تشخیص سلامتی گیاهان زراعی با استفاده از حسگرهای نوری فعال

حسین باقرپور[1]

[1] استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

ایمیل نویسنده مسئول: h.bagherpour@basu.ac.ir

چکیده

از بین تمامی نهاده‌های موثر بر عملکرد مزرعه‌ای، کود نیتروژن به دلیل تاثیر پذیری زیاد بر عملکرد مزرعه‌ای، برای کشاورزان از دو جنبه هزینه و مسائل زیست محیطی اهمیت فراوانی دارد. اخیراً با بهره گیری از حسگرهای تشخیص توده گیاهی امکان ارزیابی عواملی همچون وضعیت تغذیه‌ای گیاه، تخمین عملکرد محصول، تشخیص استرس‌های گیاهی و آلودگی آفات، تجویز توصیه‌های کودی و همچنین توزیع متغیر سموم و کودهای شیمیایی مختلف براحتی امکانپذیر شده است. حسگرهای مختلفی برای تشخیص پارامترهای ذکر شده بالا وجود دارند که در تمامی آنها از روش جذب و بازتاب امواج الکترومغناطیسی در محدوده باندهای مرئی و فروسرخ استفاده م شود. از مهمترین دستگاه های قابل استفاده در بخش کشاورزی می توان به حسگر SPAD، Greenseeker و CropCircle اشاره داشت. هدف اصلی این مقاله افزایش اطلاعات و درک بیشتر کشاورزان در استفاده از حسگرهای تشخیص پوشش گیاهی در مدیریت بهتر نیتروژن می‌باشد و هدف کلی تحقیق پیشنهادی برای بهبود بازده مصرف کود در کشاورزی و کاهش هزینه‌های کشاورزی است.

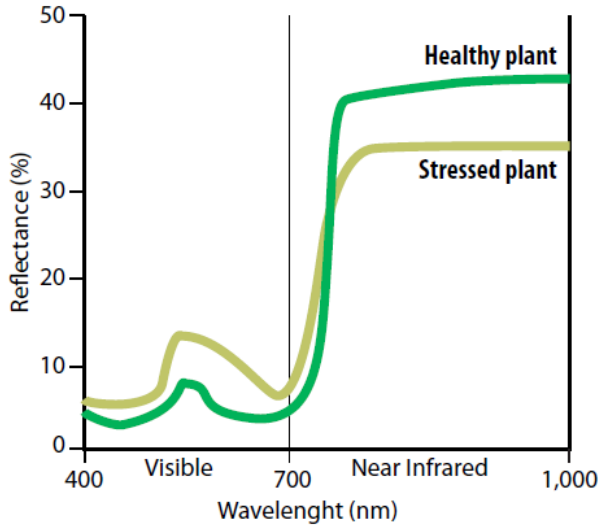
واژه‌های کلیدی: حسگر CropCircle، حسگر GreenSeeker، نیتروژن، SPAD

مقدمه

در مباحث مربوط به کشاورزی دقیق، مدیریت محصول به جای مقیاس‌های بزرگ در مقیاس‌های کوچکتری انجام شده و بررسی دقیق‌تری از وضعیت مزرعه انجام می‌شود. در کشاورزی سنتی و مکانیزه هر مزرعه به عنوان یک واحد تلقی شده و در نتیجه نهاده‌ها بر اساس همین خصوصیات متوسط تعریف می‌شوند و کلیه عملیات کاشت، داشت و برداشت نیز به صورت یکنواخت در سطح زمین صورت می‌گیرد. بررسی انجام گرفته در روند تولید محصولات کشاورزی بیانگر این است که با توجه به محدودیت منابع و از طرفی رشد جمعیت و اثرهای مخرب زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، تلاش تکنولوژی‌های جدید بر این است که از منابع به بهترین شکل با حداکثر عملکرد و بهره‌وری استفاده گردد (Lambert and Lowenberg, 2000). با این که روش های ارگانیک می‌توانند در افزایش سلامت انسان و محیط زیست نقش مهمی را ایفا کنند ولی با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در بخش کشاورزی می‌توان علاوه بر افزایش کیفیت محصول راندمان را نیز بهبود بخشید. تغییرات در مقدار عملکرد کمی و کیفی محصول عمدتاً به دلیل عواملی همچون تغییرات نوع خاک، توپوگرافی مزرعه، وضعیت زهکشی و کودهای داده شده قبلی ایجاد می گردد. در مباحث مربوط به کوددهی به مزارع، زمانی که توزیع کودی مانند نیتروژن به صورت یکنواخت انجام می گیرد، در بخشی از مزراع ممکن است کود به اندازه کافی، کمتر یا بیشتر از حد نیاز گیاه در اختیار آن قرار گیرد. اخیراً با پیشرفت تکنولوژی های مربوط به توزیع کود و توسعه حسگرهای محصولات، امکان توزیع کود با نرخ متغیر امکانپذیر شده است. با این تکنولوژی امکان این وجود دارد که بتوان تشخیص داد که چه مکانی نیاز به مقدار کود کم و چه مکانی نیاز به کود زیاد دارد. با استفاده از این روش امکان توزیع کود با نرخ متغیر وجود داشته و منافع اقتصادی و زیست محیطی زیادی به دنبال خود خواهد داشت که در نتیجه هزینه نهاده ها کاهش و مقدار عملکرد کلی افزایش پیدا می کند. استفاده از روش‌های مخرب تشخیص میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه یا خاک (روش کجلدال) به دلیل داشتن زحمت و هزینه زیاد، برای مدیریت مزارع در فصول مختلف رشد گیاه مقرون به صرفه نیست و اگر هم استفاده گردد بیشتر برای توصیه کودی کل مزرعه قابل استفاده است و همچنین نمی‌توان از این روش برای مدیریت مکانی و لحظه‌ای کود و برای بخش‌های گسترده از مزارع بهره برد. با این وجود مدیریت دقیق مزارع و محصولات نیاز به فناوری‌هایی دارد که بتوان به صورت لحظه‌ای و غیر مخرب مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه را اندازه‌گیری کرد. دستگاه کلروفیل‌متر از جمله دستگاه‌هایی است که می‌توان به وسیله آن مقدار نیتروژن را به صورت غیر مخرب و منطقه‌ای مدیریت کرد (Prost and Jeuffroy, 2007). از آنجائیکه در دستگاه کلروفیل متر امکان بازرسی کل مزرعه وجود ندارد اخیراً با پیشرفت حسگرهای تشخیص وضعیت گیاه از راه دور، این امکان برای کشاورزان وجود دارد که دیدبانی مناسب و کاملی از مزرعه انجام داده و در نتیجه کوددهی را به صورت توزیع متغیر انجام دهند. با توجه به کمبود پژوهش های لازم در مورد این حسگرها، در این پژوهش سعی بر آنست که این حسگرها معرفی و عملکرد آنها به صورت دقیق مورد ارزیابی قرار گرفته و مزایا و معایب آنها نیز مورد بررسی قرار گیرد.

بازتاب گیاه و شاخص سبزینگی نرمال پوشش گیاهی[1] (NDVI)

بازتاب در یک عبارت کلی به نسبت انرژی برگشتی از جسم به انرژی برخورد شده به آن گفته می شود. همچنان که در شکل ۱ نشان داده شده است در دو محدوده فروسرخ (۷۰۰ –۱۳۰۰ nm) و قرمز (۵۰۰ –۷۰۰ nm) اختلاف قابل ملاحظه ای در میزان بازتاب گیاهی وجود دارد (Kumar and Silver, 1973).



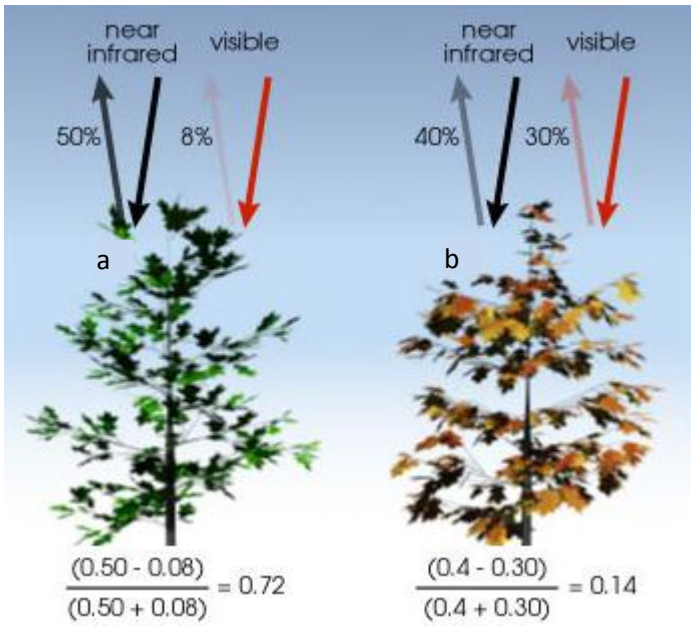
شکل ۱: مقدار بازتاب گیاه سالم و تحت استرس در دو محدوده مرئی و فروسرخ

گیاهان به طور کلی در محدوده باند آبی و قرمز به دلیل جذب بیشتر آنها توسط کلروفیل بازتاب کمی داشته درحالیکه برای باند سبز این جذب تا حدودی کمتر می باشد. به همین دلیل است که گیاهان در چشم ما به رنگ سبز دیده می شوند. به دلیل جذب خیلی کم در محدوده باند فروسرخ، بازتاب قابل ملاحظه ای در این محدوده وجود دارد که مقدار این بازتاب تاثیر پذیر از خصوصیات بافت گیاهی مانند ساختار بافت سلولی، دیواره سلولی و واسطه هایی مانند پروتوپلاسم و کلروپلاست است. چنین ویژگی های ساختاری تحت تاثیر فاکتورهای محیطی مانند رطوبت خاک، وضعیت مواد مغذی، شوری خاک و مرحله رشد گیاه قرار دارند (Ma *et al*., 2001). با توجه به اینکه در محدوده طیف فروسرخ کنتراست قابل ملاحظه ای بین خاک و سبزینگی گیاه وجود دارد بنابراین با بهره گیری از بازتاب طیفی امکان محاسبه شاخص های مختلف گیاهی که رابطه مستقیمی با مقدار فعالیت فتوسنتزی و مقدار محصول تولید شده در مزارع دارند، وجود دارد (Adamsen *et al*., 1999). شاخص سبزینگی نرمال یا همان NDVI به دلیل ماهیت جذب و بازتاب در دو باند قرمز و فروسرخ توانسته به طور موفقیت آمیزی فعالیت فتوسنتز را پیش بینی کند که این امر به دلیل وجود رابطه فعالیت فتوسنتز گیاه با محتوای کلروفیل موجود در گیاه می باشد. مقدار شاخص NDVI (رابطه ۱) با استفاده از دو بازتاب فروسرخ و قرمز تعیین می گردد که در آن R_{NIR} مقدار بازتاب در محدوده باند فروسرخ و R_{Red} مقدار بازتاب در باند قرمز می باشد (Anonymous, 2016).

[1] normalized difference vegetation index

$$NDVI = \frac{R_{NIR}-R_{Red}}{R_{NIR}+R_{Red}} \quad (۱)$$

دلیل انتخاب این شاخص این است که هر چه مقدار سبزینگی بیشتر باشد با افزایش درصد بازتاب در محدوده فروسرخ نزدیک و کاهش بازتاب باند قرمز، مقدار اختلاف صورت کسر نسبت به مخرج بیشتر شده و در نتیجه مقدار حاصل کسر نیز بیشتر خواهد شد. نحوه بازتاب نور در دو محدوده قرمز و فروسرخ در شکل ۲ قابل مشاهده است. از آنجائیکه مقدار سبزینگی با مقدار کود نیتروژون موجود توده گیاهی رابطه مستقیمی دارد بنابراین با اندازه‌گیری این شاخص، وضعیت محصول در آن منطقه براحتی قابل شناسایی است.



شکل ۲: پاسخ دو محصول سالم یا سبز (a) و گیاه تحت تنش آبی یا ناسالم (b) نسبت به امواج فروسرخ و قرمز

شاخص پوشش گیاهی با متغیرهای زیادی مانند کمبود مواد مغذی، عملکرد نهایی در دوره رشد اولیه و استرس های طولانی مدت آبی همبستگی مناسبی دارد. البته در بررسی شاخص NDVI بجای در نظر گرفتن یک فاکتور لازم است در بررسی ها، فاکتورهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان به کمک این شاخص ارزیابی دقیق تری از شرایط رشدی گیاه انجام داد. ویژگی های فیزیکی قابل تشخیص بوسیله شاخص NDVI بیشتر مربوط به تراکم توده سبزینگی مانند سطح برگ و درصد پوشش گیاهی کل می باشد. بنابراین با توجه به اینکه فاکتورهای مختلفی بر عملکرد متغیر محصول در مزارع تاثیر گذار هستند درنتیجه نمی توان بدون در نظر گرفتن سایر متغیرها تنها یک عامل را بر وجود این تغییرات نتیجه گرفت و مدیریت نهاده ها را بر اساس همان متغیر انجام داد. به عنوان مثال در مزرعه ای که مقدار نیتروژن عامل محدود کننده در رشد گیاه است مقدار شاخص NDVI همبستگی قوی با مقدار نیتروژن قابل دسترس در خاک خواهد داشت. همچنین در مزرعه دیگر که آب به عنوان فاکتور محدود کننده محسوب می شود این شاخص می تواند با محتوای رطوبت قابل دسترس گیاه همبستگی مناسبی داشته باشد.

مقایسه تشخیص شاخص NDVI به روش حسگر دستی و ماهواره ای

مقدار شاخص پوشش گیاهی بدست آمده از طریق ماهواره معمولا تحت تاثیر فاکتورهای غیر گیاهی نیز قرار دارد. عواملی مانند شرایط آب و هوایی (ذرات ریز، بخار آب، ابر و سایر متغیرهای ویژه اتمسفر)، محل هندسی ماهواره و واسنجی آن (زاویه خورشید و محل آن) و همچنین زمینه خاک و توده گیاهی می توانند بر این شاخص تاثیر گذار باشند. معمولاً زاویه برخورد نور بر روی گیاه تاثیر زیادی بر مقدار شاخص سبزینگی دارد (Pinter, 1993). با توجه به پیچیدگی های مربوط به داده های حاصل از ماهواره، این پیچیدگی ها با استفاده از حسگرهای نوری برطرف شده است. این حسگرها به دلیل قرار گیری در بالا و نزدیکی گیاه اثرات مزاحم حاصل از اتمسفر و موقعیت قرار گیری ماهواره را ندارند. علاوه بر این، حسگرهای دستی یا اتومات به دلیل داشتن مولد نور، بدون تاثیر گذاری نور خورشید بر داده های اندازه گیری شده، امکان اندازه گیری در شب و روز را دارند. عدم تاثیر پذیری این حسگرها از نور خورشید توسط مطالعات انجام گرفته توسط شرکت مهندسی Trimble به اثبات رسیده است (Anonymous, 2016). این مورد یکی از مهمترین مزیت های این حسگرها در مقایسه با اندازه گیری های ماهواره ای است. همچنین در مقایسه با هر نوع عکس هوایی حاصل از واحد ها و قطعات کوچک، این حسگرها که معمولاً در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین قرار دارند به دلیل داشتن رزولوشن بالا، سنجش دقیقتری را ارایه می کنند. این حسگرها به دلیل اندازه گیری خیلی سریع (به صور تقریب ۱۰۰۰ نمونه در ثانیه) و غیر مخرب قابلیت اندازه گیری تمامی سطح مزرعه را دارا می باشند.

حسگرهای نوری فعال

کلروفیل متر

از این حسگر معمولا برای اندازه گیری بلادرنگ وضعیت نیتروژن در بوته ها استفاده می شود. در این روش حسگر امواج نوری با عبور از سطح برگ و دریافت آن توسط گیرنده عمل سنجش را انجام می دهد. امواج مورد استفاده در این حسگر در محدوده باند مرئی و فروسرخ بوده (جدول ۱) و در حین اندازه گیری لازم است که برگ گیاه در بین دو فک دستگاه قرار گرفته و با میانگین گیری از چندین برگ بوته، متوسط شاخص سبزینگی محاسبه می گردد. یکی از مشکلات مربوط به این روش این است که اگر قرار است سطح بزرگی از مزرعه مورد ارزیابی قرار گیرد این روش زمان بر بوده و نیاز به زحمت فراوان در جمع آوری داده ها دارد. مدل های مختلفی از این دستگاه در حد تجاری وجود دارند که از معروفترین آنها می توان به مدل Minolta SPAD-502 ساخت کشور ژاپن اشاره داشت

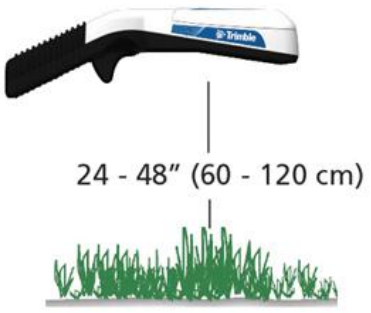
حسگر Crop circle

در این حسگر (Holland Scientific Inc., Lincoln, Nebraska, USA) بستگی به مدل و هزینه معمولا طول موج های بکار رفته به جای تک طول موج، قابلیت تغییر را داشته و می توان با تنظیم طول موج های مختلف حساسیت دستگاه را بالا برد. مثلا

در یکی از نمونه ها(مدل ACS-470) به جای دو باند معروف قرمز و فروسرخ نزدیک، امکان بهره‌گیری از ۶ باند طیفی آبی (nm ۴۵۰)، سبز (۵۵۰nm)، قرمز (۶۵۰nm و ۶۷۰nm)، لبه قرمز۲ (۷۳۰ nm) و فروسرخ نزدیک (>۷۶۰ nm) وجود داشته و به طور همزمان می‌توان از سه طیف باندی استفاده کرد. استفاده از باند لبه قرمز به دلیل حساسیت بیشتر به تغییرات سطح کلروفیل و رنگ دانه‌ها، بیشتر برای تشخیص وضعیت نیتروژن استفاده می‌شود (He *et al*., 2012). مدل های مختلف و ویژگی های این حسگر در جدول ۱ نشان داده شده است.

حسگر GreenSeeker

حسگر نوری GreenSeeker (Trimble Navigation Limited, California, USA) (شکل ۳) که به صورت دستی قابل حمل و نقل است با فرستادن امواج فروسرخ و قرمز و دریافت بازتاب آن‌ها توسط حسگرهای ویژه، مقدار شاخص NDVI را محاسبه می‌کند. مقدار ارتفاع این دستگاه از سطح گیاه بین ۱۲۰–۶۰ cm می باشد که در زمان اندازه گیری برای تمامی نقاط باید در یک ارتفاع مشخص ثابت نگه داشته شود. استفاده از حسگر GreenSeeker در تخمین مقدار نیتروژن محصول گندم و برنج (Raun *et al*., 2005) مورد ارزیابی قرار گرفته است و بررسی‌ها نشان داد که راندمان مصرف انرژی در گندم با بهره گیری از حسگرهای نوری تا ۱۵٪ بهبود پیدا کرده است. همچنین در مورد برنج، ضریب تعیین بین شاخص بازتابی کلروفیل و توده زیستی سطحی ۰/۷۹ بدست آمد. یکی از قابلیت های مهم این دستگاه این است که بدون نیاز به تماس با گیاه مقدار شاخص NDVI را اندازه گیری کرده و امکان اندازه گیری سطح گسترده ای از مزرعه به کمک این حسگر امکانپذیر است.



شکل۳- حسگر GreenSeeker و موقعیت آن نسبت به گیاه

[2] Red edge

جدول ۱: مقایسه حسگرهای فعال در تشخیص شاخص سبزینگی گیاه

حسگر	مرئی (nm)	فروسرخ (nm)	سایر (nm)
Minolta SPAD meter	650(Red)	940	
GreenSeeker 506	560(Green)	774	
GreenSeeker 505	656(Red)	774	
Crop circle ACS-210	590(Amber)	880	—
Crop circle ACS-430	670(Red)	780	730(Red edge)
Crop circle ACS-470	various	various	various
Crop Spec		800-810	730-740(Red edge)

نتیجه گیری

تشخیص بلادرنگ وضعیت گیاه از نظر سلامتی، استرس آبی و کمبود مواد غذایی، یکی از مهمترین بخش های پژوهشی در بخش کشاورزی دقیق است. از بین نهاده های مهم در حوزه کشاورزی می توان به کودهای پر مصرف مانند کود نیتروژن اشاره داشت که در حجم زیاد در اختیار گیاهان قرار می گیرد. مصرف بهینه این کود علاوه بر کاهش هزینه نهاده ها می تواند باعث کاهش اثرات مخرب زیست محیطی گردد. بنابراین تشخیص بلادرنگ میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه بسیار لازم و ضروری است. اخیراً با توسعه تکنولوژی حسگر قابل حمل، حسگرهای مخصوص تشخیص مقدار سبزینگی توده گیاهی بوجود آمده اند که از بین آنها می توان به GreenSeeker و CropCircle اشاره کرد که با قرار گرفتن آنها در ارتفاع مشخصی از بوته امکان تشخیص وضعیت گیاه از نظر سبزینگی وجود دارد که این مقدار سبزینگی با شاخصی به نام NDVI تعیین می گردد. گرچه با توسعه ماهواره ها امکان تشخیص شاخص سبزینگی میسر است ولی به دلیل رزولوشن بالای حاصل از حسگرهای قابل حمل، امکان استفاده از آنها برای مزارع کوچکتر و با هزینه کم قابل صرفه است.

منابع

Anonymous. 2016. Trimbler-Agriculture. Available on www.Trimbler.com. Accessed on July 10.

Adamsen, F. G., Pinter, P. J., Barnes, E. M., LaMorte, R. L., Wall, G. W., Leavitt, S. W., & Kimball, B. A. 1999. Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Science*, *39*(3): 719-724.

Kumar, R., & Silva, L. 1973. Light ray tracing through a leaf cross section. *Applied Optics*, *12*(12); 2950-2954.

Lambert, D., and Lowenberg-De Boer, J. 2000. Precision Agriculture Profitability Review. Site-Specific Management Center, School of Agriculture, Purdue University www. agriculture. purdue. edu/ ssmc/ Frames/ newsoilsX. pdf.

He, L., Zhang, H. Y., Zhang, Y. S., Song, X., Feng, W., Kang, G. Z., ... & Guo, T. C. 2016. Estimating canopy leaf nitrogen concentration in winter wheat based on multi-angular hyperspectral remote sensing. *European Journal of Agronomy*, *73*, 170-185.

Ma, B. L., Dwyer, L. M., Costa, C., Cober, E. R., & Morrison, M. J. 2001. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. *Agronomy Journal*, *93*(6): 1227-1234.

Pinter, P. J. 1993. Solar angle independence in the relationship between absorbed PAR and remotely sensed data for alfalfa. *Remote Sensing of Environment*, *46*(1): 19-25.

Prost, L., and Jeuffroy, M. H. 2007. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. Agronomy for sustainable development, 27(4): 321-330.

Raun, W. R., Solie, J. B., Martin, K. L., Freeman, K. W., Stone, M. L., Johnson, G. V., Mullen, R. W. 2005. Growth Stage, Development, and Spatial Variability in Corn Evaluated Using Optical Sensor Readings. *Journal of Plant Nutrition*, *28*(1): 173-182.