

## برآورد شاخص سطح برگ ذرت با استفاده از دوربین دیجیتال اصلاح شده

مصطفی گوینده نجف‌آبادی<sup>۱\*</sup>، سید مجید میرلطیفی<sup>۲</sup>، مهدی اکبری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۴

### چکیده

شاخص سطح برگ<sup>۴</sup> (LAI) یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رشد گیاه و عملکرد محصول می‌باشد. بنابراین پایش توزیع مکانی و زمانی این شاخص در مزارع کشاورزی، می‌تواند بیانگر چگونگی کاربرد استراتژی‌های مدیریت مزرعه از جمله برنامه‌ریزی آبیاری و یکنواختی توزیع آب باشد. هدف این مطالعه، تشریح چگونگی کاربرد دوربین دیجیتال اصلاح‌شده به منظور تعیین دقیق توزیع مکانی شاخص سطح برگ در مزرعه ذرت علوفه‌ای است. تاکید این مقاله بر ترکیب دوربین تصویربرداری دیجیتال با یک فیلتر مخصوص (طراحی شده برای توسعه تصویربرداری چند طیفی در ناحیه مرئی (Vis) و مادون قرمز نزدیک (NIR)) است. به منظور حذف خطاهای موجود در تصاویر، اصلاحات دقیقی بر روی خطای سایه روشن تصویر، انحرافات هندسی و اثرات بازتاب نقطه داغ، انجام شد. با توجه به رزولوشن<sup>۵</sup> مکانی بالا این سامانه تصویربرداری (در حد سانتی‌متر) تفکیک پیکسل‌های<sup>۶</sup> دارای پوشش گیاهی از پیکسل‌های بدون پوشش گیاهی در تصاویر استخراج شده، به خوبی انجام شد و این موضوع در تعیین درصد پوشش گیاهی (تراکم رشد محصول) موثر بود. شاخص سطح برگ بیش‌ترین همبستگی را با درصد پوشش گیاهی ( $R^2 = 0/919$ ) و بعد از آن با باند طیفی مادون قرمز نزدیک ( $R^2 = 0/741$ ) داشت. همبستگی بالایی بین دو باند طیفی قرمز و سبز با باند طیفی مادون قرمز نزدیک وجود داشت. این همبستگی باعث شد، اثر این دو باند طیفی در کنار باند طیفی مادون قرمز نزدیک، در مدل‌سازی شاخص سطح برگ معنادار نشود. در نتیجه مدل‌سازی شاخص سطح برگ تنها با دو پارامتر درصد پوشش گیاهی و باند طیفی مادون قرمز نزدیک انجام شد. ضریب تعیین تعدیل شده در مدل ۰/۹۶۶ بدست آمد که نشان داد ۹۶/۶٪ از تغییرات شاخص سطح برگ در سطح مزرعه، توسط دو متغیر درصد پوشش گیاهی و باند طیفی مادون قرمز نزدیک وارد شده به مدل تبیین شد.

**واژه‌های کلیدی:** پرنده بدون سرنشین، پردازش تصاویر دیجیتال، درصد پوشش گیاهی، سنجش از دور

### مقدمه

مکانی و زمانی این شاخص در مزارع کشاورزی، می‌تواند بیانگر چگونگی کاربرد استراتژی‌های مدیریت مزرعه از جمله برنامه‌ریزی آبیاری و یکنواختی توزیع آب در سطح مزرعه باشد. روش‌های برآورد شاخص سطح برگ را می‌توان در دو دسته مستقیم و غیرمستقیم دسته‌بندی کرد (Breda., 2003; Jonckheere et al., 2004). روش‌های غیرمستقیم شامل روش‌هایی مانند دستگاه‌های پردازشگر پوشش گیاهی، تصویربرداری نیم‌کروی دیجیتال و سنجش از دور (Campos-Taberner et al., 2016) می‌باشد. تکنولوژی سنجش از دور یک روش مقرون به صرفه و غیر مخرب بوده لذا یک تکنولوژی رایج برای برآورد شاخص سطح برگ است (Ke et al., 2016).

برآورد شاخص سطح برگ گیاه با استفاده از سنجش از دور به دو روش امکان‌پذیر است. روش اول استفاده از توابع رگرسیون بدست آمده از روابط بین بازتاب طیفی در سطح تاج پوشش گیاهی محصول و شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده توسط آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌باشد (Bsaibes et al., 2009; Darvishzadeh et al., 2008).

شاخص سطح برگ یکی از مهم‌ترین متغیرهای بیوفیزیکی<sup>۷</sup> برای پایش رشد گیاه و برآورد عملکرد دانه (Dente et al., 2008; Fang et al., 2008) و همچنین بازتاب‌دهنده نرخ فوتوسنتز (Burkey and Wells., 1991; Lugg and Sinclair., 1981) و عملکرد محصول می‌باشد (Boerma and Specht., 2004). بنابراین پایش توزیع

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

\*- نویسنده مسئول : (Email: mostafa.gooyandeh@modares.ac.ir)

4- Leaf Area Index

5- Resolution

6- Pixel

7- Biophysical Variables

با حذف فیلتر سد کننده مادون قرمز از داخل دوربین‌های دیجیتال، می‌توان از این دوربین‌ها برای دریافت و ثبت تصاویر بازتاب طیفی در محدوده NIR و مرئی مزارع کشاورزی استفاده کرد (Rabatel et al., 2014). از دوربین‌های دیجیتال اصلاح شده به-عنوان یک ابزار سنجش از دور برای مدیریت و پایش محصولات کشاورزی (Ballesteros et al., 2014; Gómez-Candón et al., 2005; Thomson et al., 2008; Nebiker et al., 2014)، تعیین نقشه نیاز کودی نیتروژن (Saberioon et al., 2008; Lelong et al., 2008)، نقشه تنش آبی (Pinter Jr et al., 2003)، برآورد میزان توده سبز (Bendig et al., 2014) و عملکرد محصول (Jensen et al., 2007) و همچنین ارزیابی یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری بارانی (Hassan-Esfahani et al., 2015) در مزارع کشاورزی استفاده شده است.

هدف این پژوهش، تهیه و معرفی یک سامانه تصویربرداری نسبتاً ساده و ارزان برای کاربرد در مدیریت مزارع کشاورزی می‌باشد. بدین منظور، از یک پرنده بدون سرنشین به‌عنوان پلتفرم<sup>۱</sup> هوایی و یک دوربین دیجیتال اصلاح شده به‌عنوان سنجنده استفاده شد. شاخص سطح برگ در یک مطالعه موردی با استفاده از داده‌های چند طیفی استخراج شده از این سامانه تصویر برداری، مدل‌سازی و برآورد شد.

## مواد و روش‌ها

### مزرعه آزمایشی

مزرعه آزمایشی واقع در قرچک با طول جغرافیایی  $27^{\circ} 35'$  شمالی و عرض جغرافیایی  $58.4' 32'' 51^{\circ}$  شرقی به مساحت ده هکتار با محصول ذرت علوفه ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ انتخاب شد. هدف از انتخاب این مزرعه، تغییرات شوری خاک در طول مزرعه و در نتیجه تغییر تراکم رشد ذرت و تنوع در شاخص سطح برگ مزرعه بود. این موضوع برای هدف این پژوهش، یعنی مدل‌سازی برآورد شاخص سطح برگ، بسیار مناسب بود. شوری خاک در سطح مزرعه در جهت شمال شرقی به جنوب غربی افزایش می‌یافت به طوری که در قسمت‌هایی از مزرعه شوری زیاد، مانع جوانه‌زنی و رشد ذرت شد.

کاشت بذر ذرت در اول مرداد ماه سال ۱۳۹۵، نمونه‌برداری و تصویربرداری در مرحله گل‌دهی ذرت، در نیمه سوم شهریورماه انجام شد. منبع آب آبیاری مزرعه شامل آب قنات و فاضلاب سطحی تصفیه نشده شهری و آبیاری غرقابی به روش شیاری بود. جهت اندازه‌گیری عمق آب زیر زمینی، تعداد ۳۴ عدد لوله پیزومتر (به قطر ۳۲ میلی‌متر) در نقاط مختلف مزرعه نصب شد. لوله‌های پیزومتر حدود یک متر از

روشن (Hansen and Schjoerring., 2003; Xiao et al., 2002) دیگر استفاده از معکوس مدل‌های انتقال تابش با بازتاب طیفی در سطح تاج پوشش گیاهی است (Baret et al., 2007; Knyazikhin et al., 1998). گرچه بازتابی شاخص سطح برگ با استفاده از روش‌های معکوس‌سازی امکان پذیر است، اما ممکن است این روش برای افرادی که متخصص سنجش از دور نیستند، دشوار باشد؛ بنابراین، روش ساده‌تر برای استفاده توسط افراد غیر متخصص مانند کشاورزان و کارشناسان اداره‌های کشاورزی، توصیه می‌شود (Maki and Homma., 2014). به همین دلیل، تابع رگرسیونی استخراج شده از روابط بین بازتاب طیفی و شاخص سطح برگ، به‌طور گسترده‌تری برای برآورد شاخص سطح برگ در دو مقیاس منطقه‌ای و جهانی، استفاده شده است (Darvishzadeh et al., 2008; Hansen and Schjoerring., 2003).

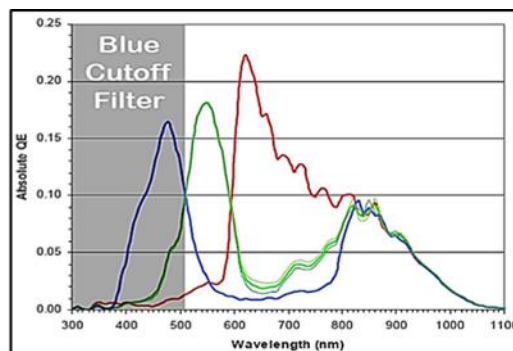
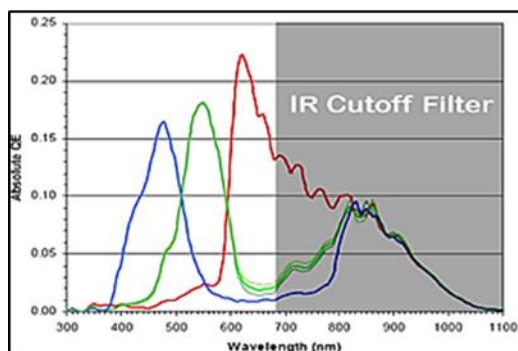
از نقشه‌های بازتاب طیفی در سطح تاج پوشش گیاهی استخراج شده از دوربین‌های چند طیفی و ابر طیفی نصب شده بر روی پلتفرم‌های ماهواره‌ای (Eitel et al., 2007; Shou et al., 2007; Zhang et al., 2006) و هواپیماهای سرنشین دار (Williams et al., 2010) برای مدیریت و پایش محصولات کشاورزی استفاده شده است. در این مطالعات، برای دریافت و ثبت بازتاب امواج الکترومغناطیس از سطح مزرعه، از دوربین‌های ویژه‌ی چند طیفی و ابرطیفی استفاده شده است، که این دوربین‌ها اگرچه از دقت بالایی در تفکیک طیفی و ثبت امواج برخوردار هستند، اما قیمت آن‌ها نیز بالا بوده و کاربردشان را محدود می‌سازد. پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی سنسورهای تصویر، دوربین‌های دیجیتال کارآمد و مقرون به صرفه را بوجود آورده است (Lebourgeois et al., 2008)، که این دوربین‌ها را به ابزاری ارزان، کوچک (حجم و وزن) و با قابلیت ذخیره‌سازی داده‌ی فشرده و کاربری آسان برای مقاصد سنجش از دور تبدیل کرده است (Yang et al., 2014). سنسورهای تصویر دوربین‌های دیجیتال از نوع CCD یا CMOS بوده که یک هادی حساس به نور هستند. این سنسورهای تصویر توانایی دریافت و ثبت امواج الکترومغناطیس در محدوده مرئی تا مادون قرمز نزدیک (۹۵۰ – ۴۰۰ میکرون) را دارند. در دوربین‌های دیجیتال با استفاده از یک فیلتر سد کننده امواج مادون قرمز در جلو سنسور تصویر، از دریافت و ثبت این امواج جلوگیری می‌شود. حساسیت سنسورهای تصویر به امواج الکترومغناطیس به‌صورت خطی است، یعنی اگر فلاکس فوتون نور رسیده به یک پیکسل دوبرابر گردد، مقدار عدد خروجی آن پیکسل نیز دو برابر می‌گردد. اکثر دوربین‌های دیجیتال تنها از یک سنسور تصویر به همراه آرایه فیلتر رنگ (CFA)، استفاده می‌کنند. این فیلتر اجازه می‌دهد تنها یک رنگ (قرمز: R، آبی: B، سبز: G) در هر پیکسل ثبت شود (Lebourgeois et al., 2008; Yang et al., 2014).

### سامانه تصویر برداری هوایی

سامانه تصویر برداری هوایی، از دو قسمت پلتفرم حامل و سنجنده تشکیل شده است. از یک هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) مدل DJI Phantom3 Pro بعنوان پلتفرم حامل استفاده گردید. این پهپاد توانایی حمل بار تا وزن ۷۰۰ گرم و تا ارتفاع ۵۰۰ متری از سطح زمین با مدت زمان پروازی ۲۰ دقیقه و برد رادیو کنترل دو کیلومتر را داشت. از یک دوربین تصویربرداری دیجیتال مدل Canon Powershot S110 به عنوان سنجنده استفاده گردید. این دوربین توانایی تصویربرداری در فرمت‌های RAW، JPEG تا رزولوشن ۴۰۰۰ × ۳۰۰۰ پیکسل را دارد. برای اصلاح دوربین به منظور ایجاد توانایی دریافت و ثبت امواج NIR، از روش مورد استفاده برای ساخت دوربین‌های چند طیفی کشاورزی سری ADC شرکت تراکم (Tetracam Inc. Chatsworth, CA USA) استفاده شد (Rabatel et al., 2014). بدین منظور فیلتر سد کننده طول موج مادون قرمز از داخل دوربین برداشته شد. با حذف این فیلتر، سه باند R، G، B در تصویر جدید به سه باند R+NIR، G+NIR، B+NIR تبدیل خواهند شد. اگر فیلتر عبور طول موج بلند به جلو لنز دوربین اضافه گردد که طول موج آبی را بلوکه کند، در این صورت در باند آبی تنها NIR بدست خواهد آمد که با کم کردن این باند از دو باند R+NIR و G+NIR می‌توان سه باند R، G، NIR را در تصاویر جدید بدست آورد (شکل ۱). به منظور حذف طول موج آبی، یک فیلتر رنگ آبی مدل Marumi Japan YA2 جلو لنز نصب گردید. در پایان دوربین بر روی پهپاد نصب شد و تصویربرداری از مزرعه در مرحله گلدهی و در ارتفاع ۲۰۰ متری سطح زمین انجام شد. تصویربرداری به گونه‌ای انجام شد که تصاویر استخراجی، به میزان ۶۰ درصد همپوشانی داشته باشند.

سطح زمین بالاتر بودند و بر روی آن‌ها صفحه‌هایی سفید رنگ به شکل دایره با قطر تقریبی ۳۰ سانتی‌متر نصب گردید تا از این نقاط در تصاویر بدست آمده از مزرعه به عنوان بنج مارک استفاده شود. با استفاده از مختصات جغرافیایی این نقاط، تصاویر بدست آمده از مزرعه زمین مرجع شدند.

همزمان با تصویربرداری از مزرعه پارامترهای خاک و گیاه با نمونه برداری مستقیم از ۴۰ نقطه مختلف مزرعه که به طور یکنواخت در سطح مزرعه پراکنده بودند، اندازه‌گیری شد. هر نقطه نمونه برداری شامل یک ردیف کشت به طول یک متر بود که با توجه به فاصله بین ردیف‌های کاشت (۷۵ سانتی‌متر) مساحت هر پلات نمونه‌برداری ۰/۷۵ مترمربع بود. برای نمونه‌برداری در هر نقطه، ابتدا بوته‌های سطح پلات نمونه‌برداری از طوقه (نزدیک سطح زمین) بریده شدند و در بسته‌های پلاستیکی قرار داده شدند، تا هنگام انتقال به آزمایشگاه، رطوبت در این بوته‌ها کاهش نیابد. در آزمایشگاه، ابتدا وزن کل بوته‌ها اندازه‌گیری شد، سپس برگ‌های تمام بوته‌ها جدا شده و وزن ساقه و برگ نیز به طور جداگانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ‌ها، ابتدا برگ‌ها بر روی یک صفحه سیاه رنگ به ابعاد ۱ در ۱/۵ متر قرار داده شدند به طوری که هیچ‌گونه همپوشانی نداشتند. سپس با استفاده از دوربین دیجیتال نصب شده بر روی یک پایه‌ی ثابت در ارتفاع یک متری، تصاویری از برگ‌ها تهیه شد. با تعیین تعداد پیکسل‌های برگ‌ها در هر تصویر و هم‌چنین مساحت هر پیکسل در تصویر، سطح برگ‌های موجود در هر تصویر محاسبه گردید. شاخص سطح برگ در هر پلات از تقسیم مساحت برگ‌های اندازه‌گیری شده به سطح هر پلات (۰/۷۵ مترمربع) بدست آمد.



شکل ۱ - نمودار حساسیت طیفی باندهای R، G، B سنسور تصویر دوربین دیجیتال قبل و بعد از اصلاح دوربین

پیکسل‌هایی مجزا و در کنار هم، است. تعداد پیکسل‌های باند G دو برابر تعداد پیکسل‌های هر یک از باندهای R و NIR است. برای انجام پردازش بر روی تصاویر و استخراج اطلاعات کاربردی از آن‌ها،

### پیش پردازش تصاویر

تصاویر استخراج شده از دوربین به صورت چند طیفی می‌باشد، به این معنا که هر تصویر شامل هر سه باند R، G و NIR در

در مرحله اول برای ایجاد پروفیل شعاعی روشنایی از تصویر میانگین بدست آمده از همه تصاویر گرفته شده با دوربین در شرایط یکسان از نظر فاصله کانونی، بازشدگی دیافراگم، سرعت شاتر استفاده شد. دلیل استفاده از تصویر میانگین حذف تغییرات بازتاب امواج توسط اشیاء مختلف در تصویر است، به طوری که در تصویر میانگین بیش تر اثر پدیده سایه روشن دوربین نمایان خواهد بود. سپس تصویر میانگین به چند قسمت مساوی به صورت حلقه‌های متحد المرکز تقسیم شد. در هر حلقه میانگین عدد دیجیتالی پیکسل‌های تشکیل دهنده آن حلقه، محاسبه شد و به کل آن حلقه اختصاص داده شد. پروفیل مقدار عدد دیجیتالی هر حلقه با توجه به فاصله آن از مرکز تصویر رسم شد. سپس یک رابطه چند جمله‌ای بر این پروفیل برازش داده شد تا نوسانات ناخواسته نیز حذف گردد. بنابراین یک رابطه برای پروفیل شعاعی روشنایی سنسور تصویر به عنوان تابعی از فاصله تا مرکز تصویر بدست آمد.

در مرحله دوم تصویر جدیدی بنام تصویر سایه روشن دوربین ایجاد شد. مقدار عدد دیجیتالی هر پیکسل از این تصویر، با توجه به فاصله آن پیکسل از مرکز تصویر و با استفاده از رابطه بدست آمده در مرحله قبل، محاسبه شد.

در مرحله سوم، برای ایجاد تصویر فیلتر ضد سایه روشن، یک تصویر هم‌اندازه با تصویر سایه روشن ایجاد شد که در آن عدد دیجیتالی هر پیکسل از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$DN_F = \frac{MDN_V - DN_V}{MDN_V} \quad (2)$$

که در این رابطه  $DN_F$  عدد دیجیتالی تصویر فیلتر،  $MDN_V$  حداکثر عدد دیجیتالی تصویر سایه روشن و  $DN_V$  عدد دیجیتالی تصویر سایه روشن می‌باشند. از ضرب این تصویر فیلتر ضد سایه روشن در هر تصویر، تصویر خطا سایه روشن همان تصویر بدست آمد. با افزودن تصویر خطا به تصویر اصلی، تصویر اصلاح شده نهایی ایجاد گردید.

### تصحیح هندسی و زمین مرجع کردن تصاویر

با استفاده از نرم افزار ILWIS و مختصات جغرافیایی ۳۴ نقطه پنج مارک نصب شده در مزرعه، تصاویر استخراج شده، زمین مرجع شدند. در مجموع ده تصویر انتخاب شد که کل مزرعه را تحت پوشش قرار می‌دادند. در هر تصویر از مزرعه بین ۸ تا ۱۲ پنج مارک قرار داشت. پس از زمین مرجع کردن تصاویر بدست آمده، مجموعه تصاویر با توجه به مختصات جغرافیایی آن‌ها در کنار یکدیگر قرار داده شدند و یک تصویر کلی از مزرعه بدست آمد. مکان‌های نقاط نمونه- برداری از مزرعه را بر روی تصاویر گرفته شده با استفاده از داده‌های GPS نمی‌توان مشخص نمود. زیرا دقت داده‌های GPS در حد چند متر بوده، در صورتیکه دقت مورد نیاز باید از یک متر کمتر باشد. بدین

نیاز به تصاویر تک‌طیفی می‌باشد. بنابراین تصاویر خروجی در ابتدا کدگذاری شده و تصاویر تک‌طیفی از آن‌ها استخراج گردید. تصاویر تک‌طیفی بدست آمده، دارای خطاهایی از جمله سایه روشن، بازتاب نقطه داغ، انحراف هندسی می‌باشند که در مرحله پیش پردازش تصاویر، این خطاها اصلاح و حذف گردید تا دقت اطلاعات خروجی از تصاویر افزایش پیدا کند.

### کد گشایی تصاویر

به منظور کد گشایی تصاویر خام، از بسته نرم‌افزاری رایگان تحت وب IRIS 5.5 استفاده شد. در این نرم‌افزار هر تصویر خام به چهار تصویر تک‌طیفی، هر تصویر مربوط به یک گروه طیفی ( $R, B, G$ )، تقسیم می‌شود. در نتیجه تصاویر خروجی چهار برابر کوچک‌تر از تصویر اصلی هستند ( $1500 \times 2000$  پیکسل). ابعاد هر تصویر بر روی زمین از رابطه ۱ تعیین شد (Yang et al., 2014).

$$\begin{cases} G_L = \frac{L}{F} H = 1.46 H \\ G_W = \frac{W}{F} H = 1.1 H \end{cases} \quad (1)$$

که در این رابطه  $G_L$  طول تصویر ( $m$ )،  $G_W$  عرض تصویر ( $m$ )،  $L$  طول سنسور تصویر ( $7.6 \text{ mm}$ )،  $W$  عرض سنسور تصویر ( $5.7 \text{ mm}$ )،  $F$  فاصله کانونی لنز ( $5.2$ ) و  $H$  ارتفاع پرواز از سطح زمین ( $m$ ) می‌باشند. با توجه به اینکه تصویربرداری در ارتفاع  $200$  متری از سطح زمین انجام گرفت، طول هر تصویر بر روی زمین  $292$  متر و عرض آن  $219$  متر با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد. بنابراین هر تصویر مساحتی معادل  $219 \times 292$  متر مربع (تقریباً  $6/4$  هکتار) از سطح مزرعه را تحت پوشش قرار می‌دهد. با توجه به تعداد پیکسل‌های هر تصویر تک‌باندی ( $1500 \times 2000$  پیکسل)، ابعاد هر پیکسل بر روی سطح زمین  $14/6 \times 14/6$  سانتی‌متر می‌باشد.

### اصلاح سایه روشن

سایه روشن به کاهش روشنایی تصویر از مرکز به سمت کناره‌های تصویر به صورت شعاعی اطلاق می‌گردد. این پدیده بدلیل انسداد نور و تغییرات نور عبوری از ترکیب قطعات اپتیکی دوربین (لنز + فیلتر + شیشه طبیعی) ایجاد می‌گردد (Gitin., 1993) و به شرایط تصویربرداری ارتباط پیدا نمی‌کند (Lelong et al., 2008). برای اصلاح این خطا در تصاویر، از یک روش سه مرحله‌ای استفاده شد. روش مذکور شامل مراحل ۱. تعیین خصوصیات سنسور تصویر با یک پروفیل شعاعی روشنایی ۲. ایجاد تصویر سایه روشن سنسور تصویر ۳. ایجاد فیلتر ضد سایه روشن و به‌کارگیری این فیلتر برای تصاویر (Causi and De Luca., 2005).

با استفاده از رابطه بدست آمده، مقادیر LAI در ۱۵ نقطه باقیمانده، که در مدل سازی استفاده نشده بودند، برآورد گردید. ارزیابی مدل با مقایسه مقادیر LAI اندازه گیری شده و مقادیر متناظر محاسبه شده توسط مدل، بررسی شد. اعتبارسنجی مدل با استفاده از شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۴) تجزیه و تحلیل شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - S_i)^2} \quad (4)$$

که در این رابطه  $O_i$  مقادیر مشاهده شده،  $S_i$  مقادیر برآورد شده،  $N$  تعداد مشاهدات می باشد. با نزدیک شدن RMSE به صفر، دقت مدل بدست آمده افزایش می یابد.

## نتایج و بحث

### اصلاح و پردازش تصاویر

برای استخراج تصویر فیلتر ضد سایه روشن، از ۶۵۹ تصویر برای محاسبه تصویر میانگین استفاده شد. این تصاویر در تاریخ های تصویربرداری مختلف، ارتفاعات پروازی متفاوت، زاویه دید و جهت تصویربرداری مختلف تهیه شده بودند. استفاده از تعداد تصاویر بیش تر و شرایط تصویربرداری متفاوت، باعث می شود که فیلتر ضد سایه روشن ایجاد شده، از کیفیت و ارزش بالاتری برخوردار باشد. برای کاهش اثرات پدیده های موضعی در تصاویر، داده های پرت هر تصویر ابتدا با دو حد آستانه بالا و پایین اصلاح گردید. این حدود آستانه به طوری انتخاب شدند که نیم درصد از داده های پرت بالا و پایین هر تصویر حذف گردد.

با تقسیم تصویر میانگین به ۱۵۲۴ حلقه متحدالمرکز و تعیین ارزش هریک از حلقه ها، با توجه به فاصله هر حلقه از مرکز، پروفیل دو بعدی سایه روشن بدست آمد. با برآزش یک چند جمله ای درجه شش بر این نقاط، پروفیل سایه روشن بر اساس فاصله از مرکز تصویر مدل سازی شد. برای هر یک از باندهای استخراجی از دوربین (R, G و NIR) یک فیلتر ضد سایه روشن به طور جداگانه استخراج گردید و تصاویر اصلاح شدند. شکل ۲ مراحل حذف خطای سایه روشن در باند R را نشان می دهد.

برای تهیه فیلتر ضد بازتابش نقطه داغ و حذف این خطا، از ده تصویری که در یک پرواز و یک ارتفاع تصویربرداری شده بودند (شرایط تصویربرداری کاملاً یکسان)، استفاده شد. پس از حذف خطاهای سایه روشن و بازتاب نقطه داغ، تصاویر انتخاب شده با استفاده از داده های پنج مارک های داخل مزرعه، زمین مرجع و تصحیح هندسی شدند. در نهایت با کنار هم قرار دادن این تصاویر، یک تصویر تکه ای (مشبک) از کل مزرعه برای هر باند، ایجاد شد و با روش حداکثر درست نمایی، تصویر حاصله به دو کلاس دارای

منظور، بعد از نمونه برداری از مزرعه، مجدداً اقدام به تصویربرداری از مزرعه گردید. با زمین مرجع کردن تصاویر جدید بر اساس تصویر کلی مزرعه که در مرحله قبل بدست آمده بود، مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده که در تصاویر جدید نمایان بودند، تعیین گردید.

### پردازش تصویر

در مرحله پردازش تصویر، ابتدا به روش کلاسه بندی، پیکسل های دارای پوشش گیاهی از پیکسل های بدون پوشش گیاهی، تفکیک شدند. بدین منظور ابتدا با انتخاب نمونه های دارای پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی (مانند خاک لخت، ساختمان، نهر آب و ...) در تصویر و معرفی این نمونه ها به نرم افزار، با استفاده از سه باند سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک استخراج شده در مرحله قبل، و با روش حداکثر درست نمایی، پیکسل های تصویر در دو گروه پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی تقسیم بندی شدند.

با توجه به اینکه ابعاد پیکسل های تصاویر اولیه  $14/6 \times 14/6$  سانتی متر مربع بود که قابلیت کاربردی نسبتاً کمی بخاطر کوچک بودن وسعت هر پیکسل دارد، اقدام به افزایش سطح هر پیکسل به  $2 \times 2$  متر مربع گردید. در این حالت هر  $196$  پیکسل ( $14 \times 14$  پیکسل) در تصویر اولیه، به یک پیکسل در تصویر جدید تبدیل شد و مقدار عدد دیجیتالی این پیکسل برای هر باند طیفی، از میانگین حسابی پیکسل های گیاه همان باند طیفی در تصویر قبل، بدست آمد. تصویر جدیدی نیز بنام درصد پوشش گیاهی (PVC) ایجاد شد که در این تصویر ارزش هر پیکسل از رابطه ۳ بدست آمد.

$$DN_{PVC} = \frac{NVP}{400} \times 100 \quad (3)$$

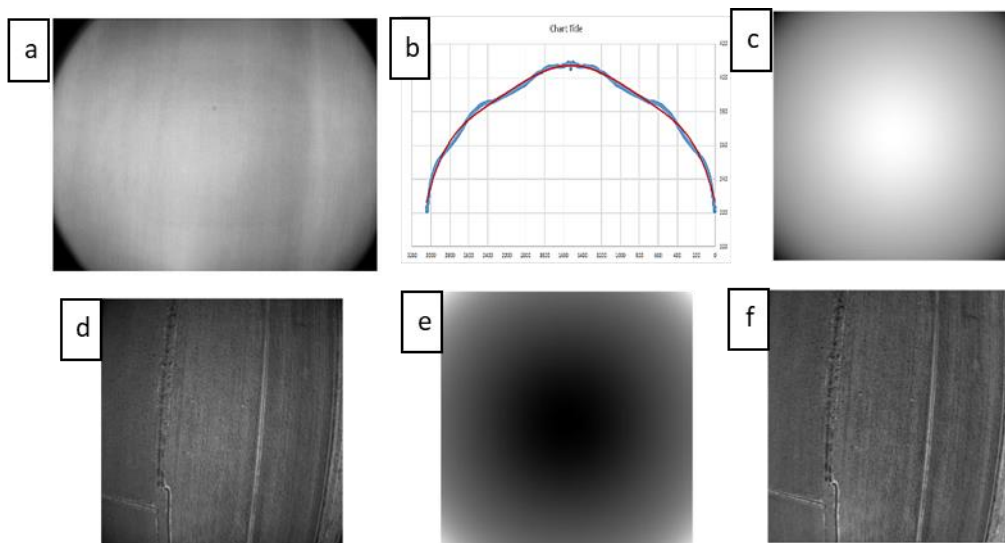
در این رابطه  $DN_{PVC}$  ارزش هر پیکسل در تصویر درصد پوشش گیاهی،  $NVP$  تعداد پیکسل های دارای پوشش گیاهی در هر  $196$  پیکسل تشکیل دهنده یک پیکسل تصویر جدید می باشند.

### مدل سازی و ارزیابی مدل

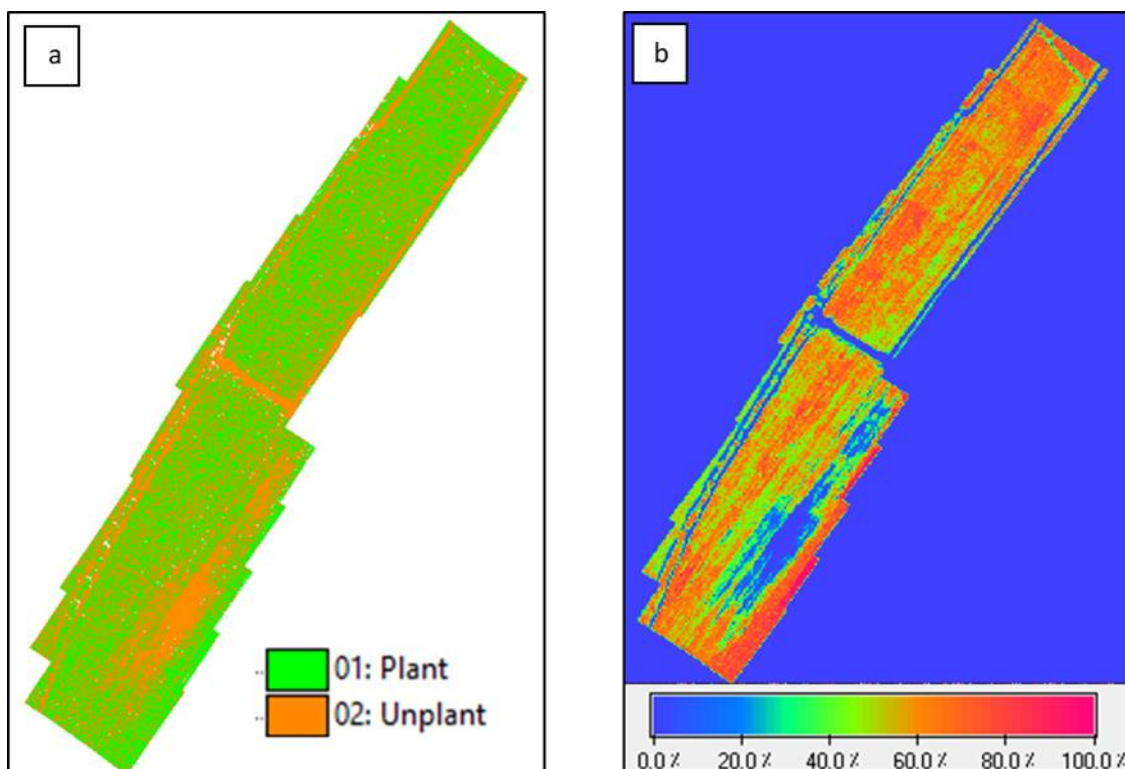
برای مدل سازی LAI ابتدا از بین ۴۰ داده شاخص سطح برگ اندازه گیری شده در مزرعه، ۲۵ داده بطور تصادفی انتخاب شد و مقادیر عدد دیجیتالی متناظر آن ها، در تصاویر باندهای قرمز، سبز و مادون قرمز نزدیک و همچنین ارزش متناظر آن ها در تصویر درصد پوشش گیاهی استخراج گردید. سپس وجود همبستگی بین متغیر وابسته LAI با متغیرهای مستقل باندهای R, G, NIR و تصویر PVC و ترکیبی از این متغیرها، بررسی گردید.

با تعیین متغیرهای مستقل همبسته با LAI، اقدام به استخراج یک رابطه رگرسیون چند متغیره به منظور برآورد LAI شد. در نهایت

پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی تقسیم بندی شد (شکل a - ۳).  
 گردید (شکل b - ۳).



شکل ۲ - a: تصویر میانگین بدست آمده برای حذف اثر سایه روشن - b: پروفیل و منحنی درجه شش برازش شده بر سایه روشن - c: تصویر پروفیل سایه روشن - d: تصویری مزرعه قبل از حذف خطای سایه روشن - e: فیلتر ضد سایه روشن استخراج شده - f: تصویری از مزرعه پس از حذف خطای سایه روشن برای بانده قرمز



شکل ۳ - a: تصویر کلاسه بندی مزرعه در دو گروه دارای پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی . b: تصویر درصد پوشش گیاهی مزرعه بلمساحت هر پیکسل ۲×۲ متر مربع

## مدل سازی و ارزیابی مدل

### ضریب همبستگی

یکدیگر و با LAI معنی دار بود. ماکی و هما نیز در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که شاخص های گیاهی که متاثر از تراکم پوشش گیاهی هستند، نسبت به سایر شاخص های گیاهی دیگری که توانایی در نظر گرفتن تاثیر تراکم پوشش گیاهی را ندارند، بیشترین پتانسیل برای برآورد توزیع مکانی شاخص سطح برگ شالیزارهای برنج را داشتند (Maki and Homma., 2014).

ضرایب همبستگی بین متغیرهای مستقل (باندهای NIR، G، R و تصویر PVC) و LAI در جدول ۱ آورده شده است. مطابق نتایج، شاخص سطح برگ، بیشترین همبستگی را با درصد پوشش گیاهی ( $r=0/919$ ) و کمترین همبستگی را با باند قرمز ( $r=0/635$ ) داشت. نتایج همچنین نشان داد که همبستگی تمام متغیرهای مستقل با

جدول ۱ - ضرایب همبستگی بین متغیرهای مستقل و شاخص سطح برگ

LAI	PVC	NIR	G	R	صفات
				۱	R
			۱	۰/۹۸۶**	G
		۱	۰/۹۸۷**	۰/۹۷۳**	NIR
	۱	۰/۵۴۳**	۰/۴۶۶**	۰/۳۹۳**	PVC
۱	۰/۹۱۹**	۰/۷۴۱**	۰/۶۸۰**	۰/۶۳۵**	LAI

\* و \*\* به ترتیب معنادار در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد

ضریب رگرسیون استاندارد شده ( $0/231$ ) نیز در رتبه بعدی قرار می گیرد.

دو باند طیفی R و G همبستگی بالایی با باند طیفی NIR داشتند، به همین دلیل اثر این دو باند طیفی در کنار متغیرهای درصد پوشش گیاهی و باند طیفی NIR در مدل معنادار نبود، بنابراین دو متغیر مذکور در مدل رگرسیون وارد نشدند. با توجه به مقدار ضریب تعیین بالا ( $0/966$ ) و مقادیر پایین ریشه دوم خطا (RMSE) و ریشه دوم خطای استاندارد شده (NRMSE)، برازش مطلوب می باشد. لذا مطابق نتایج بدست آمده از رگرسیون متغیره خطی، شاخص سطح برگ را می توان با دقت خوبی با استفاده از رابطه ۵ برآورد نمود.

$$LAI = -4.012 + 0.029 \times PVC + 0.03 \times NIR \quad (5)$$

ضریب تعیین تعدیل شده در مدل  $0/966$  می باشد که نشان می دهد  $96/6\%$  از تغییرات شاخص سطح برگ توسط دو متغیر درصد پوشش گیاهی و باند طیفی NIR وارد شده به مدل تبیین می شود و  $3/4\%$  درصد از تغییرات، ناشی از سایر عوامل می باشد.

### تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی

برای تعیین مهم ترین پارامترهای موثر بر شاخص سطح برگ از روش تجزیه رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد. جدول ۲، بیانگر ضرایب رگرسیونی و سایر اطلاعات برآمده از محاسبه رگرسیون چند متغیره است. بر این اساس، از مجموع چهار متغیر مستقل مورد بررسی برای مدل سازی شاخص سطح برگ، تنها اثر دو متغیر درصد پوشش گیاهی و باند NIR معنادار ( $P < 0/05$ ) بودند و به مدل رگرسیون وارد شدند. لورنزن و جنسن نیز برای برآورد میزان توده سبز در مزرعه، از بازتاب طیفی باند NIR و شاخص درصد پوشش سبز استفاده کردند (Lorenzen and Jensen., 1988).

قضاوت در مورد سهم و نقش هر یک از متغیرهای مستقل در برآورد LAI را می توان از مقادیر ضرایب رگرسیون استاندارد شده دریافت نمود. زیرا این مقادیر، استاندارد بوده و امکان مقایسه و تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرها را فراهم می آورد. با توجه به بتاهای بدست آمده، متغیر درصد پوشش گیاهی، با ضریب بتا  $0/735$  قوی - ترین رابطه را با شاخص سطح برگ دارد. همچنین باند طیفی NIR با

جدول ۲ - ضرایب رگرسیون گام به گام متغیرهای مستقل وارد شده در مدل

مرحله	متغیر مستقل	ضریب رگرسیون		P	ضریب رگرسیون استاندارد	R <sup>2</sup>	
		B	خطای استاندارد			نسبی	تجمعی
—	ثابت	-۴/۰۱۲	۰/۵۲۴	۰/۰۰۰	—	—	—
۱	PVC	۰/۰۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۸۷۷	۰/۷۳۵	۰/۱۱۵
۲	NIR	۰/۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۴۷۱	۰/۲۳۱	۰/۰۴۱

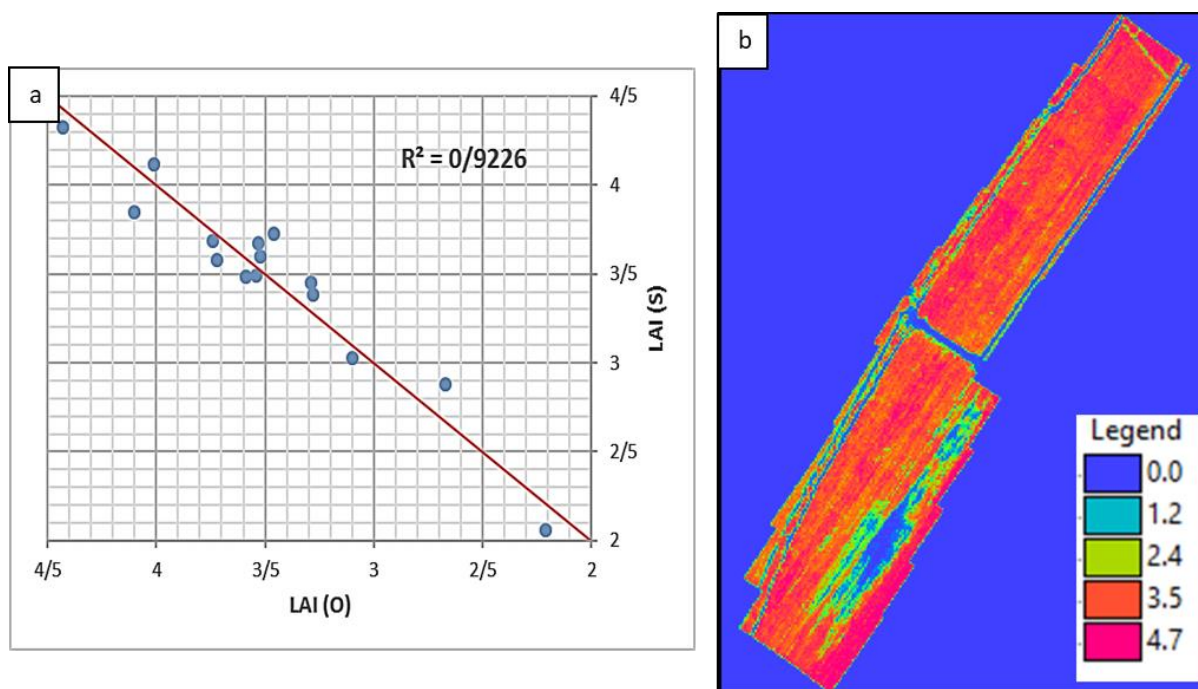
(شاخص سطح برگ)  $LAI = -4/012 + 0/029 \times PVC + 0/03 \times NIR$

مدل نهایی



استفاده از رابطه بدست آمده، نقشه LAI مزرعه با استفاده از داده‌های باند NIR و درصد پوشش گیاهی بدست آمد. در این نقشه، در قسمت‌هایی که رشد گیاه بدلیل تنش‌های محیطی مثل شوری، کاهش پیدا کرده بود، LAI برآورد شده نیز کاهش یافت (شکل ۴ - b).

برای ارزیابی مدل بدست آمده، مقادیر شاخص سطح برگ برای ۱۵ نمونه برآورد گردید و مقادیر برآورد شده با مقادیر مشاهده شده ارزیابی شد (شکل ۴ - a). همبستگی  $0/9226$  بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده با مدل، بیانگر دقت بالای مدل بدست آمده در برآورد LAI است. همچنین مقدار کم ریشه میانگین مربعات خطا ( $0/022$ ) و مقدار نزدیک به یک ضریب عملکرد ( $0/92$ )، حاکی از برازش مناسب و عملکرد بالای مدل در برآورد LAI می‌باشد.



شکل ۴ - a همبستگی بین شاخص سطح برگ برآورد شده و اندازه گیری شده - b نقشه شاخص سطح برگ مزرعه استخراج شده از مدل.

نسبتا پایین، و تهیه‌ی تصویر نزدیک به زمان واقعی، بیان می‌کند که این پلتفرم‌ها، ابزاری مناسب برای نقشه‌برداری و پایش در کشاورزی دقیق هستند.

اگر چه به دلایل مختلف خطاهای اندکی در داده‌های طیفی بدست آمده، همچنان وجود دارد، اما بدلیل رزولوشن مکانی بالا این سامانه تصویربرداری (در حد سانتی‌متر)، می‌توان تفکیک گیاه از غیر گیاه (خاک و ...) را در تصاویر استخراج شده، به خوبی انجام داد و این موضوع در تعیین درصد پوشش گیاهی (تراکم رشد محصول) موثر واقع شد. از طرفی بدلیل همبستگی شاخص سطح برگ با درصد پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، با دقت خوبی برآورد شد. همچنین از این تصاویر میتوان نتایج مختلفی را استخراج کرد، از جمله تعیین میزان بیومس و عملکرد محصول، نقشه آفات و بیماری، نقشه نیاز کودی و ... ، لذا از یک تصویر می‌توان هدف‌های مختلفی را

## نتیجه گیری

شاخص سطح برگ یکی از مهم‌ترین متغیرهای بیوفیزیکی برای پایش رشد گیاه و برآورد عملکرد دانه و همچنین بازتاب‌دهنده نرخ فوتوسنتز گیاه می‌باشد. بنابراین برآورد دقیق و به هنگام این شاخص گیاهی، در مدیریت مزرعه و افزایش محصول و همچنین مدل‌سازی رشد گیاه، بسیار با اهمیت است. تکنولوژی سنجنش از دور یک روش مقرون به صرفه و غیر مخرب بوده و بنابراین یک تکنولوژی رایج برای برآورد شاخص سطح برگ است. با پیشرفت تکنولوژی اخیر در مهندسی هوا فضا، سامانه سنجنش از دور ارتفاع پایین، یک مفهوم تقریبا جدید در تهیه تصاویر سطح زمین در یک ارتفاع پایین با استفاده از سیستم هوایی بدون سرنشین، به‌عنوان یک پلتفرم جایگزین برای سامانه‌های سنجنش از دور قبلی، در حال گسترش است. قدرت تفکیک‌پذیری مکانی خیلی بالا (مثلا سانتی‌متر)، هزینه‌های کاربری



spectroscopy. *New Astronomy*. 11.2: 81-89.

- Darvishzadeh,R., Skidmore,A., Schlerf,M., Atzberger,C., Corsi,F and Cho,M. 2008. LAI and chlorophyll estimation for a heterogeneous grassland using hyperspectral measurements. *Journal of photogrammetry and remote sensing*. 63.4: 409-426.
- Dente,L., Satalino,G., Mattia,F and Rinaldi,M. 2008. Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield. *Remote sensing of Environment*. 112.4: 1395-1407.
- Eitel,J., Long,D., Gessler,P and Smith,A. 2007. Using in-situ measurements to evaluate the new RapidEye satellite series for prediction of wheat nitrogen status. *International Journal of Remote Sensing*. 28.18: 4183-4190.
- Fang,H., Liang,S., Hoogenboom,G., Teasdale,J and Cavigelli,M. 2008. Corn-yield estimation through assimilation of remotely sensed data into the CSM-CERES-Maize model. *International Journal of Remote Sensing*. 29.10: 3011-3032.
- Gitin,A. 1993. Integral description of physical vignetting. *Soviet Journal of Optical Technology*. 60.8: 556-558.
- Gómez-Candón,D., De Castro,A and López-Granados, F. 2014. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision agriculture*. 15.1: 44-56.
- Hansen,P and Schjoerring,J. 2003. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote sensing of Environment*. 86.4: 542-553.
- Hassan-Esfahani,L., Torres-Rua,A., Jensen,A and McKee,M. 2015. Assessment of surface soil moisture using high-resolution multi-spectral imagery and artificial neural networks. *Remote Sensing*. 7.3: 2627-2646.
- Jensen,T., Apan,A., Young,F and Zeller,L. 2007. Detecting the attributes of a wheat crop using digital imagery acquired from a low-altitude platform. *Computers and Electronics in Agriculture*. 59.1-2: 66-77.
- Jonckheere,I., Fleck,S., Nackaerts,K., Muys,B., Coppin,P., Weiss,M and Baret,F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical

دنبال کرد و همین مسئله موجب کاهش هزینه‌ها می‌گردد.

در مجموع این سامانه پتانسیل کاربرد در مدیریت و پایش مزارع کشاورزی و محصول را دارد و به منظور افزایش کارایی آن پیشنهاد می‌گردد از فیلترهایی با قدرت تفکیک طیفی بالاتر و یا از چند دوربین برای تصویربرداری در طیف‌های مختلف استفاده شود.

## منابع

- Ballesteros,R., Ortega,J., Hernández,D and Moreno,M. 2014. Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing. *Precision agriculture*. 15.6: 579-592.
- Baret,F., Hagolle,O., Geiger,B., Bicheron,P., Miras,B., Huc,M., Samain,O. 2007. LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES global products derived from VEGETATION: Part 1: Principles of the algorithm. *Remote sensing of Environment*. 110.3: 275-286.
- Bendig,J., Bolten,A., Bennertz,S., Broscheit,J., Eichfuss, S and Bareth,G. 2014. Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging. *Remote Sensing*. 6.11:10395-10412.
- Boerma,H.R and Specht,J.E. 2004. Soybeans: improvement, production and uses. 3rd edition. USA. American Society of Agronomy.P1144.
- Breda,N. J. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of experimental botany*. 54.392:2403-2417.
- Bsaibes,A., Courault,D., Baret,F., Weiss,M., Olioso,A., Jacob,F., Desfond,V. 2009. Albedo and LAI estimates from FORMOSAT-2 data for crop monitoring. *Remote sensing of Environment*. 113.4: 716-729.
- Burkey,K.O and Wells,R. 1991. Response of soybean photosynthesis and chloroplast membrane function to canopy development and mutual shading. *Plant physiology*. 97.1: 245-252.
- Campos-Taberner,M., García-Haro,F.J., Camps-Valls,G., Grau-Muedra,G., Nutini,F., Crema,A and Boschetti,M. 2016. Multitemporal and multiresolution leaf area index retrieval for operational local rice crop monitoring. *Remote sensing of Environment*. 187: 102-118.
- Causi,G.L and De Luca,M. 2005. Optimal subtraction of OH airglow emission: A tool for infrared fiber

2003. Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 69.6: 647-664.
- Rabatel,G., Gorretta,N and Labbe,S. 2014. Getting simultaneous red and near-infrared band data from a single digital camera for plant monitoring applications: Theoretical and practical study. *Biosystems Engineering*. 117: 2-14.
- Saberioon,M., Amin,M., Anuar,A., Gholizadeh,A., Wayayok,A and Khairunniza-Bejo,S. 2014. Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 32: 35-45.
- Shou,L., Jia,L., Cui,Z., Chen,X and Zhang,F. 2007. Using high-resolution satellite imaging to evaluate nitrogen status of winter wheat. *Journal of plant nutrition*. 30.10: 1669-1680.
- Thomson,S., Zimba,P., Bryson,C and Alarcon-Calderon,V. 2005. Potential for remote sensing from agricultural aircraft using digital video. *Applied Engineering in Agriculture*. 21.3: 531-537.
- Williams,J., Kitchen,N., Scharf,P and Stevens,W. 2010. Within-field nitrogen response in corn related to aerial photograph color. *Precision agriculture*. 11.3: 291-305.
- Xiao,X., He,L., Salas,W., Li,C., Moore Iii,B., Zhao,R., Boles,S. 2002. Quantitative relationships between field-measured leaf area index and vegetation index derived from VEGETATION images for paddy rice fields. *International Journal of Remote Sensing*. 23.18: 3595-3604.
- Yang,C., Westbrook,J. K., Suh,C.P.-C., Martin,D.E., Hoffmann,W.C., Lan,Y., Goolsby,J. A. 2014. An airborne multispectral imaging system based on two consumer-grade cameras for agricultural remote sensing. *Remote Sensing*. 6.6: 5257-5278.
- Zhang,J.-H., Ke,W., Bailey,J and Ren-Chao,W. 2006. Predicting nitrogen status of rice using multispectral data at canopy scale1. *Pedosphere*. 16.1: 108-117.
- photography. *Agricultural and forest meteorology*. 121.1-2: 19-35.
- Ke,L., ZHOU,Q.-b., WU,W.-b., Tian,X and TANG,H.-j. 2016. Estimating the crop leaf area index using hyperspectral remote sensing. *Journal of integrative agriculture*. 15.2:475-491.
- Knyazikhin,Y., Martonchik,J., Myneni,R.B., Diner,D and Running,S.W. 1998. Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 103.D24: 32257-32275.
- Lebourgeois,V., B é gu é ,A., Labb é ,S., Mallavan,B., Pr é vot,L and Roux,B. 2008. Can commercial digital cameras be used as multispectral sensors? A crop monitoring test. *Sensors*. 8.11: 7300-7322.
- Lelong,C.C., Burger,P., Jubelin,G., Roux,B., Labb é ,S and Baret,F. 2008. Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors*. 8.5: 3557-3585.
- Lorenzen,B and Jensen,A. 1988. Reflectance of blue, green, red and near infrared radiation from wetland vegetation used in a model discriminating live and dead above ground biomass. *New Phytologist*. 108.3: 345-355.
- Lugg,D and Sinclair,T. 1981. Seasonal changes in photosynthesis of field-grown soybean leaflets. 2. Relation to nitrogen content. *Photosynthetica*.
- Maki,M and Homma,K. 2014. Empirical regression models for estimating multiyear leaf area index of rice from several vegetation indices at the field scale. *Remote Sensing*. 6.6: 4764-4779.
- Nebiker,S., Annen,A., Scherrer,M and Oesch,D. 2008. A light-weight multispectral sensor for micro UAV: Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. 37.B1: 1193-1199.
- Pinter Jr,P.J., Hatfield,J.L., Schepers,J.S., Barnes,E.M., Moran,M.S., Daughtry,C.S and Upchurch,D. R.

## Estimating Leaf Area Index of a Corn Silage Field Using a Modified Commercial Digital Camera

M.Gooyandeh<sup>1\*</sup>, S.M.Mirlatifi<sup>2</sup>, M.Akbari<sup>3</sup>  
Received: Mar.12, 2018 Accepted: Jun.25, 2018

### Abstract

Leaf area index (LAI) is an important indicator of plant growth and yield. Therefore, monitoring the spatial and temporal distribution of LAI at agricultural farms could be a significant predictor of how well the various elements of farm management strategies such as irrigation scheduling and uniformity have been implemented. The purpose of this study is to outline how pictures taken by a modified digital camera can be used for estimating the LAI of a corn silage field. It focuses on how to utilize a combination of a simple digital photographic cameras with spectral filters, designed to provide multispectral images in the visible and near-infrared domains, to estimate LAI. In order to remove the sources of errors in the resulting images, procedures to perform image vignetting corrections, geometric distortions corrections, and elimination of radiometric bidirectional effects are suggested. Due to high spatial resolution of this imaging system (at the level of a few centimeters), separation of surfaces with and without plant cover was accomplished well. This separation process was also useful in determination of percentage of vegetation cover (crop density). The leaf area index had the highest correlation with the vegetation cover percentage ( $R^2 = 0/919$ ), and the NIR spectral band ( $R^2 = 0/741$ ). There was a high correlation between the two spectra of red and green with the NIR spectral band. This correlation indicates that with the presence of the NIR spectral band, the effect of red and green spectral bands on estimating leaf area index is insignificant. Therefore, a multivariable regression model was generated to estimate leaf area index as a function of only two parameters, namely vegetation cover percentage and spectral band NIR. The performance of the developed model was evaluated by comparing its predicted values of LAI with corresponding measured values. The adjusted coefficient of determination of this comparison was 96.6%, which indicates that 96.6% of the variation in the estimated leaf area index values is explained by the two variables (vegetation cover percentage and NIR spectral band) incorporated into the model.

**Keyword:** Unmanned Aerial Vehicle, Digital image processing, Percentage of Vegetation Cover, Remote Sensing

1- Ph.D Student of Irrigation and Drainage, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Department of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(\* - Corresponding Author Email: mostafa.gooyandeh @modares.ac.ir)