



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال ششم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۳
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.6, No. 2, Summer 2014

۱۷-۲۹

ارزیابی و بهینه‌سازی روش سالومونسون و همکاران در برآورد سطح پوشش برف حوزه‌های کرج و لتیان

علی اکبر متکان^۱، علیرضا شکیبا^۲، داود عاشورلو^۳، مانده بهی فر^۴*

۱. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۲. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۳. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۴. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۸/۱۱

چکیده

هدف از این مقاله تعیین سهم پوشش برف حوزه‌های کرج و لتیان با استفاده از تصاویر MODIS، به روش سالومونسون و همکاران و شناسایی منابع خطای این روش است. اهمیت سطح پوشش برف - به دلیل تأثیرگذاری بر بیلان تابش، بیلان آب و مدل‌سازی - انجام تحقیقات گوناگون را ضروری ساخته است. در این تحقیق برای بررسی سطح برف از داده‌های MODIS و برای ارزیابی دقت، از تصاویر LISIII-IRS استفاده شده است. تا کنون روش‌های متفاوتی برای استخراج سهم برف پیکسل‌ها به کار گرفته شده که در تحقیق حاضر از روش سالومونسون و همکاران به دلیل دقت مناسب و نیازنداشتن به اطلاعات اولیه از منطقه استفاده شده و عوامل ایجاد خطا در آن شناسایی شده است. افزون بر این، ضرایب معادله سالومونسون و همکاران با استفاده از داده‌های منطقه‌ای ایران بهینه‌سازی شده و دقت حاصل از مدل با ضرایب بهینه، در منطقه‌ای جدید ارزیابی شده است. نتایج ارزیابی دقت نشان داده‌اند که روش سالومونسون و همکاران می‌تواند سهم برف پیکسل‌های MODIS را با خطای RMS ۰/۲۰ پیکسل برآورد کند. ضرایب کاپا و دقت کلی این روش به ترتیب ۰/۸۴، ۹۲/۱۲ است، که دقت مناسب آن را نشان می‌دهد. نتایج تحقیق نشان می‌دهند که به دلیل خطای بالاتر روش سالومونسون و همکاران، باید در نواحی حاشیه رودهای ایران که عموماً دارای پوشش درختی کم‌تراکم و باغ‌های پراکنده‌اند، از این روش صرف‌نظر شود. لازم است برای حذف مناطق آبی از ماسک‌های مناسب استفاده شود. بهینه‌سازی ضرایب مدل توانسته است دقت برآورد مدل را بهبود بخشد، به طوری که مقدار خطای RMS مدل با ضرایب اصلاح‌شده در منطقه‌ای جدید ۰/۲۵۸ پیکسل به دست آمده، در حالی که معادله سالومونسون و همکاران در همین منطقه خطای RMS عدد ۰/۲۶۶ پیکسل را نشان داده است.

کلیدواژه‌ها: روش سالومونسون و همکاران، زیرپیکسل، سطح پوشش برف، شاخص تقاضی نرمال شده برف.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، گروه سنجش از دور، تلفن: ۰۹۱۲۷۱۲۶۹۶

۱- مقدمه

پوشش برف منبع بیش از ۸۰ درصد آب تازه زمین را فراهم می‌کند، و به‌ویژه در عرض‌های متوسط و بالا، بیشترین سهم تغذیه رودها و آب سطحی را به خود اختصاص داده است (Dozier, 1989). کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و وضعیت ناهمواری آن از مناطق خشک جهان به‌شمار می‌آید. با وجود این، ریزش‌های جوی اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده آب در ایران است (WRM, 2006). از آنجاکه بیشترین میزان بارش سالانه ایران در فصل زمستان صورت می‌گیرد و با توجه به فاصله زمانی بین بارش برف و رواناب آن، اهمیت برآورد سطح پوشش برف مناطق کوهستانی و تغییرات آن در فصل‌های مختلف سال، به‌عنوان منبع طبیعی ذخیره آب برای فصول گرم آشکار می‌شود (WRM, 2006).

تحلیل پوشش برفی در نواحی کوهستانی برای تهیه نقشه برف، تخمین ذخیره آبی، برآورد رواناب ناشی از ذوب و بهبود نقشه‌های عمق برف به‌کار گرفته می‌شود. تاکنون روش‌های مختلفی برای استخراج سطوح برف‌گیر به‌کمک داده‌های سنجنش از دور ایجاد شده‌اند. به‌عنوان مثال سیمپسون^۱ و همکاران (۱۹۹۸) روشی را برای تعیین سطح برف با داده‌های NOAA پیشنهاد کرد. ریگز^۲ و همکاران (۱۹۹۴) و هال^۳ و همکاران (۱۹۹۵) نیز الگوریتم برف MODIS را ارائه کردند.

با اینکه نقشه‌های سطح برف در مقیاس جهانی به‌صورت روزانه تهیه می‌شود، اما برای استفاده از نقشه‌های سطح برف در مقیاس محلی به دقت بیشتری نیاز است. بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی به داده‌هایی با تناوب روزانه یا چندروزه احتیاج دارند. لزوم ایجاد توازن میان توان تفکیک مکانی، طیفی و زمانی در مطالعات پوشش برف، استفاده از الگوریتم‌هایی با دقت بالا را که توانایی تعیین سهم برف موجود در پیکسل‌ها را داشته باشند، ضروری می‌سازد.

از روش‌های به‌کار گرفته شده برای تعیین سهم برف پیکسل‌ها می‌توان به روش جداسازی طیفی^۴ که فوپا^۵ و همکاران (۲۰۰۲) و متکان و همکاران (۲۰۰۸)

آن را اجرا کرده‌اند و روش‌های کافمن^۶ و همکاران (۲۰۰۲)، بارتون^۷ و همکاران (۲۰۰۲)، سالومونسون و اپل^۸ (۲۰۰۴) و سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) اشاره کرد.

روش جداسازی طیفی به چگونگی تعیین طیف عضوهای خالص حساس است و برای هر پژوهش می‌بایست کتابخانه طیفی مناسب با شرایط منطقه ایجاد شود. افزون بر این، به دلیل شرایط کوهستانی حوزه‌های برف‌گیر ایران و اختلاف شرایط دریافت تابش در این مناطق، حتی بهترین کتابخانه‌های طیفی نیز با محدودیت‌هایی همراه خواهند بود (Rosenthal & Dozier 1996). در مقابل، روش‌های کافمن و همکاران (۲۰۰۲)، بارتون و همکاران (۲۰۰۰)، سالومونسون و اپل (۲۰۰۴) و سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) به دانش اولیه‌ای در مورد منطقه احتیاج ندارند و برای مناطق بدون داده‌ای نظیر نواحی کوهستانی ایران مناسب‌ترند. روش کافمن و همکاران (۲۰۰۲) بر مبنای پیش‌بینی بازتاب سطح بدون برف ارائه شده است و در صورت برآورد بازتاب سطح بدون برف، اختلاف مقدار مشاهده‌شده و برآوردشده را به میزان برف موجود در پیکسل نسبت می‌دهند. در این روش، بازتاب سطح به‌وسیله رابطه تجربی بین باندهای ۰/۶۶ و ۲/۱ میکرومتر برآورد می‌شود و اختلاف آن با بازتاب مشاهده‌شده در باند ۰/۶۶ میکرومتر، برای برآورد سطح برف استفاده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داده است که روش مذکور در تشخیص برف‌هایی با سهم کمتر از ۳۰ درصد پیکسل دقیق‌تر و به تأثیرات ناشی از اتمسفر حساس است.

1. Simpson
2. Riggs
3. Hall
4. Spectral Unmixing
5. Foppa
6. Kaufman
7. Barton
8. Appel

سنجنده MODIS بررسی و اعتبارسنجی کردند و روش پیشنهادی سالومونسون و اپل (۲۰۰۴) (رابطه ۱) در مناطق جدید نیز ارزیابی شد و با اعمال شرطی جدید در محاسبه رابطه رگرسیون، پیکسل‌هایی با سهم برف کمتر از یک و بیشتر از صفر هنگام محاسبه مدل به‌کار گرفته شدند. بدین ترتیب رابطه جدیدی برای برآورد سهم برف هر پیکسل MODIS با استفاده از شاخص NDSI در مقیاس جهانی به‌دست آمد (رابطه ۲).

رابطه (۲)

$$\text{Frac} = -0.01 + 1.45 * \text{NDSI}$$

که در آن، NDSI مقادیر شاخص NDSI و Frac مقادیر سهم برف برآوردشده برای هر پیکسل است. همان‌طور که ذکر شد برای تهیه نقشه‌های برف با دقت مکانی و زمانی مناسب، لازم است نقشه‌های برف در سطح زیرپیکسل از تصاویر با تفکیک زمانی بالا استخراج شوند، به همین دلیل در این تحقیق تصاویر MODIS با توان تفکیک زمانی حدود یک روز برای تهیه نقشه‌های سهم برف انتخاب شدند. با توجه به مزیت و دقت روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) نسبت به سایر روش‌ها و نیز سادگی آن، تهیه نقشه‌های سهم برف با این روش مدنظر قرار گرفت. از آنجاکه روش مذکور برای مطالعات جهانی طراحی شده، ضروری است تا دقت آن در مطالعات ناحیه‌ای مربوط به ایران ارزیابی شود. همچنین از آنجاکه در مطالعات ناحیه‌ای دقت‌های بالاتری مورد انتظار است، می‌بایست منابع خطای این مدل شناسایی شوند و در صورت لزوم، بهبود مدل یا حذف مناطق بروز خطا هنگام اجرای مدل صورت گیرد. به همین دلیل در پژوهش حاضر، روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) برای تعیین سهم برف از پیکسل‌های MODIS در حوزه‌های ایران بررسی شده و ارزیابی منابع خطا و بهینه‌سازی ضرایب این روش صورت گرفته است.

سالومونسون و اپل (۲۰۰۴) و سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی اثر سهم برف بر شاخص NDSI پرداختند. با توجه به اینکه شاخص NDSI شاخصی نرمال‌شده است، می‌تواند تا حدی آثار ناشی از شرایط تابش بر بازتاب برف را کاهش دهد (Hall et al., 2001). در دو پژوهش گفته‌شده، دو مدل براساس رابطه رگرسیونی بین سهم برف و شاخص NDSI پیشنهاد شده است که قابلیت استفاده در مقیاس جهانی و به‌صورت خودکار را دارند. سالومونسون و اپل (۲۰۰۴) برای این منظور از تصاویر سه منطقه آلاسکا، سبیری و کانادا برای ارائه مدل و دو منطقه آلاسکا و امریکای جنوبی - ناحیه مرزی شیلی در آرژانتین - به‌منظور ارزیابی دقت استفاده‌شده است. رابطه رگرسیون میان NDSI پیکسل‌های ۵۰۰ متری MODIS و پوشش جزئی برف هر پیکسل با استفاده از روش حداقل مربعات محاسبه شد. در تحقیق حاضر یک بار NDSI به‌صورت متغیر مستقل و سهم برف وابسته در نظر گرفته شد و بهبود مطالعات با استفاده از شروط مختلف بررسی گردید و شرط بهینه انتخاب شد. سپس با استفاده از روش بهینه، معادلات رگرسیون سه منطقه مورد نظر محاسبه شد و میانگین آنها به‌عنوان معادله‌ای جهانی در دو منطقه جدید ارزیابی گردید (رابطه ۱).

رابطه (۱)

$$\text{Frac} = 0.06 + 1.21 * \text{NDSI}$$

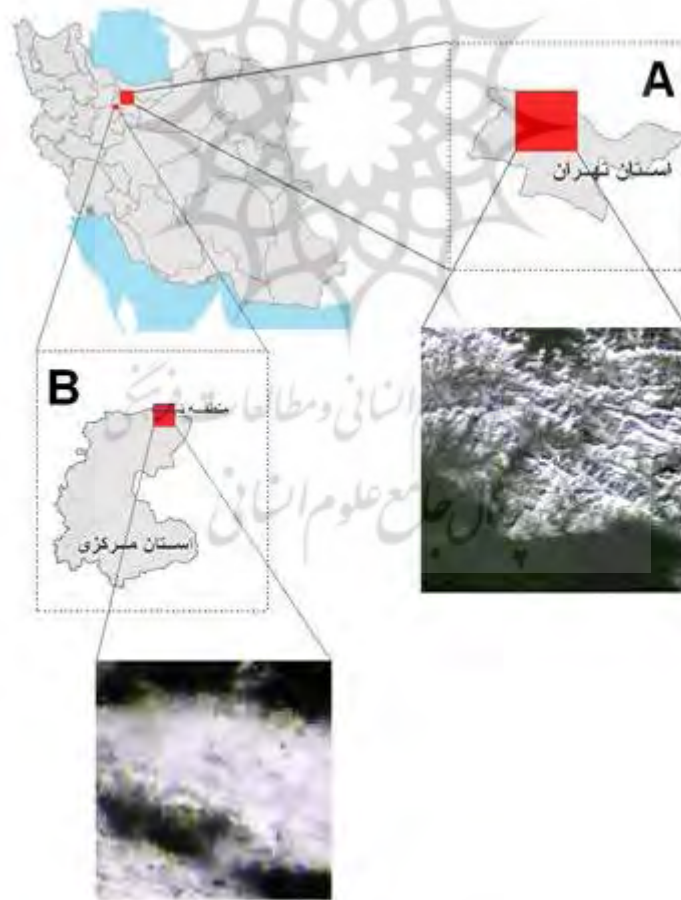
در رابطه (۱) منظور از NDSI مقادیر شاخص NDSI و Frac مقادیر سهم برف برآوردشده برای هر پیکسل است. دقت این روش با استفاده از نقشه‌های پوشش برف تهیه‌شده از تصاویر لندست ارزیابی شد و نشان داد که در این روش امکان محاسبه سهم پوشش برف یک پیکسل MODIS با خطای مطلق متوسطی کمتر از ۰/۱ وجود دارد، که در مقایسه با روش‌های کافمن و همکاران (۲۰۰۲) و بارتون و همکاران (۲۰۰۰) که در مناطق مشابه اجرا شده‌اند، خطای کمتری را نشان می‌دهد. افزون بر این، سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) الگوریتم استخراج پوشش جزئی برف را به‌وسیله

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعه شده

در تحقیق حاضر، سطح پوشش برف حوزه‌های کرج و لتیان بررسی شده‌اند. حوزه‌های کرج و لتیان که در بالادست سد‌هایی به همین نام واقع شده‌اند. حوزه‌هایی برف‌گیرند و بخش عمده‌ای از آب شرب و کشاورزی شهر تهران را فراهم می‌کنند (WRM, 2005). حوزه کرج براساس تقسیمات طرح جامع آب کشور در حوزه آبریز مرکزی، زیرحوزه کرج جاجرود و در واحد هیدرولوژیکی تهران - کرج واقع شده و تعداد روزهای یخبندان آن به طور متوسط ۱۸۵ روز در سال است (RAY AB Consulting Engineers, 2007). بلندترین نقطه حوزه لتیان دارای ارتفاع ۴۰۰۰ متر و پایین‌ترین نقطه در پای سد دارای ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح

دریاست. به‌طور متوسط، دی‌ماه با ۱۵ تا ۳۰ روز دارای بیشترین یخبندان و خرداد تا شهریور بدون یخبندان دارای کمترین روزهای یخبندان هستند (Institute of Water & Energy, 2004). به‌دلیل آنکه در تاریخ ۲۳ ژانویه تقریباً حوزه‌های مطالعه‌شده پوشیده از برف بودند، برای افزایش پیچیدگی منطقه مطالعه‌شده و تنوع‌بخشیدن به شرایط برف و به‌دست‌آوردن برآورد واقعی‌تری از دقت مدل در شرایط متفاوت برف، خاک و پوشش گیاهی، شکل ۱ بخشی وسیع‌تر از حوزه‌های مطالعاتی را دربر گرفته که شامل حوزه‌های مجاور کرج لتیان و نیز شهرهای تهران و کرج و بخش‌های جنوبی شهر تهران است. شکل ۱A موقعیت منطقه مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه‌شده

۲-۲- داده‌های تحقیق

تصاویر MODIS با ۳۶ باند طیفی و توان تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و توان تفکیک زمانی در حدود یک روز، دارای باندهای مناسبی برای شناسایی و تفکیک برف از سایر پدیده‌ها هستند. به همین دلایل در تحقیق حاضر از تصاویر MODIS برای اجرای الگوریتم و تهیه نقشه برف استفاده شده است. از آنجاکه برای ارزیابی دقت نتایج به داده‌هایی با دقت بالاتر نیاز است و به دلیل نبود نقشه‌های برف روزانه از مناطق برف‌گیر ایران و نیز نمونه‌برداری زمینی بسیار اندک از این مناطق، استفاده از داده‌های کمکی برای ارزیابی دقت ضروری خواهد بود.

درمقایسه با تصویر MODIS با توان تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر، تصاویر IRS که توان تفکیک مکانی ۲۳/۵ متر و باندهای مناسبی برای شناسایی برف دارند، منابع داده‌های مرجع خوبی قلمداد می‌شوند. به همین دلیل، تصویر سنجنده LISS-III ماهواره IRS در تاریخ ۲۳ ژانویه ۲۰۰۷ در گذر ۴۵-۶۹ مربوط به حوزه‌های کرج و لتیان از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح دریافت شده و تصویر MODIS مربوط به همین تاریخ نیز دریافت شده است.

ماهواره IRS-P6 در ساعت ۱۰:۳۰ به وقت محلی تصویربرداری می‌کند و تصویر MODIS مورد استفاده نیز در ساعت ۱۱:۱۰ به وقت محلی دریافت شده است، بنابراین تصاویر مورد استفاده حداکثر ۴۰ دقیقه اختلاف زمانی دارند. از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور با فرمت dgn برای زمین‌مرجع کردن تصاویر استفاده شده و برای شناسایی مناطق دارای بیشترین خطا در روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) و ویژگی این مناطق از نقشه کاربری حوزه‌های کرج - لتیان مربوط به سال ۱۳۸۶ تهیه شده در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور استفاده شده است. نمونه‌های برف‌سنجی مدیریت منابع آب ایران مربوط به سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۲-۳- روش‌ها

۲-۳-۱- آماده‌سازی داده‌ها

مقادیر درجه‌های روشنایی تصاویر MODIS و LISS-III با استفاده از معادلات تبدیل مربوط به هر سنجنده، به بازتابندگی تبدیل شده و شاخص NDSI محاسبه شده است (MODIS user's guide, 2006; IRS P6 Data (User's Manual, 2003). افزون بر این، تصاویر سنجنده LISS-III با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری زمین‌مرجع شدند. تصاویر MODIS با تصویر زمین‌مرجع شده IRS هم‌مختصات شدند و سیستم تصویر آنها به UTM زون ۳۹ با بیضوی مبنای WGS84 تبدیل شد. تصحیح هندسی تصاویر IRS و MODIS به روش تصحیح کلی و با استفاده از معادلات چندجمله‌ای درجه اول و روش نمونه‌برداری نزدیک‌ترین همسایه انجام شده است.

۲-۳-۲- اجرای مدل

برای ارزیابی مدل سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶)، ابتدا این معادله در منطقه اعمال شد و نقشه سطح برف تهیه گردید. برای این کار مقادیر NDSI با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Riggs et al., 1994) و سپس سهم برف با استفاده از رابطه (۲) (Salomonson et al., 2006) برآورد گردید.

رابطه (۳)

$$NDSI = \frac{MODIS_4 - MODIS_6}{MODIS_4 + MODIS_6}$$

۲-۳-۳- ارزیابی دقت مدل

از آنجاکه هدف پژوهش حاضر، ارزیابی دقت مدل سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) است، ارزیابی دقت مدل در دو سطح پیکسل‌مبنا و زیرپیکسل انجام گرفت. برای ارزیابی پیکسل‌مبنا، نقشه سهم برف ایجاد شده به روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) به دو کلاس برف و غیربرف تبدیل شد و سپس با تصویر IRS

۲-۳-۵- بهینه‌سازی مدل

نتایج پژوهش حاضر نشان دادند که دقت مدل سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه مطالعه‌شده کمتر از دقت ارائه‌شده از سوی سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) بر پایه رگرسیون است و روش‌های رگرسیونی نیز به داده‌های مورد استفاده وابسته‌اند و در مناطق مختلف نتایج متفاوتی ارائه می‌کنند، به نظر می‌رسد اصلاح ضرایب معادله مطابق شرایط ایران بتواند دقت نتایج را بهبود بخشد. بنابراین در ادامه، بهینه‌سازی این روش از طریق اصلاح ضرایب معادله سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) بررسی شد. به این منظور با استفاده از شروط ارائه‌شده از سوی سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) و داده‌های منطقه مطالعه‌شده، معادله رگرسیون میان سهم برف و NDSI در منطقه کرج - لتیان محاسبه شد.

۳- نتایج

۳-۱- آماده‌سازی داده‌ها

تصویر IRS با خطای ۰/۴۳ پیکسل با نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری، و تصویر MODIS با تصویر IRS تصحیح‌شده، هم‌مختصات شد. جدول ۱ میزان خطای تصحیح هندسی تصویر MODIS را نشان می‌دهد.

۳-۲- اجرای مدل

پس از اعمال روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) محدوده مقادیر سهم برف برآوردشده، بین ۰/۵۴- تا ۱/۲۷ پیکسل بودند. شکل ۲ تصویر سهم برف استخراج‌شده را نشان می‌دهد.

مقایسه شد و ماتریس ابهام^۱ ایجاد و دقت کلی^۲ و ضریب کاپا^۳ محاسبه گردید. اما از آنجاکه روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) مقدار برف پیکسل‌ها را در سطح زیرپیکسل برآورد می‌کند، استفاده از نقشه‌های ساده برف و غیربرف نمی‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی نتیجه این مدل باشد. برای ارزیابی دقت در سطح زیرپیکسل، مقدار واقعی سهم برف تک‌تک پیکسل‌های MODIS با استفاده از تصاویر IRS برآورد شد. به این منظور ابتدا تصویر IRS به اندازه پیکسل ۲۵ متر نمونه‌برداری شد و سپس با استفاده از روش^۴ SNOMAP به نقشه برف و غیربرف تبدیل شد (Riggs et al., 1994). در ادامه با استفاده از این نقشه، سهم برف در پنجره‌های ۲۰×۲۰ پیکسلی معادل پیکسل‌های MODIS محاسبه شد و این مقدار به‌عنوان مقدار مرجع برف پیکسل MODIS در نظر گرفته شد و مقدار RMSE^۵ کل محاسبه گردید و با نتایج به‌دست آمده از سوی سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) مقایسه شد. افزون بر این، با استخراج هیستوگرام خطا، فراوانی مقادیر خطا استخراج و ارزیابی شد.

۲-۳-۴- ارزیابی منطقه‌ای خطا

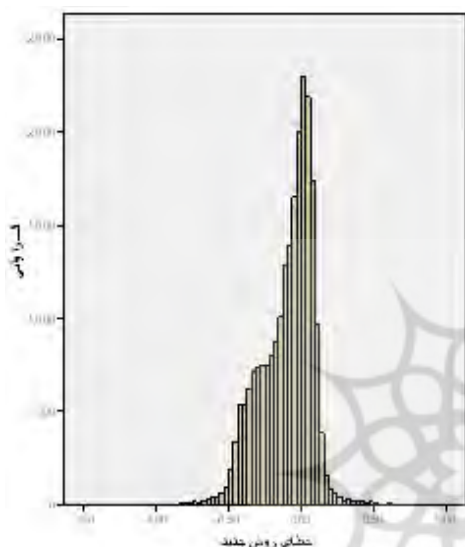
شاخص‌های فراوانی خطا و RMSE اطلاعاتی در مورد ویژگی و شرایط مناطق بروز خطا به‌دست نمی‌دهند، در صورتی‌که برای دستیابی به نتایج قابل اطمینان - به‌ویژه در مقیاس منطقه‌ای - لازم است مناطقی که سبب بروز خطای بیشتر می‌شوند شناسایی و در صورت نیاز جداگانه ارزیابی شوند. به همین دلیل، برای بررسی موقعیت پیکسل‌های دارای خطا، تصویر خطا با استفاده از مقادیر خطای مربوط به هر پیکسل تهیه شد و از این تصویر برای شناسایی موقعیت مکانی خطاها استفاده گردید. برای تعیین مناطق حداکثر خطا و ویژگی‌های آنها ابتدا تصویر خطا طبقه‌بندی شد و مناطق منطبق بر خطای زیاد شناسایی شدند. سپس با هم‌پوشانی نقشه خطا با نقشه‌های کاربری، مسیر آبراهه‌ها، حریمی^۶ بر مسیر آبراهه‌ها، و تصویر IRS مناطق دارای خطای بیشتر بررسی شد.

1. Confusion Matrix
2. Overall Accuracy
3. Kappa Coefficient
4. Snow-mapping Algorithm
5. Root Mean Square Error
6. Buffer

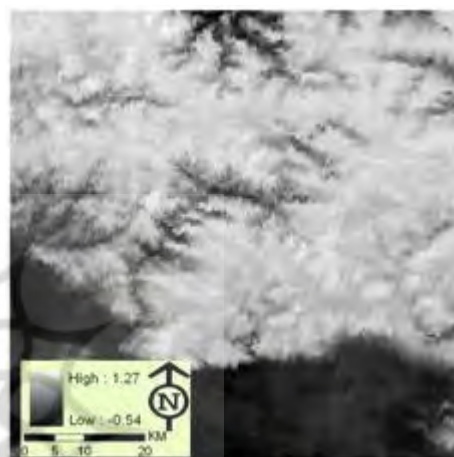
ارزیابی و بهینه‌سازی روش سالومونسون و همکاران در برآورد سطح پوشش برف حوزه‌های کرج و لتیان

جدول ۱. میزان دقت تصحیح هندسی تصاویر MODIS

تاریخ تصویر	نوع باند	هم‌مختصات شده با ...	RMSE
	۲۵۰ متر	تصویر IRS تصحیح شده	۰/۴۲
۲۳ ژانویه	۵۰۰ متر	تصویر ۲۵۰ متر تصحیح شده	۰/۳۴
	۱۰۰۰ متر	تصویر ۵۰۰ متر تصحیح شده	۰/۳۳



شکل ۳. هیستوگرام توزیع مقادیر خطا



شکل ۲. سهم برف استخراج شده با روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶)

۳-۳-۳- ارزیابی دقت مدل
 نمونه برداری تصادفی برداشت شد و با توجه به موقعیت‌شان در تصویر IRS، به یکی از دو کلاس برف، غیربرف منتسب شدند و ماتریس ابهام ایجاد گردید و درنهایت، دقت کلی ضریب کاپا محاسبه شد. دقت کلی و ضریب کاپای روشن سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) درمقایسه با داده‌های مرجع به ترتیب ۹۲/۱۲ درصد و ۰/۸۴ به دست آمد.

۳-۳-۲- ارزیابی روش سالومونسون و همکاران

در سطح زیرپیکسل

برای ارزیابی پیکسل به پیکسل نتایج روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶)، اختلاف مقدار برآورد شده با این روش و مقدار مرجع محاسبه شد و مقدار RMSE محاسبه گردید.

۳-۳-۱- ارزیابی پیکسل مبنای روش سالومونسون و همکاران
 دقت نقشه برف حاصل از تصویر IRS با استفاده از داده‌های زمینی ارزیابی گردید، که برای انجام آن از داده‌های برف‌سنجی مدیریت منابع آب ایران استفاده شد. با توجه به تعداد نمونه‌های موجود در منطقه مطالعه شده، در مجموع با ۲۸ نقطه زمینی نقشه برف حاصل از تصویر IRS ارزیابی گردید و نتایج این ارزیابی نشان داد که تمام نقاط نمونه در تصویر IRS به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

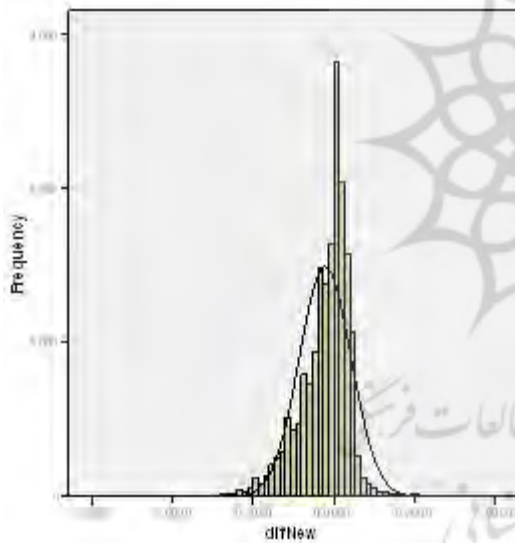
۳-۳-۱- ارزیابی پیکسل مبنای روش سالومونسون و همکاران

در سطح زیرپیکسل

در ارزیابی دقت پیکسل مبنای بیش از ۲۰۰ نقطه با روش



شکل ۴. تصویر طبقه‌بندی‌شده خطا



شکل ۵. هیستوگرام توزیع مقادیر خطا پس از حذف مناطق بدون برف پایکوهی

ایجاد خطا در برآورد سطح پوشش برف ناشی از سطوح آبی از محدودیت‌های شاخص NDSI است و در الگوریتم SNOMAP¹ نیز این نواحی با آستانه‌گذاری حذف می‌شوند. با وجود این، به دلیل استفاده از ماسک خشکی آب MODIS در روش سالومونسون و همکاران

1. MODIS snow-mapping algorithm

مقدار RMSE این روش ۰/۲۰۴ به دست آمد. علاوه بر آن، فراوانی مقادیر خطا با استفاده از هیستوگرام خطا بررسی شدند (Salomonson & Appel 2004; Salomonson et al., 2006). شکل ۳ هیستوگرام توزیع مقادیر خطا را در حوزه کرج - لتیان نشان می‌دهد.

۳-۳-۳- ارزیابی منطقه‌ای خطا

همان‌طور که گفته شد، برای بررسی موقعیت و ویژگی پیکسل‌های دارای خطا، تصویر خطای این روش با استفاده از اطلاعات مرجع تولیدشده و تصویر خطای به دست آمده طبقه‌بندی شدند و مناطق دارای حداکثر خطا مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۴ تصویر خطای حاصل از اعمال روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) را پس از اجرای طبقه‌بندی نشان می‌دهد. در این شکل مناطق تیره‌تر نشان‌دهنده خطای بالاتر و مناطق روشن‌تر منطبق بر نواحی دارای حداقل خطاست. در این شکل مشاهده می‌شود که توزیع مکانی خطا در منطقه یکنواخت نبوده است و به نظر می‌رسد باید به مناطق بروز خطا در این روش، به صورت جداگانه کرد. همان‌گونه که در شکل ۴ و مقایسه آن با نقشه سهم برف دیده می‌شود، خطای مناطق غیربرفی بیشتر است و مناطق برفی با مقادیر روشن‌تر که نشان‌دهنده خطای کمتری هستند، دیده می‌شوند. شکل ۵ هیستوگرام خطا را پس از حذف مناطق بدون برف پایکوهی نشان می‌دهد. مقادیر خطا در این هیستوگرام صرفاً مربوط به مناطق برفی است.

در مرحله بعد، مناطق دارای خطا در نواحی برفی بررسی شدند و با استفاده از نقشه کاربری، مسیر آبراهه‌ها، حریمی بر مسیر آبراهه‌ها و تصویر IRS، مناطق دارای خطای بیشتر مورد مطالعه قرار گرفتند. پس از هم‌پوشانی تصویر طبقه‌بندی‌شده خطا با نقشه‌های توپوگرافی منطقه، معلوم شد که نواحی دارای حداکثر خطا در امتداد آبراهه‌ها هستند. شکل ۶ انطباق آبراهه‌ها و مناطق خطای روش جدید سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) را نشان می‌دهد.

شکل ۷ موقعیت مناطق حداکثر خطا و کلاس کشاورزی نقشه کاربری حوزه کرج را نشان می‌دهد. پس از مقایسه تصویر طبقه‌بندی شده خطا با تصویر IRS و استفاده از اطلاعات محلی معلوم شد که این مناطق که در نقشه‌های کاربری جزو کلاس کشاورزی قرار می‌گیرند، بیشتر شامل نواحی مشجر اطراف رودخانه، باغ‌های پراکنده و حاشیه نواحی جنگلی هستند.

۳-۴- بهینه‌سازی مدل

برای اصلاح ضرایب معادله سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶)، با اعمال شروط پیشنهادی سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) روی داده‌های منطقه مورد مطالعه، ضرایب معادله به صورت رابطه (۴) تغییر کردند، در حالی که معادله مدل سالومونسون به صورت رابطه (۲) بوده است.

$$\text{Frac} = 0.054 + 1.46 * \text{NDSI} \quad \text{رابطه (۴)}$$

این ضرایب در منطقه‌ای جدید به عنوان منطقه تست اعمال شدند و نتایج آن با نتایج معادله سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) در همین منطقه مقایسه شدند.

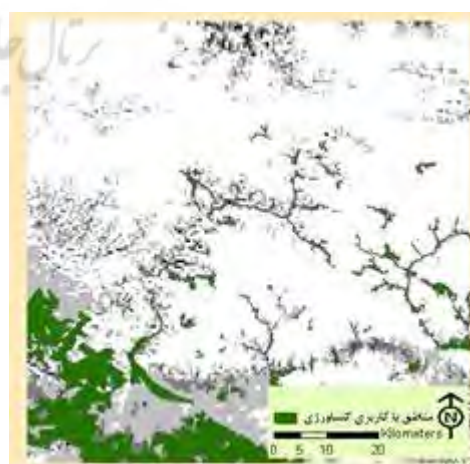
منطقه جدید بخش‌هایی از زاگرس در شمال استان مرکزی است، که هم‌زمان ارتفاعات و نواحی کم‌ارتفاع، نواحی شیبدار و مناطق با شیب کم را دربرمی‌گیرد. مناطق کم‌ارتفاع تحت زراعت قرار دارند و بخشی از نواحی پرشیب به صورت مخروط‌های واریزه‌ای هستند. شکل ۱B تصویر IRS مربوط به منطقه تست را با ترکیب رنگ سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک نشان می‌دهد.

خطای RMS مدل با ضرایب اصلاح‌شده در منطقه تست ۰/۲۵۸ پیکسل است. در مقایسه با روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) که در همین منطقه اجرا شده و RMSE آن ۰/۲۶۶ پیکسل است، مشاهده می‌شود که دقت ضرایب جدید بالاتر است. ناحیه دارای حداکثر خطا در منطقه تست عمدتاً مربوط به مخروط‌های واریزه‌ای موجود در منطقه مطالعه شده است. مقدار خطای بیشتر این نواحی می‌تواند به دلیل

(۲۰۰۶) و کم‌عرض بودن آبراهه‌ها - به‌ویژه در مناطق کوهستانی - امکان تفکیک این نواحی فراهم نشده است. در ادامه این تحقیق بررسی شد که آیا اعمال ماسک بهتری برای مناطق آبی، می‌تواند سبب حذف این خطا شود یا خیر؛ و برای حذف اثر خطای ناشی از حضور آب، حریم ۲۵۰ متر بر آبراهه‌های استخراج‌شده از نقشه‌های توپوگرافی اعمال گردید و کلیه پیکسل‌های حاوی سطوح آبی، ماسک شدند. پس از اجرای این مرحله معلوم شد که مناطق خطا وسیع‌تر از محدوده مناطق آبی هستند. این امر نشان می‌دهد که احتمالاً عامل دیگری غیر از نواحی آب سبب بروز خطا شده است. بنابراین با استفاده از نقشه کاربری منطقه، این نواحی مطالعه شدند و منطبق بر کلاس کشاورزی قرار گرفتند.



شکل ۶. تصویر طبقه‌بندی شده خطا و آبراهه‌های منطقه



شکل ۷. تصویر طبقه‌بندی شده خطا و کلاس کشاورزی

دلیل بروز خطای بالاتر در مناطق مشجر اطراف رودخانه و باغ‌ها و حاشیه نواحی جنگلی را می‌توان اثر بازتاب پوششی گیاهی (حضور پوشش گیاهی سبب تغییر میزان بازتاب در طول موج سبز می‌شود که در محاسبه شاخص NDSI استفاده می‌شود، ایجاد بازتاب چندگانه در اثر حضور پوشش گیاهی، جذب بخشی از تابش ورودی و خروجی به وسیله پوشش گیاهی و تغییر نسبت طول موجی تابش ورودی و خروجی)، اثر سایه، وجود پهنه‌های آبی (که سبب تغییر مقدار NDSI مشاهده شده می‌گردد) و اثر دره‌ها بر تابش دریافتی و خروجی پیکسل مربوط دانست. مدل سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) برای مناطق با سهم جزئی برف بهینه‌سازی شده است و در مناطق بدون برف خطای بالاتری را نشان می‌دهد.

خط مقدار خطای صفر در هیستوگرام نشان می‌دهد که فراوانی مقادیر منفی (برآورد شده کمتر از مقدار واقعی) در این روش بیشتر است، که نشان از تمایل به برآورد سهم برف کمتر از مقدار واقعی دارد. در مطالعات مربوط به پیش‌بینی سلاب نیز می‌توان این موضوع را در نظر داشت، که با توجه به مقدار عرض از مبدأ معادله با ضرایب اصلاح شده آشکار می‌شود. کمتر بودن عرض از مبدأ معادله سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) در مقایسه با معادله واقعی منطقه می‌تواند توجیه‌کننده تمایل این روش به برآورد سهم برف کمتر از مقدار واقعی باشد.

در هیستوگرام خطا (شکل ۳)، تمرکز خطا در مقادیر منفی به چشم می‌خورد. با در نظر گرفتن تصویر طبقه‌بندی شده خطا در شکل ۴ به خوبی دیده می‌شود که خطای روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) در مناطق پایکوهی بدون برف یا دارای پوشش برف بسیار کم - که عمدتاً دارای خاک لخت هستند - افزایش یافته است. چولگی ایجاد شده در هیستوگرام خطا مربوط به افزایش خطا در این منطقه است. معادله سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) برای بهبود دقت برآورد سهم برف در پیکسل‌هایی با سهم متوسط برف،

اختلاط زیاد برف با واریزه‌ها باشد. در چنین شرایطی بازتاب برف در باندهای مرئی کاهش می‌یابد و رابطه بازتاب و سهم برف با شرایط نرمال اختلاف زیادی خواهد داشت.

۴- بحث

چنانچه در بخش قبل اشاره شد، روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) بر تصویر MODIS اجرا شد و مقدار خطای RMS برآورد مدل در مقایسه با واقعیت محاسبه گردید و پس از ایجاد تصویر خطا مناطق دارای بیشترین خطا بررسی شدند. مقدار RMSE روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه ۰/۲۰۴ به دست آمده و نتایج تحقیق حاضر در مقایسه با نتایج تحقیق سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) که به میانگین مطلق خطای ۰/۱ در ارزیابی مدل‌شان رسیدند، خطای بیشتری را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بخش عمده‌ای از مناطق با خطای زیاد در نواحی کم‌ارتفاع فاقد برف قرار دارند. این مناطق کاملاً بدون برف را می‌توان با استفاده از روش‌های کمکی یا داده‌های جانبی نظیر دما یا ارتفاع تعیین و حذف کرد. همچنین مقایسه تصویر خطا و تصویر سهم برف برآورد شده نشان می‌دهد که در تمام این مناطق بدون برف، سهم برف برآورد شده به وسیله مدل منفی بوده است که می‌تواند ملاکی برای تفکیک این مناطق باشد.

بررسی تصاویر خطا نشان می‌دهد که در حاشیه نواحی جنگلی و رودخانه‌ها خطا بیشتر است. نکته‌ای که وجود خطا را در مناطق جنگلی و حاشیه رودخانه‌ها توجیه می‌کند، وجود خطاهای مشابه در الگوریتم SNOMAP در مناطق جنگلی و پهنه‌های آب است که در آن با استفاده از آستانه‌گذاری‌های ثانویه پیشنهادی کلین و همکاران (۱۹۹۸) این مشکل کاهش یافته است (Klein et al., 1998). با توجه به اثر پوششی درختی بر بازتاب، در این روش می‌بایست این مناطق جداگانه بررسی شوند یا اینکه هنگام اجرای مدل ماسک شوند.

۵- نتیجه‌گیری

بخش عمده‌ای از نزولات جوی کشور به‌صورت برف است که به‌تنهایی بخش عمده منابع آب کشور را تأمین می‌کند. سطوح پوشش برف پدیده‌ای بزرگ‌مقیاس است و روش‌های مبتنی بر استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای مطالعه آنها مزایای بیشتری دارند. برای ایجاد توازن میان توان تفکیک مکانی، طیفی و زمانی در مطالعات پوشش برف می‌بایست نقشه‌های برف در سطح زیرپیکسل از تصاویر با توان تفکیک زمانی بالا استخراج شوند. سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) روشی برای محاسبه سهم برف ارائه کرده‌اند که برای مطالعات جهانی طراحی شده است. در تحقیق حاضر این روش در مقیاس ناحیه‌ای اجرا و ارزیابی گردید و در آن سهم برف پیکسل‌های MODIS با استفاده از روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) محاسبه و نتایج آن با استفاده از تصویر IRS ارزیابی شد. افزون بر محاسبه خطای کلی، تصویر خطای این روش تهیه شد و مناطق دارای حداکثر خطا شناسایی شدند. سپس این مناطق به کمک نقشه شبکه هیدروگرافی منطقه، نقشه کاربری و تصویر IRS ارزیابی شدند و عوامل بروز خطا بررسی گردیدند. افزون بر اینها ضرایب مدل با استفاده از اطلاعات منطقه‌ای در ایران بهینه‌سازی شدند. نتایج تحقیق نشان می‌دهند که دقت روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه مطالعه شده اندکی کمتر از وقتی است که آنها به‌دست‌آوردند و مناطق حداکثر خطای نواحی برفی در حاشیه رودخانه‌ها یا در مجاورت پوشش گیاهی اتفاق افتاده است. نتایج بهینه‌سازی ضرایب نشان می‌دهند که با اصلاح ضرایب مدل مطابق شرایط منطقه‌ای در حوزه‌های ایران، می‌توان دقت استفاده از این روش را بهبود بخشید.

بهبود یافته است و پیکسل‌های دارای سهم برف کمتر از ۰/۱ برای ارائه مدل در نظر گرفته نشده‌اند. در واقع به‌جای محاسبه مقدار برف صفر در این نواحی، مقادیر برآوردشده به‌وسیله مدل منفی بودند. به‌دلیل مساحت نسبتاً بالای این ناحیه، فراوانی مقادیر دارای خطای منفی افزایش یافته، البته خطای مذکور مربوط به نواحی بدون پوشش برفی است و امکان حذف آن از نتایج نهایی با روش‌های کمکی وجود دارد. با حذف این مناطق، هیستوگرام خطای روش جدید به توزیع نرمال نزدیک می‌شود و اثر چولگی اشاره‌شده کاهش چشمگیری می‌یابد. شکل‌های ۳ و ۵ هیستوگرام خطای روش جدید را پیش و پس از حذف بخشی از مناطق بدون برف پایکوهی نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، چولگی منحنی تا حد زیادی کاهش یافته است.

نتایج پژوهش حاضر و مطالعات سالومونسون و اپل (۲۰۰۴) و سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) نشان می‌دهند که دقت برآورد سهم برف به‌روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) مناسب و پذیرفتنی است. با توجه به دقت نسبتاً مناسب این روش و همچنین سرعت اجرا و نیازنداشتن به داده‌های جانبی، استفاده از آن برای استخراج سهم برف پیکسل‌های MODIS و تهیه نقشه‌های برف پیشنهاد می‌شود.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که روش سالومونسون و همکاران (۲۰۰۶) در مناطق دارای پوشش درختی و مناطق آبی خطای بیشتری دارد، بنابراین پیشنهاد می‌شود این مناطق هنگام اجرای مدل ماسک شوند و با آنها به‌صورت جداگانه رفتار شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که اصلاح ضرایب معادله مطابق شرایط ایران می‌تواند تا حدی سبب بهبود دقت برآورد سهم برف شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود با استفاده از اطلاعات مناطق مختلف ایران، ضرایب مدل بهینه‌سازی شوند و مدل میانگین آن برای استفاده و برآورد سهم برف در ایران ارائه شود.

۶- منابع

- Barton, J., Hall, D., and Riggs, G., 2001, **Remote Sensing of Fractional Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Data**, Proceedings of the 57th Eastern Snow Conference, May 17–19, 2000, Syracuse, New York, USA.
- Dozier, J., 1989, **Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper**, Remote sensing of Environment, 28, PP. 9-22.
- Foppa, N., S., Wunderles and A. Hauser, 2002, **Spectral Unmixing of NOAA-AVHRR Data for Snow Cover Estimation**, In Proceeding of EARSeL LISSIG-Workshop Observing Our Cryosphere from Space, European Association of Remote Sensing Laboratories, Berne.
- Hall, D., G. Riggs and V. Salomonson, 1995, **Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data**, Remote Sensing of Environment, 54, PP.127-140.
- Hall, D., G. Riggs, V. Salomonson, J Barton, K Casey, J Chien, N DiGirolamo, A Klein, H Powell and A Tait, 2001, **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms**, Hydrological Science Branch NASA.
- IRSP6 Data User's Manual, 2003, **National Remote Sensing Agency Department of Space**, Govt. Of India.
- Institute of Water & Energy of Sharif University, 2004, **Qualitative Study of Water in Latyan Dam Basin**, Prepared for Tehran Regional Water Company, Report No. EWRC-82-09, 412 p.
- Kaufman, Y., R. Kleidman, D. Hall, V. Martins and J. Barton, 2002, **Remote Sensing of Snow Cover Using 0.66 and 2.1 μm Channels**, Geophysical Research letters, 29(16), PP. 28-32.
- Klein, A., D. Hall and G. Riggs. 1998, **Improving snow-cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model**, Hydrological Processes, 12, PP. 1723-1744.
- Matkan, A., Ziaian, P., Ashourlo, D., and Dadashi, S., 2008, **Snow Cover Detection in Central Alborz using MODIS Image and sub Pixel Method**, The 1st. International Conference on the Caspian Region Environmental Changes 24-25 August 2008, University of Mazandaran, Babolsar.
- WRM, 2006, **Summery of Water Resources Condition**, Annual Report, Ministry of Energy, Iran Water Resource Management Company, 207 p.
- WRM, 2005, **Summery of Water Resources Condition**, Annual Report, Ministry of Energy, Iran Water Resource Management Company, 189 p.
- MODIS User's Guide, 2006, **Members of the MODIS Characterization Support Team**, NASA/Goddard Space Flight Center.

- Ray Ab Consulting Engineers, 2007, **Qualitative Study and Pollution of Water in Karaj Dam Basin**, Prepared for Tehran Regional Water Company, Report No. 22-1386, 513p.
- Riggs, G., D. Hall and V. Salomonson, 1994, **A Snow Index for the LANDSAT Thematic Mapper and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer**, In Proceeding of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 94, 8-12 August 1994, Pasadena, CA.
- Rosenthal, W. and Jeff Dozier, 1996, **Automated Mapping of Montane Snow Cover at Subpixel Resolution from The LANDSAT Thematic Mapper**, Water Resources Research, 32(1), PP. 115-130.
- Salomonson, V. and I. Appel, 2004, **Estimating Fractional Snow Cover from MODIS Using the Normalized Difference Snow Index**, Remote sensing of Environment, 89, PP. 351-360.
- Salomonson, V., IEEE Fellow and I. Appel, 2006, **Development of the Aqua MODIS NDSI Fractional Snow Cover Algorithm and Validation Results**, IEEE transactions on geosciences and remote sensing, 44(7), PP. 1747-1756.
- Simpson, J., J. Stitt and M Sienko, 1998, **Improved Estimation of the Areal Extent of Snow Cover from AVHRR**, Journal of Hydrology, 204(1-4), PP. 1-23.

