

تخمین عملکرد، سطح نیتروژن و پوشش گیاهی محصول سیر به کمک حسگر مجاورتی GreenSeeker

مهران هاشمی جوزانی^۱، حسین باقرپور^{۲*} و جواد حمزه‌ئی^۳

چکیده

بهره‌گیری از حسگرهای مجاورتی در ارزیابی سلامتی گیاه، مقدار کود مورد نیاز و همچنین تخمین عملکرد محصول، یکی از روش‌های نوین در حوزه کشاورزی دقیق محسوب می‌شوند. حسگر نوری (GS) GreenSeeker از جمله ابزارهایی است که اخیراً مورد توجه بسیاری از محققان و کشاورزان قرار گرفته است. بررسی دقیق متغیرهای ذکر شده و همچنین اندازه‌گیری شاخص کانوپی، می‌تواند مدیریت تولید را بهبود ببخشد و همچنین مصرف نهاده‌ها را حداقل کند. بنابراین ارزیابی سطح کانوپی و نیتروژن (N) گیاه و همچنین تخمین عملکرد محصول با استفاده از این شاخص از اهداف اصلی این پژوهش هستند. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در ۳ تکرار با ۵ تیمار کود N0، N50، N100، N150 و N200 انجام شد و شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از پردازش تصویر به دست آمد. در تخمین کانوپی، بهترین تابع تفکیک خاک از سطح برگ، تابع G-R معرفی شد و بیشترین همبستگی بین دو شاخص NDVI و LAI، ۰/۶۹ به دست آمد. ولی در هیچ‌کدام از مراحل رشد، همبستگی معناداری بین شاخص NDVI و سطوح N پیدا نشد. در بررسی سطح N، نتایج نشان داد که حسگر GS مناسب نیست، ولی در برخی از مراحل رشد توانایی تقریباً مناسبی در تخمین عملکرد غده سیر داشت. از مهم‌ترین یافته‌های این تحقیق، رابطه مناسب دو شاخص NDVI و LAI است. لذا می‌توان گفت که حسگر GS می‌تواند جایگزین مناسبی برای اندازه‌گیری شاخص کانوپی محصول سیر باشد.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، سیر، شاخص سبزی‌نگی، عملکرد محصول، حسگر نوری، کشاورزی دقیق، نیتروژن.

ارجاع: هاشمی جوزانی م، باقرپور ح، و حمزه‌ئی ج. ۱۴۰۱. تخمین عملکرد، سطح نیتروژن و پوشش گیاهی محصول سیر به کمک حسگر مجاورتی GreenSeeker. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۲: ۱۰۵-۱۱۳. DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10054.523>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۶

مقدمه

گیاه سبیر (*Allium sativum L.*)، جزو گیاهان مهم دارای مواد معدنی و خواص دارویی است (Amin et al., 2017). استان همدان با تولید ۴۱۲۷۷ تن در سال، یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان این محصول است (Anonymous, 2019). سبیر، قابلیت سازگاری بالایی برای کاشت در اکثر مناطق معتدل و خنک ایران را نیز دارد (Mollafilabi et al., 2013). نیتروژن (N) یکی از مهم‌ترین مواد مغذی مورد نیاز برای رشد گیاهان و تولید کلروفیل و محصول است (Zheng et al., 2018). مدیریت آن می‌تواند بر هر دو جنبه اقتصادی و زیست‌محیطی تولید محصول اثر بگذارد. از طرف دیگر آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات (NO_3) یکی از چالش‌های اساسی محیط زیست در قرن حاضر محسوب می‌شود (Cordero et al., 2018). بنابراین مصرف کم یا زیاد نیتروژن، تأثیر خوبی بر عملکرد و کیفیت محصول ندارد (Majidi, 2014). توصیه کودی این عنصر برای گیاه سبیر، بایستی با دقت مطلوبی مد نظر قرار گیرد، زیرا با استفاده نامناسب از آن و تأخیر در عملکرد سبیرچه، می‌تواند کاهش عملکرد اقتصادی را به دنبال داشته باشد (Asadi et al., 2014). روش‌های مختلفی برای سنجش کمبود نیتروژن در محصولات وجود دارد، از جمله: تحلیل و بررسی بافت گیاه، نمونه خاک، تصاویر هوایی، وسایل اندازه‌گیری مانند کلروفیل‌سنج^۱ و سبزینه‌سنج^۲ (GS). روش‌های بررسی نمونه‌های بافت و خاک، دقیق، ولی مخرب، زمان‌بر، پرهزینه و نیازمند ابزارهای خاص و بیشتری هستند. بنابراین برای مدیریت مزارع در فصول مختلف رشد گیاه، مقرون به صرفه نیستند و بیشتر برای توصیه کودی کل مزرعه کاربرد دارند و همچنین نمی‌توان از این روش‌ها برای مدیریت مکانی و لحظه‌ای کود و در مساحت وسیعی از مزارع بهره برد. استفاده از روش‌های سنجش از راه دور در بهبود مصرف کود اهمیت بالایی دارد، زیرا ارزان، آسان، سریع‌تر و با محدوده کاری بزرگ‌تری و البته دارای قابلیت اطمینان کمتری هستند. در این روش‌ها از حسگرهای نوری که از بازتاب نور از گیاه بهره می‌گیرند، استفاده می‌گردد (Basyouni et al., 2015; Dunn & Goad, 2015). شاخص اختلاف پوشش گیاهی

نرمال شده^۳ (NDVI) برای جداسازی پوشش گیاهی سبز از پس زمینه خاک در سنجش‌های کنترل از راه دور استفاده می‌شود (Rouse et al., 1974). بیاز شاخص NDVI برای اندازه‌گیری محتوای نیتروژن گندم زمستانه نیز استفاده شد (Sembiring et al., 1998). بهره‌گیری از حسگرهای مجاورتی در ارزیابی سلامتی گیاه، مقدار نیاز کودی و همچنین تخمین عملکرد محصول یکی از روش‌های نوین در حوزه کشاورزی دقیق محسوب می‌شوند. در پژوهشی وضعیت نیتروژن در تولید گل میخک (*Dianthus Chinensis L.*) توسط حسگر غیرمخرب GreenSeeker مورد بررسی قرار گرفت. در قرائت‌های این حسگر در مراحل مختلف رشد گیاه، به دلیل اندازه کوچک گیاه، تنک بودن و اختلال زمینه، همبستگی کمتری بین شاخص NDVI و غلظت نیتروژن برگ‌ها گزارش گردید (Basyouni et al., 2017). عملکرد برنج با استفاده از GS و SPAD و با اندازه‌گیری NDVI و کلروفیل برگ در دوره رشد مورد بررسی قرار گرفت. در مدل رگرسیونی GS دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به SPAD مشاهده شد (Ali et al., 2014). در پژوهش دیگری از حسگرهای غیر مخرب برای اندازه‌گیری نیتروژن موجود در گل‌دان گل *Euphorbia pulcherrima* استفاده گردید. میزان کود نیتروژن از طریق سه دستگاه سبزینه‌سنج، SPAD و atLEAF اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که دستگاه سبزینه‌سنج میزان کود نیتروژن را با دقت بیشتری اندازه می‌گیرد (Basyouni et al., 2015). در سنجش شاخص سطح کانوپی گیاه ذرت با بهره‌گیری از حسگر GS، همبستگی مناسبی بین شاخص سبزینه‌گی و سطح بالای کانوپی‌ها ($R^2=0.84$) به دست آمد (Bagherpour et al., 2018). همچنین بین این دو شاخص به دست آمده از این حسگر و دستگاه کلروفیل‌سنج مدل SPAD-502، همبستگی مناسب 0.82 حاصل شد که قابلیت مناسب این حسگر را در اندازه‌گیری مقدار سبزینه‌گی گیاه نشان می‌دهد. مدیریت مصرف N به روش خاص مکانی و با کمک حسگر نوری GS، برای کاشت برنج به روش خشکه‌کاری^۴ (DDSR)، در شمال غربی هند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بطور متوسط هنگامی که مدیریت کود نیتروژن بوسیله

3- Normalized Difference Vegetation Index
4- Dry Direct-Seeded Rice

1- Chlorophyll meter
2- GreenSeeker

پیدا نشد. بنابراین بررسی وضعیت سلامتی یا شاخص سطح برگ (LAI) و همچنین سطح نیتروژن و تخمین عملکرد این گیاه با استفاده از حسگر GS از اهداف اصلی این تحقیق هستند.

مواد و روش‌ها

عملیات کاشت محصول سیر در سال ۱۳۹۶ در اوایل دی‌ماه در مزرعه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. این مزرعه در موقعیتی با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۷ دقیقه واقع شده است. بافت خاک مزرعه، لومی رسی شنی و pH آن ۷/۱۵ بود. نتایج تجزیه و تحلیل نمونه خاک مزرعه برای به دست آوردن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، در جدول ۱ نشان داده شده است.

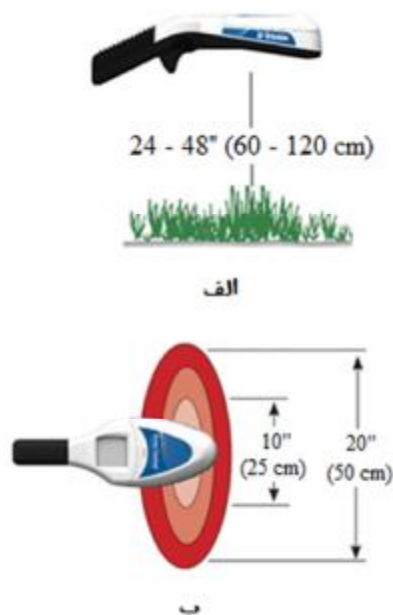
ویژگی	مقدار (نوع)	واحد
بافت	لومی رسی شنی	ندارد
هدایت الکتریکی (EC)	۰/۰۷	dS.m ⁻¹
اسیدیته (pH)	۷/۱۵	ندارد
کربن آلی (OC)	۲/۳۸	درصد (%)
ماده آلی (OM)	۴/۱۰	درصد (%)
نیتروژن (N)	۲۰۰	mg/kg
فسفر کل (P)	۱۴۸۷/۵	mg/kg
پتاسیم کل (K)	۷۰۳/۳	mg/kg

برای کاشت سیر، مزرعه کشت با روش دستی به کرت‌های مساوی به ابعاد ۵ مترمربع تقسیم‌بندی گردید و برای جلوگیری از نشت کود به کرت‌های مجاور، فاصله بین آنها ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرها سیر از رقم سفید و بومی استان همدان انتخاب و در هر کرت ۵ ردیف و در مجموع ۷۰ بوته سیر کاشته شد. با توجه به الگوی مرسوم کاشت در این استان، فاصله بین بذرها ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و عمق کاشت نیز ۴ الی ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این پژوهش از ۵ تیمار کودی نیتروژن (N0، N50، N100، N150 و N200) با سه تکرار استفاده شد. بنابراین در کل ۱۵ کرت کاشت شد و تیمارهای کودی به شکل کاملاً تصادفی به آنها اعمال گردید. کود نیتروژن ۱۵ روز پس از

انجام می‌شود، بازده مصرف N افزایش می‌یابد (Ali et al., 2015). در تحقیقی برای تخمین آزمایشگاهی وضعیت نیتروژن چغندرقد، از پردازش تصاویر رنگی استفاده 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، اما مدل 2R-B در فضای رنگی RGB بیشترین همبستگی ($R^2=0.93$) را برای تخمین مقدار کلروفیل نشان داد (Ahmadi Moghaddam et al., 2010). در تحقیق انجام گرفته، با استفاده از بازتاب طیفی گیاه پنبه و به کمک حسگرهای نوری GS و SPAD و پردازش تصویر، رشد و عملکرد پنبه مورد بررسی قرار گرفت. تمام شاخص‌های پوشش گیاهی و قرائت SPAD، محتوای N در پنبه را با دقت بسیار بالایی ($R>0.74$)، توسط مدل‌های ریاضی پیش‌بینی نمودند. هم‌چنین از زمان اولین گلدهی، همبستگی خوبی (R از ۰/۵۵ تا ۰/۹۶) با شاخص سطح برگ نشان داده شد (Brandão et al., 2015). برای تخمین محتوای کلروفیل در گیاه ذرت به کمک فن‌آوری پردازش تصویر، از دوربین موجود در گوشی‌های هوشمند و اپلیکیشن طراحی شده مخصوص استفاده شد. نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین شاخص رنگ تصاویر با کلروفیل برگ ذرت وجود دارد. هم‌چنین این روش می‌تواند جایگزین بسیار دقیق اندازه‌گیری SPAD شود (Vesali et al., 2017).

یکی از موارد مهم در مدیریت توزیع نیتروژن و یا بررسی سطح آن در گیاه، تخمین سریع و بلادرنگ آن در مزارع است. از طرفی با تخمین سطح پوشش گیاهی یا کانوپی می‌توان حجم پوشش گیاهی یا سلامتی آن را نیز بررسی کرد. یکی از روش‌های مناسب برای بررسی وضعیت مزرعه در مساحت بیشتر، استفاده از حسگرهایی است که بتوانند سطح کل پوشش گیاهی را با یک بار اسکن اندازه‌گیری کند. با توجه به مساحت مزارع سیر در محیط مزرعه، تخمین سطح نیتروژن گیاه، سنجش عملکرد محصول و یا اندازه‌گیری سطح پوشش گیاهی آن به روش‌های سنتی یا استفاده از حسگرهای دیگر مانند SPAD، امکانپذیر نیست، بنابراین استفاده از حسگر نوری مجاورتی GS می‌تواند برای این منظور مفید باشد. با بررسی تمامی منابع، تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از حسگر GS در داخل و خارج از کشور برای تخمین سطح نیتروژن گیاه سیر و یا شاخص سطح پوشش گیاهی آن

با سطح زمین گرفته شد. سپس تصاویر برای پردازش و استخراج شاخص LAI (یا سطح کانوپی) به رایانه و نرم افزار مربوطه منتقل گردیدند. بعد از پردازش تصاویر، میانگین شاخص سه تصویر اخذ شده برای تیمار مربوطه در نظر گرفته شد.



شکل ۱- دامنه کاری حسگر GS، الف) محدوده دید حسگر، ب) حدود ارتفاع قابل اندازه گیری (Trimble, 2016)

هنگام برداشت محصولات سیر، کل غده‌های هر کرت، به صورت جداگانه جمع‌آوری و بلافاصله توزین گردیدند. مساحت هر کرت نیز با اندازه‌گیری ابعاد آن‌ها به وسیله متر معمولی محاسبه شد. سپس با تقسیم وزن‌ها به مساحت‌های مربوط به خودشان، عملکرد وزنی غده‌ها بر حسب تن در هکتار به دست آمد. نمودارهای لازم توسط نرم افزار Excel 2016 رسم گردیدند. پردازش تصاویر به وسیله نرم افزار LabView 2014 انجام گرفت و تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها نیز با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۰ انجام شد.

محاسبه شاخص سطح برگ (LAI)

در پردازش تصاویر، ابتدا سعی شد که زمینه محصول (خاک) از گیاهان کاملاً جدا شود. با بررسی میزان بازتاب سطح خاک و برگ‌ها، از آنجایی که مقدار باندهای مختلف RGB برای زمین لخت و سطح برگ فرق دارند (شکل ۲)، در سطح برگ‌ها، بین دو باند قرمز و سبز اختلاف قابل

جوانه‌زنی (DAG) به روش کناری یا خطی در فاصله ۷ سانتی‌متری بوته و عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری و به روش سرک به کرت‌ها داده شد. در پژوهشی که بر روی سیر انجام گردید، همین مقادیر سطح نیتروژن و تعداد تیمارها گزارش شده است (Asadi et al., 2014). وجین علف‌های هرز، به صورت دقیق و کامل، با استفاده از روش دستی و قبل از اعمال تیمارهای کودی و داده‌گیری از کشت‌ها اجرا گردید. کرت‌های مزرعه از زمان کاشت بذرها تا انتهای دوره رشد به فاصله هر ۷ الی ۱۰ روز آبیاری غرقابی شدند. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت.

جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

برای بررسی تغییرات شاخص NDVI، بعد از اعمال تیمارهای کودی N و وجین‌های مکرر و کامل علف‌های هرز سطح زمین، داده‌ها یک هفته بعد از اعمال کود توسط حسگر دستی و مجاورتی GreenSeeker (Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA) در ۱۲ دوره با فاصله تقریباً یک هفته از همدیگر، جمع‌آوری شدند (جدول ۲). این حسگر (شکل ۱) نور را توسط دو دیود در طول موج‌های قرمز ۶۶۰ نانومتر (مرئی) و فروسرخ نزدیک^۱ (NIR) با ۷۷۰ نانومتر منتشر می‌نماید و سپس میزان نور بازتاب شده از سطح گیاه را دریافت و با اندازه‌گیری آن‌ها، شاخص NDVI (رابطه ۱) را بر روی صفحه نمایش نشان می‌دهد. این محاسبات به صورت مستقیم، درون دستگاه انجام می‌گیرد. شاخص NDVI در فاصله ۶۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری از تاج پوشش گیاه اندازه‌گیری می‌شود (Basyouni et al., 2017). در این پژوهش، تا زمانی که رنگ گیاه به سمت زرد شدن گرایش پیدا کرد، داده‌برداری در ارتفاع تقریبی ۷۵ سانتی‌متری بالای پوشش گیاهی انجام شد.

$$\frac{I_{NIR} - I_{RED}}{I_{NIR} + I_{RED}} = NDVI \quad (1)$$

که در آن، I_{NIR} و I_{RED} به ترتیب میزان بازتابش نور قرمز و مادون قرمز هستند (Jones et al., 2007).

همزمان با اندازه‌گیری شاخص NDVI، برای هر کرت سه تصویر دیجیتال رنگی از زاویه‌های مختلف توسط دوربین دیجیتال (۸ مگاپیکسل، SAMSUNG، کره جنوبی) در ارتفاع ۱/۶ متری بالای پوشش گیاهی و به صورت موازی

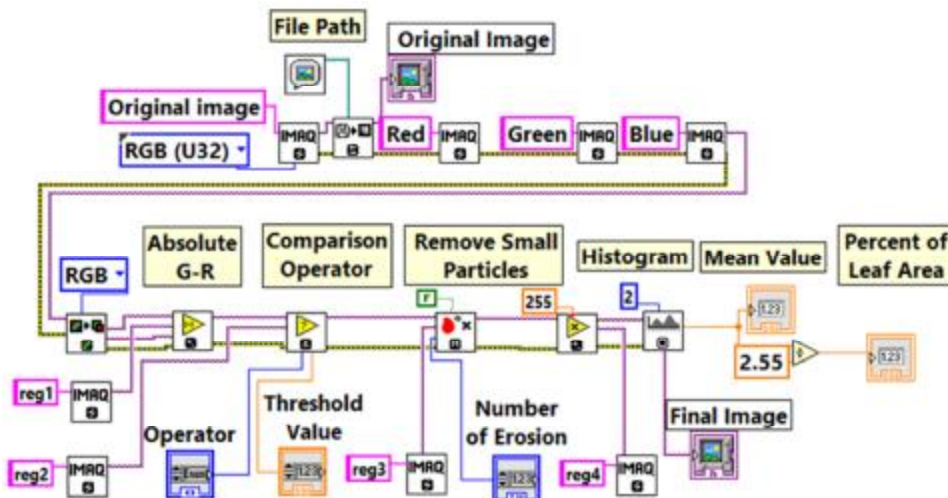
1- Near infrared

شده، متوسط سطح برگ‌ها در نرم‌افزار محاسبه و نتیجه نهایی سطح به صورت کسری از سطح برگ کل تصویر گزارش شد.

توجهی وجود داشت. بنابراین با استفاده از فرآیند نشان داده شده در شکل ۳ و بررسی ییتعداد زیادی از توابع جداساز، تابع G-R، توانست بخوبی زمینه خاک را از سطح برگ تفکیک کند. بعد از بیدودویی کردن تصاویر استخراج



شکل ۲- مقایسه میزان بازتاب باندهای مختلف رنگی در سطح خاک و گیاه



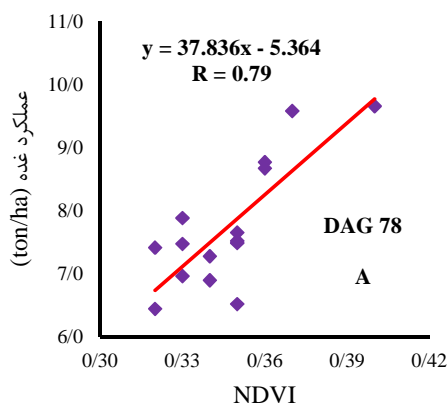
شکل ۳- فرآیند پردازش تصویر برای حذف زمینه خاک از پوشش گیاهی در محیط نرم‌افزار LabView

بر روی گل میخک انجام گرفت، نتایج نشان داد که در مراحل اولیه رشد به دلیل تنک بودن زمین و اثر اختلافات حاصل از زمینه خاک اختلاف معناداری بین سطوح N مشاهده نشد (Basyouni *et al.*, 2017). هر چند در بعضی از محصولات ارتباط معنی داری بین شاخص NDVI و سطوح تیماری نیترژن وجود دارد ولی بیشتر در محصولاتی گزارش شده است که پهن برگ بوده و یا تراکم خوبی در محصول وجود داشته باشد. ضریب همبستگی شاخص کلروفیل و NDVI محصول انگور در طول دوره رشد بین ۰/۲۳ تا ۰/۸۴ گزارش شده است (Junges *et al.*, 2019) که می‌توان دلیل این همبستگی مناسب در مراحل خاص را به شکل پهن برگ‌ها و تراکم مناسب

نتایج و بحث

با بررسی همبستگی میان NDVI به دست آمده از GS و تیمار کودی N (جدول ۲)، نتایج نشان داد که از نظر آماری، اختلاف معناداری بین سطوح مختلف N وجود ندارد. این نتایج ممکن است به علت باریک بودن و طرح V شکل برگ‌های گیاه سیر و حالت قرارگیری مورب برگ‌ها در برابر حسگر GS باشد. حتی اختلافات زمینه یا همان خاک کشت هم می‌تواند مؤثر واقع شود، زیرا گیاه سیر و کشت آن دارای پوششی تنک است. به همین خاطر در تمامی مراحل رشد به دلیل قالب بودن اثر زمین نسبت به توده گیاهی، خروجی حسگر ارتباط معناداری با سطوح N نداشت. در تحقیق مشابهی که با استفاده از حسگر GS

مرحله اولیه و انتهایی رشد، بین شاخص NDVI حاصل از Crop Circle و عملکرد محصول همبستگی معناداری وجود دارد ولی بین بافت شاخص NDVI حاصل از GS تنها در دوره آخر رشد آن ارتباط معناداری یافت شد. البته این ارتباط در خاک نرم در هر دو مرحله ابتدایی و انتهایی رشد معنادار بود (Sharma et al., 2015).



شکل ۴- مدل رگرسیون برای نقاط بیشینه همبستگی بین NDVI و عملکرد غده

برگ‌ها ربط داد. در پژوهش‌های دیگر که بر روی محصول پهن برگ اسفناج (Jones et al., 2007) و ذرت (Ali et al., 2018) انجام گرفت ارتباط معناداری تنها در یک دوره خاص رویشی بین شاخص NDVI و غلظت نیتروژن به دست آمد.

بررسی اثرات سطوح مختلف تیمار کودی N بر عملکرد غده سبزه نشان داد که بیشترین عملکرد در تیمار N150 و کمترین عملکرد در تیمار N0 به دست آمد. در بررسی ارتباط بین شاخص NDVI و عملکرد غده سبزه فقط در ۳ مرحله رشد ۷۱، ۷۸ و ۸۵ DAG، ارتباط معناداری بین این دو متغیر در سطح ۵ درصد به دست آمد و بیشترین ضریب همبستگی ۰/۷۹ در ۷۸ روز پس از جوانه‌زنی مشاهده گردید (شکل ۴). در تحقیقی دیگر که بر روی محصول برنج خشکه کاری انجام گرفت، روند مشابهی بین ضرایب همبستگی، و عملکرد محصول در طول دوره رشد به دست آمد (Ali et al., 2015). در ابتدای دوره رشد، ضریب همبستگی معنادار نبود و بیشترین مقدار ضریب همبستگی در ۷۰ روز بعد از کاشت به دست آمد. در تحقیق مشابهی برای تخمین عملکرد محصول ذرت با استفاده از حسگر GS و Crop Circle در خاک رسی، نتایج نشان داد که در مقایسه بین این دو حسگر، در

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین مقادیر خروجی حسگر GS با سطوح تیمار کودی N، عملکرد غده و شاخص LAI

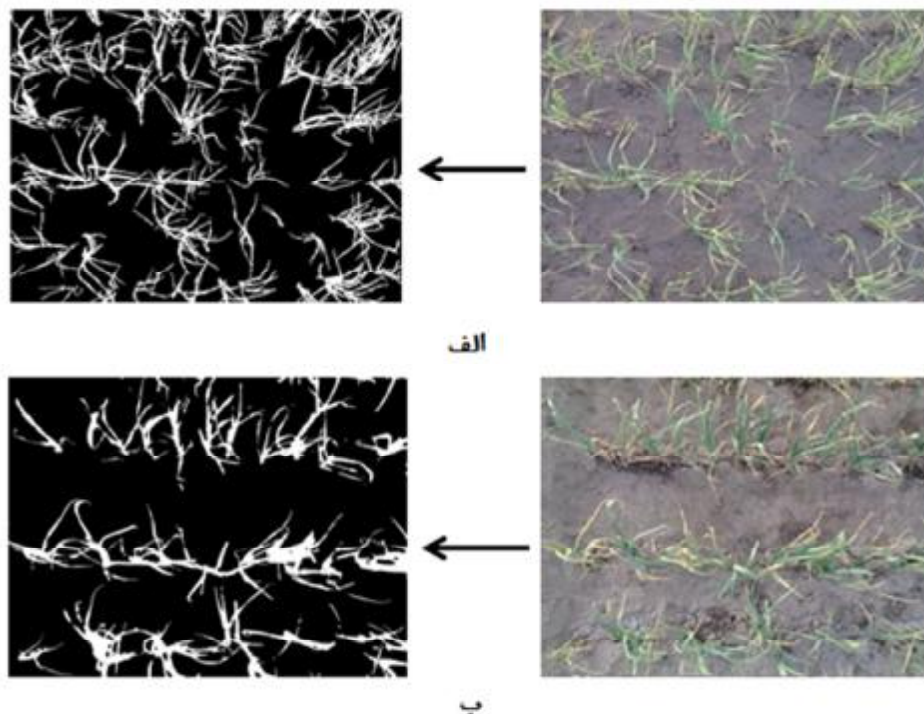
NDVI و LAI	NDVI و عملکرد غده	NDVI و تیمار N	تعداد روز پس از جوانه‌زنی (DAG)
ns	ns	۰/۰۰	۲۲
ns	ns	۰/۰۰	۲۹
ns	ns	۰/۱۷	۳۶
ns	ns	۰/۳۰	۴۳
ns	ns	۰/۲۰	۵۰
ns	ns	۰/۳۱	۵۷
۰/۵۶*	ns	۰/۳۰	۶۴
$y = -۸/۲۴ + ۵۷/۳۶x$	ns	۰/۴۴	۷۱
۰/۶۵*	۰/۶۰*	۰/۴۶	۷۸
$y = -۴/۳۴ + ۶۸/۹۱x$	$y = -۹/۴۸ + ۶۳/۶۷x$	۰/۳۴	۸۵
۰/۶۹*	۰/۷۹*	۰/۳۶	۱۰۶
$y = -۱/۷۰ + ۶۶/۳۸x$	$y = -۵/۳۶ + ۳۷/۸۳x$	۰/۷	۱۱۳
۰/۶۲*	۰/۶۴*		
$y = -۱۲/۲۷ + ۱۱۴/۰۲x$	$y = -۳/۴۱ + ۴۱/۴۶x$		
ns	ns		
ns	ns		

*معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری

ارزیابی شاخص LAI

نتایج حاصل از پردازش تصویر به کمک شاخص تفکیک کننده G-R در شکل ۵ نشان داده شده است. در پژوهش

مشابهی برای تشخیص علف‌های هرز موجود در تصویر مزرعه و جداسازی آن از سطح خاک از شاخص G-R استفاده شده است (Woebbecke *et al.*, 1995a, 1995b).



شکل ۵- نتایج حاصل از حذف پس زمینه به منظور سنجش شاخص LAI محصول سیر در الف) زمین مرطوب ب) زمین خشک

مطابق جدول ۲، نتایج نشان داد که همبستگی معناداری در مراحل میانی تا انتهایی رشد و زردشدگی برگ‌ها بین دو شاخص LAI و NDVI وجود دارد. کاهش همبستگی در روزهای پایانی، ممکن است به دلیل ورود گیاه به فاز زایشی، مصرف بیشتر ازت و تمایل برگ‌ها به زرد شدن باشد. بیشترین همبستگی در مرحله ۷۸ DAG برابر با ۰/۶۹ به دست آمد که مدل رگرسیونی آن در شکل ۶ رسم گردیده است. با بررسی بیشتر جدول ۲، نتایج نشان می‌دهد که در دوره‌های اولیه و انتهایی رشد، مقدار همبستگی بین دو مقدار LAI و NDVI پایین است. دلیل این ارتباط کم در این دوره‌ها را می‌توان به دو مورد ربط داد. در مراحل اولیه رشد به خاطر تراکم کم پوشش سطح سبزیگی، متوسط دریافتی حسگر به جای آن که تحت تأثیر پوشش سبزیگی قرار بگیرد، بیشتر متأثر از بازتاب‌های سطح زمین است و در دوره آخر رشد (DAG ۱۱۶) نیز به دلیل زرد شدن برگ‌ها، بازتاب‌های مادون قرمز تقریباً ثابت بودند. در دوره ای از رشد که حدود ۶۴

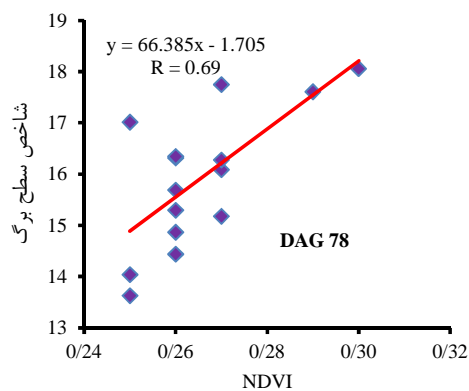
تا ۸۵ روز پس از جوانه زنی را شامل می‌شود، علاوه بر سبز بودن گیاه، پوشش سبزیگی نیز به اندازه کافی وجود دارد که این ارتباط قوی‌تر شده و می‌توان نتیجه گرفت که حسگر GS تنها در دوره خاصی از مرحله رشد برای تخمین شاخص LAI جواب مناسبی می‌دهد و کاربرد آن در هر دوره رشد عملاً قابل توصیه نیست. در بررسی ارتباط بین دو شاخص NDVI و شاخص سطح برگ چمن و مراتع، نتایج مشابهی به دست آمد (Fan *et al.*, 2009; Tang *et al.*, 2020). در بررسی ارتباط بین دو شاخص سطح برگ و NDVI، نتایج حاصل از تحقیق مشابه نشان داد که در دوره آخر رشد به دلیل تراکم بیش از اندازه گیاهان، شاخص NDVI تقریباً اشباع گردید و از این شاخص دیگر نمی‌توان برای بررسی اختلاف بین پوشش گیاهی بهره برد (Pontailier *et al.*, 2003). در بررسی شاخص پوشش سبزیگی محصول گندم نیز نتیجه مشابهی توسط Lukina *et al.* (1999) و Sembiring *et al.* (1998) گزارش شده بود. در پژوهش دیگر که بر روی

پیدا شد ولی بیان امکان‌پذیری تخمین عملکرد، نیازمند ارزیابی چندین مزرعه در چندین سال متمادی است.

منابع

- Ahmadi Moghaddam, P., Haddad Derafshi, M. A., & Shayesteh, M. (2010). Laboratory estimation of Sugar Beet leaf Nitrogen status by color image processing. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 19(1): 189-199. (In Persian).
- Ali, A. M., Thind, H. S., Sharma, S., & Varinderpal, S. (2014). Prediction of dry direct-seeded rice yields using chlorophyll meter, leaf color chart and GreenSeeker optical sensor in northwestern India. *Field Crops Research*, 161: 11-15.
- Ali, A. M., Thind, H. S., Varinderpal, S., & Bijay, S. (2015). A framework for refining nitrogen management in dry direct-seeded rice using GreenSeeker™ optical sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110: 114-120.
- Ali, A.M., Abou-Amer, I., & Ibrahim, S.M. (2018). Using GreenSeeker active optical sensor for optimizing maize nitrogen fertilization in calcareous soils of Egypt. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(8): 1083-1093.
- Amin, Z., Fallah, S., & Abbasi Surki, A. (2017). The effect of type and application method of fertilizer treatments on growth and yield of medicinal Garlic. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1): 185-203. (In Persian).
- Anonymous. (2019). Crops and livestock production. Available from <http://hm.agri-jahad.ir>. Accessed on 30/09/2021.
- Asadi, G.A., Ghorbani, R., Khorramdel, S., & Amin Ghafouri, A. (2014). Effects of different levels of wheat straw and nitrogen fertilizer on the combination, density and population of weeds in garlic. *Journal of Agroecology*, 4(1): 86-95. (In Persian).
- Bagherpour, H., & Mohamadi Monavar, H. (2018). Implementation of the GreenSeeker sensor for measuring canopy leaf area index of Corn. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 6(11): 41-48. (In Persian).
- Basyouni, R., Dunn, B. L., & Goad, C. (2015). Use of nondestructive sensors to assess nitrogen status in potted poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* L.) production. *Scientia Horticulture*, 192, 47-53.
- Basyouni, R., Dunn, B. L., & Goad, C. (2017). The use of nondestructive sensors to assess nitrogen status in potted dianthus (*Dianthus*

محصول انگور انجام شد، نتایج نشان داد که بین شاخص سطح کلی گیاهان (LAI) با شاخص NDVI حاصل از حسگر GS در همه مراحل همبستگی وجود نداشته، بلکه تنها در مراحل خاصی این همبستگی معنادار بوده است (Junges *et al.*, 2019). در این ارتباط، بیشترین مقدار ضریب همبستگی ۰/۶۱ گزارش گردید.



شکل ۶- مدل رگرسیون برای نقاط بیشینه همبستگی بین LAI و NDVI

نتیجه‌گیری

با توجه به عدم همبستگی مناسب بین شاخص NDVI و سطوح تیمار کودی N، نتیجه گرفته می‌شود که حسگر GS، بر خلاف سایر محصولات توصیه شده، در ارزیابی سطوح N گیاه سیر عملکرد مناسبی ندارد. در بررسی تخمین سطح پوشش گیاهی، نتایج تصاویر نشان داد که بهترین تابع جداسازی زمینه خاک از سطح برگ، تابع G-R است و در برخی از مراحل رشد گیاه، همبستگی مناسبی بین شاخص LAI و NDVI به دست آمد. این نتیجه بیان‌گر آن است که حسگر GS می‌تواند برای تشخیص شاخص LAI در مراحل میانی رشد محصول سیر بکار رود و به عبارتی این دو، جایگزین مناسبی برای یکدیگر در این مرحله از رشد گیاه هستند. در بررسی عملکرد محصول، میان NDVI و عملکرد غده، فقط در دوره رشد بین ۷۱ تا ۸۵ روز پس از جوانه زنی همبستگی معناداری وجود داشت و بیشترین همبستگی ۰/۷۹ به دست آمد. نتایج کلی تحقیق نشان داد که در ارزیابی شاخص LAI می‌توان از خروجی حسگر GS تنها در دوره میانی رشد گیاه استفاده کرد. ولی در پیش‌بینی عملکرد غده، هر چند در بعضی از مراحل رشد همبستگی مناسبی

- retrogradation of natural vegetation. In *Type III, Final Report, 371. Greenbelt, Md.: NASA/GSFC.*
- Sembiring, H., Raun, W. R., Johnson, G. V., Stone, M. L., Solie, J. B., & Phillips, S. B. (1998). Detection of nitrogen and phosphorus nutrient status in winter wheat using spectral radiance. *Journal of Plant Nutrition*, 21(6): 1207-1233.
- Sharma, L.K., Bu, H., Denton, A. & Franzen, D.W., (2015). Active-optical sensors using red NDVI compared to red edge NDVI for prediction of corn grain yield in North Dakota, USA. *Sensors*, 15(11): 27832-27853.
- Tang, L., He, M., & Li, X. (2020). Verification of Fractional Vegetation Coverage and NDVI of Desert Vegetation via UAVRS. *Technology. Remote Sensing*, 12(11): 1742.
- Trimble. (2016). GreenSeeker crop sensor datasheet. Trimble. Available from www.trimble.com/Agriculture/gshandheld.aspx, accessed on 15 June 2021.
- Vesali, F., Omid, M., Mobli, H., & Kaleita, A. (2017). Feasibility of using smart phones to estimate chlorophyll content in corn plants. *Photosynthetica*, 55(4): 603-610.
- Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargen, K., Mortensen, D.A. (1995b). Shape features for identifying young weeds using image analysis. *Trans. ASAE*, 38(1): 271-281.
- Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargen, K., Mortensen, D.A., (1995a). Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Trans. ASAE*, 38: 259-269.
- Zheng, H., Li, W., Jiang, H., Liu, Y., Cheng, T., Tian, Y., Zhu, Y., Cao, W., Zhang, Y., & Yao, X., (2018). A comparative assessment of different modeling algorithms for estimating leaf nitrogen content in winter wheat using multispectral images from an unmanned aerial vehicle. *Remote sensing*, 10(12): 2026.
- chinensis L.) production. *Canadian Journal of Plant Science*, 97(1): 44-52.
- Brandão, Z. N., Sofiatti, V., Bezerra, J. R. C., Ferreira, G. B., & Medeiros, J. C., (2015). Spectral reflectance for growth and yield assessment of irrigated cotton. *Australian Journal of Crop Science*, 9(1): 75-84.
- Cordero, E., Moretti, B., Miniotti, E. F., Tenni, D., Beltarre, G., Romani, M., & Sacco, D. (2018). Fertilisation strategy and ground sensor measurements to optimise rice yield. *European Journal of Agronomy*, 99, 177-185.
- Dunn, B., & Goad, C. (2015). Effect of foliar nitrogen and optical sensor sampling method and location for determining ornamental cabbage fertility status. *HortScience*, 50(1): 74-77.
- Fan, L.Y., Gao, Y.Z., Brück, H.E.B., & Cand, C. (2009). Investigating the relationship between NDVI and FVC in semi-arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements. *Theoretical and applied climatology*, 95(1-2): 151-156.
- Jones, C. L., Weckler, P. R., Maness, N. O., Jayasekara, R., Stone, M. L., & Chrz, D. (2007). Remote sensing to estimate chlorophyll concentration in spinach using multi-spectral plant reflectance. *Transactions of the ASABE*, 50(6): 2267-2273.
- Junges, A.H., Fontana, D.C., & Lampugnani, C.S. (2019). Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. *Bragantia*, 78(2): 297-305
- Lukina, E. V., Stone, M. L., & Raun, W. R. (1999). Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. *Journal of Plant Nutrition*, 22(2): 341-350.
- Majidi, A. (2014). Use of Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter for Estimating Leaf N Concentration and Grain Protein Content in Three Varieties of Wheat. *Iranian Journal of Soil Research*, 28(2): 245-254. (In Persian).
- Mollafilabi, A., Khorramdel, S., & Shoorideh, H. (2013). Effect of different nitrogen fertilizers and various mulches rates on yield and yield components of Garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Agroecology*, 4(4): 316-326. (In Persian).
- Pontauiller J. Y., Hymus, G. J. & Drake, B. G. (2003). Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29: 381-387.
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., & Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement of

