بررسي قابليت روش مينه‌آرت در حذف اثر توپوگرافي در تصاوير ماهواره‌اي[۱]

عادل سپهري[۲]

چكيده

تهيه نقشه پوشش‌هاي گياهي مناطق مختلف، يكي از اهداف مهم جامعه‌شناسان گياهي محسوب مي‌گردد. توسعه روزافزون تصاوير ماهواره‌اي و افزايش بيش از پيش توان تفكيك طيفي و مكاني آنها، موجب شده است تا اين تصاوير به‌عنوان يك منبع مهم اطلاعاتي جهت تهيه نقشه پوشش‌هاي گياهي قلمداد شوند. از آنجايي‌كه ماهواره‌ها به ثبت امواج الكترومغناطيس انعكاس‌يافته از پديده‌هاي سطح زمين مي‌پردازند و انعكاس امواج الكترومغناطيس، خود تابعي از ويژگي‌هاي طيفي پديده موردنظر، زاويه ميل خورشيد (ارتفاع و آزيموت خورشيد) و وضعيت توپوگرافي منطقه (شيب و جهت شيب) است، يك نوع پوشش گياهي معين، در شرايط توپوگرافي متفاوت، ممكن است به‌عنوان دو پديده مختلف درك شود. روش‌هاي متعددي براي كاهش اثر توپوگرافي در بازتاب ثبت‌شده حاصل از پديده‌ها پيشنهاد شده است كه از آن ميان روشي كه در آن از ثابت "مينه‌آرت"[۳] استفاده مي‌شود، شهرت دارد. در اين تحقيق با استفاده از تصوير رقومي ماهواره لندست تي.ام مربوط به منطقه حفاظت‌شده كوهستاني جهان‌نماي گرگان، نسبت به طبقه‌بندي پوشش گياهي منطقه با استفاده از روش طبقه‌بندي حداكثر احتمال (MLC)[٤] اقدام شد. تصاوير مربوطه با استفاده از روش مينه‌آرت مورد تصحيح توپوگرافي[٥] قرارگرفت. نتايج طبقه‌بندي پوشش گياهي منطقه بر روي تصاوير تصحيح‌شده (با حذف اثر توپوگرافي) و تصاوير معمولي مقايسه شد. نتايج به‌دست‌آمده نشان مي‌دهد اگرچه تصحيح توپوگرافي با استفاده از روش مينه‌آرت موجب كاهش اثر توپوگرافي گرديد، اما صحت طبقه‌بندي پوشش گياهي تصوير تصحيح‌شده كمتر از طبقه‌بندي گياهي تصوير تصحيح‌نشده است. در اين مقاله علل كاهش صحت طبقه‌بندي با استفاده از روش مينه‌آرت مورد بحث قرار مي‌گيرد.

واژه‌هاي كليدي: تصاوير ماهواره‌اي، پوشش گياهي،طبقه‌بندي، توپوگرافي، مينه‌آرت، جهان‌نما و گرگان

۱- تاريخ دريافت: ۷۹/۸/۱٦، تاريخ تصويب نهايي: ۸۰/۸/۲۸

۲- استاديار دانشكده مرتع و آبخيزداري، دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي گرگان

۳- Minnaert constant

٤- Maximum Likelihood Classification

٥- Topographic Normalization

مقدمه

فرضيه اساسي در سنجش از دور اين است که هر پديده منحصر به‌فرد (شامل انواع مختلف گياهان، انواع مختلف آب با درجات مختلف ناصافي ، صخره‌ها با خصوصيات ليتولوژيکي مختلف و انواع خاك)، به‌طرز ويژه و انحصاري نسبت به امواج رسيده عکس‌العمل نشان مي‌دهد. اين رفتار منحصر به فرد توسط بازتاب طيفي آن پديده تعريف مي‌شود. به عبارت ديگر، هر پديده نسبت به تشعشعات با طول موج‌هاي مختلف عکس‌العمل‌هاي متفاوتي نشان مي‌دهد. منحني طيف انعکاسي براي هر پديده در محدوده ٠/٤تا ٢/٥ ميکرومتر قرار دارد (ناحيه انعکاس). در نمونه‌هاي زيادي از پديده‌هاي طبيعت اين رفتار انعکاسي در زمان‌هاي مختلف و در طول سال متفاوت است. رفتار انعکاسي پديده‌ها تنها تحت تاثير شرايط متغير دروني آنها نيست، بلکه تابعي از عوامل مختلف مانند جهت تابش خورشيد[١]، ارتفاع يا بالاآمدگي خورشيد در آسمان[٢]، جهت نشانه روي سنجنده‌ها در عرشه ماهواره نسبت به جهت زاويه تابش خورشيد و شرايط جوي نيز است (٥).

تشعشع انعکاس‌يافته از پديده در مسير بازگشت به سنجنده تحت تاثير زاويه ديد سنجنده قرار دارد. به طور مسلم تشعشع انعکاسي در ديد عمودي ماهواره از زمين[٣] به‌دليل کوتاهي مسافت، کمتر تحت تاثير جو قرار مي‌گيرد، تا هنگامي‌که پديده توسط ديد غيرعمودي و مورب[٤] ديده شود. به‌علاوه ميزان سايه حاصل از پديده‌ها در روي زمين تابعي از زاويه ارتفاعي خورشيد است. براي مثال ميزان سايه در محصولات زراعي رديفي هنگامي‌که زاويه ارتفاعي خورشيد کاهش پيدا مي‌کند، افزايش مي‌يابد. چنين پديده‌اي در خصوص آزيموت خورشيد نيز وجود دارد. بعلاوه، تاثير عوامل زاويه ارتفاع خورشيد، آزيموت خورشيد و زاويه ديد سنجنده بر روي ميزان سايه پديده‌ها، زياد بوده و تحقيقات نشان داده است که اين تاثير در طول موج قرمز بيشتر از طول موج‌هاي مادون قرمز است (٨). همچنين سايه حاصل از گياهان به‌دليل پيچيدگي استقرار سطح برگ‌ها و تنوع سطح سبز، هم از لحاظ درصد پوشش و هم از نظر طبقات ارتفاعي گياهي پيچيده است و همچنان مطالعه بر روي آنها ادامه دارد (١٠).

بديهي است روش‌هايي که توسط آنها بتوان ميزان تاثير توپوگرافي را برآورد کرد و تغييرات در مقادير عددي تصاوير ماهواره‌اي حاصل از تاثير توپوگرافي را حذف کرده يا کاهش داد، قبل از تجزيه و تحليل قرار دادن تصاوير، مورد نياز است. مخصوصا انجام اين‌گونه تصحيحات در تصاوير حاصل از سنجنده‌هاي با ديد مورب، براي مقايسه تصاوير به‌دست آمده در دو تاريخ متفاوت و يا تصاوير حاصل از سنجنده‌هاي با ديد باز اهميت دارد (٥ و ١١).

مينه‌آرت در سال ١٩٦١ بيان کرد که سطوح انعکاسي، امواج وارده را به‌طور يکنواخت در تمام جهات منعکس نمي‌کنند، از اين رو به جاي مدل لامبرتي، مدل غيرلامبرتي را پيشنهاد کرد که در آن، تغييرات عوارض زمين نيز مد نظر قرار مي‌گيرد.

از آنجايي که منطقه مورد مطالعه منطقه‌اي کوهستاني است، بررسي تاثير توپوگرافي در امواج الکترومغناطيس ثبت شده توسط ماهواره لندست تي.ام به‌منظور طبقه‌بندي پوشش گياهي منطقه حائز اهميت است. در اين تحقيق تصاوير لندست تي.ام مربوط به منطقه، مورد تصحيح توپوگرافي قرار گرفت و نتايج طبقه‌بندي حاصل از تصاوير تصحيح شده و بدون تصحيح مقايسه شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در مراتع شمالي منطقه حفاظت‌شده جهان‌نما در ارتفاعات جنوب گرگان و جنوب‌شرقي کردکوي در رشته‌کوه‌هاي البرز واقع شده است. جهان‌نما به وسعت حدود ١٦٠٠٠ هکتار در محدوده ′٥ °٥٤ تا ′٣٥ °٥٤ طول شرقي و ′٣٢ °٣٦ تا ′٤٥ °٣٦ عرض شمالي قرار گرفته است.

[١] - Orientation of the Sun (solar azimuth)
[٢] - Solar elevation angle
[٣] - Nadir view
[٤] - Off-nadir view

حداقل ارتفاع منطقه ۲۰۰ متر و حداكثر ارتفاع آن ۳۰۸۲ متر از سطح درياست. متوسط بارندگي سالانه منطقه ٤٤٠ ميلي‌متر و اقليم منطقه با روش آمبرژه، سرد كوهستاني است (شكل ۱).

جديدترين داده‌هاي رقومي سنجنده تي.ام لندست – ۵ منطقه مورد مطالعه مربوط به تاريخ ۱۵ ژوئن ۱۹۹۸ با مشخصات (Path-Row) ، (٣٤-١٦٣) و (٣٥-١٦٣) از مركز سنجش از دور ايران خريداري و مورد استفاده قرار گرفتند. تصاوير حاصل پيش‌پردازش شده و با استفاده از نقشه‌هاي توپوگرافي ۱/۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداري كشور با استفاده از نقاط كنترل زميني و بازيابي مقادير پيكسل‌ها به روش نزديكترين همسايه[1] و با خطاي RMS[2] ۰/۹۸ مترتصحيح هندسي گرديدند.

طي عمليات صحرايي با استفاده از دستگاه مكان‌ياب (RGB)، مناطق آموزشي و شاهد براي سه طبقه جنگل، مرتع و اراضي بدون پوشش (شامل خاك و برون‌زدگي‌هاي سنگي) مشخص شدند. مرز مناطق آموزشي و شاهد به‌دست آمده، از طريق رقومي‌كردن بر روي صفحه نمايش مشخص شد. تصوير كاذب منطقه با تركيب باندهاي ۳، ۵ و ٤ (RGB) تهيه شد و صحت انتخاب مناطق آموزشي و شاهد، با تفسير چشمي و كنترل هيستوگرام باندهاي مختلف، مورد بازبيني قرار گرفت.

پس از اطمينان از صحت مكاني و شاخص بودن مناطق آموزشي و شاهد، اقدام به انجام تصحيح توپوگرافي با استفاده از روش مينه‌آرت بر روي كليه باندها (به غير از باند ٦) با استفاده از معادله۱ گرديد. در مدل انعكاس غيرلامبرتي معادله زير براي از بين بردن سايه و تصحيح مقادير عددي تصاوير به‌كار مي‌رود (۱ و ۱۲):

$$BV_{normal\lambda} = (BV_{observeed\lambda} \cos e)/(\cos^k i \cos^k e) \qquad (۱)$$

كه در آن، $BV_{normal\lambda}$ مقادير عددي تصحيح‌شده، $BV_{observed\lambda}$ مقادير عددي مشاهده‌شده، Cos e كسينوس زاويه انعكاس خروجي يا زاويه شيب، K ثابت تجربي مينه‌آرت و Cos i كسينوس زاويه تابش است كه از رابطه زير به‌دست مي‌آيد:

$$\cos i = \cos(90 - \theta_s)\cos\theta_n + \sin(90-\theta_s)\sin\theta_n \cos(\phi_s - \phi_n) \qquad (۲)$$

كه در آن، i زاويه ميل خورشيد با سطح نرمال عمودي، θ_s زاويه ارتفاعي خورشيد، ϕ_s آزيموت خورشيد، θ_n شيب پديده و ϕ_n جهت استقرار پديده است.

اگر شيب منطقه صفر باشد در نتيجه جهت بدون تعريف شده و $i = (90-\theta_s)$ خواهد شد.

ثابت مينه‌آرت (K) كه به "زبري سطح[3]" مشهور است، مي‌تواند از طريق محاسبه رگرسيون بر روي مجموعه مشخصي از مقادير عددي عناصر تصوير كه نماينده پديده مشخصي در روي زمين مي‌باشند، به‌دست آيد. بديهي است مشخصات شيب و جهت آن منطقه مشخص از زمين بايد قبلا معلوم باشد. در اين صورت، مقدار K عبارت است از شيب خط رگرسيون(٤) كه از معادله زير به‌دست مي‌آيد:

$$\log(BV_{observed\lambda}\cos e) = \log BV_{normal\lambda} + K\log(\cos i \cos e) \qquad (۳)$$

براي انجام اين تصحيح به پارامترهاي زير نياز است:

تعيين كسينوس زاويه ميل خورشيد و ثابت مينه‌آرت براي هر باند.

با توجه به اينكه تعيين كسينوس زاويه ميل خورشيد مستلزم داشتن زاويه ارتفاع و آزيموت خورشيد در تاريخ تهيه تصوير و همچنين اطلاعات مربوط به شيب و جهت شيب نسبت به زاويه تابش است، نقشه توپوگرافي ۱:۵۰۰۰۰ منطقه رقومي شده و با استفاده از قابليت نرم‌افزار سامانه‌هاي اطلاعات جغرافيايي (GIS) نسبت به تهيه مدل رقومي ارتفاعي (DEM)[4] منطقه اقدام گرديد. نقشه شيب و

[1] - Nearest Neighbor
[2] Root Mean Squar

[3] - Surface Roughness
[4] - Digital Elevation Model

جهت شيب، از مدل رقومي ارتفاعي استخراج شد. دو پارامتر زاويه ارتفاع و آزيموت خورشيد در تاريخ تهيه تصوير از اطلاعات همراه تصوير پس از تصحيح توپوگرافي بر روي كليه باندهاي انعكاسي، نسبت به انجام طبقه‌بندي با استفاده از باندهاي تصحيح شده و باندهاي اوليه از طريق روش حداكثر احتمال (MLC) اقدام شد. براي انجام اين امر، ميزان تفكيك‌پذيري[1] مناطق آموزشي كنترل گرديد. پس از آن، طبقه‌بندي براي سه كلاس جنگل، مرتع و مناطق بدون پوشش انجام شد. براي بررسي صحت طبقه‌بندي انجام‌شده از جدول خطا[2] و شاخص توافق كاپا[3] استفاده شد (۲). سپس جداول خطا و شاخص كاپاي به‌دست آمده براي تصوير طبقه‌بندي‌شده حاصل از باندهاي تصحيح‌شده و تصوير تصحيح نشده با يكديگر مورد مقايسه قرار گرفت.

نتايج

با استفاده از معادله رگرسيون بين لگاريتم حاصل‌ضرب مقادير عددي هر باند در كسينوس زاويه استقرار سطح مورد نظر و لگاريتم حاصل‌ضرب كسينوس زاويه تابش در كسينوس زاويه استقرار سطح، مقدار ثابت مينه‌آرت براي كليه باندها طبق جدول۱ به‌دست آمد.

به‌منظور بررسي تغييرات حاصل از كاربرد مدل فوق در تصحيح تصاوير، كميت‌هاي آماري حداقل، حداكثر، ميانگين، دامنه و انحراف از معيار براي سه طبقه جنگل، مرتع و اراضي بدون پوشش (اعم از خاك لخت و برون‌زدگي‌هاي سنگي) متعلق به هريك از باندها براي دو تصوير تصحيح‌شده و تصحيح‌نشده، استخراج شده و در جدول ۲ مرتب شده‌اند.

براي بررسي تاثير تصحيح توپوگرافي بر روي منحني توزيع فراواني مقادير عددي پيكسل‌ها، فراواني مقادير عددي پيكسل‌هاي تصاوير تصحيح نشده و تصحيح شده براي كليه باندهاي انعكاسي (بجز باند ٦) استخراج شده و در شكل‌هاي ۲ و ۳ نشان داده شده است.

تصوير حاصل از زاويه ميل خورشيد (cos i) با استفاده از منطق بولي[4] به مناطق در معرض تابش و مناطق تحت سايه تقسيم گرديد و اطلاعات آماري براي اين دو منطقه و در هر طبقه پوشش، از باندهاي تصاوير تصحيح‌شده و تصاوير تصحيح‌نشده استخراج شد. اطلاعات مربوطه در جدول ۳ نشان داده شده است. تفاوت بين مناطق تحت سايه و تحت تابش در هر دو تصوير براي كليه باندها محاسبه گرديده و در جدول ٤ قيد شده است. جداول ٥ و ٦ ماتريس خطا و شاخص توافق كاپا براي تصاوير تصحيح‌شده و تصوير تصحيح‌نشده را نشان مي‌دهند.

بحث و نتيجه‌گيري

همان‌طور كه در جدول ۱ ديده مي‌شود، مقدار عددي مينه‌آرت براي باندهاي با طول موج كوتاهتر، بزرگتر از باندهاي با طول موج بلندتر است. اين امر بيانگر ميزان تصحيح بيشتر در باندهاي كوتاهتر است. در صورت عدم استفاده از ثابت مينه‌آرت، مقادير فوق براي باندهاي مختلف ثابت است و تنها عوامل موثر، زاويه تابش، شيب و جهت استقرار شيب منطقه به‌عنوان متغير مورد توجه قرار مي‌گرفت. درحالي‌كه ميزان تصحيح در مدل فوق علاوه بر عوامل موثر مذكور در ميزان تصحيح، تابعي از طول موج بازتاب شده نيز قلمداد مي‌شود.

همان‌طور كه جدول ۲ نشان مي‌دهد، مقدار عددي حداقل براي طبقات جنگل، مرتع و اراضي بدون پوشش در باند يك پس از انجام تصحيح به مقدار زيادي كاهش يافته است، به‌طوري‌كه قدر مطلق اختلاف مقادير عددي در باند مذكور و براي سه طبقه فوق بين تصوير تصحيح‌شده و تصحيح نشده به ترتيب عبارتند از ۸، ٢٦ و ۲۸ و اختلاف مقادير عددي در باند دو به ترتيب برابر است با ۳، ۱۰ و ۸، در حالي‌كه اختلاف مقادير عددي حداكثر براي باند يك به ترتيب عبارت است از۱، ۱ و ۱ و براي ساير

[1] - Separability
[2] - Error matrix
[3] - Kappa Index of Agreement
[4] - Boolean logic

باندها نيز، بغير از باندهاي سه و چهار، اختلاف مقادير عددي حداكثر بسيار ناچيز است. نكته قابل توجه، در عدم تفاوت چشمگير ميانگين و انحراف از معيار به‌عنوان شاخصي براي ميزان تغيير در هر طبقه بين دو تصوير تصحيح‌شده و تصحيح‌نشده است كه اين تفاوت بسيار ناچيز و در حد صفر است. اين نكته بدين لحاظ اهميت دارد كه انجام هر نوع تصحيح نبايد در واريانس داده‌ها در هر باند خدشه‌اي وارد سازد، چرا كه كاهش واريانس به منزله از دست دادن اطلاعات محسوب مي‌گردد و توانايي مفسر را در تفكيك پديده‌ها دچار اشكال مي‌كند. مخصوصا كاربرد الگوريتم‌هايي كه در آنها از كميت‌هاي ميانگين و واريانس (كوواريانس) استفاده مي‌شود، در صورت تفاوت عمده بين مقادير كميت‌هاي آماري مذكور بين دو تصوير، مي‌تواند نتايج متفاوتي را ايجاد كند.همچنين بايد توجه داشت كه پارامترهاي آماري مندرج در جدول ۲ براي هر طبقه در كل منطقه مورد مطالعه و بدون تفكيك از لحاظ خصوصيات توپوگرافي استخراج شده است و علي‌رغم اينكه وضعيت متفاوت استقرار يك پديده در عوارض مختلف زمين مي‌تواند خود منشا تفاوت باشد، با وجود اين، انجام تصحيح توپوگرافي با روش مينه‌آرت، ضمن حفظ تفاوت بين طبقات، يكساني ميزان واريانس قبل و بعد از تصحيح را تضمين كرده است.

تصحيح توپوگرافي به‌طور چشمگيري مقادير حداقل كليه كلاس‌ها را براي همه باندها كاهش داده است. ميانگين و واريانس كليه كلاس‌ها به‌طور معني‌دار تفاوت ننموده و مشاهده مي‌شود كه قدر مطلق اختلاف ايجادشده بين تصوير تصحيح‌شده و تصحيح‌نشده براي باندهاي با طول موج كوتاه، بيشتر از باندهاي با طول موج بلند است (جدول۲). ميزان اين تغيير با ضريب مينه‌آرت براي هر باند (جدول ۱) متناسب است.

قدر مطلق تفاوت مقادير عددي براي باند يك تي.ام بيشتر از ساير باندهاست و اين تفاوت براي طبقات بدون پوشش و مرتع بيشتر از جنگل است. اگرچه تفاوت بين طبقات بدون پوشش و مرتع براي كليه باندها يكسان نيست، اما همواره از طبقه جنگل بيشتر است. اين بدان معناست كه ميزان حداقل مقادير عددي تصوير در كليه باندها براي طبقات بدون پوشش و مرتع شديدتر از جنگل كاهش يافته و شدت تصحيح براي اين مناطق بيشتر بوده است.

نكته قابل توجه آنكه دامنه عددي براي كليه باندها و طبقات پس از تصحيح، گسترش يافته و اين گسترش براي طبقات بدون پوشش و مرتع بيشتر از جنگل بوده است. بايد توجه داشت كه پوشش جنگلي معمولا داراي دامنه طيفي محدودتري نسبت به ساير پديده‌هاست، اما آنچه در اينجا مهم است، قدر مطلق اختلاف دامنه ايجادشده ناشي از اعمال تصحيح توپوگرافي است.

شکل ١- موقعيت منطقه مورد مطالعه جهان‌نما

جدول ١- مقادير ثابت مينه‌آرت براي شش باند انعکاسي تي.ام.

باندهاي تي.ام	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
ثابت‌مينه‌آرت	٠/٠٨١٧٦	٠/٠٧٤٦١١	٠/٠٧٥٣٥٥	٠/٠٦٩٥٦٧	٠/٠٦٩٢٠٨	٠/٠٦٣٢٦٨

جدول ٢- مقايسه خلاصه آماري طبقات در تصوير تصحيح شده و تصحيح نشده

شماره باند	خلاصه‌آماري	تصوير تصحيح نشده			تصوير تصحيح شده			قدرمطلق اختلاف		
		جنگل	مرتع	بدون پوشش	جنگل	مرتع	بدون پوشش	جنگل	مرتع	بدون پوشش
TM1	حداقل	٤٤	٤٥	٤٧	٣٦	١٩	١٩	٨	٢٦	٢٨
	حداکثر	٦٣	١١٨	٢٥٢	٦٤	١١٧	٢٥٣	١	١	١
	ميانگين	٥٢	٦٧	٩٥	٤٩	٦٦	٩١	٣	٢	٣
	دامنه	١٩	٧٣	٢٠٥	٢٨	٩٨	٢٣٤	٩	٢٥	٢٩
	انحراف‌ازمعيار	٢	١١	١٨	٤	١١	١٨	١	١	٠
TM2	حداقل	١٤	١٨	١٦	١١	٨	٨	٣	١٠	٨
	حداکثر	٢٦	٦٤	١٢٢	٢٥	٦٤	١٢٢	١	٠	٠
	ميانگين	٢١	٣٣	٥٣	٢٠	٣٢	٥١	١	١	٢
	دامنه	١٢	٤٦	١٠٦	١٤	٥٦	١١٤	٢	١٠	٨
	انحراف‌ازمعيار	٢	٧	١٢	٢	٨	١٢	٠	٠	٠
TM3	حداقل	١١	١٥	١١	٩	٧	٧	٢	٨	٤
	حداکثر	٢١	٨٠	١٦٧	٢٢	٨٠	١٥٩	١	٠	٨
	ميانگين	١٧	٣٥	٦٩	١٦	٣٥	٦٧	١	٠	٢
	دامنه	١٠	٦٥	١٥٦	١٣	٧٣	١٥٢	٣	٨	٤
	انحراف‌ازمعيار	١	١٢	١٧	١	١٢	١٦	٠	٠	١
TM4	حداقل	١٦	١٩	١٩	١٥	١٥	١٥	١	٤	٤
	حداکثر	١٣٦	١٥٥	١٦٠	١٣٢	١٤٨	١٥٥	٤	٧	٥
	ميانگين	٨٦	٧٨	٨٥	٨١	٨٣	٨٢	٥	٤	٣
	دامنه	١٢٠	١٣٦	١٤١	١١٧	١٣٣	١٤٠	٣	٣	١
	انحراف‌ازمعيار	١٥	١٨	١٦	١٦	١٨	١٦	٠	٠	٠
TM5	حداقل	٩	١٩	١٩	٨	٨	٩	١	١١	١٠
	حداکثر	١٠٤	١٨٩	٢٥٥	٩٨	١٨٩	٢٥٣	٦	٠	٢
	ميانگين	٦٣	٩٦	١٣٦	٦٠	٩٣	١٣٢	٣	٣	٥
	دامنه	٩٥	١٧٠	٢٣٦	٩٠	١٨١	٢٤٤	٥	١١	٨
	انحراف‌ازمعيار	١١	٢٠	٢٩	١١	٢١	٢٨	٠	١	١
TM7	حداقل	٢	٨	٦	٢	٢	٣	٠	٦	٣
	حداکثر	٣١	٨٨	١٥٥	٢٩	٨٨	١٥٣	٢	٠	٢
	ميانگين	١٨	٤١	٧٦	١٨	٤٠	٧٣	١	١	٣
	دامنه	٢٩	٨٠	١٤٩	٢٧	٨٦	١٥٠	٢	٦	١
	انحراف‌ازمعيار	٣	١٤	١٧	٣	١٣	١٦	٠	٠	١

توجه: اعداد كسري به آخرين عدد صحيح، گرد شده‌اند. اختلاف در مقادير انحراف از معيار ناشي از عمل گرد كردن است.

شكل ۲- منحني فراواني نسبي داده‌ها در تصوير تصحيح‌نشده براي كليه باندهاي انعكاسي

شکل ۳- منحني فراواني نسبي داده‌ها در تصوير تصحيح‌شده براي کليه باندهاي انعکاسي

بررسي جدول ۲ نشان مي‌دهد تصحيح توپوگرافي ضمن حفظ واريانس داده‌هاي اصلي، منجر به کاهش محدوده پايين دامنه عددي داده‌ها که مي‌تواند با محل‌هاي مستقر در سايه ارتباط داشته باشد، مي‌گردد.

مطالعه نمودارهاي فراواني نسبي مقادير عددي داده‌ها براي کليه باندها در تصوير تصحيح‌شده و تصحيح‌نشده نشان مي‌دهد که تصحيح فوق منجر به کاهش تغييرات درون هر باند، بدون تغيير شکل کلي منحني توزيع مقادير عددي شده است (شکل‌هاي ۲ و ۳). تصحيح توپوگرافي همانند فيلتر ميانگين منجر به کم شدن تغييرات نوفه[1] حاصل از اثر توپوگرافي گرديده است.

[1] -Noise

جدول ۳- خلاصه آماري مقادير عددي طبقات مختلف پوشش در معرض تابش و سايه در تصوير تصحيح شده و تصحيح نشده براي كليه باندهاي انعكاسي تي.ام

شماره باند	خلاصه‌آماري	تصوير تصحيح نشده						تصوير تصحيح شده					
		جنگل		مرتع		بدون پوشش		جنگل		مرتع		بدون پوشش	
		سايه	روشن	سايه	روشن	سايه	روشن	سايه	روشن	سايه	روشن	سايه	روشن
TM1	حداقل	٤٤	٤٥	٤٥	٤٥	٤٧	٤٩	٣٦	٣٦	٢٥	١٩	٣٩	١٩
	حداكثر	٧٣	٧٧	١١٨	١١٦	٢٥٢	١٨٣	٦٤	٦١	١١٧	١١١	٢٥٣	١٧٩
	ميانگين	٥٣	٥٢	٦٩	٦٥	٩٦	٩٠	٤٩	٤٨	٦٧	٦٢	٩٢	٨٦
	دامنه	٢٩	٣٢	٧٣	٧١	٢٠٥	١٣٤	٢٨	٢٥	٩٢	٩٢	٢١٤	١٦٠
	انحراف‌ازمعيار	٣	٣	١١	٩	١٨	١٧	٤	٣	١٢	١٠	١٧	١٧
TM2	حداقل	١٥	١٤	١٥	١٥	١٦	١٨	١١	١٢	١١	٨	١٤	٨
	حداكثر	٣٠	٣٠	٦٦	٦٠	١٢٢	١٠٧	٢٤	٢٥	٦٤	٥٨	١٢٢	١٠١
	ميانگين	٢٢	٢١	٣٤	٣١	٥٤	٤٨	٢٠	١٩	٣٣	٢٩	٥٢	٤٥
	دامنه	١٥	١٦	٥١	٤٥	١٠٦	٨٩	١٣	١٣	٥٣	٥٠	١٠٨	٩٣
	انحراف‌ازمعيار	٢	٢	٨	٦	١٢	١١	٢	٢	٨	٦	١١	١١
TM3	حداقل	١١	١١	١٢	١٢	١١	١٦	٩	٩	٩	٧	١٠	٧
	حداكثر	٢٦	٢٦	٨٠	٧٧	١٦٧	١٥٢	٢١	٢٢	٨٠	٧٤	١٥٩	١٤٥
	ميانگين	١٧	١٧	٣٧	٣٤	٧١	٦١	١٦	١٦	٣٦	٣٢	٦٨	٥٨
	دامنه	١٥	١٥	٦٨	٦٥	١٥٦	١٣٦	١٢	١٣	٧١	٦٧	١٤٩	١٣٨
	انحراف‌ازمعيار	١	١	١٣	١١	١٧	١٦	١	٢	١٢	١٠	١٦	١٦
TM4	حداقل	١٨	١٦	٢٦	١٩	٢٠	١٩	١٦	١٥	١٦	١٥	١٩	١٥
	حداكثر	١٤٦	١٣١	١٥٥	١٤٠	١٦٠	١٥٠	١٣٢	١٩	١٤٨	١٣٢	١٥٥	١٤٢
	ميانگين	٩٤	٨٠	٩١	٧٣	٨٧	٧٤	٨٧	٧٤	٨٨	٦٨	٨٤	٧٠
	دامنه	١٢٨	١١٥	١٢٩	١٢١	١٤٠	١٣١	١١٦	١٠٤	١٣٢	١١٧	١٣٦	١٢٧
	انحراف‌ازمعيار	١٧	١٣	١٦	١٥	١٥	١٦	١٦	١٣	١٦	١٥	١٥	١٦
TM5	حداقل	١٦	٩	١٨	١٥	٣١	١٨	١٠	٨	١١	٨	٢٨	٩
	حداكثر	١١٨	١٢٤	١٨٩	١٦٧	٢٥٥	٢٤٥	٩٨	٨٨	١٨٩	١٦٢	٢٥٣	٢٣٦
	ميانگين	٦٩	٦٠	١٠١	٨٥	١٤٠	١١٧	٦٤	٥٥	٩٧	٨٠	١٣٤	١١٠
	دامنه	١٠٢	١١٥	١٧١	١٥٢	٢٢٤	٢٢٧	٨٨	٨٠	١٧٨	١٥٤	٢٢٥	٢٢٧
	انحراف‌ازمعيار	١٣	٩	٢٠	١٧	٢٧	٢٨	١١	٩	٢٠	١٧	٢٧	٢٨
TM7	حداقل	٢	٣	٤	٤	٩	٥	٢	٢	٢	٢	٩	٣
	حداكثر	٣٩	٣٩	٩٠	٨٣	١٥٥	١٣٩	٢٩	٢٨	٨٨	٨١	١٥٣	١٣٤
	ميانگين	٢٠	١٨	٤٣	٣٨	٧٨	٥	١٩	١٦	٤١	٣٦	٧٥	٦١
	دامنه	٣٧	٣٦	٨٦	٧٩	١٤٦	١٣٤	٢٧	٢٦	٨٦	٧٩	١٤٤	١٣١
	انحراف‌ازمعيار	٤	٣	١٤	١١	١٦	١٦	٣	٣	١٤	١١	١٥	١٥

جدول ٤- خلاصه آماري تفاوت مقادير عددي طبقات مختلف پوشش در معرض تابش و سايه در تصوير تصحيح شده و تصحيح نشده برا ي كليه باندهاي انعكاسي تي.ام.

شماره باند	خلاصه‌آماري	اختلاف تصوير تصحيح شده و تصحيح نشده					
		جنگل		مرتع		اراضي بدون پوشش	
		سايه	روشن	سايه	روشن	سايه	روشن
TM1	حداقل	۸	۹	۲۰	۲٦	۸	۳۰
	حداكثر	۹	۱٦	۱	۵	-۱	٤
	ميانگين	٤	٤	۲	٤	۳	۵
	دامنه	۱	۷	-۱۹	-۲۱	-۹	-۲٦
	انحراف‌ازمعيار	-۱	-۱	۰	-۱	۰	۰
TM2	حداقل	٤	۲	٤	۷	۲	۱۰
	حداكثر	٦	۵	۲	۲	۰	٦
	ميانگين	۲	۲	۱	۲	۲	۳
	دامنه	۲	۳	-۲	-۵	-۲	-٤
	انحراف‌ازمعيار	۰	۰	۰	۰	۰	۰
TM3	حداقل	۲	۲	۳	۵	۱	۹
	حداكثر	۵	٤	۰	۳	۸	۷
	ميانگين	۱	۱	۱	۲	۳	۳
	دامنه	۳	۲	-۳	-۲	۷	-۲
	انحراف‌ازمعيار	۰	۰	۰	۰	۱	۰
TM4	حداقل	۳	۱	۱۰	٤	۱	٤
	حداكثر	۱٤	۱۲	۷	۸	۵	۸
	ميانگين	۷	٦	۳	٤	۳	٤
	دامنه	۱۲	۱۱	-۳	٤	٤	٤
	انحراف‌ازمعيار	۲	۰	۰	۰	۰	۰
TM5	حداقل	٦	۱	۷	۷	۳	۹
	حداكثر	۲۰	۳٦	۰	۵	۲	۹
	ميانگين	۵	۵	۳	۵	۵	۷
	دامنه	۱٤	۳۵	-۷	-۲	-۱	۰
	انحراف‌ازمعيار	۲	۰	۰	-۱	۱	۰
TM7	حداقل	۰	۱	۲	۲	۰	۲
	حداكثر	۱۰	۱۱	۲	۲	۲	۵
	ميانگين	۲	۱	۲		۳	٤
	دامنه	۱۰	۱۰	۰	۰	۲	۳
	انحراف‌ازمعيار	۱	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ٥- ماتريس خطا و شاخص كاپا براي تصوير تصحيح شده

		مناطق شاهد					
		جنگل	مرتع	بدون پوشش	جمع	خطاي تداخل	شاخص كاپا
تصوير	جنگل	١٣١٤	١٦٩	٠	١٤٨٣	٠/١١٤	٠/٦٣٨
	مرتع	٠	١٧١	٠	١٧١	٠	١
	بدون پوشش	٠	٢	٢٦٣	٢٦٥	٠/٠٠٧٥	٠/٩٩١
	جمع	١٣١٤	٣٤٢	٢٦٣	١٩١٩		
	خطاي حذف	٠	٠/٥	٠		٠/٠٨٩١	٠
	شاخص كاپا	١	٠/٤٥١١	١			٠/٧٩٥

جدول ٦- ماتريس خطا و شاخص كاپا براي تصوير تصحيح نشده

		مناطق شاهد					
		جنگل	مرتع	بدون پوشش	جمع	خطاي تداخل	شاخص كاپا
تصوير	جنگل	١٣١٢	٩٠	٠	١٤٠٢	٠/٠٦٤٢	٠/٧٩٦٤
	مرتع	٢	٢٥٠	٠	٢٥٢	٠/٠٠٧٩	٠/٩٩٠٣
	بدون پوشش	٠	٢	٢٦٣	٢٦٥	٠/٠٠٧٥	٠/٩٩١٣
	جمع	١٣١٤	٣٤٢	٢٦٣	١٩١٩		
	خطاي حذف	٠/٠٠١٥	٠/٢٦٩	٠	٠/٠٤٩		
	شاخص كاپا	٠/٩٩٤٤	٠/٦٩٠٣	١			٠/٨٩٢٩

تحليل جدول ٢ تنها بيانگر تفاوت داده‌هاست. اينكه آيا تفاوت ايجادشده منجر به افزايش مقادير عددي داده‌ها در محل‌هاي مستقر در سايه شده و يا كاهش مقادير عددي داده‌ها در محل‌هاي مستقر در معرض تابش خورشيد را به‌دنبال دارد، مستلزم بررسي و مقايسه تفاوت ايجادشده در دو جبهه در معرض تابش و جبهه مستقر در سايه است. به‌منظور استخراج چنين اطلاعاتي، تصوير حاصل از زاويه ميل خورشيد (Cosi) با استفاده از منطق بولي به مناطق در معرض تابش و مناطق تحت سايه در هر دو تصوير و تفاوت بين مناطق تحت تابش در هر دو تصوير براي كليه باندها محاسبه گرديده كه در جدول ٤ قيد شده است. بررسي جداول ٣ و٤ استنتاجات فوق را اثبات مي‌كند. بررسي جداول فوق نشان مي‌دهد كه تصحيح توپوگرافي منجر به كاهش ارزش عددي پيكسل‌ها براي كليه باندها شده و اين تفاوت در مقادير حداقل و حداكثر بيشتر است. ضمن اينكه تفاوت در انحراف معيار، قبل و بعد از تصحيح عملا برابر صفر است (جدول ٤).

آنچه مي‌توان از نتايج فوق به‌دست آورد، بيانگر حذف اثر توپوگرافي ناشي از اعمال روش مينه‌آرت است، بدون آنكه اطلاعات موجود در تصوير از بين برود. اين بدان معناست كه گويي تصوير حاضر از زمين مسطح برداشت شده است، اما بايد توجه داشت كه دامنه اعداد گسترش مي‌يابد. مناطق تحت تابش

و مناطق تحت سايه به‌طور يكسان دچار تغيير نمي‌گردند. اين تغييرات قابل ارزيابي نيست، مگر آنكه نتيجه اعمال يك فرايند مستقل (همانند طبقه‌بندي تصوير) بر روي دو تصوير بررسي و مقايسه شود. اگرچه شرايط ايجادشده حاصل از اعمال روش مينه‌آرت مطلوب است، اما آنچه مهم است، تاثير انجام اين فرايند بر روي ساير روندهاي تجزيه و تحليل تصاوير است. بدين منظور هر دو تصوير با استفاده از روش طبقه‌بندي نظارت شده حداكثر احتمال مورد طبقه‌بندي قرارگرفته و نتايج حاصل با استفاده از ماتريس توافق و محاسبه شاخص كاپا، مورد مقايسه قرار گرفتند.

جداول ۵ و ٦ ماتريس خطا و شاخص كاپا براي تصوير تصحيح‌شده و تصوير تصحيح‌نشده را نشان مي‌دهند. مقايسه توافق كلي بين مناطق شاهد و طبقه‌بندي حاصل از دو تصوير تصحيح‌شده و تصحيح‌نشده بيانگر آن است كه شاخص كلي كاپا براي تصوير تصحيح‌شده كمتر از شاخص كلي كاپا براي تصويرتصحيح‌نشده است (۰/۷۹٦ درمقابل ۰/۰۸۹). اين بدان معناست كه طبقه‌بندي تصاوير تصحيح‌شده داراي صحت كمتري از تصاوير تصحيح نشده است. توجه به شاخص كلي كاپا اگرچه مهم است، اما بدون درنظرگرفتن جزييات مندرج در جدول ممكن است گمراه‌كننده باشد. بررسي مندرجات جداول ۵ و ٦ نشان مي‌دهد كه خطاي حذف براي طبقه جنگل در تصوير تصحيح‌شده كمتر از مترادف خود در تصوير تصحيح‌نشده است و براي اراضي بدون پوشش يكسان مي‌باشد. مورد اختلاف در مورد خطاي حذف براي طبقه مرتع قابل ملاحظه است به‌طوري‌كه براي تصوير تصحيح‌شده برابر ۰/۵ و براي مترادف خود در تصوير تصحيح نشده ۰/۲۷ مي‌باشد. شايان ذكر است كه خطاي حذف نمايانگر درستي انتخاب مناطق شاهد توسط كاربر مي‌باشد. به‌همين دليل است كه خطاي حذف را گاهي خطاي كاربر مي‌نامند. آنچه مي‌تواند مورد توجه باشد، خطاي تداخل است كه حاصل اعمال روش طبقه‌بندي و خصوصيت داده است.

بررسي خطاي تداخل براي طبقه جنگل در تصوير تصحيح‌شده مقادير كمتر از مترادف خود در تصوير تصحيح‌نشده را نشان مي‌دهد. درحالي‌كه براي اراضي مرتعي مقدار كمتر و براي اراضي بدون پوشش يكسان است. مورد اختلاف درباره خطاي تداخل براي طبقه جنگل قابل ملاحظه است.

در صورتي‌كه كاربر قادر باشد مناطق شاهد مناسب تهيه كند، اختلاف مذكور در شاخص كلي كاپا مي‌تواند كاهش يابد و صحت قابل قبولي را ارائه نمايد.

علت پايين بودن درصد صحت طبقه‌بندي در تصوير تصحيح‌شده صرف‌نظر از خطاي كاربر در انتخاب مناسب منطقه شاهد، ناشي از اين موقعيت است كه پوشش جنگلي در منطقه مورد مطالعه در اراضي با شيب زياد و عوارض توپوگرافي شديد ديده مي‌شود. به‌دليل عمق دره‌ها، سايه‌هاي ايجادشده شديد است، به‌طوري‌كه مدل مذكور قادر به رفع آن نيست. بايد توجه داشت كه مدل غيرلامبرتي حاضر قادر به رفع سايه‌هاي ناشي از همپوشاني عوارض نسبت به يكديگر نيست. با توجه به توپوگرافي شديد در عمق دره‌ها و همپوشاني حاصل از سايه ساير عوارض بر يكديگر امكان رفع آنها وجود ندارد. براي رفع اين‌گونه موارد نياز به كاربرد ساير روش‌ها همانند روش "خط ديد[1]" (۳) مي‌باشد. همچنين در كليه تصحيحاتي كه از مدل رقومي ارتفاعي (DEM) استفاده مي‌شود، كيفيت مرجع اصلي خلق مدل رقومي ارتفاعي (نقشه‌هاي توپوگرافي)، قدرت تفكيك تصوير مدل رقومي ارتفاعي و روش تهيه مدل مذكور كاملا اهميت دارد. با توجه به اينكه اراضي مرتعي در مناطق با عوارض زميني داراي پيچيدگي كمتر قرار داشتند، صحت طبقه‌بندي براي اين طبقه افزايش يافت. اما پيچيدگي عوارض در منطقه جنگلي، قدرت تفكيك صد متر براي منحني ميزان استفاده‌شده در ساخت مدل رقومي ارتفاعي، منجر به پايين آمدن دقت و اغراق در تصحيح توپوگرافي براي مناطق جنگلي گرديد.

[1] - Line-of-sight

نتايج نشان مي‌هد كه تصحيح توپوگرافيك غيرلامبرتي قادر به حذف اثر توپوگرافي است، اما در بعضي مواقع منجر به اغراق در تصحيح مي‌گردد. مخصوصا در مناطق با عوارض شديد، اين اغراق بيشتر است. تصحيح توپوگرافيك قادر به حذف اثر سايه حاصل از همپوشاني عوارض نسبت به يكديگر نيست. علي‌رغم ارجحيت مدل‌هاي غيرلامبرتي بر مدل‌هاي لامبرتي وحتي تصحيح آن با افزودن ثابت مينه‌آرت، همچنان تاثير توپوگرافي در نتايج آناليز داده‌ها باقي مي‌ماند. اين تاثير عمده ناشي از نقص در نقشه‌هاي توپوگرافي مورد استفاده در مدل ارتفاعي رقومي است. همچنين بايد متغيرهاي ارتفاع و آزيموت خورشيد براي كليه پيكسل‌ها محاسبه شود. در غير اين صورت، استفاده از اطلاعات همراه تصوير خريداري‌شده كه دربردارنده متغيرهاي ارتفاع و آزيموت خورشيد تنها براي مركز تصوير است، خود به‌عنوان منبع خطا منجر به اغراق در تصحيح توپوگرافي مي‌گردد. اين مشكل براي مناطق طول شرقي- غربي حادتر از مناطق امتداديافته در جهت شمال و جنوب است. به‌علاوه نحوه استقرار عوارض نسبت به يكديگر در امتداد شمال و جنوب تاثير همپوشاني عوارض را تشديد مي‌كند. حالتي كه در منطقه مورد مطالعه ديده مي‌شود.

نتايج اين تحقيق با نظر جونز[۱] و همكاران(۱۹۸۸)، مرآ[۲] (۱۹۹۶)، و كاواتا[۳] و همكاران (۱۹۸۸) همخواني دارد. پاسخ نهايي در مورد قابليت كاربرد تصحيح توپوگرافي مستلزم تحقيقات بيشتر است.

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 topogrphy 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 Hungray.

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.Sepehry[1]

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 odeling of illumination effects using a DEM[2] 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 MLC[3] 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 Seciences and Natural Resources University of Gorgan**

[2] Digital Elevation Model

[3] Maximum Likelihood Classification