

ارزیابی وضعیت شاخص سبزیگی گوجه و خیار گلخانه‌ای با استفاده از حسگرهای غیرمخرب

بهنام سپهر^۱ - حسنا محمدی منور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۶

چکیده

تکنیک‌های کشاورزی دقیق در یک محیط گلخانه‌ای به افزایش کیفیت محصول نهایی، کاهش هزینه‌های استفاده از کود و جلوگیری از رواناب نیتروژن کمک می‌کند. حسگرهای نوری با اندازه‌گیری بازتاب یا جذب از برگ‌های سبز ابزاری سریع و غیرمخرب برای محاسبه محتوای سبزیگی و کلروفیل گیاه هستند. هدف از این تحقیق، بررسی قابلیت اطمینان شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) اندازه‌گیری شده توسط حسگر سبزینه‌سنج (GreenSeeker) به عنوان شاخص غیرمستقیم وضعیت سبزیگی گوجه و خیار گلخانه‌ای و مقایسه عملکرد این حسگر با کلروفیل متر (SPAD) بود. آزمایش در بهار سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. گوجه‌فرنگی و خیار با تیمارهای کود اوره صفر، ۰/۰۲۸، ۰/۱۲۸، ۰/۳۵۹ و ۰/۶۰۷ گرم بر لیتر با محتوای ۴۶٪ نیتروژن کوددهی گردید. ۷۱ روز پس از کاشت، تیمارهای یک تا سه با کود اضافی تحت درمان قرار گرفتند. تعداد برگ گیاهان در پایان هر مرحله از داده‌برداری شمارش شدند. رابطه رگرسیونی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید. در گوجه و خیار به ترتیب میزان کود و NDVI ۰/۹۵ و ۰/۵۷ و کلروفیل قرائت‌شده به‌طور متوسط همبستگی ۰/۶۵ و ۰/۶۰ داشتند.

واژه‌های کلیدی: سبزینه‌سنج، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، کلروفیل متر، کلروفیل، نیتروژن

مقدمه

در تولید محصولات کشاورزی، نیتروژن یکی از مهم‌ترین نهاده‌ها به‌شمار می‌رود که تأثیر زیادی در رشد گیاه، عملکرد محصول و کیفیت محصول دارد (Campillo et al., 2010). نیاز محصولات به نیتروژن در نقاط مختلف مزرعه، به دلیل تفاوت در شرایط خاک، متغیر است (Kitchen et al., 2010). بهینه‌سازی مقدار مصرف نیتروژن یکی از روش‌های مهم در افزایش عملکرد محصول و بهبود فرآیند فتوسنتز گیاهان زراعی است (Hunt Jr et al., 2012). ناهماهنگی بین مقدار کوددهی و مقدار نیتروژن مورد نیاز محصول می‌تواند باعث مختل شدن رشد گیاه و اثرات مخرب زیست‌محیطی گردد که در نتیجه بازده استفاده از نیتروژن کاهش می‌یابد و زیان‌های اقتصادی نیز به همراه دارد (Miao et al., 2007). مصرف بیشتر و یکنواخت کود با اینکه می‌تواند سود بیشتری را عاید کشاورز کند ولی چون

به‌صورت بهینه مصرف نشده باعث افزایش هزینه تولید و اثرات مخرب زیست‌محیطی می‌شود. موارد زیادی از آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به نیترات گزارش شده است که یکی از مهم‌ترین دلایل آن مصرف بیش از اندازه کود نیتروژن و در نتیجه نفوذ آن به آب‌های زیرزمینی می‌باشد. بنابراین مدیریت بهینه کود نیتروژن علاوه‌بر افزایش عملکرد کمی و کیفی و رطوبت محصول (Kordi et al., 2014)، اثرات مخرب زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند (Padilla et al., 2016). در نتیجه سنجش دقیق نیتروژن بر اساس نیاز گیاه در زمان و مکان موردنظر از راه‌حل‌های مناسب برای مدیریت مصرف آن می‌باشد (Miao et al., 2007). با مروری بر پیشرفت‌های اخیر (جدول ۱) مزایا و معایب سنجش نیتروژن در گیاهان بررسی و مشخص شد که نیتروژن نقش مهمی در چرخه زندگی گیاه ایفا می‌کند و برگ برای تولید کلروفیل نیاز اساسی به نیتروژن دارد (Muñoz-Huerta et al., 2013). استفاده از روش‌های مخرب تشخیص میزان نیتروژن گیاه یا خاک وقت‌گیر و هزینه‌بر است و برای مدیریت مزارع در فصول مختلف رشد گیاه مقرون‌به‌صرفه نیست و همچنین نمی‌توان از این روش برای مدیریت مکانی و لحظه‌ای کود و برای بخش‌های گسترده از مزارع بهره برد. مدیریت دقیق مزارع و محصولات نیاز به فناوری‌هایی دارد که بتوان به‌صورت لحظه‌ای و

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v9i1.67383

آن با میزان نیتروژن حسگر فلورسنس Multiplex به کار رفت. نتایج نشان داد شاخص فلورسنس کلروفیل برگ و میزان رنگدانه‌های آن عوامل تعیین‌کننده بر سنجش میزان بهینه نیتروژن در خیار هستند (Padilla et al., 2016). میزان رشد بوته‌های خیار و عملکرد آن نیز با شاخص سبزی‌نگی توسط حسگر CropCircle اندازه‌گیری شد و کوددهی را تسهیل نمود (Padilla et al., 2017). مطابق منابع ارائه شده کاربرد برخی از حسگرهای نوین در سنجش میزان نیتروژن گزارش شده درحالی‌که حسگر سبزی‌سنج تاکنون بر روی گوجه و خیار مورد مطالعه قرار نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی قابلیت اطمینان حسگر سبزی‌سنج در مقایسه با اسید در مدیریت رشد خیار و گوجه و جلوگیری از مصرف بی‌رویه کود نیتروژن بود زیرا کوددهی زیاد سبب افزایش هزینه تولید و همچنین انباشته شدن نیتروژن در محصول و خاک می‌شود.

مواد و روش‌ها

محل و زمان اجرای طرح

عملیات اجرای این طرح در گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. این گلخانه از جنس پلی‌کربنات و به مساحت سه متر مربع در مکانی با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، ۱۸۴۴ متر ارتفاع از سطح دریا و با شدت نور ۸۵۷۴۵ لوکس قرار داشت. تعداد ۱۹۱ نشا در تاریخ ۲۰/۱۷/۰۴/۳۰ در خاکی با بافت شنی لومی رسی با pH ۶/۸۹ کشت شد. بذره‌های گوجه رقم متین و خیار رقم ناهید در سینی نشاء به مدت ۲۰ روز کاشته شد (۲۰/۱۷/۰۴/۱۰) و سپس از روز ۲۱ نشاءها (۱۰۰ عدد گوجه و ۹۱ عدد خیار) به داخل گلدان انتقال داده شدند. هر گلدان با ۳ kg خاک الک شده و لایه زیرین هر گلدان با سنگ برای زهکشی بهتر پر شدند. پیش از شروع آزمایشات، خاک مورد استفاده تجزیه و تحلیل شد. ترکیبات خاک در جدول ۲ آمده است.

گلدان‌ها هر روز آبیاری شدند. مقدار ۵۰ ml آب برای هر گلدان به‌طور یکنواخت به‌منظور حفظ رطوبت خاک استفاده شد. برای کنترل دما و رطوبت از دماسنج-رطوبت‌سنج مدل HTC-2 (چین) که دارای حسگر خارجی برای کنترل دما و رطوبت خاک نیز بود، استفاده گردید. برای کالیبره شدن دستگاه از ترموکوپل‌های مدل Platinum Standard st-131 استفاده گردید. داده‌برداری توسط حسگرها ۲۱ روز پس از کاشت بذر و هر هشت روز یکبار انجام شد. به‌منظور ایجاد شرایط یکسان برای گیاهان یک مرحله کوددهی کنترل‌ی (روز ۲۹ و داده‌برداری آن روز ۳۶) به مقدار مساوی برای تمامی تیمارها اعمال گردید.

غیرمخرب مقدار کود موردنیاز گیاه را اندازه‌گیری کرد. حسگرهای نوری سریع و غیرمخرب در محاسبه محتوای سبزی‌نگی گیاهان با اندازه‌گیری بازتاب یا جذب برگ‌های سبز به کار می‌روند (Usha and Singh, 2013). برخی از حسگرهای سنجش N که به‌صورت تجاری در دسترس هستند شامل Yara, AgLeader, CropSpecTM, GreenSeeker و Isaria می‌باشند. از آنجا که ۷۰ درصد از نیتروژن برگ در کلروپلاست‌ها انباشته می‌شود، نتیجه گرفته می‌شود که میزان کلروفیل و میزان نیتروژن کل در گیاهان ارتباط نزدیکی باهم دارند (Prost and Jeuffroy, 2007). با استفاده از ابزار کلروفیل‌متر می‌توان مقدار نیتروژن را به‌صورت غیرمخرب و منطقه‌ای در ذرت (Wu et al., 2012)، گلدان گل بنت قنسول^۱ (Basyouni et al., 2015)، درخت سیب (Zhang et al., 2016) و کلم قرمز (Dunn et al., 2016) مدیریت کرد. با برآورد کلروفیل برگ جو در مراحل مختلف رشد با استفاده از شاخص طیفی به‌منظور کاهش پس‌زمینه‌ی خاک و اثرات تاج گیاه نشان داده شد که استفاده از کلروفیل‌متر هرچند روشی غیرمخرب است ولی غلظت کلروفیل را در سطح بزرگ‌تر نشان نمی‌دهد، بنابراین در سطوح بزرگ باید از روش سنجش از راه دور استفاده کرد (Yu et al., 2014). حسگر نوری سبزی‌سنج^۲ از راه دور مقدار NDVI را اندازه‌گیری می‌کند و برخلاف دستگاه کلروفیل‌متر اسید^۳ غیرتماسی است. در گلدان بنت قنسول علاوه بر کلروفیل‌متر از حسگر سبزی‌سنج استفاده و میزان مصرف کود نیتروژن بررسی شد (Basyouni et al., 2015). همچنین تعیین زمان رسیدگی و برداشت زیتون با استفاده از حسگر سبزی‌سنج و شاخص NDVI تعیین شد و نتایج نشان از افزایش عملکرد محصول داشت (Gertsis et al., 2013). درمورد گندم زمستانه نیز عملکرد حسگر سبزی‌سنج سبب کاهش میزان کود نیتروژن مصرفی در مزرعه گردید (Samborski et al., 2016). گیاهان مورد مطالعه این پژوهش خیار و گوجه گلخانه‌ای از مهم‌ترین محصولات جالیزی و گلخانه‌ای به حساب می‌آیند. به‌منظور مدیریت کود نیتروژن این محصولات به روش‌های مخرب و یا توسط سایر حسگرها پژوهش‌هایی گزارش شده است. مدیریت مصرف کود نیتروژن بر روی گوجه گلخانه‌ای بعد از سه فصل از رشد گوجه باعث توسعه خوشه و کاهش انتشار اکسید نیتروژن شد و افزایش مصرف نیتروژن باعث از بین رفتن طعم میوه و افزایش انتشار اکسید نیتروژن گردید (He et al., 2007). همچنین بررسی همبستگی شاخص سبزی‌نگی^۴ (VI) و مقدار نیتروژن مورد نیاز گوجه نیز مطالعه شد (Gianquinto et al., 2011). از طرف دیگر، در سنجش میزان کلروفیل برگ خیار و رابطه

- 1- Poinsettia
- 2- GreenSeeker
- 3- SPAD
- 4- Vegetation Index

جدول ۱- مزایا و معایب سنجش نیتروژن به روش‌های مختلف (Muñoz-Huerta et al., 2013)
Table 1- Advantage and disadvantage of Nitrogen measurement with different methods (Muñoz-Huerta et al., 2013)

روش‌ها Methods	مزایا Advantages	معایب Disadvantages
آنالیز بافت Tissue analysis	Kjeldahl digestion	مهاجم و مخرب، زمان‌بر و سمی و نیاز به آماده‌سازی نمونه‌ها
	Dumas combustion	مخرب، نیاز به پردازش نمونه‌ها به خاطر احتراق
حسگرهای نوری-در سطح برگ Optical meters- Leaf level	SPAD	عدم تشخیص عدد محصولات اشباع از ازن به دلیل اشباع کلروفیل
	Dualux	حذف سیگنال‌های نادرست در خاک، تمایز بین تیمارهای نیتروژن در سایه و نور خورشید، قابل حمل، توانایی تشخیص کمبود ازن و ضد آب
حسگرهای نوری-تاج پوشش گیاهی Optical meters- Canopy level	Multiplex	عدم کاربرد در مزارع بزرگ
	Passive sensors: FieldSpec CropScan LI 1800	نیاز به کالیبراسیون و وابستگی به نور خورشید
حسگرهای نوری-تاج پوشش گیاهی Optical meters- Canopy level	Digital cameras	وابستگی به نور خورشید
	Active sensors: GreenSeeker Yara N-Sensor CropCircle	گران‌قیمت
سنجش با سامانه‌های الکتریکی Sap and electrical meters	QuickBird	تصاویر گران‌قیمت، تداخل با شرایط جوی
	Nitrate test strips	تغییرات نیترات ناشی از قرار گرفتن در معرض نور، مخرب و بدون قابلیت تکرار
سنجش با سامانه‌های الکتریکی Sap and electrical meters	Nitrate ISE	حساسیت به یون‌های دیگر مانند کلرید، بی‌کربنات و نیتريد، وابستگی غلظت نیترات به متغیرهای دیگر (مانند تغییرات روزنه و روش نمونه‌گیری)، مخرب و نیاز به کالیبراسیون
	Electrical impedance spectroscopy	مهاجم

تیمارها افزوده شد (Basyouni et al., 2015). مقدار کود درمانی تیمار اول تا سوم به ترتیب ۲/۴۳، ۲/۳۲ و ۱/۹۱ گرم بر لیتر کود اوره محلول بود.

حسگرهای نوری

سبزینه‌سنج

حسگر سبزینه‌سنج یک سنجنده فعال نوری می‌باشد که برای سنجش سلامت گیاه از طریق اندازه‌گیری NDVI به کار می‌رود. NDVI در مطالعات فراوانی به کار رفته است و با دقت بالایی می‌تواند

برای جلوگیری از کمبود سایر عناصر در گیاه در روز ۴۳م از کود هیومی فول (اسیدهیومیک) مخصوص صیفی‌جات به مقدار 0.5 g l^{-1} برای تمامی تیمارها استفاده شد. اسید هیومیک- اسید فولیک در گیاه باعث برطرف شدن نیاز گیاه به سایر عناصر مغذی شده و در نتیجه وزن و کیفیت میوه افزایش پیدا می‌کند (Unlu et al., 2011). پس از اعمال هیومی فول در چهار مرحله کود اوره به تیمارها داده شد. به‌منظور جبران کمبود نیتروژن، در تاریخ ۲۰۱۷/۰۶/۱۷ به تیمارهای تحت تنش (تیمارهای یک، دو و سه) کود درمانی معادل ماکزیمم کود دریافتی سایر

را نشان می‌دهد.

کجدال

در روش کجدال، ازت آمونیایی (4NH-N) ماده آلی بر اثر ترکیب با اسیدسولفوریک غلیظ به صورت سولفات آمونیوم درآمده، آمونیوم حاصل پس از ترکیب با سود غلیظ در دستگاه تقطیر به گاز آمونیاک تبدیل گشته و گاز حاصل سپس به وسیله اسید بوریک جمع‌آوری می‌شود. سرعت فعل‌وانفعالات فوق با افزایش دما و در حضور کاتالیزور فزونی می‌یابد. در عمل، به منظور افزایش دما، از سولفات پتاسیم و یا سولفات سدیم استفاده می‌شود. در پایان باز تشکیل شده با کمک اسیدسولفوریک رقیق (۰/۱۰) تیترا گردیده و بدین ترتیب مقدار کل ازت خاک و یا گیاه مطابق رابطه (۲) تعیین می‌شود (ISIRI Number 7832). بررسی نیتروژن برگ در آزمایشگاه گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد.

$$Wn = [(v_1 - v_0) \times c(H^+) \times Mn/m \times (100 + WH_2O)] / 100 \quad (2)$$

تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) بر روی نیتروژن اندازه‌گیری شده از آزمون شیمیایی کجدال و داده‌های به دست آمده از حسگرهای SPAD و GreenSeeker در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در مراحل رشد برای مقایسه داده‌ها انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن 23 (2017) IBM SPSS Statistic انجام شد. در این طرح تاثیر کود در چهار سطح و زمان کوددهی در پنج هفته (دوره رویشی) بر روی سبزیگی و NDVI دو گیاه خیار و گوجه بررسی گردید. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. تمامی داده‌ها نرمال بودند و معیار تصمیم برای تمامی متغیرها بیشتر از ۰/۵ به دست آمد.

نتایج و بحث

اثر کوددهی تیمارها بر روی قرائت کلروفیل و NDVI

مراحل داده‌برداری بدون کوددهی (روزهای ۲۲ و ۲۹) و با کوددهی (روزهای ۵۰ تا ۷۱) در شکل ۲ نشان داده شده است. تغییرات ناچیز NDVI گوجه و خیار در روز ۲۲ و ۲۹ به دلیل تغییر شرایط محیطی (انتقال نشاء به گلخانه) و عدم تطابق گیاه با این شرایط بود. کاهش و افزایش NDVI در روزهای پیش از کوددهی تیمارهای مختلف خیار و گوجه به علت افزایش تعداد برگ و پوشش گیاهی گلدها بود زیرا در روز ۳۷ اسید هیومیک اعمال شد که شامل ۱۰٪ نیتروژن بود که در روز ۴۳ اندازه‌گیری شد (Unlu et al., 2011). از روز ۵۰ تا ۶۴ مقدار قرائت تیمارها به دلیل اعمال کود نیتروژن سیر صعودی دارند. در روز ۷۱ به دلیل گلدهی بوته‌های خیار، گیاه از ازت اشباع شد و مقادیر NDVI تمامی تیمارها کاهش یافتند و تقریباً در یک سطح دیده شدند (Basyouni et al., 2015).

نیتروژن مورد نیاز گیاه را تخمین بزند (Vouillot et al., 1998). رابطه (۱) محاسبه NDVI را در سبزینه‌سنج نشان می‌دهد. اعداد به دست آمده به وسیله سبزینه‌سنج می‌توانند برای تصمیم‌گیری در خصوص میزان کود مورد نیاز گیاه استفاده شوند و در نتیجه راندمان استفاده از کود شیمیایی افزایش یابد (Salehi et al., 2015). مقادیر NDVI از صفر تا ۰/۹۹ متغیر است. هرچه این عدد بیشتر باشد، گیاه از سلامت بیشتری برخوردار است (Basyouni et al., 2015). حسگر سبزینه‌سنج نور قرمز (R_{red}) و مادون قرمز (R_{nir}) را در محدوده 660±15 nm و 770±15 nm به ترتیب از خود ساطع و سپس میزان انعکاس نور برگشت داده شده از روی گیاه را اندازه‌گیری می‌کند. تا زمانی که حسگر روشن باشد، به نمونه‌گیری بر روی سطح گیاهی ادامه می‌دهد و در نهایت میانگین آن به عنوان شاخص سبزیگی نمایش داده می‌شود. این دستگاه بایستی در فاصله ۱۲۰-۶۰ سانتی متری بالای پوشش گیاهی به کار گرفته شود.

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}} \quad (1)$$

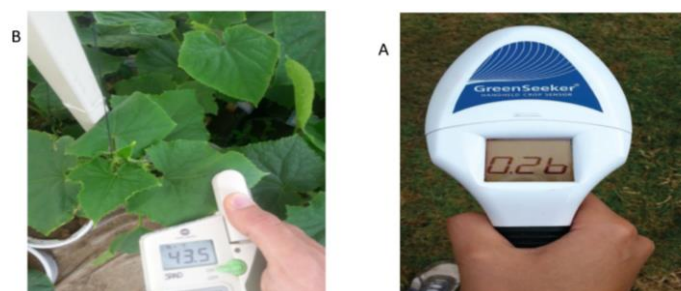
جدول ۲- مواد تشکیل دهنده خاک

مقدار	فاکتورهای خاک
Amount	Soil features
6.89	pH
0.2 ds m ⁻¹	هدایت الکتریکی (EC)
15 mg lit ⁻¹	کلسیم (Ca)
3 mg lit ⁻¹	منیزیم (Mg)
35.4 mg lit ⁻¹	کلر (Cl)
27.89 mg lit ⁻¹	پتاسیم (K)
2.8 mg lit ⁻¹	فسفر (P)
0.155 mg g ⁻¹	نیتروژن (N)

کلروفیل متر

نحوه کار کلروفیل متر بدین ترتیب است که در قسمت اول تولیدکننده نور^۱ قرار داشته و نور قرمز و مادون قرمز تولید می‌کند و نور پس از گذشتن از نمونه برگ به یک سری گیرنده^۲ و مبدل رسیده که نور عبوری را به علائم الکتریکی آنالوگ و سپس دیجیتال تبدیل می‌کند. باید توجه داشت که عدد SPAD به هیچ عنوان مقدار کلروفیل را مشخص نمی‌کند بلکه تخمینی از غلظت کلروفیل را نشان می‌دهد. این عدد همبستگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ دارد (Hasibni, 2007). نمونه‌برداری از ۳ نقطه از هر برگ انجام شد که نباید روی رگبرگ‌ها باشد. شکل ۱ حسگر سبزینه‌سنج و کلروفیل متر

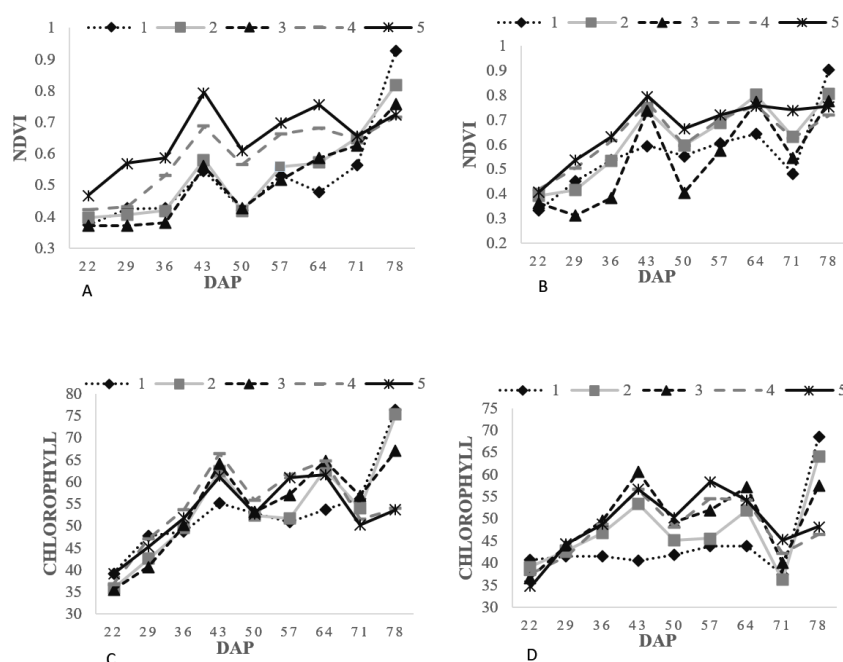
1- Illuminating
2- Receptors



شکل ۱- A: حسگر سبزینه‌سنج و B: کلروفیل متر بر روی برگ خیار
Fig. 1. A: GreenSeeker sensor and B: SPAD on cucumber leaves

در بررسی NNI (Nitrogen Nutrient Index) و NDVI خیار، افت ناگهانی از ۴۰ روز پس از انتقال نشاء دیده شد (Padilla *et al.*, 2017) که مطابق با روز هفتم پس از کاشت می‌باشد. به دلیل اعمال شدن کود درمانی برای تیمار یک تا سه در روز ۱۷م، این سه تیمار در روز ۷۸ برای گوجه و خیار، بالاترین میزان قرائت را نشان دادند که افزایش بیشتر تیمار اول به خاطر بیشتر بودن سطح کود درمانی (۲/۴۲۸ گرم بر لیتر) تیمار شاهد بود (Ruiz and Romero, 2000). در تیمار گوجه افزایش کلروفیل تا روز ۴۳ برای تمامی تیمارها به چشم می‌خورد که به دلیل قرار گرفتن گلدها در طبقه بالایی میزها درون گلخانه بود. برای کم کردن اثر نور در گلخانه از سایه بان استفاده گردید. علت کاهش تیمار اول در روز ۴۳ جذب نیتروژن توسط خاک به علت عدم دریافت کود در تیمار شاهد بود. کلروفیل تیمار اول تا سوم پس از دریافت کود درمانی در خیار و گوجه، نسبت به دو تیمار دیگر افزایش چشمگیر داشت.

در بررسی NNI (Nitrogen Nutrient Index) و NDVI خیار، افت ناگهانی از ۴۰ روز پس از انتقال نشاء دیده شد (Padilla *et al.*, 2017) که مطابق با روز هفتم پس از کاشت می‌باشد. به دلیل اعمال شدن کود درمانی برای تیمار یک تا سه در روز ۱۷م، این سه تیمار در روز ۷۸ برای گوجه و خیار، بالاترین میزان قرائت را نشان دادند که افزایش بیشتر تیمار اول به خاطر بیشتر بودن سطح کود درمانی (۲/۴۲۸ گرم بر لیتر) تیمار شاهد بود (Ruiz and Romero, 2000).



*DAP is abbreviation of Days After Planting

شکل ۲- قرائت NDVI و کلروفیل در دوره رشد، A و C: گوجه، B و D: خیار در تیمارهای یک تا پنج

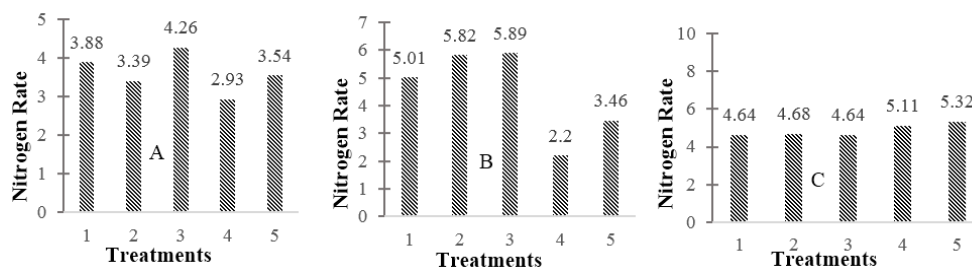
Fig. 2. NDVI and chlorophyll readings during growth stages, A and C: tomato, B and D: cucumber in 1st to 5th treatments

درمانی می‌باشد. در شکل ۳ ب، همین روند برای تیمار اول تا سوم گوجه نیز مشاهده می‌شود (Prost and Jeuffroy, 2007). تیمار چهار و پنج نسبت به تیمارهای یک تا سه، به دلیل عدم دریافت کود

اندازه‌گیری نیتروژن برگ تیمارها در روز ۷۸ توسط ستون کج‌لدا انجام شد (شکل ۳). در شکل ۳ الف، تیمار اول تا سوم برگ خیار مقدار نیتروژن بیشتری را نشان می‌دهند که به علت دریافت کود

اول، دوم و سوم دریافت بیشتر کود به صورت تدریجی در طی دوره رشد و ذخیره شدن نیتروژن در میوه آن‌ها می‌باشد. طبق شکل ۳ میوه خیار تیمار سه کمترین انباشت نیتروژن را نشان می‌دهد در نتیجه برنامه کوددهی این تیمار برای خیار گلخانه‌ای پیشنهاد می‌گردد. البته اندازه‌گیری نیتروژن میوه قبل از اعمال کود درمانی و بررسی سایر فاکتورهای مغذی میوه برای تصمیم‌گیری نهایی ضروری بود.

درمانی درصد نیتروژن پایین‌تری را نشان می‌دهند. از آنجا که میزان کود دریافتی تیمار پنج در دوره رشد بیش از تیمار چهار در دوره رشد بود میزان نیتروژن در هر دو گیاه خیار و گوجه در تیمار پنجم کمی بیشتر مشاهده شد. شکل ۳ ج، میزان نیتروژن مشاهده شده در میوه خیار را نشان می‌دهد که اختلاف ناچیزی در تیمارها دیده می‌شود. علت افزایش نیتروژن در میوه تیمار چهارم و پنجم نسبت به تیمار



شکل ۳- میزان قرائت کجلدال A- خیار، B- گوجه و C- میوه‌ی خیار بعد از اعمال کود نیتروژن

Fig. 3. Kjeldahl readings after applying Nitrogen supplementary A. Cucumber, B. Tomato, C. Cucumber fruit

میوه از نیتروژن بود (Padilla et al., 2014). مقدار متوسط NDVI به‌دست آمده از سبزینه‌سنج در گیاه خیار در طول رشد هر تیمارها تقریباً افزایشی بود. در برخی از تیمارها در روزهای ۶۴ و ۷۱ پس از کاشت نوسان دیده شد که به علت وارد شدن گیاه به مرحله میوه‌دهی و زایشی بود (Padilla et al., 2017). تغییرات کلروفیل در خیار نیز مانند NDVI بود. همبستگی کود با میزان کلروفیل و NDVI در خیار در تیمارها به‌جز چهار افزایشی است. درحالی‌که در گوجه تقریباً این روند کاهشی است که می‌توان آن را به تفاوت نیاز این دو محصول به میزان کود مربوط دانست.

از آنجا که تیمار شاهد کودی دریافت نکرد، مطابق جدول ۳ ضرایب همبستگی بین میزان کود و قرائت NDVI تیمارهای دو تا پنج به‌دست آمده است. برای خیار ضرایب نشان می‌دهد که بین میزان کود و NDVI تیمار دوم ۵۰ درصد، تیمار سوم ۵۷ درصد، تیمار چهارم ۲۰ درصد و تیمار پنجم ۶۵ درصد همبستگی وجود دارد. برای گوجه بین میزان کود و NDVI تیمار دوم ۹۵ درصد، تیمار سوم ۹۵ درصد، تیمار چهارم ۶۸ درصد و تیمار پنجم ۳۳ درصد همبستگی وجود دارد. همبستگی پایین تیمار چهارم خیار و تیمار چهارم و پنجم گوجه به کم بودن نیتروژن برگ (نتیجه آزمایش کجلدال) و اشباع

جدول ۳- ضریب همبستگی بین میزان کود با کلروفیل و NDVI

Table 3- Correlation coefficient between fertilizer rate with chlorophyll and NDVI

تیمار Treatment	خیار Cucumber		گوجه Tomato	
	کلروفیل	NDVI	کلروفیل	NDVI
دوم Second	0.505	0.495	0.797	0.947
سوم Third	0.604	0.573	0.663	0.953
چهارم Forth	0.190	0.204	0.572	0.678
پنجم Fifth	0.651	0.646	0.457	0.326

واحد از هر متغیر مستقل به میزان ضریب نوشته شده متغیر وابسته ارتقاء پیدا کرد، یا به عبارتی با ارتقاء یک واحد میزان کود، در خیار تیمار دوم ۰/۱۸۶، تیمار سوم ۰/۳۵۶، تیمار چهارم ۰/۰۵۳ و تیمار

در جدول ۴ معادله رگرسیونی با استفاده ضرایب استاندارد نشده برای شاخص NDVI خیار و گوجه براساس میزان کود اعمال شده به تیمارها با نرم افزار SPSS به‌دست آمد. می‌توان گفت با ارتقاء یک

پنجم ۰/۰۹۷ و برای گوجه تیمار دوم ۰/۵۴۶، تیمار سوم ۰/۴۶۳، در نتیجه رابطه همسو است. تیمار چهارم ۰/۱۵۰ و تیمار پنجم ۰/۰۷۳ واحد انحراف معیار NDVI افزایش یافت. این افزایش در مقادیر محاسبه شده نمایان است

جدول ۴- مدل رگرسیون خطی کود و NDVI

Table 4- Linear regression model of fertilizer and NDVI

تیمار Treatment	خیار Cucumber		گوجه Tomato	
	رابطه رگرسیون خطی Linear regression		رابطه رگرسیون خطی Linear regression	
	مقدار محاسبه شده Calculated amount		مقدار محاسبه شده Calculated amount	
دوم Second	$Y = 0.662 + (0.186)*X$	0.667	$Y = 0.480 + (0.546)*X$	0.495
سوم Third	$Y = 0.534 + (0.356)*X$	0.583	$Y = 0.478 + (0.463)*X$	0.541
چهارم Forth	$Y = 0.669 + (0.053)*X$	0.688	$Y = 0.621 + (0.150)*X$	0.674
پنجم Fifth	$Y = 0.705 + (0.097)*X$	0.763	$Y = 0.673 + (0.073)*X$	0.717

عملکرد شاخص‌ها در دوره رشد

در جدول ۵ ضرایب همبستگی بین میزان NDVI و کلروفیل تیمارهای یک تا پنج پیش و پس از اعمال کود درمانی نشان داده شده است. در مقایسه تیمارها پیش از کود درمانی تیمار شاهد کمترین مقدار را نشان داد که به علت عدم دسترسی گیاه به کود در دوره رشد بود. با افزایش مقدار کود در طول دوره رشد در تمامی تیمارها به غیر از تیمار چهار گوجه روند افزایشی مشاهده گردید. با افزایش NDVI نوسان در مقادیر کلروفیل دیده می‌شود (Gianquinto et al., 2011). در تیمارهای یک تا سه نیز با افزودن کود درمانی ضریب

همبستگی افزایش یافت در تیمار سوم هر دو محصول این افزایش ناچیز بود که به علت مقدار کمتر کود درمانی نسبت به دو تیمار دیگر بود. همچنین تیمار سوم گوجه پیش از اعمال کود درمانی تقریباً بالاترین همبستگی را نشان می‌دهد که تأییدی بر نتایج کود در بخش قبل می‌باشد و در نتیجه می‌توان برنامه کودی این تیمار را الگو قرار داد. از آنجا که گوجه در طول آزمایشات وارد مرحله گلدهی و زایشی نشد نتایج برای مرحله رویشی به این ترتیب است که با توجه به جدول ۵ و نتایج کود (شکل ۳ ب) تیمار سوم بالاترین همبستگی و بیشترین انباشت نیتروژن را در برگ دارد.

جدول ۵- ضریب همبستگی بین NDVI و کلروفیل

Table 5- Correlation coefficient of NDVI and chlorophyll

تیمار Treatment	گوجه Tomato		خیار Cucumber	
	BSF*		ASF**	
	BSF*		ASF**	
اول First	0.796	0.951	0.494	0.843
دوم Second	0.796	0.951	0.639	0.714
سوم Third	0.832	0.845	0.775	0.774
چهارم Forth	0.792	—	0.872	—
پنجم Fifth	0.837	—	0.817	—

*,** منظور کود درمانی است که به تیمارهای ۱، ۲ و ۳ داده شد.

*BSF is abbreviation of before supplementary fertilizer

**ASF is abbreviation of after supplementary fertilizer

جدول ۶ همبستگی تعداد برگ روییده هر بوته در هر گلدان را با مقادیر قرائت شده توسط سبزینه‌سنج و کلروفیل متر نشان می‌دهد. در

همبستگی را به‌طور چشمگیری افزایش داد. تعداد برگ با NDVI در خیار و گوجه همبستگی قابل قبولی ارائه داد.

طول دوره رشد، هر هفته همزمان با داده‌برداری توسط حسگرها تعداد برگ تازه روییده نسبت به هفته پیش شمارش شد. در تمامی تیمارها به‌غیر از تیمار شاهد تعداد برگ روییده در گلدان‌های خیار و گوجه افزایشی بود. در تیمارهای یک تا سه افزایش مقدار ناگهانی کود،

جدول ۶- ضریب همبستگی بین تعداد برگ با NDVI و کلروفیل

Table 6- Correlation coefficient between leaf numbers with NDVI and chlorophyll

تیمار Treatment	خیار Cucumber				گوجه Tomato			
	کلروفیل Chlorophyll		NDVI		کلروفیل Chlorophyll		NDVI	
	BSF*	ASF**	BSF	ASF	BSF	ASF	BSF	ASF
اول First	-0.274	0.701	0.418	0.768	0.684	0.832	0.865	0.931
دوم Second	0.064	0.564	0.738	0.785	0.759	0.891	0.730	0.866
سوم Third	0.268	0.428	0.738	0.789	0.705	0.766	0.803	0.890
چهارم Forth	0.330	—	0.637	—	0.435	—	0.718	—
پنجم Fifth	0.372	—	0.637	—	0.496	—	0.960	—

***منظور کود درمانی است که به تیمارهای ۱، ۲ و ۳ داده شد.

*BSF is abbreviation of before supplementary fertilizer

**ASF is abbreviation of after supplementary fertilizer

کاهش دیده شد. از طرف دیگر ضریب همبستگی میان دو شاخص مورد بررسی در این مقاله (NDVI و کلروفیل) در تمامی تیمارها در دوره رشد رویشی قابل قبول است و افزایش آن در مرحله کود درمانی نشان از اثر کود بر این رابطه دارد. همچنان که نتایج نشان داد با افزایش تعداد و اندازه برگ‌ها، NDVI همچنان افزایشی بود درحالی که غلظت کلروفیل رابطه دقیقی را نشان نداد.

پیشنهادهات

در صورتی که گلدان‌ها تا انتهای دوره میوه‌دهی مورد بررسی قرار گیرند و همزمان خاک هم ارزیابی گردد می‌توان برنامه جامع کودی برای گوجه و خیار گلخانه‌ای پیشنهاد داد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه بوعلی سینا همدان جهت حمایت‌های مالی و معنوی قدردانی می‌نمایند. همچنین از دکتر خلیل زابلی برای همکاری در انجام تست کج‌لدال نمونه‌ها تقدیر به‌عمل می‌آید.

از آنجا که تعداد برگ عاملی در افزایش شاخص سبزی‌نگی گیاه می‌باشد این نتیجه منطقی بود (Basyouni et al., 2015). مطابق جدول ۶ کلروفیل برگ‌های خیار همبستگی بسیار کمی نشان می‌دهند. از آنجا که کلروفیل به تنهایی شاخص مناسبی برای تشخیص نیاز کودی خیار (Padilla et al., 2016) نبود شاخص توازن نیتروژن^۱ (NBI) انتخاب گردید. این شاخص نسبت کلروفیل به رنگدانه برگ می‌باشد که در این پژوهش رنگدانه برگ اندازه‌گیری نشد.

نتیجه‌گیری

حسگرهای غیرمخرب و یا غیرتماسی مناسب برای کاربرد در کشاورزی دقیق و به‌ویژه سنجش نیتروژن خیار و گوجه گلخانه‌ای ارزیابی شدند. همچنین شاخص NDVI نسبت به غلظت کلروفیل اندازه‌گیری شده توسط SPAD ضریب همبستگی بالاتری با مقدار کود نشان می‌دهد. رابطه شاخص سبزی‌نگی با تعداد برگ‌های تازه رشد نموده، در هر مرحله نیز ارزیابی گردید که در مرحله رویشی رابطه مستقیمی دیده شد اما با ورود به مرحله زایشی در تعداد برگ‌ها

References

1. Basyouni, R., B. Dunn, and C. Goad. 2015. Use of nondestructive sensors to assess nitrogen status in potted poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* L. (Willd. ex Klotzsch)) production. *Scientia Horticulture* 192: 47-53.
2. Campillo, R., C. Jobet, and P. Undurraga. 2010. Effects of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-Inia in Andisoles of southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70 (1): 122-131.
3. Dunn, B., A. Shrestha, and C. Goad. 2016. Use of Nondestructive Sensors to Quantify Ornamental Kale Nitrogen Status. *Journal of Plant Nutrition* 39: 1123-1130
4. Gertsis, A., D. Fountas, I. Arpasanu, and M. Michaloudis. 2013. Precision agriculture applications in a high density olive grove adapted for Mechanical Harvesting in Greece. *Procedia Technology* 8: 152-6.
5. Gianquinto, G., F. Orsini, M. Fecondini, M. Mezzetti, P. Sambo, and S. Bona. 2011. A methodological approach for defining spectral indices for assessing tomato nitrogen status and yield. *Agronomy* 35 (3): 135-43.
6. He, F., Q. Chen, R. Jiang, X. Chen, and F. Zhang. 2007. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in Northern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 77: 1-14.
7. Hasibi, P. 2007. Physiological study of the effect of cold stress on seedling stage of different genotypes of rice. PhD thesis, Faculty of Agriculture. Shahid Chamran University, Ahvaz. Iran.
8. Hunt Jr, E. R., P. C. Doraiswamy, J. E. McMurtrey, S. T. C. Daughtry, M. E. Perry, and B. Akhmedov. 2013. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information* 21: 103-112.
9. Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI Number 7832), Soil quality–Determination of total nitrogen–Modified kjeldahl method. 1st revision.
10. Kitchen, N. R., K. A. Sudduth, S. T. Drummond, P. C. Scharf, H. L. Palm, D. F. Roberts, and E. D. Vories. 2010. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. *Agronomy* 102: 71-84.
11. Kordi, S., A. Fadavi, M. Eskandari, M. Berari, M. Rafiee, and A. Ashraf Mehrabi. 2014. Effect of Urea fertilization and moisture of harvesting time on final mechanical properties of dried corn. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 1-10.
12. Miao, Y., D. J. Mulla, J. A. Hernandez, M. Wiebers, and P. C. Robert. 2007. Potential impact of precision nitrogen management on corn yield, protein content, and test weight. *Soil Science Society of America Journal* 71: 1490-1499.
13. Muñoz-Huerta, R. F., R. G. Guevara-Gonzalez, L. M. Contreras-Medina, I. Torres-Pacheco, J. Prado-Olivarez, and R. V. Ocampo-Velazquez. 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors* 13 (8): 10823-10843.
14. Padilla, F. M., M. T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, and R. B. Thompson. 2014. Evaluation of optical sensor measurements of canopy reflectance and of leaf flavones and chlorophyll contents to assess crop nitrogen status of muskmelon. *Agronomy* 58: 39-52.
15. Padilla, F. M., M. T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, and R. B. Thompson. 2016. Proximal optical sensing of cucumber crop N status using chlorophyll fluorescence indices. *Agronomy* 73: 83-97.
16. Padilla, F. M., M. T. Peña-Fleitas, M. Gallardo, and R. B. Thompson. 2017. Determination of sufficiency values of canopy reflectance vegetation indices for maximum growth and yield of cucumber. *Agronomy* 84: 1-15.
17. Prost, L., and M. H. Jeuffroy. 2007. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess. *Agronomy for Sustainable Development* 27 (4): 321-330.
18. Rambo, L., B. L. Ma, Y. Xiong, and P. Regis Ferreira da Silvia. 2010. Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn. *Plant Nutrition and Soil Science* 173 (3): 434-443.
19. Ruiz, J. M., and L. Romero. 2000. Nitrogen metabolism and yield response of cucumber (*Cucumis sativus* L cv *Brunex*) plants to phosphorus fertilization. *The Science of Food and Agriculture* 80 (14): 2069-2073.
20. Salehi, M., A. Kouchaki, and M. Nasiri Mahalati. 2005. Leaf nitrogen and chlorophyll content as

- indicators for salt stress. Iranian Journal of Field Crops Research 2 (1): 25-33.
21. Samborski, S. M., D. Gozdowski, M. Stępień, O. S. Walsh, and E. Leszczyńska. 2016. On-farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat. European Journal of Agronomy 74: 56-67.
22. Tremblay, N., M. Bouroubi, P. Vigneault, and C. Belec. 2011. Guidelines for in-season nitrogen application for maize (*Zea mays L.*) based on soil and terrain properties. Field Crops Research 122: 273-283.
23. Unlu, H. O., U. Husnu, and Y. Karakurt. 2011. Changes in fruit yield and quality in response to foliar and soil humic acid application in cucumber. Scientific Research and Essays 6 (13): 2800-2803.
24. Usha, K., and B. Singh. 2013. Potential applications of remote sensing in horticulture, a review. Scientia Horticulture 153: 71-83.
25. Vouillot, M. O., P. Huet, and P. Boissard. 1998. Early detection of N deficiency in a wheat crop using physiological and radiometric methods. Agronomie 18: 117-130.
26. Wu, C., Z. Niu, and S. Gao. 2012. The potential of satellite derived green chlorophyll index for estimating midday light use efficiency in maize, coniferous forest and grassland. Ecological Indicators 14: 66-73.
27. Yu, K., V. Lenz-Wiedemann, X. Chenand, and G. Bareth. 2014. Estimating leaf chlorophyll of barley at different growth stages using spectral indices to reduce soil background and canopy structure effects. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 97: 58-77.
28. Zhang, Y., L. Zheng, H. Sun, and W. Yang. 2015. An optical detector for determining chlorophyll and nitrogen concentration based on photoreaction in apple tree leaves. Intelligent Automation and Soft Computing 21 (3): 409-421.

Evaluation of Vegetation Index of Greenhouse Tomato and Cucumber using non-destructive Sensors

B. Sepehr¹- H. Mohamadi Monavar^{2*}

Received: 12-09-2017

Accepted: 07-11-2017

Introduction

One of the most important factors in agricultural production is nitrogen which has a great impact on plant growing, yield performance and plant quality production. The optimum amount of nitrogen fertilizer is varied from fields to fields. There are some time consuming and costly ways to measure the nitrogen content of plants or soil, which are inappropriate for extended field or for a long growing season. Fast and remote optical sensors calculate greenness of plant using reflectance or absorbance of light from green leaves. Measuring chlorophyll with SPAD managed the nitrogen requirement for maize, Poinsettia and Nagoya Red. Whereas SPAD was not a suitable choice for chlorophyll measurement at the end of growing period. Therefore, GreenSeeker was applied as a non-contact to record the NDVI of tomato's and cucumber's leaves. The purpose of this research was the evaluation of GreenSeeker ability to estimate nitrogen requirement and then the plant health.

Materials and Methods

The study was performed on Matin and Nahid cultivars of tomato and cucumber, respectively. The pots were 291 and filled with 3 kg sieved soil. The bottom layer of each pot was filled with stone for better drainage. Before planting, the soil was analyzed in order to define the ingredients. All pots put in the greenhouse with polycarbonate structure in two floors. Measurements were repeated every week with SPAD and GreenSeeker and fertigation was started 50 days after planting (DAP). In order to provide other nutrient elements, all pots got Humic-acid at 37DAP and the effect was measured in 43rd DAP. Fertigation was continued until 71st DAP and first, second and third treatments were supplemented with extra fertilizer to reach the amount of fertilizer to fifth treatment. To calculate Total Nitrogen (TN), the concentrations of nitrate-N and nitrite-N are determined and added to the total Kjeldahl nitrogen. Chlorophyll meter (SPAD) and GreenSeeker optical sensor have become available for site-specific and need-based N management in greenhouse. The GS was located at 60 cm above the plant and measured the average NDVI. This sensor has red and NIR diodes which reflect and absorb the spectra in $660\pm 15\text{nm}$ and $770\pm 15\text{nm}$ regions, respectively. The SPAD values were recorded by inserting the middle portion of the index leaf in the slit of SPAD meter. As well as, chlorophyll meter can confirm the GreenSeeker output (NDVI). GreenSeeker is a suitable optical sensor because it is not affected by light and temperature variation or wind intensity.

Statistical analyses were performed on the pooled data of both tomato and cucumber using Statistical Product and Service Solutions (SPSS). Regression equations were fitted between fertilizer and the readings recorded with different gadgets at different growth stages.

Results and Discussion

Chlorophyll content and NDVI of tomato and cucumber increased during the growing stages except in 71st DAP for cucumber. The percentage of total nitrogen of 1st, 2nd and 3rd treatments were further than two others because of supplementary fertilizer. According to the Kjeldahl result of cucumber, the 3rd treatment had the lowest nitrogen accumulation in fruits. In addition, chlorophyll and NDVI of cucumber almost showed the increasing correlation by fertilizer enhancement while the opposite behavior was seen for tomato. That would be related to different fertilizer needs of them. The linear regression of fertilizer and reading NDVI of 2nd to 5th treatments were ascending. The number of increasing leaves was calculated in all pots every weeks as another studied element. Each pot had new grown leaves every weeks that was more or sometimes less than last weeks. However, accurate correlation coefficient was reported with NDVI in all treatments, whereas chlorophyll did not show a direct relation.

1- M.Sc. student of Biosystem Engineering, Bu-ali Sina University, Hamadan, Iran

2- Assistant Professor of Mechanics of Biosystem Engineering, Bu-ali Sina University, Hamadan, Iran

(*- Corresponding Author Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

Conclusions

The result of the study confirmed the useful GreanSeeker as an accurate and fast technology for prediction of NDVI. Among different fertilizer treatments of cucumber, 3rd one showed the acceptable results. Since tomatoes did not reach to fertility stage, it would not possible to extract the best nitrogen fertilizer treatments. It is obvious that evaluation of pots in complete growth stages reach us to codify manual fertilization.

Keywords: Chlorophyll, GreenSeeker, Nitrogen, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), SPAD