

تعیین مقدار نیتروژن و کلروفیل گیاه نیشکر از روی شاخص های رنگی تصاویر دیجیتال هوایی با مدلسازی رگرسیونی

سیده عارفه حسینی^۱، حسن مسعودی^{۲*}، سیدمجید سجادیه^۳ و سامان آبدانان مهدی زاده^۴

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۶ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵	نیتروژن یکی از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه می باشد و بیشتر از سایر عناصر در تغذیه گیاهی مصرف می شود. نیتروژن جزء مهمی از ملکول کلروفیل را تشکیل می دهد و در ساختمان کلروفیل بصورت پروتئین وجود دارد. بدون نیتروژن رشد گیاه به مقدار بسیار زیادی کاهش می یابد. این تحقیق به منظور برآورد مقدار نیتروژن و کلروفیل برگ گیاه نیشکر از روی شاخص های رنگی استخراج شده از تصاویر هوایی دیجیتال که توسط کوادکوپتر از دو ارتفاع ۵ متر و ۱۰ متر و در مزارع شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی گرفته شدند، انجام گرفت. تصاویر استفاده شده برای این تحقیق از سه مزرعه با دوره های رشد مختلف بودند. همزمان با تصویر برداری، میزان کلروفیل برگ نیشکر در نقاط مشخص شده نیز با کلروفیل متر دستی تعیین گردید، همچنین نمونه برداری از مزارع برای تعیین مقدار واقعی نیتروژن به روش کلدال انجام شد. نتایج آزمایشات، پردازش تصاویر و مدلسازی رگرسیونی نشان داد که معادلات رگرسیونی می توانند برای دو ارتفاع ۵ و ۱۰ متر به ترتیب میزان نیتروژن را با ضرایب تبیین ۷۴/۳ و ۷۷ درصد؛ و کلروفیل را با ضرایب تبیین ۶۲ و ۶۹ درصد برآورد کنند. همچنین مدل رگرسیونی ارائه شده برای تخمین میزان نیتروژن گیاه نیشکر از روی کلروفیل برگ دارای ضریب تبیین ۶۸ درصد بود. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق با تعیین ارتباط بین نیتروژن و رنگ گیاه می توان از وضعیت نیتروژن و کلروفیل گیاه نیشکر آگاه شد.
کلمات کلیدی: نیشکر، میزان نیتروژن، کلروفیل برگ، آزمایش کلدال، تصاویر هوایی دیجیتال، معادلات رگرسیونی	
* عهده دار مکاتبات Email: hmasoudi@scu.ac.ir	

مقدمه

با توجه به رشد روز افزون جمعیت دنیا و جایگاه ویژه ای که محصولات کشاورزی در برنامه غذایی انسان ها دارند، افزایش تولید آن ها به صورت اورگانیک و به گونه ای که کمترین ضرر را برای محیط زیست داشته باشند، بسیار حایز اهمیت است. از عوامل محرک رویشی محصولات کشاورزی می توان به نیتروژن و رطوبت خاک اشاره کرد که دو تا پنج درصد وزن خشک گیاه را نیتروژن تشکیل می دهد (۸). تشخیص پارامترها و نیازهای غذایی محصول به نیتروژن در دوره رشد بسیار اهمیت دارد. مشکلات بسیاری در این راه وجود دارند که از جمله آن می توان به پرزحمت بودن جمع آوری نمونه ها، کافی نبودن تعداد نمونه ها، طولانی و پرهزینه بودن تجزیه و تحلیل نمونه ها، محدود بودن نتیجه به نقاط نمونه برداری و نداشتن دید همه جانبه از مزرعه اشاره کرد (۱۹). روش های مختلفی برای رفع این مشکلات ارائه شده اند؛ یکی از این روش ها استفاده از تکنیک های سنجش از دور و تصاویر هوایی است، که می توان با صرف زمان و هزینه کمتر اطلاعات بهنگام و مفیدی از مزارع در سطح وسیع بدست آورد. این فناوری با بکارگیری تصاویر ماهواره ای و هوایی و تجزیه و تحلیل آن ها، قادر به شناسایی و پیش بینی تغییرات در مزارع و اعمال دقیق نهاده ها است. با استفاده از تکنیک های سنجش از دور می توان پارامترهای خاک (مانند رنگ خاک، مواد آلی خاک، بافت خاک و رطوبت خاک و ...) و پارامترهای گیاه (همچون میزان رسیدگی، میزان نیتروژن، تراکم محصول، نوع محصول و ...) را بدست آورد.

چندین روش برای استخراج میزان نیتروژن موجود در محصولات کشاورزی وجود دارند که شامل: الف) آنالیز بافت گیاه ب) آنالیز نمونه خاک ج) اندازه گیری توسط کلروفیل متر و د) پردازش تصاویر مزرعه می باشند. با توجه به وجود قسمت اعظم نیتروژن برگ ها در ساختار کلروفیل با تعیین رابطه ای میان کلروفیل و درصد نیتروژن می تواند درصد نیتروژن را تعیین نمود. به این منظور می

توان از دستگاه کلروفیل متر (مانند SPAD-502) استفاده نمود. استفاده از دستگاه کلروفیل متر به علت محدودیت در تعداد داده های اندازه گیری، در مزارع بزرگ بسیار محدود می باشد. روش قدیمی اندازه گیری ازت گیاهان استفاده از آنالیز شیمیایی بافت خاک و بافت گیاه می باشد. روش های آنالیز بافت گیاه و آنالیز نمونه خاک روش های دقیقی هستند، اما نیاز به زمان و تجهیزات بیشتری داشته و همچنین پرهزینه می باشند. در تجزیه گیاه، معمولاً وضعیت تغذیه ای محصول با مقایسه غلظت عناصر با حدود بحرانی آنها در گیاه مرجع مورد مقایسه قرار می گیرد. آنالیز بافت گیاه یا نمونه خاک شامل روش های کلدال (که اساساً یک روش اکسید کننده کردن مرطوب بوده)، دوماس (که یک روش اکسید کننده خشک می باشد) و تقطیر مستقیم بوده و در آزمایشگاه انجام می شوند. این روش ها مخرب هستند و بافت نمونه گیاهی از بین می رود. از سال ۱۸۸۳ میلادی روش کلدال بعنوان رایج ترین و بهترین روش مخرب اندازه گیری نیتروژن و پروتئین در طیف وسیعی از مواد همچون آب، خاک، اندام های گیاهی، غذاها و نوشیدنی ها مورد پذیرش همگان قرار گرفته است (۱۷ و ۲۰).

از طرف دیگر کوددهی به روش مرسوم پیامدهای نامناسبی دارد، باید به دنبال روش های مناسب که بر پایه مدیریت صحیح مصرف کود و افزایش بازدهی می باشند، بود. کوددهی متغیر نیتروژن یکی از روش هایی است که می توان برای کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش بازده کوددهی استفاده کرد. اجرای موثر کوددهی متغیر نیتروژن در سطح مزرعه، بستگی به توانایی تشخیص وضعیت نیتروژن محصول در هنگام عملیات کودپاشی دارد. از این رو برای دست یافتن به مدیریت کوددهی در سطح مزرعه نیاز است که میزان نیتروژن محصول اندازه گیری شود. زیرا میزان کود مصرفی بسته به نوع محصول، سال و مکان متغیر می باشد و باید بر اساس نیاز واقعی گیاه در هر مرحله از رشد تنظیم گردد. تعدادی از محققان با استفاده از دستگاه کلروفیل متر میزان ازت گیاه

غلات از پردازش تصاویر دیجیتال گرفته شده از ارتفاع یک متری سطح زمین استفاده کردند. مطابق نتایج، داده های طیفی توده غلات همبستگی نزدیکی با وضعیت نیتروژن در طی دوره رشد اولیه ساقه داشت. همچنین برآورد محتوای نیتروژن دقیق تر از سایر خواص محصول بود (۱۵). در پژوهشی دیگر از یک دوربین دیجیتال برای گرفتن عکس های لازم به منظور استخراج نیتروژن به روش پردازش تصویر از سه رقم برنج با شش نرخ مختلف اعمال نیتروژن استفاده شد. نتایج بدست آمده روابط نمایی معنی داری بین پارامترهای تصویر و شاخص گیاه نشان دادند (۲۱). همچنین پژوهشی دیگر به منظور توسعه یک روش غیرمخرب برای پایش رشد پنبه و وضعیت نیتروژن آن با استفاده از یک دوربین دیجیتال انجام شده است؛ نتیجه پژوهش نشان داد که تخمین های بدست آمده از یک دوربین دیجیتال یا یک حسگر خاص، اطلاعات معادلی درباره تامین نیتروژن یک گیاه را فراهم می کنند (۱۳). محققان به منظور انجام پژوهش های کشاورزی بر مبنای طیف سنجی و طیف نگاری، یک عمود پرواز بدون سرنشین را توسعه داد. این عمود پرواز دارای توان تفکیک زمینی $3/6$ میلی متر در پیکسل در ارتفاع ۱۰ متر، و ۹۵ میلی متر در پیکسل در ارتفاع پرواز ۲۵۰ متر بود. همچنین توان تفکیک زمانی تصویر، بسته به قالب ذخیره ی فایل از ۲ تا ۵ ثانیه متغیر بود. نتایج پردازش تصاویر گرفته شده از باغات سیب نشان می دهد که این تصاویر وضوح قابل قبولی داشته و بدون لغزش می باشند. نقشه NDVI و نقشه طبقه بندی شده با صحت کلی ۹۴ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۰ نکته های یاد شده را تایید نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که عمود پرواز بدون سرنشین طیف نگار قادر به تصویربرداری هوایی چندطیفی با توان تفکیک مکانی زیاد می باشد (۵). با هدف مدلسازی و برآورد درصد نیتروژن گیاه نیشکر در اراضی کشت و صنعت نیشکر امام خمینی خوزستان، از طیف سنجی با طیف سنج فیلد اسپک ۳^۱ و تصویر فرایطیفی

را اندازه گیری کردند. در پژوهشی به منظور تشخیص وضعیت نیتروژن برگ برنج رقم خزر و تعیین زمان مناسب مصرف کود نیتروژن به صورت سرک از دستگاه کلروفیل متر دستی استفاده شد. بررسی روابط رگرسیونی برای کلیه مراحل رشد نشان داد که مقادیر کلروفیل متر تنها ۲۲/۵ درصد از تغییرات غلظت نیتروژن را برحسب واحد وزن خشک برگ توجیه می کنند، اما زمانی که غلظت نیتروژن برحسب واحد سطح برگ بیان شد، حدود ۸۲ درصد از تغییرات نیتروژن توسط مقادیر کلروفیل متر قابل توجیه گردید. در هر یک از مراحل رشد برنج، مقادیر کلروفیل متر با غلظت نیتروژن برحسب واحد سطح برگ همبستگی بالاتری را نسبت به غلظت نیتروژن برحسب وزن برگ نشان داد (۳). محقق دیگری در پژوهش خود به ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه اسفناج با استفاده از شاخص کلروفیل متر و پردازش تصویر مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی پرداخت. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از پردازش تصویر و شبکه ی عصبی رابطه ی خوبی در تخمین سطح کلروفیل گیاه اسفناج دارد ($R^2=91/72$). رابطه ی خوبی نیز بین مولفه ی رنگی و سطح نترات برگ وجود داشت ($R^2=91/72$). همچنین بررسی نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیون خطی از دقت بالاتری برخوردار می باشد (۱۸). همچنین طی مطالعه ی دیگری که بر روی محصول گندم انجام گرفت، نتایج حاکی از آن بود که کلروفیل سنج-SPAD 502 می تواند وسیله مفیدی برای برآورد وضعیت تغذیه ای نیتروژن برگ بدون نیاز به تخریب بافت جهت انجام توصیه های کودی ازت و پروتئین دانه گندم باشد، ولی قرائت های آن باید برای ارقام غالب کشت شده در منطقه واسنجی شود (۱۶).

مطالعات مختلف نشان داده است که به عنوان یک ابزار ارزیابی نزدیک سطح زمین، دوربین های دیجیتال و آنالیز تصاویر رنگی پتانسیل خوبی برای پایش رشد گیاه و وضعیت نیتروژن آن دارند. در پژوهشی برای تخمین وضعیت نیتروژن در طول مراحل رویش و اوایل ساقه زنی

مواد و روش‌ها

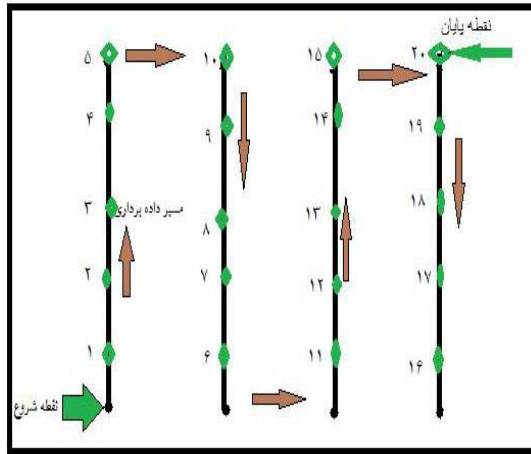
در این تحقیق از سه مزرعه نیشکر با ابعاد 100×120 متر واقع در شرکت کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی (با مختصات جغرافیایی $34^{\circ}41'28''$ درجه شرقی و $26^{\circ}14'17''$ درجه) با دوره های رشد مختلف که در آن‌ها نیشکر واریته CP69-1062 در زمان های متفاوت کشت شده بود (مزرعه اول شروع کاشت $1395/5/11$ و پایان کاشت $1395/5/14$ ، مزرعه دوم شروع کاشت $1395/6/3$ و پایان کاشت $1395/6/10$ ، مزرعه سوم شروع کاشت $1395/6/27$ و پایان کاشت $1395/7/1$) تصویربرداری و نمونه گیری به عمل آمد. نحوی علامت گذاری مزرعه به این صورت بود که ابتدا از حاشیه مزرعه ۵ متر اول رها شد از گوشه اول ۱۲ فارو (که معادل ۲۰ متر است) به سمت جلو (در راستای عرض مزرعه) حرکت کرده، ردیف مربوطه به عنوان ردیف اول نمونه برداری علامت گذاری شد؛ به همین ترتیب با فواصل ۲۰ متری، ردیف‌های دوم، سوم و چهارم نیز مشخص گردید؛ روی هر چهار ردیف (در راستای طول مزرعه) نیز ۵ نقطه به فاصله ۲۰ متر جدا شد؛ به این ترتیب در هر مزرعه ۲۰ نقطه تعیین شد (شکل ۱).

نحوه تصویربرداری از مزرعه:

این مرحله با استفاده از یک دستگاه عمود پرواز (کوآد کوپتر) مدل فانوم ۳ پروفشنال^۱ انجام شد (شکل ۲). این کوآد کوپتر یک ربات پرنده ۴ موتوره یا ۴ بال با وزن ۱۲۱۶ گرم است، دارای باتری ۴ سل (4480 میلی آمپر) و دوربین $12/9$ مگاپیکسل با سیستم گیمبال (لرزش گیر) و قابلیت فیلمبرداری 4k می‌باشد. قابلیت ارسال تصاویر به صورت وایرلس و همچنین ذخیره سازی آنها بر روی حافظه داخلی و سپس انتقال آن‌ها به USB را داراست. همچنین دارای حسگرهای مختلفی همچون قطب نما، ارتفاع سنسور، شتاب سنسور، ژيروسکوپ و فراصوتی می‌باشد (۱۲).

استفاده شد. جهت برآورد نیتروژن برگ نیشکر، مدل بدست آمده از آنالیز همبستگی بر روی تصویر Hyperion اعمال گردید. در نهایت با اعمال مدل آماری بر تصویر، نقشه میزان غلظت نیتروژن برگ گیاه نیشکر تهیه شد (۹). در پژوهشی دیگر نیتروژن برگ و کلروفیل برگ ارقام مختلف نیشکر به طور همزمان اندازه گیری شدند. بررسی های انجام شده در طی کنترل محصول نشان داد که با بالا رفتن میزان ازت در طی زمان کوددهی میزان کلروفیل نیز بالا می‌رود به همین جهت رابطه بین این دو فاکتور رابطه ای مثبت می‌باشد. نتایج طرح به همراه اطلاعات رطوبتی مزرعه همچنین نشان داد که بین درصد نیتروژن، مقدار کلروفیل برگ و رطوبت برای کلیه واریته های تجاری مورد آزمایش، همبستگی آماری مثبت وجود دارد این همبستگی حدود $0/75$ بود که رقم قابل توجهی می‌باشد. میزان همبستگی در واریته SP70-1143 برابر $0/87$ ، واریته CP69-1062 برابر $0/83$ و در واریته های CP48-103 و CP57-614 نیز برابر $0/80$ محاسبه گردید (۶).

در پژوهش‌های قبلی که با استفاده از تکنیک پردازش تصویر به تخمین میزان نیتروژن مورد نیاز گیاه پرداخته شده است، یا تصاویر زمینی دیجیتال از نزدیک گیاه تهیه شده اند و یا از تصاویر هوایی تهیه شده با دوربین‌های چندطیفی برای تخمین وضعیت نیتروژن در مزرعه استفاده شده است. استفاده از تصاویر زمینی امکان پایش سریع و گسترده مزرعه را ناممکن می‌سازد. همچنین با توجه به گران بودن دوربین های چندطیفی، استفاده از آن‌ها قیمت تمام شده سامانه‌های هوایی پایش محصول را بالا می‌برد. لذا استفاده از دوربین های دیجیتال معمولی که در طیف مرئی تصاویر را تهیه می‌کنند و دارای قیمت ارزانه‌تری بوده و در همه جا در دسترس هستند، می‌تواند هزینه تهیه تصاویر هوایی از مزارع را به شدت کاهش دهد. در این پژوهش امکان استفاده از تصاویر هوایی گرفته شده در طیف مرئی (که با استفاده از یک دوربین دیجیتال معمولی نصب شده بر روی یک کوآد کوپتر تهیه می‌شوند) برای تخمین میزان نیتروژن محصول و کلروفیل برگ در مزارع نیشکر مدنظر قرار گرفت.



شکل (۱) نحوه علامتگذاری نقاط در هر مزرعه برای نمونه برداری و تصویربرداری

Figure (1) The points marking for the sampling and imaging of sugarcane fields

نحوی جمع آوری نمونه‌های محصول

پس از اینکه تمام نقاط مورد نظر در مزرعه مشخص گردید، عملیات نمونه برداری و تصویربرداری همزمان از نقاط مشخص شده در تمامی مزارع انجام شد. پس از گرفتن تصویر از نقاط مشخص شده توسط سامانه عمود پرواز، در هر نقطه (پلات) تعداد چهار عدد سرنی سالم - با فاصله ۴۵ سانتی متر از یکدیگر - چیده شده و در درون کیسه های پلاستیکی قرار داده شدند و مشخصات هر نقطه نیز روی آنها نوشته شد (شکل ۳ - راست). نمونه‌ها بلافاصله برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و نیتروژن در همان روز به آزمایشگاه منتقل شدند.

روش کار در آزمایشگاه :

پس از انتقال نمونه‌ها از مزرعه به آزمایشگاه، ابتدا از هر سرنی برگ‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ جدا شدند. برگ‌های جدا شده همراه با غلاف بودند، چون برای اندازه‌گیری نیتروژن فقط به برگ نیاز است، بنابراین غلاف‌های برگ نیز جدا و به صورت جداگانه وزن شدند. مطابق توصیه کارشناسان زراعت شرکت و برای افزایش دقت اندازه‌گیری ها، از هر برگ، رگ برگ نیز جدا شده و فقط ۱۵cm وسط پهن برگ برای اندازه‌گیری ازت گیاه لازم است، لذا ۱۵cm اول و آخر برگ نیز دور ریخته شدند (شکل ۴-چپ).

در دو ارتفاع ۵ متر و ۱۰ متر از نقاط مشخص شده از محصول تصویربرداری به عمل آمد (شکل ۳ - چپ). به این صورت که ابتدا کوادکوپتر بر فراز مزرعه به پرواز درآمد و شخص هدایت کننده آن ابتدا چند عکس برای تنظیم دستگاه گرفت. سپس عملیات عکس برداری از نقاط علامت گذاری شده شروع گردید. کوادکوپتر برای عکس برداری بالای نقطه مورد نظر ثابت می‌شد و سپس عکس از دو ارتفاع گرفته می‌شد و در حافظه دستگاه ثبت می‌گردید. پس از پایان عکس برداری، عکس‌های گرفته شده جهت انجام سایر مراحل به لپ تاپ منتقل شدند.



شکل (۲) کوادکوپتر فانتوم ۳ پروفشنال مورد استفاده

برای تصویربرداری هوایی از مزارع

Figure (2) Phantom 3 Professional Quadcopter used for taking field images

حسینی و همکاران: تعیین مقدار نیتروژن و کلروفیل گیاه...

مراحل انجام آزمایش کلدال را نشان می‌دهد. اساس کار این روش، واکنش رنگی بین آمونیوم و باز ضعیف (ترکیبی از سدیم سالیسیلات و منبع کاری مثل سدیم هیپوکارلیت یا دی کلر و ایزوسیانات) است. شدت رنگ سبز به خوبی توسط استفاده از سدیم نیتروپروساید افزایش می‌یابد. سدیم تارتارات برای حذف رسوب هیدروکسید فلزات سنگین که ممکن است در فرآیند هضم وجود داشته باشد، استفاده می‌شود. زیرا کاتالیزورهای استفاده شده در این روش فلزات سنگینی مثل جیوه و سلنیم هستند (۴).

قبل از قرار دادن آنها درون آون، با استفاده از یک دستگاه کلروفیل متر دستی (مدل SPAD-502) میزان شاخص کلروفیل برگ در هر نقطه اندازه‌گیری و ثبت شد (شکل ۴-وسط). به این صورت که از برگ‌های مربوط به هر نقطه در ۳ تکرار میزان کلروفیل برگ اندازه‌گیری شد که در آخر بین این سه تکرار میانگین گرفته شد و عدد حاصل به عنوان میزان کلروفیل برگ در هر نقطه ثبت گردید. سپس نمونه‌ها در درون یک آون الکتریکی خشک شدند (شکل ۴-راست).

تعیین نیتروژن به روش کلدال دستی :

پس از خشک نمودن نمونه‌ها، میزان نیتروژن با استفاده از روش کلدال دستی اندازه‌گیری شد. شکل ۵



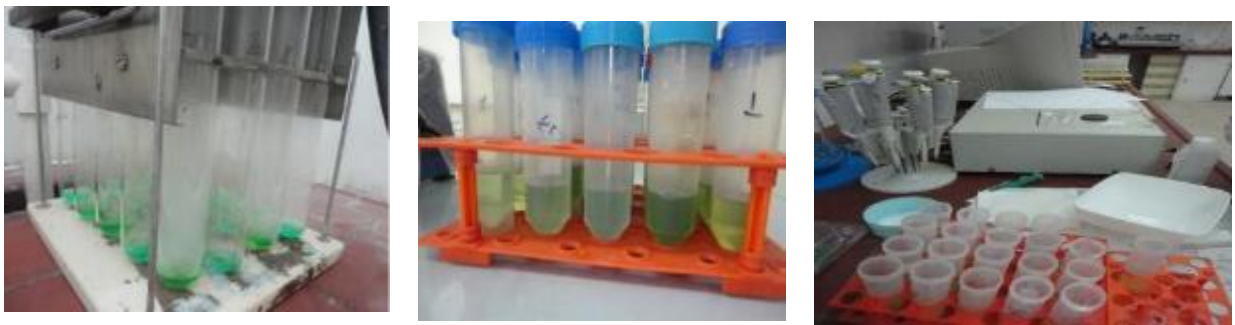
شکل (۳) عکس برداری از مزرعه توسط کواد کوپتر (چپ) و نمونه برداری از مزرعه (راست)

Figure (3) Taking filed images using quad-copter (left) and collecting sugarcane samples (right)



شکل (۴) مراحل کار در آزمایشگاه: نمونه‌های آماده شده (چپ)، اندازه‌گیری کلروفیل برگ (وسط) و خشک کردن نمونه‌ها در آون (راست)

Figure (4) The sugarcane leaf samples (left), chlorophyll measurement (center) and electrical oven for samples drying (right)



شکل (۵) مراحل آزمایش کدال: مرحله هضم (چپ) مرحله قبل از قرائت (وسط) و مرحله قرائت نیتروژن با دستگاه (راست)،
Figure (5) Kjeldahl test steps: digestion (left), before reading with device (middle) and reading with device (right)

انتقال تصاویر

تصاویر گرفته شده به وسیله کوادکوپتر به لپ تاپ انتقال یافت. تصاویر هر مزرعه در پوشه‌ای جداگانه ذخیره شد. با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار متلب^۱، دستورات لازم برای استخراج شاخص‌های رنگی مورد نیاز از تصاویر برای تعیین میزان نیتروژن محصول نیشکر نوشته شد.

پیش پردازش

تصاویر دریافت شده، طی مراحل پیش‌پردازش (شامل عملیات کاهش اندازه تصویر، باینری کردن تصویر، یک نواخت کردن تصویر، تعدیل نویز و حذف نویز به منظور ارتقاء کمی و کیفی تصویر) و پردازش نهایی توسط نرم افزار متلب آنالیز شدند. ابتدا به منظور بهبود کارایی الگوریتم و افزایش دقت تخمین نیتروژن برگ بر اساس انعکاس سطح آن، تصویر رنگی گرفته شده از محصول فراخوانی شد و سپس برای حذف نویز و وضوح بهتر تصویر هیستوگرام گسترش داده شد.

یکنواخت کردن نور تصویر

برای یکنواخت کردن نور تصویر و حذف تاثیرات نور محیط بر تصویر، از گسترش هیستوگرام وفقی^۲ استفاده شد. در این مرحله ابتدا برای بدست آوردن تصویر باینری از تصویر اصلی باید دقت داشت که منطقه گیاه سفید و پس

تخمین نیتروژن با پردازش تصاویر گیاه

پردازش تصویر مستلزم انجام یکسری عملیات بر روی تصویر است که کیفیت تصویر را به منظور حذف عیوبی نظیر، اعوجاج هندسی، فکوس نامناسب، اغتشاشات تکراری، نورپردازی غیر یکنواخت و حرکت دوربین افزایش دهد. سیستم پردازش تصویر عموماً از مراحل زیر تشکیل شده است (۲۲).

- ✓ عملیات دریافت تصویر به منظور تبدیل تصاویر به شکل دیجیتال
- ✓ عملیات پیش‌پردازش به منظور به دست آوردن یک تصویر بهبودیافته با ابعاد تصویر اصلی
- ✓ عملیات بخش‌بندی تصویر به منظور تقسیم یک تصویر دیجیتالی به نواحی پراکنده‌ای که هم‌پوشانی نداشته باشند.
- ✓ عملیات اندازه‌گیری هدف به منظور تعیین خصوصیات هدف نظیر اندازه، شکل، رنگ و بافت
- ✓ عملیات طبقه‌بندی به منظور شناسایی اهداف توسط دسته‌بندی آن‌ها در گروه‌های مختلف
- الگوریتم پردازش تصویر طراحی شده برای استخراج شاخص‌های رنگی از تصاویر مزرعه نیشکر شامل مراحل

زیر می‌باشد:

1- MATLAB Image processing toolbox
2- Adaptive Histogram

مساحت استفاده شد. از آنجا که تصاویر در شرایط نورپردازی نشده (نور محیط) گرفته شدند، دارای یک سری نویز بودند که با استفاده از این اپراتور حذف گردیدند.

استخراج و انتخاب ویژگی از تصویر

پس از این که پیش پردازش اولیه صورت گرفت و پس زمینه تصویر حذف شد، در مرحله بعد یعنی استخراج شاخص های رنگی، تصویر از فضای رنگی RGB به فضا های رنگی مورد نظر (HSV, HSI, Lab) تبدیل شد (شکل ۶) و پس از حذف صفر، مقادیر میانگین، واریانس، چولگی و کشیدگی مؤلفه ی هر فضای رنگی از روابط ۲ تا ۵ تعیین شد (۷). توضیحات مربوط به فضای رنگی در جدول ۱ آورده شده است.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad (2)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N} \quad (3)$$

$$sk \approx \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{s^3} \quad (4)$$

$$ku = \frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{s^4} - 3 \quad (5)$$

که در این روابط، N تعداد متغیرها، X_i متغیر i ام و \bar{X} میانگین کل؛ s^2 واریانس کل؛ s انحراف معیار، sk چولگی کل و ku کشیدگی کل شاخص های رنگی می باشند.

مدلسازی رگرسیونی

پس از اینکه با استفاده از الگوریتم پردازش تصویر شاخص های رنگی تصاویر گرفته شده از مزرعه بدست آمد، با استفاده از رگرسیون چند متغیره می توان بین یک سری از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته مورد نظر ارتباط برقرار نمود. در مواردی که تعداد عوامل مؤثر بر پدیده کم باشد، می توان با بررسی تمام ترکیبات مختلف و مقایسه خطای آنها بهترین مدل رگرسیونی را به دست آورد؛ اما مواردی وجود دارد که تعداد عوامل مؤثر بر پدیده زیاد است و بررسی تمام ترکیبات ممکن وقت گیر و نیازمند محاسبات زیادی است. در این موارد شیوه هایی پیشنهاد شده که تمام معادله های ممکن را در نظر نمی گیرند و متغیرهایی که اهمیت چندانی ندارند را با

زمینه سیاه انتخاب گردد. سپس تصویر باینری در تصویر اصلی ضرب می شود، و در آخر کد یک نواخت سازی نور^۱ بر روی تصویر حاصل اعمال می گردد.

حذف نویز و پس زمینه تصویر

برای حذف پس زمینه تصویر الگوریتم های مختلفی وجود دارند. پس از تست الگوریتم های موجود، الگوریتم ترکیب خطی فضای RGB نسبت به بقیه الگوریتم ها جواب مناسب تری داد. لذا از این الگوریتم برای حذف پس زمینه تصویر استفاده شد. این الگوریتم در سه مرحله اجرا شد: الف) تقسیم تصویر اصلی به سه مؤلفه تشکیل دهنده ی آن (رنگ قرمز، رنگ سبز و رنگ آبی) ب) جداسازی برگ از زمینه تصویر ج) حذف نویزهای تصویر. ابتدا تصویر اصلی هر برگ به سه تصویر تک رنگ قرمز، سبز و آبی تقسیم گردید. با استفاده از آستانه گیری و نمودار مربوط به شدت هیستوگرام، مقادیر آستانه برای حذف پیکسل های زمینه (خاک) از تصویر مشخص گردید و با استفاده از تابع آستانه گیری رابطه ۱ جداسازی صورت گرفت (۲).

$$g_i(x, y) = f(x) = \begin{cases} \cdot & f_i(x, y) \leq T_i \\ f_i(x, y) & f_i(x, y) \geq T_i \end{cases} \quad (1)$$

$g_i(x, y)$ = مقدار سطح خاکستری هر پیکسل در تصویر جداسازی شده، $f_i(x, y)$ = مقدار سطح خاکستری هر پیکسل در تصویر اصلی، T_i = مقدار آستانه و i مؤلفه های تصویر را در سه کانال قرمز، سبز و آبی بیان می کند. با توجه به تابع فوق، شدت پیکسل های مربوط به برگ نیشکر تغییر نکرده و فقط مقدار پیکسل های زمینه ی تصویر صفر می گردد (شکل ۶-ب).

برای حذف نویز نمک و فلفل^۲ از فیلتر میانه با اندازه عنصر سازه 3×3 استفاده شد. پس از حذف زمینه تصویر، برای حذف نویز از تصویر و بازسازی نقاط حذف شده از محصول از اپراتور Opening بر روی

1- RGB = histeq(RGB)

2- Salt and Pepper

نبوده و بین مزارع نیز یکسان نیست. کمترین پراکندگی نیتروژن در دوره رشد اول و بیشترین پراکندگی آن در دوره رشد دوم می‌باشد؛ همچنین درصد کلروفیل برگ برای ۲۰ نقطه نمونه برداری شده در زمان های کاشت اول، دوم و سوم به ترتیب دارای ۱۰، ۷ و ۸ حالت مختلف می‌باشند. هیچ یک از مزارع از نظر کلروفیل برگ دارای پراکندگی یکنواخت نبوده است. کمترین پراکندگی در دوره رشد دوم و بیشترین پراکندگی در دوره رشد سوم مشاهده می‌شود.

جدول (۱) ویژگی های فضاهای رنگی مورد استفاده

Table (1) Properties of used color spaces

شرح Description	فضای رنگی Color space
در این مدل رنگی، هر رنگ با سه مقدار R، G و B که مقادیر مختلفی از رنگهای قرمز، سبز و آبی است، تولید میشود. در تصاویر دیجیتالی هر پیکسل شامل سه رنگ اولیه مدل رنگی RGB می‌باشد (۱۴).	RGB
دو فضای رنگ HSV و HLS ارتباطی نزدیک به تفسیر و توصیف انسان از رنگ دارند. در فضای HSV، H متوسط فام رنگ $[0^\circ, 360^\circ]$ ، S متوسط اشباع رنگ $[0, 1]$ و V متوسط مقدار رنگ $[0, 1]$ می‌باشند. در فضای HLS، L نشان دهنده متوسط شدت روشنایی رنگ $[0, 1]$ و S متوسط اشباع رنگ $[0, 1]$ است (۱۰).	HSV, HSI
مختصات CIELAB، رنگ را با سه مقدار L^* ، a^* و b^* توصیف می‌کند. مختصات L^* روشنایی نمونه و همینطور موقعیت محور خاکستری را از سیاه به سفید بیان می‌نماید. مختصات a^* و b^* به ترتیب، توصیفگر رنگ از سبز به قرمز و از آبی به زرد هستند (۱۱).	Lab

توجه به مقدار α (سطح قابل قبول خطا) انتخابی حذف می‌کنند.

سه روش انتخاب پیش رو^۱، شیوه حذف پس رو^۲ و روش گام به گام^۳، برای انتخاب متغیرها پیشنهاد شده است. روش گام به گام در اصل یک نوع شیوه انتخاب پیشرو است و بر اساس مدل رگرسیون خطی بنا شده است. این روش با فرض عدم وجود هیچ متغیر مستقلی در مدل و وجود تنها عرض از مبدا پایه گذاری شده است (۱). در تمام رگرسیون‌های خطی، متغیری که بیشترین همبستگی را با پاسخ داشته باشد، به عنوان اولین متغیر در تابع رگرسیونی منظور می‌شود. همچنین در این روش متغیر بعدی که به رابطه رگرسیونی اضافه می‌شود، باید بیشترین سهم را در مجموع توان‌های دوم رگرسیون داشته باشد. پارامتر α ، در این روش حداکثر سطح قابل قبول خطا در آزمون فرضیه است که در مطالعه حاضر مقدار ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. آماده‌سازی داده‌ها در محیط نرم افزار اکسل ۲۰۱۳ و توسعه معادلات رگرسیون چندگانه در نرم افزار SPSS v.21 انجام شد. برای مقایسه عملکرد مدل‌های رگرسیونی در پیش بینی مقادیر نیتروژن و کلروفیل با مقادیر واقعی از آزمون t استیودنت استفاده شد.

نتایج و بحث

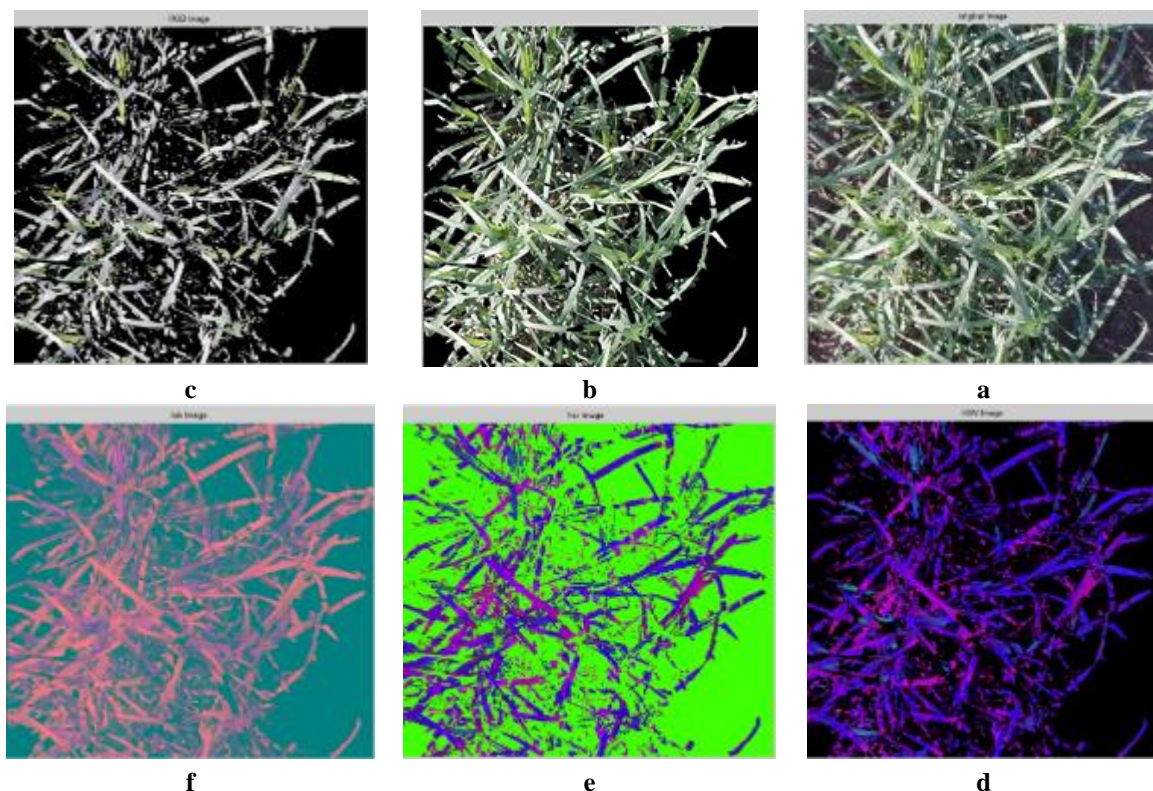
مقادیر نیتروژن اندازه‌گیری شده به روش کلدال و کلروفیل برگ اندازه‌گیری شده با کلروفیل متر دستی برای نقاط مختلف در هر مزرعه بصورت نمودار فراوانی در شکل ۷ نشان داده شده است. هرچه نقاط مشخص شده در شکل تیره‌تر باشد نشان دهنده فراوانی بیشتر آن نقطه است. درصد نیتروژن اندازه‌گیری شده برای ۲۰ نقطه مزارع در دوره های رشد اول، دوم و سوم به ترتیب دارای ۶، ۱۱ و ۹ حالت مختلف می‌باشند، که نشان‌دهنده وجود پراکندگی در هر دوره رشد می‌باشد. پراکندگی نیتروژن در درون مزارع مختلف یکنواخت

1- Forward Method

2- Backward Remove Method

3- Stepwise Method

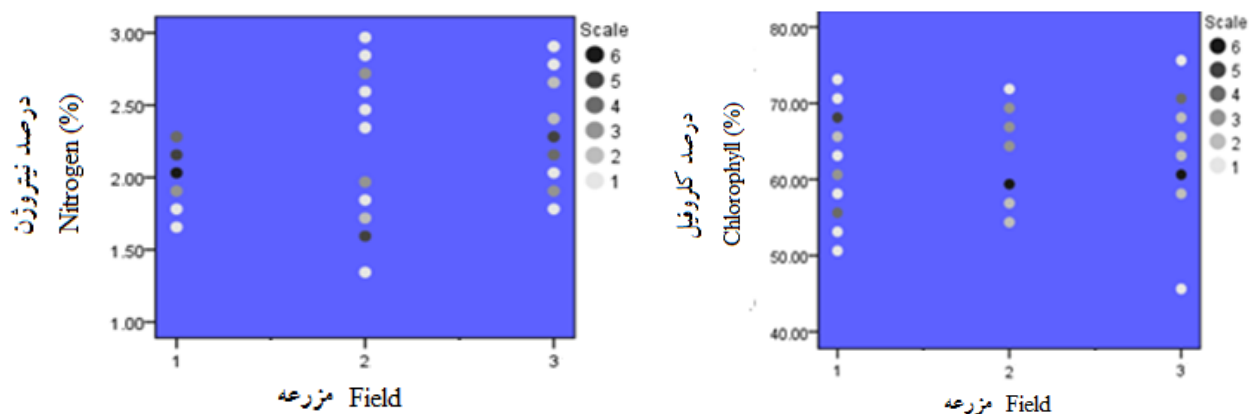
حسینی و همکاران: تعیین مقدار نیتروژن و کلروفیل گیاه...



شکل (۶) نمایش تصویر در فضاهای رنگی مختلف الف-تصویر اولیه، ب- حذف پس زمینه و نویز تصویر ج- فضای رنگی

Lab رنگی ، و- فضای رنگی RGB ، د- فضای رنگی HSV ، ه- فضای رنگی HSI ، و- فضای رنگی Lab

Figure (6) Sugarcane images in different color spaces, a- Original image, b- Background and noise removing, c- RGB, d-HSV, e- HSI, f-Lab



شکل (۷) نمودار فراوانی درصد نیتروژن و کلروفیل برگ مزارع نیشکر (مقادیر scale نشان دهنده تعداد فراوانی است)

Figure (7) The frequency diagram of nitrogen and chlorophyll of sugarcane fields (scale values represent the frequency)

برآورد نیتروژن از روی شاخص های رنگی

قبل از انجام تحلیل رگرسیون معمولاً ماتریس همبستگی بین متغیرها محاسبه می‌شود تا مشخص گردد آیا بین متغیرها رابطه‌ای وجود دارد یا خیر. بعد از مشخص شدن رابطه بین متغیرهاست که انجام تحلیل رگرسیون برای پیش‌بینی معنی پیدا می‌کند. بر اساس تحلیل آماری همبستگی پیرسون، از میان ۴۸ ویژگی رنگی استخراج شده با پردازش تصویر شامل میانگین، واریانس، چولگی و درجه اوج مقادیر شاخص های رنگی هر تصویر در فضاهای رنگی RGB, HSV, $H_I S_I I_I$, Lab توصیف شده در جدول ۱، تعداد ۲۴ ویژگی شامل $\bar{G}, \bar{B}, \bar{H}, \bar{S}, \bar{V}, \bar{H}_I, \bar{I}_I, \bar{a}, \bar{R}, B_K, S_{I_K}, L_K, a_K, H_S, V_S, S_{I_S}, L_S, a_S, H_V, S_V, V_V, S_{I_V}, a_V, L_V$ برای تعیین معادلات رگرسیونی انتخاب شدند (نمادهای v, s, k و $-$ به ترتیب مقدار کشیدگی، چولگی، واریانس و میانگین می‌باشند که برای مؤلفه فضاهای رنگی استخراج شدند). این شاخص ها با مقدار نیتروژن برگ نیشکر همبستگی داشتند.

نتایج حاصل از مدل سازی رگرسیونی برای تخمین نیتروژن از روی شاخص های رنگی تصاویر گرفته شده از ارتفاعات ۵ و ۱۰ متر در جدول ۲ آمده است. در تصاویر ارتفاع ۵ متر، شاخص رنگی ای که رابطه مناسبی با میزان نیتروژن دارد، شاخص \bar{a} با ضریب همبستگی ۰/۸۶۳ می باشد. رابطه رگرسیونی بدست آمده (رابطه ۶) در سطح احتمال یک درصد معنادار بوده و دارای ضریب تبیین ۷۴/۳ درصد می‌باشد. لذا این معادله رگرسیونی معتبر بوده و می توان برای تخمین مقدار نیتروژن گیاه نیشکر از ارتفاع ۵ متر از آن استفاده نمود. ضریب تبیین بدست آمده برای پنج معادله رگرسیونی ارائه شده برای تصاویر گرفته شده از ارتفاع ۱۰ متر (روابط ۷ تا ۱۱) به ترتیب ۷۱، ۷۴، ۷۷، ۷۹ و ۸۲ درصد می باشد. همچنین تمامی روابط رگرسیونی بدست آمده در سطح احتمال یک درصد معنادار می باشند، لذا این روابط معتبر بوده و می توان برای تخمین مقدار نیتروژن گیاه نیشکر از ارتفاع ۱۰ متر از آنها استفاده نمود. با افزایش تعداد شاخص های رنگی، دقت مدل رگرسیونی در

برآورد میزان نیتروژن افزایش یافته است. رابطه ۱۱ دقیق ترین مدل رگرسیونی برای تخمین مقدار نیتروژن گیاه نیشکر از ارتفاع ۱۰ متر بوده و دقت آن بیشتر از مدل رگرسیونی ارائه شده برای ارتفاع ۵ متر (یعنی رابطه ۶) می باشد. برآورد دقیق تر از روی تصاویر تهیه شده از ارتفاع بالاتر می تواند به دلیل کمتر شدن نسبت پیکسل تصویر به متر روی سطح زمین و میانگین گیری از سطح بیشتر زمین برای مقدار هر پیکسل روی تصویر باشد. البته اثبات دقیق این فرضیه نیازمند تصویرگیری از ارتفاعات بالاتر در پژوهش های آینده است.

برآورد کلروفیل از روی شاخص های رنگی

برای تخمین کلروفیل برگ از روی شاخص های رنگی تصاویر گرفته شده از ارتفاع ۵ متر، چهار مدل رگرسیونی مطابق جدول ۳ بدست آمد (روابط ۱۲ تا ۱۵). هر چهار مدل در سطح احتمال یک درصد معنادار هستند و ضریب تبیین بدست آمده برای این مدل ها به ترتیب ۲۶، ۴۵، ۵۵ و ۶۲ درصد می باشد. با افزایش تعداد شاخص های رنگی، دقت مدل رگرسیونی در برآورد میزان کلروفیل برگ افزایش یافته است. رابطه ۱۵ دقیق ترین مدل رگرسیونی برای تخمین مقدار کلروفیل گیاه نیشکر از ارتفاع ۵ متر می باشد. همچنین مدل رگرسیونی بدست آمده برای تخمین کلروفیل برگ از روی شاخص های رنگی به دست آمده از تصویر ارتفاع ۱۰ متر (رابطه ۱۶) در سطح احتمال یک درصد معنادار می‌باشد. ضریب تبیین به دست آمده برای این مدل ۶۹ درصد می‌باشد که بیشتر از ضریب تبیین دقیق ترین مدل رگرسیونی ارائه شده برای ارتفاع ۵ متر (یعنی رابطه ۱۵) می باشد.

برآورد نیتروژن از روی کلروفیل برگ

مدل رگرسیونی به دست آمده برای تخمین میزان نیتروژن گیاه نیشکر از روی کلروفیل برگ در جدول ۴ ارائه گردیده است. این مدل (رابطه ۱۷) در سطح احتمال یک درصد معنادار است. مقدار ضریب تبیین بدست آمده برای این مدل ۶۸ درصد و ضریب همبستگی بین دو پارامتر ۰/۷۱ می‌باشد. در گزارش ارائه شده توسط

حسینی و همکاران: تعیین مقدار نیتروژن و کلروفیل گیاه...

کارشناسان شرکت کشت و صنعت دعبیل خزایی (۶) تفاوت در دوره رشد محصول در دو پژوهش انجام شده ضریب همبستگی این دو پارامتر ۰/۸۳ بیان شده است. باشد. این اختلاف مقادیر ضریب همبستگی می تواند ناشی از

جدول (۲) معادلات رگرسیونی برای تخمین نیتروژن از تصاویر ارتفاع ۵ و ۱۰ متر
Table (2) Regression equation for the nitrogen estimation from 5 m, 10 m height images

Regression equation معادله رگرسیونی	F	R ²	
$N_5 = 8.43 - 0.05\bar{a}$	122.3**	0.743	(۶)
$N_{10_1} = 8.05 - 0.046\bar{a}$	99.9**	0.71	(۷)
$N_{10_2} = 43.8 - 0.59\bar{a} + 0.002\bar{a}^2$	58.1**	0.74	(۸)
$N_{10_3} = 53.981 - 0.757\bar{a} + 0.003\bar{a}^2 - 512.107S_1^2$	43.4**	0.77	(۹)
$N_{10_4} = 54.26 - 0.75\bar{a} + 0.003\bar{a}^2 - 526.2S_1^2 + (-3.717E - 5)\bar{L}^2$	36.9**	0.79	(۱۰)
$N_{10_5} = 73.2 - 1.007\bar{a} + 0.004\bar{a}^2 - 712.2S_1^2 + (-8.59E - 5)\bar{L}^2 + (-8.213E - 10)b_k^2$	34.6**	0.82	(۱۱)

***، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۱ درصد، معنی داری در سطح ۵ درصد و عدم معنی داری است.
N₅، N₁₀، \bar{a} ، S₁، b_k و \bar{L} به ترتیب معادله رگرسیونی تخمین نیتروژن در ارتفاع ۵ متر، ۱۰ متر، میانگین مولفه رنگی \bar{a} ، واریانس مولفه رنگی S، کشیدگی مولفه رنگی b و میانگین مولفه رنگی L می باشند.

جدول (۳) معادلات رگرسیونی برای تخمین کلروفیل از تصاویر ارتفاع ۵ و ۱۰ متر
Table (3) Regression equation for chlorophyll estimation from 5m, 10m height images

Regression equation معادله رگرسیونی	F	R ²	
$CL_{5_1} = 92.77 - 0.002\bar{a}^2$	16.8**	0.26	(۱۲)
$CL_{5_2} = 142.55 - 0.003\bar{a}^2 + (-2.19E - 8)b_k^2$	17.5**	0.45	(۱۳)
$CL_{5_3} = 139.66 - 0.003\bar{a}^2 + (-2.07E - 8)b_k^2 + (4.1E - 8)B_k^2$	16.5**	0.55	(۱۴)
$CL_{5_4} = 69.4 - 0.002\bar{a}^2 + (-6.11E - 8)b_k^2 + (4.54E - 8)B_k^2 + 0.003\bar{G}^2$	15.8**	0.62	(۱۵)
$CL_{10} = 97.38 - 0.002\bar{a}^2$	23.5**	0.69	(۱۶)

***، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۱ درصد، معنی داری در سطح ۵ درصد و عدم معنی داری است.
CL₅، CL₁₀، B_k و \bar{G} به ترتیب معادله رگرسیونی تخمین کلروفیل از تصاویر در ارتفاع ۵ متر، ۱۰ متر، کشیدگی مولفه رنگی B و میانگین مولفه رنگی G می باشند.

جدول (۴) معادله رگرسیونی برای تخمین نیتروژن از روی کلروفیل برگ
Table (4) Regression equation for nitrogen estimation from leaf chlorophyll

Regression equation معادله رگرسیونی	F	R	R ²	
$N_{CL} = 0.153 + 0.032 CL$	25.4**	0.71	0.68	(۱۷)

***، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۱ درصد، معنی داری در سطح ۵ درصد و عدم معنی داری است.
CL و N_{CL} به ترتیب میزان کلروفیل برگ گیاه نیشکر و مقدار نیتروژن تخمینی از روی کلروفیل می باشند.

ارزیابی عملکرد مدل‌سازی رگرسیونی

(N_R) ندارد، لذا مدل رگرسیونی ارائه شده (رابطه ۱۷) معتبر است.

در جدول ۶ مقایسه میانگین نتایج پیش بینی کلروفیل با استفاده از مدل های رگرسیونی از روی تصاویر ارتفاعات ۵ و ۱۰ متر با مقدار واقعی کلروفیل برگ نیشکر آورده شده است. نتایج پیش بینی کلروفیل توسط مدل های رگرسیونی دوم و چهارم برای تصاویر ارتفاع ۵ متر (CL_{5_2} , CL_{5_4}) و مدل رگرسیونی تصاویر ارتفاع ۱۰ متر (CL_{10}) اختلاف معناداری با مقدار واقعی کلروفیل برگ (CL_R) ندارند. ولی نتایج پیش بینی کلروفیل برگ نیشکر توسط مدل های رگرسیونی اول و سوم برای تصاویر ارتفاع ۵ متر (CL_{5_1} , CL_{5_3}) دارای تفاوت معناداری با مقدار واقعی کلروفیل برگ (CL_R) در سطح احتمال یک درصد می باشند. از بین مدل های دوم و چهارم نیز، مدل چهارم (رابطه ۱۵) به دلیل داشتن ضریب تبیین بیشتر ($R^2=0.62$)، مناسب تر است.

مقایسه نتایج معادلات رگرسیونی در برآورد نیتروژن با مقدار واقعی در جدول ۵ آمده است. پیش بینی مقدار نیتروژن از تصاویر ارتفاع ۵ متر (N_5) دارای تفاوت معناداری با مقدار واقعی نیتروژن (N_R) نیست، لذا رابطه رگرسیونی ارائه شده (رابطه ۶) با ضریب تبیین $R^2=0.743$ قابل قبول و معتبر است. برای تصاویر ارتفاع ۱۰ متر، نتایج پیش‌بینی نیتروژن توسط دو مدل رگرسیونی اول و سوم (روابط ۷ و ۹)، دارای تفاوت معنادار با مقدار نیتروژن واقعی نیست، ولی نتایج پیش بینی شده با مدل‌های رگرسیونی دوم، چهارم و پنجم (روابط ۸، ۱۰ و ۱۱) با مقادیر واقعی نیتروژن در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنادار دارند. از بین مدل های اول و سوم نیز، مدل سوم (رابطه ۹) به دلیل داشتن ضریب تبیین بیشتر ($R^2=0.77$)، مناسب تر است. همچنین نتایج تخمین نیتروژن گیاه با استفاده از کلروفیل برگ (N_{CL})، تفاوت معناداری با مقدار نیتروژن واقعی برگ

جدول (۵) مقایسه نتایج معادلات رگرسیونی در برآورد نیتروژن با مقدار واقعی

Table (5) The comparison of regression equations results in N estimation

تیمارها Treatments	اختلاف میانگین Means difference	t
$-N_R N_5$	0.0024	0.099 ^{ns}
$-N_R N_{10_1}$	0.027	1.03 ^{ns}
$-N_R N_{10_2}$	-0.596	-18.89 ^{**}
$-N_R N_{10_3}$	0.065	1.15 ^{ns}
$-N_R N_{10_4}$	-0.295	-4.59 ^{**}
$-N_R N_{10_5}$	0.295	4.06 ^{**}
$-N_R N_{CL}$	-0.058	-2.133 ^{ns}

***، * و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۱ درصد، معنی داری در سطح ۵ درصد و عدم معنی داری است.

جدول (۶) مقایسه میانگین نتایج معادلات رگرسیونی در برآورد کلروفیل

Table (6) The comparison of regression equations results in chlorophyll estimation

تیمارها Treatments	اختلاف میانگین Means difference	t
$-CL_R CL_{5_1}$	-2.84	-4.106 ^{**}
$-CL_R CL_{5_2}$	0.83	1.7 ^{ns}
$-CL_R CL_{5_3}$	2.76	5.2 ^{**}
$-CL_R CL_{5_4}$	-0.37	0.613 ^{ns}
$-CL_R CL_{10}$	-0.484	-1.041 ^{ns}

***، * و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح ۱ درصد، معنی داری در سطح ۵ درصد و عدم معنی داری است.

نتیجه گیری

از میان شاخص‌های رنگی استخراج شده از تصاویر مزرعه در فضا‌های رنگی مختلف (RGB, HSV, HIS_r) و Lab، شاخص‌های \bar{R} , \bar{G} , \bar{B} , \bar{H} , \bar{S} , \bar{V} , \bar{H}_I , \bar{I}_I , \bar{a} , B_K , S_{I_K} , L_K , a_K , H_S , V_S , S_{I_S} , L_S , a_S , H_V , S_V , V_V , S_{I_V} , a_V , L_V مناسب‌ترین شاخص‌ها برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن گیاه نیشکر و کلروفیل برگ می‌باشند. معادلات رگرسیونی ارائه شده دارای عملکرد قابل قبولی در تخمین میزان نیتروژن و کلروفیل برگ از تصاویر ارتفاع‌های ۵ و ۱۰ متر می‌باشند. بدلیل داشتن ضریب تبیین بالاتر، ارتفاع ۱۰ متر برای گرفتن تصویر برای برآورد میزان نیتروژن و کلروفیل برگ گیاه نیشکر مناسب‌تر است. مدل رگرسیونی ارائه شده برای تخمین میزان نیتروژن گیاه نیشکر از روی کلروفیل برگ با ضریب تبیین ۶۸ درصد قابل قبول و معتبر می‌باشد. جهت تکمیل این پژوهش و ارائه سامانه جامع تخمین نیتروژن مزارع نیشکر با تصویربرداری هوایی، ضروری است تصویربرداری در ارتفاعات بالاتر از ۱۰ متر، در

زمان رسیدن محصول نیشکر و با دوربین‌های چندطیفی نیز صورت گیرد. ضمن اینکه تاثیر عواملی مانند سرعت و جهت پرواز کوادکوپتر و شرایط جوی بر نتایج تخمین نیتروژن بررسی شود. ضمن اینکه توصیه می‌شود از این نوع سامانه‌ها با الگوریتم‌های پردازش تصویر قوی‌تر برای تعیین عملکرد محصول، برآورد نیاز آبی گیاه، تشخیص بیمارها و آفات نیز استفاده شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز از این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد قدردانی می‌نمایند. همچنین از مدیریت و کارشناسان محترم واحد تحقیق و توسعه شرکت کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی بابت فراهم نمودن امکان تصویربرداری از مزارع و همکاری در انجام کارهای عملی در مزرعه بی‌نهایت سپاس‌گزارند.

منابع

1. Abdolazare, Z., and Abdanan Mahdizadeh, S. 2018. Nonlinear mathematical modeling of seed spacing uniformity of a pneumatic planter using genetic programming and image processing. *Neural Computing and Applications*, 29(2): 363-375.
2. Ahmadi Moghaddam, P., Haddad Darafshi, M. A., and Shayesteh, M. 2009. 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 with English abstract)
3. Aliabasi, H. R., Esfahani, M., Kavooosi, M., and Rabiee, B. 2005. Determination of nitrogen requirement at different growth stages of rice (*Oryza sativa* Cv. Khazar) using chlorophyll meter. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(2): 134-145. (in Persian with English abstract)
4. Anonymous. 2016. Guide to Kjeldahl Nitrogen Determination Methods and Apparatus, LABCONCO, an Industry Service Publication, Houston, Texas 77099, USA.

5. Bagheri, N. 2015. Development of a spectrograph unmanned aerial vehicle for aerial imaging of agricultural farms. *Natural Geographic Researches*, 47(4): 533-546. (in Persian with English abstract)
6. Bavi, A., and Mostofizadeh, M. 2012. Estimation of leaf nitrogen in different varieties of sugarcane using chlorophyll meter. 1st national symposium of farming in difficult environmental conditions, 11 May 2012, Islamic Azad University, Ramhormoz Branch. Ramhormoz, Khuzestan, Iran. (in Persian)
7. Biabi, H., Abdanan, S., Nadafzadeh, M., and Salehi Salmi, M. R. 2019. Designing and developing a machine vision system to predict the chlorophyll and carotenoid content of plant leaves. *Journal of Agricultural Machinery*, 9(2). <https://doi.org/10.22067/jam.v9i2.71716> (in Persian with English abstract)
8. Cassman, K. G., Kropff, M. J., and Yan, Z. D. 1993. A conceptual framework for nitrogen management of irrigated rice in high-yield environments. In: proceedings of international rice research conference. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
9. Esfandiari, A., Rangzan, K., Nasser, A., Taghizadeh, A., Al-Kathir, J., and Habibian, M. 2013. Modeling and estimation of sugarcane nitrogen percentage using Fieldspec3 spectrometer and Hyperion spectral image. The 20th Conference on Mapping and Geospatial Information (Geomatics 92) 29-30 April 2013, Mapping Organization of Iran. (in Persian)
10. Gonzalez, R. C., Woods, R. E. & Eddins, S. L. 2004. Digital image processing using MATLAB. Pearson Education India.
11. HunterLab. 2001. Application note. Insight on Color. 13, pp. 1-4.
 12. Hosseini, S. A. 2017. Estimation of nitrogen status of crop in sugarcane fields using aerial digital images and artificial neural networks. M.Sc. Thesis in Mechanics of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (in Persian).
 13. Jia, B., He, H., Ma, F., Diao, M., Jiang, G., Zheng, Z., Cui, J., and Fan, H. 2014. Use of a digital camera to monitor the growth and nitrogen status of cotton. *The Scientific World Journal*, Article ID 602647, DOI: 10.1155/2014/602647.
14. Luzuriaga, D. A. and Balaban, M. O. 2002. Colour machine vision system: an alternative for colour measurement. In *Proceedings of the world congress of computers in agriculture and natural resources*, Iguacu Falls, Brazil. 13-15 March. pp. 93-100.
15. Li, Y., Chen, D., Walker, C. N., and Angus, J. F. 2010. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. *Field Crops Research*, 118: 221-227.
16. Majidi, A. S. 2014. Use of Minolta 502SPAD chlorophyll meter for estimating nitrogen concentration of leaf and grain protein in three wheat cultivars, *Soil Researches Journal (Soil and Water Sciences)*, 28(2): 245-254. (in Persian with English abstract)

17. Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-Gonzalez, R. G., Contreras-Medina, L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J., and Ocampo-Velazquez, R. V. 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors*, 13: 10823-10843.
18. Radmoghaddam, M. 2011. Evaluation of the nitrogen state of spinach plant using chlorophyll index and image processing based on artificial neural network. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (in Persian)
19. Shaki, F., Bernard, F., Darvishzadeh, R and Dashti Ahangar, A. 2013. Estimation of Nitrogen Content in Soybean Using Remote Sensing. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 45(20): 109-124.
20. Sharifi, M., and Haj Abbasi, M. A. 2005. Investigating the Possibility of Using Direct Distillation Method to Measure total Nitrogen of Soil. 9th Iranian Soil Science Congress, 28-31 August 2005, Tehran, Iran. (in Persian)
21. Wang, Y., Wang, D., Zhang, G., and Wang, J. 2013. Estimating nitrogen status of rice using the image segmentation of G-R thresholding method. *Field Crops Research*, 149: 33-39.
22. Zhou, H., Wu, J. and Zhang, J. 2014. *Digital Image Processing*. Translated by: Akbarizadeh, Gh., Sepehreh Danesh Publishing Co., Hamedan, Iran. (in Persian).