

اکتشاف معادن

با تصاویر ماهواره‌ای لندست (Landsat)

چکیده

دسترس‌ی بشر به تصاویر ماهواره‌ای موجب پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در شناخت زمین و کشف منابع باارزش آن شده است. در این نوشتار به تشریح مواردی از کاربردهای این تصاویر در مطالعات زمین‌شناسی و شناسایی مناطق معدنی پرداخته می‌شود. از میان ماهواره‌های متعدد، ماهواره‌های لندست مناسب‌ترین تصاویر را برای مقاصد اکتشافی تأمین می‌کنند. این تصاویر به صورت رقومی و در چند باند طیفی مختلف تهیه و به ایستگاه زمینی ارسال می‌شود. سپس پردازشهای کامپیوتری متنوعی بر روی آن انجام و در نتیجه تصاویر گوناگونی با کاربردهای مختلف تهیه می‌شود. در این میان تصاویر باند مادون قرمز و خصوصاً تصاویر تقسیمی که از تقسیم کردن مقادیر روشنایی یک نقطه در دو باند مختلف بدست می‌آیند، کاربردهای ویژه‌ای در شناسایی ترکها، گسلها، مناطق معدنی و سایر عوارض پوسته زمین پیدا کرده‌اند.

(۱) پیشگفتار

تصاویر لندست از ماهواره‌ای که با مدار تقریباً قطبی و در ارتفاع ۹۰۷ کیلومتری حرکت می‌کند، در نوارهایی به پهنای ۱۸۵ کیلومتر برای بیشتر مناطق زمین بدست می‌آیند. لوازم تصویربرداری شامل یک جابروب چندطیفی^۱ است که انرژی خورشیدی منعکس شده از سطح زمین را در پنجره‌های طیفی زیر اندازه‌گیری می‌کند.

- MSS4، سبز، ۰/۵-۰/۶ میکرومتر؛
- MSS5، قرمز، ۰/۶-۰/۷ میکرومتر؛
- MSS6، مادون قرمز نزدیک، ۰/۷-۰/۸ میکرومتر؛
- MSS7، مادون قرمز نزدیک، ۰/۸-۱/۱ میکرومتر.

علایم الکتریکی همراه با اطلاعات تنظیمهای دستگاههای داخل ماهواره به ایستگاههای زمینی ارسال و به صورت رقومی بر روی نوارهای کامپیوتری C.C.T ثبت می‌شوند. قدرت تفکیک MSS، ۷۹ متر می‌باشد لیکن عوارض دارای امتداد خطی و یا کنتراست بالا، حتی اگر خیلی باریک‌تر از ۷۹ متر باشند همچنان قابل دریافت می‌باشند.

(۲) بهسازی تصویر^۲

بهسازی تصویر به سلسله اعمالی گفته می‌شود که هدف آن نمایش اطلاعات قابل دریافت از یک تصویر و آماده‌سازی آن برای تفسیر می‌باشد. معمولاً یک تصویر، اطلاعاتی بیشتر از آنکه در یک شکل منفرد بنمایش درآید، دربردارد، لذا بهسازی تصویر متضمن استخراج اطلاعات قابل مشاهده و نمایش آن به بهترین نحو می‌باشد. با وجود اینکه بسیاری از

کاربرد عکسهای ماهواره‌ای جهت اکتشاف معادن زیرزمینی

مترجم: مهندس حسن معصوم‌زاده (کارشناس ارشد ژئوفیزیک)

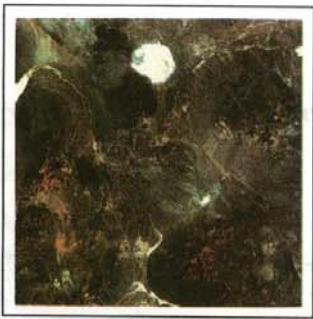
اشاره

با ورود تکنولوژی ماهواره به عرصه علوم ژئودتیک، تحوّل بزرگ در زمینه دستیابی به اطلاعات باارزش از شکل و ابعاد زمین به وجود آمده است. اگرچه از دید کارشناسان علم نقشه‌برداری استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در جهت تهیه و بازنگری نقشه‌های خطی و تماتیک بسیار کارساز و مفید باشند، اما بهره‌مندی از تصاویر ماهواره‌ای فقط منحصر به کاربردهای ژئودتیکی آنها نیست، بلکه از نقطه نظر کارشناسان علوم ژئوفیزیک، اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در زمینه شناخت ذخایر معدنی موجود در سطح و درون زمین بسیار مفید باشند.

مقاله‌ای که در ذیل ارائه شده است، گویای بخشی از کاربردهای عمده تغییر و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد که جهت کشف ذخایر معدنی موجود در معادن مس و طلای کشور برزیل بکار گرفته شده است. و باعث آشنایی بیشتر علاقه‌مندان دانش سنجش از دور به کاربردهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای در زمینه اکتشاف معادن می‌باشد، و به طور مختصر در این مقاله به آن اشاره شده است.



(a)



(b)

هر تابع دلخواه می‌باشد. در ساده‌ترین نوع تصحیح کنتراست، تابع f به صورت یک رابطه خطی است:

$$DN^1(x,y) = aDN(x,y) + b$$

ارتقاء کنتراست در بهسازی داده‌های لندست حائز اهمیت خاصی می‌باشد. چون زمان نوردهی در MSS متغیر نبوده و لذا حساسیت آن باید طوری تنظیم شود که صحنه‌هایی با درخشندگیهای بسیار متفاوت نتوانند سنجنده را به حال اشیاع درآورند. هرچند که در هر منظره دلخواه، تعداد کمی از درجات روشنایی استفاده می‌شود و لذا تصویر اولیه خیلی ملایم و کم کنتراست به نظر می‌رسد.

۲-۲) صافی کردن

یکی دیگر از پردازشهای مهم، صافی کردن می‌باشد. با حذف

مراحل بهسازی تصویر به صورت ابتدایی نیز قابل انجام می‌باشد، لیکن تصاویر رقومی دریافت شده از لندست مستقیماً توسط کامپیوتر پردازش می‌شوند.

۲-۱) تصحیح کنتراست

ساده‌ترین و مؤثرترین راه کار به منظور بهسازی تصویر، تصحیح کنتراست می‌باشد. این عمل به صورت ابتدایی با چاپ بر روی کاغذ کنتراست بالا، یا با تعدیل زمان نوردهی انجام می‌شود، در حالی که فرآیند محاسباتی معادل آن به صورت زیر بیان می‌شود:

$$DN^1(x,y) = f[DN(x,y)]$$

که در آن DN درجه روشنایی در تصویر اولیه و DN^1 درجه روشنایی در تصویر تصحیح شده و X و Y موقعیت نقطه در ماتریس تصویر و f نماینده



نگاره (۱):
تصویری از MSS7
لندست؛ بالا:
تصویر اولیه؛ وسط
پس از ارتقاء
کنتراست؛ پایین:
پس اعمال صافی
گوسی. پیکانها
امتداد یک ترک
بزرگ شرقی -
غربی را نشان
می‌دهند. طول
صحنه تقریباً ۱۸۵
کیلومتر می‌باشد.



۳) کاربرد تصاویر در اکتشافات

پیشرفتهای اخیر در بهسازی کامپیوتری تصاویر چند طیفی لندست، شناخت بهتر عوارض ساختمانی زمین و نیز ربط دادن زمینه‌های دگوسان شده^۳ به مناطق معدنی را مقدور می‌سازد. بهسازی تصاویر لندست در مطالعه جنوب کشور برزیل جالب توجه بوده است. چون زمینه‌های دگوسان شده در ارتباط با بیرون زدگی مس در آن منطقه دانسته شده و به تداوم استخراج معدن به کمک روشهای ساختمانی منجر شده است. بهسازی کامپیوتری خصوصاً ارتقاء کنتراست، یک منطقه ساختمانی ناشناخته شرقی - غربی را در تصویر پوسته پرکامبرین (Pre-cambrian) جنوب برزیل آشکار ساخته است. بریدگی اصلی شرقی - غربی در راستای یک شکستگی پوسته قاره‌ای رخ داده است که ادامه آن از یک منطقه وسیع شکستگی میان اقیانوس اطلس و در قاره آفریقا در مسیر یک امتداد زمین ساختمانی حاوی مس، طلا و قلع عبور کرده است. داده‌های ژئوفیزیکی کره زمین، نشان می‌دهد که امتداد شرقی - غربی روی نقشه در آمریکای جنوبی، نمود سطحی ساختمانی بوده که در دوره پرکامبرین در تکتونوسفر رخ داده و تاکنون حضور داشته است. در این منطقه بیرون زدگیهای متعددی از نهادهای مس، طلا و قلع استخراج شده و نشانه‌هایی از چندین معدن

تغییرات خیلی کم فرکانس در یک تصویر، می‌توان ارتقاء کنتراست شدیدتری را به تصویر حاصله اعمال کرد. این عمل نه تنها جزئیات را واضح تر می‌کند بلکه ساختارهای نسبتاً بزرگتری را آشکار می‌سازد که به علت تغییرات بازتابندگی وسیع مخفی مانده بودند. برای جلوگیری از خطای تفسیر، بهتر است که تصاویر صافی شده با جزئیات صحنه تطبیق داده شوند.

۳-۲) تقسیم کردن

و اما روشهای تقسیمی که عبارت است از تقسیم کردن مقدار پرتو در یک پنجره طیفی بر مقدار آن در پنجره دیگر، توسط بسیاری از کاوشگران به طور موفقیت‌آمیزی در مسائل زمین‌شناسی بکار برده شده است. وجود اختلاف در نمودار بازتابش طیفی سنگها و خاکهای گوناگون موجب می‌شود که تقسیم، یک وسیله کمکی برای تهیه نقشه زمین‌شناسی باشد. علاوه بر این، تقسیم می‌تواند موجب نمایش بهتر ساختمان زمین بشود، خصوصاً در مناطقی که تغییرات پوشش گیاهی از عوارض ساختمانی تبعیت می‌کنند.



نگاره (۲): تصویر
تقسیمی
در MSS4/MSS5
نیمه غربی نگاره ۱،
لکه سیاهی که با
حرف M نشان داده
شده است، به
بیرون زدگی سنگ
معدن مس مربوط
می باشد.



مناطق می شود که تضاد رنگ آنها حتی بر روی زمین نیز مشهود بوده است. پس از انجام ارتقاء کنتراست به روشهای مختلف، در مجموع، روش «ارتقاء گوسی» مفیدترین نتیجه را در پی داشت. این فرآیند، نگاشت نشاندهنده فراوانی DN را به تصویری تبدیل می کند که فراوانی طبیعی آن در خاکستری متوسط متمرکز شده باشد. با این کار تمایز بین سنگ و خاک با گیاهان کاهش می یابد در حالی که کنتراست کلی صحنه بهتر می شود. نگاره ۱ تصویر MSS7 منطقه را قبل و بعد از انجام ارتقاء گوسی نشان می دهد. در این مورد خاص تهیه تصاویر بهسازی شده برای تحلیل اجزاء ساختمان ضروری بود چون فراز خورشیدی ۵۴ (درجه)، تفکیک جزئیات پستی بلندیها را به شدت محدود می ساخت.

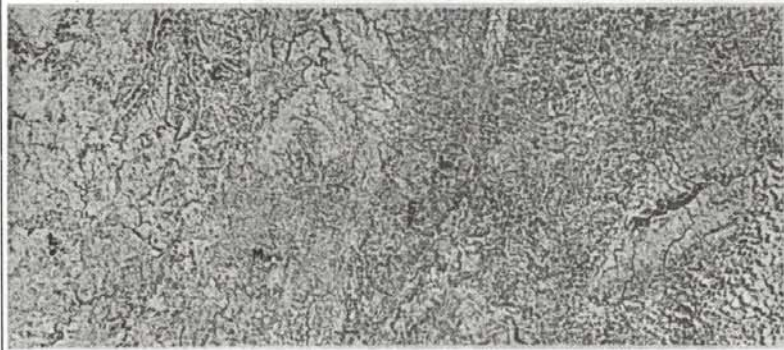
۳-۲) کاربرد صافی کردن

برای صافی کردن نیز برنامه های مختلف با فرکانس قطعیهای متفاوت، آزمایش شد. در نگاره ۱ نتیجه اعمال صافی گوسی و پس از آن ارتقاء خطی نشان داده می شود. این صافی که مؤلفه های کم فرکانس را از تصویر تقویت شده حذف می کند، تغییرات ناهنجاری در تصویر ایجاد نمی کند. لیکن موجب بهسازی بافت توپوگرافی ریز مقیاس شده و اجزاء

مهم دیگر نیز شناسایی شده است. با توجه به این ذخایر معدنی، این منطقه برای اعمال روشهای اکتشافی جدید زمین شناسی و ژئوفیزیکی مورد علاقه واقع شده است. اکتشافات انجام شده شامل مغناطیس سنجی هوایی، طیف سنجی تابش گاما، تهیه نقشه های زمین شناسی به کمک تصاویر هوایی و نمونه گیری ژئوشیمیایی بوده است. در کنار این کاوشها یک تصویر لندست، اساس تحلیلهای زمین شناسی را تشکیل می دهد. برداشت ۱۲۵۳۲ - ۱۱۰۵ در پنجم نوامبر سال ۱۹۷۲ م که تنها تصویر بدون ابر منطقه در زمان شروع این مطالعه بوده، برای پردازش کامپیوتری انتخاب شده است. این تصویر محدوده ۳۰° تا ۳۱° و ۷° عرض جنوبی و ۳۰° و ۵۴° طول غربی را پوشش می دهد.

۳-۱) کاربرد تصحیح کنتراست

در این مطالعه ارتقاء کنتراست، تصاویر بسیار مفیدی را به زمین شناسان ارائه می کند. به طوری که جزئیات عوارض ساختمانی و نیز تغییرات زمین ریزی ۴ در بطن واحدهای زمین شناسی را آشکار می سازد. صافی کردن، منظره های کمتر بهسازی شده ولی مفید را تأمین می کند. لیکن تقسیم کردن کمتر مفید واقع شده است، چون پوشش گیاهی موجب استتار



زمینریختی و نیز پوشش گیاهی به خوبی مشاهده می‌شود. دگرسانی ناشی از بیرون زدگی مس، کوچک بوده و در تصاویر بزرگ مقیاس لندست با قدرت تفکیک ۷۹ متر قابل مشاهده می‌باشند. یک مورد استثنایی مهم، رگه معدنی Camaquã می‌باشد. این منطقه بیابانی پوشیده از خاک سرخ تیره می‌باشد که احتمالاً به واسطه فرآیندهای دگرسانی، متفاوت با اطرافش بنظر می‌رسد. نگاره ۲ این منطقه را خیلی تاریک جلوه می‌دهد یعنی همان چیزی که برای خاک سرخ انتظار می‌رود. بعضی نواحی تاریک این تصویر تقسیمی، دارای چهارچوب مربعی بوده و به مزارع آماده شده با خاک سرخ مربوط می‌باشند. لکن چند منطقه کوچک خیلی تاریک حقیقتاً به مس مربوط می‌شوند. گرچه این موارد در صحرا آزموده نشده‌اند، ولی از مناطق دگرسانی خیلی کوچک بشمار می‌روند.

در نگاره ۳ تصویر رنگی کاذب دو منطقه معدنی دیگر نشان داده شده است. این تصاویر از ترکیب سه رنگ بوجود آمده‌اند که هر یک

ساختمانی غیر قابل مشاهده در تصویر اولیه را آشکار می‌کند. محصول نهایی به ویژه برای تشخیص عوارض حلقوی ناشی از ساختمان مفید واقع می‌شود.

۳-۳ کاربرد تقسیم کردن

و اما تقسیم کردن موجب حذف شدن اطلاعات درخشندگی از قبیل سایه روشن مربوط به شیب و ضد شیب می‌گردد. لذا تصاویر تقسیمی، حتی واضح‌ترین خطوط ساختمانی را هم خوب نشان نمی‌دهند. لکن می‌توانند تفاوت‌های طیفی را که به فهم ساختمان یا تفکیک نوع سنگ منجر می‌شود، آشکار کنند. این در حالی است که در صحنه برزئیل، تفاوت‌های طیفی مشخص شده در تصاویر تقسیمی، تابعی از وضعیت گیاهان بوده است که خود ناشی از پستی بلندی محل بشمار می‌رود نه نوع سنگ زیر آن. در نگاره ۲ نسبت $MSS4 / MSS5$ نشان داده شده است که در آن تغییرات



نگاره ۳:

الف) تصویر مرکب باندهای مادون قرمز لندست از یک منطقه معدنی؛

ب) تصویر تقسیمی همان منطقه، پیکانها، نهادهای مس را نشان می دهند. منطقه نارنجی در پایین C بیرون زدگی گچ می باشد؛

ج) منطقه گلدفیلد (صحرای طلا)؛

د) پیکانها دو منطقه دگرسانی را نشان می دهند. بالایی: گلدفیلد و پایینی: کوپریت.

نگاره فوق قدرت لندست را به نمایش می گذارد.

منابع

1) Terry W.O., Elsa, A.A., Alan, R.G., and Sabino, O.L., 1977, Structure mapping on enhanced Landsat images of southern Brazil, Tectonic control of mineralization and speculations on metallogeny: Geophysics, 42, 482-500.

2) Watson, K., 1985, Remote sensing - Ageophysical perspective: Geophysics, 50, 2595-2610.

پاورقی:

1) Multispectral scanner : (MSS)

2) Image enhancement

3) Altred ground

4) Geomorphic

اطلاعات یکی از باندهای لندست با نسبت دو باند آن را به نمایش می گذارند. تصاویر تقسیمی باندهای مادون قرمز می توانند در اکتشاف بیرون زدگیهای معدنی کمک شایانی بکنند. □

