

تخمین میزان کودهای ازته موجود در خاک‌های کشاورزی با استفاده از داده‌های ابرطیفی

معصومه عسگری^۱ - محمدرضا میاشری^{۲*} - محمد طالعی^۳ - محسن قمری اصل^۴ - یوسف رضایی^۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۹

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۲

چکیده

معمولاً کمبود عنصر یا عناصر غذایی در خاک بصورت کود اضافه می‌گردد. عدم وجود کود به میزان کافی ممکن است به ایجاد تنش‌هایی در گیاهان و در نتیجه کاهش محصول بیانجامد. بر طبق پژوهش‌های کشاورزی، خاک‌های شامل مقدار نیتروژن کلی ۰/۱۵-۰/۱ درصد به عنوان خاک‌های با نیتروژن نرمال در نظر گرفته می‌شود. خاک‌های با نیتروژن بیش از ۰/۱۵ درصد به عنوان خاک‌های غنی از نیتروژن می‌باشد. داشتن اطلاعات دقیق و بهنگام در این رابطه می‌تواند در بالا بردن بهره زمین‌های کشاورزی مؤثر باشد. استفاده از کارشناسان و آزمایشگاه‌ها برای اندازه‌گیری میزان کود می‌تواند بسیار پرهزینه و وقت‌گیر باشد. فناوری سنسجس‌ازدور که عموماً براساس رفتار طیفی مواد عمل می‌کند، بعضاً اطلاعات قابل قبولی را در مقیاسی بسیار وسیع تولید می‌نماید. هدف از این پژوهش، تولید الگوریتمی با استفاده از رفتار طیفی خاک‌ها برای تعیین نسبی محتوای کود در خاک‌های کشاورزی است. برای اینکار از رفتار طیفی مواد افزودنی به خاک و همچنین رفتار طیفی خاک‌های کشاورزی استفاده گردید. در این پژوهش با استفاده از رفتار طیفی نیتروژن موجود در کودهای ازته همچون نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم و همچنین طیف خاک‌های مساعد کشاورزی مانند خاک لوم شنی در محدوده فرسرخ (۲۵۰-۱۰۰۰) نانومتر، داده‌هایی شبیه‌سازی گردید. سپس خصوصیات محتوای خاک توسط یک مدل تطبیق طیفی (Spectral matching) مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی مدل حکایت از همبستگی بالا بین میزان واقعی مواد موجود در خاک و میزان برآورد شده دارد که در شرایط موجود بسیار ارزشمند است. در این پژوهش عدم قطعیت‌ها نیز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: ابرطیفی، بازتابندگی، سنسجس‌ازدور، کشاورزی، کود ازته

مقدمه

خواهد داشت (۲). برای رسیدن به محصول با کیفیت برتر و تولید بیشتر داشتن اطلاعات در مورد توزیع مکانی میزان مواد آلی و معدنی موجود در خاک و شناختن کیفیت خاک برای استفاده بهینه از زمین‌های کشاورزی لازم می‌باشد.

فن‌آوری سنسجس‌ازدور که براساس رفتار طیفی مواد کار می‌کند، می‌تواند اطلاعات قابل قبولی را در مقیاسی بسیار وسیع تولید می‌نماید. برای اینکار باید رفتار طیفی کودهای افزودنی به خاک و همچنین رفتار طیفی خاک‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند.

تاکنون تعدادی پژوهش با استفاده از داده‌های چندطیفی و ابرطیفی^۲ برای تشخیص مشخصات خاک انجام شده است. موفقیت در بررسی مشخصات خاک با استفاده از تصاویر ابرطیفی به کارایی مدل‌های ترکیبی- طیفی بستگی دارد. این مدل‌ها پارامترهای ترکیبات خاک را به بازتابندگی طیفی مرتبط می‌سازند. این روش‌ها نیاز به داده‌های آموزشی برای محدوده معینی از خاکها در شرایط

استفاده از کودهای شیمیایی به منظور ارتقاء سطح حاصلخیزی خاک از سال‌ها پیش در سطح جهانی و از ۲۶ سال پیش در ایران آغاز شده است. با اینحال اغلب در ایران این امر مهم بهنگام صورت نمی‌پذیرد و در نتیجه افزایش عملکرد مورد انتظار حاصل نمی‌شود. اغلب عدم تعادل عناصر غذایی در خاک این توهم را برای کشاورز به وجود می‌آورد که هر چه بیشتر کود شیمیایی مصرف کند، عملکرد بیشتری

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۲ و ۴- دانشیار و دانشجوی دکتری گروه مهندسی سنسجس‌ازدور، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

*- نویسنده مسئول: Email: mobasheri@kntu.ac.ir

۳- استادیار گروه GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۵- استادیار موسسه آموزش عالی آبادانی و توسعه روستاها

زبری پوشش مانده گیاهان یا محصول دچار تغییر می‌شوند. بعلاوه برآورد مشخصات خاک به دلیل اثرات رادیومتریک و جوی و قدرت - تفکیک طیفی و مکانی نیز دچار اشکال می‌شود. این عامل‌های اخلاک‌گر مانع از تعیین دقیق مشخصات خاک توسط پاسخ طیفی خاک می‌گردد. به همین دلایل مطالعات کمی درباره توانایی سنجنده‌های ابرطیفی^۶ برای تعیین مشخصات خاک انجام شده است (۸). هدف از این مطالعه، استفاده از رفتار طیفی خاک‌ها در تصاویر سنجش‌ازدور برای تعیین نسبی چگونگی توزیع کودهای مختلف است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از رفتار طیفی (در محدوده ۲۵۰۰-۱۰۰۰ نانومتر) مواد مغذی موجود در کودهای شیمیایی و همچنین طیف خاک‌های مساعد کشاورزی مانند خاک لوم شنی، داده‌هایی شبیه‌سازی گردید. تعیین مطلق این توزیع منوط به اندازه‌گیری‌های میدانی و استفاده از طیف‌سنج همزمان با برداشت تصاویر ماهواره‌ای است. این امر مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی بود که از عهده این پژوهش خارج بود. لذا در اینجا برای تولید و ارزیابی دقت الگوریتم از داده‌های شبیه‌سازی شده استفاده گردید.

یک مدل تطبیق طیفی^۷ تولید و برای تعیین نسبی توزیع کودها در خاک‌های شبیه‌سازی شده، مورد استفاده قرار گرفت. با افزودن نوبزهای مختلف (به‌منظور شبیه سازی شرایط داده‌های ماهواره‌ای) به طیف خاک‌های تولید شده، مدل را دوباره اجرا کرده و تأثیرات آن بررسی گردید. ذیلاً این روش بصورت مشروح ارائه می‌گردد.

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش جهت تولید داده‌های شبیه‌سازی شده نیاز به دو سری منحنی طیفی بود:

منحنی طیفی خاک بدون پوشش گیاهی و غیرکشاورزی منطقه منحنی طیفی کودهای شیمیایی مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی خاک لوم شنی، به دلیل دارا بودن ویژگی نگهداری آب، از نظر کشاورزی ایده‌آل است (۴). در اینجا هدف شبیه‌سازی طیفی خاک مساعد کشاورزی می‌باشد، بدین منظور از منحنی طیفی خاک لوم شنی موجود در کتابخانه طیفی^۸ USGS^۹ برای ترکیب خاک با کودهای شیمیایی بهره گرفته شد (شکل ۱).

اندازه‌گیری ویژه دارد. این امکان وجود دارد که عدم استفاده از داده‌های آموزشی منجر به برآوردهای غیرواقعی شود. تعدادی از مدل‌های برآورد توسط آقای گی و همکاران (۲) ارائه شده است. در میان این مدل‌ها، MLR^۱ (آنالیز برازش خطی چندمتغیره)، PCR^۲ و PLSR^۳ به طور رایج برای برآورد مشخصات خاک توسط داده‌های ابرطیفی استفاده می‌شود. در روش MLR از یک معادله خطی برای ایجاد همبستگی بین پارامتر مورد نظر (غلظت شیمیایی) با دو یا سه متغیر دیگر (باند‌های مختلف) استفاده شده است. تعداد باندهای استفاده شده در MLR محدود می‌باشند زیرا در صورت بالا بودن تعداد باندهای طیفی نسبت به تعداد نمونه‌ها، احتمال رخ دادن مشکلات کمبود مرتبه^۴ وجود دارد. بر عکس MLR، در دو روش PCR و PLSR از تمام طیف برای ایجاد ارتباط بین مشخصات خاک و پاسخ طیفی آن استفاده می‌شود. قبل از برازش مدل یک تحلیل چند متغیره بمنظور تعیین متغیرهای تأثیرگذار انجام می‌شود. در این فرایند طول موج‌های مهم که با متغیرهای وابسته مرتبط هستند، تعیین می‌گردد (۳).

طیف‌سنجی در محدوده فرسرخ کوتاه- مرئی^۵ در آزمایشگاه برای تشخیص مواد آلی یا کربن آلی و نیتروژن کلی خاک نتایج موفقیت‌آمیزی را نشان داده است (۱۳). آقای چانگ و همکاران (۵) از روش PCR برای تخمین کربن کل و نیتروژن کل در محدوده طیف فرسرخ نزدیک استفاده نمود و به ترتیب R^2 برابر با ۰/۸۷ و ۰/۸۵ را بدست آورد. آقای ونویس و همکاران (۱۲) از یک مدل PLSR بهینه برای تخمین کربن آلی استفاده نمود و به دقت $R^2 = ۰/۸۸$ در ارزیابی رسید. در آزمایش‌هایی که از طیف خاک‌های الک‌شده و خشک‌شده استفاده گردید بعلت اینکه رطوبت و اندازه ذرات به حداقل رسیده بودند، مدل‌های پیش‌گویی نیز پاسخ‌های مناسبی را نشان دادند. چندین پژوهشگر از محدوده طیفی فرسرخ میانی برای تعیین مواد آلی خاک و نیتروژن کلی در خاک استفاده نمودند. آقای مک-کارتی و همکاران (۹) و آقای ریوس و همکاران (۱۰) گزارش کردند که مدل PLSR در فرسرخ میانی نتایج بهتری نسبت به فرسرخ نزدیک برای تخمین کربن آلی دارد.

برای برقراری ارتباط بین شرایط ایده‌آل آزمایشگاهی، اندازه-گیری‌های میدانی و تصاویر هوایی و ماهواره‌ای مشکلات زیادی وجود دارد. این مشکلات به دلیل زبری خاک، رطوبت، روشنایی و شرایط دید سنجنده می‌باشد. شرایط سطح خاک بر روی سیگنال طیفی تصاویر اخذ شده از سطح زمین اثر می‌گذارد. بعضی از مشخصات خاک در اثر قطرات باران، بافت خاک، رطوبت خاک و

- 1- Multivariate Linear Regression
- 2- Principle Component Regression
- 3- Partial Least Square Regression

۴- رتبه یک ماتریس به معنی بعد واقعی آن بوده و بعد ماتریس نیز به معنی تعداد بردارهای ستونی مستقل خطی آن می‌باشد.

- 5- Visible-Near Infrared

6- Hyperspectral Sensor

7- Spectral Matching

8- Spectral Library

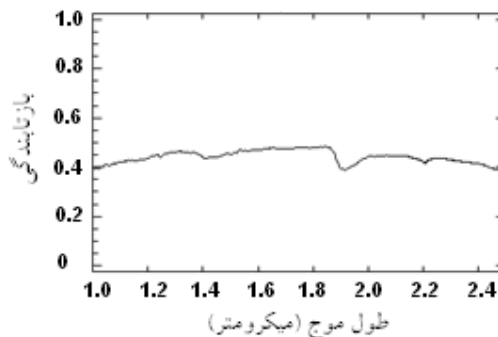
9- United States Geological Survey

می‌شود. کود نیترات آمونیوم برعکس سولفات آمونیوم اسیدزا نیست و در زمین‌های دارای اسیدیته پائین کاربرد دارد. با توجه به خاصیت قلیایی یا اسیدی خاک منطقه از این دو کود در شرایط مناسب برای برطرف نمودن کمبود ازت به خاک منطقه افزوده می‌شود (۱). کودهای شیمیایی مورد استفاده با اندازه ذرات کمتر از ۲ میلی متر با طیف‌سنجی بازتابندگی فروسرخ آنالیز شده‌اند که منحنی طیفی کودهای خالص در محدوده ۲۵۰۰-۱۰۰۰ نانومتر در شکل ۲ قابل مشاهده است (۱۱).

طیف بازتابندگی کودهای حاوی نیتروژن یک پیک عریض جذبی در محدوده ۲۲۰۰-۲۰۰۰ نانومتر دارند و بر طبق مطالعات پیشین، به دلیل پیوندهای ارتعاشی N-H این پیک در محدوده ۲۲۰۰-۱۸۰۰ نانومتر قابل مشاهده است. قابل ذکر است که باندهای جذب موجود در فروسرخ نزدیک به دلیل پیوندهای C-H و N-H و O-H می‌باشند. به طور مثال در منحنی طیفی کود نیترات آمونیوم (شکل ۲) به دلیل بالا بودن محتوای نیتروژن (۲۶ درصد) یک پیک جذبی بزرگی در طول موج ۲۱۳۰ نانومتر مشاهده می‌گردد (۱۱).

مدلسازی (روش ترکیب خطی)

زمانی که ابعاد پیکسل‌های زمینی زیاد باشد احتمال وجود چند نوع ماده در یک پیکسل بسیار بالاست. بدین معنی که منحنی طیفی آن پیکسل ترکیبی از منحنی‌های طیفی چند نوع ماده خواهد بود که به آن منحنی طیفی ترکیبی^۱ گویند.



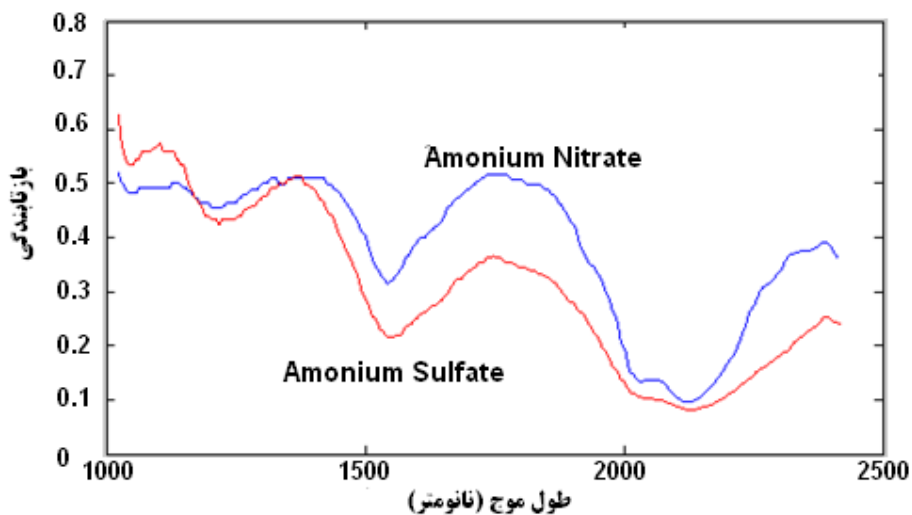
شکل ۱- منحنی طیفی خاک لوم شنی

در این پژوهش از کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار با درصدهای متفاوت ازت (جدول ۱) برای شبیه‌سازی خاک‌های کوددار استفاده گردید.

جدول ۱- کودهای شیمیایی و مشخصات آنها

| نام کود | فرمول شیمیایی | درصد کود |
|----------------|----------------|----------|
| نیترات آمونیوم | NH_4NO_3 | ۲۶٪ ازت |
| سولفات آمونیوم | $(NH_4)_2SO_4$ | ۲۱٪ ازت |

سولفات آمونیوم به عنوان بهترین کود ازتی برای خاک‌های قلیایی و آهکی ایران شناخته شده است (۱). سولفات آمونیوم اسیدزا و دارای مقداری گوگرد است که یک عنصر غذایی است. این کود از نظر قیمت یکی از گران‌ترین کودهای ازتی است اما با این حال به علت مزایایی که دارد مقدار قابل توجهی از آن در ایران مصرف



شکل ۲- طیف بازتابندگی کودهای شیمیایی استفاده شده در این پژوهش (۱۱)

خطی استفاده شده است. زیرا از کودهایی استفاده شده است که محلول در آب هستند. در نتیجه با جرم خاک عجین شده و کاملاً یکنواخت در خاک حل شده‌اند و رفتارشان فارغ از هندسه دانه‌بندی می‌باشد، از این لحاظ رفتار خطی قابل قبول خواهد بود. در ترکیب خطی بردار طیفی شبیه‌سازی شده $r \in R^L$ ، به صورت رابطه زیر داده شده است.

$$r_{L \times 1} = x_{L \times 1} + n_{L \times 1} \quad (1)$$

که x و n بردارهایی L بعدی‌اند که به ترتیب نمایانگر سیگنال و نویز هستند. علاوه بر این، فرض بر این است که بردارهای سیگنالی را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$x_{L \times 1} = M_{L \times p} S_{p \times 1} \quad (2)$$

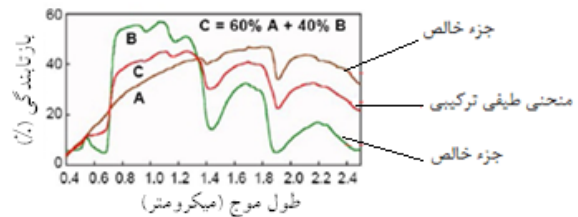
M یک ماتریس کامل از مرتبه $L \times P$ بعدی است. L تعداد باندهای داده‌های ابرطیفی و p تعداد اجزاء خالص موجود در آن است. بنابر مدل ترکیب خطی $M = [m_1, m_2, \dots, m_p]$ نشان‌دهنده طیف اجزاء خالص بوده و S نیز بردار مقادیر فراوانی هر یک از اجزاء خالص می‌باشد. به جهت معنادار کردن رابطه از نقطه نظر ریاضی باید مقادیر فراوانی نامنفی بوده و از طرفی مجموع آن‌ها نیز برابر یک باشد (۶).

به منظور تولید بانک طیفی، منحنی طیفی خاک منطقه با منحنی-طیفی هر یک از کودها با درصدهای متفاوت توسط مدل خطی ترکیب شد. با توجه به اینکه منحنی طیفی خاک منطقه و کودهای مورد استفاده در محیط آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده است، میزان نویز صفر در نظر گرفته می‌شود. مجموعه این منحنی‌های طیفی شبیه‌سازی شده به عنوان بانک طیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که بانک طیفی باید شامل مقادیر صفر نیز برای هر یک از کودها باشد، زیرا ممکن است زمینی شامل هر دو کود نباشد و فقط یکی از این کودها را بمنظور تزریق از ته به خاک اضافه کرده باشند، تا در برآورد به اجبار کود به طیف خاک تحمیل نشود. قابل ذکر است، بانک طیفی تمامی خاک‌های کوددار با دقت 0.02 درصد برای میزان کود را شامل می‌شود. زمانیکه کمترین مقدار خاک لوم شنی در بانک طیفی 60 درصد است شامل 20215 منحنی طیفی خاک حاوی کود می‌باشد.

تطبیق طیفی

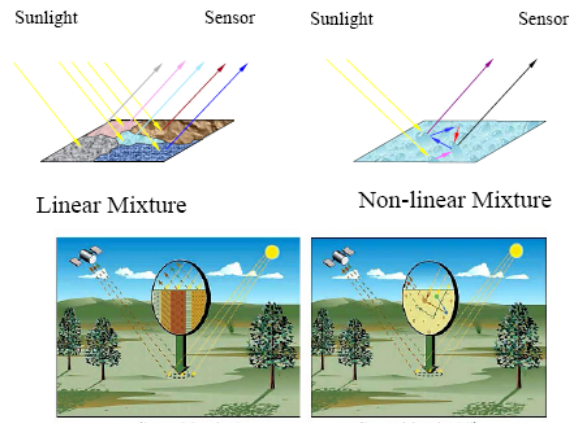
برای تخمین درصد مواد خاک کشاورزی روش تطبیق طیفی ارائه گردید. بدین ترتیب که منحنی طیفی خاک با مقادیر مجهول کود با منحنی‌های موجود در بانک طیفی برآزش داده می‌شود. برای تناظر یابی از روش کمترین مربعات استفاده شد. اصول کار بدین

به منحنی طیفی خالص یک ماده منحنی طیفی جزء خالص^۱ گویند. در شکل ۳ منحنی طیفی ترکیبی از دو ماده را در یک پیکسل نشان داده است.



شکل ۳- منحنی طیفی ترکیبی

مدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی منحنی طیفی ترکیبی به دو صورت خطی و غیرخطی می‌باشد که هر یک تفسیر متفاوتی از چگونگی تعامل بین اشعه فرودی و سطح برخورد را در نظر می‌گیرند (شکل ۴).



شکل ۴- مدل‌های فیزیکی اختلاط خطی و غیرخطی (۶)

در مدل‌های غیرخطی هر فوتون با چند ماده بر روی زمین برخورد دارد در حالی که در مدل‌های خطی فرض بر این است که هر فوتون تنها با یک ماده بر روی زمین برخورد کرده و بازتابندگی حاصل برای هر پیکسل یک برابند خطی از منحنی‌های بازتاب طیفی تمام اجزاء خالص موجود در آن پیکسل می‌باشد که وزن هر جزء خالص متناسب با سطحی است که توسط آن جزء از پیکسل اشغال شده است (۶).

در این پژوهش برای تولید داده‌های شبیه‌سازی شده از مدل

پارامتر C', B' بر طبق رابطه ۴ محاسبه می‌گردد. منحنی طیفی مجهول با منحنی طیفی بانک تطبیق داده می‌شود که طبق رابطه ۵ بیشترین همبستگی را با آن داشته باشد. در این صورت میزان کودهای موجود در خاکی که طیف مزبور از آن تهیه شده است، برابر با میزان کودهای متعلق به طیف موجود در بانک طیفی خواهد بود که بهترین برازش را دارد.

$$\vec{P} = C \times \vec{S} + B, \quad \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 & 1 \\ s_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ s_N & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C \\ B \end{bmatrix}, \quad L = AX, \quad X = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (3)$$

$$\vec{S} = C' \times \vec{P} + B', \quad \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 & 1 \\ p_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ p_N & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C' \\ B' \end{bmatrix}, \quad L' = A'X', \quad X' = ((A')^T A')^{-1} (A')^T L' \quad (4)$$

۰/۰۱ تا ۰/۱ در نظر گرفته شد، یعنی ۱ تا ۱۰ درصد مقدار کل مواد تشکیل دهنده خاک‌های تولیدی از موادی تشکیل شده که در بانک طیفی نبودند. مدل دوباره اجرا گردید و تأثیرات آن بررسی گردید.

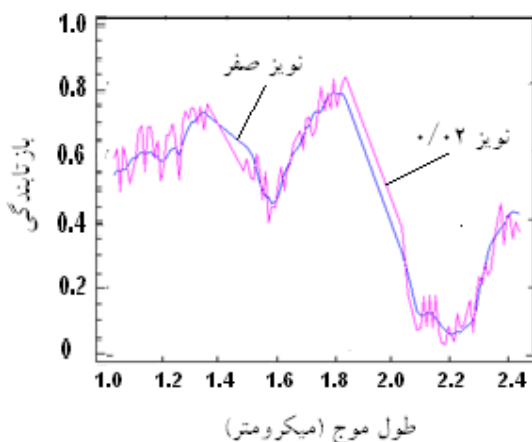
$$Fitness = (CC')^{1/2} \quad (5)$$

نتایج و بحث

به منظور ارزیابی کارایی مدل ارائه شده از خاک‌های شبیه‌سازی شده استفاده گردید. خاک‌ها ترکیبی از منحنی طیفی خاک منطقه و کودهای مورد استفاده با مقادیر اتفاقی است.

نویز موجود در این کار شامل اثرات جوی و نیز موادی که در خاک در نظر گرفته نشده، می‌باشد. برای شبیه‌سازی شرایط داده‌های ماهواره‌ای به منحنی طیفی خاک‌های ارزیابی نویز با درصد‌های متفاوت ۰/۰۱ تا ۰/۱ اضافه نموده، مدل را دوباره اجرا و تأثیرات آن بررسی گردید. فرض بر این است که نویز n از نوع یکنواخت برای هر باند می‌باشد. به طور مثال برای اضافه نمودن نویز ۰/۰۲ به داده‌ها، ابتدا یکسری اعداد اتفاقی به تعداد باندهای موجود (در محدوده ۰/۰۲ تا ۰/۰۲-) تولید کرده و در معادله ۱ به جای n گذاشته و با مقادیر x جمع گردید (شکل ۵).

همچنین به منظور شبیه‌سازی موادی که در خاک وجود داشتند اما در بانک طیفی در نظر گرفته نشده‌اند، از خاک‌های شبیه‌سازی شده‌ای استفاده گردید که شامل ترکیبی از منحنی طیفی خاک منطقه، کودها و نیز منحنی طیفی مواد در نظر گرفته نشده در بانک می‌باشند. فرض بر این است که مقادیر بازتابندگی برای مواد در نظر گرفته نشده در بانک، یکسری اعداد اتفاقی با توزیع یکنواخت برای هر باند بین ۱- تا ۱ می‌باشد. مقادیر فراوانی این مواد در تولید خاک‌های کشاورزی بین



شکل ۵- اضافه نمودن نویز به منحنی طیفی یک نمونه دارای ۳۶/۹۵ درصد کود نیترات آمونیوم

به منظور ارزیابی نتایج از RMSE (معادله ۶) استفاده شده است. بدین صورت که بین منحنی طیفی ۱۰۰ نمونه خاک با درصد‌های اتفاقی از کودهای شیمیایی و منحنی‌های طیفی موجود در کتابخانه، برازش انجام شده است و بین مقادیر فراوانی کودها در منحنی طیفی

خاک‌ها با دقت بسیار خوبی امکان پذیر است. کود سولفات آمونیوم به نسبت نیترات آمونیوم با افزایش نویز دارای RMSE پائین تری می باشد. دلیل آن وجود تعداد پیک‌های جذبی بیشتر در ناحیه فروسرخ در این کود است که مدل نیز بر مبنای شکل طیف و باندهای جذبی طراحی شده است که حتی با مختل کردن منحنی طیفی خاک تولیدی توسط نویز نیز روش ارائه شده کارایی خود را حفظ کرده است. مقدار خاک لوم‌شنی در هر دو سری خاک تولیدی با دقت تقریباً یکسانی برآورد شده است. این نتایج ثابت می کند که مدل ارائه شده کاملاً متأثر از شکل طیف هر یک از مواد می باشد.

نتایج شبیه‌سازی موادی که در خاک وجود داشتند اما در بانک طیفی در نظر گرفته نشده‌اند.

RMSE بین مقادیر برآورد شده توسط مدل و مقادیر واقعی شبیه‌سازی شده خاک‌های دارای کود نیترات آمونیوم در جدول ۴ و نتایج خاک‌های دارای کود سولفات آمونیوم در جدول ۵ ارائه شده است. در اینجا از خاک‌های شبیه‌سازی شده‌ای استفاده گردید که شامل ترکیبی از منحنی طیفی خاک منطقه، کودها و نیز منحنی طیفی مواد در نظر گرفته نشده در بانک می باشد.

نمونه و منحنی طیفی بهینه متناظر با آن در بانک طیفی RMSE محاسبه گردید.

$$Rmse = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (6)$$

محاسبه RMSE برای برآورد کود مورد نظر در کل نمونه‌ها توسط رابطه ۶ به دست آمده است. به طوریکه y_i : مقدار فراوانی کود در نمونه i ام، \hat{y}_i : مقدار فراوانی کود طیف موجود در بانک طیفی متناظر با نمونه i ام n : تعداد نمونه‌ها در نظر گرفته شود.

نتایج برای شبیه‌سازی شرایط داده‌های ماهواره‌ای

RMSE بین مقادیر برآورد شده توسط مدل و مقادیر واقعی شبیه‌سازی شده خاک‌های دارای کود نیترات آمونیوم در جدول ۲ و نتایج خاک‌های دارای کود سولفات آمونیوم در جدول ۳ ارائه شده است. در اینجا داده‌هایی که بمنظور شبیه‌سازی شرایط داده‌های ماهواره‌ای به منحنی طیفی خاک‌های ارزیابی نویز با درصدی متفاوت ۰/۱ تا ۰/۱ اضافه شد، استفاده گردیده است.

همانطور که از نتایج مشهود است برآورد دو کود مورد نظر در

جدول ۲- RMSE مدل برای نیترات آمونیوم با اعمال نویزهای مختلف (g/100g)

| نویز (درصد) | ۰ | ± ۰/۰۱ | ± ۰/۰۲ | ± ۰/۰۳ | ± ۰/۰۴ | ± ۰/۰۵ | ± ۰/۰۶ | ± ۰/۰۷ | ± ۰/۰۸ | ± ۰/۰۹ | ± ۰/۱ |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| RMSE خاک | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۵۱ | ۰/۱۸۵ | ۰/۲۹۱ | ۰/۳۳۷ | ۰/۳۶۴ | ۰/۴۴۳ | ۰/۵۰۶ | ۰/۵۹۲ | ۰/۶۸۱ | ۰/۷۷۳ |
| لوم شنی | | | | | | | | | | | |
| RMSE نیترات آمونیوم | ۰/۱۹۲ | ۰/۳۵۳ | ۰/۵۰۰ | ۰/۸۴۰ | ۱/۰۲۸ | ۱/۲۱۵ | ۱/۴۸۳ | ۱/۷۶۸ | ۱/۹۶۲ | ۲/۲۵۱ | ۲/۴۷۱ |

جدول ۳- RMSE مدل برای سولفات آمونیوم با اعمال نویزهای مختلف (g/100g)

| نویز (درصد) | ۰ | ± ۰/۰۱ | ± ۰/۰۲ | ± ۰/۰۳ | ± ۰/۰۴ | ± ۰/۰۵ | ± ۰/۰۶ | ± ۰/۰۷ | ± ۰/۰۸ | ± ۰/۰۹ | ± ۰/۱ |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| RMSE خاک | ۰/۱۳۳ | ۰/۱۵۷ | ۰/۱۹۲ | ۰/۲۷۳ | ۰/۳۲۶ | ۰/۳۶۸ | ۰/۴۱۴ | ۰/۴۸۸ | ۰/۵۵۵ | ۰/۶۰۶ | ۰/۶۷۲ |
| لوم شنی | | | | | | | | | | | |
| RMSE سولفات آمونیوم | ۰/۱۶۰ | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۹۴ | ۰/۲۷۱ | ۰/۳۲۵ | ۰/۳۶۵ | ۰/۴۱۴ | ۰/۴۸۸ | ۰/۵۵۵ | ۰/۶۰۶ | ۰/۶۷۲ |

جدول ۴- RMSE مدل برای نیترات آمونیوم با اعمال نویزهای مختلف (g/100g)

| درصد مواد ناشناخته | ۰ | ± ۰/۰۱ | ± ۰/۰۲ | ± ۰/۰۳ | ± ۰/۰۴ | ± ۰/۰۵ | ± ۰/۰۶ | ± ۰/۰۷ | ± ۰/۰۸ | ± ۰/۰۹ | ± ۰/۱ |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| RMSE خاک | ۰/۱۳۴ | ۰/۱۸۱ | ۱/۶۲۱ | ۲/۴۱۵ | ۳/۲۴۱ | ۴/۰۵۵ | ۴/۸۶۷ | ۵/۶۶۵ | ۶/۵۰ | ۷/۳۱۵ | ۸/۱۵۰ |
| لوم شنی | | | | | | | | | | | |
| RMSE نیترات آمونیوم | ۰/۱۹۲ | ۰/۱۸۳ | ۰/۲۱۴ | ۰/۲۳۱ | ۰/۳۱۷ | ۰/۳۴۴ | ۰/۳۸۷ | ۰/۴۴۸ | ۰/۵۰۵ | ۰/۵۶۷ | ۰/۶۶۶ |

جدول ۵- RMSE مدل برای سولفات آمونیوم با اعمال نویزهای مختلف (g/100g)

| درصد مواد ناشناخته | ۰ | ± ۰/۰۱ | ± ۰/۰۲ | ± ۰/۰۳ | ± ۰/۰۴ | ± ۰/۰۵ | ± ۰/۰۶ | ± ۰/۰۷ | ± ۰/۰۸ | ± ۰/۰۹ | ± ۰/۱ |
|-----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| RMSE خاک | ۰/۱۳۳ | ۰/۷۸۲ | ۱/۵۸۴ | ۲/۳۶۱ | ۳/۱۵۱ | ۳/۹۴۱ | ۴/۷۶۰ | ۵/۵۶۴ | ۶/۳۳۷ | ۷/۱۳۵ | ۷/۹۶۴ |
| لوم شنی RMSE سولفات آمونیوم | ۰/۱۶۰ | ۰/۲۳۳ | ۰/۴۴۵ | ۰/۶۵۹ | ۰/۸۸۱ | ۱/۰۸۷ | ۱/۲۶۶ | ۱/۴۵۸ | ۱/۶۹۲ | ۱/۸۹۵ | ۲/۰۶۵ |

در خاکها را برآورد می‌کند.

نتایج نشان می‌دهد که موادی که در تولید بانک طیفی در نظر گرفته نشده‌اند، بر روی برآورد مواد تشکیل دهنده خاک تأثیر بسیار زیادی می‌گذارد. بنابراین باید بانک طیفی با آگاهی از شرایط منطقه و تمام مواد موجود در آن ساخته شود تا نتایج بهتری گرفته شود. در نهایت نتایج کارایی استفاده از بازتابندگی مواد و کودها برای داشتن اطلاعات در مورد توزیع مکانی میزان مواد آلی و معدنی موجود در خاکها و شناختن کیفیت خاک برای استفاده بهینه از زمین‌های کشاورزی را اثبات می‌کند.

مدل را می‌توان برای پی بردن به میزان کودهای شیمیایی موجود در خاک کشاورزی با استفاده از تصاویر ابرطیفی نیز استفاده نمود. برای کارایی بهتر مدل بهتر است از ترکیب منحنی طیفی اخذ شده از خاک تصویر منطقه که کشاورزی در آن صورت نگرفته و کودهای مختلف برای تولید بانک طیفی استفاده گردد تا مدل برای آشکارسازی مواد موجود در خاک منطقه نتایج واقعی‌تری دهد. همچنین در آینده برای تعیین مشخصه‌های خاک می‌توان از داده‌های ابرطیفی ماهواره‌ای قابل اخذ توسط EnMAP (ماهواره ابرطیفی آلمانی در ۲۰۱۲) استفاده کرد.

همانطور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد مواد ناشناخته در خاک‌های ارزیابی دقت کاهش می‌یابد، زیرا درصد فراوانی کود و خاک کمتر شده، در نتیجه عمق جذبی این دو در طیف خاک تولیدی کمتر می‌شود. با این شرایط مدل با دقت کمتری بهترین برآورد را در بانک طیفی برای طیف خاک ناشناخته پیدا می‌کند. با این حال همانطور که از نتایج مشهود است برآورد دو کود مورد نظر با دقت خوبی امکان‌پذیر است. برآورد نیترات آمونیوم به نسبت سولفات آمونیوم حتی با افزایش درصد مواد ناشناخته با دقت بهتری صورت گرفته و دلیل آن را می‌توان عمیق‌تر بودن جذب در محدوده ۲۲۰۰-۲۰۰۰ فرسرخ دانست.

نتیجه‌گیری

پیک‌های جذبی عمیق در ناحیه فرسرخ در دو کود نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم به دلیل پیوندهای ارتعاشی N-H در محدوده ۲۲۰۰-۱۸۰۰ نانومتر قابل مشاهده است. مدل نیز بر مبنای باندهای جذبی و شکل طیف طراحی شده است. نتایج حاصل کارایی روش تطبیق طیفی را نشان می‌دهد. هر چه احتمال وجود پیک‌های جذبی عمیق‌تر و بیشتر باشد، روش با دقت بیشتری درصد مواد موجود

منابع

- ۱- سالاردینی ع. ۱۳۸۵. کتاب حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- شهبابی ع. ۱۳۷۴. تعیین معادل کود فسفر در خاک‌های آهکی با مقادیر مختلف رس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- عباسی م. ۱۳۸۸. بررسی مشخصه‌های طیفی برگ گونه‌های راش، ممرز، توسکا، بلوط و انجیلی با استفاده از طیف‌سنج زمینی، رساله دکترا، رشته جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی پردیس.
- ۴- غضبان ف. ۱۳۸۵. کتاب زمین‌شناسی زیست‌محیطی، انتشارات دانشگاه تهران.
- 5- Chang C.W., Laird D.A., Mausbach M.J., and Hurburgh C.R. 2001. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy—Principal Components Regression Analyses of Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 6: 480-490.
- 6- Chang., Chein-I. 2003. *Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification*. Springer, pp400.
- 7- Ge Y., Thomasson J.A., and Sui R. 2006. Remote Sensing of Soil Properties in Precision Agriculture: A Review. 2006 ASABE Annual International Meeting No. 061176. Portland, Oregon.
- 8- Gomez C., Viscarra Rossel R.A., McBratney A.B. 2008. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis – INR spectroscopy—an Australian case study. *Geoderma* 146 , 403-411.

- 9- McCarty G.W., Reeves J.B., Reeves V.B., Follett R.F., Kimble J.M. 2002. Mid-infrared and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy for Soil Carbon Measurement. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 66(2): 640-646.
- 10- Reeves J.B., McCarty G.W., and Reeves V.B. 2001. Mid-infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy for the Quantitative Analysis of Agricultural Soils. *J. Agr. Food Chem.*, 49(2): 766-772.
- 11- Sen I. 2003. Spectroscopic Determination of Major Nutrients (N,P,K) of Soil, Dissertation of MS, Food Engineering, İzmir Institute of Technology İzmir, Turkey.
- 12- Van Waas C., Mestdagh I., Lootens P., and Carlier L. 2005. Possibilities of near infrared reflectance spectroscopy for the prediction of organic carbon concentrations in grassland soils. *J. Agr. Sci.*, 143: 487-492.
- 13- Zheng B. 2008. Using Satellite Hyperspectral Imagery to Map Soil Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus, Dissertation of MS, Department of Earth Sciences, Indiana University.



Estimation of the Nitrogenized Fertilizer Content of the Agricultural Soil Using Hyperspectral Data

M. Asgari¹- M.R. Mobasheri^{2*} - M. Taleai³- M. Ghamary Asl⁴- Y. Rezaei⁵

Received:30-11-2010

Accepted:4-7-2011

Abstract

The amount of needed fertilizer in agricultural soils depends to the type of crop. Absence of enough fertilizer may cause in tensions in plants and consequently result in decrease in amount of product. According to the agricultural literature, soils containing total nitrogen amounts (N %) between 0.1-0.15 percent are considered as soils containing normal amounts of nitrogen. The values greater than 0.15% indicate rich amounts of nitrogen in soils. Accurate and timely information in this respect can be effective in increasing agriculture land gain. Applying experts and laboratories for measuring the amount of fertilizer can be time consuming and expensive. Remote Sensing technology, performing based on spectral behavior, sometimes produces acceptable data in large scale. To this end, spectral behavior of added material and agricultural soils should be used. In this study some data have been simulated by using a. spectral behavior of embedded nitrogen in soils containing nitrogen such as: Ammonium Nitrate (26% nitrogen), and Ammonium Sulfate (21% nitrogen), and b. spectrum of suitable soils for agriculture such as Sandy Loam soil between 1000 to 2500 nm. Then a regression model was produced and used. Evaluation of model shows the more than 80% correlation between real amount of materials in soil and measured amount which in present condition is valuable. In this paper infinities also were discussed and considered.

Keywords: Hyperspectral, Remote Sensing, Agriculture, Nitrogenized Fertilizer

1- MSc Photogrammetry, National Cartography Center

2,4-Associate Professor and PhD Student, Department of Remote Sensing Engineering, Faculty of K.N.Toosi University of Technology

(*-Corresponding Author Email: mobasheri@kntu.ac.ir)

3- Assistant Professor of GIS Department, Faculty of K.N.Toosi University of Technology

5- Assistant Professor, Toseaeye va Abadaniye Roostaha Institute of Higher Education