

تهیه نقشه تغییرات نیتروژن محصول ذرت علوفه‌ای مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای

نیکروز باقری^{۱*}، حجت احمدی^۲، محمود امید^۳ و سیدکاظم علوی پناه^۴^۱ دانشجوی دکتری، ^۲ دانشیار و ^۳ استاد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران^۴ استاد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۲/۲۶)

چکیده

پژوهش حاضر به منظور تهیه نقشه تغییرات نیتروژن با استفاده از تصویر ماهواره ای ASTER انجام شد. منطقه مورد مطالعه، یک مزرعه ذرت ۲۳ هکتاری در شهرستان پاکدشت در جنوب استان تهران انتخاب شد. عملیات نمونه برداری همزمان با عبور ماهواره از منطقه صورت گرفت. تعداد ۵۳ نمونه با استفاده از روش نمونه برداری تصادفی منظم انتخاب شدند. درصد نیتروژن نمونه ها، با استفاده از روش کج‌دال به دست آمد. خطای تصحیح هندسی تصویر، برابر با ۰/۲ پیکسل بود. به منظور تخمین مقدار نیتروژن، شاخص های NDVI، MSAVI2، MCARI2 و MTVI2 محاسبه شدند. نتایج نشان داد که شاخص ها دارای همبستگی با مقدار نیتروژن بوده و شاخص MTVI2 با $R^2 = 0/87$ بالاترین همبستگی را نشان داد. برای تهیه نقشه تغییرات نیتروژن، از روش طبقه بندی نظارت شده نقشه بردار زاویه طیفی استفاده شد. دقت کلی ۹۷/۵۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶۶۹ به دست آمد. براساس نتایج طبقه بندی سه سطح نیتروژن زیاد (۳-۲/۵ درصد)، متوسط (۲-۲/۵ درصد) و کم (۲-۱ درصد) در مزرعه شناسایی شد. همچنین نتایج نشان داد ۱۵/۸، ۲۵/۲ و ۵۹ درصد از سطح مزرعه به ترتیب مقادیر زیاد، متوسط و کم نیتروژن را دریافت کردند. با توجه به وجود تغییرات زیاد نیتروژن در مزارع، مدیریت دقیق توزیع کود نیتروژن ضروری است.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، شاخص پوشش گیاهی، نیتروژن، ASTER

مقدمه

آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود (Malakouti & Keshavarz., 2006). با توجه به پیامدهای منفی ناشی از مصرف نامناسب کودهای نیتروژن، استفاده از روش های جدید مدیریتی که بر مصرف بهینه و افزایش کارایی کود استوار است، ضروری به نظر می‌رسد. از جمله فناوری هایی که می‌تواند موجب تحقق چنین امری شود، کشاورزی دقیق است. این فناوری با شناسایی تغییرات در مزارع و اعمال نهاده مورد نیاز بر حسب تغییرات (فناوری نرخ متغیر) می‌تواند گام مهمی در جهت مدیریت بهینه نهاده ها در مزارع از جمله کود باشد.

از جمله فناوری های مناسب برای شناسایی تغییرات در مزارع، فناوری سنجش از دور می باشد. پژوهش های متعددی در مورد امکان کاربرد سنجش از دور به عنوان روشی سریع و غیرمخرب برای تعیین نیتروژن گیاه انجام شده است (Li et al., 2008; Wang et al., 2003; Hansen et al., 2002). مطالعات نشان داده که تصاویر ماهواره ای امکان توسعه پژوهش های مربوط به سطح برگ را در زمان ها و مکان های مختلف امکان پذیر ساخته (Perry & Davenport., 2007) که قادر به سنجش بازتاب پوشش گیاهی محصول در یک توده گیاهی انبوه و در سطحی وسیع می باشد (Zhao et al., 2005). بنابراین قابلیت دستیابی سریع تر به تغییر پذیری های ویژه سه بعدی محصول

نیتروژن مهم ترین عنصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه بوده و تأثیر به سزایی بر کیفیت دانه، فتوسنتز و عملکرد محصول دارد (Feng et al., 2008). در حال حاضر روش مرسوم اعمال کود نیتروژن شامل پاشش یکنواخت کود در سطح مزرعه بوده که این امر معمولاً منجر به کم پاشی یا بیش پاشی کود می شود. کم پاشی کود نیتروژن موجب کاهش کیفیت و عملکرد محصول شده، در حالی که بیش پاشی آن منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی و محیط زیست، آسیب به محصول و خطر سلامتی انسان می‌شود (Noh et al., 2004). نتایج یک پژوهش نشان داد که در روش سراسر پاشی کود اوره برای تولید بیشترین عملکرد در یک مزرعه، تنها ۱۳ درصد سطح مزرعه کود مناسب دریافت کرده و ۳۶ درصد سطح مزرعه مقدار بیشتر و ۴۸ درصد آن مقدار کمتری کود دریافت کرده است (Ghazvini et al., 2006). از طرف دیگر درصد بازیافت نیتروژن برای گیاهان زراعی حدود ۳۳ درصد گزارش شده، ۶۷ درصد باقیمانده به صورت تصعید، نترات زدایی و آبشویی به هدر رفته و موجب

* نویسنده مسئول: nikroozbagheri@yahoo.com.au

به منظور بررسی ارتباط بازتاب طیفی با مشخصات طیفی برگ‌های مجزا بوده که بیشتر در شرایط آزمایشگاهی و به وسیله دستگاه اسپکترورادایومتر انجام گرفته است. در میان پژوهش‌های انجام شده، پژوهش‌هایی که در آن پوشش گیاهی در سطح وسیع مطالعه شده باشد، کمتر به چشم می‌خورد. هم‌چنین پژوهش‌های اندکی در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای سنجش خصوصیات گیاهان در سطح پوشش گیاهی صورت گرفته است. هم‌چنین تهیه نقشه تغییرپذیری نیتروژن در مزرعه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER به ویژه در سطح پوشش گیاهی موضوع جدیدی می‌باشد.

بنابراین با توجه به نقش مهم کودهای نیتروژن در کمیت و کیفیت محصول، زیان‌های فراوان حاصل از کم‌پاشی یا بیش‌پاشی کودهای نیتروژن و هم‌چنین قابلیت تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین ویژگی‌های گیاه بر اساس تحلیل طیفی، اهمیت پژوهش را در خصوص تهیه نقشه تغییرات نیتروژن با استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ASTER به منظور مدیریت توزیع کودهای نیتروژن برای محصول ذرت مشخص می‌نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه مزرعه‌ای به مساحت ۲۳ هکتار با محصول ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شهرستان پاکدشت در جنوب استان تهران انتخاب شد. مختصات دو گوشه شمال غرب مزرعه مورد مطالعه با مختصات UTM ۵۵۹۶۲۷ شرقی و 3922022 شمالی و جنوب شرقی با مختصات 560193 شرقی و 3921718 شمالی می‌باشد. محصول در تاریخ ۸ تیرماه کاشته شد و عملیات آبیاری در پنج مرحله به ترتیب در ۱۵ مرداد، ۱، ۱۲ و ۲۲ شهریور و ۳ مهر انجام شد. کود اوره به میزان ۱۵۰، ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در هر مرحله آبیاری اعمال شد. از ابتدای اردیبهشت تا اواخر شهریور برای بررسی وضعیت مزرعه، جمع‌آوری اطلاعات از کشاورزان و کارشناسان منطقه و تعیین نقاط نمونه برداری، به مزرعه مراجعه شد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را با استفاده از Google Earth نشان می‌دهد.

انتخاب نوع تصویر و زمان تصویر برداری

موفقیت حاصل از کاربرد تصاویر ماهواره‌ای درشناسایی

را داشته و می‌تواند موجب کاهش مصرف نیتروژن و افزایش عملکرد گردد (Xue & Yang, 2008). نتایج پژوهش‌های انجام شده روی محصول برنج نشان داده که این فناوری دارای پتانسیل لازم برای پایش نیتروژن است (Bajwa., 2006).

تاکنون پژوهش‌های متعددی به منظور یافتن ارتباط بازتاب طیفی برگ با ویژگی‌های گیاه و یافتن طول موج‌های حساس به نیتروژن محصول ذرت انجام شده است. به عنوان نمونه در مطالعه Blackmer et al. (1996) محدوده طیفی حساس به نیتروژن ذرت در ناحیه ۷۱۰-۵۵۰ نانومتر شناسایی شد. Johnson (2001) به بررسی تفصیلی اثر بازتاب طیفی برگ با مقدار نیتروژن و کلروفیل پرداخته است. این پژوهش، دستیابی به مقدار نیتروژن و کلروفیل گیاه با استفاده از مشخصه‌های طیفی را امکان‌پذیر می‌داند. Gitelson et al. (2002) دریافتند که شاخص پوشش گیاهی حاصل از بازتاب طیفی باندهای سبز و قرمز می‌تواند مقدار نیتروژن برگ و پروتئین دانه را پایش کند. Boegh et al. (2002) رابطه بازتاب طیفی و شاخص‌های پوشش گیاهی را با شاخص سطح برگ و مقدار نیتروژن پوشش گیاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد که بین متغیرهای مورد مطالعه رابطه با همبستگی بالا وجود دارد. Karimi et al. (2005) قابلیت تصاویر فراطیفی را برای تعیین تنش نیتروژن ذرت مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش از اسپکترو رادیومتر با دامنه طول موج ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر استفاده شده است. نتایج نشان داد که مقدار نیتروژن گیاه دارای رابطه معنی‌داری با بازتاب طیفی آن می‌باشد. Reum & Zhang (2007) با استفاده از مطالعات طیفی نشان دادند که باند طیفی حساس به نیتروژن در محدوده طیفی بین ۷۰۰-۵۵۰ نانومتر، ناحیه‌ای مناسب برای شناسایی سطح تنش در محصول ذرت است. Lemaire et al. (2008) روش‌های مختلف تعیین میزان نیتروژن را بررسی کرده و در نهایت روش سنجش از دور را به عنوان یک روش غیر مستقیم و مناسب برای تعیین مقدار نیتروژن معرفی کرده‌اند. Mistele & Schmidhalter (2008) از یک سامانه اسپکترومتری بینایی تراکتور سوار برای تعیین نیتروژن گیاه ذرت در پیکسل‌هایی با ابعاد ۱۰ مترمربع استفاده نمودند. نتایج همبستگی بالایی بین متغیرها نشان داد.

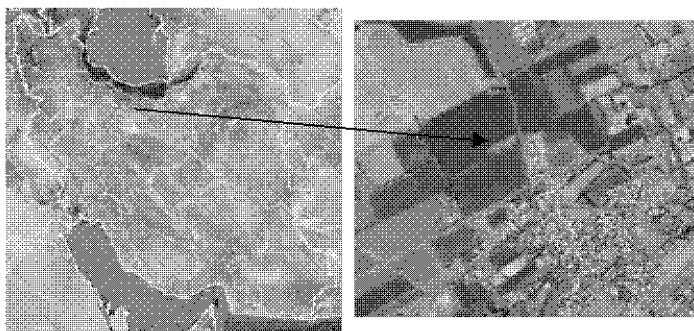
مطالعه پژوهش‌های انجام شده تاکنون در زمینه کاربرد سنجش از دور در شناسایی مقدار نیتروژن گیاهان، شامل شناسایی باندهای مرتبط و محدوده طیفی مناسب برای تشخیص مقدار نیتروژن بوده است. هم‌چنین پژوهش‌هایی در زمینه یافتن شاخص‌های پوشش گیاهی مناسب برای تشخیص این خصوصیات انجام شده است. اغلب پژوهش‌های انجام شده

متر و ۵ باند در محدوده باندهای حرارتی^۲ (TIR) (۸۴۷۵-۱۰۹۵ نانومتر) با قدرت تفکیک زمینی ۹۰ متر می‌باشد. هم چنین عرض برداشت تصویر این سنجنده ۶۰ کیلومتر می‌باشد (Abrams, 2003). از میان گذرهای مختلف سنجنده از منطقه مورد مطالعه در طول فصل رشد محصول، تصویر تاریخ ۴ سپتامبر ۲۰۰۹ (۱۳ شهریور ۱۳۸۸) به عنوان مناسب ترین تصویر، انتخاب شد. این تصویر در یک روز کاملاً آفتابی، صاف و بدون ابر برداشت شد. شکل (۲) تصویر ASTER منطقه و مزرعه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

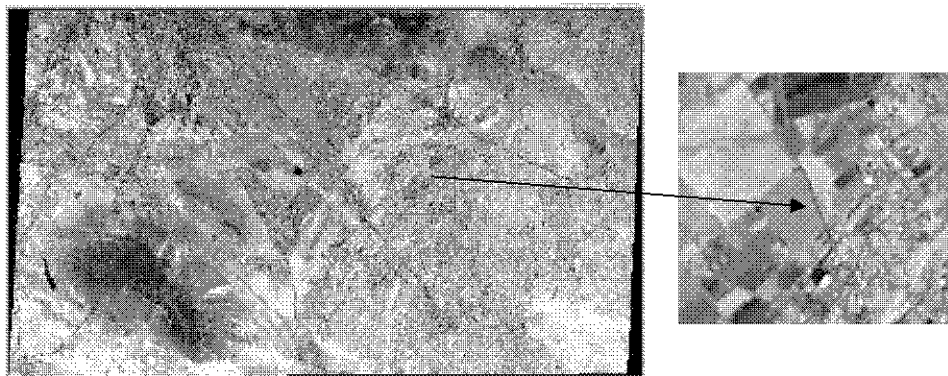
ویژگی‌های گیاهان، منوط به انتخاب تصویر مناسب می‌باشد. عواملی از قبیل زمان مناسب تصویر برداری، دامنه طیفی مورد نیاز، تعداد باندها، قدرت تفکیک زمینی، در دسترس بودن تصویر و هزینه، از موارد مهم برای تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب نوع تصویر می‌باشند. با توجه به پارامترهای ذکر شده، تصویر سنجنده ASTER ماهواره TERRA (محصول NASA) جهت مطالعه انتخاب شد. این تصویر دارای باندهای سبز (G) (۶۰۰-۵۲۰ نانومتر)، قرمز (R) (۶۹۰-۶۳۰ نانومتر) و فرو سرخ نزدیک^۱ (NIR) (۸۶۰-۷۶۰ نانومتر) با قدرت تفکیک زمینی ۱۵

2. Thermal Infrared

1. Near Infrared



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از عکس‌های Google Earth



شکل ۲- ترکیب باندی (۱-۲-۳) تصویر VNIR سنجنده ASTER منطقه و مزرعه مورد مطالعه

تعداد ۵۳ سلول از میان تمامی سلول‌های شبکه بندی شده به فواصل ۶۰ متر با استفاده از روش نمونه برداری تصادفی منظم انتخاب شد. از آنجا که نقاط حاشیه‌ای مزرعه نقاط مناسبی برای نمونه‌گیری نیست، نقاط نمونه‌گیری از حاشیه مزرعه به فاصله حداقل ۳۰ متر قرار داده شد. برای مشخص نمودن مکان نمونه‌ها از شاخص‌های شماره‌گذاری شده استفاده گردید. شکل (۳) شبکه‌بندی و موقعیت نقاط نمونه‌گیری را نشان می‌دهد.

عملیات نمونه برداری

تاریخ مناسب برای نمونه‌گیری همزمان با زمان گذر سنجنده ASTER از منطقه مورد مطالعه و با توجه به رشد

شبکه بندی زمین زراعی و تعیین نقاط نمونه‌گیری

به منظور برداشت مختصات مزرعه از دستگاه GPS ماژلان^۳ مدل Explorist600 با دقت سه متر استفاده شد. نقشه مزرعه با استفاده از نرم افزار Autocad2004 ترسیم شد. از آنجا که تصویر ASTER دارای قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر در محدوده طیفی نور مرئی و فرو سرخ نزدیک می‌باشد، بنابراین مزرعه به صورت شبکه‌های با طول و عرض ۱۵ متر، شبکه بندی شد. در این حالت، مختصات ابتدا و انتهای ردیف‌های کشت برداشت شده و شبکه‌ها موازی ردیف‌های کشت طراحی شد.

3. Magellan

انتها ۲۱ نقطه با خطای کمتر از یک پیکسل به عنوان نقاط کنترل نهایی انتخاب و تصویر با استفاده از این نقاط کنترلی زمین- مرجع شد. پس از انتخاب نقاط کنترلی، میانگین $RMSE^1$ برای نقاط انتخاب شده برابر با ۰/۲ پیکسل به دست آمد.

تفکیک محدوده مطالعاتی از تصویر اصلی

عرض برداشت تصویر ۶۰ کیلومتر بود. جهت کاهش حجم تصویر و به تبع آن، کاهش حجم و زمان لازم برای پردازش داده‌ها، بخش مورد مطالعه پس از انجام تصحیح‌ها از تصویر اصلی جدا شد.

ایجاد تصویر مرکب رنگی کاذب (False Color Composite)

برای افزایش قابلیت تفسیر تصویر در مطالعه پوشش گیاهی و برای به حداقل رساندن داده‌های کم ارزش و استفاده بهینه از اطلاعات موجود در تصویر، تصویر مرکب رنگی کاذب ایجاد شد. در این تصویر رنگ قرمز به باند فرو سرخ نزدیک، رنگ سبز به باند قرمز و رنگ آبی به باند سبز نسبت داده شد. در نتیجه پوشش گیاهی به رنگ قرمز، آب به رنگ آبی و خاک به رنگ قهوه‌ای- خاکستری درآورده شد.

تغییر بزرگنمایی تصویر و ایجاد پروفیل

از بزرگنمایی جهت افزایش مقیاس تصویر برای تفسیر چشمی و مقایسه باندهای مختلف و از پروفیل به منظور استخراج اطلاعات درجه روشنایی در طول یک برش مشخص از دو نقطه یک تصویر و رسم منحنی‌های تغییرات استفاده شد.

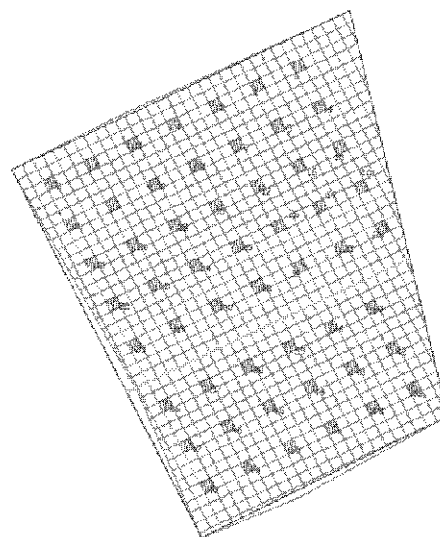
شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شده برای تخمین مقدار نیتروژن پوشش گیاهی ذرت

برای تخمین مقدار نیتروژن از شاخص‌های پوشش گیاهی $NDVI^2$ ، $MSAVI^3$ ، $MCARI^4$ و $MTVI^5$ که دارای ارتباط نزدیک با رنگ، کلروفیل و نیتروژن پوشش گیاهی می‌باشند، انتخاب شدند. جدول (۱) مشخصات شاخص‌های پوشش گیاهی مورد مطالعه برای تخمین نیتروژن را نشان می‌دهد.

تهیه نقشه تغییرات نیتروژن مزرعه مورد مطالعه با استفاده از طبقه بندی نظارت شده

به منظور کلاس بندی سطوح نیتروژن در مزرعه و تهیه نقشه تغییر پذیری، از روش طبقه بندی نظارت شده Spectral

محصول مشخص شد. برای تهیه هر نمونه از قاب‌هایی استاندارد با مساحت یک متر مربع استفاده شد. کلیه بوته‌های سبز و سالم بریده شده و در داخل گونی‌های شماره گذاری شده قرار داده شد. سپس نمونه‌های برگ در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال مارک Ranger (ساخت آلمان) با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. پس از آسیاب نمودن نمونه‌ها از الک یک میلی‌متری عبور داده شد تا کاملاً یکنواخت گردند (Feng et al., 2008) و در پاکت‌های پلاستیکی مشکی- به نحوی که از نور و رطوبت در امان بماند- قرار داده شد. نمونه‌ها به منظور تعیین میزان نیتروژن با استفاده از روش کجدال (Kjeldahl) به آزمایشگاه تجزیه برگ گروه علوم دامی دانشگاه تهران منتقل شدند (Imami, 1997).



شکل ۳- شبکه بندی و موقعیت نقاط نمونه‌گیری

تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای

پردازش‌های انجام گرفته بر روی تصاویر با استفاده از نرم افزار سنجنش از دور ENVI4.5 انجام شد (Feng et al., 2008).

تصحیح هندسی

جهت انجام تصحیح هندسی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با فرمت dgn استفاده شد. این نقشه‌ها از سازمان نقشه برداری کشور خریداری شد. با استفاده از نرم افزار MicroStation 8.1 به فرمت dxf تبدیل و با استفاده از نرم افزار Autocad 2004 لایه‌های اضافی موجود در نقشه‌ها حذف شده و به صورت یک نقشه واحد درآورده شد. سپس نقاط کنترلی به تعداد قابل قبول و با پراکنش مناسب بر روی تصویر و نقشه انتخاب شد. نقاط در محل‌هایی مانند تقاطع بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و میادین انتخاب شدند. با بررسی میزان خطای نقاط، نقاطی که خطای بیش از یک پیکسل داشته حذف شدند. در

1. Root Mean Square Error

2. Normalized Difference Vegetation Index

3. Modified Soil Adjusted Vegetation Index

4. Modified Chlorophyll Absorbent Ratio Index2

5. Modified Triangular Vegetation Index2

چنین برای تعیین دقت طبقه بندی از ماتریس خطا استفاده شده و دقت کلی طبقه بندی و ضریب کاپا محاسبه شد (Alavipanah, 2006) Angle Mapper (SAM) استفاده شد. جهت بررسی صحت نقشه تولید شده، از مناطق آزمایشی که شامل نمونه های تصادفی از کلاس های طیفی مورد نظر بود استفاده شد. هم

جدول ۱- مشخصات شاخص های پوشش گیاهی مورد مطالعه برای تخمین نیتروژن

منبع	رابطه	عنوان شاخص	شماره
(Sepulcre-Canto et al., 2009)	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	NDVI	۱
(Haboudane et al., 2004)	$0.5 \left[2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)} \right]$	MSAVI2	۲
(Haboudane et al., 2004)	$\frac{3.75(NIR - Red) - 1.95(NIR - G)}{\sqrt{(2NIR + 1)^2 - (6NIR - 5\sqrt{Red})} - 0.5}$	MCARI2	۳
(Haboudane et al., 2004)	$\frac{1.8(NIR - G) - 3.75(R - G)}{\sqrt{(2NIR + 1)^2 - (6NIR - 5\sqrt{Red})} - 0.5}$	MTVI2	۴

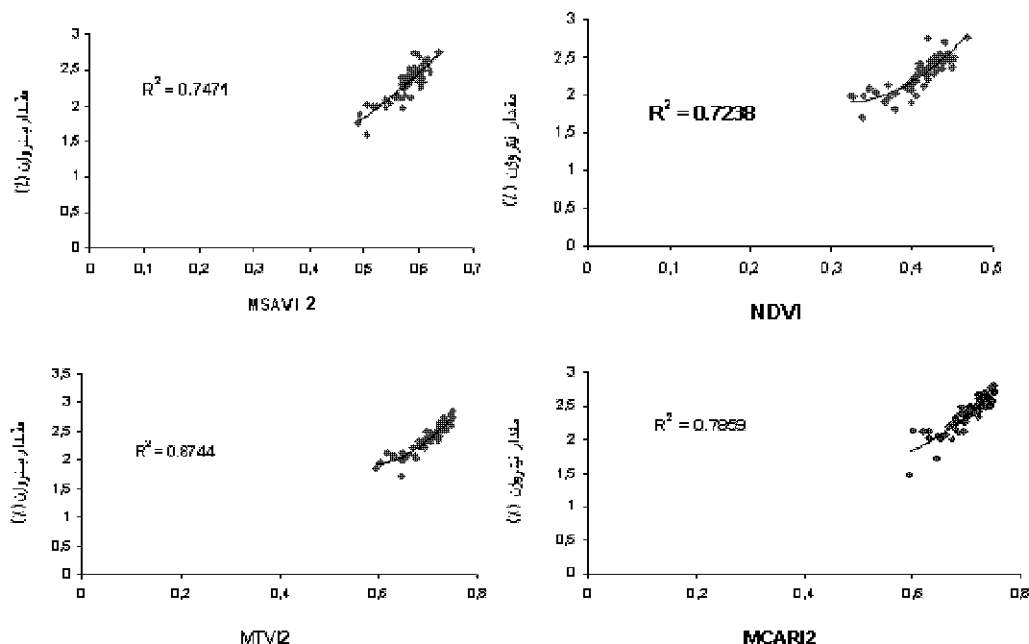
جدول (۲) با مقدار نیتروژن بررسی شد. به منظور یافتن بهترین مدل جهت ارائه رابطه نیتروژن و شاخص های پوشش گیاهی، انواع نمودارهای خطی، لگاریتمی، توانی، درجه دو و نمایی محاسبه شدند. در جدول (۲) مدل های رگرسیونی مختلف ارائه شده است.

بحث و نتایج

تعیین همبستگی شاخص های پوشش گیاهی با مقدار نیتروژن محصول ذرت میزان همبستگی شاخص های پوشش گیاهی موجود در

جدول ۲- انواع مدل های رگرسیونی برای شاخص های پوشش گیاهی

R ²	شاخص NDVI	نوع
0.6764	$N = 5.9022(NDVI) - 0.144$	خطی
0.6558	$N = 2.2696Ln(NDVI) + 4.3061$	لگاریتمی
0.7238	$N = 38.764(NDVI)^2 - 24.605(NDVI) + 5.8103$	درجه دو
0.6650	$N = 5.6798(NDVI)^{1.0282}$	توانی
0.6834	$N = 0.758e^{2.669(NDVI)}$	نمایی
R ²	شاخص MSAVI2	نوع
0.7454	$N = 6.4544(MSAVI) - 1.4135$	خطی
0.7441	$N = 3.5945Ln(MSAVI) + 4.2937$	لگاریتمی
0.7471	$N = 7.349(MSAVI)^2 - 1.7864(MSAVI) + 0.8866$	درجه دو
0.7182	$N = 5.6873(MSAVI)^{1.6438}$	توانی
0.7268	$N = 0.4197exp(2.9457(MSAVI))$	نمایی
R ²	شاخص MCARI2	نوع
0.7772	$N = 6.0482(MCARI2) - 1.8573$	خطی
0.7707	$N = 4.0943Ln(MCARI2) + 3.8432$	لگاریتمی
0.7859	$N = 13.958(MCARI2)^2 - 12.995(MCARI2) + 4.6125$	درجه دو
0.7569	$N = 4.5621(MCARI2)^{1.8495}$	توانی
0.7593	$N = 0.354exp(2.7103(MCARI2))$	نمایی
R ²	شاخص MTVI2	نوع
0.8418	$N = 6.0899(MTVI2) - 1.8805$	خطی
0.8299	$N = 4.1208Ln(MTVI2) + 3.8591$	لگاریتمی
0.8744	$N = 26.901(MTVI2)^2 - 30.669(MTVI2) + 10.648$	درجه دو
0.8320	$N = 4.4989(MTVI2)^{1.7917}$	توانی
0.8414	$N = 0.3719exp(2.644(MTVI2))$	نمایی



شکل ۴- رابطه درصد نیتروژن و شاخص های پوشش گیاهی

گیاهی متراکم به حالت اشباع می رسد. Li et al. (2008) و Perry & Davenport (2007) نیز نتایج مشابهی در مورد شاخص NDVI به دست آوردند.

تخمین مقدار نیتروژن با استفاده از شاخص های پوشش گیاهی
به منظور اطمینان از مدل های ارائه شده برای مزرعه مورد مطالعه، همبستگی مقادیر تخمین زده شده با مقادیر واقعی برای شاخص ها به دست آمد. بدین منظور سه روز پس از نمونه برداری اولیه، نمونه برداری مجدد در نقاط مختلفی از مزرعه به صورت تصادفی انجام شد و مقادیر نیتروژن نمونه ها با مقادیر تخمین زده شده به وسیله شاخص ها با یکدیگر مقایسه شدند. شکل (۵) همبستگی مقدار نیتروژن اندازه گیری و تخمین زده شده را نشان می دهد.

نتایج نشان می دهد که مقادیر نیتروژن اندازه گیری شده و تخمین زده شده با استفاده از تمام مدل های رگرسیونی، دارای همبستگی بالایی هستند. بنابراین می توان با اطمینان از صحت و دقت مدل های ارائه شده، از تمامی مدل ها برای تخمین مقدار نیتروژن استفاده کرد. نتایج نشان داد که شاخص MTVI2 مناسب ترین شاخص برای تخمین نیتروژن می باشد (Haboudane et al., 2004).

نقشه تغییرات نیتروژن مزرعه ذرت مورد مطالعه

از آن جا که شاخص MTVI2 بالاترین ضریب همبستگی را از میان شاخص های پوشش گیاهی مورد مطالعه داشت، برای تخمین مقدار نیتروژن کل مزرعه بر اساس رابطه
$$N = 26.901(MTVI2)^2 - 30.669(MTVI2) + 10.648$$
 با دقت ۰/۸۷ به کار رفت. شکل (۶) نقشه تغییرات نیتروژن

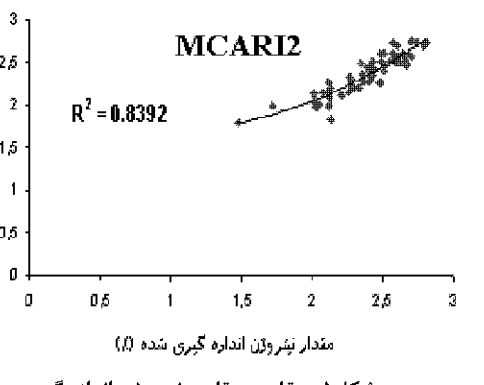
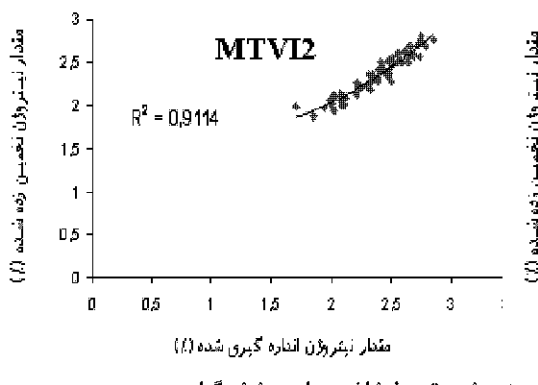
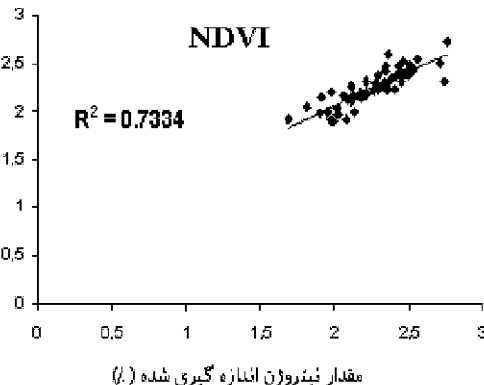
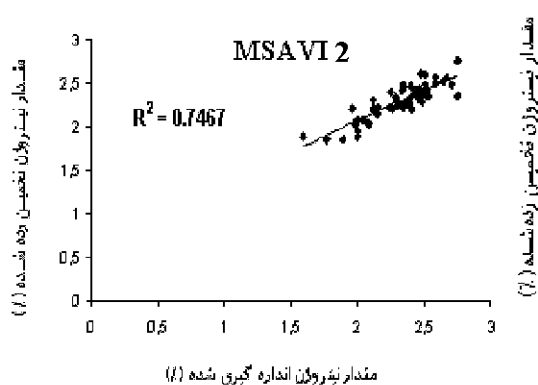
همان طور که در جدول نشان داده شده است، برای تمامی شاخص های محاسبه شده رابطه درجه دو دارای بالاترین همبستگی برای تخمین درصد نیتروژن است. شکل (۴) نمودار همبستگی درجه دوم شاخص های مختلف با درصد نیتروژن را نشان می دهد.

همان طور که در شکل نشان داده شده است، تمامی شاخص ها دارای همبستگی بالایی با درصد نیتروژن پوشش گیاهی ذرت می باشند. در پوشش گیاهی زنده، از بخش مرئی به طرف بخش فرو سرخ نزدیک تفاوت معنی داری در بازتاب و جذب طیف ها رخ می دهد. این موضوع باعث شده تا ترکیب این باندها دارای اثر معنی داری در تشخیص خصوصیات توده گیاهی باشد. شاخص MTVI2 با توجه به اینکه دارای بالاترین همبستگی در میان شاخص ها می باشد، به عنوان شاخص مناسب برای تخمین مقدار نیتروژن در نظر گرفته شد. این شاخص نوع اصلاح شده شاخص مثلث گیاه می باشد که طبق پژوهش های متعدد انجام شده با رنگ گیاه و کلروفیل آن همبستگی بالایی را نشان داده است. شاخص MCARI2 نیز در رتبه دوم قرار دارد. از آنجا که این شاخص نیز، شاخص اصلاح شده سنجش کلروفیل گیاه می باشد، بنابراین با مقدار نیتروژن گیاه که در ارتباط مستقیم با میزان کلروفیل است همبستگی بالایی نشان داده است (Alavipanah., 2010)

شاخص NDVI در مقایسه با MSAVI2 همبستگی پایین تری با مقدار نیتروژن گیاه نشان داد. علت این امر را می توان در عدم توانایی این شاخص در حذف اثر خاک و بازتابندگی آن دانست. از طرفی این شاخص در پوشش های

این نتایج نشان می‌دهد، با وجود آن که مزرعه مورد آزمون از جمله مزارعی بود که مدیریت تقریباً مناسبی برای توزیع کود نیتروژن در آن اعمال شده بود، اما با این حال تغییرات نیتروژن در سطح مزرعه زیاد بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اعمال یکنواخت کود در سطح مزرعه بدون در نظر گرفتن نیاز بخش‌های مختلف مزرعه، منجر به توزیع نامناسب آن شده است؛ بنابراین به نظر می‌رسد تهیه نقشه کود نیتروژن در هر مرحله کوددهی می‌تواند به شناخت وضعیت کود و مدیریت دقیق آن به منظور دستیابی به عملکرد بهینه در منطقه کمک نماید.

مزرعه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. براساس نتایج طبقه بندی، سه سطح نیتروژن در مزرعه قابل شناسایی و تفکیک است. این سطوح عبارتند از: سطوح نیتروژن زیاد (بیش از ۲/۵ درصد نیتروژن)، متوسط (۲-۲/۵ درصد نیتروژن) و کم (کمتر از دو درصد نیتروژن). به منظور ارزیابی نتایج طبقه بندی نظارت شده، ماتریس خطا و دقت کلی محاسبه شد. ضریب کاپا ۰/۹۶۶۹ و دقت کلی برابر با ۹۷/۵۳ درصد به دست آمد. مقادیر به دست آمده، صحت طبقه بندی و نقشه استخراج شده را نشان می‌دهد. هم چنین نتایج نشان داد که ۱۵/۸، ۲۵/۲ و ۵۹ درصد از مزرعه به ترتیب مقادیر نیتروژن زیاد، متوسط و کم دریافت کرده‌اند.

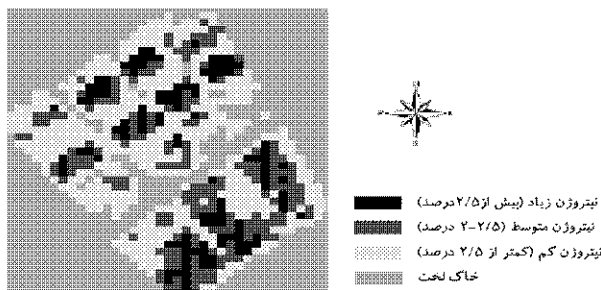


شکل ۵- مقایسه مقادیر نیتروژن اندازه گیری و تخمین زده شده توسط شاخص های پوشش گیاهی

چنین نتایج نشان می‌دهد که پخش یکنواخت کود نیتروژن در مزرعه بدون توجه به مقدار نیاز بخش‌های مختلف موجب شده تا قسمت های مختلف مزرعه مقادیر متفاوتی نیتروژن دریافت کنند. بنابراین با توجه به وجود تغییرات زیاد نیتروژن در مزرعه پیشنهاد می‌شود، به منظور مدیریت دقیق توزیع کود، نقشه کود نیتروژن در هر مرحله کوددهی با استفاده از فناوری سنسجس از دور تهیه شود.

نتیجه گیری کلی

- فناوری سنسجس از دور دارای قابلیت لازم برای مطالعات کشاورزی دقیق بوده و تصاویر ماهواره‌ای ASTER برای سنسجس مقدار نیتروژن پوشش گیاهی ذرت مناسب می‌باشد.



شکل ۶- نقشه تغییرات نیتروژن مزرعه ذرت مورد مطالعه

نتایج نشان داد، فناوری سنسجس از دور دارای قابلیت لازم برای سنسجس وضعیت نیتروژن گیاه ذرت می‌باشد. این نتیجه با پژوهش‌های انجام شده سایر محققین مطابقت دارد (Zhao et al., 2005; Hansen et al., 2002; Xue&Yang, 2008)

سیاسگزاری

از دانشگاه تهران و اتاق فکر جهاد کشاورزی جهت حمایت‌های مالی طرح تشکر نموده و هم چنین از جناب آقای مهندس سید امیر عباس مؤذن به منظور حمایت‌های مادی و معنوی ایشان از پروژه صمیمانه قدردانی می‌شود. همچنین از جهاد کشاورزی شهرستان پاکدشت، شرکت خدمات حمایتی کلان گستر پاکدشت، شرکت ژئوپرداز پارس، آزمایشگاه تغذیه گروه علوم دامی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران و از آقایان مهندس هادی یزدی مقدم، مهندس محمد خجسته‌فرد و مهندس مجید رنجبر (مستول محترم آزمایشگاه گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران) جهت همکاری با طرح تقدیر به عمل می‌آید.

REFERENCES

- Abrams, M. (2003) The advanced space borne thermal emission and reflection radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 847-859.
- Alavipanah, S.K. 2006. *The Use of Remote Sensing in soil Science*. University of Tehran.
- Alavipanah, S.K. 2010. *Principles of Modern Remote Sensing*. University of Tehran.
- Bajwa, S.G. (2006) Modeling rice plant nitrogen effect on canopy reflectance with partial least square regression (PLSR). *The Information & Electrical Technologies Division of ASABE*.
- Blackmer, T. M. Schepers, J. S. Varvel, G. E. & Walter-Shea, E. A. (1996) Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. *Agronomy Journal*, 88, 1-5.
- Bremner, J. M. & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In:Page, A.L., et al. (Eds), *Methods of Soil Analysis:Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA Monograph Number 9,(PP. 595-624). *International Journal of Remote Sensing*, 17(2), 249-261.
- Boegh, E. Soegaard, H. Broge, N. Hasager, C. B. Jensen, N. O. Schelde, K. & Thomsen, A. (2002) Airborne multi spectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81, 179-193.
- Feng, W. Yao, X. Zhu, Y. Tian, Y.C. & Cao, W.X. (2008) Monitoring leaf nitrogen status with hyper spectral reflectance in wheat. *European Agronomy Journal*, 28, 394-404.
- Ghazvini, H.D, Almasi, M, & Fathi, M. (2006) Application effect of digital maps (for VRT machines) for optimum fertilizer consumption in precision farming in Borkhar, Esfehen. *4th National Congress on Agricultural Machinery and mechanization Engineering*, Tabriz. Iran.(In Farsi)
- Gitelson, A. A. Kaufman, Y. J. Stark, R. & Ronquist, D. (2002) Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 80, 76-87.
- Hansen, P. M. Jorgensen, J. R. & Thomsen, A. (2002) Predicting grain yield and protein content in winter wheat and spring barely using repeated canopy reflectance measurements and partial least squares regression. *Journal of Agricultural Science*, 139, 307-318.
- Haboudane, D. Miller, J.R. Pattey, E. & Strachan, I.B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90, 337-352.
- Imami, A. (1997). *Methods of plants analysis*. No:982. Water & Soil Research Institute. (In Farsi)
- Johnson, L.F. (2001) Nitrogen influence on fresh-leaf NIR spectra. *Remote Sensing of Environment*, 78, 314-320.
- Karimi, Y. Prasher, S. O. McNairn, H. Bonnell, R. B. Dutilleul, P. & Goel, P. K. (2005) Discriminant analysis of hyperspectral data for assessing water and nitrogen stresses in corn. *Transactions of the ASAE*. 48 (2), 805-813.
- Labus, M.P. Nielsen, G.A. Lawrence, R. Engel, R. & Long, D. S. (2002) Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 23(20), 4169-4180.
- 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 Agronomy Journal*, 28., 614-624.
- Li, F. Gnyp, M. Jia, L. Miao, Y. Yu, Z. Koppe, W. Bareth, G. Chen, X. & Zhang, F. (2008) Estimating N status of winter wheat using a handheld spectrometer in the north china plain. *Journal of Field Crops Research*, 106, 77-85.
- Ma, B. L. Morrison, M. J. & Dwyer, L. M. (1996) Canopy light reflectance and field greenness to

- شاخص MTVI2 در مقایسه با شاخص‌های NDVI، MSAVI2، MCARI2 دارای بالاترین همبستگی با مقدار نیتروژن بوده و شاخص مناسب برای تخمین درصد نیتروژن پوشش گیاهی ذرت می‌باشد.

- در مزرعه مورد مطالعه، سه سطح نیتروژن زیاد، متوسط و کم شناسایی شد. هم چنین نتایج نشان داد که ۱۵/۸، ۲۵/۲ و ۵۹ درصد از مزرعه به ترتیب مقادیر نیتروژن زیاد، متوسط و کم دریافت کرده‌اند. با توجه به وجود تغییرات زیاد نیتروژن در مزارع پیشنهاد می‌شود مدیریت موضعی کود نیتروژن و تهیه نقشه کود نیتروژن مزرعه در هر مرحله کوددهی و استفاده از فناوری نرخ متغیر نهاده‌ها به منظور اعمال متغیر مقدار کود مورد نیاز در قسمت‌های مختلف مزرعه صورت گیرد.

- assess nitrogen fertilization and yield maize. *Agronomy Journal*, 88 (6), 915-920.
- Malakouti, M. & Keshavarz, P. (2006) *Theory of soil fertility in Iran*. Sana Pub. (In Farsi)
- Mistele, B. & Schmidhalter, U. (2008) Spectral measurement of the total aerial N and biomass dry weight in maize using a quadrilateral-view optic. *Field Crops Research*, 106 (1), 94-103.
- Noh, H. K. Zhang, Q. & Han, S. (2004) *Sensor based variable rate application of nitrogen by using a multi-spectral image sensor*. The ASAE annual International Meeting sponsored by ASAE. Ottawa. Canada.
- Perry, M. E. & Davenport, J. R. (2007) Spectral and spatial differences in response of vegetation indices to nitrogen treatments on apple. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 59, 56-65.
- Reum, D. & Zhang, Q. (2007) Wavelet based multi-spectral image analysis of maize leaf chlorophyll content. *Journal of Computers and Electronic in Agriculture*, 56, 60-71.
- Sepulcre-Canto, G. Zarco-Tejada, P.J. Sobrino, J.A. Berni, J.A.J. Jimenez-Munoz, J.C. & Gastellu-
Etchegorry, J. P. 2009. Discriminating irrigated and rainfed olive orchards with thermal ASTER imagery and DART 3D simulation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 962-975.
- Singh, R. Semwal, D. P. Rai, A. & Chhikara, R. S. (2002) Small area estimation of crop yield using remote sensing satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (1), 49-56.
- Wang, J.H. Huang, W.J. & Zhao, C.J. (2003) Estimation of leaf biochemical components and grain quality indicators of winter wheat from spectral reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 7 (4), 277-284 (In Chinese).
- Xue, L. & Yang, L. (2008) Recommendations for nitrogen fertiliser topdressing rates in rice using canopy reflectance spectra. *Biosystems Engineering*, 100, 524-534.
- Zhao, C. Liu, L. Wang, J. Huang, W. Song, X. & Li, C. (2005) Predicting grain protein content of winter wheat using remote sensing data based on nitrogen status and water stress. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7, 1-9.

