Archive of SID

ارزیابی الگوریتمهای مبتنی بر ترکیب باندهای انعکاسی و حرارتی سنجنده NOAA/AVHRR برای تهیه نقشه پوشش برف در حوضهٔ آبریز سد کرج

عباس علی‌محمدی*[۱]، معصومه جلوخانی نیارکی[۲]

۱- استادیار گروه سنجش از راه دور دانشکده مهندسی نقشه‌برداری،دانشگاه خواجه نصیر طوسی

۲- کارشناس ارشد سنجش از راه دور، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

اندازه‌گیری و نمونه‌برداریهای میدانی برف، زمان‌بر و پرهزینه بوده، به صورت محدود قابل اجرا است. امروزه، تکنولوژی سنجش از دور به عنوان یک ابزار مفید و کارامد برای سنجش برف و تهیهٔ نقشه‌های مربوط به آن مورد استفاده قرار می‌گیرد اما جداسازی ابر و برف به علّت تشابه طیفی آنها، از موانع مهم در استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تهیهٔ نقشه‌های برف است.

در این مطالعه با استفاده از تصاویر AVHRR، امکان جداسازی برف و ابر بررسی شد. برای دستیابی به این منظور با به‌کارگیری ترکیبی از باندهای انعکاسی و حرارتی سنجندهٔ فوق، شاخصهای سه‌گانه برف شامل: $T_۳-T_۴$، $R_۴/\sqrt{R_۲}$، $A_۲/R_۲$ محاسبه شدند و با استفاده از طبقه‌بندی کنندهٔ حداکثر احتمال[۱] فازی، برای جداسازی ابر و برف مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج ارزیابی دقّت تفکیک برف، با متوسط کاپای کلی ۰/۸۳۱ گویای این مطلب است که الگوریتم به کار رفته، به خوبی توانسته است برف را از عیر برف (ابر و زمین) جدا سازد. تغییرات سطح پوشش برف نیز با استفاده از روش تفریق نقشه‌های چند زمانهٔ برف آشکارسازی شده است. نتایج حاصل از بررسی وضعیت توپوگرافی (ارتفاع، شیب)، نشان داد که کلاس تغییر پوشش برف در مقایسه با کلاس عدم تغییر پوشش برف در زمینهایی با ارتفاع پایینتر و شیب بیشتری قرار دارد که این موضوع با مبانی تئوریک همخوانی دارد و تا حدودی نشان‌دهنده قابلیت اعتماد نقشه‌های تغییر برف تهیه شده است.

کلید واژه‌ها: نقشه پوشش برف، تفکیک ابر و برف، شاخصهای برف، AVHRR، سیستم اطّلاعات جغرافیایی، باندهای انعکاسی و حرارتی.

---

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

1. MLC

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، نیاز انسان به آب به طور محسوسی افزایش یافته است و تلاش برای شناختَ و بهره‌برداری صحیح منابع از آب که تأمین‌کنندهٔ اصلی مواد غذایی و انرژی است، روز به روز افزایش پیدا می‌کند. امروزه فناوری سنجش از دور برای ارزیابی منابع زمینی، مطالعه و شناسایی این منابع از پیشرفت چشمگیری برخوردار شده است که به طور گسترده‌ای در کشورهای مختلف جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طوری که داده‌های سنجش از دور در تعیین سطح پوشش برف (که یکی از منابع با ارزش آب و انرژی است) به صورت مؤثری مورد استفاده قرار می گیرند؛ زیرا که روشهای زمینی بررسی برف غالباً در حوضه‌ها و مناطق کوچک و محدود، قابل اجرا هستند.

اهمیت اطلاع از سطح پوشش برف در پیش‌بینی سیلاب ناشی از ذوب برف بیش از پنجاه سال قبل مورد توجه و تحقیق قرار گرفته است و نیاز به تهیه نقشه‌هایی از سطح پوشش برف، خیلی پیشتر از ظهور فناوری سنجش از دور احساس شده بود [۱].

سنجنده‌های متعددی داده‌های قابل استفاده در برف‌سنجی تولید می‌کنند که محدودهٔ عمل تعدادی چون TERRA/MODIS،NOAA/AVHRR،LANDSAST/ETM+،TM،MSS در باند مرئی و فروسرخ است و تعداد دیگری چون SAR و SSM/I در محدودهٔ طیفی میکروموجها سنجش می‌کنند. هر یک از این سنجنده‌ها برای سنجش برف دارای مزایا و معایبی هستند.با توجه به امکانات موجود در کشور و چارچوب زمانی این تحقیق، می‌توان گفت که در تعیین سطح پوشش برف در سطح حوضه‌های وسیع، داده‌های NOAA / AVHRR علی‌رغم قدرت تفکیک مکانی پایین (۱/۲۱Km) به دلیل دسترسی آسانتر، ارزانتر و دورهٔ تکرار بیشتر (۱۲ ساعت) و امکان تشکیل آرشیو غنیتر از مناسبترین داده‌ها هستند.

لازم به ذکر است که وجود ابر در این تصاویر به علت تشابه طیفی آن با برف، مشکل‌ساز است. بنابراین در این تحقیق امکان تفکیک ابر و برف برای تعیین سطح برف و تغییرات آن در حوضهٔ آبریز سد کرج به کمک الگوریتمهای مبتنی بر ترکیب باندهای سنجندهٔ AVHRR، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز سد کرج در دامنه‌های جنوبی البرز، در شمال غربی تهران، در محدوده‌ای بین

www.SID.ir

Archive of SID

عرض شمالی ′۵۴-°۳۵ تا ′۱۰-°۳۶ و طول شرقی ′۴- °۵۱ تا ′۵۳ -°۵۱ واقع شده است و مساحت تقریبی آن ۸۳۷/۴۷ کیلومتر مربع است. این حوضه کوهستانی بوده و ارتفاع بلندترین نقطهٔ آن ۴۳۷۵ متر است. متوسط بارندگی سالیانه در این حوضه ۷۶۹ میلیمتر براورد شده است. متوسط دمای سالیانه در محل سد مذکور، ۱۳ درجه سانتیگراد و متوسط تبخیر از سطح آزاد آب دریاچه سد، ۱۵۵۵ میلیمتر است.

شیب زیاد رودخانه و پوشش گیاهی ضعیف از مشخصات مهم این حوضه است. حوضهٔ آبریز سد کرج دارای شاخه‌های مرتفع، با پوشش برفی قابل توجه است که سهم ذوب برف در جریان آب آنها قابل ملاحظه است [۲]. رژیم کلی رودخانهٔ کرج را می‌توان برفی ـ بارانی دانست که ضریب برفی آن ۶۰ درصد است. به عبارت دیگر ۶۰ درصد بارشهای این منطقه به صورت برف است [۳].

۳- مواد و ابزار مورد استفاده در تحقیق

مواد مورد استفاده در این تحقیق شامل: نقشه‌های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره‌ای است. نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ برای استخراج محدودهٔ حوضه آبریز سد کرج به‌کارگرفته شدند. از مدل رقومی ارتفاع منطقه نیز که با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ و به‌وسیلهٔ مرکز سنجش از دور ایران تهیه شده بود، برای محاسبهٔ شیب، جهت شیب و بررسی ارتفاع مناطق تحت پوشش برف، استفاده شد. علاوه بر آن در تحقیق حاضر از هفت تصویر ماهواره‌ای NOAA14/AVHRR که روزهنگام و متعلق به دورهٔ سرد سال است، استفاده شد. این تصاویر ماهواره‌ای از نظر زمانی دو سال آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۷ را پوشش می‌دهند. عمده‌ترین نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش، نرم‌افزار ۱، ۳ و ۸ ERDAS است و علاوه بر آن از نرم‌افزارهای دیگری چون Idrisi2، Arcview، ARC/INFO، R2V و Photoshop نیز به صورت موردی استفاده شده است.

۴- روش تحقیق

۴-۱- استخراج محدوده مورد مطالعه

محدوده حوضه آبریز سد کرج با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مشخص شد؛ سپس محدوده یاد شده در محیط نرم‌افزار R2V رقومی‌شده است. عملیات ساخت توپولوژی و ویرایش نیز با استفاده از نرم‌افزارهای ARC/INFO و Arcview انجام شد و جدول

www.SID.ir

Archive of SID

ویژگیها برای محدوده رقومی‌شده حوضه، تهیه شد. مساحت حوضه معادل ۸۳۷/۴۷ کیلومتر مربع محاسبه شده است.

۵- تصحیح هندسی

تصاویر به‌کاررفته در این تحقیق بر مبنای تصاویر تصحیح شده‌ای که فاصلهٔ زمانی اندکی با آنها داشتند، تطبیق داده و تصحیح شدند.در این مورد از دوازده نقطهٔ کنترل که به طور مشترک در هر دو تصویر قابل تشخیص بودند، به عنوان نقاط نمونه استفاده شد.

۶- واسنجی باندهای AVHRR

برای واسنجی باندهای انعکاسی یک و دو AVHRR، از اطلاعات پیش از پرتاب ماهواره، استفاده می‌شود و ضرایب واسنجی، به وسیلهٔ NOAA در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌گیرند. با استفاده از این ضرایب و رابطهٔ (۱) درصد آلبدو باندهای انعکاسی به صورت تابع خطی از ارزش داده‌های ورودی (DN) قابل محاسبه است [۴].

$$A=S_iC+I_i \qquad (۱)$$

در رابطهٔ فوق A درصد آلبدو باند i، S_i و I_i ضرایب واسنجی باند i و C درجه روشنایی پیکسل است.

باندهای سه، چهار و پنج این سنجنده نیز در دو مرحله پیش از پرتاب و پس از پرتاب ماهواره، کالیبره می‌شوند و ضرایب واسنجی به همراه هر تصویر ارسال می‌شوند. لازم به ذکر است که واسنجی، طی سه مرحله با استفاده از روابط (۲، ۳، ۴) انجام می‌شود [۵].

$$NE=S_iC + I_i \qquad (۲)$$

در رابطهٔ فوق NE انرژی تابشی ورودی به سنجنده بر حسب $(MW/(m^2\text{-}sr\text{-}cm^{-1}))$ و S_i، I_i ضرایب واسنجی باند i و C درجهٔ روشنایی پیکسل در باند i است [۵].

$$T_e = \frac{C_2 V_c}{Ln\left(1 + \frac{C_1 V_c^3}{NE}\right)} \qquad (۳)$$

در رابطهٔ فوق C_1 و C_2 ضرایب ثابت معادله است. C_1=۱/۱۹ بر حسب $(MW/(m^2\text{-}sr\text{-}cm^4))$، C_2=۱/۴۳ بر حسب (cm-K) و Vc شماره موج مرکزی بر حسب (cm^{-1}) برای هر یک از

www.SID.ir

Archive of SID

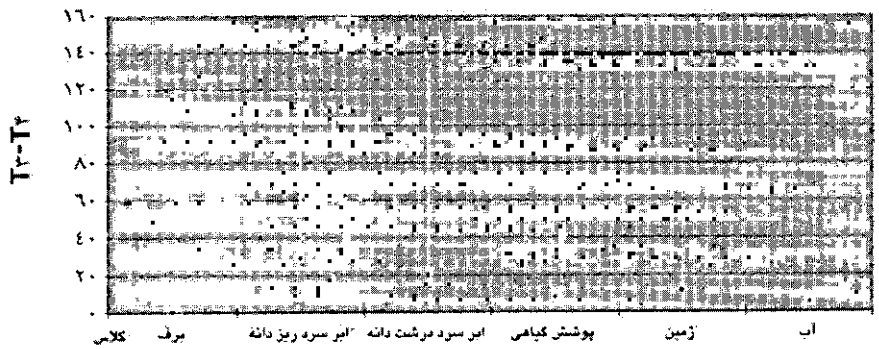
باندهای سه، چهار و پنج تعیین شده است. T_i نیز دمای مؤثر بر حسب کلوین است [۵].

با استفاده از رابطهٔ ۴ و ضرایب ثابت A و B دمای مؤثر به دمای روشنایی (T_E) تبدیل می‌شود.

$$T_E = A + BT \qquad (۴)$$

۷- محاسبهٔ شاخصهای پوشش برف

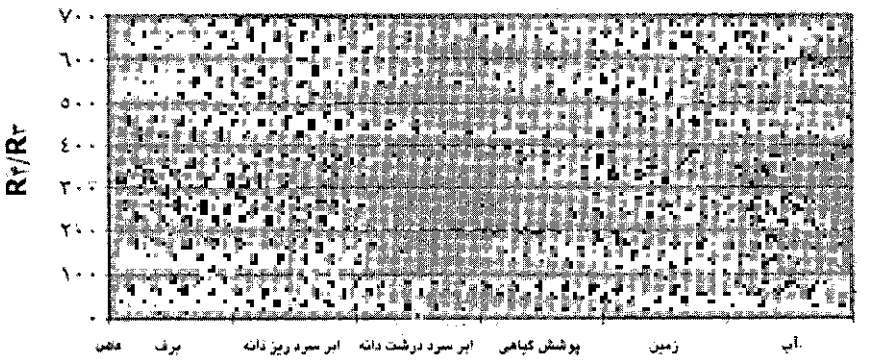
محدودهٔ طول موجی باند سه AVHRR (۳/۹۳-۳/۵۵Mm) از دو بخش انعکاسی و تابشی طیف الکترومغناطیس تشکیل شده است. به عبارت دیگر مجموع انرژی که در این محدوده به وسیله سنجنده دریافت می‌شود، ترکیبی است از مقدار انرژی که به وسیله پدیده‌های زمینی بازتابیده شده و مقدار انرژی که از این پدیده‌ها تابش یافته است [۶، صص ۱-۲۳]. دمای روشنایی باند سه برای پوششهای برفی به دلیل بالا بودن نسبی جرم آب معادل در واحد حجم و پایین بودن نسبی دمای سطح خارجی آنها که به ترتیب موجب پایین بودن آلبدو وتشعشع می‌شود، اندک است [۶، صص ۱-۲۳]. بنابراین با ترکیب باندهای ۲، ۳ و ۴ سنجنده AVHRR و جداسازی اجزا انعکاسی و تابشی باند ۳ می‌توان شاخصهای مناسب برای جداسازی برف از ابر تهیه کرد [۷]. برای این منظور سه شاخص مورد استفاده به وسیله سیمپسون و سینکو شامل: T_3-T_4 (اختلاف دمای تابش در باندهای ۳ و ۴)، $R_4/\sqrt{R_2}$ (نسبت رادیانس باند ۴ به جذر رادیانس باند ۳) و A_2/R_3 (نسبت آلبدو در باند ۲ به رادیانس باند ۳) محاسبه شد و مفید بودن آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از محاسبهٔ مقادیر حداقل و حداکثر شاخصهای ذکر شده برای پوششهای مختلف موجود در تصویر مربوط به تاریخ ۲۰۰۰/۱/۲۵ به ترتیب در نمودارهای ۱، ۲، ۳ ارائه شده‌اند.



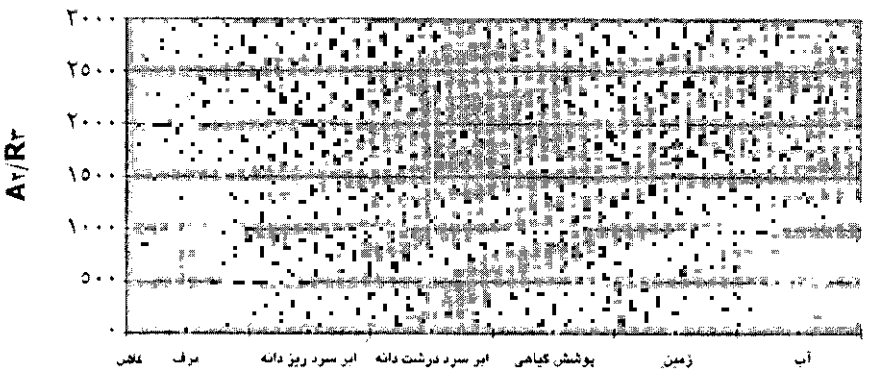
نمودار ۱ مقایسه پدیده‌های مختلف از نظر مقدار شاخص T_3-T_4 (تصویر ۲۰۰۰/۰۱/۲۵)

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۲ مقایسه مقدار شاخص $R_۴/R_۳$ برای پدیده‌های مختلف (تصویر ۲۰۰۰/۱/۲۵)



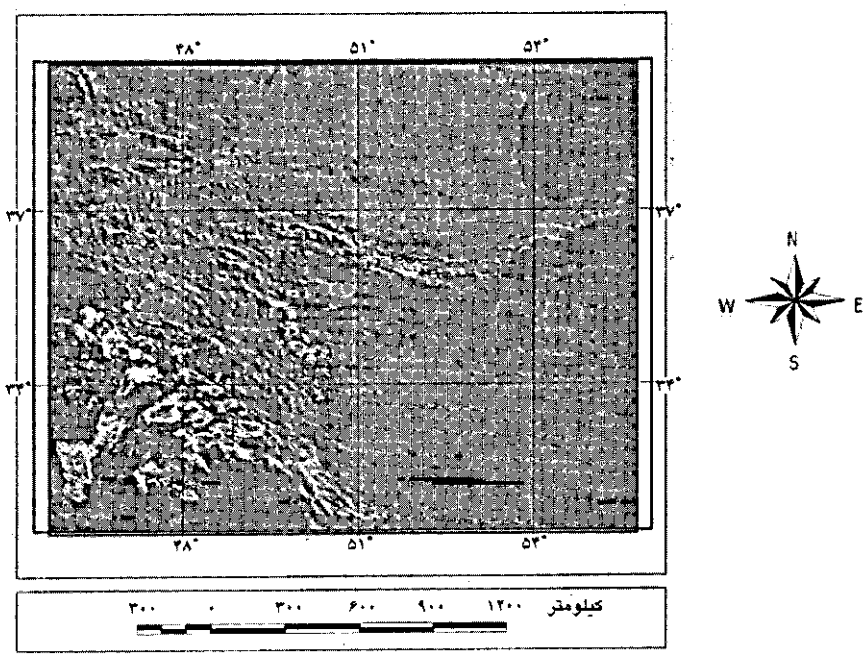
نمودار ۳ مقایسه مقدار شاخص $A_۲/R_۳$ برای پدیده‌های مختلف (تصویر ۲۰۰۰/۱/۲۵)

مقدار شاخص $T_۳-T_۴$ که حاصل اختلاف دمای روشنایی باندهای سه و چهار است برای پدیده‌هایی چون ابر و برف به ترتیب حداکثر و حداقل است و زمین مقادیر متوسط را نشان

www.SID.ir

Archive of SID

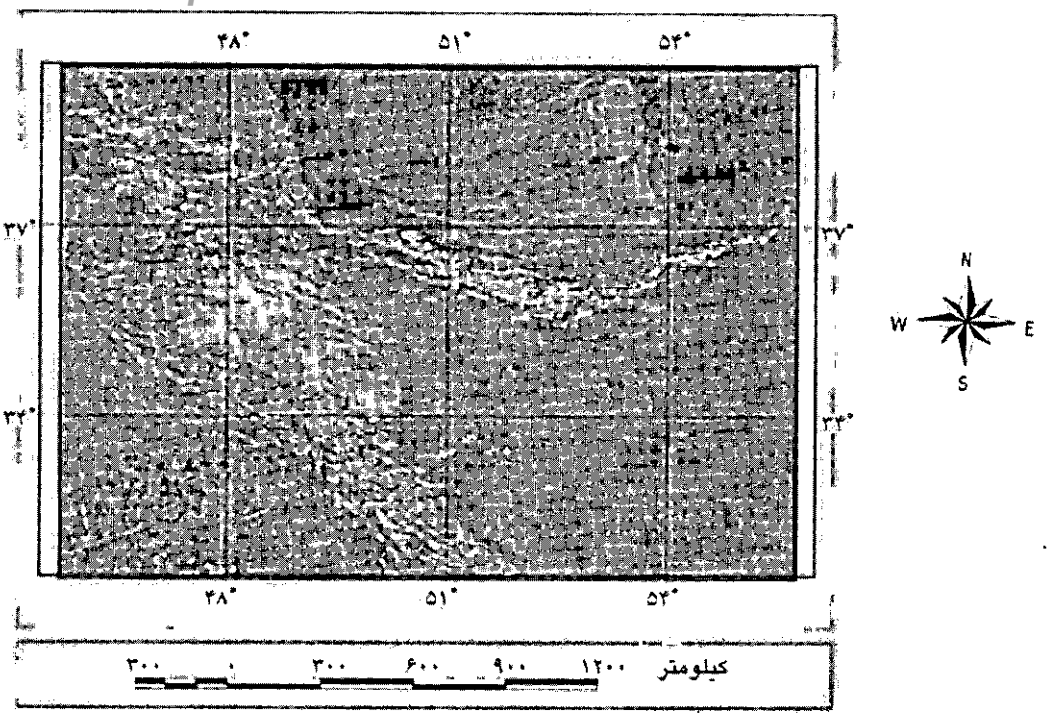
می‌دهد. در مقابل مقدار شاخص $R_۴/\sqrt{R_۳}$ برای ابر و برف به ترتیب حداقل و حداکثر بوده است و زمین پس از ابر دارای مقادیر متوسط است. در ارتباط با شاخص $A_۴/R_۳$ دو کلاس ابر و برف، دارای مقادیر حداکثر و زمین دارای مقادیر حداقل است. در مجموع می‌توان گفت با استفاده از شاخص $A_۴/R_۳$ دو کلاس ابر و برف را به خوبی می‌توان از سایر کلاسهای موجود در صحنه (زمین، آب، پوشش گیاهی) جدا کرد. از $T_۳-T_۴$ نیز می‌توان به عنوان شاخص مناسبی برای تفکیک ابر از سایر کلاسها، به خصوص کلاس برف، نام برد و در نقطه مقابل $R_۴/\sqrt{R_۳}$ شاخص مناسبی برای جداسازی برف از سایر طبقات، مخصوصاً ابر است [۶، صص ۱-۲۳]. در تصاویر ۱ و ۲ ترکیب کاذب رنگ ۱-۲-۳، شاخصهای $T_۳-T_۴$، $R_۴/\sqrt{R_۳}$، $A_۴/R_۳$ به ترتیب به عنوان باندهای آبی، سبز و قرمز نشان داده شده است.



تصویر ۱ ترکیب کاذب رنگ سه شاخص پوشش برف محاسبه شده از تصویر نووا (۲۰۰۰/۱/۲۵)

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۲ ترکیب کاذب رنگ سه شاخص پوشش برف محاسبه شده از تصویرنووا (۲۰۰۰/۲/۱۲)

پوششهای برفی در تصاویر بالا با توجه به ویژگیهای طیفی به رنگهای زرد، زرد مایل به سبز(در آفتاب) و سبز روشن (در سایه) دیده می‌شوند. زمین نیز با رنگ سبز تیره (سبزآبی) دیده می‌شود. پوششهای ابری (ابر سرد) با توجه به بافت (درشت‌دانه و ریزدانه) به‌ترتیب به **رنگهای صورتی و** آبی مایل به بنفش دیده می‌شوند.

۸- طبقه‌بندی

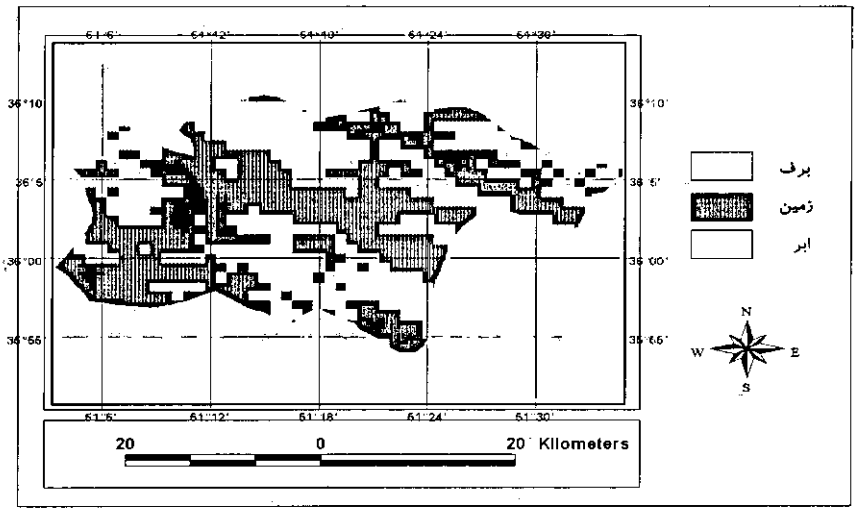
برای طبقه‌بندی کلاسهای موجود در منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز کرج از طبقه‌بندی حداکثر احتمال[1] فازی استفاده شد. برای این منظور نمونه‌هایی از سه پدیده موجود در محدوده مورد مطالعه شامل: برف، زمین و ابر که نمونه اخیر تنها در تصاویر مربوط به تاریخهای ۲۰۰۰/۰۱/۲۵ و ۱۹۹۸/۰۴/۱۲ مشاهده شده بود، با استفاده از تصویر ترکیب رنگی شاخصهای T_2-T_3، $R_4/\sqrt{R_2}$، A_2 / R_2 انتخاب شدند.این نمونه‌ها برای طبقه‌بندی کنندهٔ فازی در نرم افزار ERDAS به عنوان نمونه‌های آموزشی مورد استفاده قرار گرفتند. تصاویر

1. MLC

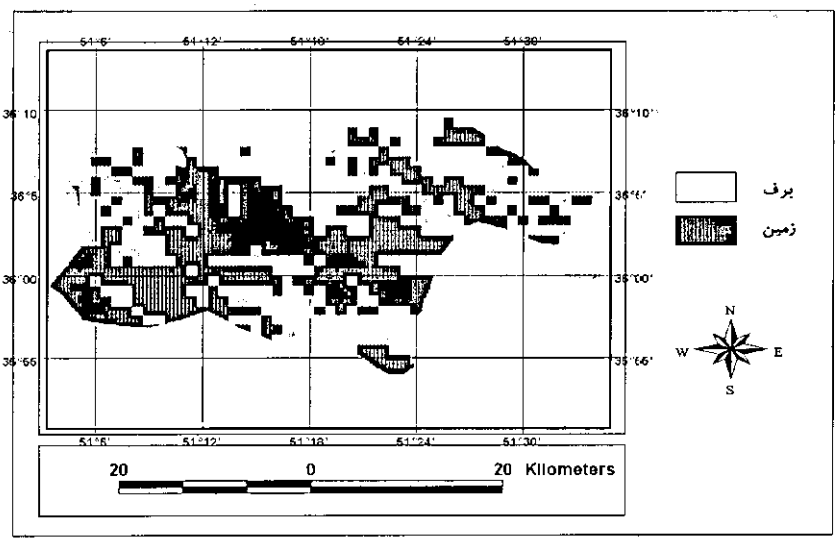
www.SID.ir

Archive of SID

۳ و ۴ به ترتیب، نتایج طبقه‌بندی تصاویر مربوط به تاریخهای ۲۰۰۰/۰۱/۲۵ و ۲۰۰۰/۰۲/۱۲ را نشان می‌دهند.



تصویر۳ نقشه طبقه‌بندی تصویر نووا اخذ شده ۲۰۰۰/۰۱/۲۵



تصویر۴ نقشه طبقه‌بندی تصویر نووا اخذ شده ۲۰۰۰/۲/۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

در جدول ۱ متوسط ارتفاع، شیب و مساحت دو کلاس برف و زمین مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۱ مشخصات توپوگرافیک و مساحت کلاسهای برف و غیر برف(زمین)

تاریخ تصویر	نوع پوشش	متوسط ارتفاع (متر)	متوسط شیب (درجه)	مساحت (درصد پوشش حوضه)
۱۹۹۷/۱۲/۲۸	برف	۲۷۹۸/۹۹۳	۲۳/۸۶	۳۷/۸۷
	زمین	۲۷۷۰/۱	۲۴/۷۶	۶۱/۸۹
۱۹۹۸/۰۳/۱۱	برف	۲۸۴۸/۳۹۶	۲۴/۴۲۶	۶۰/۷۶
	زمین	۲۶۸۰	۲۴/۲۸۹	۳۹/۲۳
۱۹۹۸/۰۴/۱۲	برف	۲۹۲۷/۴۵۸	۲۴/۲۸	۴۰/۱۴
	زمین	۲۷۰۴/۸	۲۴/۳۹۵	۵۹/۸۶
۲۰۰۰/۰۱/۲۵	برف	۲۸۷۸/۶۲	۲۳/۶۶۸	۴۶/۳۲
	زمین	۲۷۷۶/۶۳	۲۴/۹۰۲	۵۳/۶۸
۲۰۰۰/۰۲/۱۲	برف	۲۸۲۷	۲۴/۱۶	۵۲/۸۳
	زمین	۲۷۲۹	۲۴/۶۰۸	۴۷/۱۷
۲۰۰۰/۰۳/۱۷	برف	۲۸۱۱/۶۷۱	۲۴/۱۹۷	۵۴/۷۷
	زمین	۲۷۴۵/۱۳۳	۲۴/۵۸۶	۴۵/۲۳
۲۰۰۰/۰۴/۱۱	برف	۲۸۴۴/۸	۲۳/۸۳۴	۴۳/۱۸
	زمین	۲۷۳۳/۸	۲۴/۷۷۷	۵۶/۸۲

متوسط ارتفاع کلاسهای برف و زمین به ترتیب (۲۸۴۸/۱۴) و (۲۷۳۴/۲) متر و متوسط اختلاف ارتفاع این دو کلاس ۱۱۴ متر است. نتایج بررسی مساحت کلاسهای برف و زمین دلالت بر این دارند که سطح پوشش در اسفندماه بیشتر از سایر ماههای دوره سرد سال است و این موضوع با خصوصیات اقلیمی حوضه مطابقت دارد.

در این تحقیق ارزیابی دقت طبقه‌بندی با استفاده از انتخاب بیست نقطهٔ کنترل به صورت تصادفی از هر یک از کلاسهای برف، زمین و ده نقطهٔ کنترل از کلاس ابر انجام شد. بنابراین به دلیل دسترسی نداشتن به اطلاعات مرجع زمینی و تصاویر با قدرت تفکیک مکانی مناسب نوع پوشش نقاط انتخاب شده به صورت تغییر بصری مشخص شد و برای ارزیابی دقت استفاده شد. در پایان متوسط کاپای کلی معادل ۰/۸۳۱ نیز محاسبه شد.

www.SID.ir

Archive of SID

در جدولهای ۲ و ۳ نتایج مربوط به محاسبه درصد احتمال وقوع[1] کلاسهای مختلف مرجع در کلاسهای طبقه‌بندی شده، ارائه شده است. لازم به ذکر است که کلاسهای مرجع به روش تفسیر بصری با نمونه‌گیری از پدیده‌های مختلف در هر یک از تصاویر اولیه و تصاویر شاخصهای برف که در محیط نرم افزار Erdas انجام شده است،به دست آمده‌اند. شایان ذکر است که به علت عدم دسترسی به اطلاعات دقیق زمینی از پوشش برف، امکان ارزیابی دقیقتر نتایج حاصل از آن فراهم نبوده است.

جدول ۲ ماتریس خطای طبقه‌بندی شاخصهای استخراج شده از تصویر (۲۰۰۰/۱/۲۵)

	کلاس مرجع				
کلاسهای طبقه‌بندی	برف	ابر سرد	آب	پوشش گیاهی	زمین
برف	٪۹۲/۸۶	۰	۰	۰	۰
ابر سرد	۰	٪۱۰۰	۰	۰	۰
آب	٪۷/۱۴	۰	٪۹۹/۹۴	۰	۰
پوشش‌گیاهی	۰	۰	۰	٪۱۰۰	٪۷/۸۹
زمین	۰	۰	٪۰/۰۲	۰	٪۹۲/۱۱

جدول ۳ ماتریس خطای طبقه‌بندی شاخصهای استخراج شده از تصویر (۲۰۰۰/۰۱/۲۵)

	کلاس مرجع				
کلاسهای طبقه‌بندی	برف	ابر سرد	آب	پوشش گیاهی	زمین
برف	٪۱۰۰	٪۷/۵	۰	۰	۰
ابر سرد	۰	٪۹۲/۵	۰	۰	۰
آب	۰	۰	٪۱۰۰	۰	۰
پوشش‌گیاهی	۰	۰	۰	٪۱۰۰	٪۲۸/۹۵
زمین	۰	۰	۰	۰	٪۷۱/۰۵

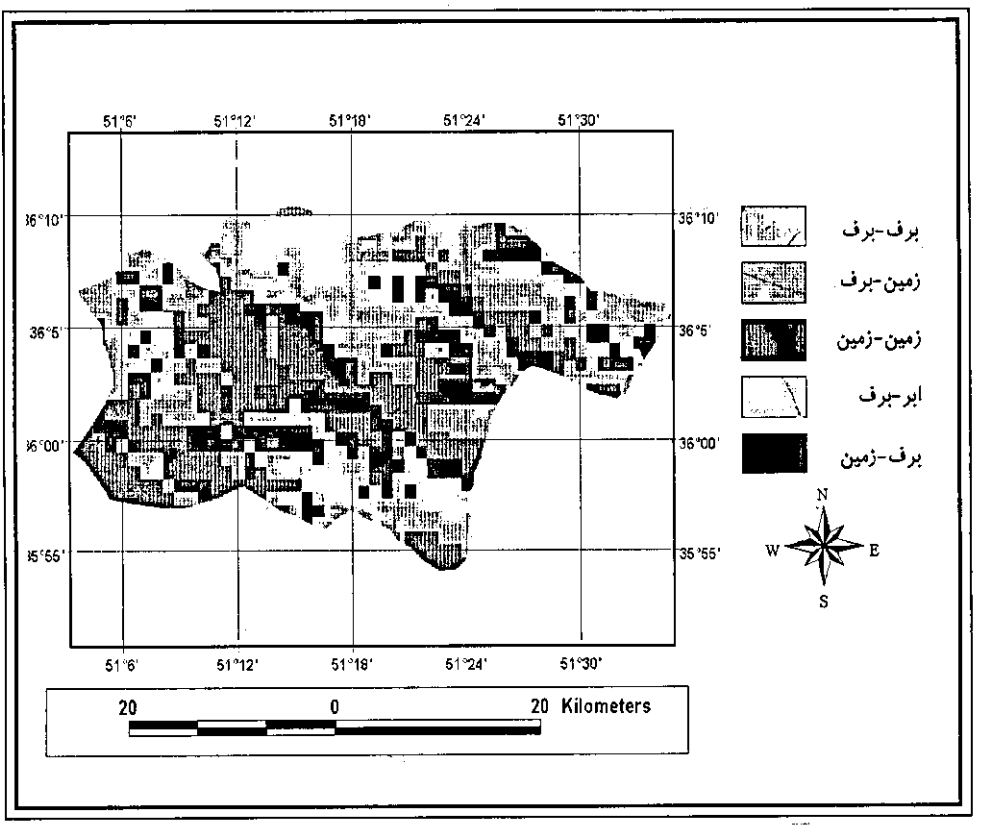
1. Contingency

www.SID.ir

Archive of SID

۹- آشکار سازی تغییرات

نقشهٔ نشان‌دهندهٔ تغییرات سطح پوشش برف، با به‌کارگیری روش تفریق نقشه‌های چند زمانهٔ برف، تهیه شد. مناطق توسعه و ذوب پوشش برف با استفاده از این نقشه‌ها مشخص شد. نقشه تغییرات سطح پوشش برف در فاصلهٔ زمانی۲۰۰۰/۰۱/۲۵-۲۰۰۰/۰۲/۱۲ در تصویر ۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که متوسط ارتفاع و شیب کلاسهای برف بدون تغییر (برف ـ برف)، زمین تغییر نیافته (زمین ـ زمین)، تغییر برف به زمین (برف ـ زمین) و تغییر زمین به برف (زمین ـ برف) در نقشه‌های تغییرات پوشش برف، مربوط به سال آبی۱۳۷۶-۱۳۷۷ در جدول ۴ ارائه شده است.



تصویر ۵ نقشه تغییرات پوشش برف که از تفریق تصاویر مربوط به (۲۰۰۰/۰۱/۲۵) و (۲۰۰۰/۰۲/۱۲) تهیه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ مقایسهٔ کلاسهای مختلف از نظر متوسط ارتفاع و شیب در نقشه تغییرات مربوط به تاریخهای مختلف

متوسط شیب(درجه)	متوسط ارتفاع	نوع پوشش	فاصله زمانی مورد مطالعه
۲۴/۱۱	۲۸۴۸/۴۹۶	برف ـ برف	۱۹۹۷/۱۲/۲۸-۱۹۹۸/۰۳/۱۱
۲۳/۷۷۸	۲۷۰۵/۶۶۷	برف ـ زمین	
۲۴/۵۲۸	۲۶۶۹/۹۴۷	زمین ـ زمین	
۲۴/۶	۲۸۵۰/۵	زمین ـ برف	
۲۴/۳۶۳	۲۹۵۵/۷۲۵	برف ـ برف	۱۹۹۸/۰۳/۱۱-۱۹۹۸/۰۴/۱۲
۲۴/۵۳۲	۲۷۶۶/۱۲۳	برف ـ زمین	
۲۴/۴۰۶	۲۶۳۹/۱۱۹	زمین ـ زمین	
۲۴/۸	۲۸۵۴	زمین ـ برف	
۲۳/۸۱۶	۲۸۸۸/۶۳	برف ـ برف	۱۹۹۷/۱۲/۲۸-۱۹۹۸/۰۴/۱۲
۲۴/۰۰۳	۲۷۲۷/۰۹۷	برف ـ زمین	
۲۴/۷۱	۲۶۹۸/۰۶۹	زمین ـ زمین	
۲۴/۹	۲۹۵۴/۷	زمین ـ برف	

نتایج جدول ۴ حاکی از آن است که مناطق تحت پوشش کلاس عدم تغییر برف (برف ـ برف) نسبت به سایر کلاسها در ارتفاع بیشتری قرار دارند. همچنین مناطق تحت پوشش کلاس عدم تغییر زمین (زمین ـ زمین)؛ یعنی کلاسی که در چارچوب زمانی مورد مطالعه تحت پوشش برف نبوده است، در مناطق با ارتفاع نسبی کم و شیب نسبی زیاد قرار دارند. علاوه بر آن کلاس برف ـ زمین نیز در مقایسه با کلاس برف ـ برف به طور عمده به دلیل ارتفاع کمتر و در نتیجه دمای نسبی بیشتر در فاصلهٔ زمانی مورد مطالعه پوشش برفی خود را از دست داده و به اراضی فاقد پوشش برف تبدیل شده است. کلاس (زمین ـ برف) نیز که در مقایسه با کلاس (زمین ـ زمین)، زمینهایی با ارتفاع نسبی زیاد را (که احتمال نزول برف در آنها بیشتر است)، در بر می‌گیرد. این کلاس در مقایسه با کلاس (برف ـ برف)، اغلب به دلیل شیب نسبی بیشتر و قرار گرفتن در جهات جغرافیایی خاصی که در معرض تابش شدیدتر انرژی خورشید قرار دارند، سریعتر از سایر اراضی پوشش برف خود را از دست می دهند. به همین سبب این زمینها در ابتدای فاصله زمانی مورد مطالعه، فاقد پوشش برف بوده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل احتمال وقوع نمونه‌های مرجع در کلاسهای طبقه‌بندی جدولهای (۳ و ۴) و نتایج حاصل از محاسبهٔ شاخصهای برف (نمودارهای ۱، ۲ و ۳) حاکی از این مطلب است که در مقایسه با تصاویر اولیه، استفاده از شاخصهای برف، در بیشتر مواقع، منجر به افزایش تفکیک‌پذیری برف از سایر کلاسها شده است. برای مثال در حالی که در اکثر تصاویر به کار رفته در این تحقیق، بین کلاس برف و انواع ابر همپوشی طیفی مشاهده می‌شود، میزان این همپوشی در تصاویر شاخصهای برف بسیار کمتر است. از طرفی در تصاویر اولیه، بین سطوح برفی واقع در سایه و زمینهای واقع بر دامنه‌های نورگیر، همپوشی طیفی وجود دارد که این همپوشی باعث به وجود آمدن خطای کاستی[1] در طبقه‌بندی می‌شود و در تصاویر حاصل از محاسبه شاخصهای برف با توجه به متفاوت بودن ویژگیهای طیفی تفکیک‌پذیری، تا حد بسیاری مرتفع شده است. در مجموع با استناد به آمار و ارقام به‌دست آمده، مهمترین نتایج تحقیق را به شرح زیر می‌توان بیان کرد:

۱- باندهای سه و چهار AVHRR در مقایسه با سایر باندها، برای تفکیک کلاسهای برف ـ ابر و تهیه نقشه برف مناسبتر است. نتایج حاصل از محاسبهٔ شاخصهای $T_۴ - T_۳$ و $R_۴ / R_۳$ است گواه این ادعا بوده که در نمودارهای ۱ و ۲ ارائه شده است و بیانگر این نکته نیز است که با به کارگیری این شاخصها برف از ابر و از سایر پدیده‌ها به‌خوبی جدا شده است.

۲- مناسبترین الگوریتم در تهیه نقشه پوشش برف، الگوریتمی‌است که از ترکیب باندهای انعکاسی و حرارتی استفاده کند تا از مزایای هر یک از این باندها به نحو احسن استفاده شود. در الگوریتم به کار گرفته برای این تحقیق، از باندهای دو، سه و چهار که به ترتیب انعکاسی و حرارتی است، استفاده شد. لازم به ذکر است که بهبود تفکیک‌پذیری کلاس برف نسبت به سایر کلاسها، نشان دهنده مفید بودن این الگوریتم است.

۱۱- منابع

[1] HALL.Dorothy k., Marinec.Jaroslov; Remote sensing of Ice and snow; First Edition, New York: London, Chapman & Hall Ltd and J.Martinec, 1985.

[۲] شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس؛ طرح پایداری سدهای کشور- سد بتونی قوسی کرج ـ مطالعات هواشناسی ـ وزارت نیرو؛ شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، تیرماه ۱۳۷۲،

1. Ommision

www.SID.ir

Archive of SID

تهران.

[۳] شفیعی علویجه، رحمت الله؛ کاربرد عکسهای ماهواره‌ای در هیدرولوژی برف؛ *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۳۶۷.

[4] NOAA Prd. Guide, Url:http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/pod/index.htm.

[5] NOAA.Polar Orbiter Data User`s Guide; Section 3.3; //:httpwww2. ncdc. noaa. gov /docs /podug /html /c3 /sec3-3.htm.

[6] Barret. C.K.D.E.G; Satellite remote sensing for operational hydrology; London: issue: 2, 1990.

[7] Simpson.J.J., Stitt J.R., Sienko M.; Improved estimates of the areal extent of snow-cover from AVHRR data, *Journal of hydrology*; 204, 1998.

www.SID.ir