برآورد پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ و مقدار نیتروژن برگ چغندرقند با استفاده از عکسبرداری دیجیتال

Estimation of canopy cover, leaf area index and leaf nitrogen content in sugar beet using digital photography

حمیدرضا کمالی[1*]، شاهرخ زند پارسا[2] و معصومه زارع[3]

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۲۶

ح.ر. کمالی، ش. زندپارسا و م. زارع. ۱۳۹۵. برآورد پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ و مقدار نیتروژن برگ چغندرقند با استفاده از عکسبرداری دیجیتال. **چغندرقند، ۳۲(۲): ۱۲۳- ۱۳۳**

چکیده

در پژوهش حاضر از عکسبرداری دیجیتال جهت برآورد مقدار پوشش گیاهی ، شاخص سطح برگ و نیتروژن جذب شده توسط چغندرقند استفاده گردید. برای این منظور عملیات زراعی کشت چغندرقند رقم پارس در سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در خاک لوم‌رسی سیلتی انجام شد. تیمارهای این پژوهش شامل دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی و چهار سطح کود صفر، ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن بود. عکس‌ها در طول فصل رشد و به وسیله دوربین دیجیتال مدل canon تهیه شد. با استفاده از نرم‌افزار ILWIS باندهای اصلی شامل قرمز، سبز و آبی (RGB) از عکس‌ها استخراج و ترکیبات مختلف باندهای اصلی تهیه گردید. در مرحله‌ی بعد همبستگی ترکیبات به دست آمده با مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که رابطه‌ی شاخص GMR (باند سبز منهای باند قرمز) همبستگی مناسبی (۰/۸٤) با مقدار نیتروژن جذب شده توسط چغندرقند داشت. با استفاده از نرم‌افزار MATLAB درصد پوشش سبز گیاه چغندرقند به دست آمد و همبستگی آن با ترکیب به دست آمده (GMR) با مقدار ضریب تبیین ۰/۷۸ مشخص شد. هم‌چنین با استفاده از رابطه‌ای که بین درصد پوشش و ضریب خاموشی وجود داشت، مقدار ضریب خاموشی برای دوره ابتدایی رشد چغندرقند برابر ۰/٤۹ تخمین زده شد.

واژه‌های کلیدی: سطح پوشش، ضریب خاموشی، عکسبرداری دیجیتال، وضعیت نیتروژن

۱- دانشجوی دکتری بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز ایران *- نویسنده مسئول hamidreza14kamali@yahoo.com

۲- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

نیتروژن در چرخه‌ی زندگی گیاهان نقش کلیدی دارد. بعد از کربن، هیدروژن و اکسیژن، نیتروژن یکی از عناصر حیاتی در گیاهان است که نقش اساسی در ساخت کلروفیل و در فرآیند فتوسنتز دارد. مقدار محصول و مقدار زیست توده به مقدار زیادی تحت تأثیر مقدار نیتروژن موجود در گیاه است (Hoffland 2000).

از آن جایی که مقدار نیتروژن خاک معمولاً محدود است، کشاورزان مجبور هستند که مقدار نیتروژن خاک را با استفاده از کودهای نیتروژن‌دار افزایش دهند تا به این وسیله به محصول بیشتر و بهتری دست پیدا کنند. از طرفی استفاده‌ی بیش ازحد مورد نیاز این عنصر کارایی بهینه‌ی آن را کاهش داده و آلودگی محیط زیست را بدنبال دارد. آبشویی نیتروژن باعث آلودگی منابع آبی خواهد شد. هم‌چنین زمانی که استفاده از نیتروژن در گیاهان برگی و سبزیجات بالا باشد، تجمع نیتروژن (مانند نیترات و آمونیوم) در برگ‌ها افزایش می‌یابد که این مسئله برای سلامتی انسان مضر است. غلظت بالای نیترات از عوامل مؤثر در افزایش بسیاری از بیماری‌ها نظیر هموگلوبین و سرطان معده و مثانه است.

با توجه به مطالب گفته شده، تعیین مقدار بهینه‌ی مصرف کود نیتروژن اهمیت زیادی پیدا کرده است. اولین قدم در این راه، تعیین مقدار نیتروژن برگ می‌باشد چرا که با داشتن مقدار نیتروژن برگ می‌توان به مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه پی برد و از کار برد بی‌رویه‌ی کود نیتروژن پرهیز کرد. روش‌های مختلفی برای تعیین نیتروژن گیاهان بر اساس معیارهای تجاری ارائه شده است. یکی از روش‌های پرکاربرد برای تشخیص نیتروژن در ترکیبات آلی توسط کلدال ارائه شد (Kjeldahl 1883). این روش هم اکنون بنام روش کلدال معروف است و به طور گسترده‌ای به عنوان یک روش مرجع برای تعیین نیتروژن در غذا، آشامیدنی‌ها، گوشت، علوفه، دانه، کود، پساب، خاک و بافت‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

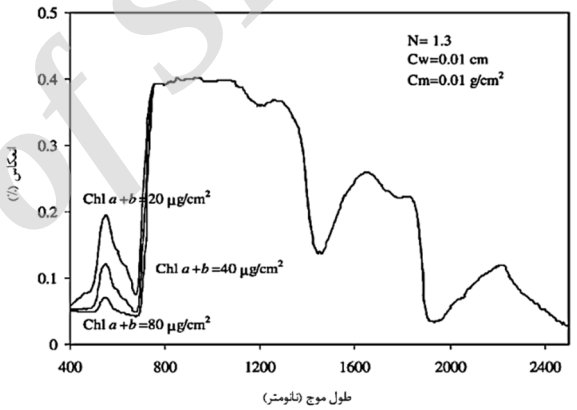
روش‌هایی مانند روش هضم کلدال و احتراق دوماس که براساس آزمایش بافت گیاهان هستند، به دلیل قابل اطمینان بودن جهت تعیین نیتروژن معدنی، به صورت گسترده‌ای مورد پذیرش قرار گرفته‌اند. اما این روش‌ها ضمن زمان‌بر و پرهزینه بودن، باعث آسیب رساندن به گیاه و ایجاد خطا در آزمایش نیز می‌شوند. در مطالعات زیادی برای برآورد مقدار نیتروژن از روش‌های سریع‌تر و غیرمخرب استفاده شده است (Munez-Huerta 2013). یکی دیگر از معایب روش‌های اندازه‌گیری نیتروژن به وسیله‌ی بافت گیاهی این است که امکان دستیابی به نتایج به صورت آنی وجود ندارد، چرا که لازم است این روش در آزمایشگاه‌های تخصصی انجام شود و نمونه‌ها به طور خاصی تهیه گردد. از طرف دیگر، امروزه در بحث کشاورزی دقیق، پژوهشگران به دنبال روش‌هایی هستند تا بتوانند نیاز گیاه به کود را در محل مزرعه تشخیص دهند. از این‌رو در سال‌های اخیر محققین زیادی تلاش کرده‌اند تا برای تشخیص وضعیت نیتروژن در گیاه از روش‌های غیرتخریبی که در مزارع قابل اجرا باشد، استفاده کنند. بسیاری از این روش‌ها به ویژگی‌های آنی گیاه بستگی دارد که این ویژگی‌ها تابع عوامل مختلفی از جمله وضعیت آب در گیاه، پیری برگ، بیماری، تغذیه گیاه و وضعیت نیتروژن گیاه است.

از خصوصیات ظاهری برخی از رنگ دانه‌های برگ، مانند کلروفیل و پلی‌فنول‌ها، می‌توان به عنوان مشخص کننده‌ی مقدار نیتروژن در برگ استفاده کرد (Demotes-Mainard 2008).

Archive of SID

www.SID.ir

کلروفیل مهم‌ترین رنگ دانه موجود در برگ است که علت وجود رنگ سبز در برگ نیز می‌باشد. طبق پژوهش‌های انجام شده (شکل ۱) مشخص شده است که تغییرات نور بازتاب شده از برگ‌ها با محتوای کلروفیل متفاوت، در ناحیه نور مرئی قابل رویت می‌باشد، بنابراین مقدار کلروفیل موجود در برگ می‌تواند به عنوان یک معرف برای تشخیص وضعیت نیتروژن در برگ به کار رود. هرچند مرحله‌ی رشد گیاه، نوع رقم، رطوبت خاک و کمبود مواد مغذی دیگر غیر از نیتروژن، می‌تواند بر اندازه‌گیری کلروفیل تأثیرگذار باشد.



شکل ۱ تغییرات نور بازتابی از برگهایی با مقدار کلروفیل متفاوت (Zarco-Tejada *et al.* 2003)

برخی از ابزارهای موجود، مانند دستگاه SPAD(Soil Plant Analyses Development chlorophyll meter)، براساس ویژگی‌های عبور نور از برگ مقدار کلروفیل برگ را اندازه‌گیری می‌کنند. هم‌چنین روش‌های سنجش از دور نیز برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن گیاه برای مساحت مشخصی از یک منطقه خاص یا برای کل آن منطقه طراحی و اجرا شده است (Munez-Huerta 2013). در این زمینه تعدادی حسگرهای تجاری زمینی (مانند Green seeker) و تعدادی حسگرهای ماهواره‌ای نیز موجود هستند که تمام آن ها نور بازتاب یافته از پوشش گیاهی را در ناحیه‌ی نوری مرئی یا مادون قرمز نزدیک اندازه‌گیری می‌کنند. برخی از پژوهشگران اخیراً روشی را گسترش داده‌اند که در آن برای برآورد مقدار نیتروژن در گیاهان زراعی، از عکس‌های به دست آمده از دوربین‌های دیجیتالی استفاده می‌شود.

از آن‌جایی‌که تغییرات مقدار کلروفیل در ناحیه نور مرئی قابل رؤیت است، استفاده از عکسبرداری دیجیتالی در استخراج ویژگی‌های گیاهی مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهشی که بر روی برنج انجام شده، از عکسبرداری دیجیتال جهت برآورد درصد پوشش گیاهی (Canopy Cover) استفاده شده است. در این پژوهش عنوان شده است که از این روش می‌توان با دقت بسیار خوبی درصد پوشش گیاهی را برآورد کرد (Lee *et al.* 2011; Saberion et al. 2014). در تحقیق مشابه دیگری که بر روی گندم زمستانه انجام شده، این نتیجه‌گیری حاصل شده است که با استفاده از عکسبرداری دیجیتال و پردازش تصاویر در محیط برنامه‌ی MATLAB، می‌توان درصد پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ و مقدار محصول را با دقت قابل قبولی (خطای NRMSE بین ۱۰ تا ۳۰ درصد) به دست آورد. هم‌چنین در این پژوهش مقدار ضریب خاموشی گندم با استفاده از رابطه‌ی بین درصد پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ با دقت خوب و خطای NRMSE کمتر از ۲۰ درصد برآورد گردیده است(Moradi Kodoyi 2013).

در پژوهش مشابه دیگری که مجدداً بر روی برنج انجام شده، برای برآورد وضعیت نیتروژن در گیاه از عکسبرداری دیجیتال استفاده شده است. در این پژوهش رابطه‌ی بین نیتروژن گیاه و ترکیبات مختلف باندهای عکس دیجیتال شامل RGB (قرمز،

Archive of SID

www.SID.ir

سبز و آبی) مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت مدلی ارائه شده که قادر است مقادیر شاخص سطح برگ، درصد پوشش و مقدار نیتروژن برگ را با ضریب تبیین بالاتر از ۸۰ درصد تخمین بزند (Lee *et al.* 2013).

در تحقیقی دیگر برای تعیین مقدار نیتروژن در برنج از عکسبرداری دیجیتال استفاده شده است. در این پژوهش یک ترکیب باندی جدید بنام G-R (باند سبز منهای باند قرمز) جهت برآورد مقدار نیتروژن ارائه شده و این ترکیب به عنوان مناسب‌ترین ترکیب باندی جهت برآورد مقدار نیتروژن معرفی شده است (Wang *et al.* 2013).

با توجه به این مقدمه، هدف از انجام پژوهش حاضر تخمین مقدار نیتروژن برگ، شاخص سطح برگ (LAI) و سطح پوشش چغندرقند، با استفاده از تصویربرداری با دوربین دیجیتال می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت به دست آوردن اطلاعات موردنیاز، عملیات زراعی در دو سال زراعی ۹۲-۹۱ و ۹۳-۹۲ بر روی چغندرقند رقم پارس انجام شد. عملیات کاشت در سال اول و دوم به ترتیب در روز ۳۰ و ۲۰ اردیبهشت ماه، و عملیات برداشت به ترتیب در ۹ آذر و ۲۵ آبان ماه انجام شد. در سال اول آزمایش در قالب آبیاری بارانی Line Source، شامل شش تیمار آبی (به صورت درصدی از نیاز آبی و به ترتیب برابر با ۵۰، ۶۶، ۷۵، ۸۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد) و چهار تیمار کود نیتروژن (صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص بر هکتار) انجام شد. در سال دوم آزمایش در قالب طرح بلوک‌های خرد شده و در سه تکرار، شامل چهار تیمار آبی (به صورت درصدی از آب مورد نیاز برای آبیاری کامل و به ترتیب برابر با ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد) و پنج تیمار کودی (صفر، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص بر هکتار) انجام شد. در هر دو سال جهت تعیین نیاز آبی، نمونه‌گیری از اعماق مختلف خاک (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر) و قبل از هر آبیاری، انجام شد و مقدار آبیاری بر اساس معادله (۱) تعیین گردید:

$$d_n = \sum_{i=1}^{n}(\theta_{FCi} - \theta_i) \times \Delta z_i \qquad (۱)$$

که در آن d_n عمق آبیاری (متر)، θ_{FCi} رطوبت مزرعه‌ای در لایه‌ی iام، θ_i رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در لایه‌ی iام (m^3m^{-3})، Δz ضخامت لایه‌ی خاک (که در پژوهش حاضر ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است) و n تعداد لایه‌های خاک می‌باشد.

عملیات زراعی در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز با عرض جغرافیایی '۵۶ °۲۹ شمالی و '۰۲ °۵۲ شرقی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه مورد نظر با آب و هوای نیمه‌خشک با میانگین دمای ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۲/۲ درصد دارای میانگین نزولات سالانه برابر با ۳۸۷ میلی‌متر می‌باشد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل مورد آزمایش

عمق (cm)	۹۰-۱۲۰	۶۰-۹۰	۳۰-۶۰	۰-۳۰
بافت	SCL	SCL	CL	SL
چگالی ظاهری(کیلوگرم بر مترمکعب)	۱۵۷۰	۱۵۴۰	۱۴۶۰	۱۲۹۰
ظرفیت مزرعه ای(مترمکعب بر مترمکعب)	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۲
رطوبت پژمردگی(مترمکعب بر مترمکعب)	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۱۷
درصد ماده آلی	-	-	۱/۱۵	۱/۰۶
اسیدیته	-	-	۷/۷۰	۷/۷۵
هدایت الکتریکی(دسی‌زیمنس بر متر)	-	-	۰/۳۷	۰/۳۶
نیتروژن نیتراته(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۸۹	۲/۳۹	۱/۳۹	۰/۷۲
فسفر در دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	-	-	۱۳/۴۵	۱۹/۳۴
پتاسیم دردسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	-	-	۴۲۶/۳۰	۴۱۷/۹۵

Archive of SID
www.SID.ir

با استفاده از دوربین دیجیتال مدل Canon (IXY 30s) عکس‌های مزرعه‌ای مشابه شکل ۲ تهیه شد. عکسبرداری‌ها در پنج دوره از فصل رشد و از تمام تکرارهای آزمایش و بعد از اعمال تیمارهای آب و کود انجام شد. شروع عکسبرداری از هفته اول تیرماه (همزمان با مرحله‌ی پنج تا شش برگی) و بقیه به فاصله‌ی زمانی هر دو هفته یکبار انجام شد. جهت انجام عکسبرداری، بوته‌های مشخصی که بتواند معرف کل کرت باشد، انتخاب شد و عکسبرداری‌ها در طول فصل رشد از همان بوته‌ها انجام گردید. بوته‌ها به نحوی انتخاب شد که از لحاظ اندازه و رنگ نماینده‌ی نسبی از کل بوته‌های کرت باشد. از آنجایی که زاویه نور خورشید بر پردازش تصاویر و ایجاد سایه بر روی بوته‌ها تاثیر می گذارد، عکسبرداری در ساعات مشخص (بین ۱۱ تا ۱۳) انجام می‌شد تا بدینوسیله تأثیر سایه‌اندازی بر تصاویر حداقل باشد. عکسبرداری‌ها از ارتفاع ثابت ۱۶۰ سانتی‌متری از سطح زمین انجام شد.

در مرحله‌ی بعد با استفاده از نرم‌افزار ILWIS باندهای قرمز، سبز و آبی (RGB) مربوط به هر تصویر جدا شد و عدد دیجیتالی (DN) آن استخراج گردید، سپس شاخص‌های (توابع) مختلف ساخته شد. در جدول ۲ شاخص‌هایی که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفت، ارائه شده است. که در آن R معرف باند قرمز، G باند سبز و B باند آبی است. GMR به معنای باند سبز منهای باند قرمز، RMB باند قرمز منهای باند آبی، GDR باند سبز تقسیم بر باند قرمز، NRI، NGI و NBI به‌ترتیب به معنای شاخص نرمال شده‌ی قرمز، سبز و آبی و در نهایت شاخص IPCA ترکیبی از جمع قدر مطلق سه باند قرمز، سبز و آبی می باشد.

جدول ۱ شاخص‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر

نام شاخص	تعریف تابع	مخفف	منبع
The difference between green channel and red channel	G-R	GMR	Wang et al., (2013)
The difference between red channel and blue channel	R-B	RMB	
greenness intensity divided by redness intensity	G/R	GDR	Wang et al., (2013)
Normalized redness intensity	R / (R+G+B)	NRI	Wang et al., (2013)
Normalized greenness intensity	G / (R+G+B)	NGI	Wang et al., (2013)
Normalized blue intensity	B / (R+G+B)	NBI	
Principal component analysis index	0.994|R-B| + 0.961|G-B| + 0.914|G-R|	I_{PCA}	Saberioon et al., (2014)

پس از عکسبرداری، نمونه‌برداری جهت انجام آزمایش کلدال و اندازه‌گیری درصد نیتروژن برگ موجود در نمونه‌ها، انجام شد. جهت نمونه‌برداری کل بوته از زمین خارج شد و قسمت هوایی بوته پس از خشک شدن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، مورد آزمایش کلدال (تعیین مقدار نیتروژن) قرار گرفت. به علت محدودیت در انجام آزمایش کلدال، از بین تیمارهای آبیاری، تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۵۰ درصد نیاز آبی (با مقادیر مختلف تیمار کودی) جهت تعیین مقدار نیتروژن انتخاب شد.

Archive of SID

www.SID.ir

درصد پوشش گیاهی با استفاده از نرم‌افزار Matlab به دست آمد. در این روش عکس مربوطه ابتدا به یک عکس سیاه و سفید تبدیل شد. در این حالت درصد پوشش برابر با نسبت تعداد پیکسل‌های سفید به تعداد کل پیکسل‌ها می‌باشد. برای نمونه در شکل ۲ یکی از تصاویر ارائه شده است.

شکل ۲ شکل سمت راست: نمونه‌ای از عکس‌های تهیه شده توسط دوربین دیجیتال، شکل سمت چپ: نتیجه پردازش تصویر و تولید عکس سیاه و سفید

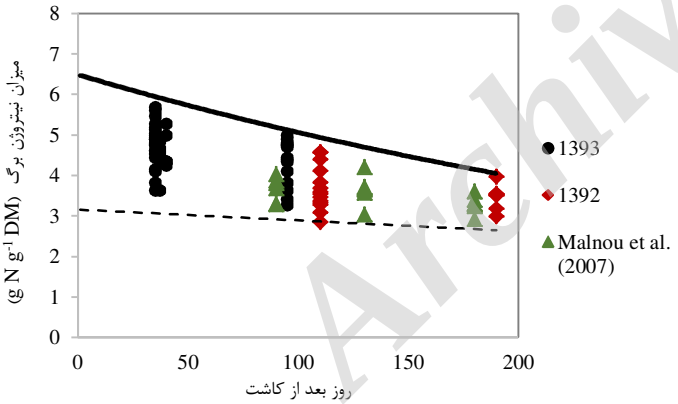
برای ارزیابی نتایج، از ریشه میانگین مربع‌های خطای نرمال شده (NRMSE) استفاده شد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$NRMSE = \frac{100}{\bar{O}}\sqrt{\frac{1}{u}\sum_{i=1}^{u}(p_i - O_i)^2} \qquad (۲)$$

که در آن، u: تعداد نمونه‌های مورد مقایسه، P_i: مقادیر پیش‌بینی شده، O_i: مقادیر اندازه‌گیری شده و $\bar{O}$: میانگین مقادیر اندازه‌گیری می‌باشد (League and Green 1991).

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش کلدال محدوده‌ی تغییرات نیتروژن در طول فصل رشد به دست آمد، که در شکل ۳ قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، به نظر می‌رسد اختلاف مقدار نیتروژن برگ بین تیمارهای مختلف، در آغاز فصل رشد بیشتر از پایان دوره رشد می‌باشد. به عبارت دیگر با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد، اختلاف مقدار نیتروژن برگ بین تیمارهای مختلف کمتر می‌شود.



شکل ۳ تغییرات درصد نیتروژن در برگ چغندرقند در طول فصل رشد

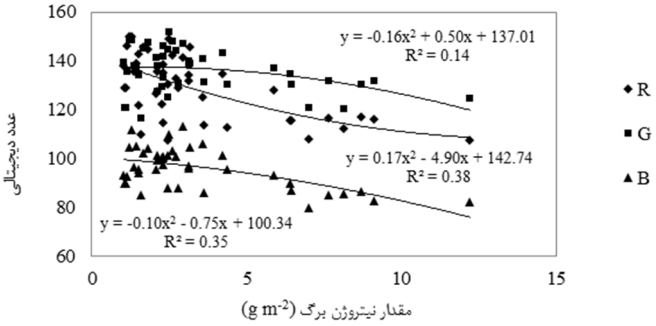
با توجه به این که تغییرات نیتروژن در ابتدای فصل رشد بیشتر است و هم‌چنین کوددهی بایستی در اوایل فصل رشد انجام شود، بنابراین به نظر می‌رسد از نظر کاربردی عکس‌های اوایل و اواسط فصل رشد مناسبتر است چراکه تعیین مقدار نیتروژن گیاه

Archive of SID

www.SID.ir

بایستی در اوایل دوره رشد صورت گیرد تا در صورتی‌که نیاز کودی گیاه تأمین نشده باشد نسبت به تأمین آن اقدام به موقع انجام داد. از این رو عکس‌های تهیه شده در ۴۰ و ۹۵ روز بعد از کاشت مورد استفاده قرار گرفت.

با استفاده از عکس‌های به‌دست آمده، نمودار عدد دیجیتالی باندهای مختلف در مقابل مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه در واحد سطح مزرعه رسم شد که در شکل ۴ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، رابطه‌ی هر سه باند با مقدار نیتروژن برگ دارای ضریب تبیین پایینی می‌باشد، از این رو استفاده از ترکیبات مختلف باندها، جهت تخمین مقدار نیتروژن برگ، اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که داده‌های سبز (G) و آبی (B) روند مشابهی دارند. اما روند تغییرات داده‌های قرمز (R) متفاوت است. از این‌رو قابل پیش‌بینی می‌باشد که شاخص‌هایی که در آن از تفاوت بین باندهای قرمز و سبز یا باندهای قرمز و آبی استفاده شده است، نتایج بهتری به همراه داشته باشند.



شکل ٤ عدد دیجیتالی (DN) باندهای مختلف در مقابل مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه در واحد سطح مزرعه

رابطه‌ی رگرسیونی شاخص‌های ارائه شده در جدول ۲ با مقدار نیتروژن برگ مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، از بین شاخص‌های بررسی شده، شاخص GMR، با داشتن یک رابطه‌ی نمایی، بهترین ضریب تبیین (۰/۸۵) و کمترین مقدار ریشه میانگین مربع‌های خطای نرمال شده (۰/۱۹) را داشت. وانگ و همکاران (2013) نیز در پژوهش خود به نتیجه‌ی مشابهی در مورد این شاخص رسیدند. بنظر می‌رسد علت کارکرد مناسب شاخص GMR این است که بر اساس پژوهش‌های انجام شده (که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود)، جذب نور خورشید توسط برگ در محدوده‌ی رنگ قرمز (۷۵۰-۶۲۰ نانومتر) بسیار بیشتر از نور سبز (۵۷۰-۴۹۵ نانومتر) می باشد (Zarco-Tejada et al. 2003). به همین دلیل تفاوت بین باند سبز و قرمز می‌تواند به خوبی نمایان‌گر وجود برگ در تصویر باشد. از طرفی چنانچه در شکل ۱ مشخص است، با تغییر در مقدار کلروفیل برگ (که خود نمایانگر مقدار نیتروژن برگ است)، تغییر در بازتاب نور سبز بیشتر از نور قرمز است که این مسئله باعث تغییر مقدار شاخص GMR متناسب با تغییرات مقدار نیتروژن برگ می‌شود. به عبارت دیگر این شاخص توانایی تشخیص درصد پوشش و هم‌چنین تغییر در مقدار نور بازتاب یافته از گیاه را دارد.

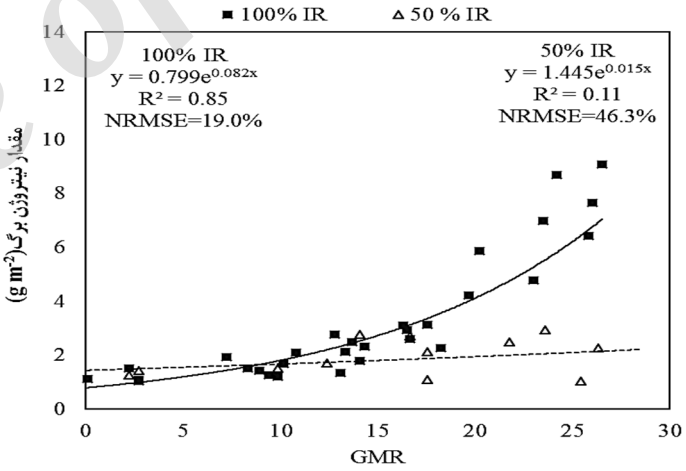
رابطه‌ی بین شاخص GMR و مقدار نیتروژن برگ در شکل ۵ آورده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، نحوه‌ی تغییر شاخص GMR برای تیمارهای ۱۰۰ درصد آبیاری و ۵۰ درصد آبیاری متفاوت می‌باشد. علت این مسئله را می‌توان در اثر متقابل جستجو کرد. از آن‌جائی‌که کمبود رطوبت در خاک باعث کاهش انتقال نیتروژن از خاک به ریشه می‌شود، در تیمارهای ۵۰ درصد آبیاری انتقال نیتروژن به گیاه به درستی صورت نمی‌پذیرد بنابراین طبیعی است که مقدار جذب نیتروژن در تیمارهای ۵۰ درصد آبیاری کمتر از تیمارهای ۱۰۰ درصد خواهد بود، از این‌رو رشد گیاه مختل شده و کاهش می‌یابد. این کاهش رشد بر روی پوشش گیاهی تاثیر گذاشته و شاخص GMR را کاهش می‌دهد.

Archive of SID
www.SID.ir

از نظر کاربردی، با عکسبرداری از گیاه و استفاده از رابطه‌ی شاخص GMR، می‌توان مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه را تعیین نمود.

جدول ۲ رابطه‌ی بین شاخص های مختلف و مقدار نیتروژن برگ (NC)

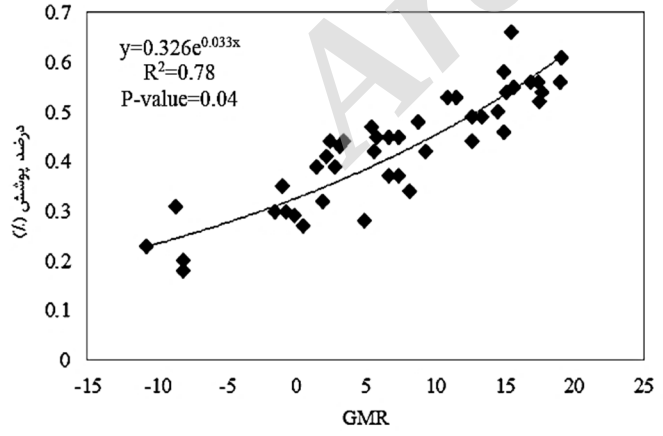
شاخص	معادله به دست آمده	R^2	NRMSE(%)
GMR	$y=0.798e^{0.0821x}$	۰/۸۵	۱۹/۰
RMB	$y=8.57e^{-0.0354x}$	۰/۲۲	>۵۰
GDR	$y=0.0007e^{7.90x}$	۰/۵۶	۴۸/۴
NRI	$y=378553e^{-32.8x}$	۰/۴۰	>۵۰
NGI	$y=8.0\times10^{-8}e^{46.0x}$	۰/۵۸	۴۱/۳
NBI	$y=5.92e^{-2.39x}$	۰/۰۰۱	>۵۰
I_{PCA}	$y=1.94e^{0.004x}$	۰/۰۰۵	>۵۰



شکل ۵ مقدار شاخص GMR در مقابل مقدار نیتروژن جذب شده در گیاه در دو تیمار ۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی

درصد پوشش گیاهی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB به دست آمد و رابطه‌ی آن با مقادیر شاخص GMR بررسی شد که در شکل ۶ نتیجه‌ی آن آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود رابطه‌ی نمایی بین این دو متغیر دارای ضریب تبیین ۰/۷۸ می‌باشد که نسبتاً قابل قبول می‌باشد. بر اساس شکل ۶ و معادله‌ی خط به دست آمده، شاخص GMR و درصد پوشش دارای رابطه‌ای نمایی می‌باشند به طوری که با افزایش شاخص GMR درصد پوشش نیز افزایش می‌یابد.

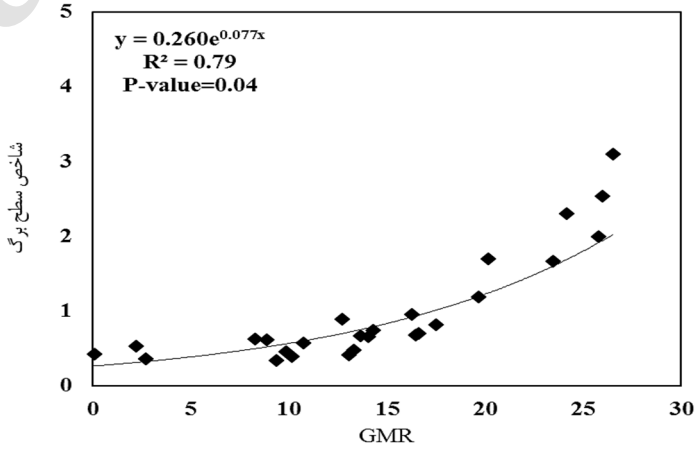
رابطه‌ی بین شاخص سطح برگ (LAI) و شاخص GMR در شکل ۷ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، دارای رابطه‌ی نمایی با ضریب تبیین ۰/۷۹ می باشد. تعیین شاخص سطح برگ به روش مستقیم و اندازه‌گیری در آزمایشگاه، نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. زیرا در این روش نیاز به حضور در مزرعه و انجام نمونه‌برداری و انتقال گیاه مورد نظر به آزمایشگاه می‌باشد. انتقال گیاه به محیط آزمایشگاهی از یک طرف باعث آسیب گیاه و تردد بیش از حد در مزرعه شود و از طرف دیگر با تأخیر زمانی در شرایط واقعی گیاه همراه می‌باشد. علاوه براین، روش آزمایشگاهی شامل مراحل وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشد. از آن جایی‌که یکی از اهداف پژوهش حاضر کاهش هزینه‌های زمانی و اقتصادی می‌باشد، سعی شد با استفاده از شاخص GMR، رابطه‌ی تجربی ارائه گردد تا به وسیله‌ی آن بتوان مقدار شاخص سطح برگ را در سطح قابل قبولی تخمین زد.



شکل ٦ رابطه‌ی بین شاخص GMR و درصد پوشش گیاهی (CC)

Archive of SID
www.SID.ir

هر چند ضرائب تبیین برای معادلات شکل ۶ و ۷ چندان بالا نیست (۰/۷۸ و ۰/۷۹)، اما دارای مقادیر *P-value* برابر با ۰/۰۴ می‌باشند، که این مسئله نشان دهنده‌ی معنی‌داری روابط در سطح بالا است. یکی از علل پراکندگی داده‌ها، اثر متقابل تیمارهای آبی بر رشد و توسعه‌ی گیاه می باشد. در تحقیقات مشابه دیگر (Lee *et al.* 2011; Moradi Kodoyi 2013; Lee *et al.* 2013; Wang *et al.* 2013). تنها تیمار نیتروژن اعمال شده بود، اما در پژوهش حاضر علاوه بر تیمار نیتروژن، تیمار آبی نیز لحاظ شده بود که این مسئله از طرفی باعث افزایش جامعیت و مزیت نسبی معالات به دست آمده شد، اما از طرف دیگر باعث افزایش پراکندگی داده‌ها و کاهش نسبی دقت برآورد شد. به طور کلی به نظر می‌رسد با توجه به این که شاخص GMR هر دو شرایط استرس آبی و نیتروژن را در نظر گرفته بود، نتایج به دست آمده رضایت‌بخش می‌باشد.

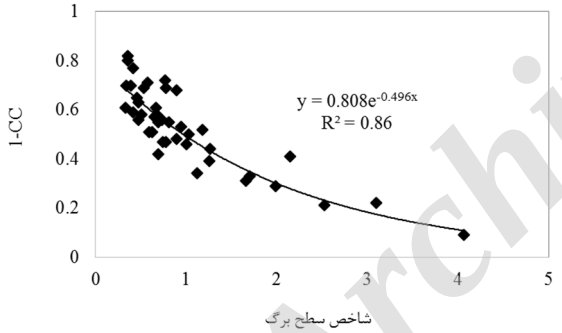


شکل۷ رابطه‌ی بین شاخص GMR و شاخص سطح برگ (LAI)

با استفاده از معادله‌ی ریتچی (Ritchie 1972) می‌توان ضریب خاموشی را با استفاده از رابطه‌ی بین شاخص سطح برگ (LAI) و درصد سطح پوشش (CC) به دست آورد. در معادله‌ی (۳) این رابطه نشان داده شده است. در این معادله CC سایه‌انداز گیاه، LAI شاخص سطح برگ و k ضریب خاموشی می‌باشد.

$$1\text{-}CC=1\text{-}e^{(-k.LAI)} \quad (۳)$$

بر اساس معادله‌ی به دست آمده در شکل ۸، ضریب خاموشی برای چغندرقند برابر ۰/۴۹ به دست می‌آید. مقدار ضریب خاموشی بستگی به عوامل متعددی از جمله رقم، تراکم بوته، تاریخ کاشت و عملیات زراعی دارد. اما به‌طور کلی بر اساس پژوهش‌های انجام شده مقدار ضریب خاموشی برای چغندرقند در شرایط مختلف بین ۰/۴۶ تا ۰/۷۵ گزارش شده است (Sadeghzade Hemayati *et al.* 2008). بنابراین مقدار ضریب خاموشی به دست آمده در پژوهش حاضر قابل قبول می‌باشد، هرچند به نظر می‌رسد در صورت استفاده از داده‌های بیشتر، نتایج بهتری حاصل خواهد شد.



شکل۸ رابطه‌ی بین سطح پوشش و شاخص سطح برگ (LAI) جهت برآورد ضریب خاموشی

امروزه در کشاورزی دقیق مقدار کود موردنیاز گیاه در مزرعه هم‌زمان با عملیات کوددهی انجام می‌شود. اولین قدم برای انجام چنین عملیاتی، تعیین وضعیت نیتروژن در گیاه است که در پژوهش حاضر به آن پرداخته شده است. در این پژوهش از عکسبرداری دیجیتال جهت نیل به این هدف استفاده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

در مرحله‌ی بعد می‌توان مقدار کود موردنیاز برای هر قسمت از مزرعه را تعیین کرد. از بین ترکیبات مختلف استفاده شده، شاخص GMR بهتر توانست مقدار نیتروژن گیاه چغندرقند را برآوردکند. با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد زمانی‌که علاوه بر تنش کودی، تنش خشکی نیز به گیاه وارد شده باشد، شاخص GMR بایستی به صورت جداگانه برای تنش‌های خشکی محاسبه شود. همبستگی شاخص GMR با شاخص سطح برگ (LAI) و درصد پوشش (CC) نیز بررسی شد که نتایج مناسبی حاصل گردید. در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که با استفاده از عکسبرداری دیجیتال و استفاده از شاخص GMR، می‌توان با دقت قابل قبولی مقادیر نیتروژن گیاه، شاخص سطح برگ و درصد پوشش را تخمین زد. در عین حال پژوهش‌های بیشتری برای پی بردن به میزان تأثیر عوامل مختلف، به ویژه تأثیر خشکی بر شاخص‌های ارائه شده مورد نیاز است.

منابع مورد استفاده:

References:

Demotes-Mainard S, Boumaza R, Meyer S, Cerovic ZG. Indicators of nitrogen status for ornamental woody plants based on optical measurements of leaf epidermal polyphenol and chlorophyll contents. Sci. Hort. 2008; 115: 377–385.

Hoffland E, Dicke M, van Tintelen W, Dijkman H, van Beusichem ML. Nitrogen availability and defense of tomato against two-spotted spider mite. J. Chem. Ecol. 2000; 26: 2697–2711.

Kjeldahl J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Fresenius J. Anal. Chem. 1883; 22: 366–382

Lee KJ, Lee BW. Estimating canopy cover from color digital camera image of rice field. J. Crop Sci. Biotech. 2011; 14(2): 151 - 155.

Lee KJ, Lee BW. Estimation of rice growth and nitrogen nutrition status using color digital camera image analysis. Europ. J. Agronomy. 2013; 48: 57– 65.

Loague K, Green RE. Validation of Flow and Transport Models for the Unsaturated Zone Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. Journal of Contaminant Hydrology. 1991; 7(1): 51-73

Moradi Kodoyi M. Measurements of crop canopy cover by photography and estimation of its relationship with leaf area index and yield of winter wheat (MS thesis) Shiraz university; 2013.

Muñoz-Huerta RF, Guevara-Gonzalez RG, Contreras-Medina LM, Torres-Pacheco I, Prado-Olivarez J, Ocampo-Velazquez RV. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. Sensors. 2013; 13: 10823-10843.

Ritchie JT. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resour. Res. 1972; 8(5): 1204-1213.

Archive of SID

www.SID.ir

Saberioon MM, Amin MSM, Anuar AR, Gholizadeh A, Wayayokd A, Khairunniza-Bejo S. Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. 2014; 32: 35-45.

Sadeghzade hemayati S, Kashani A, Fathollah Taleghani D, Normohammadi GH, Siadat AA. Effect of sowing date, planting density and cultivar on solar radiation interception indices in sugar beet I. Radiation interception and extinction coefficient. Journal of Sugar Beet. 2008; 24(1): 23-42. (in Persian, abstract in English)

Wang Y, Wang D, Zhang G, Wang J. Estimating nitrogen status of rice using the image segmentation of. Field Crops Research. 2013; 149: 33–39.

Zarco-Tejada PJ, Rueda CA, Ustin SL. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. Remote Sensing Of environmental. 2003; 85: 109-124.

Archive of SID

www.SID.ir