

## تخمین میزان نیتروژن در گیاه سویا با استفاده از سنجش از دور

فاطمه شکی - کارشناس ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشگاه شهید بهشتی  
فرانسواز برنارد\* - دانشیار گروه علوم زیستی، دانشگاه شهید بهشتی  
روشنک درویش‌زاده - استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
عبدالحمید دشتی آهنگر - کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۸/۱۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۲۰

### چکیده

غلظت شیمیایی مواد در برگ گیاهان، مهم‌ترین عامل آشکار کننده شرایط زیست‌شناختی آنها است. از بین عناصر شیمیایی برگی مختلف، نیتروژن یکی از عناصر مهم و اصلی در فتوسنتز و وضعیت تغذیه‌ای گیاه است. به‌طور سنتی، مقدار نیتروژن برگ در آزمایشگاه با استفاده از روش‌های شیمیایی تعیین می‌شود. مطالعات نشان داده که فناوری سنجش از دور، روش نوینی را برای جایگزینی روش‌های شیمیایی پیچیده، زمان‌بر و هزینه‌بر در برآورد نیتروژن گیاهان مناطق جغرافیایی گسترده پیشنهاد می‌کند. هدف این پژوهش، برآورد مقدار نیتروژن تاج پوشش گیاه سویا در منطقه جغرافیایی گسترده و با استفاده از روش‌های سنجش از دور است. در این مطالعه از تصویر سنجنده TM ماهواره LANDSAT استفاده شده است که این تصاویر همزمان با تاریخ عملیات میدانی دریافت شد. عملیات میدانی در روزهای پانزدهم تا نوزدهم مرداد ماه سال ۱۳۸۹ در ناحیه شمال ایران - گرگان انجام گرفت. پنجاه پلات  $30 \times 30$  مترمربعی به‌صورت تصادفی انتخاب شد و در هر یک، چهار تا هفت زیرپلات یک متر مربعی با توجه به همگنی محصول برگزیده شد. از هر زیرپلات سی برگ از قسمت‌های مختلف تاج پوشش بریده و پس از انتقال به آزمایشگاه با استفاده از روش پرسولفات، غلظت نیتروژن گیاه اندازه‌گیری شد. در هر زیرپلات درصد پوشش گیاه نیز اندازه‌گیری شد. درصد پوشش حاصل در میزان نیتروژن اندازه‌گیری شده در سطح برگ ضرب و در نتیجه مقدار نیتروژن تاج پوشش (CNC) گیاه به‌دست آمد. رگرسیون مقدار نیتروژن تاج پوشش در مقابل شاخص گیاهی اختلاف نرمال شده (NDVI)، شاخص سبزیگی (GI)، شاخص گیاهی تعدیل شده با خاک (SAVI2) و شاخص (GRI) ترسیم شد و با استفاده از روش اعتبارسنجی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص GI رابطه نزدیکی با CNC دارد ( $RMSE = 1/0.22$ ) و از آن می‌توان در تخمین مقادیر نیتروژن در گیاهان استفاده کرد. ( $R^2 = 0/6488$ )

کلیدواژه‌ها: نیتروژن، روش پرسولفات، شاخص‌های کشاورزی دقیق، سویا، سنجنده TM

## مقدمه

لوبیای روغنی یا سویا، گیاهی یک‌ساله از تیره Fabaceae است که به‌صورت بوته‌ای استوار و به‌نسبت پُربُرج رشد می‌کند. در حال حاضر سطح زیرکشت سویا در ایران در حدود ۷۴۴۶۱ هکتار و تولید آن در حدود ۵۰۵۱۶۷ تن است (دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۸). به‌طور کلی تاریخ کاشت سویا متناسب با عرض جغرافیایی محل و نوع واریته است. واریته‌های زودرس ممکن است کمی دیرتر از واریته‌های دیررس کاشته شوند، ولی در هر صورت پس از گذشتن اولین ماه بعد از یخبندان، می‌توان به کشت اقدام کرد. مراحل رشد این گیاه شامل مرحله رشد رویشی، گلدهی، ایجاد غلاف و پُرشدن غلاف‌ها از دانه‌های سویا و درنهایت، رسیدن غلاف‌ها همزمان با زرد شدن و ریزش برگ‌ها است. اسیدهای چرب ضروری روغن سویا بیش از دانه‌های روغنی دیگر در میان روغن‌های نباتی دارای مقام برجسته‌ای است. پس از روغن کنسی از دانه سویا، کنجاله‌ای به‌جای می‌ماند که حاوی ۴۲-۴۰ درصد پروتئین مرغوب است. این کنجاله در تغذیه طیور و پرورش دام اهمیت بسزایی دارد.

نیتروژن از نظر کمی مهم‌ترین عنصری است که گیاهان از خاک کسب می‌کنند (پانگفو لوهین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). این عنصر یکی از مهم‌ترین مواد مغذی ماکرو بوده و نقش اساسی را در رشد رویشی، گلدهی و نمو میوه بازی می‌کند (شاهان و همکاران، ۱۹۹۹). نیتروژن در تولید پروتئین و کلروفیل ضروری بوده و کمبود آن، سبب کاهش در مقدار کلروفیل شده و در نتیجه مقدار کم کلروفیل نیز به‌طور مستقیم، کاهش پتانسیل فتوسنتزی گیاه را به‌دنبال دارد (ریچاردسن و همکاران، ۲۰۰۲). گیاهان به‌طور معمول نیتروژن مورد نیاز خود را به شکل نترات ( $NO_3^-$ ) از خاک کسب می‌کنند. مقدار زیادی از نترات که توسط کودها به محصولات اضافه می‌شود، از خاک شسته شده و به اعماق می‌رود. افزودن کود نیتروژن بیش از نیاز گیاه، علاوه بر اینکه سبب زیان‌های اقتصادی برای کشاورزان می‌شود، به‌دلیل تحرک بسیار زیاد یون‌های نترات، به آبهای سطحی و زیرزمینی وارد شده و سبب آلوده‌سازی رودخانه‌ها و آبهای جاری می‌شود (لیاقت و بالازانرام، ۲۰۱۰). بنابراین برآورد میزان نیتروژن در بسیاری از مطالعات کشاورزی و بوم‌شناختی اهمیت زیادی دارد.

تاکنون در آزمایشگاه‌ها روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری برآورد غلظت نیتروژن تاج پوشش گیاه<sup>۲</sup> (CNC) به‌کار گرفته شده است. بسیاری از این روش‌ها هزینه‌بر بوده و مهم‌تر اینکه سبب آلودگی‌های بسیار زیاد محیطی می‌شوند. تجزیه نیتروژن به‌روش‌های دumas و کجدال که از روش‌های معمول آزمایشگاهی هستند نیز، هزینه‌بر بوده و نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی ویژه‌ای دارد (پورسلو کینگ، ۱۹۹۶). روش کجدال شامل هضم کامل مواد گیاهی در اسید سولفوریک غلیظ ( $H_2SO_4$ ) در حضور یک کاتالیست فلزی و در دماهای بالا است. نیتروژن کل گیاه تبدیل به آمونیوم شده که توسط تیتراسیون تعیین می‌شود. در این روش به‌میزان زیادی ضایعات سمی تولید می‌شود که سبب ایجاد خطرات محیطی و آزمایشگاهی بسیار می‌شود. علاوه بر آن، هضم نمونه‌های متعدد وقت‌گیر بوده و نیاز به هضم‌کننده‌های گران‌بها و هودهای آزمایشگاهی مقاوم به مواد شیمیایی دارد (بیلباتو و همکاران، ۱۹۹۹). روش دیگر در تعیین نیتروژن

1. Paungfoo-Lonhienne

2. Canopy Nitrogen Content

کل مواد، روش دوماس است. در این روش مواد گیاهی سوخته و حجم گاز نیتروژن آزاد شده از نمونه‌ها، در تعیین نیتروژن کل گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از بدی‌های استفاده از روش دوماس، هزینه بالای تجهیزات آن است. هم‌اکنون از روش‌های دیگری مانند روش پرسولفات<sup>۱</sup> (پورسل و کینگ، ۱۹۹۶). در تجزیه نیتروژن استفاده می‌شود. روش پرسولفات برخلاف روش‌های نام‌برده دیگر، مواد سمی زیادی تولید نکرده و نیاز به تجهیزات بسیار کمی دارد.

اگرچه روش‌های آزمایشگاهی روش‌های دقیقی هستند، اما مشکل عمده همه این روش‌ها این است که در مجموع وقت‌گیر و هزینه‌بر هستند، تحت شرایط آزمایشگاهی خاصی انجام می‌شوند و نمونه‌برداری‌ها به صورت تخریبی با جدا کردن گیاه یا برگ‌های آن انجام می‌گیرد. علاوه بر آن، روش‌هایی نقطه‌ای بوده و نمی‌توانند در برآورد میزان نیتروژن در سطوح گسترده به کار روند.

در مقابل، روش‌های مبتنی بر سنجش از دور روش‌های غیرتخریبی، با قابلیت تکرار در طول زمان و به صورت گسترده در مکان در سطح پیکسل‌های سنجنده‌های مختلف هستند. سنجش از دور در ناحیه بازتابی<sup>۲</sup> (مرئی و مادون قرمز نزدیک)، منبعی مناسب برای استخراج اطلاعات پوشش گیاهی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف شمرده می‌شوند. در مطالعات مختلفی نیتروژن به‌طور مستقیم و غیر مستقیم (ارتباط نیتروژن با کلروفیل و وزن خشک) با استفاده از سنجش از دور برآورد شده است (ایردل و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوتوا و همکاران، ۲۰۱۲). بیشتر این مطالعات بر پایه استفاده از داده‌ها و تصاویر ابرطیفی<sup>۳</sup> هستند (وسمن، ۱۹۹۲؛ مارتین و همکاران، ۱۹۹۸). در این مطالعات به‌طور عمده برای برآورد شاخص‌ها و عناصر مختلف گیاهی از روش‌های آماری استفاده شده است (سرانو و همکاران، ۲۰۰۲؛ هانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ موتانگا و اسکیدمور، ۲۰۰۴؛ اسکیدمور و همکاران، ۲۰۱۰؛ میشل و همکاران، ۲۰۱۲). اگرچه نتایج به‌دست آمده با استفاده از تصاویر ابرطیفی معنادار هستند، اما مشکلاتی چون، هزینه زیاد آنها، دسترسی محدود و محدودیت‌های فنی (مانند هم خطی بین باندها)، استفاده از این تصاویر را محدود می‌کند (زنجیا و همکاران، ۲۰۱۳). نیتروژن با استفاده از تصاویر چند طیفی در مطالعات مختلف با موفقیت برآورد شده است (هنسن و اسجورینگ، ۲۰۰۳؛ زنجیا و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از روش‌هایی که به‌طور معمول در برآورد خواص بیوشیمیایی مواد در گیاهان با استفاده از داده‌های سنجش از دوری مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از شاخص‌های گیاهی است. شاخص‌های گیاهی برگردان‌های ریاضی باندهای سنجنده‌ها هستند که برای ارزیابی توزیع مکانی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چند طیفی طراحی شده‌اند (تیلینگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ پری و همکاران، ۲۰۱۲). شاخص‌های زیادی در برآورد پارامترهای مربوط به کشاورزی مانند نیتروژن توسعه یافته‌اند (لمیر و همکاران، ۲۰۰۸). و در بسیاری از پژوهش‌ها این شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفته و با نیتروژن اندازه‌گیری شده از طریق روش‌های مختلف شیمیایی در آزمایشگاه مقایسه شده‌اند (ایتل و لانگ، ۲۰۰۸؛ لی و همکاران، ۲۰۰۸).

1. Persulfate  
2. Optical remote sensing  
3. Hyper spectral

هدف از این پژوهش، برآورد مقدار نیتروژن گیاه سویا در سطح تاج پوشش گیاهی است. اهمیت محصول سویا از دیدگاه اقتصادی و تأمین امنیت غذایی کشور، موجب شد تا این محصول برای مطالعه برگزیده شود. با توجه به اینکه در آزمایشگاه، روش شیمیایی پرسولفات برای اندازه‌گیری نیتروژن گیاه سویا به‌ندرت به کار برده شده و مهم‌تر اینکه تاکنون این روش برای مقایسه بین میزان نیتروژن اندازه‌گیری شده به‌روش شیمیایی در گیاه سویا و میزان نیتروژن برآورد شده با استفاده از داده‌های حاصل از تصویر ماهواره‌ای Landsat مورد استفاده قرار نگرفته است، بنابراین تلاش شده که در این مطالعه از روش پرسولفات و تصویر سنجنده TM ماهواره لندست استفاده شود. از این رو، در آزمایشگاه با استفاده از روش پرسولفات، مقدار نیتروژن کل گیاه اندازه‌گیری شده و سپس در درصد تاج پوشش گیاه ضرب شد، در نتیجه مقادیر نیتروژن تاج پوشش حساب شده و در درجه‌بندی شاخص‌های گیاهی مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### گستره مورد مطالعه و نمونه‌برداری

مطالعات میدانی در روزهای پانزدهم تا نوزدهم مرداد ماه سال ۱۳۸۹ در منطقه گرگان (۵۴ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی) در شمال ایران انجام شد. این منطقه با مساحت تقریبی پنج کیلومتر مربع از شمال به دشت ترکمن و از جنوب به رشته‌کوه‌های البرز محدود شده است. پوشش گیاهی غالب در این منطقه برنج و سویا است. سویا نیازمند کود و زمین‌های رسی - سنی و اقلیم‌های گرمسیری است. این گیاه از نظر اقتصادی اهمیت زیادی دارد، به‌ویژه کنگاله آن که حاوی ۴۲-۴۰ درصد پروتئین مرغوب است. در مزارع مورد مطالعه، کاشت بذرها گیاه در روزهای دهم تا دوازدهم خرداد ماه انجام شده است. در این مزارع، برای تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه، از کود اوره، قبل از فرا رسیدن زمان گلدهی گیاه استفاده شده است. این نوع کود به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار مورد نیاز بوده که با عملیات کودپاشی به‌دست کودکار ردیفی به مزارع سویا اضافه شده است.

اندازه‌گیری میدانی همزمان با دریافت داده‌های سنجش از دور انجام پذیرفت، پنجاه نقطه به‌طور تصادفی روی کل منطقه مورد مطالعه برای برداشت انتخاب شد (شکل شماره ۱) و مختصات نقاط مورد نظر با استفاده از GPS با دقت حدود سه تا هفت متر (Garmin Oregon-550)، مرکز پلات در نظر گرفته شد. از نظر آماری در فرایند ایجاد و توسعه یک مدل، دست‌کم تعداد چهل و پنج نمونه مورد نیاز است. از این تعداد، پانزده نمونه برای اعتبارسنجی داده‌ها و تعداد سی نمونه نیز، برای واسنجی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش پیش رو، برای کسب اطمینان از تعداد پنجاه نمونه در قالب پلات‌های ۳۰×۳۰ متر مربعی استفاده شده است. از آنجا که روش نمونه‌برداری تصادفی برتری بالاتری نسبت به روش‌های دیگر نمونه‌برداری دارد، در این پژوهش از این روش نمونه‌برداری استفاده شده است. برای برداشت پارامترهای مطلوب در هر پلات ۳۰×۳۰ متر مربعی با توجه به همگونی آنها، چهار تا هفت زیرپلات یک متر مربعی انتخاب شدند. در مجموع دویست نمونه گیاهی که شامل برگ‌های هر زیر پلات بود به آزمایشگاه منتقل شدند و در نهایت میانگین پلات‌های برداشتی یک مترمربعی، به‌عنوان میزان پارامتر مطلوب در هر پلات ۳۰×۳۰ متر مربعی در نظر گرفته شدند.

از آنجایی که ممکن است پیکسل تصویر به طور دقیق با نقطه نمونه برداری شده هماهنگ نباشد، روی تصویر فیلتر میانگین اعمال شد. برای کاهش اثر تأثیر همسایگی در بازتاب، سعی شد تا نقاط نمونه تا حد امکان دور از ساختمان‌ها و مرز مزارع انتخاب شود.

در برآورد میزان نیتروژن در سطح تاج پوشش (مقدار نیتروژن تاج پوشش)، داشتن مقادیر درصد تاج پوشش گیاه ضروری است. درصد تاج پوشش گیاه سویا به روش پلات زنی و با استفاده از کوادرت‌های یک متر مربعی به دست آمده است. در این روش از کوادرت‌های مربع شکل استفاده شد که اضلاع آن به قطعات ۲۰ سانتی متری تقسیم شده است و در هر مترمربع ۲۵ مربع کوچک با اضلاع بیست سانتی متر دارد. پلات‌ها در قسمت‌های مختلف مزرعه و به صورت تصادفی پرتاب شد. سپس در هر پلات با توجه به تراکم پوشش گیاهی، درصد تاج پوشش در یک متر مربع از مزرعه برآورد شد. بنابراین با داشتن مقادیر درصد تاج پوشش در هر زیرپلات یک مترمربعی، می‌توان میانگین درصد تاج پوشش در یک پلات را تخمین زد.



شکل ۱. تصویر منطقه و نقاط نمونه برداری شده

### داده تصویری

سنجندة TM ماهواره لندست در باندهای آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی و حرارتی اطلاعات را جمع‌آوری می‌کند (جدول شماره ۱). تصویر پهنه مطالعاتی در ۱۸ مرداد ماه ۱۳۸۹، همزمان با تاریخ انجام عملیات میدانی دریافت شد. تصحیح اتمسفری توسط ماژول FLAASH در نرم‌افزار ENVI4.7 انجام شد. FLAASH بر پایه مدل

اتمسفری MODTRAN (متیو و همکاران، ۲۰۰۰) است. در جدول شماره ۲، ورودی‌های مدل FLAASH و همچنین چگونگی تعیین آنها آمده است. خروجی FLAASH مقادیر بازتابندگی تصحیح شده از اثرات اتمسفری است. تصحیح هندسی نیز توسط چند جمله‌ای‌های درجه یک با استفاده از GPS- Garmin Oregon 550<sup>۱</sup> و نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه، تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری کشور انجام شد. بدین منظور، تعداد هفده نقطه به صورت پراکنده در تمام تصویر انتخاب شد و سپس با استفاده از معادله‌های پلی نومیال درجه یک با دقت ۰/۱۸ پیکسل و روش نمونه‌برداری نزدیکترین همسایه، بازنویسی<sup>۲</sup> شد.

جدول ۱. مشخصات سنجنده TM ماهواره لندست

Number of bands	7
Wavelength	Band 1 : 0.45 to 0.52 micrometers Band 2 : 0.52 to 0.60 micrometers Band 3 : 0.63 to 0.69 micrometers Band 4 : 0.76 to 0.90 micrometers Band 5: 1.55 to 1.75 micrometers Band 6: 10.4 to 12.5 micrometers Band 7: 2.08 to 2.35 micrometers
Spatial resolution	30 meter (6:120 meter)
Swath width	185 kilometer
Recurrent period	16 day
Pointing angle	0
Date of image	2010/08/09
Hour of image	10:30

جدول ۲. ورودی‌های مدل FLAASH برای انجام تصحیحات اتمسفری

نوع پارامتر ورودی	مقدار و نوع	نحوه تعیین
تصویر ورودی	رادینس	استفاده از Gain و Offset تصویر
مشخصات سنجنده و منطقه	-----	از header فایل همراه تصویر به دست آمد
مدل اتمسفری	Mid-Latitude Summer <sup>۳</sup>	بر اساس عرض جغرافیایی و میانگین دما تعیین شد
ستون آب	۱ (g/cm <sup>2</sup> )	بر اساس مدل اتمسفری از جدول استاندارد FLAASH استخراج شد
مدل هواویزه	بدون هواویزه	بر اساس جدول استاندارد FLAASH انتخاب شد
میدان دید	۴۰ (km)	از ایستگاه هواشناسی منطقه گرفته شد
نسبت اختلاط CO <sub>2</sub>	۳۹۰ (ppm)	مرور مقاله‌ها
مدل پخش	Disort	بر اساس راهنمای MODTRAN

1. Garmin Oregon 550

2. Resample

۳. مدل اتمسفر تابستان عرض‌های میانی

## تجزیه شیمیایی نیتروژن

نمونه‌های بافت رویشی سویا (برگ) پس از جمع‌آوری، در پاکت‌های کاغذی بسته‌بندی و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد (در آن) به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته تا اینکه خشک شده و وزن آنها ثابت شوند. پس از گذشت یک هفته کار تجزیه نمونه‌ها و اندازه‌گیری نیتروژن در آزمایشگاه انجام شد. در این پژوهش از روش توصیف شده پورسل و کینگ (۱۹۹۶) برای اندازه‌گیری مقادیر نیتروژن استفاده شده است. روش پرسولفات روی بافت رویشی سویا نیز مورد آزمایش قرار گرفت. بر اساس این روش، ۷/۵ گرم پتاسیم پرسولفات ( $K_2S_2O_8$ ) همراه با ۳/۲ گرم هیدروکسید سدیم ( $NaOH$ )، توسط آب دوبار یونیزه شده به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود. سپس ۸۰ میلی‌گرم از پودر خشک شده حاصل از برگ گیاه سویا با محلول حاصل ترکیب شده و به لوله آزمایش دردار مقاوم به حرارت بالا انتقال داده شده و درون زودپز<sup>۱</sup> به مدت یک ساعت و نیم در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود. در این مرحله، نیتروژن کل موجود در بافت گیاهی تبدیل به نترات ( $NO_3^-$ ) می‌شود. پس از پایان انجام کار و قرارگیری نمونه‌ها به مدت یک شبانه‌روز در دمای آزمایشگاه، با استفاده از روش استاندارد توصیف شده میر (۲۰۰۸)، یک میلی‌لیتر از محلول حاصل را برداشته و سپس به آن ۱۰۰ میکرولیتر از محلول سولفانیل آمید و دو میلی‌لیتر از  $HCl$  (۳۷٪) اضافه می‌شود. محلول حاصل را در حمام بن‌ماری به مدت سه دقیقه در آب در حال جوش قرار داده می‌شود. پس از اینکه محلول در دمای اتاق سرد شد، ۲۰۰ میکرولیتر معرف NEDA به آن اضافه می‌شود در این مرحله ظهور رنگ قرمز در نمونه‌ها مشاهده خواهد شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه جذب آنها در طول موج ۵۴۰ نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (UV-1601 PC, SHIMADZU) خوانده شد.

در این روش از منحنی استاندارد  $KNO_3$  استفاده شده است. مقدار ۳۶۱ میلی‌گرم پتاسیم نترات را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه، به اضافه ۰/۲ میلی‌لیتر کلروفرم حل کرده و سپس غلظت‌های مختلفی از نترات پتاسیم ( $1, 3, 5, 10 \mu g/l$ )، ۱، ۰/۵) تهیه شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب این غلظت‌ها در طول موج ۵۴۰ نانومتر خوانده شدند و منحنی استاندارد مورد نظر رسم شد که در این مرحله گرادسانی از رنگ قرمز قابل مشاهده بود (میر، ۲۰۰۸).

## برآورد نیتروژن با استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای

### تعیین شاخص گیاهی

در این مطالعه از چهار شاخص گیاهی استفاده شده است (جدول ۳) که عبارتند از: شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال شده (NDVI)<sup>۲</sup>، شاخص سبزی‌نگی (GI)<sup>۳</sup>، شاخص گیاهی تعدیل شده با خاک (SAVI2)<sup>۴</sup> و شاخص (GRI)<sup>۵</sup>.

1. Autoclave
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Green Index
4. Second Soil Adjusted Vegetation Index
5. Green Ratio Index

شاخص‌های مورد استفاده در مطالعات گوناگون دیگر نشان داده است که دارای همبستگی بهتری با شاخص‌های بیوشیمیایی (مانند نیتروژن و کلروفیل) هستند (درویش زاده و همکاران، ۲۰۰۸؛ پری و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول ۳. شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در این پژوهش

شاخص	رابطه	منبع
NDVI	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$	(Rouse et al., 1974)
GI	$GI = \frac{R_{NIR}}{R_{Green}} + 1$	(Gitelson et al., 2005)
SAVI2	$SAVI2 = \frac{R_{NIR}}{R_{RED} + \frac{b}{a}}$	(Major et al., 1990)
GRI	$GRI = \frac{GI + RI}{2}$	(Gitelson et al., 2005)

یکی از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های گیاهی، شاخص NDVI است. این شاخص را نخستین بار رز و همکاران در سال ۱۹۷۴ برای اندازه‌گیری میزان بایومس سبز ارائه کردند. این شاخص از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (رز و همکاران، ۱۹۷۴):

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad \text{رابطه ۱}$$

که  $R_{RED}$  بازتاب در ناحیه قرمز و  $R_{NIR}$  بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک است. این شاخص میزان بازتاب در نواحی قرمز و مادون قرمز نزدیک را به شاخص‌های گیاهی، مانند شاخص سطح برگ و مجموع میزان کلروفیل تاج پوشش مرتبط می‌کند. شاخص مورد استفاده دیگر، شاخص GI است. تفاوت شاخص GI با شاخص NDVI در داشتن باند سبز به جای باند قرمز است. این شاخص در کل برای برآورد میزان کلروفیل توسعه داده شده است (گیتلسن و همکاران، ۲۰۰۵).

$$GI = \frac{R_{NIR}}{R_{Green}} + 1 \quad \text{رابطه ۲}$$

شاخص SAVI2 از دسته شاخص‌های کاهش‌دهنده اثرهای خاک است. مهم‌ترین هدف برای ایجاد این شاخص، حذف یا کاهش اثرهای بازتاب خاک زمینه در هنگامی است که میزان پوشش گیاهی کم بوده و مقدار بازتاب هر پیکسل، ترکیبی از بازتاب گیاه و خاک زمینه موجود در آن پیکسل باشد. این شاخص را ماژور و همکاران در سال ۱۹۹۰ ارائه کردند که از رابطه شماره ۳ به دست می‌آید (ماژور و همکاران، ۱۹۹۹؛ لیانگ، ۲۰۰۴).

$$SAVI2 = \frac{R_{NIR}}{R_{RED} + \frac{b}{a}} \quad \text{رابطه ۳}$$

برای محاسبه این شاخص، خط خاک مورد نیاز است. روش محاسبه خط خاک بدین صورت است که پیکسل‌های خاک لخت، از طریق برداشت زمینی، یا در صورت آشنایی به منطقه از داده‌های سنجش از دور استخراج می‌شود. سپس



رابطه‌ای خطی بین بازتاب این پیکسل‌ها در دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک برقرار شده که خط خاک با خاک‌های تیره‌تر و با بازتاب کم در مادون قرمز نزدیک و قرمز شروع شده و به سمت خاک‌های با روشن‌تر با بازتاب بیشتر در این دو باند ادامه پیدا می‌کند. آنگاه مقادیر شیب خط و عرض از مبدا به‌دست آمده از آن، به‌عنوان ورودی به شاخص SAVI2 داده می‌شود، اما از آنجا که پیکسل‌های مربوط به خاک لخت در منطقه مطالعاتی وجود نداشت، بنابراین از روابط تجربی موجود در این زمینه استفاده شد. پیش از این بارت و همکاران (۱۹۸۷) پژوهشی را در این زمینه برای خاک‌های مختلف، با میزان رطوبت، همواری و ناهمواری متفاوت انجام داده‌اند و مقادیر شیب خط و عرض از مبدا آنها را محاسبه کردند. بنابراین در این پژوهش نیز از مقادیر شیب و عرض از مبدا خاک‌های نوع رسی با سطح هموار و نوع مرطوب که نزدیکترین خاک به منطقه مطالعاتی است، استفاده شد و به‌ترتیب مقادیر ۱/۰۲ و ۰/۰۳۶ برای آنها در نظر گرفته شد (بارت و همکاران، ۱۹۸۷).

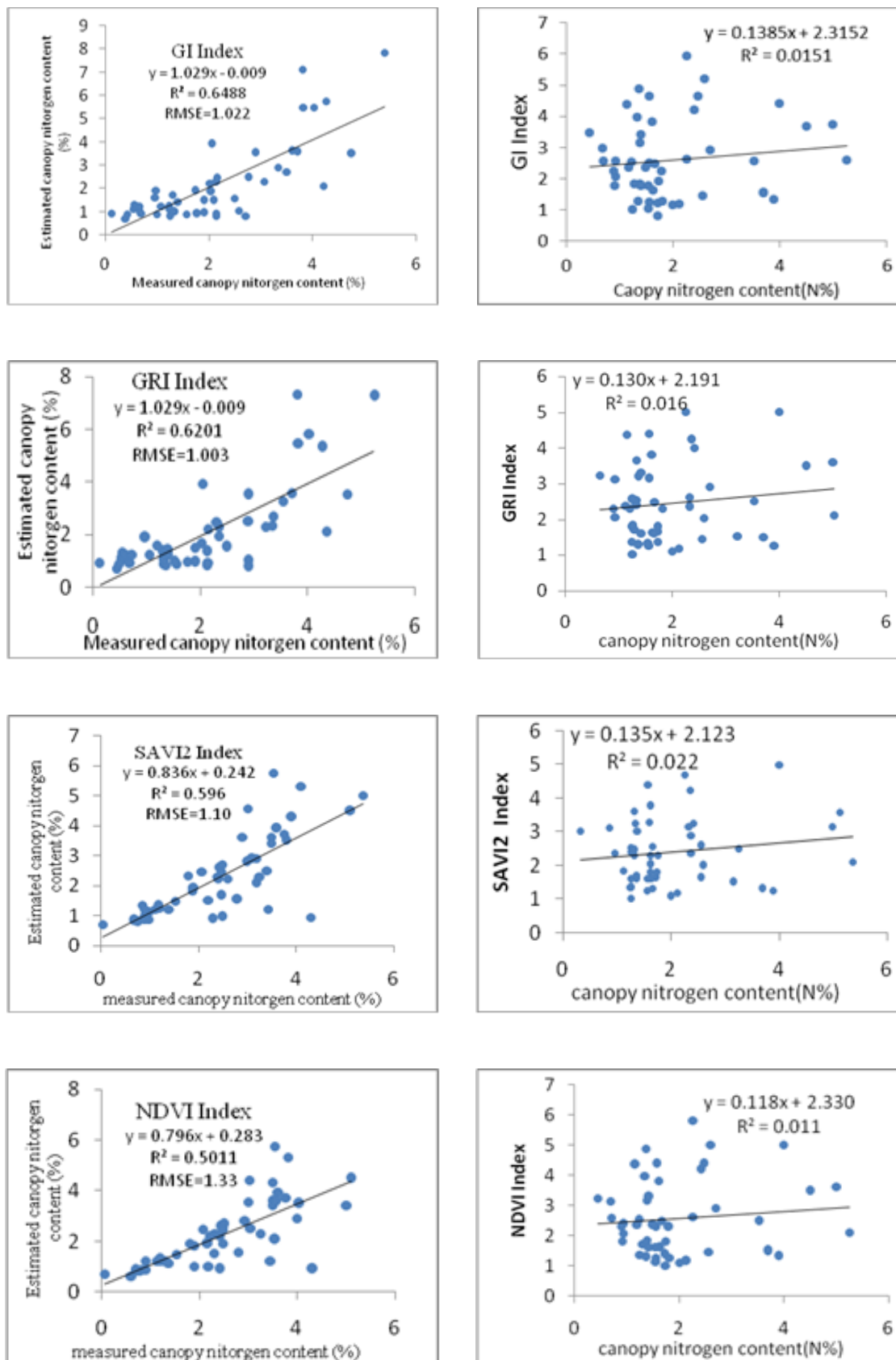
شاخص دیگر شاخص GRI است. این شاخص را گیتلسن و همکاران در سال ۲۰۰۵ ارائه کردند. شاخص GRI شاخصی است که حالت بینابینی داشته و میانگین دو شاخص GI و RI است (گیتلسن و همکاران، ۲۰۰۵).

$$GRI = \frac{GI + RI}{2} \quad \text{رابطه ۴}$$

برای کسب اطمینان از عدم تأثیر انتخاب تصادفی داده‌ها، روش اعتبارسنجی جایگزینی مدل LOOCV<sup>۱</sup> به‌منظور برآورد درصد پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های گیاهی به‌کار گرفته شد. این امر در نرم‌افزار متلب (AB 2009) انجام گرفت. فرایند این روش این‌گونه است که در هر مرحله، بر اساس n-1 عدد داده‌ی برداشت شده و مقادیر متناظر آن به‌ازای هر شاخص، یک رابطه رگرسیونی محاسبه می‌شود و بر اساس رابطه محاسبه شده، مقدار درصد پوشش گیاهی برای یک نقطه‌ای که وارد مدل نشده است محاسبه می‌شود. این عمل به‌اندازه‌ی n بار تکرار می‌شود تا مقادیر تخمینی به‌ازای هر شاخص، برای هر نقطه محاسبه شود (درویش زاده و همکاران، ۲۰۱۱). در نهایت، براساس مقادیر واقعی و مقادیر برآوردشده، میزان R<sup>2</sup> و RMSE به‌ازای هر شاخص به‌دست می‌آید.

## یافته‌های پژوهش

دراصل برآورد متغیرهای مختلف گیاهی در سطح برگ با استفاده از روش‌های مختلف سنجش از دور در مطالعات مختلف با قطعیت زیادی همراه نبوده است (کوران و همکاران، ۱۹۹۲؛ ویز و همکاران، ۲۰۰۰؛ درویش زاده و همکاران، ۲۰۰۸a). همچنین ثابت شده است که تأثیر شاخص‌های ساختاری (مانند سطح برگ) بسیار بیشتر از تأثیر شاخص‌های بیوشیمیایی برگ (مانند نیتروژن یا کلروفیل) در بازتابندگی است. شکل شماره ۲ ارتباط نیتروژن را در سطح برگ (N%) و سطح تاج پوش گیاه (% Canopy × N) با شاخص‌های گیاهی به کار برده نشان می‌دهد.



شکل ۲. ارتباط نیتروژن در سطح تاج پوشش (سمت راست) و در سطح برگ (سمت چپ) با شاخص‌های گیاهی

رابطه بین مقادیر نیتروژن گیاه سویا در سطح تاج پوشش با این شاخص‌ها رابطه‌ای معنادار است، درحالی‌که با مقادیر نیتروژن به‌دست آمده در سطح برگ هیچ رابطه معناداری را نشان نمی‌دهد. علت این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که نیتروژن اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، نیتروژنی است که در سطح برگ اندازه‌گیری شده است، در صورتی که بازتاب به‌دست آمده، بازتاب کل تاج پوشش گیاه است و این بازتاب فقط مربوط به برگ گیاه نبوده و علاوه بر برگ، خاک و بخش‌های مختلف گیاهی را نیز دربرمی‌گیرد.

از آنجا که در روش اعتبارسنجی جایگزینی مورد استفاده در این پژوهش (LOOCV) میزان اثر انتخاب تصادفی نمونه‌ها به حداقل می‌رسد، می‌توان نتایج مدل اعتبارسنجی جایگزینی را مبنایی برای ارزیابی نتایج شاخص‌ها مورد استفاده قرار داد. نتایج حاصل از شاخص‌های گیاهی نشان می‌دهد که از بین چهار شاخص مورد استفاده، شاخص GI ضریب همبستگی بالاتری در این روش دارد. در شکل شماره ۲، همبستگی بین CNC اندازه‌گیری شده و برآورد شده در شاخص‌های NDVI، GI، SAVI2 و GRI نشان داده شده است. ارزیابی و برآورد دقت حاصل، ما را در میزان ثبات رابطه به‌دست آمده مطمئن می‌کند. تفاوت شاخص GI با شاخص NDVI در این بوده که در شاخص GI از باند سبز به جای باند قرمز استفاده شده است. یکی دیگر از ویژگی‌های این شاخص که آن را از شاخص‌های دیگر جدا می‌کند، اینکه این شاخص فقط برای برآورد میزان کلروفیل طراحی شده است، در حالی که غالب شاخص‌های موجود، شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی، توده‌دار و شاخص‌های دیگر پوشش گیاهی بوده و به‌ندرت برای برآورد میزان کلروفیل مورد استفاده قرار گرفته است. مهم‌ترین علت حساسیت بالای این شاخص به میزان کلروفیل، استفاده از باند سبز برای محاسبه است. شاخص NDVI میزان بازتاب در نواحی قرمز و مادون قرمز نزدیک را به شاخص‌های گیاهی همچون، شاخص سطح برگ و مجموع میزان کلروفیل تاج پوشش مرتبط می‌کند. اما از آنجا که میزان بازتاب گیاهان در محدوده قرمز اندک است، این شاخص برای مقادیر اندک کلروفیل اشباع می‌شود (گیتلسن و همکاران، ۱۹۹۶). هرچند نیتروژن تنها ۲۶ درصد از وزن خشک گیاه بوده است، اما رابطه مستقیمی با میزان کلروفیل داشته و به همین دلیل شاخص GI نسبت به NDVI بهتر عمل کرده است (کوکلاوی و همکاران، ۲۰۰۹b).

شاخص GRI نیز همان‌طور که گفته شد، حالت بینابینی داشته و میانگین دو شاخص GI و RI است و از این رو حساسیتی مابین این دو شاخص داشته و در این پژوهش نیز نتایجی نزدیک به شاخص GI را نشان داده است. به‌طبع نتیجه این شاخص نیز تابعی از نتایج دو شاخص بیان شده است (گیتلسن و همکاران، ۲۰۰۵). در پژوهش حاضر نیز با توجه به دقت به‌دست آمده از این شاخص، می‌توان آن را از نظر میزان همبستگی با مقادیر نیتروژن اندازه‌گیری شده پس از شاخص GI قرار داد.

شاخص دیگر مورد استفاده در این پژوهش، شاخص SAVI2 بوده است. این شاخص، همان‌طور که گفته شد از شاخص‌های کاهش‌دهنده اثرهای خاک است. از آنجا که خاک‌ها تنوع بسیار زیادی دارند و خاک‌های مختلف، بازتاب طیفی متفاوت و ناهمسانی دارند، از این رو در یک تصویر سنجش از دور، خاک‌های مختلف با شیب‌های مختلفی وجود دارند. بنابراین این شاخص سبب حذف یا کاهش آثار بازتاب خاک زمینه در هنگامی است که میزان پوشش گیاهی کم بوده و مقدار بازتاب هر پیکسل، ترکیبی از بازتاب گیاه و خاک زمینه موجود در آن پیکسل باشد. براگ و لبلانک در سال

۲۰۰۱ نتایج مشابهی به دست آوردند. آنها نشان دادند که این شاخص و سایر شاخص‌های کاهش‌دهنده اثرات خاک، در برآورد میزان کلروفیل تاج پوشش و شاخص سطح برگ، حداقل تأثیرات را از خاک زمینه دریافت می‌کنند. در رابطه با شاخص SAVI2، نسبت عرض از مبدأ خط خاک به شیب خط خاک، به عنوان تعدیل‌کننده اثرات خاک، به مقدار باند قرمز افزوده می‌شود. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، شاخص‌هایی که شیب خط خاک را به صورت ضریب در نظر می‌گیرند، پس از شاخص‌های استفاده‌کننده از باند سبز قرار دارند و نتایج مناسب‌تری را نسبت به سایر شاخص‌ها (برای مثال NDVI) به دست می‌دهند. بنابراین برآورد دقیق خط خاک و شاخص‌های آن، برای مطالعه و برآورد هر یک پارامترهای گیاهی امری ضروری است.

شاخص NDVI به طیف گسترده‌ای از عوامل، از جمله میزان بایومس سبز<sup>۱</sup>، شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل و استرس آبی<sup>۲</sup> واکنش نشان می‌دهد (سوتوا، ۲۰۱۲). احمدی و ملازاده (۲۰۰۹) نیز با استفاده از شاخص NDVI، به بررسی تراکم پوشش گیاهی در سویا پرداخته‌اند. آنها نشان داده‌اند که رابطه قابل قبولی بین NDVI و تراکم سویا وجود دارد، به طوری که میزان همبستگی بین NDVI و پوشش گیاهی در بخش‌هایی با پوشش گیاهی متراکم مزرعه مقدار ۰/۹۲ و در مناطقی با تراکم پوشش گیاهی اندک به اندازه ۰/۲۴ بوده است. بنابراین، این شاخص زمانی که پوشش گیاهی تنک بوده، به دلیل تأثیرپذیری زیاد از بازتاب خاک زمینه، کارایی لازم را نداشته و در پوشش‌های متراکم نیز به دلیل اشباع سریع، ناکارآمد است (لیانگ، ۲۰۰۴).

همان‌گونه که پیش از این نیز گفته شد، در مطالعات بسیاری شاخص‌های گیاهی مختلف مورد استفاده قرار گرفته و با مقادیر نیتروژن اندازه‌گیری شده توسط روش‌های شیمیایی گوناگون مقایسه شده‌اند که روابط قابل قبولی بین نیتروژن اندازه‌گیری شده در گیاهان مختلف و مقادیر نیتروژن تخمین زده شده توسط شاخص‌های گیاهی نشان داده شده است (زانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ لی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ایتل و لانگ، ۲۰۰۸). برای مثال لی و همکاران (۲۰۰۸) شاخص‌های SRVI و NDVI را برای بررسی میزان نیتروژن گیاه برنج به کار بردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که سنجش از دور می‌تواند نقشه وضعیت نیتروژن منطقه را با دقت ۰/۹۱ - ۰/۴۶ به دست آورد. آنها در این پژوهش برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن در آزمایشگاه، از روش میکروکجدال استفاده کرده بودند.

در پژوهش پیش رو، روش شیمیایی پرسولفات مورد استفاده قرار گرفته است؛ زیرا روشی سریع بوده و نسبت به روش‌های آزمایشگاهی دیگر بی‌خطر بوده و به تجهیزات آزمایشگاهی اندکی نیاز دارد. این روش پیش از این نیز روی بافت رویشی سویا انجام شده و با روش دوماس نیز مقایسه شده است. هیچ اختلاف معناداری بین این دو روش اندازه‌گیری نیتروژن مشاهده نشده و میزان همبستگی بین این دو روش ۰/۹۹ معرفی شده است (پورسل و کینگ، ۱۹۹۶). بنابراین می‌توان از این روش در اندازه‌گیری مقادیر نیتروژن در گیاه سویا استفاده کرد.

1. Green Biomass

2. Water stress

## بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش ارتباط بین نیتروژن به دست آمده در سطح برگ و در سطح تاج پوشش گیاه با شاخص‌های گیاهی مختلف نشان داده شد. نتایج نشان داد که برآورد نیتروژن در سطح برگ با دقت قابل قبول امکان پذیر نیست. رابطه بین نیتروژن گیاه سویا در سطح تاج پوشش با شاخص‌های به کار برده شده رابطه معناداری بوده است. برای ارزیابی نتایج به دست آمده، از روش اعتبارسنجی جایگزینی استفاده شد که سبب افزایش دقت شد. در بین شاخص‌های گیاهی مورد استفاده، شاخص GI دارای ضریب همبستگی بالاتری در این روش بوده و رابطه نزدیکتری را نسبت به شاخص‌های به کار برده با مقادیر نیتروژن گیاه نشان داده است که می‌توان آن را به دلیل استفاده از باند سبز طیف الکترومغناطیس دانست که آن را تبدیل به شاخصی مناسب در برآورد میزان کلروفیل و در نتیجه نیتروژن گیاه کرده است.

در بین روش‌های شیمیایی مختلف، همان‌گونه که گفته شد، روش پرسولفات مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجا که با استفاده از روش پرسولفات در مدت زمان اندکی (در مقایسه با روش‌های دumas و کج‌دال) می‌توان تعداد نمونه‌های زیادی را تجزیه و تحلیل کرد، از این رو، این روش نسبت به روش‌های آزمایشگاهی دیگر، برای کارهای سنجش از دوری که معمولاً تخمین پارامترهای بیوشیمیایی گیاهان در مناطق وسیع انجام می‌شود و تجزیه و تحلیل تمامی نمونه‌ها در آزمایشگاه مدت زمان زیادی را می‌طلبد، پیشنهاد می‌شود.

البته بایستی توجه داشت که در ایران مزارع کوچک هستند و کشاورزی هنوز هم به شیوه سنتی انجام می‌شود؛ به طوری که به دلیل کم‌عرض بودن بعضی از مزارع کمتر از دو پیکسل به بازتاب هر مزرعه اختصاص می‌یابد. در این مزارع انواع مختلف سویا در فواصل کم و در زمان‌های متفاوت کاشته می‌شود. بنابراین بازتاب‌های طیفی آنها با یکدیگر مخلوط شده و بازتاب رسیده به سنجنده ممکن است متأثر از زمین‌های مجاور نیز باشد. از این رو استفاده از داده‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی بالاتر، می‌تواند دقت نتایج را به گونه چشمگیری افزایش دهد. در این پژوهش با توجه به زمان کار میدانی، تنها تصویری که می‌توانست مورد استفاده قرار گیرد، تصویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM با وضوح مکانی ۳۰ متر بوده است که به حتم استفاده از تصاویری با وضوح بالاتر و قدرت تفکیک طیفی بیشتر، سبب افزایش دقت کار خواهد شد.

## سپاسگزاری

در پایان لازم است مراتب قدردانی و تشکر خود را از جناب آقای مهندس جعفری بابت راهنمایی بی‌دریغشان در انجام این پروژه اعلام نمایم.

## منابع

دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی. (۱۳۸۸). هزینه تولید محصولات کشاورزی سال زراعی ۱۳۸۶-۸۷. جلد اول، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور برنامه‌ریزی، اقتصادی و بین‌المللی، دفتر آمار و اطلاعات.

- احمدی، ح.؛ ملازاده، ک. (۱۳۸۸). تعیین جمعیت گیاه سویا با استفاده از شاخص NDVI در منطقه صنعتی کشاورزی - صنعتی دشتان، مجله علوم و کشاورزی، سال اول، شماره ۱، صص. ۱۲۰-۱۱۲.
- Ahmadi, H. & Mollazade, K., 2009, **Determination of Soya Plant Population Using NDVI in the Dasht-e-Naz agri-industry**, Journal of Agricultural Science, Vol. 1, No. 1, PP. 112-120.
- Baret, F., Champion, I., Guyot, G. & Podaire, A., 1987, **Monitoring Wheat Canopies with a High Spectral Resolution Radiometer**, Remote Sensing of Environment, Vol. 22, No. 3, PP. 367-378.
- Bilbao, B., Giraldo, D. & Hevia, P., 1999, **Quantitative Determination of Nitrogen Content in Plant Tissue by a Colorimetric Method**, Communications in Soil Science & Plant Analysis, Vol. 30, PP. 1997-2005.
- Broge, N.H. & Leblanc, E., 2001, **Comparing Prediction Power and Stability of Broadband and Hyper Spectral Vegetation Indices for Estimation of Green Leaf Area Index and Canopy Chlorophyll Density**, Remote Sensing of Environment, Vol. 76, No. 2, PP. 156-172.
- Curran, P.J., Dungan, J.L. & Gholz, H.L., 1992, **Seasonal LAI in Slash Pine Estimated with Landsat TM**, Remote Sensing of Environment, Vol. 39, No. 1, PP. 3-13.
- Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M. & Atzberger, C., 2008a, **Inversion of a Radiative Transfer Model for Estimating Vegetation LAI and Chlorophyll in a Heterogeneous Grassland**, Remote Sensing of Environment, Vol. 112, No. 5, PP. 2592-2604.
- Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., Atzberger, C., Corsi, F. & Cho, M., 2008b, **LAI and Chlorophyll Estimation for a Heterogeneous Grassland Using Hyperspectral Measurements**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 63, No. 4, PP. 409-426.
- Darvishzadeh, R., Atzberger, C., Skidmore, A. & Schlerf, M., 2011, **Mapping Grassland Leaf Area Index with Airborne Hyperspectral Imagery: A comparison Study of Statistical Approaches and Inversion of Radiative Transfer Models**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 66, No. 6, PP. 894-906.
- Eitel, J.U.H. & Long, D.S., 2008, **Using in-situ Measurements to Evaluate the New Rapid Eye Satellite Series for Prediction of Wheat Nitrogen Status**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 28, PP. 4183-4190.
- Erdle, K., Mistele, B. & Schmidhalter, U., 2011, **Comparison of Active and Passive Spectral Sensors in Discriminating Biomass Parameters and Nitrogen Status in Wheat Cultivars**, Field Crops Research, Vol. 124, PP. 74-84.
- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J. & Merzlyak, M.N., 1996, **Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS**, Remote Sensing of Environment, Vol. 58, No. 3, PP. 289-298.
- Hansen, P. M. & Schjoerring, J. K., 2003, **Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression**, Remote Sensing of Environment, Vol. 86, No. 4, PP. 542-553.
- Huang, Z., Turner, B. J., Dury, S. J., Wallis, I. R. & Foley, W. J., 2004, **Estimating Foliage Nitrogen Concentration from HYMAP Data Using Continuum Removal Analysis**, Remote Sensing of Environment, Vol. 93, No. 1-2, PP. 18-29.
- Kokaly, R.F., Asner, G.P., Ollinger, S.V., Martin, M.E. & Wessman, C.A., 2009b,

- Characterizing Canopy Biochemistry from Imaging Spectroscopy and Its Application to Ecosystem Studies**, Remote Sensing of Environment, Vol. 113, PP. 78-91.
- Lee, Y.J., Yang, C.M., Chang, K.W. & Shen, Y., 2008, **A Simple Spectral Index Using Reflectance of 735 nm to Assess Nitrogen Status of Rice Canopy**, Agronomy Journal, Vol. 100, PP. 205-212.
- Lemaire, G., Jeuffroy, M.H. & Gastal, F., 2008, **Diagnosis Tool for Plant and Crop N Status in Vegetative Stage, Theory and Practices for Crop N Management**, European Journal of Agronomy, Vol. 28, No. 4, PP. 614-624.
- Liaghat, S. & Balasundram, S.K., 2010, **A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture**, American Journal of Agricultural and Biological Sciences, Vol. 5, No. 1, PP. 50-55.
- Liang, S., 2004, **Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces**, Wiley Praxis Series in Remote Sensing Hoboken, Wiley & Sons, Inc. Hoboken. New Jersey.
- Mandal, D. & Ghosh, S., 2000, **Precision Farming: The Emerging Concept of Agriculture for Today and Tomorrow**, Current Science Bangalore, Vol. 79, No. 12, PP. 1644-1647.
- Martin, M. E., Newman, S. D., Aber, J. D. & Congalton, R. G., 1998, **Determining Forest Species Composition Using High Spectral Resolution Remote Sensing Data**, Remote Sensing of Environment, Vol. 65, No. 3, PP. 249-254.
- Matthew, M.W., Adler-Golden, S.M., Berk, A., Richtsmeier, S.C., Levine, R.Y., Bernstein, L.S., Acharya, P.K., Anderson, G.P., Felde, G.W., Hoke, M.P., Ratkowski, A., Burke, H. H., Kaiser, R.D. & Miller, D.P., 2000, **Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm**, Proceedings of the SPIE, Vol. 4049, PP. 199-207.
- Mir, S., 2008., **A Rapid Technique for Determination of Nitrate and Nitric Acid by Acid Reduction and Diazotization at Elevated Temperature**, Analytica Chimica Acta, Vol. 620, No. 1-2, PP. 183-189.
- Mitchell, J. J., Glenn, N. F., Sankey, T. T., Derryberry, D. R. & Germino, M. J., 2012, **Remote Sensing of Sagebrush Canopy Nitrogen**, Remote Sensing of Environment, Vol. 124, PP. 217-223.
- Mutanga, O. & Skidmore, A. K., 2004, **Hyperspectral Band Depth Analysis for a Better Estimation of Grass Biomass (Cenchrus Ciliaris) Measured under Controlled Laboratory Conditions**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 5, No. 2, PP. 87-96.
- Naumann, J.C., Young, D.R. & Anderson, J.E., 2008, **Leaf Chlorophyll Fluorescence, Reflectance, and Physiological Response to Freshwater and Saltwater Flooding in the Evergreen Shrub, Myrica Cerifera**, Environmental and Experimental botany, Vol. 63, No. 1-3, PP. 402-409.
- Office of Statistics and Information Technology of Ministry of Jihad-e-Agriculture, 2009, **Production cost of agricultural products in crop year 2007-2008**, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Department of Planning, Economics, and International, Bureau of Statistics and Information.
- Paungfoo-Lonhienne, C., Lonhienne, T.G.A., Rentsch, D., Robinson, N., Christie, M. & Webb, R.I., 2008, **Plants Can use Protein as a Nitrogen Source without Assistance from Other Organisms**, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 105, No. 11, PP. 4524-4529.

- Perry, E. M., Fitzgerald, G. J., Nuttall, J. G., O'Leary, G. J., Schulthess, U. & Whitlock, A., 2012, **Rapid Estimation of Canopy Nitrogen of Cereal Crops at Paddock Scale Using a Canopy Chlorophyll Content Index**, Field Crops Research, Vol. 134, PP. 158-164.
- Purcell, L.C. & King, C.A., 1996, **Total Nitrogen Determination in Plant Material by Persulfate Digestion**, Agronomy Journal, Vol. 88, No. 1, PP. 111-115.
- Richardson, A.D., Duigan, S.P. & Berlyn, G.P., 2002, **An Evaluation of Noninvasive Methods to Estimate Foliar Chlorophyll Content**, New Phytologist, Vol. 153, No. 1, PP. 185-194.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W., 1974, **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS in Proceedings Third ERTS Symposium**, NASA SP-351, 10-14 December 1973, Washington, DC (Washington: NASA Scientific and Technical Information Office), PP. 309-317.
- Serrano, L., Peñuelas, J. & Ustin, S.L., 2002, **Remote Sensing of Nitrogen and Lignin in Mediterranean Vegetation from AVIRIS Data: Decomposing Biochemical from Structural Signals**, Remote Sensing of Environment, Vol. 81, No. 2-3, PP. 355-364.
- Shaahan, M.M., El-Sayed, A.A. & Abou El-Nour, E.A.A., 1999, **Predicting Nitrogen, Magnesium and Iron Nutritional Status in Some Perennial Crops Using a Portable Chlorophyll Meter**, Scientia Horticulturae, Vol. 82, No. 3-4, PP. 339-348.
- Skidmore, A. K., Ferwerda, J. G., Mutanga, O., Van Wieren, S. E., Peel, M., Grant, R. C., Prins, H. H. T., Balcik, F. B. & Venus, V., 2010, **Forage Quality of Savannas — Simultaneously Mapping Foliar Protein and Polyphenols for Trees and Grass Using Hyperspectral Imagery**, Remote Sensing of Environment, Vol. 114, No. 1, PP. 64-72.
- Svotwa, E., Maasdorp, B., Murwira, A. & Masuka, A., 2012, **Selection of Optimum Vegetative Indices for the Assessment of Tobacco Float Seedlings Response to Fertilizer Management**, ISRN Agronomy, <http://dx.doi.org/10.5402/2012/450473>.
- Tilling, A.K., O'Leary, G.J., Ferwerda, J.G., Jones, S.D., Fitzgerald, G.J., Rodriguez, D. & Belford, R., 2007, **Remote Sensing of Nitrogen and Water Stress in Wheat**, Field Crops Research, Vol. 104, No. 1-3, PP. 77-85.
- Weiss, M., Baret, F., Myneni, R.B., Pragnère, A. & Knyazikhin, Y., 2000, **Investigation of a Model Inversion Technique to Estimate Canopy Biophysical Variables from Spectral and Directional Reflectance Data**, Agronomie, Vol. 20, No. 1, PP. 3-22.
- Wessman, C. A., 1992, **Imaging Spectrometry for Remote Sensing of Ecosystem Processes**, Advances in Space Research, Vol. 12, No. 7, PP. 361-368.
- Wu, C., Niu, Z., Tang, Q., Huang, W., 2008, **Estimating Chlorophyll Content from Hyper Spectral Vegetation Indices: Modeling and Validation**, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 48, PP. 1230-1241.
- Zengya, F.M., Mutanga, O. & Murwira, A., 2013, **Linking Remotely Sensed Forage Quality Estimates from World View-2 Multispectral Data with Cattle Distribution in a Savanna Landscape**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 21, PP. 513-524.
- Zhang, J.H., Wang, K., Bailey, J. & Wang, R.C., 2006, **Predicting Nitrogen Status of Rice Using Multispectral Data at Canopy Scale**, Pedosphere, Vol. 16, No. 1, PP. 108-117.



## *Estimation of Nitrogen Content in Soybean Using Remote Sensing*

**Shaki F.**

M.A. in Biological Sciences, Shahid Beheshti University

**Bernard F. \***

Associate Prof., Faculty of Biological Sciences, Shahid Beheshti University

**Darvishzadeh R.**

Assistant Prof., Dep. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran

**Dashti Ahangar A.**

M.A. in GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University

Received: 31/10/2012

Accepted: 10/06/2013

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Chemical concentration of plants is indicator of their biologic status. Among the many foliar chemicals in plants, nitrogen (N) is an important indicator of photosynthetic rate and overall nutritional status. Plants usually take up nitrogen in the nitrate form ( $\text{NO}_3^-$ ) and one major source of nitrate leaching is fertilizer applied to the crops. Supplying inadequate N may decrease crop yields and increase the N fertilizer (more than the needs of plants). In addition to economic loss, nitrate ions may move into surface and ground water and contribute to eutrophication of lakes and streams and raise health problem (Liaghat and Balasundram 2010). Thus estimation of nitrogen content is important in many agricultural studies.

Traditionally leaf nitrogen content is measured in the lab using different chemical methods. Nitrogen analysis either by the Kjeldahl or Dumas method is expensive and requires specialized equipments. An alternative method for N determination is the digestion of potassium persulfate ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ). Persulfate digestion requires only a modest initial investment and has few environmental risks. The common problems of all above mentioned approaches are the facts that they are time consuming, expensive and destructive approaches. The advent of remote sensing has proved its usefulness as an alternative measure to these traditional approaches.

The aim of this study is to estimate canopy nitrogen content in vast area in northern part of Iran, Gorgan, using remote sensing vegetation indices. Later it was used in calibration of

\*E-mail: [F\\_bernard@sbu.ac.ir](mailto:F_bernard@sbu.ac.ir)

different vegetation indices and for estimation of CNC of a vast area in Gorgan, Iran.

### Methodology

LANDSAT TM imagery simultaneous to the field campaign was acquired. The field campaign was conducted in the latter half of August 2009 in northern part of Iran, Gorgan (36° 54' N, 54° 53' E). Fifty sample plots of 30 m× 30m were randomly chosen. In each sample plot, 4 to 7 subplots were selected and in each subplot 30 leaves from different parts of Soybean crops were cut and transferred to lab. Then using persulfate digestion, nitrogen content of the leaves was determined. In the field, canopy percentage was measured and multiplied by the leaf nitrogen content to calculate the canopy nitrogen content (CNC). The regression line between different vegetation indices (NDVI, GI, SAVI2, GRI) and CNC was calculated and the results validated using cross validation approach.

### Results and Discussion

Our study showed that the Persulfate digestion is an accurate method for determination of total N in soybean plant when measured in lab. Persulfate digestion does not produce a large quantities of toxic waste associated with Kjeldahl digestion. Additionally, persulfate digestion requires a minimum of specialized equipment: large screw topped culture tubes, an autoclave or a large pressure cooker and test tube racks. The method facilitates the determination of a large number of samples with the use of simple equipments.

The relation of measured nitrogen at leaf and canopy level against indices is shown in figure 2. Clearly the relation at canopy level shows a better behavior than at leaf level. Results showed that GI has close relationship with CNC and can be used to retrieve crop vegetation nitrogen. This index uses green band of the electromagnetic spectrum which is appropriate for chlorophyll estimation and has a direct relationship with nitrogen. The most commonly used vegetation index is NDVI. The NDVI has been used for many years to measure and monitor plant growth, biomass production and vegetation cover from multispectral satellite data. Although in our study NDVI was not chosen as the best index, this index is generally considered a good indicator of the amount of vegetation and, hence, is useful in distinguishing vegetation from soil ( Svatwa et al. 2012).

### Conclusion

Our study showed that persulfate digestion does not produce the large quantities of toxic waste associated with Kjeldahl digestion and it requires a minimum of specialized equipments. In comparison to the used indices in this study (NDVI, GI, SAVI2, GRI), the GI index demonstrated a better correlation with canopy nitrogen content. This good relationship is not surprising as GI has been developed for chlorophyll estimation which has a direct relationship with nitrogen. Although, the amount of N is only 26% of leaf dry weight but surprisingly it has strong effect on reflected radiation.

Keywords: Nitrogen, Persulfate Method, Vegetation Indices, Soybean; TM Sensors.