



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال ششم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۳
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol. 6, No. 3, Autumn 2014

۶۷-۸۸

استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری برای تیپ‌بندی مراتع

رضا حسین‌خانی^{۱*}، محمودرضا صاحبی^۲، حمید عبادی^۳

۱. کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، پژوهشکده سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، پژوهشکده سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۹/۱۹

چکیده

سنجش از دور را می‌توان به‌عنوان ابزاری قدرتمند با به‌کارگیری داده از منابع مختلف و تلفیق آنها با یکدیگر برای طبقه‌بندی انواع پوشش گیاهی و کاربری اراضی به‌کار گرفت. طبقه‌بندی انواع مراتع، اطلاعات اصلی را برای آنالیز بهره‌وری کشاورزی، محاسبه کربن و شناسایی تنوع زیستی فراهم می‌کند. نخستین مجموعه داده‌های استفاده‌شده در مطالعه حاضر، تصویر لندست (Thematic Mapper) TM و دومین مجموعه داده‌ها، تصویر راداری ENVISAT ASAR برای منطقه مورد مطالعه واقع در محدوده شمال‌غربی شهر تهران (البرز جنوبی) است. در پژوهش حاضر، پس از اعمال چندین روش تصحیح توپوگرافی تصویر نوری که همگی جزو روش‌های غیرلامبرتی‌اند و با توجه به معیارهای ارزیابی این روش‌ها، تصحیح توپوگرافی تصویر نوری انجام شد. در ادامه، سودمندی و بهبودی که با استفاده از ویژگی‌های استخراج‌شده از تصویر راداری و نوری که شامل بافت آنهاست و در تلفیق با باندهای طیفی تصویر نوری به‌کار رفته است. روی نتایج طبقه‌بندی نهایی بررسی شد. برای انتخاب ویژگی‌های مستقل که منتج به بالاترین صحت نتایج شود از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. تأثیر استفاده از داده‌های ارتفاعی منطقه و شاخص‌های گیاهی تصویر نوری بر نتایج نهایی طبقه‌بندی در بخش دیگری از تحقیق بررسی و باندهای بهینه انتخاب شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده افزایش صحت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی بیشترین شباهت از ۷۷/۰۴ و ۰/۷۳۱۷ برای تصویر نوری اولیه به ۷۸/۱ و ۰/۷۴۹۵ در حالت استفاده از الگوریتم ژنتیک و ۸۳/۳۷ و ۰/۸۰۳۶ در حالت استفاده از داده‌های ارتفاعی و شاخص‌های گیاهی است.

کلیدواژه‌ها: تلفیق تصاویر، طبقه‌بندی مراتع، تصحیح توپوگرافی، بافت تصویر، سنجش از دور.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی زودزی و ژنوماتیک، گروه مهندسی فتوگرامتری.

تلفن: ۰۹۱۳۶۱۲۰۱۸۵

۱- مقدمه

مرتع شامل زمین‌هایی است با پوشش طبیعی یا بذرکاری شده با گونه‌های بومی یا غیربومی که علوفه مورد مصرف دام را تأمین می‌کند (Hill et al., 2005). مدیریت این زمین‌ها برای تولید جهانی مواد غذایی، عملکرد بیوسفر زمینی، تعادل جهانی کربن و کاهش تغییرات آب‌وهوایی مهم است. مشخصه اصلی مراتع، تنوع در مقیاس مکانی و در ساختار پوشش گیاهی است (Hill et al., 2005). از آنجاکه تصاویر جداگانه SAR^۱ و نوری توصیف‌کننده ساختار و محتوای آب پوشش گیاهی و محدوده‌های فاقد پوشش گیاهی، پوشش گیاهی دچار استرس و پوشش گیاهی سالم است، اهمیت استفاده از داده‌های سنجش از دور چندمنبعی برای طبقه‌بندی انواع مراتع مشخص می‌شود و استفاده از ویژگی‌های تصاویر از منابع مختلف، نتایج بهتر طبقه‌بندی را به دست می‌دهد.

اگرچه روش‌های سنتی طبقه‌بندی مانند کمترین فاصله^۲ و بیشترین شباهت^۳ به‌عنوان روش‌های مؤثر در استخراج اطلاعات پوشش و کاربری اراضی شناخته شده‌اند، اما محدودیت‌هایی نظیر ناتوانی در استفاده از مشخصاتی مانند بافت، مقیاس، اندازه، ارتباط با دیگر کلاس‌ها و شکل پیکسل‌های مجاور به الگوریتم طبقه‌بندی (Cleve et al., 2008) نیز دارند. غالباً تمایز دادن بین کلاس‌های مختلف گونه‌های مرتعی فقط با استفاده از خصوصیات طیفی مشکل است و نتایج طبقه‌بندی روش‌های پیکسل‌مبنا نیز اغلب نشان‌دهنده اثر نمک‌فلزی (نویزگونه) است. این مسئله به دلیل متفاوت شدن کلاس یک پیکسل از کلاس نسبت داده شده به پیکسل‌های همجوار آن است، که موجب به دست آوردن اطلاعات پردازش شده با ارزش نامناسب خواهد شد (Cleve et al., 2008). برای رفع این مشکل و افزایش صحت نقشه‌های پوشش گیاهی، می‌توان اطلاعات طیفی را با دیگر اطلاعات جانبی نظیر پارامترهای بافت تصویر، نقشه‌های رطوبتی، DEM^۴، شیب، جهت شیب و پوشش گیاهی منطقه ترکیب کرد.

همچنین می‌توان از الگوریتم‌های جدیدتر و کامل‌تری که در کنار داده‌های طیفی از داده‌های بافتی و مفهومی بهره می‌برند، استفاده کرد تا نقشه‌های بهتر و دقیق‌تری برای تصمیم‌گیری بهتر در اختیار برنامه‌ریزان قرار گیرد (Cleve et al., 2008).

بافت تصویر به توزیع مکانی درجه‌های خاکستری بستگی دارد و شامل اطلاعاتی راجع به کنتراست، یکنواختی، چین‌خوردگی، منظم بودن و مانند اینهاست (Debeir et al., 2002). تعریف مشخصی از بافت وجود ندارد ولی خصوصیات نظیر نرمی، زبری، و منظم بودن را کمی‌سازی می‌کند. اطلاعات مفهومی می‌توانند در مرجع داده کمکی (مثل ارتفاع) یا در مرجع مکانی روی خود تصویر سنجش از دور مشخص شوند (Debeir et al., 2002). استخراج ویژگی‌های بافت از تصاویر ماهواره‌ای، منبع مکملی از داده را برای کاربردهایی فراهم می‌کند که در آن اطلاعات طیفی تصویر برای شناسایی یا طبقه‌بندی صحنه‌های زمینی ناهمگن کافی نیست. به عبارت دیگر، بافت دارای اطلاعات مستقل برای تکمیل اطلاعات طیفی، به‌منظور طبقه‌بندی بهتر است. در پژوهش حاضر از پارامترهای بافت تصویر به‌عنوان منبع داده‌های کمکی استفاده شده است.

مدل ارتفاعی رقومی یکی از اطلاعاتی است که می‌تواند به‌عنوان اطلاعات کمی در طبقه‌بندی تصاویر به کار گرفته شود تا صحت طبقه‌بندی افزایش یابد. در این پژوهش به دلیل تأثیر فراوان عامل ارتفاع و شیب و جهت شیب در پراکندگی پدیده‌ها و وابستگی پدیده‌ها و کلاس‌های پوشش گیاهی انواع مراتع به سطوح ارتفاعی و شیب، DEM منطقه مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، ابتدا از پارامترهای DEM، شیب و جهت شیب برای تصحیح اثر توپوگرافی استفاده شد و در مرحله بعد به‌عنوان داده‌های کمکی برای بهبود طبقه‌بندی تصویر به کار گرفته شدند. هدف پژوهش حاضر استفاده از تصویر لندست TM و تصویر راداری

1. Synthetic Aperture Radar's
2. Minimum Distance
3. Maximum Likelihood
4. Digital Elevation Model

رقومی ارتفاعی در فرایند طبقه‌بندی انواع مراتع استفاده شد. از الگوریتم ژنتیک برای بهبود صحت طبقه‌بندی انواع مراتع با استفاده از انتخاب ترکیب مناسبی از پارامترهای بافت تصویر نوری و راداری و باندهای طیفی تصویر نوری استفاده شد. در ادامه، باندهای طیفی و شاخص‌های گیاهی تصویر نوری و مدل ارتفاعی رقومی منطقه و مشتقات آن شامل شیب و جهت شیب برای افزایش صحت طبقه‌بندی به کار گرفته شدند.

۲-۱- روش‌های تصحیح یا نرمال‌سازی توپوگرافی

روش‌های متعددی به منظور تصحیح تأثیر توپوگرافی تصاویر ماهواره‌ای نوری تدوین شده‌اند، که در این بخش چندین روش متداول در این زمینه بیان می‌شود. روش‌های تصحیح آثار توپوگرافی می‌تواند به دو دسته گروه‌بندی شود: ۱- آنهایی که متکی به نسبت باندها هستند. ۲- آنهایی که نیازمند DEM هستند. نخست خیلی ساده‌اند و نیاز به داده‌های ورودی اضافی ندارند. در این روش‌ها فرض شده است که بازتابندگی به یک نسبت افزایش یا کاهش می‌یابد و در نسبت دو باند، کسر بین آنها تأثیرات توپوگرافی را جبران می‌کند (Colby et al., 1991). دومین دسته از روش‌های تصحیح توپوگرافی متکی به مدل‌سازی شرایط نوردهی^۳ (IL) و نیازمند DEM با دقتی نظیر دقت تصویر مدنظر برای تصحیح است. DEM برای استخراج شیب و جهت شیب برای محاسبه زاویه میل - که زاویه بین اشعه خورشید و نرمال بر سطح است - لازم است. طبق رابطه (۱) زاویه میل با استفاده از پارامترهای مذکور محاسبه می‌شود (Riano et al., 2003).

رابطه (۱)

$$IL = \cos i = \cos S \times \cos Z + \sin S \times \sin Z \times \cos(Az - As)$$

1. Gaussian Distribution
2. Co-occurrence
3. Illumination

ENVISAT ASAR برای طبقه‌بندی انواع مراتع است. طبقه‌بندی‌کننده‌های استفاده‌شده در منطقه مورد مطالعه جزو روش‌های پیکسل‌مبنای سنتی از قبیل مینیمم فاصله و بیشترین شباهت هستند که فرض را بر مدل‌های آماری پارامتریک و توزیع‌های آماری از قبیل توزیع گوسی^۱ قرار می‌دهند.

۲-۲- مروری بر تحقیقات انجام‌شده و مفاهیم نظری مورد نیاز

در روش‌های مرسوم طبقه‌بندی (طبقه‌بندی‌کننده‌های سنتی) می‌توان از داده‌های کمکی به‌همراه داده‌های طیفی برای انجام طبقه‌بندی استفاده کرد. داده کمکی را می‌توان از منابع دیگر شامل نقشه‌های توپوگرافی (Bruzzone et al., 1997) و زمین‌شناسی (Gong et al., 1996) استخراج کرد. برای طبقه‌بندی چندمنبعی، استفاده از DEM منطقه به‌تنهایی یا با دیگر مشتقاتش از قبیل شیب و جهت شیب به‌عنوان داده کمکی مفید است (Janssen et al., 1990). آنالیز بافت با استفاده از ماتریس هم‌وقوع^۲ درجات خاکستری (معمول‌ترین روش آنالیز بافت) را نخستین بار هارالیک در سال ۱۹۷۳ پیشنهاد کرد (Haralick et al., 1973) و پس از آن به‌عنوان منبع ارزشمند داده برای طبقه‌بندی و استخراج مناطق غیرهمگن در تصاویر سنجش از دور به‌کار رفت. استفاده از داده‌های بافت به‌همراه داده‌های طیفی برای مناطقی که در تصویر پوشش هموزن ندارند، صحت طبقه‌بندی را افزایش می‌دهد. کبیر شهید، طبقه‌بندی‌کننده بیشترین شباهت را روی سه دسته داده اعمال کرد: دسته یکم، داده‌های طیفی شامل باندهای قرمز، سبز، آبی و مادون قرمز، دسته دوم، داده‌های مکانی شامل بافت تصاویر (میانگین، واریانس، و هموزنیتی) و دسته سوم استفاده از داده‌های ترکیبی شامل تصاویر بافتی و چندطیفی بود. استفاده هم‌زمان از دو نوع داده، بالاترین صحت و استفاده از داده بافت کمترین صحت را به‌همراه داشت (Shahid et al., 2006).

در این مطالعه از ویژگی‌های طیفی تصویر نوری در کنار ویژگی‌های بافتی تصاویر نوری و رادار و مدل

$$L_t = L_H \times (\cos i^k) \times (\cos S^{k-1}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$L_T(\cos S) = L_H \times (\cos i^k) \times (\cos S^k) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{رابطه (۵)}$$

$$\text{Log}(L_T(\cos S)) = \text{Log}L_H + k\text{Log}(\cos i \times \cos S)$$

همان‌طور که در رابطه (۶) دیده می‌شود، معادله مینارت بهبود داده شده و در آن شیب هم مدل شده است.

$$\text{رابطه (۶)}$$

$$L_H = L_T \times \cos S \times ((\cos Z) / (\cos S \times \cos i))^{K_k}$$

۲-۲-۱-۲-۲ روش تصحیح C

تیلت^۵ یک تعدیل‌کننده شبه‌تجربی را براساس تست داده‌های تصویر و رابطه خطی بین L_T و $\cos i$ (کسینوس زاویه میل) به روش Cosine اضافه کرد (Meyer et al., 1993). رابطه خطی مذکور به صورت رابطه (۷) است.

$$L_T = a + b \times \cos i \quad C = a / b \quad \text{رابطه (۷)}$$

C تابعی از شیب رگرسیون (b) و عرض از مبدأ (a) است و مدل به صورت رابطه (۸) نوشته می‌شود.

$$\text{رابطه (۸)}$$

$$L_H = L_T \times ((\cos Z + C_k) / (\cos i + C_k))$$

رویکرد C، رویکردی شبه‌تجربی است و با وارد کردن پارامتر C به روش Cosine، تصحیح‌های بیش از حد مورد نیاز آن را تعدیل می‌کند. این روش، مشخصات طیفی داده را حفظ می‌کند و صحت کلی طبقه‌بندی را در نواحی ناهموار بهبود می‌دهد (Meyer et al., 1993).

۲-۲-۱-۲-۳ روش تصحیح SCS+C

عملکرد روش SCS مشابه روش Cosine است. چنانچه

در رابطه (۱)، S شیب، Z زاویه زینت خورشید، Az زاویه آزیموت خورشید و As جهت شیب است. IL برای کل تصویر محاسبه می‌شود و بین منفی یک تا یک است. بازتابش نرمال شده افقی هر پیکسل با اعمال روش‌های مختلف تصحیح اثر توپوگرافی محاسبه می‌شود. برحسب اینکه این روش‌ها، انعکاس را مستقل از مشاهده و زاویه میل فرض کنند یا نه، به دو دسته لامبرتی و غیرلامبرتی تقسیم می‌شوند.

۲-۱-۱-۲ روش‌های لامبرتی

دو الگوریتم کسینوس^۱ و SCS^۲ از جمله روش‌های لامبرتی هستند. این روش‌ها بازتاب سطح را در تمام جهت‌ها برابر فرض می‌کنند.

۲-۱-۲ روش‌های غیرلامبرتی

فرض لامبرتی برای ساده‌سازی بسیار مناسب اما غیرمنطقی است، چون بیشتر پوشش‌ها ناهموارند و رفتار غیرلامبرتی دارند. تابع توزیع بازتاب دوسویه^۳ (BRDF)، چگونگی تغییر بازتاب را با در نظر گرفتن زاویه میل و مشاهده توضیح می‌دهد (Sandmeier and et al., 1997) و به بهترین نحو رفتار غیرلامبرتی را مدل می‌کند. تعیین BRDF تقریباً پیچیده است، چون رفتار انعکاس را در تمام زوایای ممکن توضیح می‌دهد.

۲-۱-۲-۱-۲ روش مینارت^۴

اصلی‌ترین روش متکی بر این ایده روش مینارت است که رفتار غیرلامبرتی سطح را مدل می‌کند و با رابطه (۲) بیان می‌شود، که در آن K_k ثابت مینارت برای باند K است (Smith et al., 1980).

$$L_H = L_T \times ((\cos Z) / (\cos i))^{K_k} \quad \text{رابطه (۲)}$$

اگر K برابر یک باشد، سطح لامبرتی کامل است. برای محاسبه K برای هر باند باید از معادله رگرسیون خطی مانند روابط (۳) تا (۵) استفاده کرد. در رابطه (۵)، K شیب خط رگرسیون است.

1. Cosine
2. Sun Canopy Sensor
3. Bidirectional Reflectance Distribution Function
4. Minnaert
5. Teillet

میل وجود داشته باشد، که این مقدار پس از تصحیح کم می‌گردد و خط برازش به وضعیت افقی نزدیک می‌شود. این موضوع نشان از کاهش وابستگی بازتابندگی به زاویه میل دارد (Reeder, 2002) و چنانچه مقادیر منفی شوند، بیش از حد مورد نیاز تصحیح انجام شده است.

۳. SD: انحراف معیار برای هر کلاس باید کاهش یابد. این کاهش SD معنی هموزنی‌تری بیشتر درون کلاسی را می‌دهد (Civco, 1989; Colby et al., 1991).

۴. در نهایت صحت طبقه‌بندی می‌تواند برای کنترل میزان بهبود در تفکیک کلاسی استفاده شود (Meyer et al., 1993; Conese et al., 1993).

برای مقایسه کمی آثار تصحیح توپوگرافی روی تصویر، از رابطه DI^2 قبل و بعد از تصحیح استفاده می‌شود. رابطه (۱۰) این کمیت را نشان می‌دهد.

$$DI = (SD / M) \times 100 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن، M و SD نشانگر میانگین و انحراف معیار هر باند است. در هر باند، تصویر مقدار DI پیش از تصحیح توپوگرافی به‌طور نسبی بزرگ‌تر از مقدار پس از تصحیح توپوگرافی است. اما در برخی باندها ممکن است این مقدار افزایش یابد (Gao et al., 2009).

۲-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیکی براساس نظریه تکاملی داروین بنا شده‌اند و جواب مسئله‌ای که از طریق الگوریتم ژنتیک حل می‌شود، مرتباً بهبود می‌یابد. الگوریتم ژنتیک با

زاویه میل به ۹۰ درجه نزدیک شود، فاکتور تصحیح به‌شدت بزرگ می‌گردد. در این روش نیز فاکتور تعدیل‌کننده C که مانند روش تصحیح C از آنالیز رگرسیون محاسبه می‌شود (رابطه ۹)، مفهوم فیزیکی مدل SCS را بهبود می‌دهد (Soenen et al., 2005).

رابطه (۹)

$$L_H = L_T \times ((\cos S \times \cos Z + C_k) / (\cos i + C_k))$$

فاکتور C که در روش C-Correction باعث بهبود روش Cosine گردید (Meyer et al., 1993; Riano et al., 2003) و از نظر محاسباتی نیز ساده است (al., 1982)، برای بهبود روش SCS انتخاب شد.

۲-۲- روش‌های ارزیابی الگوریتم‌های تصحیح توپوگرافی

به‌طور کلی کارایی هر روش به‌دو صورت ارزیابی می‌شود: ساختار طیفی تصویر اصلی را چه مقدار حفظ می‌کند. ۲- همواری کلاس را چه مقدار افزایش می‌دهد. علاوه بر مقایسه بصری، چندین روش برای ارزیابی نتایج تصحیح توپوگرافی بیان شده است، که در ادامه شرح داده می‌شوند.

۱. تحلیل تغییرات طیفی تصویر بعد از تصحیح. این تغییرات در شرایط ایده‌آل باید کم باشد؛ در غیر این صورت تصحیح کمتر از حد نیاز^۱ یا بیشتر از حد نیاز^۲ در تصویر ایجاد شده است (Civco, 1989).

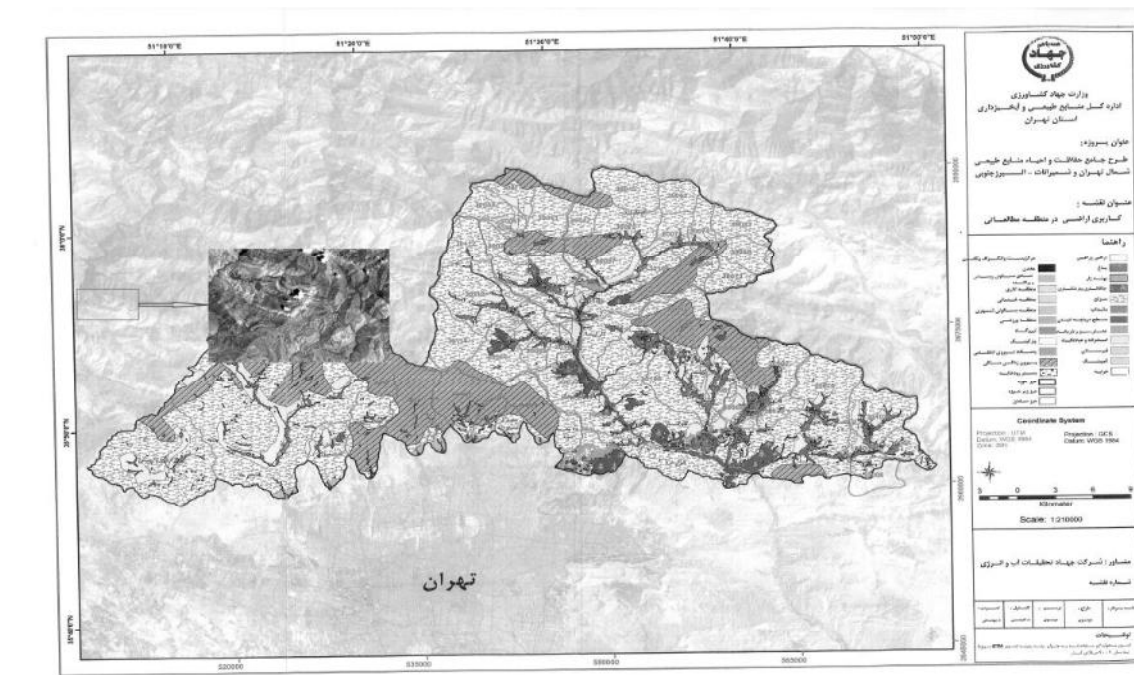
۲. معیار دوم براساس تحلیل گرافیکی L_H و L_T در مقابل IL برای هر نوع پوشش اراضی است (Meyer et al., 1993) به‌گونه‌ای که L_T برای مقادیر مختلف IL تغییر می‌کند اما پس از انجام تصحیح توپوگرافی، L_H باید با تغییر IL ثابت بماند یا تغییرات آن اندک باشد. در مناطق ناهموار و پیش از تصحیح ممکن است همبستگی شدیدی بین بازتاب سطح و زاویه

1. Under correction
2. Over correction
3. Dispersion Index

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مطالعه شده و داده‌های مورد استفاده سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به منظور ایجاد طرح جامع حفاظت و احیای منابع طبیعی شمال تهران و شمیرانات (البرز جنوبی)، اقدام به انجام برنامه‌های اصلاحی و احیایی مراتع کرده است. در پژوهش حاضر، منطقه مورد مطالعه بخشی از محدوده شمال غربی تهران که تصاویر آن در شماره مسیر^۱ ۱۶۴ و ردیف^۲ ۳۵ و در موقعیت جغرافیایی "۳۷' ۰۳" ۵۱° تا "۰۱' ۱۹" ۵۱° طول جغرافیایی شرقی و "۵۰' ۴۷" ۳۵° تا "۵۷' ۵۷" ۳۵° عرض جغرافیایی شمالی واقع شده است، در نظر گرفته شده است. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه و تصویر نوری Landsat TM استفاده شده در تحقیق را نشان می‌دهد.

یک مجموعه از جواب‌ها که از طریق کروموزوم‌ها نشان داده می‌شوند، شروع می‌شود. این مجموعه جواب‌ها جمعیت اولیه نام دارند. در این الگوریتم، جواب‌های حاصل از یک جمعیت برای تولید جمعیت بعدی استفاده می‌شود و در این فرایند امید است که جمعیت جدید از جمعیت قبلی بهتر باشد. انتخاب بعضی از جواب‌ها از میان کل جواب‌ها یا والدین (Parent) به منظور ایجاد جواب‌های جدید یا همان فرزندان (Offspring)، براساس میزان مطلوبیت آنها صورت می‌گیرد. طبیعی است که جواب‌های مناسب‌تر شانس بیشتری برای تولید مجدد دارند. این فرایند تا برقراری شرطی که از پیش تعیین شده است (مانند تعداد جمعیت‌ها یا میزان بهبود جواب) ادامه می‌یابد.

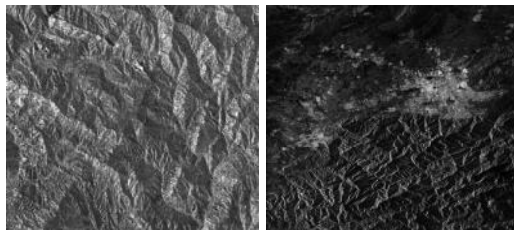


شکل ۱. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و تصویر نوری آن

1. Path
2. Row

استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری برای تیپ‌بندی مراتع

۴ SRTM با رزولوشن ۳۰ متر و با روش تصحیح زمینی فاصله داپلر^۵ انجام شد.

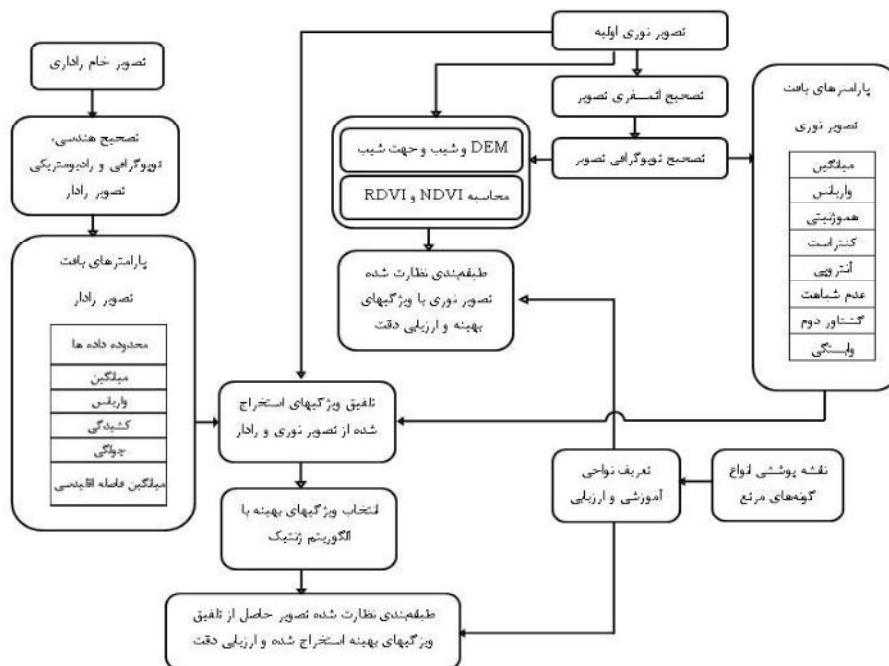


شکل ۲. الف) تصویر راداری اولیه؛ ب) بخش تصحیح‌شده مربوط به منطقه مورد مطالعه

۳-۲- مراحل انجام تحقیق

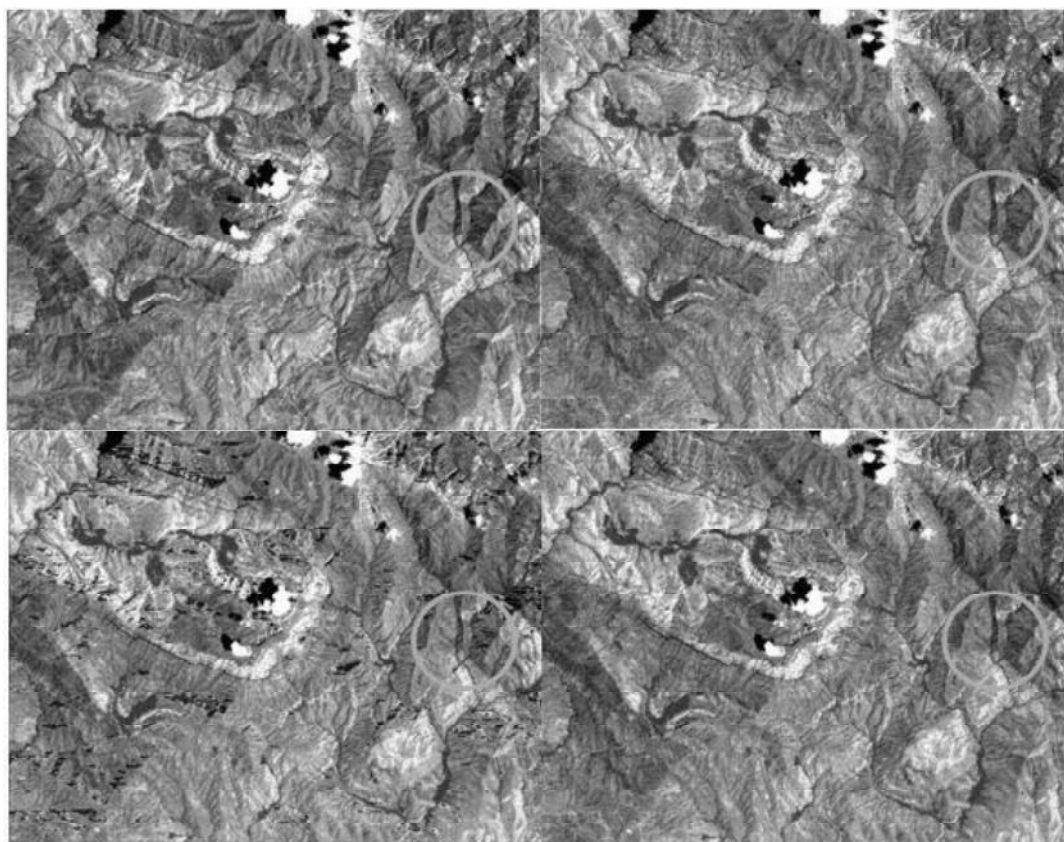
شکل ۳ نشان‌دهنده ساختار کلی روش انجام‌شده در این تحقیق است.

تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در این تحقیق شامل باند ۱ تا ۴ تصویر نوری Landsat TM و تصویر راداری ENVISAT ASAR دریافت‌شده در باند C و در پلاریزاسیون ۷۷ است. تصویر سنجنده Landsat دریافت‌شده در تاریخ ۲۰۰۹/۰۶/۰۱ در ۷ باند و با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است و تصویر راداری ENVISAT ASAR مورد استفاده با زاویه فرود^۱ ۴۰/۹۱۷۷ درجه و قدرت تفکیک ۳۰ متر در تاریخ ۲۰۰۹/۰۶/۰۹ دریافت شده است. شکل ۲ نشان‌دهنده تصویر راداری اولیه و بخشی از تصویر تصحیح شده با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر است. تصحیح رادیومتریک (شامل تصحیح اتمسفری و کاهش نویز لکه^۲ در سطح تصویر) و توپوگرافی تصحیح راداری با استفاده از نرم‌افزار^۳ NEST 4C و با معرفی DEM مربوط به منطقه مورد مطالعه تولیدشده به‌وسیله



شکل ۳. روند کلی روش استفاده‌شده در تحقیق

1. Incidence Angle
2. Speckle Noise
3. Next ESA SAR Toolbox
4. Shuttle Radar Topography Mission
5. Range Doppler Terrain Correction



شکل ۴. تصویر اصلی، و (الف) تصحیح شده به روش C، (ب) تصحیح شده به روش مینارت، (ج) SCSC، (د) نمایش یک قسمت تصحیح شده در تصویر

تصویرند که همگی جزو روش‌های غیرلامبرتی‌اند. شکل ۴ تصویر نوری اصلی و تصویر تصحیح شده را به سه روش مذکور نشان می‌دهد. در بخش‌های نشان داده شده در تصویر، اثر تصحیح توپوگرافی اعمال شده روی تصویر نمایش داده شده است. با توجه به کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه و تفاوت روشنایی مناطق موجود در دامنه‌های پشت به جهت نوردهی خورشید، انجام تصحیح توپوگرافی در این منطقه ضروری است. این کار با محاسبه زوایای آزیموت و زنیت هر پیکسل که منتج به محاسبه زاویه میل خورشیدی در مناطق مختلف و روشنایی تصحیح شده آنها می‌گردد، انجام شده است.

در گام نخست بعد از برداشت تصاویر نوری و راداری، پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیحات اتمسفری، هندسی و رادیومتریک روی این تصاویر اعمال شدند. با توجه به زمین مرجع بودن تصویر نوری مورد استفاده که از سایت USGC دریافت شده است، در ادامه تصحیحات اتمسفریک و توپوگرافی روی این تصویر انجام شد. برای تصحیح اتمسفری تصویر نوری از روش کاهش رادیانس جسم تاریک^۱ استفاده شد. برای تصحیح اثر توپوگرافی تصویر نوری با استفاده از DEM منطقه، نقشه‌های شیب و جهت شیب تولید شد و در محاسبه زوایای آزیموت و زنیت برای هر پیکسل استفاده گردید. در ادامه از این زوایای محاسبه شده در روش‌های مختلف تصحیح توپوگرافی تصویر نوری استفاده شد. روش‌های C، مینارت و روش SCSC سه روش تصحیح توپوگرافی در نظر گرفته شده برای تصحیح

1. Dark Object Subtraction

۳-۳- ارزیابی نتایج الگوریتم‌های تصحیح

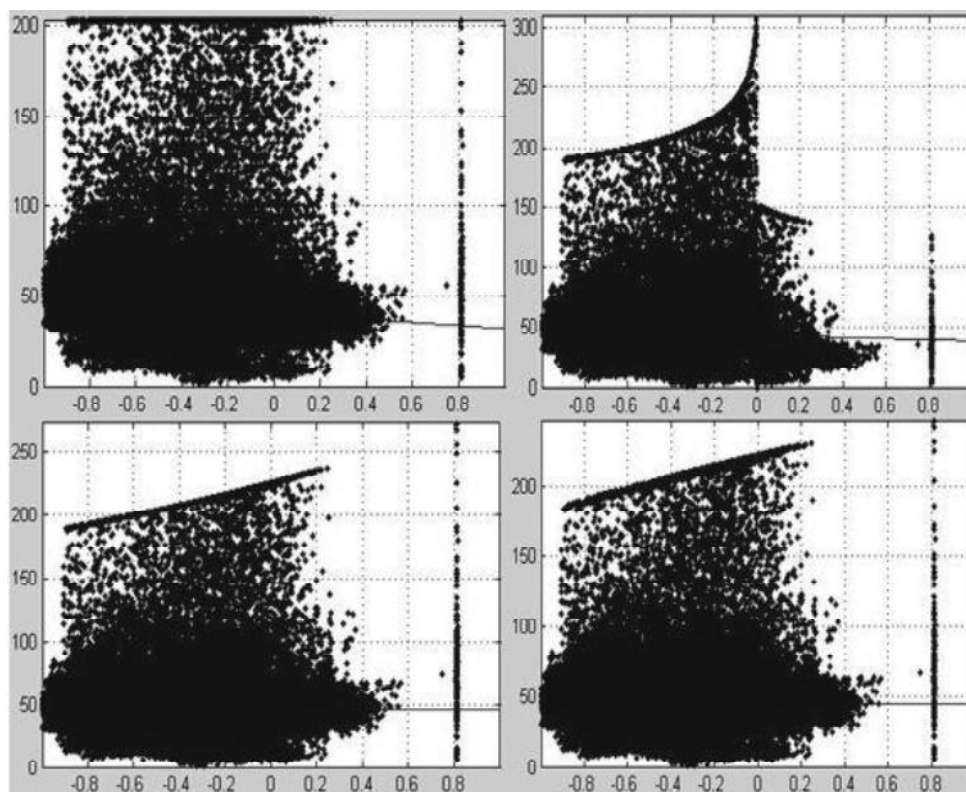
توپوگرافی با استفاده از پارامترهای آماری

نخستین روش ارزیابی نتایج الگوریتم‌های تصحیح توپوگرافی و مقایسه عملکرد آنها، استفاده از پارامترهای آماری است. هر چه وابستگی درجه روشنایی تصویر به کسینوس زاویه میل کمتر باشد به معنی آن است که روش اعمال شده برای تصحیح توپوگرافی کارآمدتر است. از این رو، با نمایش وابستگی درجه روشنایی تصویر به کسینوس زاویه میل، در صورتی که خط برازش داده شده به داده‌ها به خط افقی نزدیک‌تر باشد، تصحیح به کار برده شده نتیجه بهتری خواهد داشت (شکل ۵).

نتایج به دست آمده از شکل ۵ نشان می‌دهند که شیب خط رگرسیون برای تصویر اصلی منفی است. در ادامه شیب این خط برای تصویر تصحیح شده به روش مینارت نیز منفی ولی با شیب کمتر است. این موضوع بیانگر تصحیح شدن تصویر اولیه با این روش است.

در مجموع با توجه به نتایج به دست آمده از این روش در برخی از نواحی تصویر، تصحیح بیش از حد نیاز اعمال شده است. نتایج به دست آمده از دو روش C و SCSC نشان می‌دهند که خط رگرسیون تقریباً افقی است. بنابراین دو روش مذکور بهترین نتایج را برای تصحیح تصویر دربردارند و می‌توان خروجی آنها را برای رسیدن به صحت بالاتر در طبقه‌بندی تصویر به کار گرفت. جدول‌های ۱ و ۲ پارامترهای مختلف آماری را برای تمامی باندهای تصویر اصلی و روش‌های گوناگون تصحیح توپوگرافی تصویر نشان می‌دهند. با مقایسه این پارامترها کارایی روش‌های C و SCSC نسبت به روش مینارست دیده می‌شود.

با توجه به نتایج جدول ۲، کمترین مقدار ضریب DI مربوط به روش SCSC است، بنابراین کارایی آن از سایر روش‌های به کار رفته بیشتر است.



شکل ۵. الف) وابستگی درجه خاکستری تصویر به کسینوس زاویه میل در تصویر اصلی، ب) به روش مینارت، ج) به روش C، د) SCSC

جدول ۱. پارامترهای آماری محاسبه شده برای باندهای تصویر نوری و روش های تصحیح اعمال شده

حالت بررسی شده	تصویر نوری اولیه			تصحیح به روش مینارت			تصحیح به روش C			تصحیح به روش SCSC		
	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۱	باند ۲	باند ۳
باند تصویر	۶۶/۸۵	۴۷/۱۱	۳۴/۰۴	۶۶/۲۸	۴۷/۱۵	۳۴/۸۷	۶۶/۲۸	۴۷/۱۵	۳۴/۸۷	۶۶/۲۸	۴۷/۱۵	۳۴/۸۷
میانگین	۱۵/۷۲	۱۵/۰۲	۱۰/۶۹	۱۹/۸۶	۱۷/۵۶	۱۲/۷۲	۱۸/۰۳	۱۵/۵۸	۱۰/۸۷	۱۵/۵۲	۱۴/۹۷	۱۰/۶۸
انحراف معیار	۳۳/۷۷	۳۱/۹۱	۳۱/۰۴	۳۳/۹۷	۳۷/۱۷	۳۷/۲۴	۴۰/۰۱	۳۳/۳۵	۳۲	۳۳/۲۸	۳۱/۸۲	۳۱/۳۷
DI	۵۹/۸۶۴	۴۰/۸۸۱	۳۰/۲۵۷	۴۰/۸۱۶	۳۲/۰۷۵	۲۱/۸۲۴	۴۲/۸۶۱	۳۶/۶۳۱	۲۷/۹۲۷	۲۵/۴۱۳	۲۶/۹۵۲	۳۳/۹۲۵

جدول ۲. پارامترهای آماری محاسبه شده برای باندهای تصویر نوری و روش های تصحیح اعمال شده

حالت بررسی شده	تصویر نوری اولیه			تصحیح به روش مینارت			تصحیح به روش C			تصحیح به روش SCSC		
	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۱	باند ۲	باند ۳
باند تصویر	۵۹/۸۶۴	۴۰/۸۸۱	۳۰/۲۵۷	۴۰/۸۱۶	۳۲/۰۷۵	۲۱/۸۲۴	۴۲/۸۶۱	۳۶/۶۳۱	۲۷/۹۲۷	۲۵/۴۱۳	۲۶/۹۵۲	۳۳/۹۲۵
ضرایب رگرسیون	۱۳/۴۹۰	۱۲/۲۸۲	۸/۱۱۳	۷/۱۸۰	۸/۳۶۱	۴/۸۲۵	۴/۲۹۹	۰/۰۸۹	۰/۷۹۶	۰/۴۴۳	۰/۱۰۵	۰/۰۲۹
معمایه بندی بین	۱۳/۴۹۰	۱۲/۲۸۲	۸/۱۱۳	۷/۱۸۰	۸/۳۶۱	۴/۸۲۵	۴/۲۹۹	۰/۰۸۹	۰/۷۹۶	۰/۴۴۳	۰/۱۰۵	۰/۰۲۹
درجه خاکستری و روشی	۱۳/۴۹۰	۱۲/۲۸۲	۸/۱۱۳	۷/۱۸۰	۸/۳۶۱	۴/۸۲۵	۴/۲۹۹	۰/۰۸۹	۰/۷۹۶	۰/۴۴۳	۰/۱۰۵	۰/۰۲۹
ضریب وابستگی درجه	۱۳/۴۹۰	۱۲/۲۸۲	۸/۱۱۳	۷/۱۸۰	۸/۳۶۱	۴/۸۲۵	۴/۲۹۹	۰/۰۸۹	۰/۷۹۶	۰/۴۴۳	۰/۱۰۵	۰/۰۲۹
خاکستری تصویر به	۱۳/۴۹۰	۱۲/۲۸۲	۸/۱۱۳	۷/۱۸۰	۸/۳۶۱	۴/۸۲۵	۴/۲۹۹	۰/۰۸۹	۰/۷۹۶	۰/۴۴۳	۰/۱۰۵	۰/۰۲۹
کسینوس زاویه میل	۱۳/۴۹۰	۱۲/۲۸۲	۸/۱۱۳	۷/۱۸۰	۸/۳۶۱	۴/۸۲۵	۴/۲۹۹	۰/۰۸۹	۰/۷۹۶	۰/۴۴۳	۰/۱۰۵	۰/۰۲۹

۳-۴- استفاده از صحت کلی طبقه‌بندی برای

ارزیابی روش‌های مختلف تصحیح توپوگرافی

به‌منظور ارزیابی روش‌های گوناگون تصحیح توپوگرافی روی تصویر، در مرحله یکم، طبقه‌بندی روی تصویر نوری اصلی با ۴ باند انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که صحت کلی طبقه‌بندی بیشترین شباهت پس از انجام تصحیح با هریک از سه روش اندکی افزایش یافته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، روش SCSC بیشترین افزایش صحت را داشته و در مرحله بعد روش C قرار گرفته است. همچنین نتایج حاصل نشان‌دهنده نزدیکی صحت روش‌های گوناگون اعمال شده برای تصحیح تصویر و اختلاف کم بین نتایج

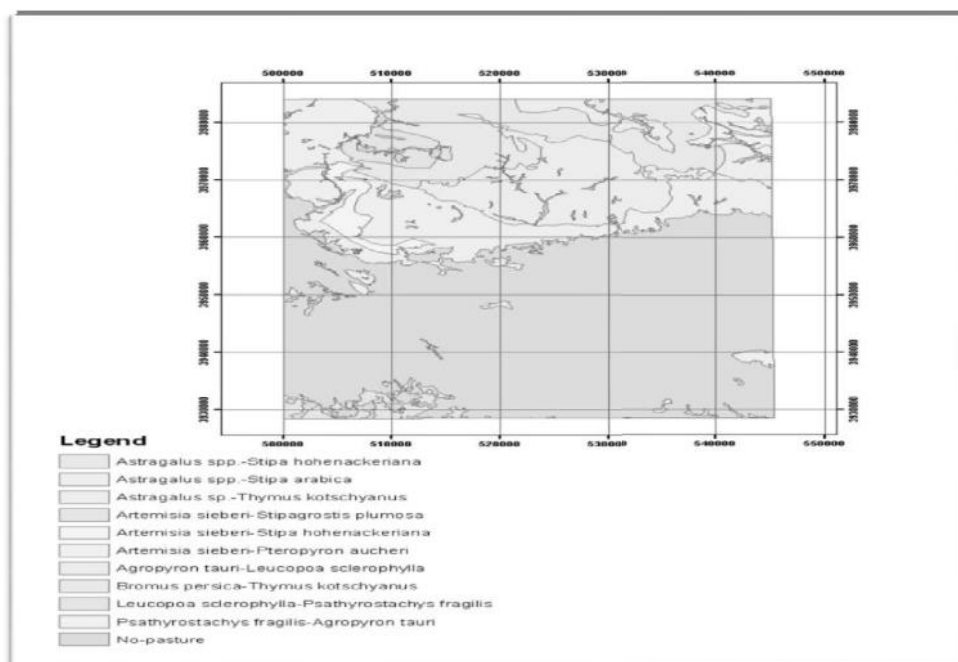
روش SCSC و C است. بنابراین از خروجی روش SCSC به‌عنوان تصویر تصحیح‌شده استفاده شده است. با توجه به نقشه shape file سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور که با استفاده از تصاویر ASTER سال ۲۰۰۵ تهیه شده است، ۱۱ کلاس مختلف برای طبقه‌بندی تصویر مشخص گردید که ۷ کلاس آن انواع گونه‌های مرتعی موجود در منطقه مورد مطالعه را معرفی می‌کنند. مشخصات کلاس‌های تعریف‌شده و نواحی آموزشی و ارزیابی، در جدول ۴ نشان داده شده است. نقشه پراکنش انواع گونه‌های مرتعی موجود در منطقه مطالعه‌شده، در شکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۳. نتایج به‌دست‌آمده برای طبقه‌بندی تصویر با روش‌های اعمال‌شده

ردیف	تصحیح استفاده‌شده	صحت کلی	ضریب کاپا
۱	تصویر اصلی	۷۷/۰۴	۰/۷۳۱۷
۲	مینارت	۷۷/۳۱	۰/۷۳۴۸
۳	C	۷۷/۳۷	۰/۷۳۵۵
۴	SCSC	۷۷/۷۴	۰/۷۳۹۶

جدول ۴. مشخصات کلاس‌های تعریف‌شده شامل تعداد پیکسل‌ها و مشخصات ارتفاعی کلاس‌ها

ردیف	نام کلاس	تعداد پیکسل‌های آموزشی	تعداد پیکسل‌های تست	ارتفاع کلاس
۱	مرتع نوع ۱	۳۱۲	۲۷۹	۲۵۲۰-۲۷۵۰
۲	مرتع نوع ۲	۲۱۵	۱۹۱	۲۴۶۵-۲۶۷۵
۳	مرتع نوع ۳	۳۱۶	۲۶۴	۲۲۲۰-۲۷۰۰
۴	مرتع نوع ۴	۱۹۹	۲۶۵	۲۴۲۰-۲۶۵۰
۵	مرتع نوع ۵	۱۵۶	۱۷۱	۲۱۲۰-۲۲۳۰
۶	مرتع نوع ۶	۱۳۰	۱۱۲	۲۲۲۰-۲۵۱۰
۷	مرتع نوع ۷	۲۳۴	۱۷۷	۲۰۶۰-۲۳۶۵
۸	درخت	۱۸۶	۲۶۰	۱۹۸۵-۲۱۷۵
۹	کوه	۵۶۶	۹۵۳	۱۴۷۰-۲۳۹۰
۱۰	برف و ابر	۲۸۴	۱۷۳	۳۰۶۰-۳۵۰۰
۱۱	دریاچه	۱۱۱	۱۴۳	۱۷۷۰-۱۸۵۵



شکل ۶. انواع گونه‌های مرتعی موجود در منطقه مطالعه شده

است، در مورد گونه مرتعی نوع ۷ این مسئله باعث تداخل کلاس این گونه با کلاس کوه شده، که پس از تصحیح تصویر این تداخل کاهش یافته است. همین مسئله در مورد مرتع نوع ۲ و کوه در قسمت پایین تصویر اتفاق افتاده است. همچنین در گوشه بالای تصویر که تنوع گونه‌های مرتعی بیشتر از سایر مناطق تصویر است، تصحیح توپوگرافی باعث شده است که تداخل بین کلاسی گونه‌ها کاهش یابد. گونه مرتعی نوع ۱ و نوع ۲ گونه‌های غالب در این منطقه‌اند و نتایج به دست آمده مؤید این است که تصحیح تصویر باعث تفکیک پذیری بیشتر این گونه‌ها شده است.

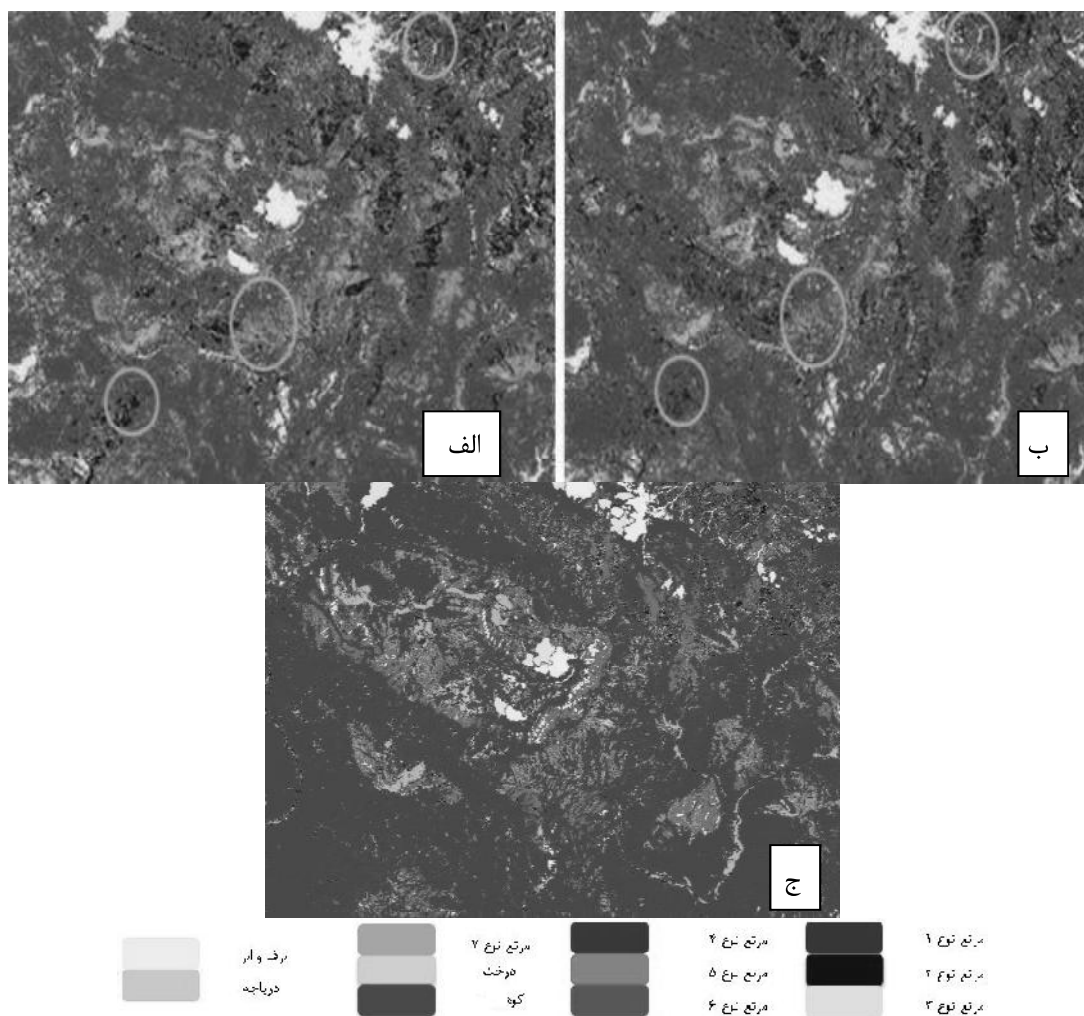
صحت کلی و ضریب کاپا برای تصویر اصلی و تصویر تصحیح شده در جدول ۵ نشان داده شده است. به دلیل رفتار طیفی نزدیک به هم انواع گونه‌های مرتعی در منطقه مطالعه شده، در حالت قبل و بعد از تصحیح تصویر و برای دو روش طبقه‌بندی به کار رفته، افزایش صحت به دست آمده چندان زیاد نیست ولی در مجموع افزایش صحت ایجاد شده پس از تصحیح تصویر نشان‌دهنده کاهش تداخل بین کلاسی است.

۴- نتیجه‌گیری و بحث در مورد نتایج به دست آمده در حالت‌های مختلف استفاده شده در تحقیق

۴-۱- طبقه‌بندی تصویر نوری قبل و بعد از تصحیح توپوگرافی

در این بخش از تحقیق با استفاده از دو الگوریتم متفاوت، اثر تصحیح توپوگرافی روی صحت طبقه‌بندی انجام شده برای کلاس‌های تعریف شده بررسی شده است. از بین روش‌های موجود برای طبقه‌بندی تصویر، از دو روش بیشترین شباهت و کمترین فاصله که جزو روش‌های رایج طبقه‌بندی‌اند و معمولاً در کاربردهای تعیین نوع پوشش گیاهی اراضی به کار می‌روند، استفاده شده است. به منظور مقایسه کردن روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت با روش دیگر طبقه‌بندی، از روش کمترین فاصله استفاده شده است. به دلیل تفاوت نوردی خورشید در دامنه‌های پرتیب، برخی از انواع گونه‌های مرتعی در سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی شده‌اند. به عنوان مثال همان گونه که در شکل ۷ نشان داده شده

استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری برای تیپ‌بندی مراتع



شکل ۷. طبقه‌بندی بیشترین شباهت تصویر اصلی، (الف) طبقه‌بندی بیشترین شباهت، (ب) کمترین فاصله، (ج) تصویر تصحیح‌شده به روش SCSC

جدول ۵. صحت طبقه‌بندی با روش بیشترین شباهت و حداقل فاصله قبل و بعد از تصحیح توپوگرافی تصویر

ردیف	روش استفاده شده	صحت کلی	ضریب کاپا
۱	طبقه‌بندی بیشترین شباهت تصویر اصلی قبل از تصحیح	۷۷/۰۴	۰/۷۳۱۷
۲	طبقه‌بندی بیشترین شباهت تصویر اصلی بعد از تصحیح	۷۷/۷۴	۰/۷۳۹۶
۳	طبقه‌بندی حداقل فاصله تصویر اصلی قبل از تصحیح	۷۵/۵۷	۰/۷۱۲۶
۴	طبقه‌بندی حداقل فاصله تصویر اصلی بعد از تصحیح	۷۷/۱۱	۰/۷۳۱۲

مشابهت دارند در یک گروه قرار می‌گیرند و می‌توان برای هر گروه از پیکسل‌ها پردازش‌های مناسب را انجام داد و انتظار نتیجهٔ بهتری داشت (Benediktsson et

۴-۲- تلفیق تصاویر چندمنبعی

در این پژوهش از روش تلفیق تصاویر در سطح عارضه استفاده شده است که با نام تلفیق در سطح ویژگی^۱ نیز شناخته می‌شود. در این روش پیکسل‌هایی که از نظر ویژگی‌های رنگی، شکلی، هندسی و وسعت با یکدیگر

1. Feature Level Fusion

۴-۳-۱- یافتن باندهای بهینه ورودی فرایند طبقه‌بندی

در این بخش از تحقیق برای بررسی تأثیر استفاده از پارامترهای بافت تصویر رادار به منظور افزایش صحت طبقه‌بندی و تفکیک بهتر کلاس‌ها، پارامترهای بافت از تصویر راداری و نوری استخراج شدند. تصویر تلفیقی ایجاد شده به روش Layer Stacking متشکل از تمام ویژگی‌های استخراج شده از تصویر نوری و راداری به عنوان تصویر ورودی به الگوریتم ژنتیک معرفی می‌شود و ویژگی‌های بهینه برای انجام طبقه‌بندی نهایی استخراج شده است. برای بررسی اثر پارامترهای بافت تصویر در بهبود صحت طبقه‌بندی و تفکیک بهتر کلاس‌ها، از ماتریس هم‌وقوع درجات خاکستری^۲ (GLCM) که از روش‌های متداول استخراج پارامترهای بافت از تصاویر است و وابستگی آن به دلیل ویژگی مهم آن برای تمایز اشیا در جهت‌های خاص است، استفاده شد. پارامترهای بافت تصویر نوری شامل میانگین، واریانس، همگنی، کنتراست، عدم‌شباهت، آنترופی، گشتاور دوم و همبستگی باندهای طیفی این تصویر است. پارامترهای بافت کشیدگی، متوسط فاصله اقلیدسی، چولگی، واریانس، محدوده داده‌ها و میانگین از تصویر راداری استخراج شد. به منظور بررسی تغییر ویژگی‌های بهینه استخراج شده برای تصویر نوری اولیه و تصحیح شده، پارامترهای بافت تصویر نوری قبل و بعد از تصحیح اثر توپوگرافی برای تمام باندها استخراج شدند. تصویر ورودی در دو حالت قبل و بعد از تصحیح توپوگرافی تصویر نوری به الگوریتم معرفی شد. در حالت قبل از تصحیح تصویر نوری، تصویر ورودی متشکل از ۴۱ باند شامل باند ۱ تا ۴ تصویر نوری قبل از تصحیح توپوگرافی، ۳۱ پارامتر بافت استخراج شده از این تصویر (شامل میانگین، واریانس، هموزنیتی، کنتراست، عدم‌شباهت، آنترופی، گشتاور دوم و همبستگی برای باند اول تا سوم و میانگین، واریانس،

al., 2003). این پردازش‌ها روی تصاویر ورودی در قالب الگوریتم‌های استخراج ویژگی^۱ بیان می‌شوند، به این معنی که پس از ورود تصاویر، ویژگی‌های مورد نظر از آنها استخراج می‌شوند و در نهایت عملیات تلفیق روی ویژگی‌های استخراج شده انجام می‌شود (Benediktsson et al., 2003). مهم‌ترین ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر در این تحقیق شامل بافت تصویر رادار و نوری هستند.

۴-۳-۲ پارامترهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک

از آنجاکه هدف پژوهش حاضر، هدف یافتن باندهای بهینه برای انجام طبقه‌بندی است، در چنین مسائلی می‌توان تابع شایستگی را صحت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپای طبقه‌بندی انجام شده در نظر گرفت. تابع شایستگی استفاده شده در این مطالعه ضریب کاپای طبقه‌بندی بیشترین شباهت و کمترین فاصله در نظر گرفته شده است. در کدگذاری کروموزوم الگوریتم ژنتیک برای انتخاب ویژگی‌های مکانی و طیفی بهینه، بیت‌های با مقدار یک، نماینده وجود یک ویژگی و بیت‌های با مقدار صفر، نماینده نبود ویژگی هستند. جدول ۶ نشان‌دهنده پارامترهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک است.

جدول ۶. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

مقدار	پارامتر استفاده شده
باینری	کدگذاری جمعیت‌ها
ضریب کاپا	تابع شایستگی
۲۰	تعداد جمعیت‌های هر نسل
Tournament	انتخاب والدین
۰/۱۲	نرخ جهش
دو نقطه	تقاطع کروموزوم‌ها
۲۰ درصد	نرخ اعضای کوچ‌کننده به نسل بعد
۰/۰۱	معیار توقف

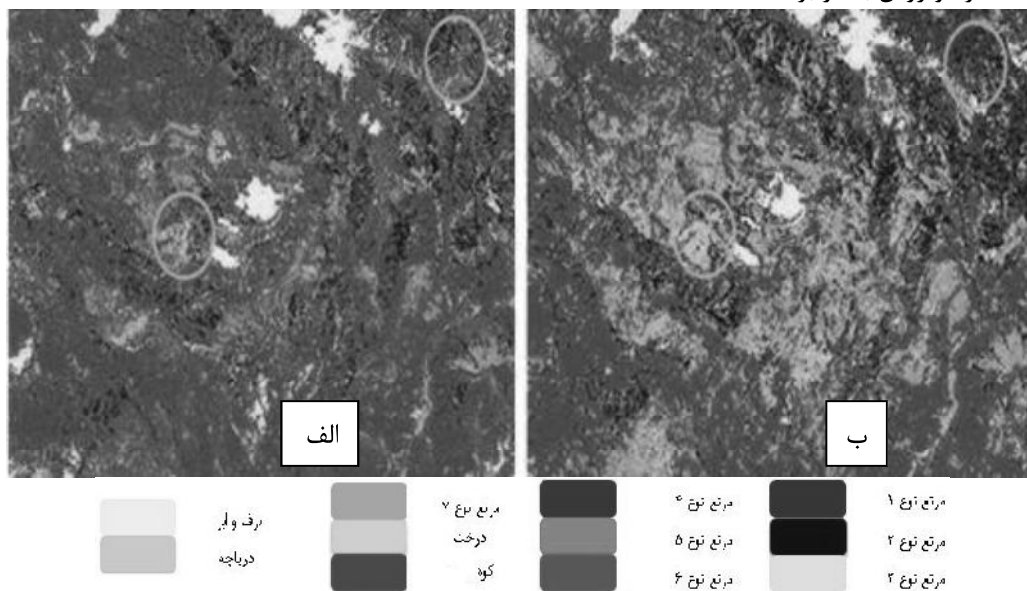
1. Feature Extraction

2. Gray Level Co-occurrence Matrix

استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری برای تیپ‌بندی مراتع

نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده تغییر ترکیب بهینه باندها و تعداد باندهای بهینه قبل و بعد از تصحیح توپوگرافی تصویر نوری است. از آنجاکه با تصحیح تصویر نوری، پارامترهای بافت این تصویر تغییر کرده‌اند، در این حالت نیز ترکیب بهینه باندها تغییر کرده است. شکل ۸ نشان‌دهنده طبقه‌بندی انجام‌شده به‌روشن‌ترین شباهت برای تصویر تصحیح‌شده اولیه و تصویر تلفیقی متشکل از ترکیب بهینه باندهاست. نتیجه طبقه‌بندی انجام‌شده با انتخاب ترکیب بهینه باندها در مقایسه با طبقه‌بندی اولیه هم‌وزن‌تر است و تمایز بین انواع گونه‌ها (به‌عنوان مثال گونه مرتعی نوع ۱ و ۲) بهتر صورت گرفته است. با توجه به تعداد کمتر پارامترهای بافت تصویر رادار در مقایسه با تصویر نوری برای ورود به الگوریتم انتخاب باندهای بهینه، تنها پارامتر بافت انتخاب‌شده تصویر رادار که در خروجی الگوریتم دیده می‌شود، محدوده داده‌هاست که برای دو روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت و کمترین فاصله مشترک است.

هم‌وزنی، کنتراست، عدم‌شباهت، آن‌تروپی و گشتاور دوم برای باند چهارم) و ۶ پارامتر بافت استخراج‌شده از تصویر رادار (شامل محدوده داده‌ها، میانگین، چولگی^۱، درجه اوج^۲، واریانس و متوسط فاصله اقلیدسی) و در حالت بعد از تصحیح تصویر نوری، تصویر ورودی متشکل از ۳۹ باند شامل باند ۱ تا ۴ تصویر نوری بعد از تصحیح توپوگرافی، ۲۹ پارامتر بافت استخراج‌شده از این تصویر (شامل میانگین، واریانس، هم‌وزنی، کنتراست، عدم‌شباهت، آن‌تروپی، گشتاور دوم و همبستگی برای باند اول و میانگین، واریانس، هم‌وزنی، کنتراست، عدم‌شباهت، آن‌تروپی و گشتاور دوم برای باند دوم تا چهارم) و ۶ پارامتر بافت استخراج‌شده از تصویر رادار (مشابه حالت قبل) در نظر گرفته شد. بهترین نتایج طبقه‌بندی زمانی حاصل می‌شود که با استفاده از الگوریتم ژنتیک، باندهایی با کمترین وابستگی به یکدیگر انتخاب شوند و به‌عنوان باندهای ورودی طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گیرند. جدول ۷ نشان‌دهنده انتخاب ترکیب بهینه باندها با استفاده از الگوریتم ژنتیک و صحت نتایج طبقه‌بندی به‌دست آمده از دو روش به‌کار برده شده است.



شکل ۸. الف) نتیجه طبقه‌بندی انجام‌شده روی تصویر تصحیح‌شده اولیه، ب) حاصل از انتخاب ترکیب بهینه باندها

1. Skewness
2. Kurtosis

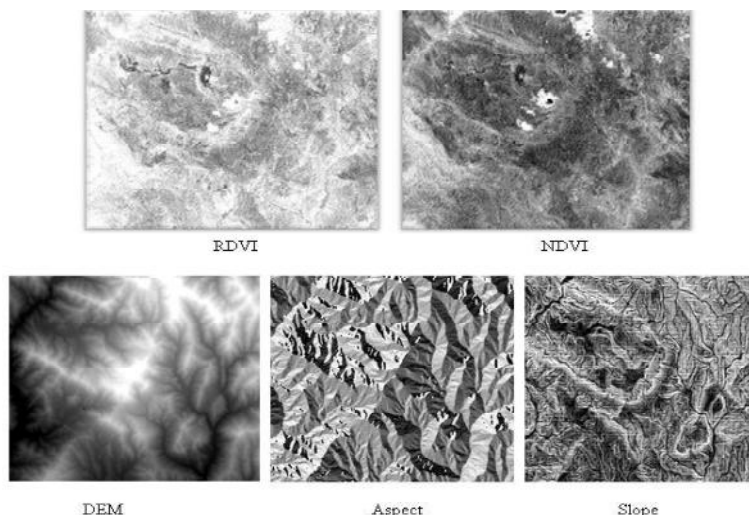
جدول ۷. انتخاب باندهای بهینه از طریق الگوریتم ژنتیک و صحت‌های محاسبه‌شده برای دو روش طبقه‌بندی استفاده‌شده

ضریب کایا	صحت کلی	تعداد باند اینها	ترکیب بهینه باندها	روش استفاده‌شده
۰.۷۳۷۱	۷۷/۴۸	۱۷	باند ۴ تصویر نوری، میانگین و عدم‌شبهات باند ۱، میانگین و هموزیته و عدم‌شبهات و آنزوی باند ۲، میانگین و واریانس و عدم‌شبهات و آنزوی و گشتاور دوم باند ۳، میانگین و همبستگی باند ۴، چولگی و درجه‌اوج تصویر رادار	روش بیشترین شباهت قبل از تصحیح تصویر نوری
۰.۷۴۹۵	۷۸/۲۱	۱۶	باند ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تصویر نوری، میانگین و واریانس و کنتراست و آنزوی باند ۱، میانگین و هموزیته و آنزوی باند ۴، میانگین و گشتاور دوم باند ۳، میانگین و هموزیته باند ۴، محدوده داده تصویر رادار	روش کمترین شباهت بعد از تصحیح تصویر نوری
۰.۷۳۴	۷۷/۳۸	۳۰	باند ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تصویر نوری، میانگین و واریانس و هموزیته و کنتراست و آنزوی باند ۱، میانگین و واریانس و آنزوی باند ۲، میانگین و عدم‌شبهات و گشتاور دوم باند ۳، میانگین و واریانس و کنتراست و عدم‌شبهات و آنزوی باند ۴، چولگی تصویر رادار	روش کمترین فاصله قبل از تصحیح تصویر نوری
۰.۷۴۱۱	۷۷/۹۱	۱۵	میانگین و هموزیته و کنتراست و گشتاور دوم باند ۱، میانگین و عدم‌شبهات و گشتاور دوم باند ۳، میانگین و هموزیته و آنزوی و گشتاور دوم باند ۳، میانگین و هموزیته و عدم‌شبهات باند ۴، محدوده داده تصویر رادار	روش کمترین فاصله بعد از تصحیح تصویر نوری

دو روش در حالت قبل و بعد از تصحیح توپوگرافی تصویر نوری انتخاب شدند. ویژگی‌های استخراج شده در این مرحله از تحقیق که هر کدام یک باند محسوب می‌شوند عبارت‌اند از: باند ۱ تا ۴ تصویر نوری، شاخص‌های گیاهی NDVI و RDVI و داده‌های ارتفاعی DEM، شیب و جهت شیب. شکل ۹ ویژگی‌های استفاده شده در این مرحله را نشان می‌دهد. ویژگی‌های بهینه و صحت به دست آمده برای طبقه‌بندی با هریک از دو روش در جدول ۸ نشان داده شده است.

۴-۴- شاخص‌های گیاهی و داده‌های ارتفاعی به منظور بهبود صحت طبقه‌بندی و تفکیک بهتر کلاس‌ها

برای بررسی استفاده از داده‌های ارتفاعی به همراه داده‌های طیفی به منظور افزایش صحت طبقه‌بندی، داده‌های ارتفاعی به همراه شاخص‌های گیاهی استخراج شده از تصویر نوری با تصویر نوری اولیه تلفیق شدند. با مقایسه صحت کلی و ضریب کاپای به دست آمده برای حالت‌های مختلف و در نظر گرفتن باندهایی با بالاترین صحت کلی و ضریب کاپا، مناسب‌ترین ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی با هر کدام از این



شکل ۹. شاخص‌های گیاهی و داده‌های ارتفاعی استفاده شده

جدول ۸. باندهای بهینه انتخابی برای انجام طبقه‌بندی با توجه به صحت کلی و ضریب کاپای محاسبه شده

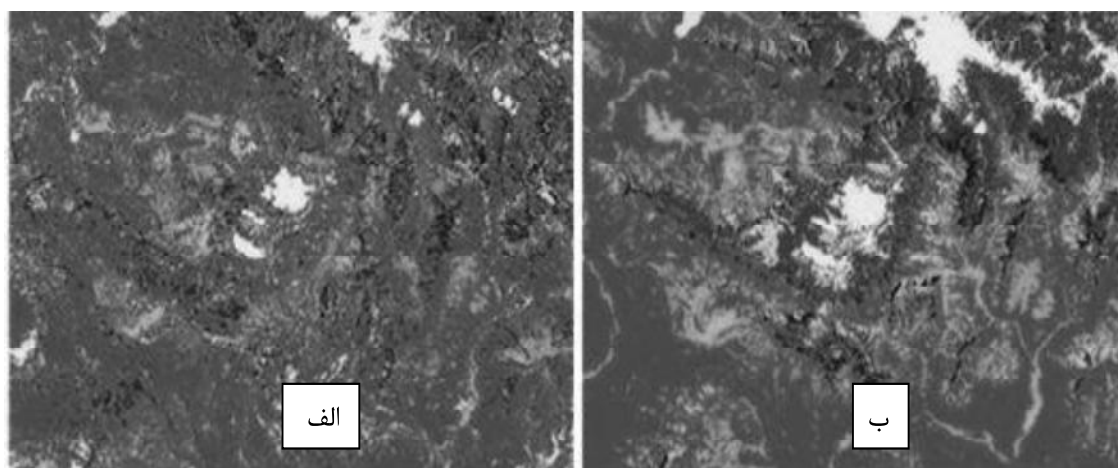
الگوریتم استفاده شده	ویژگی‌های بهینه استخراج شده	صحت کلی	ضریب کاپا
روش بیشترین شباهت قبل از تصحیح	باند ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تصویر، DEM و Slope و Aspect	۸۰/۸۶	۰/۷۷۴۷
روش بیشترین شباهت بعد از تصحیح	باند ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تصویر، DEM و Slope و Aspect و NDVI	۸۳/۳۷	۰/۸۰۳۶
روش کمترین فاصله قبل از تصحیح	باند ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تصویر و RDVI و NDVI	۷۵/۵۷	۰/۷۱۲۶
روش کمترین فاصله بعد از تصحیح	باند ۱ و ۲ و ۳ و ۴ تصویر و RDVI و NDVI	۷۷/۱۴	۰/۷۳۱۶

کاهش می‌یابد. مناطق دارای پوشش ابر و برف نیز در مقایسه با تصویر اولیه یک‌دست طبقه‌بندی شده‌اند و تداخل میان این کلاس و گونه‌های مرتعی واقع در قسمت بالای تصویر کاهش یافته است. همچنین با به‌کاربردن داده‌های ارتفاعی، تأثیرات نمک‌فلزی (نویزگونه) که به‌علت متفاوت شدن کلاس یک پیکسل از کلاس نسبت داده شده به پیکسل‌های همجوار آن است، به میزان زیادی کاهش یافته و نتیجه مناسبی حاصل شده است.

با توجه به نتایج جدول ۸ در حالت استفاده از طبقه‌بندی کمترین فاصله، به‌کاربردن داده‌های ارتفاعی تأثیر چندانی بر افزایش صحت طبقه‌بندی ندارد، درحالی‌که در روش بیشترین شباهت، داده‌های ارتفاعی به تفکیک کلاس‌هایی که از نظر ارتفاع و شیب متفاوت‌اند، کمک شایانی می‌کند. برای نمونه، کلاس‌های مربوط به برخی از انواع گونه‌های مرتعی که از نظر طیفی مشابه‌اند، با توجه به تفاوت شیب و ارتفاع به‌خوبی از هم تفکیک شده‌اند.

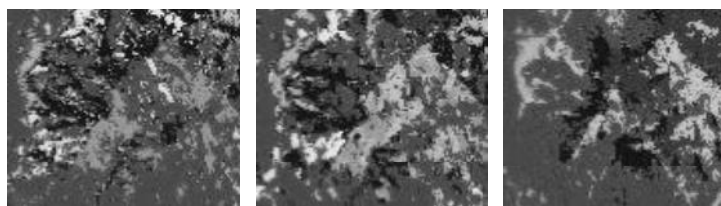
در اینجا ترکیب بهینه باندها برای تصویر اصلی و تصویر تصحیح‌شده بررسی شده است و همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد، برای بررسی تغییر ترکیب بهینه باندها با روش طبقه‌بندی استفاده‌شده از دو روش طبقه‌بندی مختلف استفاده کرده‌ایم. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که بیشترین صحت طبقه‌بندی با روش بیشترین شباهت و با به‌کاربردن داده‌های ارتفاعی و NDVI حاصل شده است. شکل ۱۰ طبقه‌بندی اولیه را که فقط با ۴ باند طیفی تصویر نوری انجام شده بود و طبقه‌بندی انجام‌شده با انتخاب باندهای بهینه است، نشان می‌دهد. همان‌طور که در نتایج این حالت دیده می‌شود، نتیجه طبقه‌بندی در حالت انتخاب ترکیب بهینه باندها در مقایسه با حالت اولیه یکنواخت‌تر شده و تفکیک کلاس‌ها به‌خوبی صورت گرفته است.

افزایش ۵ درصدی صحت کلی طبقه‌بندی نیز بیانگر همین موضوع است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که با به‌کاربردن داده‌های ارتفاعی، تداخل بین انواع گونه‌های مرتعی و کلاس منطقه کوهستانی به‌شدت



شکل ۱۰. الف) نتیجه طبقه‌بندی انجام‌شده روی تصویر اولیه، ب) تصویر طبقه‌بندی‌شده با ترکیب بهینه باندها

استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری برای تیپ‌بندی مراتع



شکل ۱۱. کاهش تداخل گونه‌های مرتعی با سایر کلاس‌ها در حالت‌های (ب) استفاده از الگوریتم ژنتیک، (ج) داده‌های ارتفاعی به‌همراه شاخص‌های گیاهی، (الف) نسبت به حالت استفاده از تصویر نوری اولیه

جدول ۹. دقت تولیدکننده و کاربر برای حالت‌های ۱، ۲ و ۳

دقت کاربر	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	کلاس
حالت ۳	حالت ۳	حالت ۲	حالت ۲	حالت ۱	حالت ۱	
۵۸/۸۱	۸۴/۹۴	۶۱/۰۵	۷۹/۲۱	۷۱/۷۳	۶۰/۹۳	مرتع نوع ۱
۱۰۰	۹۴/۲۳	۹۸/۱۲	۸۰/۳۸	۱۰۰	۸۴/۲۳	درخت
۵۴/۳۶	۴۲/۴۱	۵۹/۵۷	۵۸/۶۳	۵۰	۵۶/۵۴	مرتع نوع ۲
۹۸/۳	۱۰۰	۸۱/۰۹	۹۴/۲۱	۷۹/۷۲	۱۰۰	برف-ابر
۶۰/۴۸	۸۵/۲۳	۶۴/۳۸	۷۸/۰۳	۶۲/۶۹	۶۱/۷۴	مرتع نوع ۳
۱۰۰	۹۹/۷۹	۹۶/۴۷	۹۴/۷۵	۱۰۰	۹۵/۰۷	کوه
۸۵/۳۱	۶۷/۹۲	۷۳/۱۵	۴۱/۱۳	۶۲/۰۱	۴۱/۸۸	مرتع نوع ۴
۵۸/۸۲	۴۶/۷۸	۶۸/۵۳	۵۷/۳۱	۵۱/۹۵	۷۰/۱۷	مرتع نوع ۵
۹۰/۷۸	۸۴/۸۲	۷۸/۶۴	۷۲/۳۲	۵۱/۲۲	۷۵	مرتع نوع ۶
۸۳/۵۱	۴۵/۷۶	۵۰	۶۹/۴۹	۵۸/۳۳	۷۱/۱۸	مرتع نوع ۷
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۸/۸۱	۱۰۰	۱۰۰	دریاچه

شده‌اند و مشخصات آنها که در جدول ۴ نشان داده شده است، صورت گرفت. به‌منظور مقایسهٔ صحت‌های به‌دست‌آمده در این سه حالت، جدول ۹ دقت کاربر و دقت تولیدکننده را برای حالت تصویر نوری اولیه (حالت ۱)، استفاده از الگوریتم ژنتیک (حالت ۲) و داده‌های ارتفاعی به‌همراه شاخص‌های گیاهی (حالت ۳) نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای گونه‌های مرتعی نوع ۱ و ۳ و ۶ افزایش صحت بالایی در حالت استفاده از الگوریتم ژنتیک و داده‌های ارتفاعی به‌همراه شاخص‌های گیاهی در مقایسه با حالت استفاده از تصویر نوری اولیه حاصل شده است. اگرچه در برخی موارد محدود کاهش صحت حاصل شده برای برخی گونه‌ها مشاهده می‌شود ولی در مجموع استفاده از

به‌منظور نشان‌دادن کاهش تداخل بین انواع گونه‌ها بخشی از تصویر را انتخاب کردیم و نتیجهٔ طبقه‌بندی بیشترین شباهت انجام‌شده، در این قسمت نمایش داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۱ دیده می‌شود، در حالت استفاده از الگوریتم ژنتیک و به‌کاربردن داده‌های ارتفاعی به‌همراه شاخص‌های گیاهی، تمایز بین گونه‌ها با صحت بیشتری صورت گرفته است. بهترین نتایج به‌دست‌آمده در حالت داده‌های ارتفاعی به‌همراه شاخص‌های گیاهی رخ داده است که این نشان از نقش مؤثر و مفید داده‌های ارتفاعی در افزایش صحت طبقه‌بندی پوشش گیاهی مناطق کوهستانی دارد. به‌طور کلی در پژوهش حاضر، ارزیابی صحت با استفاده از نواحی تست که به‌صورت پلیگون تعریف

نقش استفاده از داده‌های کمکی (مانند پارامترهای بافت تصویر نوری و راداری، داده‌های ارتفاعی و مانند اینها) همراه با داده‌های طیفی در فرایند طبقه‌بندی برای رسیدن به حد مطلوبی از صحت و تفکیک کلاس‌های مختلف گونه‌های مرتعی در مناطق ناهموار و از نظر طیفی غیریکنواخت، انکارناپذیر است. با توجه به داده‌های موجود اولیه و منطقه مورد مطالعه، انتخاب داده‌های کمکی و روش طبقه‌بندی مناسب تأثیر بسزایی در رسیدن به صحت مطلوب و نتایج قابل اطمینان خواهد داشت.

با توجه به کوهستانی بودن منطقه مطالعه‌شده، در بخش نخست این تحقیق برای تصحیح توپوگرافی تصویر نوری استفاده‌شده، چندین روش مختلف تصحیح توپوگرافی بررسی شدند. برای این منظور با استفاده از DEM منطقه و محاسبه زوایای آزیموت و زینت خورشید برای هر پیکسل تصحیح تصویر انجام شد و نتایج روش‌های مختلف با هم مقایسه شدند. برای ارزیابی نتایج روش‌های گوناگون و انتخاب بهترین روش به منظور تصحیح تصویر نوری از پارامترهای آماری محاسبه‌شده برای روش‌های مختلف و صحت کلی طبقه‌بندی استفاده شد. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند که استفاده از روش‌های غیرلامبرتی برای تصحیح تصویر در مقایسه با روش‌های لامبرتی دارای صحت بیشتری - خصوصاً در مناطق کوهستانی - هستند. در حالت استفاده از الگوریتم ژنتیک، پس از استخراج ویژگی‌های بافت تصویر نوری و راداری، این ویژگی‌ها در تلفیق با تصویر نوری اصلی به الگوریتم ژنتیک معرفی شدند و باندهای بهینه انتخاب گردیدند. برای هر دو روش طبقه‌بندی، باندهای بهینه انتخاب‌شده قبل و بعد از تصحیح تصویر نوری متفاوت‌اند. با انتخاب بهینه باندها به این روش، صحت کلی و ضریب کاپای نتایج به دست آمده در مقایسه با حالت اولیه که فقط از تصویر نوری استفاده شده بود، از ۷۷/۷۴ و ۰/۷۳۹۶ به ۷۸/۷۱ و ۰/۷۴۹۵ افزایش یافت و سبب یکنواخت‌تر شدن نتایج طبقه‌بندی برای

داده‌های کمکی در مناطقی که رفتار طیفی گونه‌ها برای انجام طبقه‌بندی شبیه یکدیگر است و همچنین در صورت وجود منابع داده‌های مختلف برای یک منطقه، استفاده از روش‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک برای انتخاب داده‌هایی که کمترین وابستگی را به یکدیگر داشته باشند، منجر به افزایش صحت و اعتمادپذیری نتایج طبقه‌بندی نهایی می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

طبقه‌بندی فقط براساس داده‌های طیفی از یک سنجنده از راه دور برای جمع‌کردن اطلاعات مفید و مؤثر پوشش و کاربری اراضی - به‌ویژه مناطق ناهموار - کافی نیست. بنابراین رویکرد طبقه‌بندی‌ای که داده را از دیگر منابع هم ترکیب می‌کند می‌تواند مؤثرتر از به‌کار بردن صرف داده‌های طیفی باشد. برای رسیدن به حدمطلوبی از صحت در طبقه‌بندی تصویر و تفکیک کلاس‌های مختلف پوشش و کاربری اراضی در مناطق ناهموار و غیریکنواخت از نظر طیفی، می‌بایست علاوه بر استفاده از داده‌های کمکی مطلوب (ارتفاعی و مکانی) همراه با داده‌های طیفی در فرایند پردازش، الگوریتم‌های مختلف نیز بررسی شوند تا براساس منطقه و داده‌های مورد استفاده روش بهتری برای تهیه نقشه پوشش و کاربری به کار رود.

در پژوهش حاضر ابتدا روش‌های مختلف نرمال‌سازی توپوگرافی براساس DEM و دقت زوایای آزیموت و زینت خورشید در تصحیح توپوگرافی بررسی شدند. هدف پژوهش حاضر رسیدن به مؤثرترین روش تصحیح اثر توپوگرافی به منظور بهبود طبقه‌بندی مراتع از تصویر این منطقه بود. نتایج نشان دادند که دقت زوایای آزیموت و زینت در تصحیح تأثیرات توپوگرافی تأثیر زیادی ندارد و بهبود دقت چندان در استفاده از این زوایا برای هر پیکسل به‌جای استفاده از یک زاویه برای کل منطقه مشاهده نمی‌شود و دقت طبقه‌بندی از دهم درصد فراتر نمی‌رود. از این رو، نیازی به محاسبه زوایا برای هر پیکسل تصویر نیست و بهتر است از تک‌زاویه موجود در هر تصویر استفاده شود.

- Colby, J.D., 1991, **Topographic Normalization in Rugged Terrain**, Photogramm. Eng. Remote Sens., Vol. 57, PP. 531-537.
- Conese, C., Gilabert, M.A., Maselli, F. and Bottai, L., 1993, **Topographic Normalization of TM Scenes Through the Use of an Atmospheric Correction Method and Digital Terrain Models**, Photogramm. Eng. Remote Sensing, 59, PP. 1745-1753.
- Debeir, O., Van Den Steen, I., Latinne, P., Ham P.V. and Wolff, E., 2002, **Textural and Contextual Land -Cover Classification Using Single and Multiple Classifier Systems**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 48(6), PP. 597-605.
- Gao, Y. and Wanchang, Z., 2009, **Classification and Topographic Correction of Landsat-7 ETM+ Imagery in the Yangjia River Watershed**, The Influence of DEM Resolution. Sensors 9, 1980-1995 doi: 10.3390/s90301980.
- Gong, P., 1996, **Integrated Analysis of Spatial Data from Multisources Using Evidential Reasoning and Artificial Neural-network Techniques for Geological Mapping**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62, PP. 513-523.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K. and Dinstein, I., 1973, **Textural Features for Image Classification**, IEEE Trans. System, Man Cybernet., 3, PP. 610-621.
- Janssen, L.F., Jaars, J. and van der Linder, E., 1990, **Integrating Topographic Data with Remote Sensing for Land-Cover Classification**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 48(1), PP. 123-130.
- کلاس‌های مختلف گردید. با اضافه کردن داده‌های ارتفاعی و شاخص‌های گیاهی، طبقه‌بندی‌های اشتباه به علت اثر ارتفاعات در تصویر و همچنین مشابهت‌های طیفی و غیریکنواختی برخی از کلاس‌ها در نواحی با زمین‌های ناهموار، کاهش جدی یافت. بنابراین تحقیق حاضر تأثیر ترکیب لایه‌های DEM و NDVI را با داده‌های طیفی برای بارزسازی کیفیت تصویر برجسته می‌کند. از آنجا که بهترین نتایج طبقه‌بندی در حالت استفاده از داده‌های ارتفاعی و شاخص‌های گیاهی در تلفیق با تصویر نوری حاصل شد، اهمیت این داده‌های کمکی برای طبقه‌بندی پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی آشکار می‌شود.

۶- منابع

- Benediktsson, J. and Sveinsson, J., 2003, **Multisource Remote Sensing Data Classification Based on Consensus and Pruning**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(4 Part 2), PP. 932-936.
- Bruzzone, L., Conese, C., Maselli, F., Roli, F. and 1997, **Multi-source Classification of Complex Rural Areas by Statistical and Neural-network Approaches**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63(5), PP. 523-533.
- Civco, D.L., 1989, **Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery**, Photogramm. Eng. Remote Sens., Vol. 55, PP. 1303-1309.
- Cleve, C., Kelly, M., Kearns, F.R., Moritz, M. and 2008, **Classification of the Wildland-urban Interface: A Comparison of Pixel and Object-based Classifications Using High-Resolution Aerial Photography Computers**, Environment and Urban Systems, 32, PP. 317-326.

- Kabir, Sh., Dong-Chen, H. and Rivard, P., 2006, **Urban Classification of High Resolution IKONOS Imagery Using Texture**, International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building. Montréal.
- Meyer, P., Itten, K.I., Kellenbenberger, T., Sandmeier, S. and Sandmeier, R., 1993, **Radiometric Corrections of Topographically Induced Effects on Landsat TM Data in an Alpine Environment**, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., Vol. 48, PP. 17–28.
- Michael, J., Hill, C., Ticehurst, J., Jong-Sen Lee, M., Grunes, R., Graham E.D., and Henry, D., 2005, **Integration of Optical and Radar Classifications for Mapping Pasture Type in Western Australia**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 43, No. 7.
- Reeder, D.H., 2002, **Topographic Correction of Satellite Images Theory and Application. Ph.D. Dissertation**, Dartmouth College: Hanover, New Hampshire, PP. 153.
- Riano, D., Chuvieco, E., Salas, J. and Aguado, I., 2003, **Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat TM Data for Mapping Vegetation Types**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 41, PP. 1056–1061.
- Sandmeierand, S.R. and Itten, K.I.A., 1997, **Physically-based Model to Correct Atmospheric and Illumination Effects in Optical Satellite Data of Rugged Terrain**, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 35, PP. 708–717.
- Smith, J.A., Lin, T.L. and Ranson, K.J., 1980, **The Lambertian Assumption and Landsat Data**, Photogramm. Eng. Remote Sensing, 46, PP. 1183-1189.
- Soenen, S.A., Peddle, D.R. and Coburn, C.A., 2005, **SCS+C, A Modified Sun-canopy-sensor Topographic Correction in Forested Terrain**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 43, PP. 2148-2159.
- Teillet, P.M., Guindon, B. and Goodenough, D.G., 1982, **On the Slope-aspect Correction of Multispectral Scanner Data**, Can. J. Remote Sens., 8, PP. 1537-1540.