

بررسی قابلیت روش مینه آرت در حذف اثر توپوگرافی در تصاویر ماهواره‌ای^۱

عادل سپهری^۲

چکیده

تهیه نقشه پوشش‌های گیاهی مناطق مختلف، یکی از اهداف مهم جامعه‌شناسان گیاهی محسوب می‌گردد. توسعه روزافزون تصاویر ماهواره‌ای و افزایش بیش از پیش توان تفکیک طیفی و مکانی آنها، موجب شده است تا این تصاویر به‌عنوان یک منبع مهم اطلاعاتی جهت تهیه نقشه پوشش‌های گیاهی قلمداد شوند. از آنجایی که ماهواره‌ها به ثبت امواج الکترومغناطیس انعکاس‌یافته از پدیده‌های سطح زمین می‌پردازند و انعکاس امواج الکترومغناطیس، خود تابعی از ویژگی‌های طیفی پدیده موردنظر، زاویه میل خورشید (ارتفاع و آزیموت خورشید) و وضعیت توپوگرافی منطقه (شیب و جهت شیب) است، یک نوع پوشش گیاهی معین، در شرایط توپوگرافی متفاوت، ممکن است به‌عنوان دو پدیده مختلف درک شود. روش‌های متعددی برای کاهش اثر توپوگرافی در بازتاب ثبت‌شده حاصل از پدیده‌ها پیشنهاد شده است که از آن میان روشی که در آن از ثابت "مینه آرت"^۳ استفاده می‌شود، شهرت دارد. در این تحقیق با استفاده از تصویر رقومی ماهواره لندست تی.ام مربوط به منطقه حفاظت‌شده کوهستانی جهان‌نمای گرگان، نسبت به طبقه‌بندی پوشش گیاهی منطقه با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC)^۴ اقدام شد. تصاویر مربوطه با استفاده از روش مینه آرت مورد تصحیح توپوگرافی^۵ قرار گرفت. نتایج طبقه‌بندی پوشش گیاهی منطقه بر روی تصاویر تصحیح‌شده (با حذف اثر توپوگرافی) و تصاویر معمولی مقایسه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد اگرچه تصحیح توپوگرافی با استفاده از روش مینه آرت موجب کاهش اثر توپوگرافی گردید، اما صحت طبقه‌بندی پوشش گیاهی تصویر تصحیح‌شده کمتر از طبقه‌بندی گیاهی تصویر تصحیح‌نشده است. در این مقاله علل کاهش صحت طبقه‌بندی با استفاده از روش مینه آرت مورد بحث قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، پوشش گیاهی، طبقه‌بندی، توپوگرافی، مینه آرت، جهان‌نما و گرگان

۱- تاریخ دریافت: ۷۹/۸/۱۶، تاریخ تصویب نهایی: ۸۰/۸/۲۸

۲- استادیار دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- Minnaert constant

۴- Maximum Likelihood Classification

۵- Topographic Normalization

مقدمه

فرضیه اساسی در سنجش از دور این است که هر پدیده منحصر به فرد (شامل انواع مختلف گیاهان، انواع مختلف آب با درجات مختلف ناصافی، صخره‌ها با خصوصیات لیتولوژیکی مختلف و انواع خاک)، به طرز ویژه و انحصاری نسبت به امواج رسیده عکس‌العمل نشان می‌دهد. این رفتار منحصر به فرد توسط بازتاب طیفی آن پدیده تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، هر پدیده نسبت به تشعشعات با طول موج‌های مختلف عکس‌العمل‌های متفاوتی نشان می‌دهد. منحنی طیف انعکاسی برای هر پدیده در محدوده ۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر قرار دارد (ناحیه انعکاس). در نمونه‌های زیادی از پدیده‌های طبیعت این رفتار انعکاسی در زمان‌های مختلف و در طول سال متفاوت است. رفتار انعکاسی پدیده‌ها تنها تحت تاثیر شرایط متغیر درونی آنها نیست، بلکه تابعی از عوامل مختلف مانند جهت تابش خورشید^۱، ارتفاع یا بالآمدگی خورشید در آسمان^۲، جهت نشانه روی سنجنده‌ها در عرشه ماهواره نسبت به جهت زاویه تابش خورشید و شرایط جوی نیز است (۵).

تشعشع انعکاس‌یافته از پدیده در مسیر بازگشت به سنجنده تحت تاثیر زاویه دید سنجنده قرار دارد. به طور مسلم تشعشع انعکاسی در دید عمودی ماهواره از زمین^۳ به دلیل کوتاهی مسافت، کمتر تحت تاثیر جو قرار می‌گیرد، تا هنگامی که پدیده توسط دید غیرعمودی و مورب^۴ دیده شود. به علاوه میزان سایه حاصل از پدیده‌ها در روی زمین تابعی از زاویه ارتفاعی خورشید است. برای مثال میزان سایه در محصولات زراعی ردیفی هنگامی که زاویه ارتفاعی خورشید کاهش پیدا می‌کند، افزایش می‌یابد. چنین پدیده‌ای در خصوص آزمون خورشید نیز وجود دارد. علاوه، تاثیر عوامل زاویه ارتفاع خورشید، آزمون خورشید و زاویه دید سنجنده بر روی میزان سایه پدیده‌ها، زیاد بوده و تحقیقات نشان داده است

که این تاثیر در طول موج قرمز بیشتر از طول موج‌های مادون قرمز است (۸). همچنین سایه حاصل از گیاهان به دلیل پیچیدگی استقرار سطح برگ‌ها و تنوع سطح سبز، هم از لحاظ درصد پوشش و هم از نظر طبقات ارتفاعی گیاهی پیچیده است و همچنان مطالعه بر روی آنها ادامه دارد (۱۰).

بدیهی است روش‌هایی که توسط آنها بتوان میزان تاثیر توپوگرافی را برآورد کرد و تغییرات در مقادیر عددی تصاویر ماهواره‌ای حاصل از تاثیر توپوگرافی را حذف کرده یا کاهش داد، قبل از تجزیه و تحلیل قرار دادن تصاویر، مورد نیاز است. مخصوصاً انجام این‌گونه تصحیحات در تصاویر حاصل از سنجنده‌های با دید مورب، برای مقایسه تصاویر به دست آمده در دو تاریخ متفاوت و یا تصاویر حاصل از سنجنده‌های با دید باز اهمیت دارد (۵ و ۱۱).

مینه‌آرت در سال ۱۹۶۱ بیان کرد که سطوح انعکاسی، امواج وارده را به طور یکنواخت در تمام جهات منعکس نمی‌کنند، از این رو به جای مدل لامبرتی، مدل غیرلامبرتی را پیشنهاد کرد که در آن، تغییرات عوارض زمین نیز مد نظر قرار می‌گیرد.

از آنجایی که منطقه مورد مطالعه منطقه‌ای کوهستانی است، بررسی تاثیر توپوگرافی در امواج الکترومغناطیس ثبت شده توسط ماهواره لندست تی.ام به منظور طبقه‌بندی پوشش گیاهی منطقه حائز اهمیت است. در این تحقیق تصاویر لندست تی.ام مربوط به منطقه، مورد تصحیح توپوگرافی قرار گرفت و نتایج طبقه‌بندی حاصل از تصاویر تصحیح شده و بدون تصحیح مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در مراتع شمالی منطقه حفاظت‌شده جهان‌نما در ارتفاعات جنوب گرگان و جنوب شرقی کردکوی در رشته‌کوه‌های البرز واقع شده است. جهان‌نما به وسعت حدود ۱۶۰۰۰ هکتار در محدوده ۵' ۵۴° تا ۳۵' ۵۴° طول شرقی و ۳۲' ۳۶° تا ۴۵' ۳۶° عرض شمالی قرار گرفته است. حداقل ارتفاع منطقه ۶۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن

^۱ - Orientation of the Sun (solar azimuth)

^۲ - Solar elevation angle

^۳ - Nadir view

^۴ - Off-nadir view

ثابت تجربی مینه‌آرت و $\cos i$ کسینوس زاویه تابش است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\cos i = \cos(90 - \theta_s) \cos \theta_n + \sin(90 - \theta_s) \sin \theta_n \cos(\phi_s - \phi_n) \quad (2)$$

که در آن، i زاویه میل خورشید با سطح نرمال عمودی، θ_s زاویه ارتفاعی خورشید، ϕ_s آزیموت خورشید، θ_n شیب پدیده و ϕ_n جهت استقرار پدیده است.

اگر شیب منطقه صفر باشد در نتیجه جهت بدون تعریف شده و $i = (90 - \theta_s)$ خواهد شد.

ثابت مینه‌آرت (K) که به "زبری سطح" مشهور است، می‌تواند از طریق محاسبه رگرسیون بر روی مجموعه مشخصی از مقادیر عددی عناصر تصویر که نماینده پدیده مشخصی در روی زمین می‌باشند، به دست آید. بدیهی است مشخصات شیب و جهت آن منطقه مشخص از زمین باید قبلاً معلوم باشد. در این صورت، مقدار K عبارت است از شیب خط رگرسیون (۴) که از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\log(BV_{observed} \cos e) = \log BV_{normal} + K \log(\cos i \cos e) \quad (3)$$

برای انجام این تصحیح به پارامترهای زیر نیاز است:

تعیین کسینوس زاویه میل خورشید و ثابت مینه‌آرت برای هر باند.

با توجه به اینکه تعیین کسینوس زاویه میل خورشید مستلزم داشتن زاویه ارتفاع و آزیموت خورشید در تاریخ تهیه تصویر و همچنین اطلاعات مربوط به شیب و جهت شیب نسبت به زاویه تابش است، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه رقومی شده و با استفاده از قابلیت نرم‌افزار سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) نسبت به تهیه مدل رقومی ارتفاعی (DEM)^۴ منطقه اقدام گردید. نقشه شیب و جهت شیب، از مدل رقومی ارتفاعی استخراج شد. دو

۳۰۸۶ متر از سطح دریاست. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۴۴۰ میلی‌متر و اقلیم منطقه با روش آمبرژه، سرد کوهستانی است (شکل ۱).

جدیدترین داده‌های رقومی سنجنده تی‌ام لندست - ۵ منطقه مورد مطالعه مربوط به تاریخ ۱۵ ژوئن ۱۹۹۸ با مشخصات (Path-Row)، (۱۶۳-۳۴) و (۱۶۳-۳۵) از مرکز سنجش از دور ایران خریداری و مورد استفاده قرار گرفتند. تصاویر حاصل پیش‌پردازش شده و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور با استفاده از نقاط کنترل زمینی و بازیابی مقادیر پیکسل‌ها به روش نزدیکترین همسایه^۱ و با خطای RMS^۲ ۰/۹۸ متر تصحیح هندسی گردیدند.

طی عملیات صحرائی با استفاده از دستگاه مکان‌یاب (RGB)، مناطق آموزشی و شاهد برای سه طبقه جنگل، مرتع و اراضی بدون پوشش (شامل خاک و برون‌زدگی‌های سنگی) مشخص شدند. مرز مناطق آموزشی و شاهد به دست آمده، از طریق رقومی کردن بر روی صفحه نمایش مشخص شد. تصویر کاذب منطقه با ترکیب باندهای ۳، ۵ و ۴ (RGB) تهیه شد و صحت انتخاب مناطق آموزشی و شاهد، با تفسیر چشمی و کنترل هیستوگرام باندهای مختلف، مورد بازبینی قرار گرفت.

پس از اطمینان از صحت مکانی و شاخص بودن مناطق آموزشی و شاهد، اقدام به انجام تصحیح توپوگرافی با استفاده از روش مینه‌آرت بر روی کلیه باندها (به غیر از باند ۶) با استفاده از معادله ۱ گردید. در مدل انعکاس غیرلامبرتی معادله زیر برای از بین بردن سایه و تصحیح مقادیر عددی تصاویر به کار می‌رود (۱ و ۱۲):

$$BV_{normal} = (BV_{observed} \cos e) / (\cos^k i \cos^k e) \quad (1)$$

که در آن، BV_{normal} مقادیر عددی تصحیح شده، $BV_{observed}$ مقادیر عددی مشاهده شده، $\cos e$ ، کسینوس زاویه انعکاس خروجی یا زاویه شیب، K

^۲ - Surface Roughness

^۴ - Digital Elevation Model

^۱ - Nearest Neighbor

^۲ Root Mean Squar

تصویر حاصل از زاویه میل خورشید ($\cos i$) با استفاده از منطق بولی^۴ به مناطق در معرض تابش و مناطق تحت سایه تقسیم گردید و اطلاعات آماری برای این دو منطقه و در هر طبقه پوشش، از باندهای تصاویر تصحیح شده و تصاویر تصحیح نشده استخراج شد. اطلاعات مربوطه در جدول ۳ نشان داده شده است. تفاوت بین مناطق تحت سایه و تحت تابش در هر دو تصویر برای کلیه باندها محاسبه گردیده و در جدول ۴ قید شده است. جداول ۵ و ۶ ماتریس خطا و شاخص توافق کاپا برای تصاویر تصحیح شده و تصویر تصحیح نشده را نشان می‌دهند.

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، مقدار عددی مینه آرت برای باندهای با طول موج کوتاهتر، بزرگتر از باندهای با طول موج بلندتر است. این امر بیانگر میزان تصحیح بیشتر در باندهای کوتاهتر است. در صورت عدم استفاده از ثابت مینه آرت، مقادیر فوق برای باندهای مختلف ثابت است و تنها عوامل موثر، زاویه تابش، شیب و جهت استقرار شیب منطقه به‌عنوان متغیر مورد توجه قرار می‌گرفت. درحالی‌که میزان تصحیح در مدل فوق علاوه بر عوامل موثر مذکور در میزان تصحیح، تابعی از طول موج بازتاب شده نیز قلمداد می‌شود.

همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، مقدار عددی حداقل برای طبقات جنگل، مرتع و اراضی بدون پوشش در باند یک پس از انجام تصحیح به مقدار زیادی کاهش یافته است، به طوری که قدر مطلق اختلاف مقادیر عددی در باند مذکور و برای سه طبقه فوق بین تصویر تصحیح شده و تصحیح نشده به ترتیب عبارتند از ۸، ۲۶ و ۲۸ و اختلاف مقادیر عددی در باند دو به ترتیب برابر است با ۳، ۱۰ و ۸، در حالی که اختلاف مقادیر عددی حداکثر برای باند یک به ترتیب عبارت است از ۱، ۱ و ۱ و برای سایر باندها نیز، بغیر از باندهای سه و چهار، اختلاف مقادیر عددی حداکثر بسیار ناچیز است. نکته قابل

پارامتر زاویه ارتفاع و آزمون خورشید در تاریخ تهیه تصویر از اطلاعات همراه تصویر پس از تصحیح توپوگرافی بر روی کلیه باندهای انعکاسی، نسبت به انجام طبقه‌بندی با استفاده از باندهای تصحیح شده و باندهای اولیه از طریق روش حداکثر احتمال (MLC) اقدام شد. برای انجام این امر، میزان تفکیک‌پذیری^۱ مناطق آموزشی کنترل گردید. پس از آن، طبقه‌بندی برای سه کلاس جنگل، مرتع و مناطق بدون پوشش انجام شد. برای بررسی صحت طبقه‌بندی انجام شده از جدول خطا^۲ و شاخص توافق کاپا^۳ استفاده شد (۲). سپس جداول خطا و شاخص کاپا به دست آمده برای تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از باندهای تصحیح شده و تصویر تصحیح نشده با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج

با استفاده از معادله رگرسیون بین لگاریتم حاصل ضرب مقادیر عددی هر باند در کسینوس زاویه استقرار سطح مورد نظر و لگاریتم حاصل ضرب کسینوس زاویه تابش در کسینوس زاویه استقرار سطح، مقدار ثابت مینه آرت برای کلیه باندها طبق جدول ۱ به دست آمد.

به‌منظور بررسی تغییرات حاصل از کاربرد مدل فوق در تصحیح تصاویر، کمیت‌های آماری حداقل، حداکثر، میانگین، دامنه و انحراف از معیار برای سه طبقه جنگل، مرتع و اراضی بدون پوشش (اعم از خاک لخت و برون‌زدگی‌های سنگی) متعلق به هر یک از باندها برای دو تصویر تصحیح شده و تصحیح نشده، استخراج شده و در جدول ۲ مرتب شده‌اند.

برای بررسی تاثیر تصحیح توپوگرافی بر روی منحنی توزیع فراوانی مقادیر عددی پیکسل‌ها، فراوانی مقادیر عددی پیکسل‌های تصاویر تصحیح نشده و تصحیح شده برای کلیه باندهای انعکاسی (بجز باند ۶) استخراج شده و در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

^۱ - Separability

^۲ - Error matrix

^۳ - Kappa Index of Agreement

^۴ - Boolean logic

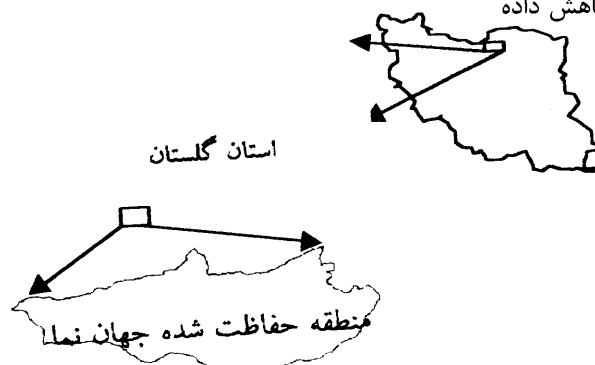
است. میانگین و واریانس کلیه کلاس‌ها به‌طور معنی‌دار تفاوت ننموده و مشاهده می‌شود که قدر مطلق اختلاف ایجادشده بین تصویر تصحیح‌شده و تصحیح‌نشده برای باندهای با طول موج کوتاه، بیشتر از باندهای با طول موج بلند است (جدول ۲). میزان این تغییر با ضریب مینه‌آرت برای هر باند (جدول ۱) متناسب است.

قدر مطلق تفاوت مقادیر عددی برای باند یک تی‌ام بیشتر از سایر باندهاست و این تفاوت برای طبقات بدون پوشش و مرتع بیشتر از جنگل است. اگرچه تفاوت بین طبقات بدون پوشش و مرتع برای کلیه باندها یکسان نیست، اما همواره از طبقه جنگل بیشتر است. این بدان معناست که میزان حداقل مقادیر عددی تصویر در کلیه باندها برای طبقات بدون پوشش و مرتع شدیدتر از جنگل کاهش یافته و شدت تصحیح برای این مناطق بیشتر بوده است.

نکته قابل توجه آنکه دامنه عددی برای کلیه باندها و طبقات پس از تصحیح، گسترش یافته و این گسترش برای طبقات بدون پوشش و مرتع بیشتر از جنگل بوده است. باید توجه داشت که پوشش جنگلی معمولاً دارای دامنه طیفی محدودتری نسبت به سایر پدیده‌هاست، اما آنچه در اینجا مهم است، قدر مطلق اختلاف دامنه ایجادشده ناشی از اعمال تصحیح توپوگرافی است.

توجه، در عدم تفاوت چشمگیر میانگین و انحراف از معیار به‌عنوان شاخصی برای میزان تغییر در هر طبقه بین دو تصویر تصحیح‌شده و تصحیح‌نشده است که این تفاوت بسیار ناچیز و در حد صفر است. این نکته بدین لحاظ اهمیت دارد که انجام هر نوع تصحیح نباید در واریانس داده‌ها در هر باند خدشه‌ای وارد سازد، چرا که کاهش واریانس به منزله از دست دادن اطلاعات محسوب می‌گردد و توانایی مفسر را در تفکیک پدیده‌ها دچار اشکال می‌کند. مخصوصاً کاربرد الگوریتم‌هایی که در آنها از کمیت‌های میانگین و واریانس (کوواریانس) استفاده می‌شود، در صورت تفاوت عمده بین مقادیر کمیت‌های آماری مذکور بین دو تصویر، می‌تواند نتایج متفاوتی را ایجاد کند. همچنین باید توجه داشت که پارامترهای آماری مندرج در جدول ۲ برای هر طبقه در کل منطقه مورد مطالعه و بدون تفکیک از لحاظ خصوصیات توپوگرافی استخراج شده است و علی‌رغم اینکه وضعیت متفاوت استقرار یک پدیده در عوارض مختلف زمین می‌تواند خود منشا تفاوت باشد، با وجود این، انجام تصحیح توپوگرافی با روش مینه‌آرت، ضمن حفظ تفاوت بین طبقات، یکسانی میزان واریانس قبل و بعد از تصحیح را تضمین کرده است.

تصحیح توپوگرافی به‌طور چشمگیری مقادیر حداقل کلیه کلاس‌ها را برای همه باندها کاهش داده



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه جهان نما

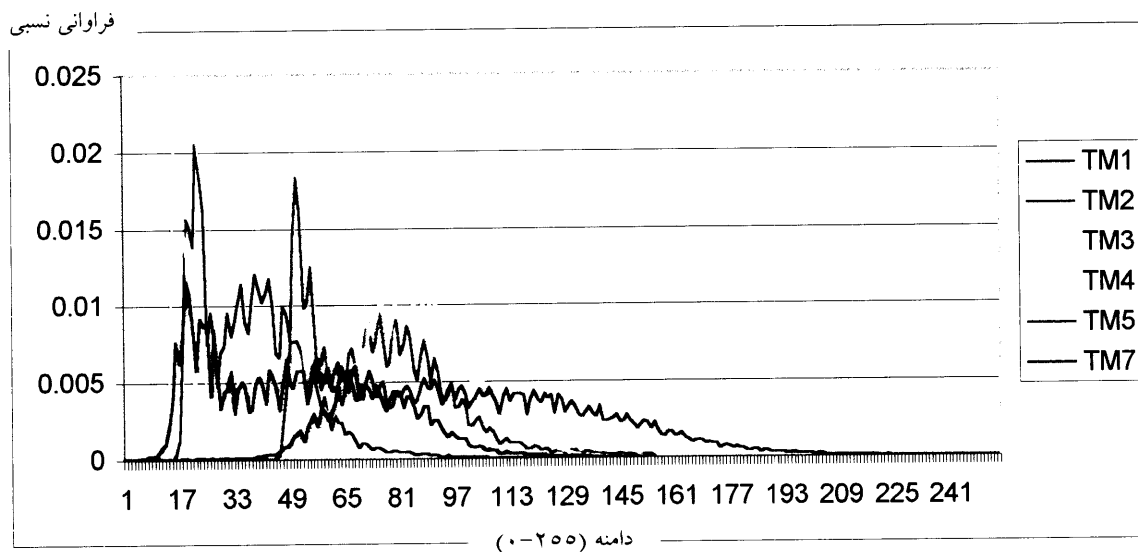
جدول ۱- مقادیر ثابت مینه‌آرت برای شش باند انعکاسی تی‌ام.

باند های تی‌ام	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
ثابت مینه‌آرت	۰/۰۸۱۷۶	۰/۰۷۴۶۱۱	۰/۰۷۵۳۵۵	۰/۰۶۹۵۶۷	۰/۰۶۹۲۰۸	۰/۰۶۳۲۶۸

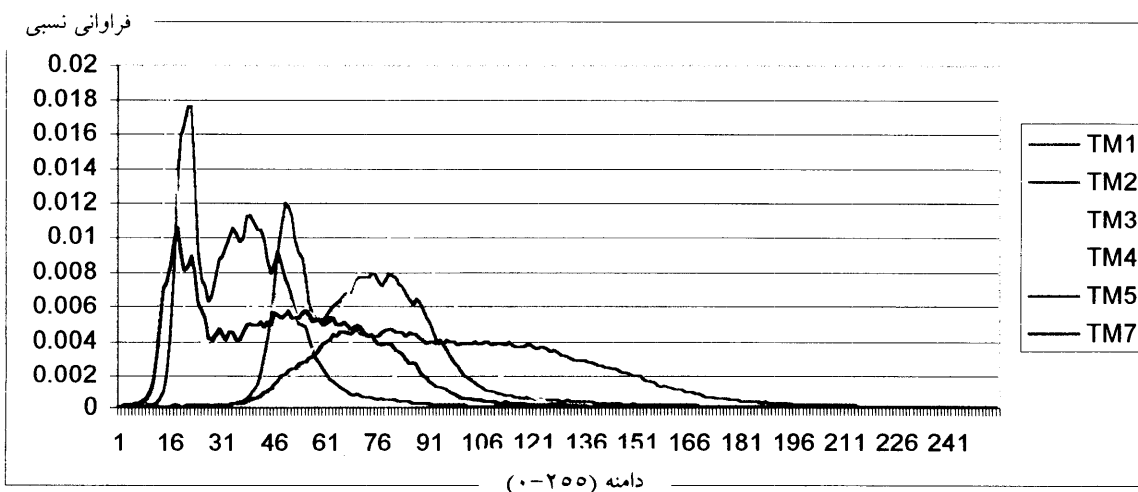
جدول ۲- مقایسه خلاصه آماری طبقات در تصویر تصحیح شده و تصحیح نشده

شماره باند	خلاصه آماری	تصویر تصحیح نشده			تصویر تصحیح شده			قدر مطلق اختلاف		
		جنگل	مرتع	بدون پوشش	جنگل	مرتع	بدون پوشش	جنگل	مرتع	بدون پوشش
TM1	حداقل	۴۴	۴۵	۴۷	۳۶	۱۹	۱۹	۸	۲۶	۲۸
	حداکثر	۶۳	۱۱۸	۲۵۲	۶۴	۱۱۷	۲۵۳	۱	۱	۱
	میانگین	۵۲	۶۷	۹۵	۴۹	۶۶	۹۱	۳	۲	۳
	دامنه	۱۹	۷۳	۲۰۵	۲۸	۹۸	۲۳۴	۹	۲۵	۲۹
	انحراف از معیار	۲	۱۱	۱۸	۴	۱۱	۱۸	۱	۱	۰
TM2	حداقل	۱۴	۱۸	۱۶	۱۱	۸	۸	۳	۱۰	۸
	حداکثر	۲۶	۶۴	۱۲۲	۲۵	۶۴	۱۲۲	۱	۰	۰
	میانگین	۲۱	۳۳	۵۳	۲۰	۳۲	۵۱	۱	۱	۲
	دامنه	۱۲	۴۶	۱۰۶	۱۴	۵۶	۱۱۴	۲	۱۰	۸
	انحراف از معیار	۲	۷	۱۲	۲	۸	۱۲	۰	۰	۰
TM3	حداقل	۱۱	۱۵	۱۱	۹	۷	۷	۲	۸	۴
	حداکثر	۲۱	۸۰	۱۶۷	۲۲	۸۰	۱۵۹	۱	۰	۸
	میانگین	۱۷	۳۵	۶۹	۱۶	۳۵	۶۷	۱	۰	۲
	دامنه	۱۰	۶۵	۱۵۶	۱۳	۷۳	۱۵۲	۳	۸	۴
	انحراف از معیار	۱	۱۲	۱۷	۱	۱۲	۱۶	۰	۰	۱
TM4	حداقل	۱۶	۱۹	۱۹	۱۵	۱۵	۱۵	۱	۴	۴
	حداکثر	۱۳۶	۱۵۵	۱۶۰	۱۳۲	۱۴۸	۱۵۵	۴	۷	۵
	میانگین	۸۶	۷۸	۸۵	۸۱	۸۳	۸۲	۵	۴	۳
	دامنه	۱۲۰	۱۳۶	۱۴۱	۱۱۷	۱۳۳	۱۴۰	۳	۳	۱
	انحراف از معیار	۱۵	۱۸	۱۶	۱۶	۱۸	۱۶	۰	۰	۰
TM5	حداقل	۹	۱۹	۱۹	۸	۸	۹	۱	۱۱	۱۰
	حداکثر	۱۰۴	۱۸۹	۲۵۵	۹۸	۱۸۹	۲۵۳	۶	۰	۲
	میانگین	۶۳	۹۶	۱۳۶	۶۰	۹۳	۱۳۲	۳	۳	۵
	دامنه	۹۵	۱۷۰	۲۳۶	۹۰	۱۸۱	۲۴۴	۵	۱۱	۸
	انحراف از معیار	۱۱	۲۰	۲۹	۱۱	۲۱	۲۸	۰	۱	۱
TM7	حداقل	۲	۸	۶	۲	۲	۳	۰	۶	۳
	حداکثر	۳۱	۸۸	۱۵۵	۲۹	۸۸	۱۵۳	۲	۰	۲
	میانگین	۱۸	۴۱	۷۶	۱۸	۴۰	۷۳	۱	۱	۳
	دامنه	۲۹	۸۰	۱۴۹	۲۷	۸۶	۱۵۰	۲	۶	۱
	انحراف از معیار	۳	۱۴	۱۷	۳	۱۳	۱۶	۰	۰	۱

توجه: اعداد کسری به آخرین عدد صحیح، گرد شده‌اند. اختلاف در مقادیر انحراف از معیار ناشی از عمل گرد کردن است.



شکل ۲- منحنی فراوانی نسبی داده‌ها در تصویر تصحیح‌نشده برای کلیه باندهای انعکاسی



شکل ۲- منحنی فراوانی نسبی داده‌ها در تصویر تصحیح‌شده برای کلیه باندهای انعکاسی

تصحیح‌نشده نشان می‌دهد که تصحیح فوق منجر به کاهش تغییرات درون هر باند، بدون تغییر شکل کلی منحنی توزیع مقادیر عددی شده است (شکل‌های ۲ و ۳). تصحیح توپوگرافی همانند فیلتر میانگین منجر به کم شدن تغییرات نوفه^۱ حاصل از اثر توپوگرافی گردیده است.

بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد تصحیح توپوگرافی ضمن حفظ واریانس داده‌های اصلی، منجر به کاهش محدوده پایین دامنه عددی داده‌ها که می‌تواند با محل‌های مستقر در سایه ارتباط داشته باشد، می‌گردد.

مطالعه نمودارهای فراوانی نسبی مقادیر عددی داده‌ها برای کلیه باندها در تصویر تصحیح‌شده و

^۱-Noise

جدول ۳- خلاصه آماری مقادیر عددی طبقات مختلف پوشش در معرض تابش و سایه در تصویر تصحیح شده و تصحیح نشده برای کلیه باندهای انعکاسی تی.ام

شماره باند	خلاصه آماری	تصویر تصحیح نشده						تصویر تصحیح شده					
		جنگل		مرتع		بدون پوشش		جنگل		مرتع		بدون پوشش	
		سایه	روشن	سایه	روشن	سایه	روشن	سایه	روشن	سایه	روشن	سایه	روشن
TM1	حداقل	۴۴	۴۵	۴۵	۴۵	۴۷	۴۹	۳۶	۳۶	۲۵	۱۹	۳۹	۱۹
	حداکثر	۷۳	۷۷	۱۱۸	۱۱۶	۲۵۲	۱۸۳	۶۴	۶۱	۱۱۷	۱۱۱	۲۵۳	۱۷۹
	میانگین	۵۳	۵۲	۶۹	۶۵	۹۶	۹۰	۴۹	۴۸	۶۷	۶۲	۹۲	۸۶
	دامنه	۲۹	۳۲	۷۳	۷۱	۲۰۵	۱۳۴	۲۸	۲۵	۹۲	۹۲	۲۱۴	۱۶۰
	انحراف از معیار	۳	۳	۱۱	۹	۱۸	۱۷	۴	۳	۱۲	۱۰	۱۷	۱۷
TM2	حداقل	۱۵	۱۴	۱۵	۱۵	۱۶	۱۸	۱۱	۱۲	۱۱	۸	۱۴	۸
	حداکثر	۳۰	۳۰	۶۶	۶۰	۱۲۲	۱۰۷	۲۴	۲۵	۶۴	۵۸	۱۲۲	۱۰۱
	میانگین	۲۲	۲۱	۳۴	۳۱	۵۴	۴۸	۲۰	۱۹	۲۳	۲۹	۵۲	۴۵
	دامنه	۱۵	۱۶	۵۱	۴۵	۱۰۶	۸۹	۱۳	۱۳	۵۳	۵۰	۱۰۸	۹۳
	انحراف از معیار	۲	۲	۸	۶	۱۲	۱۱	۲	۲	۸	۶	۱۱	۱۱
TM3	حداقل	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۱	۱۶	۹	۹	۹	۷	۱۰	۷
	حداکثر	۲۶	۲۶	۸۰	۷۷	۱۶۷	۱۵۲	۲۱	۲۲	۸۰	۷۴	۱۵۹	۱۴۵
	میانگین	۱۷	۱۷	۳۷	۳۴	۷۱	۶۱	۱۶	۱۶	۳۶	۳۲	۶۸	۵۸
	دامنه	۱۵	۱۵	۶۸	۶۵	۱۵۶	۱۳۶	۱۲	۱۳	۷۱	۶۷	۱۴۹	۱۳۸
	انحراف از معیار	۱	۱	۱۳	۱۱	۱۷	۱۶	۱	۲	۱۲	۱۰	۱۶	۱۶
TM4	حداقل	۱۸	۱۶	۲۶	۱۹	۲۰	۱۹	۱۶	۱۵	۱۶	۱۵	۱۹	۱۵
	حداکثر	۱۴۶	۱۳۱	۱۵۵	۱۴۰	۱۶۰	۱۵۰	۱۳۲	۱۹	۱۴۸	۱۳۲	۱۵۵	۱۴۲
	میانگین	۹۴	۸۰	۹۱	۷۳	۸۷	۷۴	۸۷	۷۴	۸۸	۶۸	۸۴	۷۰
	دامنه	۱۲۸	۱۱۵	۱۲۹	۱۲۱	۱۴۰	۱۳۱	۱۱۶	۱۰۴	۱۳۲	۱۱۷	۱۳۶	۱۲۷
	انحراف از معیار	۱۷	۱۳	۱۶	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۳	۱۶	۱۵	۱۵	۱۶
TM5	حداقل	۱۶	۹	۱۸	۱۵	۳۱	۱۸	۱۰	۸	۱۱	۸	۲۸	۹
	حداکثر	۱۱۸	۱۲۴	۱۸۹	۱۶۷	۲۵۵	۲۴۵	۹۸	۸۸	۱۸۹	۱۶۲	۲۵۳	۲۳۶
	میانگین	۶۹	۶۰	۱۰۱	۸۵	۱۴۰	۱۱۷	۶۴	۵۵	۹۷	۸۰	۱۳۴	۱۱۰
	دامنه	۱۰۲	۱۱۵	۱۷۱	۱۵۲	۲۲۴	۲۲۷	۸۸	۸۰	۱۷۸	۱۵۴	۲۲۵	۲۲۷
	انحراف از معیار	۱۳	۹	۲۰	۱۷	۲۷	۲۸	۱۱	۹	۲۰	۱۷	۲۷	۲۸
TM7	حداقل	۲	۳	۴	۴	۹	۵	۲	۲	۲	۲	۹	۳
	حداکثر	۳۹	۳۹	۹۰	۸۳	۱۵۵	۱۳۹	۲۹	۲۸	۸۸	۸۱	۱۵۳	۱۳۴
	میانگین	۲۰	۱۸	۴۳	۳۸	۷۸	۵	۱۹	۱۶	۴۱	۳۶	۷۵	۶۱
	دامنه	۳۷	۳۶	۸۶	۷۹	۱۴۶	۱۳۴	۲۷	۲۶	۸۶	۷۹	۱۴۴	۱۳۱
	انحراف از معیار	۴	۳	۱۴	۱۱	۱۶	۱۶	۳	۳	۱۴	۱۱	۱۵	۱۵

جدول ۴- خلاصه آماری تفاوت مقادیر عددی طبقات مختلف پوشش در معرض تابش و سایه در تصویر تصحیح شده و تصحیح نشده برای کلیه باندهای انعکاسی تی.ام.

شماره باند	خلاصه آماری	اختلاف تصویر تصحیح شده و تصحیح نشده					
		جنگل		مرتع		اراضی بدون پوشش	
		سایه	روشن	سایه	روشن	سایه	روشن
TM1	حداقل	۸	۹	۲۰	۲۶	۸	۲۰
	حداکثر	۹	۱۶	۱	۵	-۱	۴
	میانگین	۴	۴	۲	۴	۳	۵
	دامنه	۱	۷	-۱۹	-۲۱	-۹	-۲۶
	انحراف از معیار	-۱	-۱	۰	-۱	۰	۰
TM2	حداقل	۴	۲	۴	۷	۲	۱۰
	حداکثر	۶	۵	۲	۲	۰	۶
	میانگین	۲	۲	۱	۲	۲	۳
	دامنه	۲	۳	-۲	-۵	-۲	-۴
	انحراف از معیار	۰	۰	۰	۰	۰	۰
TM3	حداقل	۲	۲	۳	۵	۱	۹
	حداکثر	۵	۴	۰	۳	۸	۷
	میانگین	۱	۱	۱	۲	۳	۳
	دامنه	۳	۲	-۳	-۲	۷	-۲
	انحراف از معیار	۰	۰	۰	۰	۱	۰
TM4	حداقل	۳	۱	۱۰	۴	۱	۴
	حداکثر	۱۴	۱۲	۷	۸	۵	۸
	میانگین	۷	۶	۳	۴	۳	۴
	دامنه	۱۲	۱۱	-۳	۴	۴	۴
	انحراف از معیار	۲	۰	۰	۰	۰	۰
TM5	حداقل	۶	۱	۷	۷	۳	۹
	حداکثر	۲۰	۳۶	۰	۵	۲	۹
	میانگین	۵	۵	۳	۵	۵	۷
	دامنه	۱۴	۳۵	-۷	-۲	-۱	۰
	انحراف از معیار	۲	۰	۰	-۱	۱	۰
TM7	حداقل	۰	۱	۲	۲	۰	۲
	حداکثر	۱۰	۱۱	۲	۲	۲	۵
	میانگین	۲	۱	۲		۳	۴
	دامنه	۱۰	۱۰	۰	۰	۲	۳
	انحراف از معیار	۱	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۵- ماتریس خطا و شاخص کاپا برای تصویر تصحیح شده

		مناطق شاهد			جمع	خطای تداخل	شاخص کاپا
		جنگل	مرتع	بدون پوشش			
تصویر	جنگل	۱۳۱۴	۱۶۹	۰	۱۴۸۳	۰/۱۱۴	۰/۶۳۸
	مرتع	۰	۱۷۱	۰	۱۷۱	۰	۱
	بدون پوشش	۰	۲	۲۶۳	۲۶۵	۰/۰۰۷۵	۰/۹۹۱
	جمع	۱۳۱۴	۳۴۲	۲۶۳	۱۹۱۹		
	خطای حذف	۰	۰/۵	۰		۰/۰۸۹۱	۰
	شاخص کاپا	۱	۰/۴۵۱۱	۱			۰/۷۹۵

جدول ۶- ماتریس خطا و شاخص کاپا برای تصویر تصحیح نشده

		مناطق شاهد			جمع	خطای تداخل	شاخص کاپا
		جنگل	مرتع	بدون پوشش			
تصویر	جنگل	۱۳۱۲	۹۰	۰	۱۴۰۲	۰/۰۶۴۲	۰/۷۹۶۴
	مرتع	۲	۲۵۰	۰	۲۵۲	۰/۰۰۷۹	۰/۹۹۰۳
	بدون پوشش	۰	۲	۲۶۳	۲۶۵	۰/۰۰۷۵	۰/۹۹۱۳
	جمع	۱۳۱۴	۳۴۲	۲۶۳	۱۹۱۹		
	خطای حذف	۰/۰۰۱۵	۰/۲۶۹	۰		۰/۰۴۹	
	شاخص کاپا	۰/۹۹۴۴	۰/۶۹۰۳	۱			۰/۸۹۲۹

شده است. بررسی جداول ۳ و ۴ استنتاجات فوق را اثبات می‌کند. بررسی جداول فوق نشان می‌دهد که تصحیح توپوگرافی منجر به کاهش ارزش عددی پیکسل‌ها برای کلیه باندها شده و این تفاوت در مقادیر حداقل و حداکثر بیشتر است. ضمن اینکه تفاوت در انحراف معیار، قبل و بعد از تصحیح عملاً برابر صفر است (جدول ۴).

آنچه می‌توان از نتایج فوق به دست آورد، بیانگر حذف اثر توپوگرافی ناشی از اعمال روش مینه آرت است، بدون آنکه اطلاعات موجود در تصویر از بین برود. این بدان معناست که گویی تصویر حاضر از زمین مسطح برداشت شده است، اما باید توجه داشت که دامنه اعداد گسترش می‌یابد. مناطق تحت تابش

تحلیل جدول ۲ تنها بیانگر تفاوت داده‌هاست. اینکه آیا تفاوت ایجاد شده منجر به افزایش مقادیر عددی داده‌ها در محل‌های مستقر در سایه شده و یا کاهش مقادیر عددی داده‌ها در محل‌های مستقر در معرض تابش خورشید را به دنبال دارد، مستلزم بررسی و مقایسه تفاوت ایجاد شده در دو جبهه در معرض تابش و جبهه مستقر در سایه است. به منظور استخراج چنین اطلاعاتی، تصویر حاصل از زاویه میل خورشید (Cosi) با استفاده از منطق بولی به مناطق در معرض تابش و مناطق تحت سایه در هر دو تصویر و تفاوت بین مناطق تحت تابش در هر دو تصویر برای کلیه باندها محاسبه گردیده که در جدول ۴ قید

بررسی خطای تداخل برای طبقه جنگل در تصویر تصحیح شده مقادیر کمتر از مترادف خود در تصویر تصحیح نشده را نشان می دهد. درحالی که برای اراضی مرتعی مقدار کمتر و برای اراضی بدون پوشش یکسان است. مورد اختلاف درباره خطای تداخل برای طبقه جنگل قابل ملاحظه است.

در صورتی که کاربر قادر باشد مناطق شاهد مناسب تهیه کند، اختلاف مذکور در شاخص کلی کاپا می تواند کاهش یابد و صحت قابل قبولی را ارائه نماید.

علت پایین بودن درصد صحت طبقه بندی در تصویر تصحیح شده صرف نظر از خطای کاربر در انتخاب مناسب منطقه شاهد، ناشی از این موقعیت است که پوشش جنگلی در منطقه مورد مطالعه در اراضی با شیب زیاد و عوارض توپوگرافی شدید دیده می شود. به دلیل عمق دره ها، سایه های ایجاد شده شدید است، به طوری که مدل مذکور قادر به رفع آن نیست. باید توجه داشت که مدل غیرلامبرتی حاضر قادر به رفع سایه های ناشی از همپوشانی عوارض نسبت به یکدیگر نیست. با توجه به توپوگرافی شدید در عمق دره ها و همپوشانی حاصل از سایه سایر عوارض بر یکدیگر امکان رفع آنها وجود ندارد. برای رفع این گونه موارد نیاز به کاربرد سایر روش ها همانند روش "خط دید"^۱ (۳) می باشد. همچنین در کلیه تصحیحاتی که از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده می شود، کیفیت مرجع اصلی خلق مدل رقومی ارتفاعی (نقشه های توپوگرافی)، قدرت تفکیک تصویر مدل رقومی ارتفاعی و روش تهیه مدل مذکور کاملاً اهمیت دارد. با توجه به اینکه اراضی مرتعی در مناطق با عوارض زمینی دارای پیچیدگی کمتر قرار داشتند، صحت طبقه بندی برای این طبقه افزایش یافت. اما پیچیدگی عوارض در منطقه جنگلی، قدرت تفکیک صد متر برای منحنی میزان استفاده شده در ساخت مدل رقومی ارتفاعی، منجر به پایین آمدن دقت و اغراق در تصحیح توپوگرافی برای مناطق جنگلی گردید.

و مناطق تحت سایه به طور یکسان دچار تغییر نمی گردند. این تغییرات قابل ارزیابی نیست، مگر آنکه نتیجه اعمال یک فرایند مستقل (همانند طبقه بندی تصویر) بر روی دو تصویر بررسی و مقایسه شود. اگرچه شرایط ایجاد شده حاصل از اعمال روش مینه آرت مطلوب است، اما آنچه مهم است، تاثیر انجام این فرایند بر روی سایر روندهای تجزیه و تحلیل تصاویر است. بدین منظور هر دو تصویر با استفاده از روش طبقه بندی نظارت شده حداکثر احتمال مورد طبقه بندی قرار گرفته و نتایج حاصل با استفاده از ماتریس توافق و محاسبه شاخص کاپا، مورد مقایسه قرار گرفتند.

جداول ۵ و ۶ ماتریس خطا و شاخص کاپا برای تصویر تصحیح شده و تصویر تصحیح نشده را نشان می دهند. مقایسه توافق کلی بین مناطق شاهد و طبقه بندی حاصل از دو تصویر تصحیح شده و تصحیح نشده بیانگر آن است که شاخص کلی کاپا برای تصویر تصحیح شده کمتر از شاخص کلی کاپا برای تصویر تصحیح نشده است (۰/۷۹۶ در مقابل ۰/۸۹). این بدان معناست که طبقه بندی تصاویر تصحیح شده دارای صحت کمتری از تصاویر تصحیح نشده است. توجه به شاخص کلی کاپا اگرچه مهم است، اما بدون در نظر گرفتن جزئیات مندرج در جدول ممکن است گمراه کننده باشد. بررسی مندرجات جداول ۵ و ۶ نشان می دهد که خطای حذف برای طبقه جنگل در تصویر تصحیح شده کمتر از مترادف خود در تصویر تصحیح نشده است و برای اراضی بدون پوشش یکسان می باشد. مورد اختلاف در مورد خطای حذف برای طبقه مرتع قابل ملاحظه است به طوری که برای تصویر تصحیح شده برابر ۰/۵ و برای مترادف خود در تصویر تصحیح نشده ۰/۲۷ می باشد. شایان ذکر است که خطای حذف نمایانگر درستی انتخاب مناطق شاهد توسط کاربر می باشد. به همین دلیل است که خطای حذف را گاهی خطای کاربر می نامند. آنچه می تواند مورد توجه باشد، خطای تداخل است که حاصل اعمال روش طبقه بندی و خصوصیت داده است.

^۱ - Line-of-sight

خریداری شده که دربردارنده متغیرهای ارتفاع و آزمایشات خورشید تنها برای مرکز تصویر است، خود به عنوان منبع خطا منجر به اغراق در تصحیح توپوگرافی می‌گردد. این مشکل برای مناطق طول شرقی- غربی حادثتر از مناطق امتداد یافته در جهت شمال و جنوب است. به علاوه نحوه استقرار عوارض نسبت به یکدیگر در امتداد شمال و جنوب تاثیر همپوشانی عوارض را تشدید می‌کند. حالتی که در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.

نتایج این تحقیق با نظر جونز^۱ و همکاران (۱۹۸۸)، مرآ^۲ (۱۹۹۶)، و کاواتا^۳ و همکاران (۱۹۸۸) همخوانی دارد. پاسخ نهایی در مورد قابلیت کاربرد تصحیح توپوگرافی مستلزم تحقیقات بیشتر است.

نتایج نشان می‌دهد که تصحیح توپوگرافیک غیرلامبرتی قادر به حذف اثر توپوگرافی است، اما در بعضی مواقع منجر به اغراق در تصحیح می‌گردد. مخصوصاً در مناطق با عوارض شدید، این اغراق بیشتر است. تصحیح توپوگرافیک قادر به حذف اثر سایه حاصل از همپوشانی عوارض نسبت به یکدیگر نیست. علی‌رغم ارجحیت مدل‌های غیرلامبرتی بر مدل‌های لامبرتی و حتی تصحیح آن با افزودن ثابت مینه‌آرت، همچنان تاثیر توپوگرافی در نتایج آنالیز داده‌ها باقی می‌ماند. این تاثیر عمده ناشی از نقص در نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده در مدل ارتفاعی رقومی است. همچنین باید متغیرهای ارتفاع و آزمایشات خورشید برای کلیه پیکسل‌ها محاسبه شود. در غیر این صورت، استفاده از اطلاعات همراه تصویر

- ۱- Jones
۲- Mera
۳- Kavata

منابع

- 1-Colby, J. D., 1991. Topographic Normalization in Rugged Terrain, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(5): 531-537.
- 2-Congalton, R., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 37:35-46.
- 3-ERDAS IMAGINE, 1996. ERDAS field guides, 3rd edition. ERDAS, Inc. Atlanta, Georgia.
- 4-Hodgson, M. E., & B.M. Shelley, 1993. Removing the topographic effect in remotely sensed. Imagery. *ERDAS Monitor*, Fall 1993. Contact Dr. Hodgson, Dept of Geography, University of Colorado, Boulder, CO 80309-0260.
- 5-Holben, B. N., & C.O. Justice, 1980. The Topographic effect on spectra response from Nadir points, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 46(9): 1191-1200.
- 6-Jones, A. R., J. J. Settle, & B.K. Wyatt, 1988. Use of digital terrain data in the interpretation of SPOT-IHRV Multispectral imagery. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 9 (4): 669-682.
- 7-Kawata, Y.S. U., & T.Kusaka, 1988. Radiometric correction for atmospheric and topographic effects on Landsat MSS images. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 9(4): 729-748.
- 8-Leprieur, C.E., J.M. Durand, & J.L. Peyron, 1988. Influence of topography on forest reflectance using Landsat Thematic Mapper and Digital Terrain data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 54(4):491-496.
- 9-MERA, 1996. MARS and Environment Related Applications. PHARE program, Forest Ecosystem Mapping., Final report, FOMI Remote Sensing Center, Budapest Hungary.
- 10-Pinter, P.J., R.D. Jackson, S.B. Idso, & R.J. Reginato, R.J. 1983. Diurnal patterns of wheat spectral reflectances. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-21, 156-163.

-
- 11- Proy, C., D. Tanre, & P.Y. Deschamps, 1989. Evaluation of topographic effects in remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 30:21-32.
- 12-Smith, J. A., T. L. Lin, & K.J. Ranson, 1980. The Lambertian assumption and Landsat Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 46:1183-89.

Studying the Effects of Topographic Normalization on Satellite Imageries Using Minnaert Constant

A.Sepehry¹

Abstract

Vegetation mapping is one of the important aims phytosociologists are after. Ever-increasing improvement of satellite images in terms of their spatial and spectral resolution made them suitable for vegetation mapping. Satellites capture electromagnetic radiation reflected or emitted by objects on the earth. Electromagnetic radiation itself is a function of spectral property of the object, sun position (sun azimuth and elevation), and surface terrain. As a result, a given plant cover on different aspects of the terrain may be detected differently. This is especially true for images from mountainous environments. Thus, it is necessary to use techniques that can improve the amount of information obtained from such images. Several such techniques have evolved over the years, including the modeling of illumination effects using a DEM² and the calculation of surface roughness index such as Minnaert constant to adjust over correction caused by non lambertian models. This research attempts to apply such method to study the effects of topographic normalization on classification accuracy of Landsat TM image acquired for the preserved mountainous area of Jahan-nama in province of Golestan. The study area was classified using MLC³ method on images, which had been topographically normalized by applying Minnaert constant. The results of comparing topographically normalized thematic map with original thematic map show that the topographic normalization method applied over corrects the image, and that the overall classification accuracy on corrected image is lower than the uncorrected one. The over-correction seems to be due to the quality of DEM used in the procedure. Using the information about the sun position which is available from the Landsat header file, is probably the other source of over-correction. This is because it is the position of sun relative to the center of the image while the study area was located at the extreme end of the image. The research suggests that calculating the position of sun for all pixels involved may help deriving better results.

Key words: Topographic normalization, Minnaert constant, Landsat, TM, Vegetation, Classification, Jahan nama, Golestan

¹ - Asst. Prof., Faculty of Watershed and Range Management, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan

² Digital Elevation Model

³ Maximum Likelihood Classification