



## GIS-Based Snow Mapping in Central Alborz Mountain Chain Using MODIS and AVHRR Data

*G.H. R. Dini<sup>1</sup>, P. Ziaeean Firouzabadi<sup>2</sup>,  
A. Alimohammadi Sarab<sup>3</sup> and S. Dadashi  
Khanghah<sup>4</sup>*

### Abstract

Iran is a drought region which is located in middle meridian of earth. Especially in mountains, precipitations fall as snowfall and provide water supply for warm season. Therefore, it is so important for hydrologists and water resource engineers to determinate boundary of snow cover to be able to estimate water supply. In this study, snow cover area in Central Alborz mountains were detected using NOAA-AVHRR and TERRA-MODIS data using threshold determination in near infrared band.

Discrimination between snow and clouds is one of the important problems in snow mapping using satellite data. Clouds are very diverse and have high reflection in visible and NIR band but snow shows low reflectance in this band. In MODIS snow mapping algorithm, first using NDSI, snow pack detected but for discrimination between snow and other wet lands we utilized threshold in 1, 2, 4 and 6 bands. In NOAA-AVHRR algorithm were also used threshold for Albedo of band 1 and 3 and brightness temperature 3 and 4. Snow areas in AVHRR is 5303 square kilometers in March 27<sup>th</sup> 2004 and full snow, fractal snow and clouds areas in MODIS data were 994, 2570 and 2505 square kilometers in March 25<sup>th</sup> 2003, respectively.

Finally, using interrelation between hydro-climatology parameters 2.9°C were calculated as minimum temperature of snowfall and height of corresponding 0° C were calculated for snow permanence height in Central Alborz.

**Keywords:** Snow mapping algorithm, Brightness temperature, Albedo, Snow line, NDSI, MODIS, AVHRR.

## بررسی سطوح برفگیر در البرز مرکزی با استفاده از داده‌های ماهواره‌های MODIS و AVHRR و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

غلامرضا دینی<sup>۱</sup>، پرویز ضیائی‌ان فیروزآبادی<sup>۲</sup>  
عباس علی‌محمدی سراب<sup>۳</sup> و سپیده داداشی خانقاه<sup>۴</sup>

### چکیده

ایران سرزمینی کم آبی است که در عرض متوسط مدار معتدله و ناحیه گرم و خشک قرار گرفته است و بارش برف به ویژه در مناطق کوهستانی به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع آبی جهت ذخیره آب برای فصول گرم سال محسوب می‌شود. در این تحقیق از داده‌های ماهواره NOAA سنجنده AVHRR و ماهواره TERRA سنجنده MODIS و به کارگیری دو روش قرار دادن آستانه در داده‌های AVHRR و MODIS به منظور شناسایی سطوح برفگیر در ارتفاعات البرز مرکزی استفاده شده است. اساس تفکیک ابر و برف در این تحقیق،

اختلاف انعکاس آنها در محدوده طول موجهای مرئی و مادون قرمز می‌باشد. در الگوریتم برف سنجی MODIS با تعریف شاخص NDSI جداسازی برف انجام شد اما با توجه به عدم توانایی این شاخص در جداسازی برف از سایر منابع رطوبتی، با تعریف حدود آستانه برای باندهای ۱، ۲، ۴ و ۶ این مسئله حل گردید. در الگوریتم برف سنجی توسط داده‌های NOAA نیز از آستانه گذاری در انعکاس باندهای ۱، ۳ و محاسبه Radiance و دمای درخشندگی<sup>۲</sup> باندهای حرارتی استفاده شد. با استفاده از داده‌های AVHRR در تاریخ ۱۳۸۳/۱/۶ مساحت سطوح برفگیر ۵۳۰۳ کیلومتر مربع و با استفاده از داده‌های MODIS در تاریخ ۱۳۸۲/۱/۳، سطوح برفگیر البرز مرکزی با پوشش کامل، ناقص و پوشش ابر به ترتیب ۹۹۴ و ۲۵۷۰ و ۲۵۰۵ کیلومتر مربع محاسبه گردید. در پایان نیز با استفاده از همبستگی میان عناصر اقلیمی دمای ۲/۹ درجه سانتیگراد به عنوان آستانه ریزش برف و ارتفاع متناظر صفر درجه به عنوان خط ماندگاری برف محاسبه شد.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم پهنه‌بندی برف، دمای درخشندگی، آلبدو، خط برف، شاخص NDSI، MODIS و AVHRR

1- GIS Expert of Tehran Water Authority, [reza.dini@gmail.com](mailto:reza.dini@gmail.com)

2- Assist. Professor, RS&GIS Dept. University of Shahid Beheshti

3- Assistant Professor, Geomatics Dept. K.N.T University

4- MSc. in RS&GIS, University of Shahid Beheshti

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، شرکت آب منطقه‌ای تهران

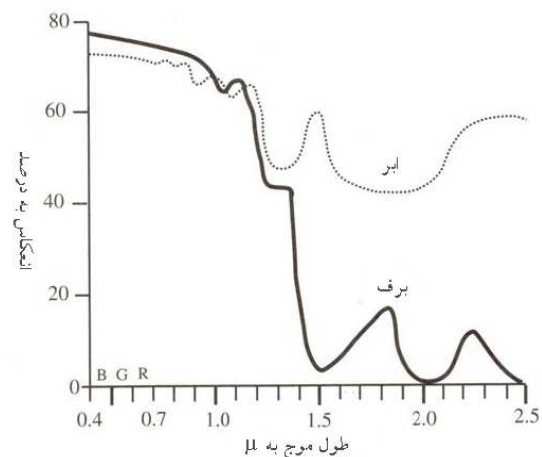
۲- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار گروه مهندسی ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۴- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی

## ۱- مقدمه

برف در طیف مادون قرمز نزدیک و میانی (۲/۵-۴/۰ میکرومتر) دارای دو نوع انعکاس متفاوت می‌باشد که محققان را قادر به شناسایی این پدیده از پوششهای اطراف می‌نماید. 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 می‌دهند در حالی که انعکاس برف در این محدوده به شدت کاهش می‌یابد، در این باند ابرها انعکاس بالایی دارند و در تصاویر سفید دیده می‌شوند در حالی که برف انعکاس کمتری دارد و تیره دیده می‌شود. کاهش انعکاس برف از ۹۰-۸۰ درصد انعکاس در طول موج کمتر از یک میکرون به ۱۰ درصد در طول موج ۱/۵ میکرومتر فوق‌العاده منحصربه فرد است اگرچه باگذشت عمر برف، انعکاس آن در محدوده مادون قرمز کاهش می‌یابد در حالی که در محدوده مرئی تفاوتی احساس نمی‌شود. بر این اساس، الگوریتم پهنه بندی برف با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS جهت بارسازی برف در ارتفاعات کوهستانی ارائه شده است (Hall et al., 1995).



شکل ۱- منحنی انعکاس طیفی برف و ابر (Jenson, 2000).

در الگوریتم برف سنجی، معیار برای آشکارسازی پیکسل‌های محتوی برف، شاخص NDSI و قرار دادن آستانه برای باند مادون قرمز نزدیک می‌باشد (Hall et al., 2001). Porhemmat و همکاران نیز از دو روش تکنیکهای بصری و رقومی جهت تفکیک پوشش ابر از برف، استفاده کردند و مهمترین محدودیت این دو تکنیک را عدم کارایی آنها در شناسایی پوشش برف از ابرها ذکر کردند (Porhemmat et al., 2000). نتایج تحقیقات الماس پور و همکاران نیز نشان می‌دهد که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، آمار ایستگاههای برف سنجی و توابع تحلیلی GIS، برآورد حجم ذخایر

برفی حوضه‌های آبریز سدها با دقت بالا و با صرف وقت کمتری ممکن خواهد بود و انجام به موقع برآورد حجم ذخایر برفی حوضه‌های آبریز، می‌تواند کمک موثری به مدیران منابع آب نماید (الماس پور و همکاران، ۱۳۸۳).

در مطالعات Machler و همکاران نیز با استفاده از داده‌های باند ۱، ۲، ۴ و ۶ سنجنده MODIS و قراردادن آستانه و محاسبه شاخص NDSI سطوح برفگیر آشکارسازی شد (Malcher et al., 2003). همچنین، Hall و همکاران از میان روشهای مختلف آشکارسازی برف، روش الگوریتم توسعه یافته را پیشنهاد نمودند و استفاده از اطلاعات کاربری اراضی در برف سنجی را بسیار مؤثر دانستند و تکنیکهای اساسی شناسایی پهنه‌های برف و یخ را بر پایه شاخصهای آستانه‌گذاری و تفاوت نرمال شده بین باندها شناسایی کردند (Hall et al., 1995).

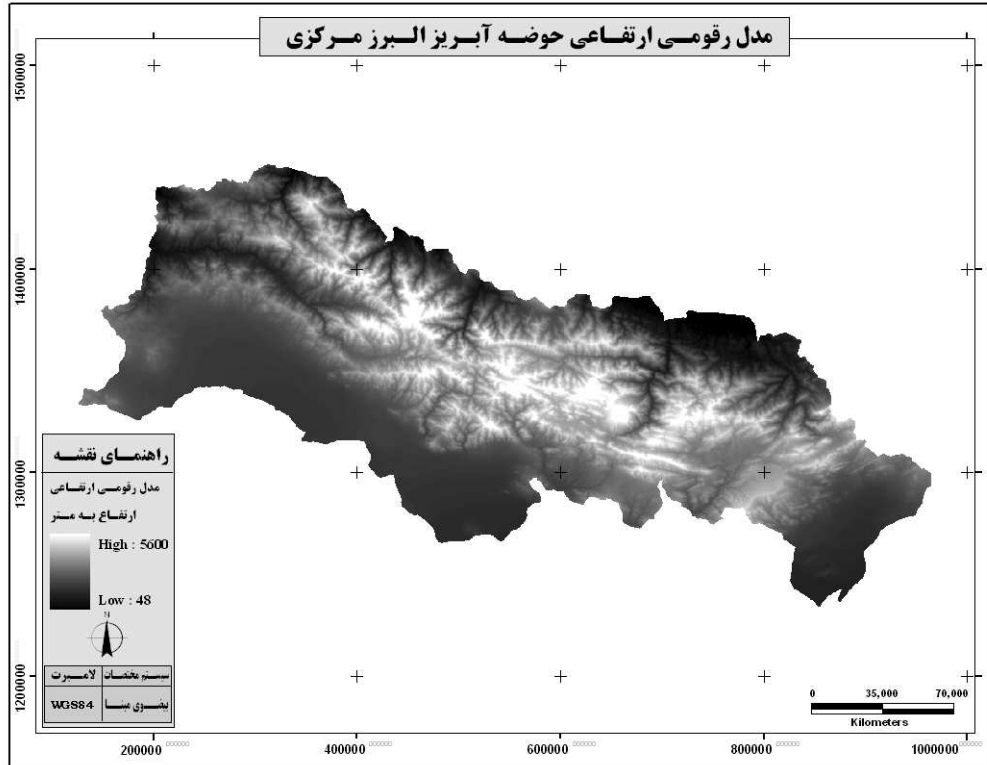
## ۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده البرز مرکزی از طول جغرافیایی ۵' ۴۹° تا ۵۰' ۵۳° عرض جغرافیایی ۵' ۳۵° تا ۲' ۳۷° به مساحت تقریبی ۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع و ۶۴ زیر حوضه را شامل می‌شود. کمینه، بیشینه و ارتفاع متوسط منطقه به ترتیب ۵۰، ۵۶۷۰ و ۱۸۷۰ متر و دارای انحراف معیار ۸۳۲ می‌باشد. همچنین کمینه، بیشینه و شیب متوسط منطقه به ترتیب صفر درصد، ۲۵۴ درصد و ۲۳/۵۶ درصد و با انحراف معیار ۲۲/۸۰ و جهت شیب غالب در منطقه، از شمال به سمت جنوب می‌باشد. حوضه سد کرج نیز با توجه به دارا بودن پوشش کامل از ایستگاههای هیدروکلیماتولوژی به عنوان حوضه معرف در محاسبه ارتفاع خط برف انتخاب گردید.

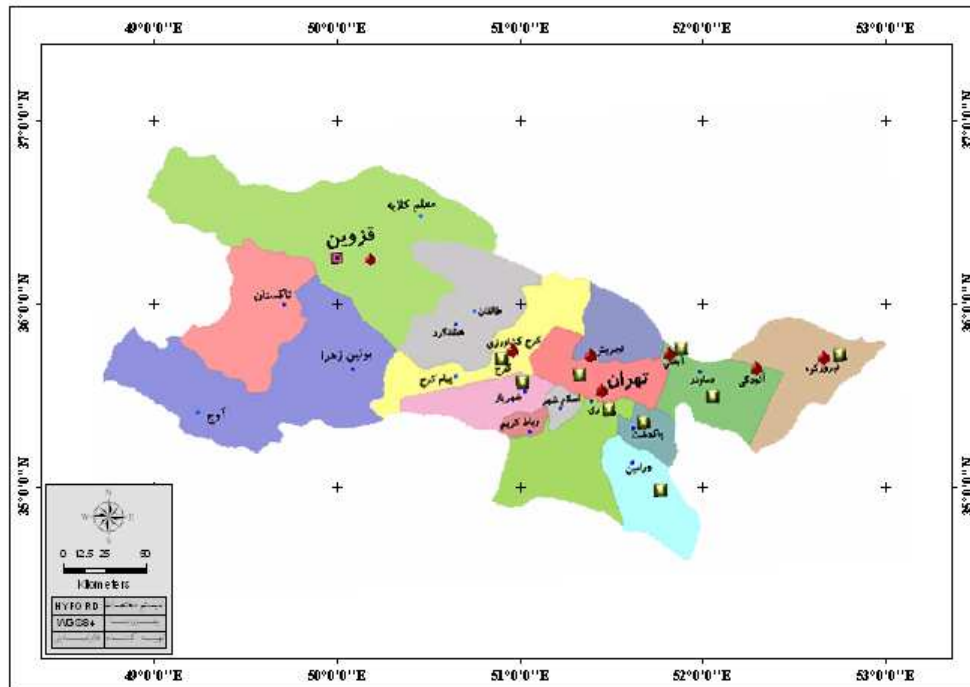
## ۳- داده‌ها و روشها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل مدل رقومی ارتفاعی<sup>۳</sup> (DEM) سنجنده راداری، SRTM<sup>۴</sup> با قدرت تفکیک مکانی<sup>۵</sup>، ۹۰ متری (شکل ۲)، داده‌های ایستگاههای سینوپتیک فیروزکوه، آبعلی، قزوین و دانشکده کشاورزی کرج سازمان هواشناسی (شکل ۳)، ایستگاههای هیدروکلیماتولوژی وزارت نیرو در محدوده حوضه سد کرج و داده‌های NOAA-AVHRR و TERRA-MODIS مندرج در ذیل می‌باشند.

داده سنجنده AVHRR ماهواره NOAA 16 تاریخ ۲۷/۳/۲۰۰۴ (۱۳۸۳/۱/۶) با قدرت تفکیک رادیومتری ۱۰ بیت داده سنجنده MODIS به تاریخ ۲۵/۳/۲۰۰۳ (۱۳۸۲/۱/۳) با قدرت تفکیک رادیومتری ۱۲ بیت

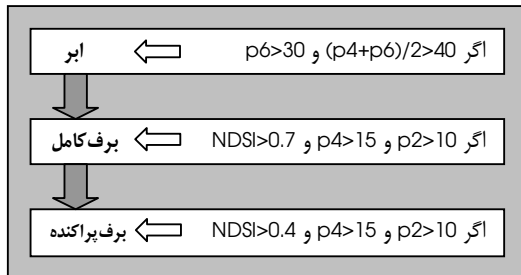


شکل ۲- مدل رقومی ارتفاعی (DEM) البرز مرکزی



شکل ۳- موقعیت ایستگاههای سینوپتیک محدوده مورد مطالعه

داده سنجنده MODIS به تاریخ ۲۸/۱۰/۲۰۰۲ (۱۳۸۱/۸/۶) با قدرت تفکیک رادیومتری ۱۲ بیت.



شکل ۴- آستانه‌های تشخیص برف از داده‌های MODIS

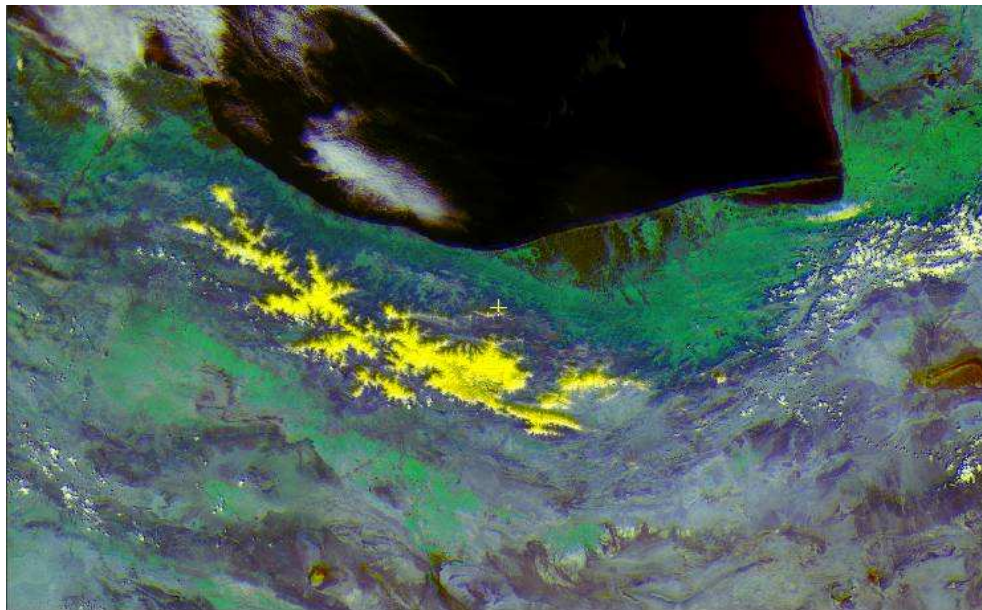
در این الگوریتم، ابتداء ابر با استفاده از داده‌های مادون قرمز میانی (باند ۶-۱۶۵۲-۱۶۲۸ نانومتر) تفکیک گردید. زیرا در این محدوده طیفی ابرها بازتاب بالا و برف دارای بازتاب کمی می باشد. با توجه به عدم کارایی شاخص NDSI در تفکیک برف از سایر منابع رطوبتی جهت شناسایی برف از این پدیده‌ها از دو حد آستانه در باندهای ۲ و ۴ جهت تفکیک گستره‌های برفی کامل و پوشش برفی پراکنده استفاده می‌شود (Hall et al., 1995).

پس از اجرای الگوریتم برف سنجی MODIS، نواحی برف کامل، برف ناقص و پوشش ابر در البرز مرکزی در تاریخ ۱۳۸۲/۱/۳ به ترتیب ۲۵۷۰ و ۲۵۰۵ و ۹۹۴ کیلومتر مربع محاسبه گردید که در شکل ۶ آمده است.

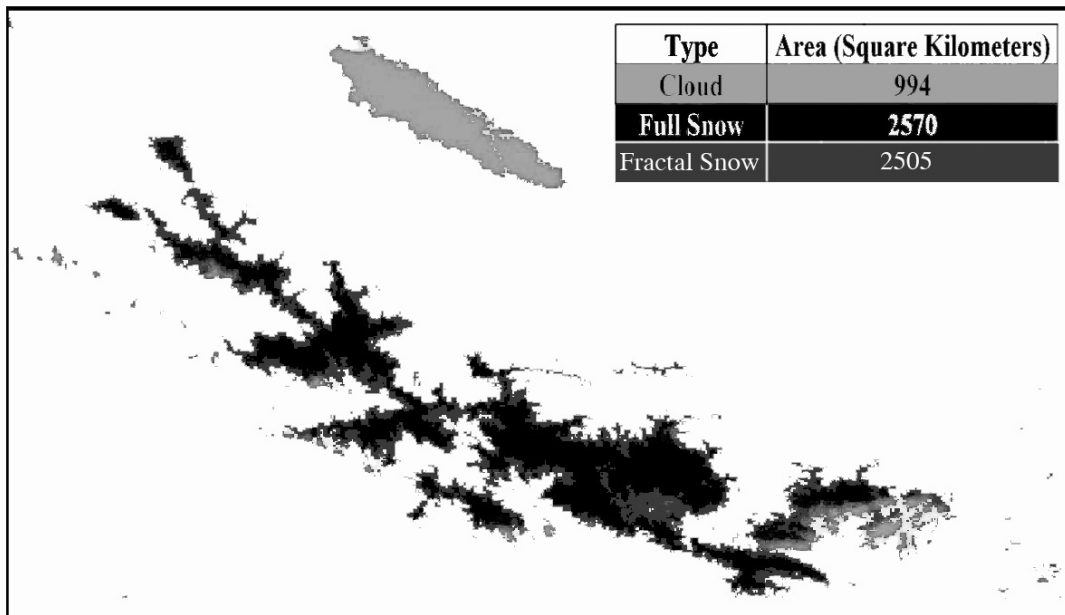
در این تحقیق، از الگوریتم برف سنجی ارائه شده توسط سازمان فضایی ایالات متحده استفاده شده است بدین ترتیب که باندهای ۱ تا ۶ داده‌های سنجنده MODIS مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و پس از اعمال تصحیحات رادیومتری و هندسی، داده‌های MODIS باندهای ۲۵۰ متری و ۵۰۰ متری با یکدیگر ترکیب شد. سپس با استفاده از داده‌های باند ۶ و ۴ سنجنده MODIS شاخص NDSI مطابق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$NDSI = \frac{(Band4 - Band6)}{(Band4 + Band6)}$$

با استفاده از شاخص NDSI و تعریف حدود آستانه‌ها مطابق الگوریتم شکل ۴، پدیده‌های موجود به سه دسته، ابر، برف خالص و برفهای تکه‌تکه طبقه بندی شده‌اند. در شکل ۵ محدوده برف با پوشش کامل (خاکستری تیره)، محدوده برف با پوشش ناقص (خاکستری) و سطوح ابری (خاکستری روشن) در محدوده دریای خزر آشکار است.



شکل ۵- ترکیب رنگی کاذب<sup>۶</sup> (۱،۴،۶) تصحیح شده سنجنده MODIS در تاریخ ۱۳۸۲/۱/۳



شکل ۶- سطوح ابر و برف استخراج شده از داده‌های سنجنده MODIS در تاریخ ۱۳۸۲/۱/۳

$$E = S_i C + I_i$$

رابطه ۳.

در این رابطه  $S_i$  و  $I_i$ ، ضرایب واسنجی باند  $i$  هستند.

در الگوریتم برف سنجی سنجنده AVHRR (شکل ۷)، نیز به منظور محاسبه آلبدوی باندهای انعکاسی (باند ۱ و ۲) و رادیانس حرارتی باندهای حرارتی، از ضرایب ارائه شده جدول ۱ و رابطه ۲ استفاده شده است.

$[p(0.63\mu) \geq 0.25]$ و
$[p(3.7\mu) < 0.06]$ و
$[BT(11\mu) \leq 277K]$ و
$[BT(3.7\mu) - BT(11\mu) < 8K]$

شکل ۷- آستانه‌های تشخیص برف توسط داده AVHRR

$$A = S_i C + I_i$$

رابطه ۲.

باندهای سه و چهار و پنج این سنجنده در دو مرحله پیش از پرتاب و پس از پرتاب ماهواره، کالیبره و ضرایب به همراه هر تصویر ارسال می‌گردند. با استفاده از رابطه ۳، انرژی تابشی ورودی به سنجنده (NE) برحسب  $MW(m^2/sr/cm^{-1})$  محاسبه می‌شود.

جهت استخراج خط ارتفاع برف در حوضه معرف، از تلفیق اندازه‌گیری داده‌های زمینی و نتایج حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و روشهای آماری استفاده شده است. ابتدا بر اساس روش درجه-روز که بر همبستگی بین عناصر اقلیمی و دما استوار می‌باشد همبستگی بین آمار داده‌های اقلیمی و ارتفاع برای هر یک از ماههای ذوب و بارش برف محاسبه گردیده است که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- ضرایب محاسبه آلبدو انعکاسی و

NOAA Radiance سنجنده AVHRR ماهواره

Offset	Gain	باند
-۳/۸۶۴۸	۰/۱۰۸۱	۱
-۳/۶۷۴۹	۰/۱۰۹۰	۲
۱/۶۳۷۷	-۰/۰۰۱۷	۳
۱۶۲/۴۶۸۳	-۰/۰۱۶۷۸	۴
۱۸۱/۹۶۵۸	-۰/۱۸۶۲	۵

**جدول ۲- ارتفاع متناظر با صفر درجه (آستانه ریزش برف) و ۲/۹ درجه (آستانه ذوب برف طی ماههای بارش و ذوب)**

ماه	ضریب همبستگی	ارتفاع متناظر به متر	
		صفر درجه	۲/۹ درجه
آذر	-۰/۸۲	۲۲۵۳	۱۷۵۳
دی	-۰/۸۲	۱۷۱۴	۱۲۱۴
بهمن	-۰/۹۴	۱۵۹۰	۱۸۲۰
اسفند	-۰/۹۹	۲۱۹۵	۲۴۱۴
فروردین	-۰/۹۹	۲۷۸۹	۳۹۲۴
اردیبهشت	-۰/۹۴	۲۹۴۳	۳۸۹۴

با بررسی آمار روزانه دما و بارندگی (باران و برف) نیز ایستگاه نساء به عنوان ایستگاه شاخص انتخاب گردید.

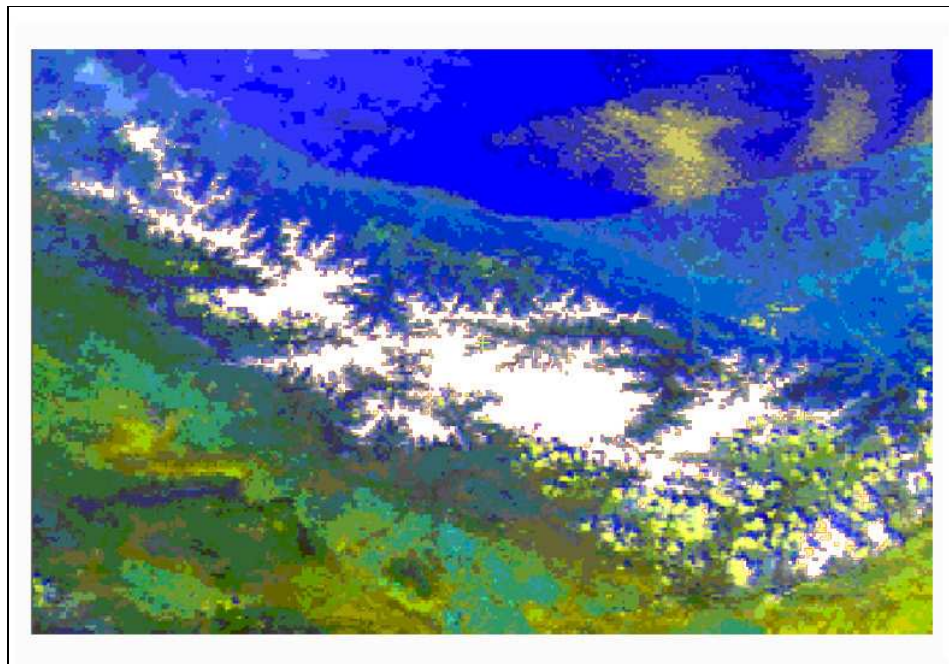
براساس مطالعات انجام شده در این حوضه دمای ۲/۹ درجه سانتیگراد به عنوان آستانه ریزش برف در نظر گرفته شد، به عبارتی بر اساس آمار طولانی مدت روزانه ایستگاههای شاخص، میانگین دمای روزهای همراه بارش برف ۲/۹ درجه سانتیگراد بوده است. همچنین با بررسی و مقایسه بارشهای حوضه، نسبت بارشها (باران به برف) در این حوضه ۵۰٪ محاسبه گردید. به منظور تعیین سطح برف ارتفاع متناظر صفر درجه به عنوان خط ماندگاری برف در بالا و ذوب برف در زیر این خط تعیین گردید.

**۴- بحث و تحلیل نتایج**

در سنجش سطوح برف گیر با استفاده از دادههای MODIS، شاخص NDSI این توانایی را داراست که پوشش برف و سایر منابع آبی را از سایر پدیدهها تفکیک کند. در مراحل بعد نیز، با قرار دادن آستانه در باندهای ۱ و ۴ و ۶ برف از سایر منابع آبی تفکیک می‌گردد. لازم به ذکر است که NDSI تنها به انواع خاصی از ابرهایی که دارای ذرات یخ باشند و برخی ابرهای منحصر به فردی که انعکاس طیفی مانند برف دارند حساس است (Hall و همکاران، ۱۹۹۵). برف خالص دارای NDSI بالایی است، ولی با مخلوط شدن با دیگر مواد (نظیر خاک، دود و غیره) از میزان آن کاسته می‌شود.

در مرحله بعد مناطق حاوی پوشش برف در تصویر بر روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) شناسایی شد و خط برف در تاریخ مورد نظر با اطلاعات آماری حاصل از همبستگی میان پارامترهای اقلیمی مقایسه شد.

در پایان نیز مساحت سطوح برف گیر با استفاده از دادههای AVHRR و همچنین مساحت سطوح برف با پوشش کامل و پوشش ناقص با استفاده از دادههای MODIS به طور مجزا محاسبه گردید.



شکل ۸- سطوح برف حاصل از الگوریتم برف سنجی سنجنده AVHRR، به تاریخ ۱۳۸۳/۱/۶

## ۵- تقدیر و تشکر

بدین وسیله از معاونت پژوهشی سازمان هواشناسی کشور، جناب آقای دکتر بداغ جمالی به جهت حمایت مالی از تحقیق و معاونت مطالعات و پژوهش منابع آب شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران، جناب آقای مهندس یمنی، به جهت حمایت‌های بی‌دریغشان، صمیمانه قدردانی می‌شود.

## پی‌نوشت‌ها

1. Normalized Difference Snow Index
2. Brightness Temperature
3. Digital Elevation Model
4. Shuttle Radar Topography mission
5. Spatial Resolution
6. False Color Composite

## ۶- مراجع

الماس‌پور، اردبیلی اصل، ۱۳۸۳، تعیین حجم ذخایر برفی حوضه‌های آبریز با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مودیس و آمار ایستگاه‌های برف سنجی (مطالعه موردی: آبریز سدهای اهر، علویان، نهند)، اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران دانشگاه تهران

آمارنامه ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران طی سالهای ۱۳۸۱-۱۳۵۱

جلوخوانی نیارکی، ۱۳۸۱، بررسی سطوح برف با استفاده از داده‌های AVHRR و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی علی‌محمدی سراب، دانشگاه تربیت مدرس.

Bryan A. Baum, Qing Trepte, (1999), "a Grouped Threshold Approach for Scene Identification in AVHRR Imagery", American Meteorological Journal.

Dorothy K. Hall, Andrew B. Tait, George A. Riggs, Vincent V. Salomonson, (2001), Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow-, Lake Ice- and Sea Ice-Mapping Algorithms, NASA.

Hall, D. K., G. A. Riggs, and V. V. Salomon son, (1995): Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. Remote Sens. Environ. 54, pp. 127-140.

Porhemmat, J., Saghafian, B., Sedghi, H. (2000), Snow Cover Mapping From Mixed Snow-Cloud NOAA Imagery, [WWW.GISDEVELOPMENT.NET](http://WWW.GISDEVELOPMENT.NET)

معیار حد آستانه باند ۴ سنجنده MODIS برای جلوگیری از برف تشخیص داده شدن پیکسل‌های با بازتابش بسیار کم در طول موج مرئی، مثلا درختان سرو تیره می باشد. آب و ابر نیز به وسیله حد آستانه ۱۰ درصد برای باند ۲ سنجنده MODIS قابل تفکیک است. از مزایای شاخص NDSI این است که این شاخص خطاهای سیستماتیک موجود در داده‌های باندها را از بین می برد در حالی که سنجنده AVHRR به علت فقدان باند مادون قرمز میانی (۱/۷۵-۱/۵۵ میکرومتر) فاقد این توانایی است. ضمن اینکه در این الگوریتم، فقط پیکسل‌های برف کامل قابل استخراج هستند (نواحی تن سفید رنگ استخراج شده در شکل ۸) و تفکیک صرفا بر اساس آستانه گذاری باندهای حرارتی صورت می‌گیرد در حالی که در الگوریتم برف سنجی MODIS پیکسل‌های حاوی برف به دو دسته پیکسل برف با پوشش کامل و پیکسل برف با پوشش ناقص طبقه‌بندی شده‌اند.

در الگوریتم برف سنجی AVHRR، برف و ابر هر دو در برخی خصوصیات طیفی مشترک هستند. هر چند ابر و برف با استفاده از رادینانس و دمای درخشندگی باند ۳ قابل تفکیک هستند (Simpson et al., 1998) ابرها در محدوده ۳/۷۵ میکرومتر معمولاً دارای رادینانس و دمای درخشندگی بالایی هستند در حالی که برف در این محدوده دارای رادینانس و دمای درخشندگی کمی است. تجربه نشان داده شده است که باند ۱/۶ میکرومتر جهت شناسایی برف بسیار مفید خواهد بود، اما با توجه اینکه سنجنده AVHRR فاقد باند در محدوده ۱/۷۵-۱/۵۵ میکرومتر می باشد. بنابراین جهت استخراج پوشش ابر از برف نیاز به تعریف یک آستانه احساس می گردد که در این خصوص از تفاضل دمای درخشندگی میان باندهای ۳ و ۴ استفاده می‌گردد. بالاترین دمای درخشندگی مربوط به سطح زمین و پایین ترین دمای درخشندگی مربوط به ابرهای سرد لایه‌های فوقانی جو می‌باشد (جلوخوانی نیارکی، ۱۳۸۱).

در بررسی الگوریتم برف سنجی توسط داده‌های سنجنده AVHRR ذکر این نکته ضروری است که برای تعیین برخی از ابرها و به خصوص ابرهای نازک، اختلاف حرارت ظاهری شبانه در طول موجهای کوتاه (۳/۹ میکرومتر) و بلند (۱۱ میکرومتر) مادون قرمز حرارتی موثر است. در طی روز، میزان اختلاف بین BT4 و BT3 مقداری منفی و بزرگ است که علت آن انعکاس نور خورشید در ۳/۹ میکرومتر است. اختلاف بزرگ بین BT4 و BT3 زمانی رخ می دهد که صحنه دارای درجه حرارتی غیر همگن باشد، مانند زمانی که تنها قسمتی از پیکسل ابری باشد (Bryan et al., 1999).

Simpson. J.J, Stitt, M. Sienko, (1998), Improved estimates of the aerial extent of snow cover from AVHRR data, Elsevier Journal of Hydrology 204, pp. 1-23.

Jenson, J. R. (2000), Remote Sensing of Environment an Earth Resource Perspective, Prentice Hall Series in Geographic Information Science.

Malcher, P., Floricioiu, D. and Rott, H., International Geosciences and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2003), Institute for Meteorology and Geophysics (IMGI) University of Innsbruck.

تاریخ دریافت مقاله: ۹ بهمن ۱۳۸۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۲۰ دی ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۵ بهمن ۱۳۸۶