

روند تغییرات پوشش برف در مناطق برفخیز ایران با استفاده از داده‌های سنجنده مدیس

هادی ابراهیمی¹، ابوالحسن غیبی²، حسین ملکوتی³
1- کارشناس ارشد هواشناسی، دانشگاه هرمزگان
2 و 3- استادیار گروه فیزیک، دانشگاه هرمزگان

چکیده

برآورد پارامترهای برف، به خصوص سطوح پوشیده از برف یکی از فاکتورهای کلیدی و مهم در میزان بودجه تابشی زمین، مطالعات منابع آب و تغییر اقلیم محسوب می‌شود. در مناطق وسیعی از نیمه شمالی و شمال غربی کشور، بارش شدید برف به طور معمول منجر به خطراتی نظیر جاری شدن سیلاب، در اثر ذوب سریع برف، و همچنین تغییر در میزان پوشش برف منجر به تخریب محصولات کشاورزی در اثر نوسان دمای خاک و نوسانات سپیدایی می‌شود. در نتیجه، آشکارسازی ناحیه پوشیده از برف یک ابزار مهم برای شناخت این اثرات و جلوگیری از خطرات احتمالی آن‌ها و مطالعه تغییر اقلیم در آن مناطق به شمار می‌رود. به طور معمول از دو ناحیه طیف الکترومغناطیسی، (الف) مرئی و فروسرخ نزدیک و (ب) فروسرخ دور و ریزموج، برای تولید نقشه‌های برف در سامانه‌های سنجنش از دور استفاده می‌شود. امروزه داده‌های سنجنش از دور، اطلاعات مکانی و زمانی کاملی از پوشش برف برای مناطق وسیعی از جهان را فراهم می‌کنند. این مقاله به بررسی نتایج حاصل از آشکارسازی پوشش برف در کشور با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مدیس می‌پردازد. برای این منظور، محصول روزانه پوشش برف مدیس (MOD10_L2) در یک دوره ده‌ساله (2001 تا 2010) برای نمایش نواحی پوشیده از برف بکار رفته است. نتایج روند ده‌ساله پوشش برف نشان می‌دهد که در تمامی مناطق کوهستانی و برفخیز کشور طی ده سال گذشته کاهش چشمگیری در بارش برف روی داده است.

کلمات کلیدی: آشکارسازی پوشش برف، سنجنش از دور، سنجنده، مدیس، ایران.

مقدمه

علاوه بر اهمیت پوشش برف برای منابع آب‌های بهاری و مقدار رطوبت خاک، برف اثرات نامطلوب یا خطرانی از جمله تلف شدن احشام در بارش‌های برف‌های سنگین، جاری شدن سیلاب در اثر ذوب سریع برف و تخریب مزارع در اثر نوسان دمای خاک در نواحی عرض‌های میانی نظیر شمال و غرب کشور را نیز ممکن است در بر داشته باشد. برای مثال بارش شدید برف در سال 2008 سبب خسارات زیادی شد. حمل و نقل مختل، خانه‌ها تخریب، آبرسانی و برق‌رسانی در بسیاری از شهرها قطع شد. در نتیجه نمایش برف از داده‌های ماهواره‌ای، یک ابزار ارزشمند در این نوع موقعیت‌های بحرانی است. به هر حال به دلیل پیچیدگی انواع پوشش زمین، کوه‌های مرتفع و صعب‌العبور و مجاورت کشور با دریا (در شمال) نقشه‌برداری دقیق پوشش برف در ایران هنوز مشکلی اساسی است.

برآورد پارامترهای برف، به خصوص سطوح پوشیده از برف یکی از اجزاء کلیدی مطالعات منابع آب و تغییر اقلیم محسوب می‌شود. پوشش برف در مناطق وسیعی از سطح زمین علی‌رغم غیر قابل دسترس بودن، کشاورزی، اقتصاد و اقلیم را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. آب در بیش از یک ششم از مناطق خشکی زمین به وسیله رودخانه‌هایی که از ذوب برف تغذیه می‌شوند تأمین می‌شود. ذوب برف در اوایل بهار منبع اصلی رطوبت خاک و آب برای بخش کشاورزی است. بخش اعظم نزولات جوی در قسمت‌های شمالی کشور که تولیدکننده عمده پنبه، خشکبار، غلات، سویا و ... می‌باشد، به صورت برف است. در نتیجه نمایش پوشش برف در کشور از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار و برای مدیریت و تصمیم‌گیری‌های کشاورزی حیاتی است.

باعث می‌شود تا این سنجنده پوشش زمانی متفاوتی را فراهم کند. به طوری که هر نقطه‌ای در روی زمین چهار بار پوشش داده می‌شود (هر ماهواره دو بار در روز). این تناوب، مشاهده تغییرات اقلیمی را در خشکی، جو و اقیانوس تضمین می‌کند. سیستم نوری این سنجنده شامل یک سری خطی از فیلترهای جداساز طیفی است که شامل جداساز طول موج‌های مرئی و فروسرخ نزدیک، جداساز فروسرخ کوتاه، جداساز فروسرخ متوسط و جداساز فروسرخ بلند است.

سنجنده مدیس 36 بانده طیفی (کانال) دارد که 20 کانال آن در بانده مرئی و فروسرخ نزدیک و 16 کانال در ناحیه فروسرخ حرارتی است که در مجموع گستره طیفی 0/4 تا 14/3 میکرومتر را در بر می‌گیرد. کانال‌های 1 و 2 دارای قدرت تفکیک فضایی 250 متر، کانال‌های 3 تا 7 دارای قدرت تفکیک فضایی 500 متر و کانال‌های 8 تا 36 قدرت تفکیک 1000 متر دارند. عرض برداشت در سنجنده مدیس 2330 کیلومتر و داده‌ها به صورت بازه‌های 5 دقیقه‌ای (گرانول) ذخیره می‌شوند. هر گرانول 2030 کیلومتر طول دارد که در مجموع مساحت 2030×2330 کیلومترمربع را در بر می‌گیرد. دوره تکرار هر گرانول 16 روز است یعنی هر 16 روز یکبار گرانول دقیقاً بر روی موقعیت 16 روز قبل خود قرار می‌گیرد.

در حال حاضر محصولات متنوعی از طریق داده‌های سنجنده مدیس تولید می‌شوند. محصول مورد استفاده در این مقاله شامل محصول روزانه پوشش برف می‌باشد که تحت عنوان MOD10_L2 در مرکز ملی داده یخ و برف (NSIDC) ذخیره می‌شوند. این داده‌ها از سال 2001 و 2002 تا سال 2010 به

مطالعات اندکی از نمایش پوشش برف فصلی، سالانه و همچنین اقلیمی در کشور انجام شده است. با توجه به افزایش جمعیت و کاهش منابع آبی کشور، مطالعه و بررسی چگونگی تغییرات پوشش برف می‌تواند به مدیران منابع آب در برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از این نعمت خدادادی کمک کند.

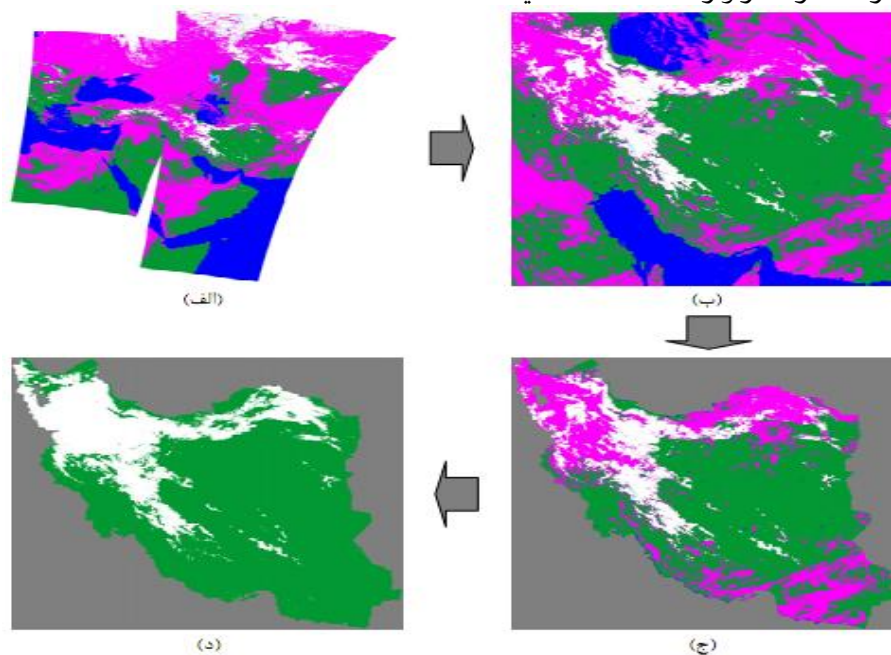
نمایش پوشش برف یکی از مهم‌ترین موضوعات کنونی مشاهده زمین و یکی از مؤلفه‌های قابل ملاحظه در مطالعات سنجش از دور زمین است. از سال 1970 نمایش پوشش برف از فضا به کمک سنجش از دور مرئی ماهواره‌ای، عملی رایج به حساب می‌آید. نمایش پوشش برف از اوایل سال 1990 در اکثر کشورها انجام می‌شود. با وجود اینکه داده‌های سنجش از دور قادر است اطلاعاتی درباره نوسان پوشش برف فراهم کند ولی هنوز مشکلات رایجی نظیر نوع پوشش زمین و وجود ابر وجود دارد.

کاربردهای سنجش از دور برای نمایش پوشش برف از حدود اوایل سال 2006 در ایران شروع شده است. در این مطالعه محصول روزانه برف مدیس (MOD10_L2) برای اولین بار برای نمایش مساحت برفی کشور در یک دوره ده ساله (2001 تا 2010) مورد استفاده قرار گرفته است.

داده‌ها و روش تحقیق

در این پژوهش از داده‌های تابش‌سنج طیفی تصویربردار قدرت متوسط (مدیس) برای آشکارسازی پوشش برف استفاده شده است. اولین ابزار سنجش مدیس در ماه دسامبر سال 1999 و دومین آن در ماه می سال 2002 به ترتیب روی ماهواره‌های مدار قطبی ترا و اکوا پرتاب شدند. دو ابزار سنجش مدیس در ماهواره‌های ترا و اکوا در زمان‌های متفاوتی از استوا عبور می‌کنند که این امر

تصویر پوشش برفی برای تمام مساحت کشور بدست می‌آید. برای پیوستن این گراندولها به یکدیگر از نرم افزار HDFLook استفاده گردید. برای کاهش محاسبات، نقشه مرزهای ایران بر روی تصویر، اعمال و نقاط خارج از مرز، از تصویرها حذف گردید. نمونه‌ای از مراحل انجام این کار برای روز 17 ژانویه 2011، در شکل (1) نشان داده شده است.



شکل شماره 1- مراحل تهیه نقشه پوشش برف کشور در تاریخ 17 ژانویه 2011، (الف) پنج گراندول پوشاننده سطح ایران، (ب) محدوده کشور ایران، بریده شده از شکل (الف)، (ج) نقشه کشور ایران، بریده شده از شکل (ب)، (د) نقشه پوشش برف پس از اعمال الگوریتم روزانه. (راهنمای نقشه: سفید، زمین برفی؛ سبز، زمین بدون برف؛ صورتی، ابر)

مشخصات زمین بدون برف، دریاچه، اقیانوس یا دریا، دریاچه یخ‌زده و زمین برفی مورد قبول و بقیه نقاط مردود می‌باشند. وجود ابر در آسمان مانعی برای آشکارسازی برف است. در این تحقیق برای رفع این معضل، از این فرضیه که تا زمانی که ابر بر روی پیکسل برفی وجود دارد، برف به احتمال بسیار زیاد ذوب نخواهد شد، استفاده شده است. زیرا اصلی‌ترین عامل ذوب شدن برف، تابش پرتوهای طول

ترتیب از ماهواره‌های ترا و اکوا از سامانه اینترنتی SNOWI در مرکز ملی داده یخ و برف (NSIDC)، سفارش و اخذ گردیدند. منطقه مورد مطالعه شامل کشور ایران بین طول جغرافیایی 44 تا 63/35 درجه شرقی و عرض جغرافیایی 25/05 تا 39/8 درجه شمالی انتخاب شد. با توجه به وسعت محدوده مطالعاتی از ترکیب 3 تا 6 و به طور معمول 4 گراندول در هر روز، نقشه یا

الگوریتم پردازش نقاط برفی

پس از آماده‌سازی گراندولها و تبدیل آن‌ها به نقشه‌هایی ثابت در هر روز، گام بعدی اجرای الگوریتم شمارش پیکسل‌های برفی در هر فایل است. اطلاعات هر پیکسل در فایل داده‌ها (فایل‌های MOD10_L2)، به صورت کد بین 0 تا 255 ذخیره شده است (جدول 1). در این تحقیق، بر اساس قانونی به نام قانون صحت، هویت هر پیکسل مشخص شده است. مطابق این قانون، پیکسل‌هایی با

- و در نهایت به مرحله پنجم منتقل می‌شود.
- 3- پیکسل مردود شده با مشابه خود در گذر ماهواره اکوا در همان روز جایگزین شده و قانون صحت در مورد آن اجرا می‌شود. اگر پیکسل مورد قبول واقع شود، به مرحله پنجم، در غیر این صورت به مرحله چهارم منتقل می‌شود.
- 4- پیکسل مردودی با مشابه خود در گذر فردای ماهواره ترا جایگزین شده و قانون صحت در مورد آن اجرا می‌شود. اگر پیکسل مورد قبول واقع شود به مرحله پنجم منتقل و در غیر این صورت به مرحله سوم باز می‌گردد.
- * شرط خروج از حلقه در مراحل سوم و چهارم، تعداد تکرار 30 روز قرار داده شده است. بنابراین پیکسل مردود به همان صورت اولیه، پس از 30 امین گذر اکوا، از مرحله سوم به مرحله پنجم منتقل می‌شود.
- 5- اگر پیکسل مردودی از مرحله چهارم باقی مانده باشد، در صورتی که از هشت همسایه خود بیشتر یا مساوی چهار پیکسل برفی وجود داشت، آن پیکسل نیز زمین برفی محسوب شده؛ در غیر این صورت، زمین بدون برف محسوب می‌شود. پیکسل‌های مورد قبولی که از مرحله دوم، سوم و چهارم وارد شده‌اند، در صورتی که برفی نباشند به زمین بدون برف تبدیل می‌شوند. سپس پیکسل‌ها به مرحله ششم منتقل می‌شوند.
- 6- تمام پیکسل‌هایی که به این مرحله می‌رسند یا زمین برفی و یا زمین بدون برف هستند. پس در این مرحله الگوریتم حذف ابر به اتمام می‌رسد. در این حالت تمام پیکسل‌ها به همراه مختصات مکانیشان در یک آرایه جداگانه ذخیره می‌شوند. سپس فایل با نام همان روز ایجاد

موج کوتاه خورشیدی است و گرمایی که در نزدیکی سطح زمین وجود دارد عمدتاً، پرتوهای طول موج بلند می‌باشند و نمی‌تواند باعث ذوب برف شوند. بنابراین در پی مشاهده پیکسل ابری، از همان پیکسل در فایل دیگر، به شرط رعایت قانون صحت، استفاده خواهد شد و در غیر این صورت این روند تا یک دوره خاص تکرار می‌شود.

جدول شماره 1- کدهای نشان‌دهنده مشخصات هر نقطه در فایل MOD10_L2

توضیح	معادل	کد عددی
بدون داده (عدم خروجی آشکارساز)	missing data	0
بدون تصمیم	no decision	1
شب	night	11
زمین بدون برف	no snow	25
دریاچه	lake	37
اقیانوس یا دریا	ocean	39
ابر	cloud	50
دریاچه یخ زده	lake ice	100
زمین برفی	snow	200
آشکارساز اشباع شده	detector saturated	254
بدون داده (عدم دید زمینی)	fill	255

پردازش تمامی پیکسل‌های هر تصویر طی الگوریتم روزانه در شش مرحله می‌شود:

- 1- مشخصات هر پیکسل از فایل داده‌های ماهواره ترا خوانده می‌شود. اگر طبق قانون صحت، پیکسل مورد قبول قرار گیرد، به مرحله دوم منتقل می‌شود؛ در غیر این صورت، آن پیکسل مردود محسوب شده و به مرحله سوم منتقل می‌شود.
- 2- اگر آن پیکسل دریاچه یخ‌زده تشخیص داده شد، در صورتی که از هشت همسایه خود بیشتر یا مساوی چهار پیکسل زمین برفی وجود داشت، آن پیکسل نیز زمین برفی محسوب شده؛ در غیر این صورت، بر اساس بیشترین همسایه، آن پیکسل زمین بدون برف، دریاچه، اقیانوس یا دریا و یا ابری محسوب می‌شود

پیکسل در فایل MOD10_L2 در روی زمین دارای مساحتی برابر 0/25 کیلومتر مربع است (با قدرت تفکیک 500 متر)، مساحت پوشش برفی نسبت به مساحت کل تصویر محاسبه گردیده است. بر این اساس مساحت کل کشور ایران 1648261/5 کیلومتر مربع محاسبه شده که با مساحت واقعی کشور (1648192 کیلومتر مربع) تفاوت چندانی ندارد. بدین ترتیب با شمارش تعداد پیکسل‌های برفی و ضرب آن در مساحت هر پیکسل، مساحت منطقه پوشیده از برف برای هر نقشه برفی روزانه محاسبه شده است.

همان‌طور که گفته شد، هر نقشه ماهانه حاوی تعداد روزهای مشاهده شده برف در آن ماه است. برای اینکه تأثیر زمان ماندگاری برف در هر پیکسل در کل روزهای ماه مشخص شود، از میانگین ماهانه پیکسل برفی با فرمول (1) استفاده می‌کنیم.

$$(1) \quad \frac{\text{تعداد رخدادهای برفی در ماه}}{\text{تعداد روزهای برفی}} = \text{میانگین}$$

به طور مثال، اگر در یک ماه 30 روزه، پیکسلی با تعداد رخداد پنج روز برفی وجود داشته باشد، میانگین ماهانه آن، یک ششم پیکسل خواهد بود؛ هم‌چنین برای پیکسلی با رخداد 30 روز برفی، میانگین ماهانه آن، یک پیکسل خواهد بود. سپس برای محاسبه مساحت میانگین ماهانه، از فرمول (2) استفاده می‌شود.

$$(2) \quad \text{میانگین} \times 0/25 = \text{میانگین ماهانه پیکسل برفی} = \text{مساحت میانگین ماهانه}$$

از حاصل‌جمع رابطه (2) برای تمام پیکسل‌های تصویر، مساحت زمانی- مکانی ماهانه برای کل کشور به دست خواهد آمد.

هر نقشه سالانه حاوی تعداد روزهای مشاهده شده برف در آن سال است. به عبارت دیگر، از

شده و این آرایه به همان فرمت ورودی ذخیره می‌شود تا به عنوان نسخه‌ای از فایل اصلی روزانه ولی بدون مزاحمت ابر استفاده شود (شکل 1-د). در پایان مرحله ششم الگوریتم روزانه، پیکسل‌های فایل جدید روزانه وارد الگوریتم ماهانه می‌شوند. در این الگوریتم، تمامی پیکسل‌های برفی روزهای ماه میلادی به ترتیب و با حفظ موقعیت مکانیشان شمارش شده و به طور جداگانه در یک آرایه قرار گرفته و به عنوان مجموع ماهانه پیکسل‌های برفی در قالب فایل جدید به نام آن ماه ذخیره می‌شود. بنابراین این فایل حاوی تعداد رخدادهای پیکسل‌های برفی در یک ماه است که نشان می‌دهد هر پیکسل در آن ماه در چند روز برفی مشاهده شده است. هر پیکسل بر حسب تعداد روزهای آن ماه، مقداری بین صفر تا 31 خواهد داشت.

سپس پیکسل‌های فایل ماهانه وارد الگوریتم سالانه شده که در آن از مجموع نتایج الگوریتم ماهانه برای هر سال استفاده می‌شود. سپس تمامی پیکسل‌های برفی شمارش شده در هر سال با حفظ موقعیت مکانی‌شان به طور جداگانه در یک آرایه قرار گرفته و به عنوان مجموع سالانه پیکسل‌های برفی در قالب فایل جدید به نام آن سال ذخیره می‌شود. بنابراین این فایل سالانه حاوی تعداد رخدادهای پیکسل‌های برفی در یک سال است که نشان می‌دهد هر پیکسل در آن سال در چند روز برفی مشاهده شده است. هر پیکسل بر حسب تعداد روزهای آن سال، مقداری بین صفر تا 366 خواهد داشت.

محاسبه مساحت پوشش برف

با مشخص بودن تعداد کل پیکسل‌های هر تصویر و تعداد پیکسل‌های برفی و اینکه هر

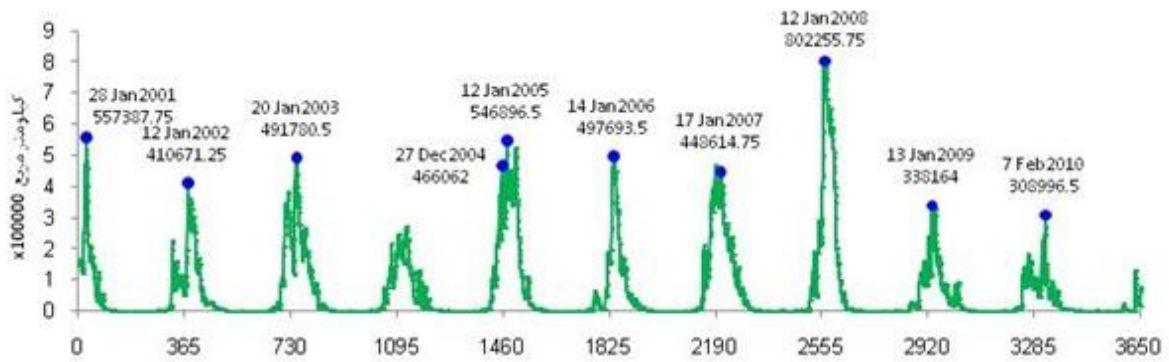
2010 نشان می‌دهد. بیشترین مساحت میانگین پوشش برف در این ماه مربوط به سال 2008 با مقدار 641814 کیلومتر مربع می‌باشد که نسبت به سال قبل خود 80/24 درصد افزایش داشته است. کمترین مساحت پوشش برف مربوط به سال 2010 با مقدار 89824 کیلومتر مربع است که نسبت به سال قبل خود 58/77 درصد کاهش داشته است. شکل (4) نقشه پوشش برفی و مساحت میانگین آن را در هر سال در دوره ده‌ساله 2001 تا 2010 نشان می‌دهد. نقاط رنگی نشان‌دهنده تعداد روزهای برفی در هر سال است. همچنین بیشترین مساحت میانگین پوشش برف رخ داده در این دوره در سال 2008 با مقدار 1167668 کیلومتر مربع و کمترین آن در سال 2010 با مقدار 291249 کیلومتر مربع بود. شکل (5) نقشه تغییرات میانگین پوشش برف را از سال 2001 تا 2010 بر حسب روز نشان می‌دهد. رنگ آبی نشان‌دهنده نقاطی است که پوشش برف طی آن سالها افزایش و نقاط قرمز نشان‌دهنده نقاطی است که پوشش برف طی آن سالها کاهش داشته است. هر دو بر حسب روز نشان داده شده‌اند. همچنین در این مدت، بیشترین زمان افزایش بارش برف در یک نقطه، 46 روز و بیشترین کاهش زمان بارش برف، 108 روز بوده است.

حاصل‌جمع 12 نقشه ماهانه پیکسل برفی، نقشه سالانه پیکسل برفی به دست می‌آید. برای مساحت میانگین سالانه نیز از حاصل‌جمع 12 مساحت میانگین ماهانه استفاده می‌شود. بدین ترتیب، میانگین زمانی- مکانی سالانه برای کل کشور به دست خواهد آمد. سپس با استفاده از داده‌های روزانه، نتایج ماهانه، سالانه و ده ساله پوشش برف برای کل کشور محاسبه گردید.

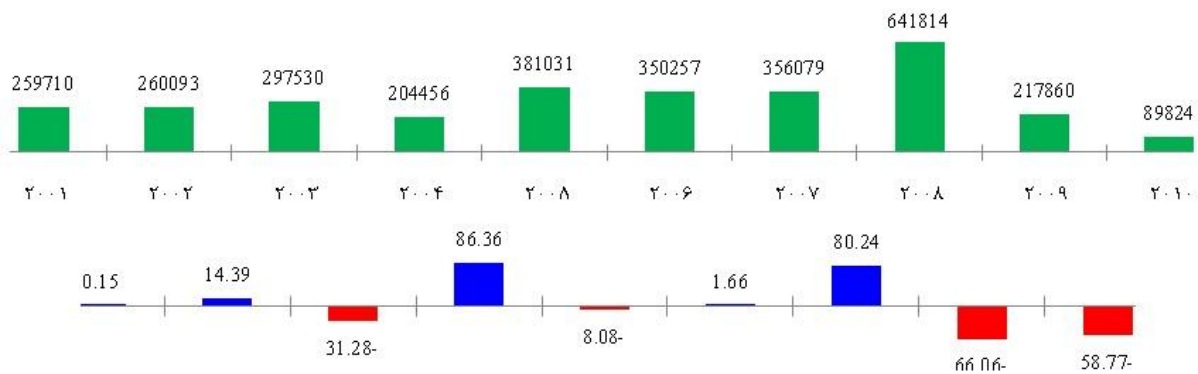
نتایج

شکل (2) سری زمانی مساحت پوشش برف روزانه در دوره ده ساله 2001 تا 2010 را نشان می‌دهد. نقاط آبی درون این نمودار، بیشترین مساحت پوشش برفی رخ داده در هر سال را نشان می‌دهند. بیشینه مساحت پوشیده شده از برف در این دوره، در 12 ژانویه 2008 با مقدار 802255/75 کیلومتر مربع و کمترین آن در هفتم فوریه 2010 با مقدار 308996/5 کیلومتر مربع بود. در هشت سال از این دوره ده ساله، زمان رخداد بیشترین پوشش برف در ماه ژانویه بوده در حالی که در سال 2004 در ماه دسامبر و در سال 2010 در ماه فوریه رخ داده بود.

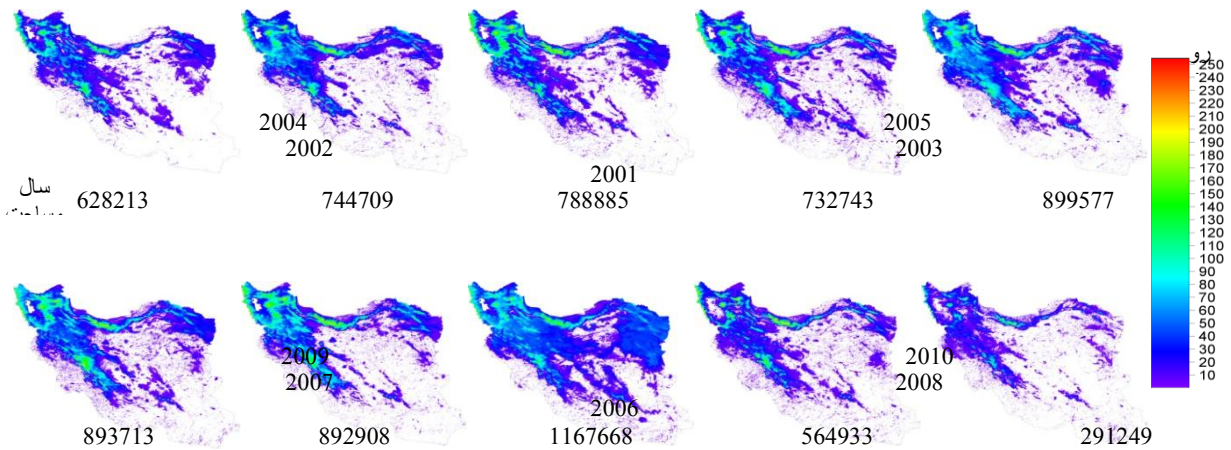
شکل (3) نیز مساحت میانگین پوشش برف (نمودار بالایی) و درصد اختلاف (نمودار پایینی) آن را نسبت به سال قبل در ماه ژانویه در دوره ده‌ساله 2001 تا



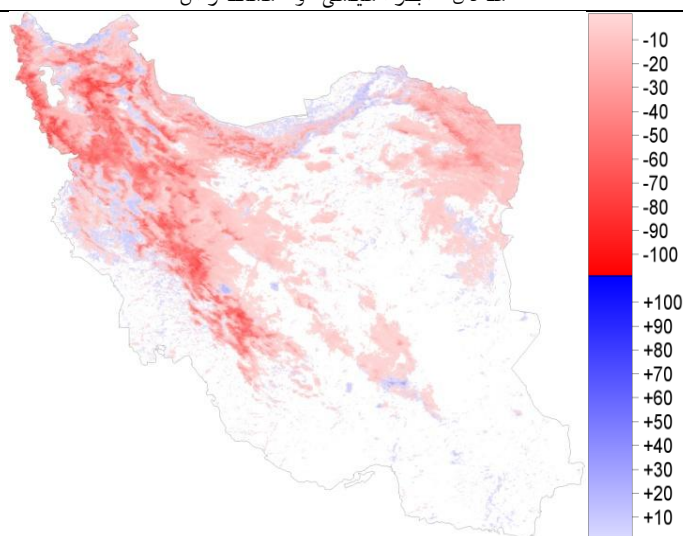
شکل شماره 2- نمودار سری زمانی مساحت پوشش برف روزانه در دوره دهساله 2001 تا 2010 (کیلومتر مربع)



شکل شماره 3- نمودار مساحت میانگین پوشش برف و درصد اختلاف نسبت به سال قبل در ماه ژانویه در دوره دهساله 2001 تا 2010



شکل شماره 4- نقشه پوشش برفی و مساحت میانگین آن در هر سال در دوره دهساله 2001 تا 2010 (کیلومتر مربع)



شکل شماره 5- نقشه تغییرات میانگین پوشش برف از سال 2001 تا 2010 (روز)

نتایج روند سالانه پوشش برف کشور نیز به شرح زیر است:
در سال 2002 نسبت به سال قبل، مناطق شمالی و شمال غربی کشور و دامنه های اطراف آن شاهد افزایش بارش برف بوده در حالی که در قسمت هایی از زاگرس و شمال شرق کشور کاهش بارش برف روی داده است.

در سال 2003 نسبت به سال قبل، قسمت هایی از شمال و غرب کشور شاهد کاهش بارش برف بوده در حالی که در شمال شرق و شمال غرب کشور و همچنین جنوب زاگرس افزایش بارش برف روی داده است.
در سال 2004 نسبت به سال قبل، اکثر مناطق شمال، شمال شرق و شمال غرب کشور شاهد کاهش بارش برف و فقط در مناطق مرتفع زاگرس میانی و جنوبی افزایش بارش برف روی داده است.

در سال 2005 نسبت به سال قبل، در غرب کشور و به طور پراکنده در اکثر دیگر مناطق کشور افزایش بارش برف روی داده بود در حالی که مناطقی از کوهستان های شمال غرب کشور و جنوب زاگرس شاهد کاهش بارش برف بود.

نتیجه گیری

نتایج روند روزانه نشان می دهد که بیشینه مساحت پوشیده شده از برف در این دوره، در 12 ژانویه 2008 با مقدار 802255/75 کیلومتر مربع و کمترین آن در هفتم فوریه سال 2010 با مقدار 308996/5 کیلومتر مربع بود. در هشت سال در این دوره ده ساله، زمان رخداد بیشترین پوشش برف در ماه ژانویه، در حالی که در سال 2004 در ماه دسامبر و در سال 2010 در ماه فوریه بود. به طور کلی طی ده سال گذشته بسامد بیشینه پوشش برف کشور تقریباً هر چهار سال یک بار اتفاق می افتد زیرا پوشش برف در سال های 2001، 2005 و 2008 دارای یک بیشینه هستند.

نتایج روند ماهانه نشان می دهد که از سال 2007 تا 2010 در ماه های آگوست، اکتبر و سپتامبر افزایش پوشش برف و از سال 2007 به بعد در ماه های ژانویه، فوریه، مارس، می، جولای و دسامبر کاهش در پوشش برف کشور رخ داده است. در بقیه ماه های سال تغییر منظمی در پوشش برف مشاهده نمی شود.

- ماهواره MODIS و شاخص NDSI به منظور تهیه نقشه‌های پوشش برفی: نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره 61، شماره 3، 525-536.
- 2- رایگانی، ب.، خواجه‌الدین، ج.، سلطانی‌کوپایی، س.، براتی، س.، 1387، محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره‌های فاقد تصویر: نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره 44، 315-331.
- 3- رسولی، ع. ا.، ادهمی، س.، 1386، مقایسه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده مدیس: مجله جغرافیا و توسعه، 10، 36-23.
- 4-Rees W. G., Remote sensing of snow and ice; CRC press, Taylor & Francis Group; Boca Rotan, FL, USA, 2006; pp. 99-117.
- 5-Barnett, T. P., Adam, J. C., and Lettenmaier, D. P., 2005; Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438, pp. 303-309.
- 6-Yuanzhi Zhang, Su Yan and Yu Lu, Snow covers Monitoring Using MODIS Data in Liaoning Province, Northeastern China, and Remote Sens. 2010, 2, 777-793.
- 7-Qiuhong T. and Dennis P. L. (2009); Use of Satellite snow-cover data for stream flow prediction in the feather river basin, California, international Journal of remote sensing Vol. 00, No. 00, DD Month 200x, 1-11.
- 8-Brown, R. D. Northern hemisphere snow cover variability and change. *Journal of Climate*, 2000, 13, 2339-2355.
- 9-Samantha, K. M. (2004); Hydrological modeling using MODIS data for snow covered area in the northern boreal forest of Manitoba, University of Calgary.
- 10-Riggs, G. A., Hall, D. K., and Salomonson, V. V. (2003); MODIS snow products user guide for collection 4 data products, The MODIS snow/ice global mapping project website.

در سال 2006 نسبت به سال قبل، قسمت‌هایی از شمال‌شرق، شمال‌غرب و میانه و جنوب زاگرس شاهد افزایش بارش برف بود در حالی که در مناطق غربی و شمالی کاهش بارش برف روی داده بود.

در سال 2007 نسبت به سال قبل، قسمت‌های شمال شرقی و شمالی و شمال غربی و قسمتی از غرب شاهد افزایش بارش برف بود در حالی که در زاگرس میانی و جنوبی کاهش بارش برف روی داده بود.

در سال 2008 نسبت به سال قبل، در تمام مناطق مرتفع کشور کاهش بارش برف روی داده بود ولی دامنه‌ها و مناطق کم ارتفاع و شهری شمال‌شرق، مرکز، شرق و قسمتی از غرب کشور شاهد افزایش بسیار زیاد بارش برف بود.

در سال 2009 نسبت به سال قبل، در بجز قله‌های بسیار مرتفع کشور که افزایش بارش برف داشت در تمامی مناطق کشور کاهش چشمگیر بارش برف روی داده بود. در سال 2010 نسبت به سال قبل، در تمامی کوه‌ها و رشته‌کوه‌ها و مناطق برفخیز کشور کاهش چشمگیر بارش برف روی داده بود.

نتایج روند ده ساله پوشش برف کشور نیز نشان می‌دهد که در تمامی مناطق کوهستانی و برفخیز کشور طی ده سال گذشته کاهش چشمگیری در بارش برف روی داده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از بخش فیزیک دانشگاه هرمزگان به خاطر فراهم نمودن امکانات لازم جهت تهیه و پردازش داده‌ها تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- 1- رایگانی، ب.، خواجه‌الدین، ج.، سلطانی‌کوپایی، س.، براتی، س.، 1387، استفاده از تصاویر

-
- NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS, Springer.
- 13- [Http://nsidc.org/data/search.html](http://nsidc.org/data/search.html)
- 14- [Http://www-loa.univlille1.fr/Hdflook/hdflook_gb.html](http://www-loa.univlille1.fr/Hdflook/hdflook_gb.html)
- 11- Riggs G, Hall DK, Salomonson VV, (2006a), MODIS snow products user guide to Collection 5.
- 12- Ramachandran B., Christopher O. J., Michael J. A., 2011, Land Remote Sensing and Global Environmental Change,