

تخمین آزمایشگاهی وضعیت نیتروژن برگ چغندر قند با استفاده از پردازش تصاویر رنگی

پرویز احمدی مقدم^{۱*}، محمد علی حداد درفشی^۲ و ماهرخ شایسته^۳

تاریخ دریافت: 88/4/1 تاریخ پذیرش: 88/11/20

1- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

2- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

3- استادیار گروه الکترونیک، دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبه E-mail: P.ahmadi@mail.urmia.ac.ir

چکیده

کاربرد تکنولوژی کوددهی متغیر نیتروژن در مزرعه یکی از محورهای اصلی مدیریت دقیق محصول می‌باشد که راندمان کوددهی را افزایش داده و باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد. استفاده از این تکنولوژی، نیازمند تعیین دقیق و لحظه‌ای وضعیت نیتروژن گیاه در مزرعه می‌باشد. در این تحقیق برای اولین بار، از روش پردازش تصاویر رنگی برای تعیین وضعیت نیتروژن برگ‌های چغندر قند استفاده شده است. آزمایش‌ها در اتاق فیتوترون انجام و شش سطح مختلف کوددهی (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار) در پنج تکرار برای چغندر قند که در گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۲۲ سانتی‌متر کشت شده بودند، در نظر گرفته شد. کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌سنج اندازه‌گیری گردید. دو فضای رنگی و یک فضای سطح خاکستری برای تخمین مقدار کلروفیل برگ بر اساس تصویر گرفته شده توسط دوربین دیجیتالی به کار گرفته شد. مدل سطح خاکستری رابطه خوبی با مقدار کلروفیل برگ نشان داد ($R^2 = 0.79$) و نیز زمان کمتری برای پردازش تصویر نیاز داشت (تقریباً نصف زمان پردازش تصویر در فضای رنگی) اما مدل $2R - B$ در فضای رنگی بیش‌ترین همبستگی را برای تخمین مقدار کلروفیل برگ نشان داد ($R^2 = 0.93$).

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، چغندر قند، کشاورزی دقیق، کلروفیل سنج، مدیریت کوددهی، نیتروژن

Laboratory Estimation of Sugar Beet Leaf Nitrogen Status by Color Image Processing

P Ahmadi Moghaddam^{1*}, MA Haddad Derafshi² and M Shayesteh³

¹PhD Student, Dept of Agricultural Machinery, Urmia University, Iran

²Assistant Professor, Dept of Agricultural Machinery, Urmia University, Iran

³Assistant Professor, Dept of Electronics, Urmia University, Iran

*Corresponding author: E-mail: P.ahmadi@mail.urmia.ac.ir

Abstract

The variable nitrogen fertilization in the field is an important aspect of precision management of crop production to increase fertilizer efficiency and to reduce the risk of environment pollution. This technology, however, requires online determination of plant nutrient status in the field. In this study for the first time in sugar beet, a color image analysis was performed to estimate plant nitrogen status. The experiment was carried out in a phytotron and nitrogen was applied at six levels (0, 100, 200, 300, 400 and 500 kg/ha) to the sugar beet grown in pots sized 22cm diameter. Chlorophyll index of the leaves was measured by a chlorophyll meter (SPAD). Two color and one gray level models were developed to estimate sugar beet leaf SPAD values based on the color images captured from sugar beet leaves using with a digital camera. The gray level model indicated a reasonable relationship ($R^2=0.79$) to estimate the sugar beet leaf chlorophyll with a lower analysis time (half of the color models), however the 2R-B model ($R^2=0.93$) was considered more reliable approach for estimating the chlorophyll level of sugar beet

Keywords: Chlorophyll meter, Fertilizer management, Image processing, Nitrogen, Precision farming, Sugar beet

مقدمه

کیفیت آب، هوا و اکوسیستم موجودات زنده دارد (اوفر و همکاران ۲۰۰۵). آبشویی نیتروژن به آب‌های زیرزمینی، مشکلات زیست محیطی جدی را بوجود می‌آورد که پی‌آمد آن کمبود اکسیژن در بافت بدن موجودات زنده می‌باشد (کیم و همکاران ۲۰۰۰).

در کشاورزی مرسوم، فرض می‌شود که تمامی خاک مزرعه از نظر حاصلخیزی یکنواخت و همگن می‌باشد، بنابراین کوددهی بصورت یکنواخت صورت می‌گیرد. اما زمین‌های کشاورزی از این نظر متغیر بوده و نیاز دارند که روش‌های گوناگونی برای مدیریت کوددهی نقاط مختلف مزرعه اعمال شود (کیم و همکاران

نیتروژن یکی از مواد غذایی ضروری مورد نیاز برای رشد گیاه می‌باشد و فقط با کوددهی متغیر آن در سطح مزرعه می‌توان به محصول فراوان با کمترین هزینه و نیز کمترین اثرات زیست محیطی دست یافت (آرنهامر و همکاران ۱۹۹۹). در سال‌های اخیر افزایش نگرانی درباره مصرف کودهای کشاورزی و آلوده شدن آب‌های زیرزمینی، محققین کشاورزی را تشویق کرده تا درباره بهبود مدیریت مصرف کود، راهکارهایی را پیشنهاد کنند. افزایش تحقیقات علمی در این زمینه نشان می‌دهد که مصرف بیش از اندازه کود نیتروژن اثرات منفی در

دادند (لیانگ لیانگ و همکاران ۲۰۰۴ و نامراتا و همکاران ۲۰۰۷). مطالعات زیادی با استفاده از این روش برای محصولات آبی مانند ذرت (لی و سرسی ۲۰۰۰ و ناح و همکاران ۲۰۰۵)، گندم (لیانگ لیانگ ۲۰۰۴)، سیب زمینی (برهان و همکاران ۲۰۰۴)، کلم (چن و همکاران ۲۰۰۷)، باقلا (تای و همکاران ۱۹۹۸) و پنبه (سویی ۱۹۹۹) انجام شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که آنالیز تصاویر رنگی پتانسیل زیادی برای تخمین درصد نیتروژن گیاه دارد.

با توجه به اینکه نیتروژن مولفه اصلی مولکول‌های کلروفیل در برگ گیاه می‌باشد، می‌توان از رنگ برگ که تابعی از مقدار کلروفیل آن می‌باشد برای بررسی وضعیت نیتروژن استفاده کرد (لیانگ لیانگ و همکاران ۲۰۰۴). در ذرت نشان داده شده است بوته‌هایی که کمبود نیتروژن دارند به مراتب دارای رنگ روشن‌تری (سبز روشن) نسبت به بوته‌هایی که نیتروژن کافی (سبز تیره) در اختیار دارند، می‌باشند (لی و سرسی ۲۰۰۰). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که انعکاس رنگ سبز از سطح برگ رابطه خوبی با مقدار کلروفیل اندازه‌گیری شده توسط دستگاه کلروفیل‌سنج دارد ($R^2 = 0.78$) (ناح و همکاران ۲۰۰۵).

آدامسن و همکاران (۱۹۹۹) از یک دوربین دیجیتالی رنگی برای محاسبه نسبت رنگ سبز به رنگ قرمز در گندم به منظور تخمین مقدار نیتروژن استفاده کردند. لوکینا و همکاران (۱۹۹۹) برای تخمین پوشش سبزی و مقدار ماده خشک گندم از پردازش روی تصاویر رنگی که توسط دوربین دیجیتالی رنگی گرفته شده بود استفاده کردند. آلچاناتیس و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که بهترین ناحیه رنگی که بیشترین همبستگی را با درصد نیتروژن برگ ذرت دارد در ناحیه ۵۳۰ تا ۷۸۰ نانومتر می‌باشد.

چغندر قند یکی از مهمترین محصولات کشاورزی در دنیا به شمار می‌آید که در زراعت آن مقدار زیادی کود ازته برای رسیدن به محصول بیشتر مصرف می‌گردد.

(۲۰۰۰). کوددهی متغیر نیتروژن یکی از روش‌هایی است که می‌توان برای کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش بازده کوددهی استفاده کرد. اجرای موثر کوددهی متغیر نیتروژن در سطح مزرعه، بستگی به توانایی تشخیص وضعیت نیتروژن گیاه در هنگام عمل کودپاشی دارد. بنابراین روش‌های غیرمخرب تعیین وضعیت نیتروژن گیاه یک فاکتور مهم در مدیریت کوددهی می‌باشد (جان و همکاران ۲۰۰۹).

چندین روش برای تشخیص کمبود نیتروژن محصولات کشاورزی شامل الف) آنالیز بافت گیاه ب) آنالیز نمونه خاک ج) اندازه‌گیری توسط کلروفیل‌سنج د) آنالیز تصاویر هوایی وجود دارد. روش‌های آنالیز بافت گیاه و آنالیز نمونه خاک روش‌های دقیقی هستند اما نیاز به زمان و ابزار بیشتری داشته و همچنین پرهزینه‌تر می‌باشند (تورپ و همکاران ۲۰۰۴).

استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج^۱ یک روش بسیار سریع و غیرمخرب می‌باشد که بصورت گسترده‌ای توسط محققین برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل گیاه رایج شده است. بلکمر و شفر (۱۹۹۵) و تامبو و همکاران (۲۰۰۲) توانایی دستگاه کلروفیل‌سنج را برای اندازه‌گیری درصد نیتروژن گیاه نشان دادند. مطالعاتی نیز برای نشان دادن همبستگی بین سطح کلروفیل و درصد نیتروژن برگ نیز اجرا شده است. به عنوان مثال همبستگی بین کلروفیل و نیتروژن برگ‌های برنج ۰/۹ و ۰/۹۴ گزارش شده است (فلاور و همکاران ۲۰۰۰). لیو و همکاران (۲۰۰۶) از داده‌های بدست آمده توسط دستگاه کلروفیل‌سنج برای تخمین مقدار نیتروژن برگ اسفناج استفاده کردند. استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج به علت محدودیت در اندازه‌گیری تعداد داده‌ها، در مزارع بزرگ بسیار محدود می‌باشد (یوخین و همکاران ۲۰۰۹).

به منظور به‌دست آوردن روش‌های دقیق‌تر و سریع‌تر جهت تشخیص وضعیت نیتروژن گیاه، محققین روش‌های مختلفی را بر اساس پردازش تصاویر توسعه

^۱ (SPAD 502 Chlorophyll meter, Minolta Co, Japan)

کوددهی متغیر

نیترژن بصورت کود اوره (۴۶% ازت) و در شش سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار) و در طی سه مرحله همزمان با کاشت، مرحله ۴-۶ برگی (۲۰ روز پس از کشت) و مرحله ۸ برگی (۳۰ روز پس از کاشت) در پنج تکرار به تیمارها داده شد. مقدار کود مورد نیاز در هر مرحله در آب آبیاری حل شده و به گلدان‌ها داده می‌شد. هر گلدان روزانه بوسیله ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، آبیاری می‌گردید.

تهیه عکس‌ها و اندازه‌گیری درصد نیترژن برگ

پس از پایان مرحله سوم کوددهی (۳۰ روز پس از کاشت) تا پایان کار (۶۰ روز پس از کاشت) مجموعاً از هر گلدان ۶ برگ بریده شد. انتخاب برگ‌ها به نحوی صورت گرفت که نماینده آن تیمار باشد. کلروفیل برگ‌های انتخاب شده توسط دستگاه کلروفیل سنج^۳ اندازه‌گیری گردید و همزمان از برگ‌ها عکس تهیه شد. برای افزایش دقت اندازه‌گیری کلروفیل، از هر برگ در ۱۰ نقطه مختلف اندازه‌گیری صورت گرفت و میانگین آن محاسبه گردید. در هنگام پردازش تصاویر، جهت کاهش زمان پردازش فقط از ۶۰ برگ (۲ برگ از هر گلدان) استفاده گردید.

عکس‌ها توسط دوربین دیجیتالی سونی^۴ و به فاصله ۵۰ سانتیمتر بالاتر از برگ گرفته شد. عکس‌برداری در اتاق فیتوترون و در تحت ترکیبی از نورهای سفید و زرد که مناسبترین شرایط برای عکس‌برداری در فضای بسته هستند، صورت پذیرفت. به منظور جلوگیری از بازتاب نور در سطح برگ‌ها نور پردازی از پشت شیشه که در سقف اتاق فیتوترون تعبیه شده بود صورت گرفت. با این شرایط نور بصورت کاملاً یکنواخت در تمامی اتاق پخش شده بود و بازتاب نور از سطح برگ به حداقل ممکن رسید. وضوح تصاویر

مصرف زیاد کود ازته باعث افزایش مقدار ماده خشک و اندازه غده چغندر قند می‌شود ولی درصد قند موجود در آنرا کاهش می‌دهد. این موضوع اهمیت مصرف دقیق کود ازته را در مزارع چغندر قند بیشتر بیان می‌کند (مالنو و همکاران ۲۰۰۸).

هدف این تحقیق تعیین قابلیت استفاده از دوربین دیجیتالی برای تشخیص مقدار نیترژن موجود در برگ‌های چغندر قند می‌باشد. در این مقاله برای اولین بار، روابطی برای تخمین درصد کلروفیل برگ چغندر قند با استفاده از پردازش روی تصاویر دیجیتالی نوشته شده است.

مواد و روش‌ها

کاشت گیاه

کاشت چغندر قند در تاریخ ۱۵ مهر ماه سال ۱۳۸۷ و در اتاق فیتوترون^۲ پژوهشکده علوم زیستی دانشگاه ارومیه و شرایط دمایی ۲۵ و ۲۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۵۰ و ۶۰% به ترتیب در روز و شب انجام شده است. چغندر قند در داخل گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۲۲ و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر کشت گردید. ابتدا در داخل هر گلدان ۱۰ بذر کاشته شد که پس از جوانه‌زنی تعداد بوته به ۲ عدد کاهش یافت. خاک مورد استفاده برای کشت از ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی ارومیه تهیه گردید (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات خاک لومی مورد استفاده در آزمایش

pH (water)	7.4
No ₃ ^a	50.2 (ppm)
Extractable P ^b	18.4 (ppm)
Extractable K	591 (ppm)
Organic C	0.68%
Electrical conductivity	3.05 (Ds/m)

a: روش اندازه‌گیری Devardas Alloy, 1965

b: روش Alsen, 1982

³(Model 502, Minolta Co, Japan)(SPAD)

⁴DSC W200 CCD Sony

² Phytotron

آستانه‌گیری و نمودار مربوط به شدت هیستوگرام، مقادیر آستانه برای حذف پیکسل‌های زمینه (خاک) از تصویر مشخص گردید و با استفاده از تابع آستانه‌گیری زیر جداسازی صورت گرفت:

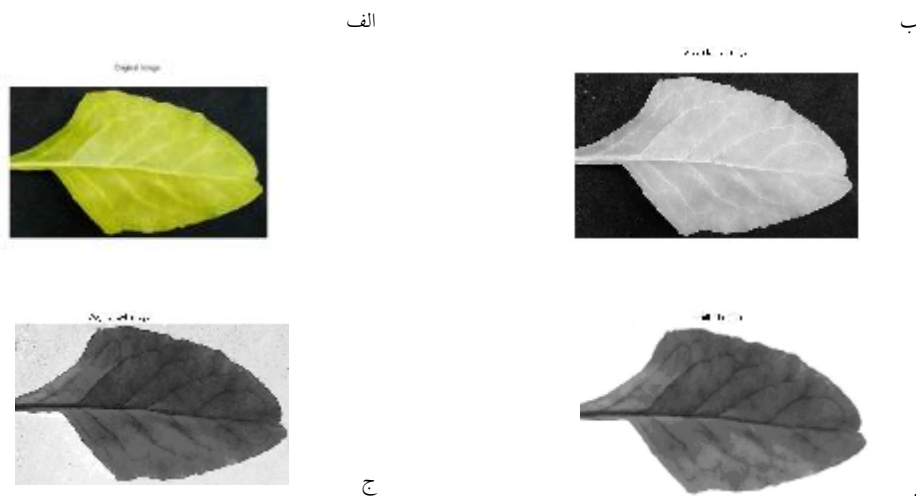
$$g_i(x, y) = \begin{cases} 0 & f_i(x, y) \leq T_i \\ f_i(x, y) & f_i(x, y) \geq T_i \end{cases} \quad [۱]$$

$g_i(x, y)$ = مقدار سطح خاکستری هر پیکسل در تصویر جداسازی شده، $f_i(x, y)$ = مقدار سطح خاکستری هر پیکسل در تصویر اصلی، T_i = مقدار آستانه و i مولفه‌های تصویر را در سه کانال قرمز، سبز و آبی بیان می‌کند.

۲۰۴۸×۱۵۳۶ پیکسل و در باندهای قرمز، سبز و آبی با فرمت JPEG گرفته شد. برای پردازش تصاویر از نرم‌افزار متلب ورژن ۷/۶ استفاده گردید.

پردازش مقدماتی تصاویر

به منظور افزایش دقت تخمین کلروفیل برگ بر اساس انعکاس سطح آن، الگوریتم جداسازی برای حذف زمینه تصویر استفاده گردید. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، الگوریتم جداسازی در سه مرحله اجرا شد: الف) تقسیم تصویر اصلی به سه مولفه تشکیل دهنده آن (رنگ قرمز، رنگ سبز و رنگ آبی) ب) جداسازی برگ از زمینه تصویر ج) حذف نویزهای تصویر. ابتدا تصویر اصلی هر برگ به سه تصویر تک رنگ قرمز، سبز و آبی تقسیم گردید. با استفاده از



شکل ۱- مراحل پردازش تصویر برگ. الف) تصویر اصلی ب) مولفه رنگ سبز تصویر ج) برگ جدا شده از زمینه تصویر د) حذف نویزهای تصویر

زمینه تصویر صفر می‌گردد (تصویر ۱ ج). در مرحله بعد، میانگین شدت پیکسل‌های برگ چغندر قند در هر

با توجه به تابع فوق، شدت پیکسل‌های مربوط به برگ چغندر قند تغییر نکرده و فقط مقدار پیکسل‌های

بسیار خوبی را نشان داد (جدول ۲). شکل ۲ رابطه بین مقدار کلروفیل برگ و مولفه رنگ قرمز را در برگ‌های با ازت مختلف نشان می‌دهد. یک رابطه معکوس بین درصد کلروفیل برگ و انعکاس سطح برگ در هر دو ناحیه سبز و قرمز وجود دارد. بررسی روابط و آنالیز تصاویر نشان می‌دهد که مولفه رنگ قرمز، برای تشخیص برگ‌هایی که دچار کمبود نیتروژن شده‌اند بهتر از مولفه‌های سبز و آبی عمل می‌کند ($R^2 = 0.88$). این نتایج، با گزارشات ارائه شده توسط لیانگ لیانگ و همکاران (۲۰۰۴) همخوانی کامل دارد. همچنین نتایج آنالیز تصاویر نشان می‌دهد که برای برگ‌های با مقدار ازت متفاوت (کوددهی مختلف)، تغییرات این مولفه نسبت به رنگ سبز و آبی یکنواخت‌تر می‌باشد و به این دلیل است که مولفه قرمز همبستگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ نشان می‌دهد. ناح و همکاران (۲۰۰۵) نیز در مورد ذرت نشان دادند که بهترین مولفه برای تخمین مقدار کلروفیل برگ، مولفه رنگ قرمز می‌باشد.

تصویر تک رنگ (قرمز، سبز و آبی) با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$G_i = \frac{\sum g_{ci}(x, y)}{n_{ci}} \quad [2]$$

G_i = مقدار میانگین شدت پیکسل در مولفه i ،
 $g_{ci}(x, y)$ = مقدار سطح خاکستری هر پیکسل برگ
 n_{ci} = تعداد کل پیکسل‌های برگ در هر تصویر تک رنگ و i مولفه‌های اصلی تصویر را بیان می‌کند.

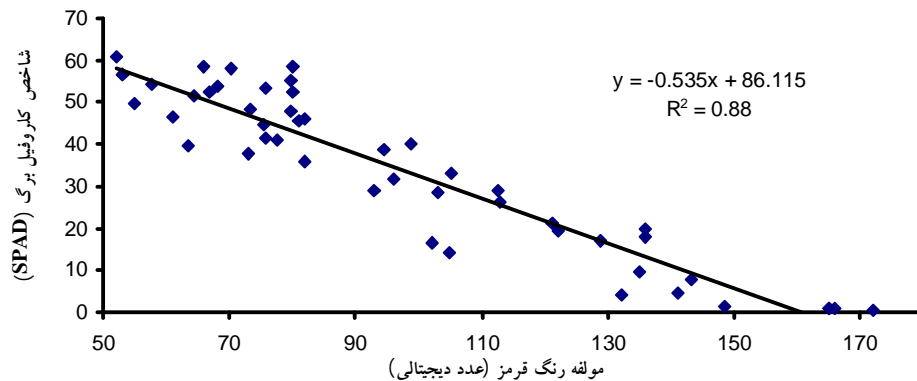
پس از حذف زمینه تصویر، مقادیر میانگین مولفه‌های قرمز، سبز و آبی برای هر تصویر با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌گردد. سپس رابطه بین این مولفه‌ها با مقدار کلروفیل برگ بررسی گشته و با نتایج دیگران مقایسه می‌گردد.

نتایج و بحث

تخمین درصد نیتروژن برگ بر اساس مولفه‌های رنگ قرمز و سبز تصویر در فضای رنگی RGB، نتایج

جدول ۲- بهترین معادلات به دست آمده برای توابع مختلف

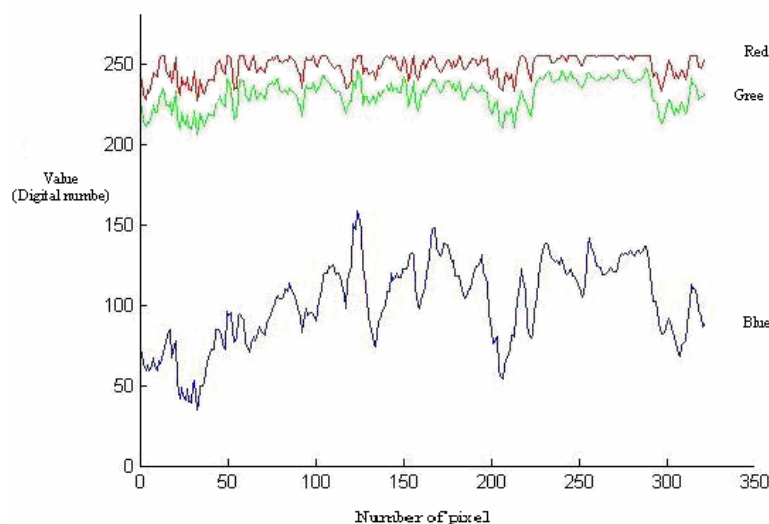
توابع	معادلات	مقادیر R^2
R	$SPAD_{est} = -0.54 R + 86.2$	0.88
G	$SPAD_{est} = -0.66 G + 105.2$	0.76
B	$SPAD_{est} = -0.68 B + 60.9$	0.24
R - B	$SPAD_{est} = -0.73 (R - B) + 76.8$	0.90
R - G	$SPAD_{est} = -1.5 (R - G) + 18.3$	0.76
G - B	$SPAD_{est} = -0.98 (G - B) + 100.86$	0.76
R - B/R + B	$SPAD_{est} = -112.8 (R - B/R + B) + 84.8$	0.54
G - B/G + B	$SPAD_{est} = -47.4 (G - B/G + B) + 55.5$	0.05
G/R + B + G	$SPAD_{est} = 614 (G/R + B + G) - 239$	0.50
2R + G - B	$SPAD_{est} = -0.221 (2R + G - B) + 92$	0.90
2R - B	$SPAD_{est} = -0.32 (2R - B) + 83.1$	0.93
2G - B	$SPAD_{est} = -0.26 (2G - B) + 108.5$	0.81
Gray level	$SPAD_{est} = -0.67 Gray + 94.1$	0.79
Hue	$SPAD_{est} = 12.5 H + 54.5$	0.05
Saturation	$SPAD_{est} = 42.6 S + 13.4$	0.02
Intensity	$SPAD_{est} = 56.4 I + 45.2$	0.66



شکل 2- همبستگی بین کلروفیل اندازه گیری شده و مولفه رنگ قرمز تصویر برگ

و سبز آن با رنگ آبی بیشتر بوده و در برگ‌هایی که از نظر کلروفیل غنی می‌باشند این اختلاف کمتر می‌گردد. برهان و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که بیشترین اختلاف بین نور منعکس شده از سطح برگ‌هایی که نیتروژن زیادی دارند در مقایسه با برگ‌های ضعیف برای طول موج‌های بین ۵۵۰ تا ۶۰۰ نانومتر (ناحیه بین سبز و قرمز) وجود دارد.

شکل ۳ مقادیر رنگ‌های اصلی دریافت شده از تصویر یک برگ با مقدار کلروفیل متوسط را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود مقادیر رنگ قرمز و سبز، بالاتر از رنگ آبی می‌باشد (مقادیر رنگ‌های اصلی در هر پیکسل می‌تواند از ۰ تا ۲۵۵ متغیر باشد). نتایج آنالیز تصاویر نشان می‌دهد، برگ‌هایی که از نظر مقدار نیتروژن ضعیف می‌باشند اختلاف مولفه‌های قرمز



شکل 3- تغییرات مقادیر رنگ‌های اصلی در طول مشخصی از یک برگ

جداسازی و طبقه‌بندی مناسب می‌باشد (نواح و همکاران ۲۰۰۵).

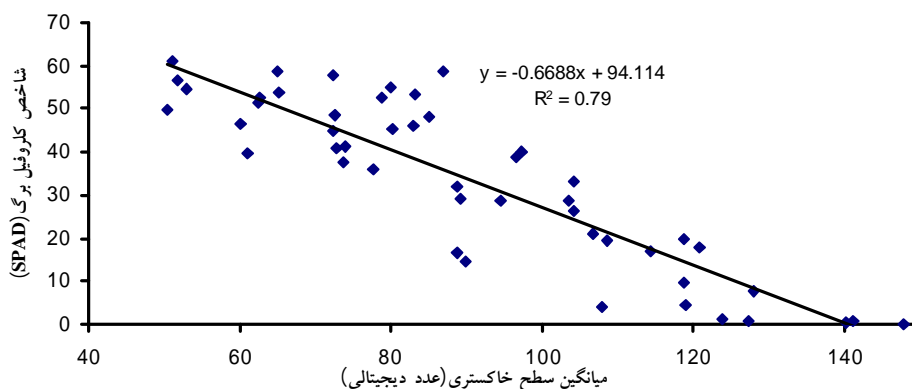
در پردازش تصاویر در فضای خاکستری، ابتدا تصویر رنگی تبدیل به تصویر سطح خاکستری گردید و سپس با استفاده از الگوریتم جداسازی از زمینه جدا گردید. میانگین مقادیر پیکسل‌های مربوط به برگ در تصویر محاسبه گردید. نتایج آنالیز تصاویر نشان داد که برگ‌هایی که ازت کمتری داشتند، پس از تبدیل به تصویر خاکستری، میانگین سطح خاکستری آنها بالاتر بود (تصویر برگ روشن‌تر دیده می‌شد). نتایج نشان داد که رابطه خوبی بین درصد کلروفیل برگ و سطح خاکستری آن وجود داشت ($R^2 = 0.79$) (شکل ۴). با وجود اینکه مدل خاکستری نسبت به برخی از مدل‌های رنگی همبستگی کمتری را نشان می‌دهد ولی زمان پردازش تصاویر در فضای خاکستری بسیار کمتر از فضای رنگی می‌باشد. به همین دلیل در برخی از کاربردهای آنالیز در مزرعه که زمان اهمیت زیادی دارد می‌تواند بسیار موثر باشد.

قبل از اینکه بتوان مدل $2R - B$ را به‌عنوان بهترین مدل به دست آمده برای تخمین درصد کلروفیل برگ به کار برد باید اعتبار و صحت این مدل تست گردد. به این منظور ۱۰ روز پس از جوانه زنی و هر سه روز یکبار مقدار کلروفیل تمامی برگ‌های هر گلدان اندازه‌گیری و میانگین آن محاسبه گردید. بلافاصله پس از اندازه‌گیری کلروفیل از هر گلدان عکس گرفته شد. پس از پردازش تصاویر مقادیر اندازه‌گیری شده کلروفیل برای هر گلدان با مقادیر تخمین زده شده توسط مدل مقایسه گردید. شکل ۵ نشان می‌دهد که همبستگی خوبی بین مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد ($R^2 = 0.91$). این نتیجه اعتبار و صحت مدل به‌دست آمده را برای تخمین درصد نیتروژن برگ برای داده‌های جدید نشان می‌دهد

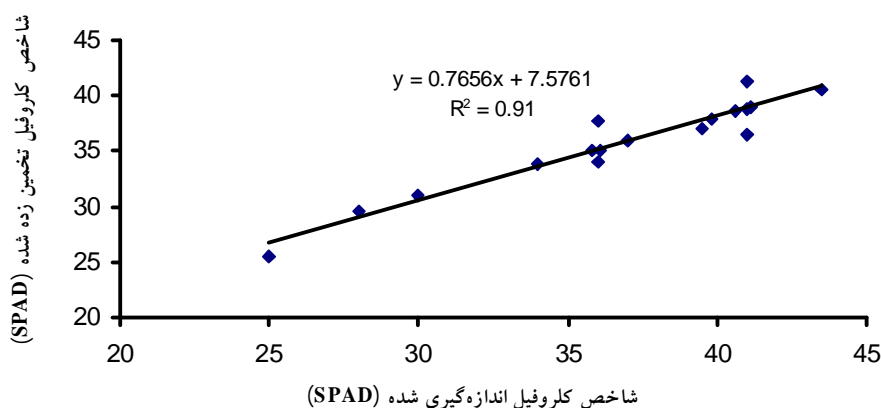
برای پیدا کردن روش‌های قابل اطمینان‌تر در تخمین مقدار کلروفیل برگ، توابع مختلفی از مولفه‌های اصلی تصویر در فضای رنگی و نیز سطح خاکستری تعریف شده و همبستگی میان آنها با مقدار کلروفیل برگ مورد آنالیز قرار گرفت. جدول ۲ رابطه بین این توابع و درصد کلروفیل برگ را همراه با مقدار ضریب تشخیص R^2 نشان می‌دهد. همانطوریکه در جدول ۲ مشخص می‌باشد، توابع $R - B$ ، $2R - B$ و $2R + G - B$ بیشترین همبستگی را برای تخمین درصد کلروفیل برگ نشان می‌دهد به ترتیب با R^2 برابر ۰/۹۳، ۰/۹ و ۰/۹. نتایج نشان می‌دهد که مولفه رنگ آبی به تنهایی برای تخمین مقدار ازت برگ مناسب نمی‌باشد (جدول ۲).

نتایج آنالیز تصاویر نشان می‌دهد که کمبود ازت در برگ چغندر قند باعث افزایش مولفه قرمز و سبز و کاهش مولفه آبی در تصویر می‌گردد. به این دلیل استفاده از توابعی که اختلاف مولفه‌های سبز و قرمز را با مولفه آبی بیشتر مورد توجه قرار دهند، می‌تواند در تخمین مقدار کلروفیل برگ موثر باشد. بنابراین بهترین مدل‌ها زمانی به دست می‌آید که مولفه آبی از سایر مولفه‌ها کسر گردد. باید توجه داشت که مولفه آبی در تصاویر رنگی به شدت تحت تاثیر شرایط نور محیط می‌باشد. بنابراین کاهش مولفه آبی از تصویر به کاهش نویزهای ناشی از تغییرات نور کمک می‌کند. نتایج مشابهی برای گندم بوسیله شیگتو و ناکاتانی (۱۹۹۸) گزارش شده است. بهترین مدل‌هایی که شیگتو گزارش کرد $(R-B)/(R+B)$ با $R^2=0.81$ و $R-B$ با $R^2=0.76$ بود.

جدول ۲ نشان می‌دهد که همبستگی ضعیفی بین مولفه‌های تصویر در فضای HSI و درصد کلروفیل برگ وجود دارد. این محیط رنگی بیشتر برای کارهای



شکل 4- همبستگی بین مقدار کلروفیل و میانگین سطح خاکستری تصویر برگ چغندر قند



شکل 5- همبستگی بین مقادیر کلروفیل اندازه گیری شده و تخمین زده شده برای برگ چغندر قند

کوددهی متغیر نیتروژن را به منظور تولید چغندر قند با کمترین اثرات مخرب زیست محیطی توسعه داد.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از آقای مهندس مجیدی، رئیس بخش تحقیقات آب و خاک مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی به دلیل توصیه‌های ارزنده ایشان در زمینه تهیه خاک و کاشت بذر و نیز آقای عزیزی هماهنگ کننده پژوهشکده علوم زیستی دانشگاه ارومیه، جهت انجام آزمایشات، سپاس‌گزاری می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

از آنجائیکه همبستگی بسیار خوبی بین کلروفیل برگ و مقدار نیتروژن آن وجود دارد، می‌توان از مدل به‌دست آمده در این تحقیق ($2R - B$) برای تخمین درصد نیتروژن برگ‌های چغندر قند استفاده کرد.

انعکاس سطح برگ در ناحیه قرمز و سبز همبستگی خوبی با مقادیر کلروفیل برگ دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که از آنالیز تصاویر رنگی می‌توان مانند یک دستگاه کلروفیل‌سنج برای تشخیص کمبود ازت در برگ‌های چغندر قند استفاده کرد. با ترکیب این روش و استفاده از یک کودپاش با دبی متغیر می‌توان کاربرد

منابع مورد استفاده

- Adamsen FJ, Pinter PJ, Barnes RM, Lamorte RL, Wall GW, Leavitt SW and Kimbau BA, 1999. Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Sci* 39: 719-724.
- Alchanatis V, Schmilovitch Z and Meron M, 2005. In field assessment of single leaf nitrogen status by spectral reflectance measurements. *Precision Agriculture* 6: 25-39.
- Auernhammer M, Demmel FX, Maidl U, Schmidhalter T and Wagner P, 1999. An farm communication system for precision farming with nitrogen real-time application. ASAE Paper No 99-1150, ASAE St. Joseph, MI.
- Blackmer TM and Schepers JS, 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal of Production Agriculture* 8(1): 56-60.
- Borhan MS, Panigrahi S, Lorenzen JH and Gue H, 2004. Multi spectral and color imaging techniques for nitrate and chlorophyll determination of potato leaves in a controlled environment. *Trans ASAE* 47(2): 599-608.
- Chen CT, Chen S, Hsieh KW, Yang HC, Hsiao S and Yang IC, 2007. Estimation of leaf nitrogen content using artificial neural network with cross-learning scheme and significant wavelengths. *Trans ASAE* 50(1): 295-301.
- Flowers M, Weisz R and Heiniger R, 2000. Aerial photographic determination of nitrogen application timing and rate recommendations in winter wheat. Proceedings of the fifth international conference on precision agriculture (on CD). Madison, WI, American Society of Agronomy.
- Jon T, Biermacher FM, Epplin B, Wade B, John B, William S and Raun R, 2009. Economic feasibility of site specific optical sensing for managing nitrogen fertilizer for growing wheat. *Precision Agric* 10: 213-230.
- Kim YS, Reid F, Hansen A and Zhang Q, 2000. On-field crop stress detection system using multi-spectral imaging sensor. *Agri and Biosys Eng* 1(2): 88-94.
- Lee W and Searcy SW, 2000. Multi spectral sensor for detecting nitrogen in corn plants. ASAE Paper No. 001010. St. Joseph, Mich : ASAE.
- Liangliang Jia, Chen X, Zhang F, Andreas B and Volker R, 2004. Use of digital camera to assess nitrogen status on winter wheat in the northern china plain. *Journal of Plant Nutrition* 27(3): 441-450.
- Lukina E, Stone M and Raun W, 1999. Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. *Journal of Plant Nutrition* 22: 341-350.
- Liu Y, Tong Y, Zhu Y, Ding H and Smith EA, 2006. Leaf chlorophyll readings as an indicator for spinach yield and nutritional quality with different nitrogen fertilizer applications. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1207-1217.

- Malnou CS, Jaggard KW and Sparkes DL, 2008. Nitrogen fertilizer and the efficiency of the sugar beet crop in late summer. *Europ J Agronomy* 28: 47-56.
- Namrata J, Ray SS, Singh JP and Panigraha S, 2007. Use of hyperspectral data to assess the effects of different nitrogen applications on a potato crop. *Precision Agric* 8: 225-239.
- Noh H, Zhang Q, Han S, Shin B and Reum D, 2005. Dynamic calibration and image segmentation methods for multi spectral imaging crop. *Trans ASAE* 48 (1): 393-401.
- Ofer B, Rebecca P, Pete C and Mark L, 2005. Alternate satellite models for estimation of sugar beet residue nitrogen credit. *Agriculture Ecosystems and Environment* 107: 21-35.
- Shigeto K and Nakatani M, 1998. An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. *Annals of Botany* 81: 49-54.
- Sui R, 1999. A ground-based real-time remote sensing system for diagnosing nitrogen status in cotton plants. Ph.D. Diss., Agricultural and Biosystems Engineering Dept, The University of Tennessee, Knoxville.
- Thai CN, Evans MD, Deng X and Theisen AF, 1998. Visible and NIR imaging of bush beans grown under different nitrogen treatments. ASAE paper No. 98-3074. ASAE, St. Joseph, MI.
- Thorp KR, Tian L, Yao H, and Tang L, 2004. Narrow-band and derivative-based vegetation indices for hyperspectral data. *Trans ASAE* 47(1): 291-299.
- Tumbo SD, Wagner DG, and Heinemann PH, 2002. On-the-go sensing of chlorophyll status in corn. *Trans ASAE* 45(4): 1207-1215.
- Yuxin M, David JM, Gyles WR, Jeffrey AV and Roxana V, 2009. Combining chlorophyll meter readings and high spatial resolution remote sensing images for in-season site-specific nitrogen management of corn. *Precision Agric* 10: 45-62.