basin during snowmelt. M.Sc Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran (in Persian).
- Najafzadeh, R., Abrishamchi, A., Tajrishi, M., & Taheri Shahraeeni, H. (2005). Stream Flow with snowmelt runoff modeling using RS and GIS (Case study: Pelasjan Sub-basin). *Journal of Water and Wastewater*, 15(4), 2-11 (in Persian).
- Nolin, A., & Dozier, J. (2000). A Hyperspectral Method for Remotely Sensing the Grain Size of Snow. *Remote Sensing of Environment*, 74, 207-216.
- Parajka, J., Holko, L., & Kostka, Z. (2001). Distributed modelling of snow water equivalent – Coupling a snow accumulation and melt model and GIS. *Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences*, 14, 86-102.

- Porhamat, J. (2002). Distribution model of runoff from snowmelt using remote sensing data. PhD Thesis, Science and Research Branch of Azad University, Tehran, Iran (in Persian).
- Porhemat, J., & Saghafian, B. (2007). Evaluation of spatial resolution of satellite data on snow cover estimates. *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(2), 383-395 (in Persian).
- Raigani, B., Khajeh Aldin, S.J.A.D., Soltani Koupaei, S., & Barati, S. (2008a). Analysis of MODIS snow-cover map changes during missing data period. *Water And Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture And Natural Resources)*, 12(44), 315-332 (in Persian).
- Raigani, B., Soltani Koupaei, S., Khajeh Aldin, S.J.A.D., & Barati, S. (2008b). Using MODIS images and NDSI index for preparation snow cover maps. *Iranian Journal of Natural Resources*, 61(3), 525-536 (in Persian).
- Rango, A., Walker, A.E., & Goodison, B.E. (2000). Snow and Ice. Pp. 239-270, In: G.A. Schultz & E.T. Engman (Eds.), *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*, Springer Berlin Heidelberg.
- Rasouli, A.A., & Adhami, S. (2007). Estimation of snow water equivalent by processing of modis satellite imageries. *Geography and Development*, 5(10), 23-36 (in Persian).
- Rittger, K., Krock, M., Kleiber, W., Bair, E.H., Brodzik, M.J., Stephenson, T.R., Rajagopalan, B., Bormann, K.J., & Painter, T.H. (2021). Multi-sensor fusion using random forests for daily fractional snow cover at 30 m. *Remote Sensing of Environment*, 264, 112608.
- Schneebeli, M. (2002). The importance of the microstructure of snow in nature and engineering. Pp. 87-93, In: Brebbia, C.A., L.J. Sucharov and P. Pascolo, eds. *Design and nature: comparing design in nature with science and engineering*, Southampton, etc., WIT press.
- Sharifi, M.R., Akhound Ali, A.M., Porhemat, J., & Mohammadi, J. (2008). Effect of elevation, slope and aspect on snow depth at Samsami Basin. *Iran-Water Resources Research*, 3(9), 69-79 (in Persian).
- Shayan, S., Yamani, M., & Yadegari, M. (2017). Zoning of the land subsidence in the Hamedan Qarachai Watershed. *Hydrogeomorphology*, 3(9), 139-158.
- Vafakhah, M., Mohseni Saravi, M., Mahdavi, M., & Alavipanah, S.K. (2011). Comparison of snow cover area (SCA) in NOAA and MODIS images (A case study: Taleghsn Watershed). *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)*, 24(3), 80-94 (in Persian).
- Warren, S.G. (1982). Optical properties of snow. *Reviews of Geophysics*, 20(1), 67-89.
- Wiscombe, W.J., & Warren, S.G. (1980). A Model for the Spectral Albedo of Snow. I: Pure Snow. *Journal of Atmospheric Sciences*, 37(12), 2712-2733.
- Zeynali, B., Ghale, E., & Safari, S. (2021). Extraction of snow-covered area of Sabalan Mountain using Landsat satellite images by object-oriented classification method. *Hydrogeomorphology*, 8(26), 79-97 (in Persian).
- Zhang, Y., Cao, T., Kan, X., Wang, J., & Tian, W. (2017). Spatial and temporal variation analysis of snow cover using MODIS over Qinghai-Tibetan Plateau during 2003-2014. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(5), 887-897.