

تصحیح توپوگرافی داده‌های فراطیفی غرب آذربایجان شرقی

راشد پورمیرزائی^{۱*}، مجید محمدی اسکویی^۲

۱- دانشجوی دکترای مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز. Rashed.poormirzaee@gmail.com

۲- استادیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز. Moskouei@yahoo.com

(دریافت ۲ آبان ۱۳۸۹، پذیرش ۲۰ آذر ۱۳۹۰)

چکیده

در این مطالعه، تأثیر تصحیح توپوگرافی بر نتایج پردازش داده‌های فراطیفی سنجنده هایپریون منطقه غرب آذربایجان شرقی بررسی شد. با توجه به نقش روز افزون داده‌های فراطیفی در تشخیص عوارض سطح زمین به خاطر قدرت تفکیک بالای آن‌ها، انجام تصحیحات اصولی برای کسب نتایج درست امری ضروری است. این داده‌ها می‌توانند در اکتشافات کانی‌ها و شناسایی آلتراسیون‌های منطقه مورد مطالعه نقش بسزایی داشته باشند. ضرورت انجام به این دلیل است که شیب قسمت‌های مختلف (پیکسل‌های تصویر) یکسان نیستند. این امر سبب می‌شود که زاویه تابش و بازتابش، و در نتیجه شدت انعکاس از پیکسل‌ها با موقعیت‌های مختلف، متفاوت باشد. در این مطالعه در ابتدا تصحیحات اتمسفری بر روی داده‌های مذکور انجام گرفت و سپس با استفاده از نسبت سیگنال به نویز و بررسی چشمی، باندهای نویز دار حذف شدند. سرانجام تصحیح توپوگرافی بر اساس روش لامبرتین در محیط IDL^1 برنامه نویسی شد و بر روی داده‌ها اعمال شد. در مرحله بعد با انتخاب سه پیکسل با شیب و آزیموت متفاوت از منطقه مورد مطالعه و مقایسه آن‌ها در حالت قبل و بعد از تصحیح، نتایج ارزیابی شد. این بررسی بیان‌گر کاهش تفاوت‌های کاذب روشنایی در تصاویر تصحیح شده است که می‌تواند عاملی مهم در تفکیک هر چه بهتر اجزای اصلی تصاویر و در نتیجه تشخیص صحیح کانی‌ها و یا آلتراسیون‌ها باشد.

کلمات کلیدی

داده‌های فراطیفی، هایپریون، تصحیح توپوگرافی، IDL ، مدل رقومی ارتفاع.

۱- مقدمه

سنجنده هایپریون استفاده شد. (جدول ۱، شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در برگرفته بخشی از ورقه سیه رود است که شامل کوه-های قره داغ و ارسباران نیز است، که در زون زمین ساختی البرز-آذربایجان قرار دارد. این منطقه کوهستانی بوده و دارای قله متعدد با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریاست. به سبب وجود مناطق دگرسان شده گسترده و توانایی معدنی، ناحیه مورد مطالعه از دیرباز مورد توجه اکتشافگران و زمین‌شناسان بوده است [۱۱]. سنجنده هایپریون بر روی ماهواره EO-1² قرار دارد و از نوع سنجنده فراطیفی است که در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری از سطح زمین قرار گرفته است. این سنجنده با تصویربرداری به-صورت عمود بر جهت حرکت ماهواره برای هر ۲۵۶ پیکسل مجاور، طیف‌های انعکاسی را در محدوده ۴۰۰nm تا ۲۵۰۰ nm ثبت می‌کند که در مجموع پهنای دیدی برابر ۷٫۶ کیلومتر دارد و توان تفکیک مکانی زمینی آن برابر ۳۰ متر است. سنجنده فراطیفی هایپریون یک تلسکوپ و دو طیف سنج VNIR³ و SWIR⁴ دارد [۱۲]. برای تصحیح توپوگرافی و محاسبه شیب و آزیموت پیکسل، نیاز به استفاده از مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه است. بدین منظور مدل رقومی ارتفاع منطقه با استفاده از داده‌های SRTM⁵ با توان تفکیک مکانی ۹۰ متر تهیه شد (شکل ۲) و پس از registration با تصویرهایپریون منطقه با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر پردازش شد.

تصحیح اتمسفری داده‌های مورد مطالعه با استفاده از آلفوریتیم FLAASH موجود در نرم افزار ENVI، انجام شد. برای حذف باندهای نویزدار هایپریون منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش نسبت میانگین به انحراف استاندارد، تخمینی از نسبت سیگنال به نویز⁶ (SNR) در باندهای مختلف محاسبه شد [۱۳].

جدول ۱: مشخصات داده‌های هایپریون غرب آذربایجان شرقی

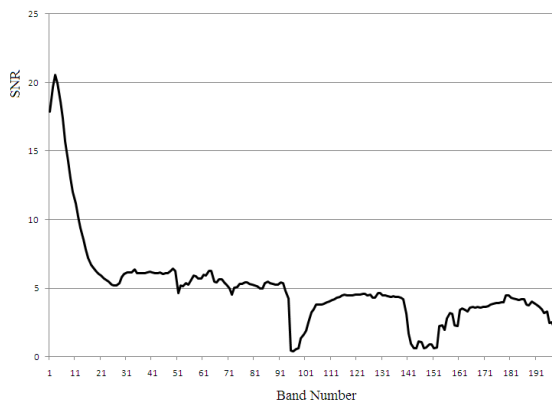
Sensor	Sensor look Angle	Solar Azimuth	Solar Elevation
Hyperion	-2.588	158.5	27.04

استفاده از فناوری سنجنش از دور در چند دهه اخیر به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارکسب اطلاعات توجه بسیاری از کارشناسان و متخصصان علوم مختلف را به خود جلب کرده است. از جمله این علوم می‌توان به زمین‌شناسی، معدن، محیط‌زیست، هواشناسی، کشاورزی اشاره نمود. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در مطالعه و ارزیابی منابع زمینی و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها نقش مهمی را ایفا کند. دستیابی به داده‌های فراطیفی به عنوان یکی از تحولات مهم و اساسی در فناوری سنجنش از دور است که طی سال‌های اخیر از جنبه‌های مختلف سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، پیشرفت قابل توجهی داشته است. طراحی الگوریتم‌های تصحیح آن و توسعه روش‌های مختلف پردازش این نوع داده‌ها از جمله موضوعات مهم مطالعات در این زمینه است. تصاویر فراطیفی تکنولوژی جدیدی است که با تلفیق تصویربرداری مرسوم با طیف‌بینی توانست اطلاعات دقیق طیفی و فضایی از شیء مورد نظر کسب کند [۲،۱]. همان‌طور که مشخص است استخراج اطلاعات دقیق مورد نیاز و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نیازمند انجام تصحیحات برای کاهش عوامل تداخل و نویز است که به‌صورت پیش‌پردازش داده‌ها انجام می‌شود [۳]. از جمله تصحیحات مهم در مرحله پیش‌پردازش داده‌ها می‌توان از تصحیحات اتمسفری، حذف باندهای نویزدار و تصحیح توپوگرافی نام برد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای داده‌های فراطیفی در دورسنجی توانایی آن‌ها برای تشخیص کانی‌ها در منطقه وسیعی از سطح زمین است. اتمسفر تأثیرات زیادی بر انعکاس دریافتی سنجنده‌ها دارد که در نتیجه آن باعث تشخیص نادرست پدیده‌های زمین‌شناسی و تخمین نادرست سایر پارامترهای کمی می‌شود [۳]. فرآیند تبدیل تابندگی سنجنده به انعکاس سطح را تصحیح اتمسفری می‌نامند که تاریخچه طولانی در دورسنجی دارد [۵]. تصحیح اتمسفری در واقع حذف اثر اجزای اتمسفر (همانند اثر بخار آب، گازهای مختلف، و نقش گرد و خاک) در انعکاس دریافتی توسط سنجنده است که پس از تصحیح می‌توان با انعکاس اندازه‌گیری شده تخمین درستی از انعکاس سطح بدست آورد و در ادامه می‌توان با مقایسه با کتابخانه طیفی، کانی‌های مختلف را شناسایی کرد [۶]. بسیاری از محققین بکارگیری تصحیح اتمسفری را قبل از تصحیح توپوگرافی توصیه کرده‌اند [۷،۸] در حالی که برخی دیگر از محققین انجام همزمان آن را صحیح دانسته‌اند [۹،۱۰] با توجه به مطالب بیان‌شده انجام تصحیح اتمسفری برای تخمین پارامترهای کمی سطح زمین برای داده‌های فراطیفی نقش دارد. در این مطالعه داده‌های

به سایر باندها دارای SNR پایینی هستند حذف شدند. در این روش یک قسمت همگن از تصویر مورد مطالعه انتخاب شد، سپس برای هر باند نسبت میانگین به انحراف استاندارد در آن منطقه محاسبه شد [۱۳]. علاوه بر آن برای دقت در حذف باندهای نویزدار، باندها به‌طور چشمی نیز بررسی شدند و باندهای با مقادیر نویز بالا که در روش اول تغییر شدید نشان نداده بودند حذف شدند. در نهایت پس از حذف باندهای نویزدار ۱۴۲ باند برای ادامه مراحل پیش پردازش انتخاب شد.

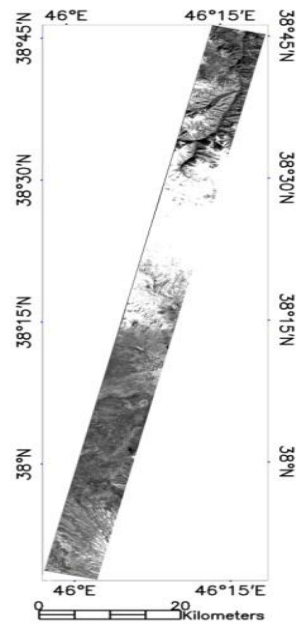
۲ تصحیح توپوگرافی

موضوع تصحیح توپوگرافی یا نرمال‌سازی توپوگرافی، تصحیح روشنایی مختلف خورشید به دلیل شکل نامنظم منطقه است. این اثر موجب تغییرات زیادی در انعکاس دریافتی توسط سنجنده می‌شود به طوری که در مناطق سایه انعکاس پایین و در مناطق آفتابی انعکاس بالایی را داریم (شکل ۴) [۳].

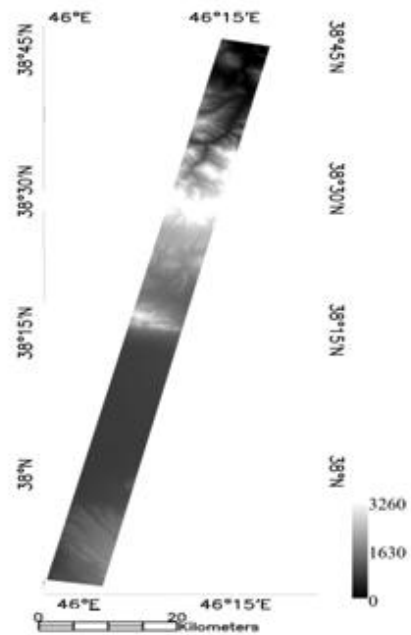


شکل ۳: نسبت سیگنال به نویز در باندهای مختلف

تصحیح توپوگرافی مناطق با توپوگرافی خشن برای پردازش داده‌های دورسنجی امری ضروری و مهم است که در مطالعات مختلف تایید شده است [۱۴، ۱۵، ۱۶]. لازم به ذکر است اگر داده‌ها دارای پارازیت باشند بایستی قبل از اعمال تصحیح نسبت به برطرف کردن آن اقدام شود همچنین در صورت توپوگرافی شدید و شیب زیاد باید در نظر داشت که احتمال بالا تخمین در نتایج وجود خواهد داشت.



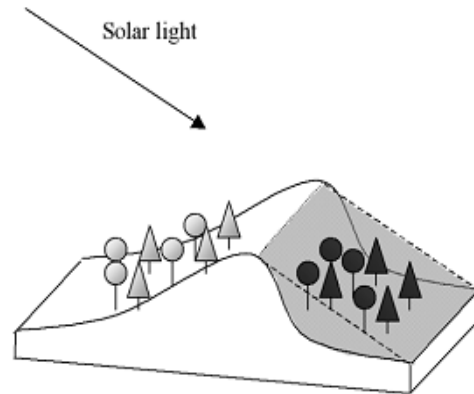
شکل ۱: تصویر باند ۲۳ (طول موج ۵۷۹،۴۵۰۰ نانومتر) غرب آذربایجان شرقی



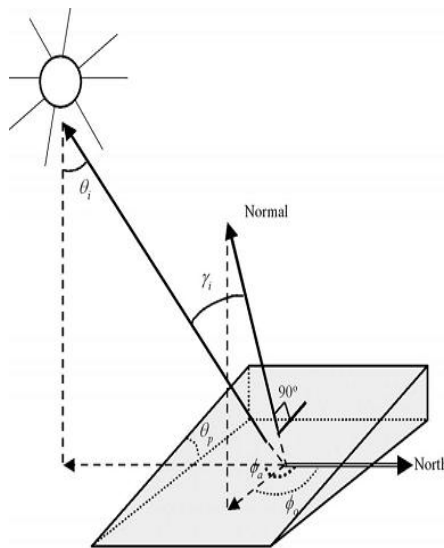
شکل ۲: تصویر مدل رقومی ارتفاع (متر) منطقه مورد مطالعه

برای حذف باندهای نویزدار هایپریون منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش نسبت میانگین به انحراف استاندارد، تخمینی از نسبت سیگنال به نویز (SNR) در باندهای مختلف محاسبه شد [۱۳]. نمودار به دست آمده برای SNR در باندهای مختلف در شکل (۳) نشان داده شده است و بر اساس آن باندهایی که نسبت

یا کاهش انعکاس به تناسب دو نسبت بانندی است. بنابراین نسبت بین آن‌ها اثرات توپوگرافی را تصحیح خواهد کرد. گروه دوم تصحیح توپوگرافی براساس مدل‌سازی وضعیت روشنایی (IL) است که نیازمند DEM با توان تفکیک مکانی برابر با تصویری است که قصد تصحیح آن را داریم. با استفاده از تصویر DEM شیب و جهت شیب برای هر پیکسل محاسبه شد و در نتیجه زاویه برخورد γ_i که برابر است با زاویه بین بردار عمود بر زمین و اشعه‌ی خورشید، حاصل می‌شود. [۳]. (شکل ۵).



شکل ۴: اثر توپوگرافی بر مقدار انعکاس سطح [۳].



شکل ۵: موقعیت پیکسل و روابط هندسی تصحیح توپوگرافی [۳]

$$IL = \cos(i) = \cos \theta_s \cos \theta_n + \sin \theta_s \sin \theta_n \cos(\phi_s - \phi_n) \quad (1)$$

پارامتر IL بین حداقل و حداکثر ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. در رابطه (۱) θ_p زاویه شیب پیکسل، θ_z زاویه زینت خورشید، θ_a زاویه آزیموت خورشید، و θ_0 زاویه آزیموت پیکسل است. IL یک بار برای کل تصویر محاسبه می‌شود. و مقادیر θ_p و θ_0 با استفاده از پردازش DEM محاسبه می‌شوند. انعکاس نرمال هر پیکسل با استفاده از روش‌های مختلف محاسبه می‌شود که با توجه به زاویه برخورد و انعکاس به دو گروه لامبرترین و غیر لامبرترین تقسیم می‌شوند. از روش لامبرترین به‌طور وسیع در روش تصحیح کسینوس که توسط Tiellet و همکارانش ارائه شد استفاده می‌شود. در این روش فرض می‌شود یک رابطه خطی بین انعکاس هر باند (ρ_T) و IL وجود دارد (رابطه ۲) که m_k شیب رگرسیون خطی برای باند

سال‌ها توپوگرافی به‌عنوان عامل ایجادکننده تغییرات در دریافت تشعشعات به‌وسیله سنجنده‌های هواپرد و فضایی مشخص شده بود [۱۳، ۱۷، ۱۸]. اثر سایه توپوگرافی در تصاویر هوایی و ماهواره‌ای در مناطق خشن و ناهموار و مناطق شیب دار بسیار مهم است. این اثرات می‌تواند تفسیر و آنالیز کمی تصاویر را تحت تأثیر قرار داده و خوشه بندی و استخراج اعضای اصلی (end members) را با خطا و مشکل مواجه کند [۱۹]. روش‌های زیادی برای خنثی‌سازی اثر توپوگرافی پیشنهاد شده است که مهمترین آن‌ها عبارت است از تصحیح کسینوس (یا لامبرترین) که در مطالعات گوناگون دارای نتایج بسیار خوبی بوده است [۳، ۲۰]. روش‌های دیگری نیز همچون روش‌های ارائه شده در مراجع ۷، ۸ و ۲۱ برای تصحیح توپوگرافی استفاده شده است. تلاش‌های بسیاری برای مدل و کاهش تأثیر شیب و آزیموت منطقه بر روی داده‌ها برای تشخیص هر چه بهتر پوشش سطح زمین انجام گرفته است که اکثر این مطالعات بر روی داده‌های چند طیفی به‌منظور مطالعه‌ی اثر ناهمسانگردی توپوگرافی در انعکاس از سطح زمین است. در این راستا مطالعات کمی در رابطه با تأثیر توپوگرافی بر روی داده‌های فراطیفی انجام شده است [۲۲]. هدف از این مطالعه شرح کاربرد یکی از تکنیک‌های تصحیح توپوگرافی یعنی روش تجربی-آماري پیشنهاد شده در مرجع ۲۳ بر روی داده‌های فراطیفی غرب آذربایجان شرقی است.

۲-۱- روش تصحیح توپوگرافی

روش‌های تصحیح توپوگرافی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: گروه اول روش‌هایی که براساس نسبت بانندی هستند و نیاز به مدل ارتفاعی رقومی (DEM) ندارند. این روش‌ها بسیار ساده‌اند و نیاز به داده‌های ورودی اضافی نیست و فرض می‌شود که افزایش

یک سطح را لامبرتین فرض کنیم [۳]. در این مطالعه با استفاده از روش آماری-تجربی Tiellet تصحیح توپوگرافی انجام شد. با استفاده از روابط مربوط به آن و استفاده از شیب و آزیموت حاصل از DEM و داده‌های هایپریون منطقه مورد مطالعه، برنامه‌نویسی با برنامه‌ی IDL طبق فلوچارت ارائه شده، برای تصحیح توپوگرافی انجام شد (شکل ۹). نتایج بیانگر کاهش تفاوت‌های کاذب روشنایی در تصاویر تصحیح‌شده است که می‌تواند عاملی مهم در تفکیک هر چه بهتر اجزای اصلی تصاویر باشد.

۳ نتیجه‌گیری

پس از اعمال تصحیح توپوگرافی بر روی داده‌های فراطیفی منطقه مورد مطالعه، پروفیل‌های طیفی برای سه پیکسل مختلف در دو حالت قبل و بعد از انجام تصحیح رسم شد (جدول ۲). پروفیل‌های طیفی مذکور در شکل ۶ و ۸ در دو حالت قبل و بعد از تصحیح رسم شده است. شکل‌های ۶ و ۸ به پیکسل‌های شیبدار با آزیموت‌های مختلف اختصاص دارند و همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار انعکاس پس از تصحیح در شکل ۶ افزایش و در شکل ۸ کاهش نشان می‌دهد. براساس رابطه (۱) و نیز نتایج مشخص می‌شود که افزایش یا کاهش مقدار تصحیح‌شده به آزیموت پیکسل (جهت شیب) مرتبط است. همچنین با بررسی پروفیل طیفی برای مناطق با شیب کم یا حدود صفر ارزش عددی پیکسل برای دو حالت قبل و بعد از تصحیح تفاوت چندانی نداشت و همبستگی بالایی در دو حالت بالا نشان داد (شکل ۷). با بررسی پیکسل سوم که شیب آن ۴,۷۵ درجه است، دیده می‌شود که پروفیل طیفی در دو حالت قبل و بعد از تصحیح دارای تفاوت بسیار کمی است و در اکثر محدوده‌های طول موج دارای همپوشانی خوبی می‌باشند (شکل ۸). با توجه به نتایج، تصحیح توپوگرافی برای مناطق دارای تغییرات توپوگرافی شدید به لحاظ تفاوت روشنایی زیاد امری ضروری است. که در صورت بی‌توجهی به آن می‌تواند پردازش‌های انجام گرفته بر اساس طیف‌های ثبت شده و در نتیجه تفسیرهای حاصل را با خطای چشمگیر روبه‌رو کند.

ρ_H و K عرض از مبدا معادله رگرسیون می‌باشد که برای کل تصویر ثابت است [3].

$$\rho_T = \rho_H + m_K IL \quad (2)$$

Tiellet و همکارانش رابطه بالا را با ایجاد تغییراتی به یک رابطه آماری-تجربی تبدیل کردند که تصحیح کسینوس نامیده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شود (رابطه ۳):

$$\rho_H = \rho_T \left(\frac{\cos \theta_z + c_K}{IL + c_K} \right) \quad (3)$$

در رابطه (۳) پارامتر c_K نسبت عرض از مبدا b_K و شیب m_K است که این دو، از روابط بالا معادله خطی ρ_T در مقابل IL ، رابطه (۴) حاصل می‌شوند [۳].

$$\begin{aligned} (4) \quad \rho_T &= b_K + m_K IL \\ c_K &= \frac{b_K}{m_K} \end{aligned} \quad (5)$$

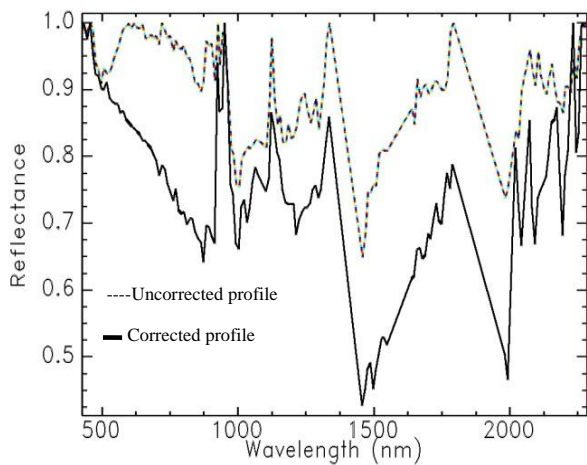
از جمله روش‌های غیرلامبرتین می‌توان به مهم‌ترین روشی که براساس نظریه‌ی Minnaert استوار است اشاره کرد که اولین بار معادله نیمه تجربی زیر را برای محاسبه‌ی زبری سطح ماه ارائه کرد (رابطه ۶).

$$\rho_H = \rho_T \left(\frac{\cos \theta_z}{IL} \right)^{K_K} \quad (6)$$

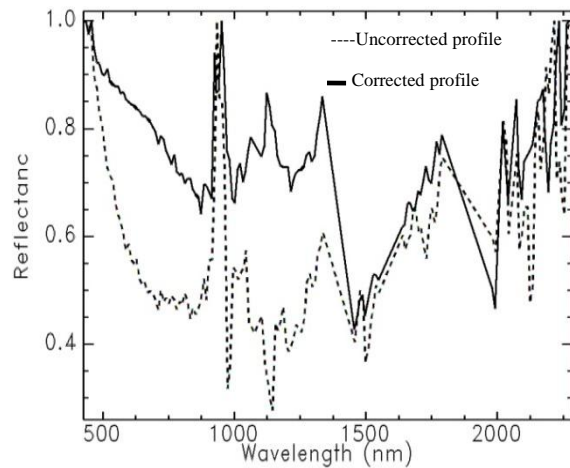
که K_K ثابت Minnaert برای باند K است. K مدل رفتار غیرلامبرتین است که اگر $K=1$ باشد سطح به صورت یک انعکاس-دهنده کامل عمل می‌کند. بدین منظور لازم است که مقدار K برای هر باند قبل از انجام تصحیح از رابطه ۷ محاسبه شود.

$$L_n(\rho_T) = L_n + K_K L_n \left(\frac{IL}{\cos \theta_z} \right) \quad (7)$$

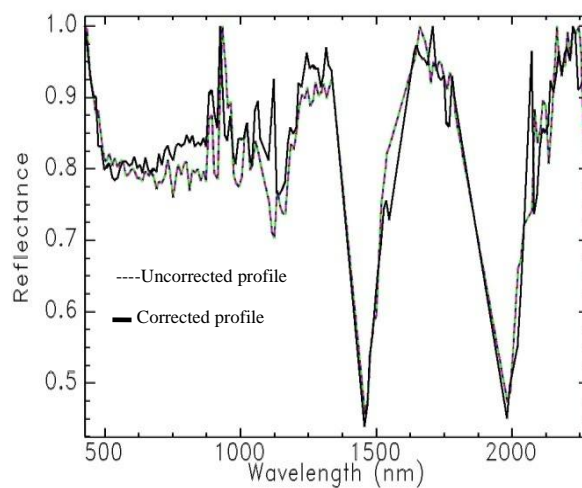
که معادله بالا از طریق حل یک رگرسیون خطی معمولی حل می‌شود. در رابطه بالا K_K و $L_n(\rho_H)$ ضرایب رگرسیون می‌باشند. در این روش مشخص کردن تابع توزیع دوطرفه انعکاس⁷ (BRDF)، که چگونگی تغییر انعکاس را برای پوشش‌ها با توجه به زاویه برخورد و مشاهدات توصیف می‌کند، مشکل است چون این تابع توزیع باید رفتار انعکاسی را در تمام زوایای برخورد ممکن توصیف کند. بنابراین بعضی اوقات بسیار آسان است که



شکل ۸: پروفیل طیفی برای پیکسل شیب‌دار (کاهش انعکاس پس از تصحیح)



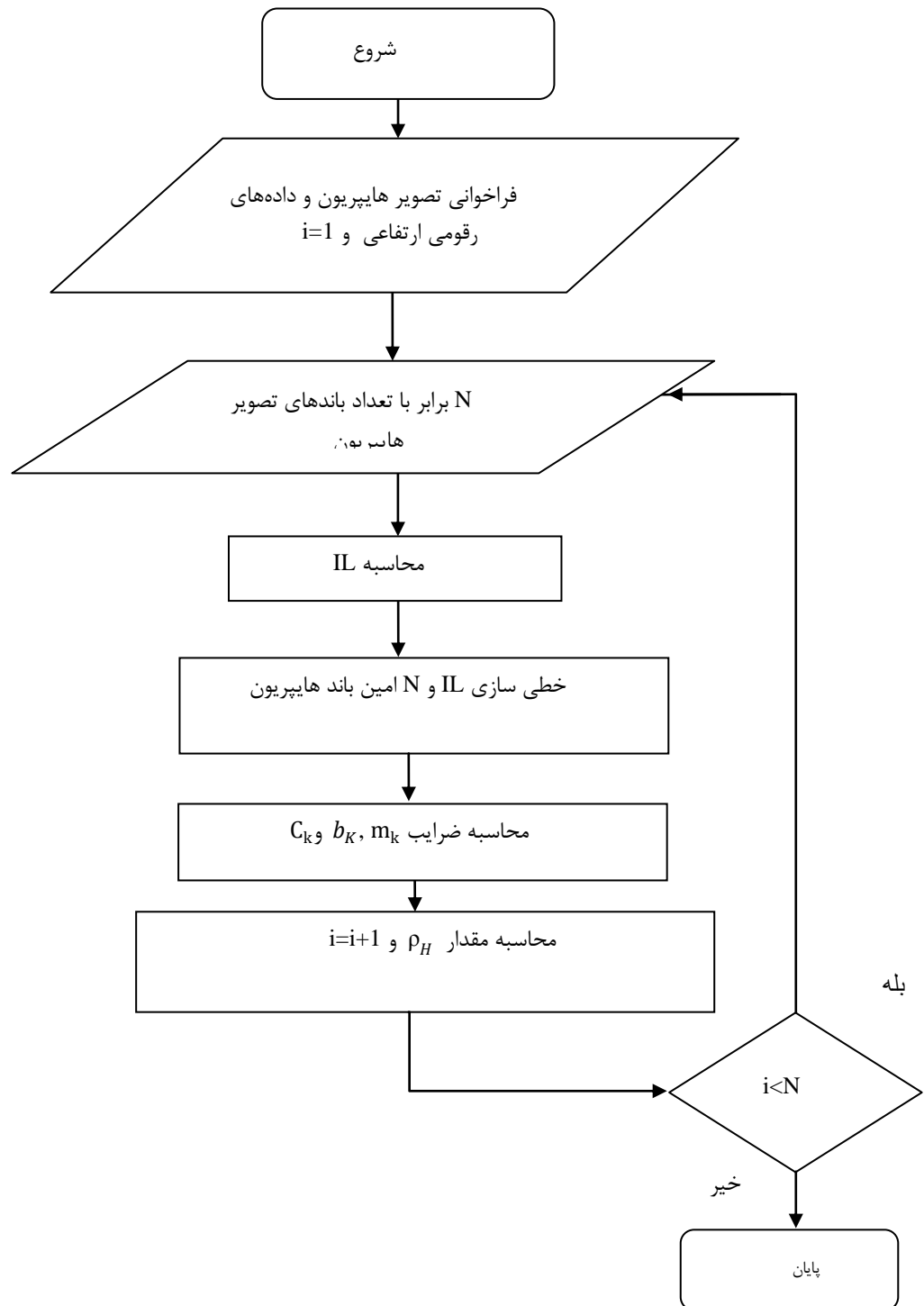
شکل ۶: پروفیل طیفی برای پیکسل شیب‌دار (افزایش انعکاس پس از تصحیح)



شکل ۷: پروفیل طیفی مرتبط با پیکسل دوم

جدول ۲: موقعیت پیکسل‌های مورد مطالعه

ویژگی پیکسل	پیکسل اول	پیکسل دوم	پیکسل سوم
مختصات پیکسل	N38 41 38.02	N38 06 8.77	N38 14 33.93
	E46 16 30.39	E46 04 43.06	E46 08 9.20
شیب پیکسل	31.37	0.25	4.75
آزیموت پیکسل	249.513	270	47.77



شکل ۹: فلوجارت تصحیح توپوگرافی داده‌های فراطیفی هایپریون غرب آذربایجان شرقی

منابع

- [1] A.A. Gowen; C.P. O'Donnell; P.J. Cullen; Downey; J.M. Frias;2007;" *Hyperspectral imaging – an emerging process analytical tool for food quality and safety control*"; Trends in Food Science & Technology 18 590e598.
- [2] Harini Nagendra ; Duccio Rocchini;2008;" High resolution satellite imagery for tropical biodiversity"; Biodivers Conserv ;17:3431–3442.
- [3] David Riaño; Emilio Chuvieco; Javier Salas; Inmaculada Aguado;2003;" *Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat-TM Data for Mapping Vegetation Types*"; IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing ;Vol.41;No.5.
- [4] Kacenjari; S. Esposito; S. Crawford; F. Lockheed Martin Corp; Philadelphia PA;2001;" *Geoscience and Remote Sensing Symposium*"; Geoscience and Remote Sensing Symposium; IGARSS '01; IEEE 2001 International
- [5] Liang,S.; 2004;" *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*"; John Wiley & Sons, Inc. New York, 534 pages p
- [6] Michael K. Griffin; Hsiao-hua K. Burke;2003;" *Compensation of Hyperspectral Data for Atmospheric Effects*"; Lincoln laboratory journal; volume 14, number 1.
- [7] P. Meyer; K.I. Itten; T. Kellenberger; S. Sandmeier; R. Sandmeier; 1993; " *radiometric corrections of topographically induced effects on landsat tm data in an alpine environment*" ISPRS J. Photogram. Remote Sens., vol. 48, pp.17–28.
- [8] S. Ekstrand; " *Landsat-TM based forest damage assessment: Correction for topographic effects*"; 1996; Photogram. Eng. Remote Sens., vol.62, pp.151–161.
- [9] J. Jansa; 1998; " *A global topographic normalization algorithm for satellite images*"; in Proc. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens; Budapest, Hungary.
- [10] R. Richter; 1997; " *Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution imagery*"; Int. J. Remote Sens; vol.18, pp.1099–1111.
- [11] م. مهرپر تو، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه سیه رود، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۹۹۷.
- [12] J. Pearlman; P. Barry; C. Segal; J. Shepanski; D. Beiso; S. Carman; 2003; " *Hyperion, a space-based imaging spectrometer*"; IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 41; 1160-1173; doi:10.1109/TGRS.2003.815018.
- [13] Jilu Feng; Benoit Rivard; Arturo Sanchez-Azofeifa; 2003;" *The topographic normalization of hyperspectral data: implications for the selection of spectral end members and lithologic mapping*"; Remote Sensing of Environment; 85(2003)221–231
- [14] T. Tokola; J. Sarkeala; M. vanderLinden; 2001; " *Use of topographic correction in Landsat TM based forest interpretation in Nepal*"; Int. J. Remote Sens; vol.22; pp.551–563.
- [15] C. Leprieur; J.M. Durand; J.L. Peyron; 1988; " *Influence of topography on forest reflectance using Landsat Thematic Mapper and digital terrain data*"; Photogramm. Eng. Remote Sens; vol.54; pp. 491–496.
- [16] C. R. Duguay; E.F. LeDrew; 1992; " *Estimating surface reflectance and albedo from Landsat-5 TM over rugged terrain*"; Photogramm. Eng. Remote Sens; vol.58 ;pp.551–558.
- [17] Gu,D.; Gillespie A; 1998;" *Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on sub pixel sun-canopy-sensor geometry*"; Remote Sensing of Environment;64,166–175.
- [18] Conese C; , Gilabert M.A.; Maselli, F.; Bottai L; 1993;" *Topographic normalization of TM scenes through the use of an atmospheric correction method and digital terrain models*"; Photogrammetric Engineering and Remote Sensing ; 59,1745–1753.
- [19] P. A. Townsend ; J. R. Foster; R. O. Green;2002;" *Terrain normalization of AVIRIS and Hyperion imagery in forested landscapes*"; Proc. 11th JPL Airborne Earth Science Workshop ; Jet Propulsion Lab.
- [20] M. Minnaert; 1941; " *The reciprocity principle in lunar photometry*"; Astrophys. J; vol.93 ;pp. 403–410,1941.
- [21] Civco D.L.; 1989;" *Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery*";

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing;
55(9): 1303-1309.

[22] Combab; Isakah; 2002; "Th eeffect of small topographic variations on reflectance"; IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing; 40: 663-670.

[23] P.M. Teillet ;B. Guindon ;D.G. Goodeonugh; 1982; "On the slope - aspect correction of multispectral scanner data" Can.J.RemoteSens;vol.8;pp.84-106.

پی نوشت :

- ¹- Interactive Data Language.
- ²- Earth Observation.
- ³- Signal to Noise.
- ⁴- Visible/near infrared.
- ⁵- Short wave infrared.
- ⁶- Suttle Radar Topography Mission.
- ⁷- Bidirectional reflectance distribution function.